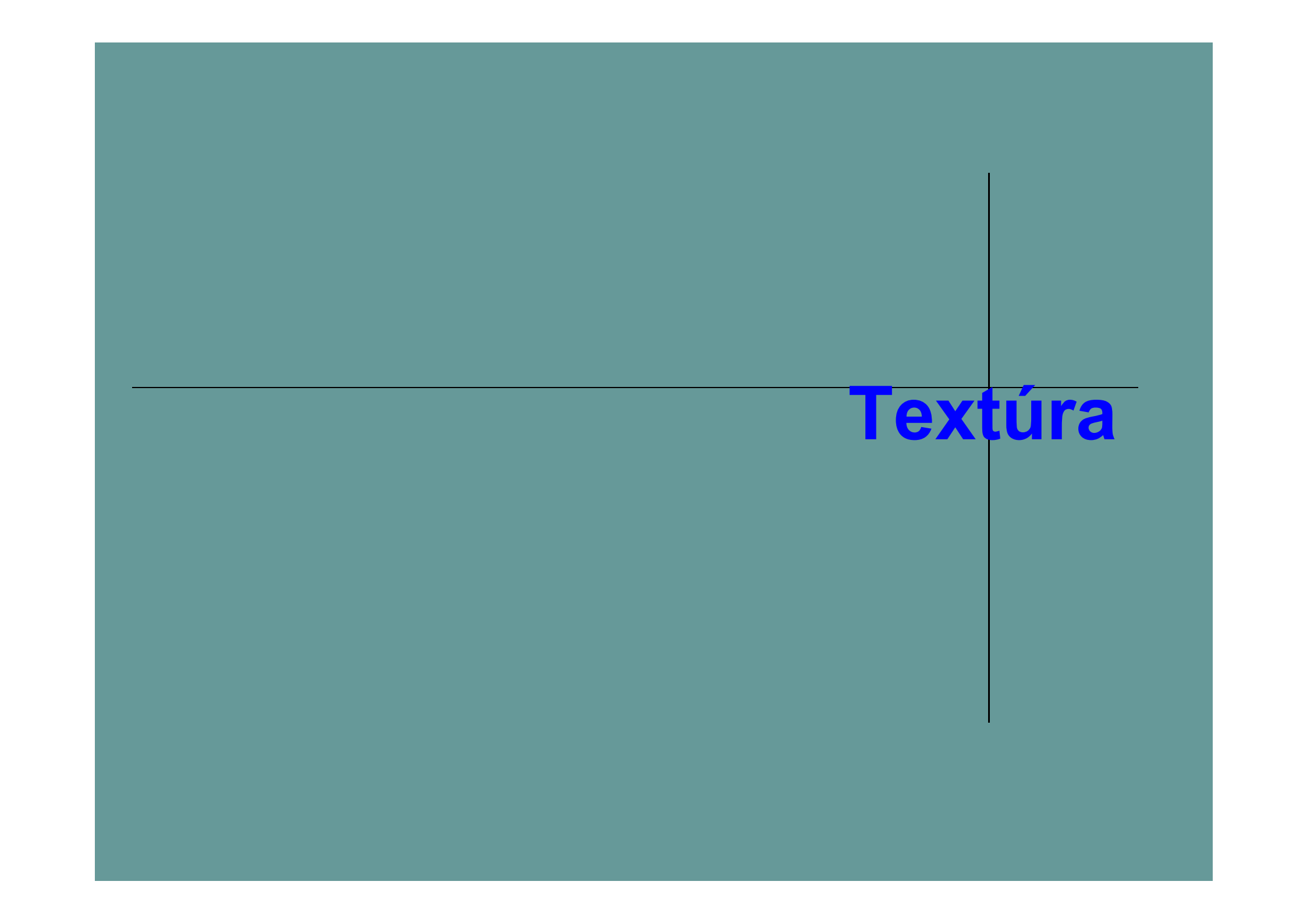


The image features a solid teal background. A black crosshair is centered on the page, consisting of a horizontal line and a vertical line that intersect. The word "Textúra" is written in a bold, blue, sans-serif font, positioned to the right of the vertical line and slightly below the horizontal line.

Textúra

?

Könnyű az élt megtalálni

Mi lássunk élnek?

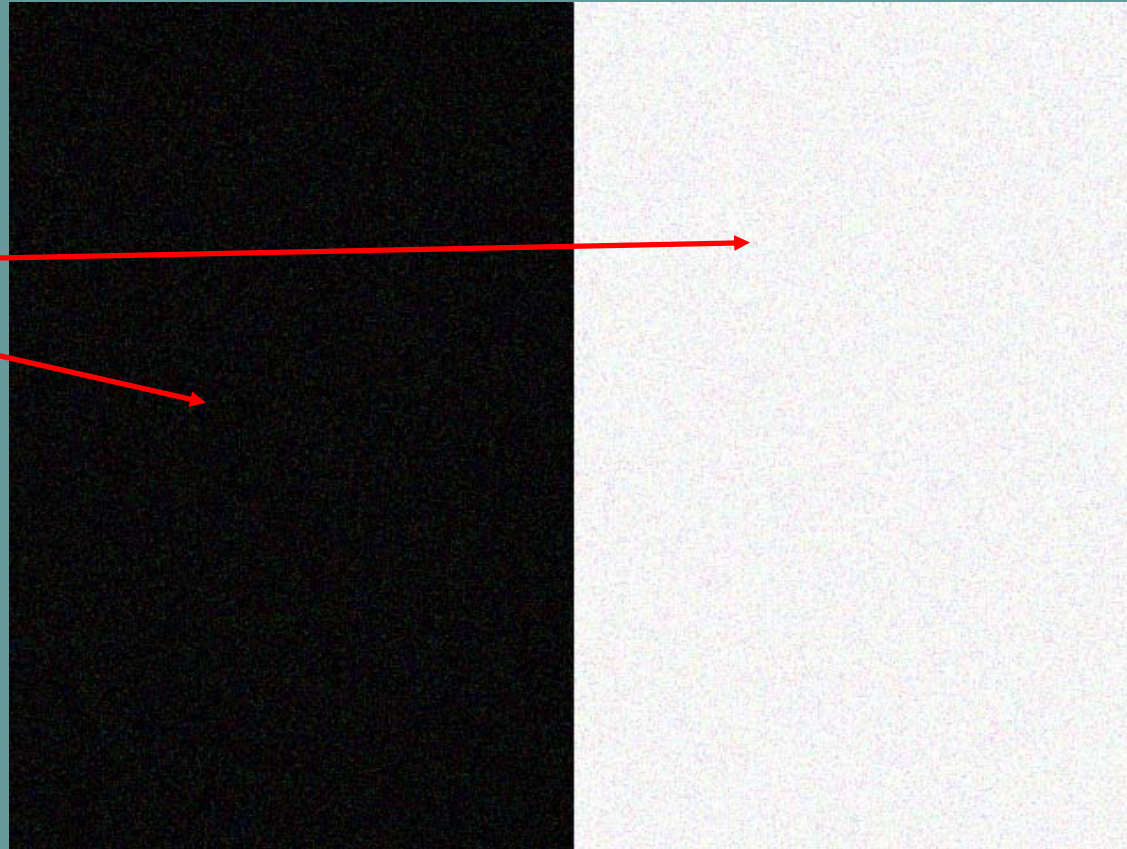
Mit lássunk élnék?



Hol van az él? Milyen vastag legyen?

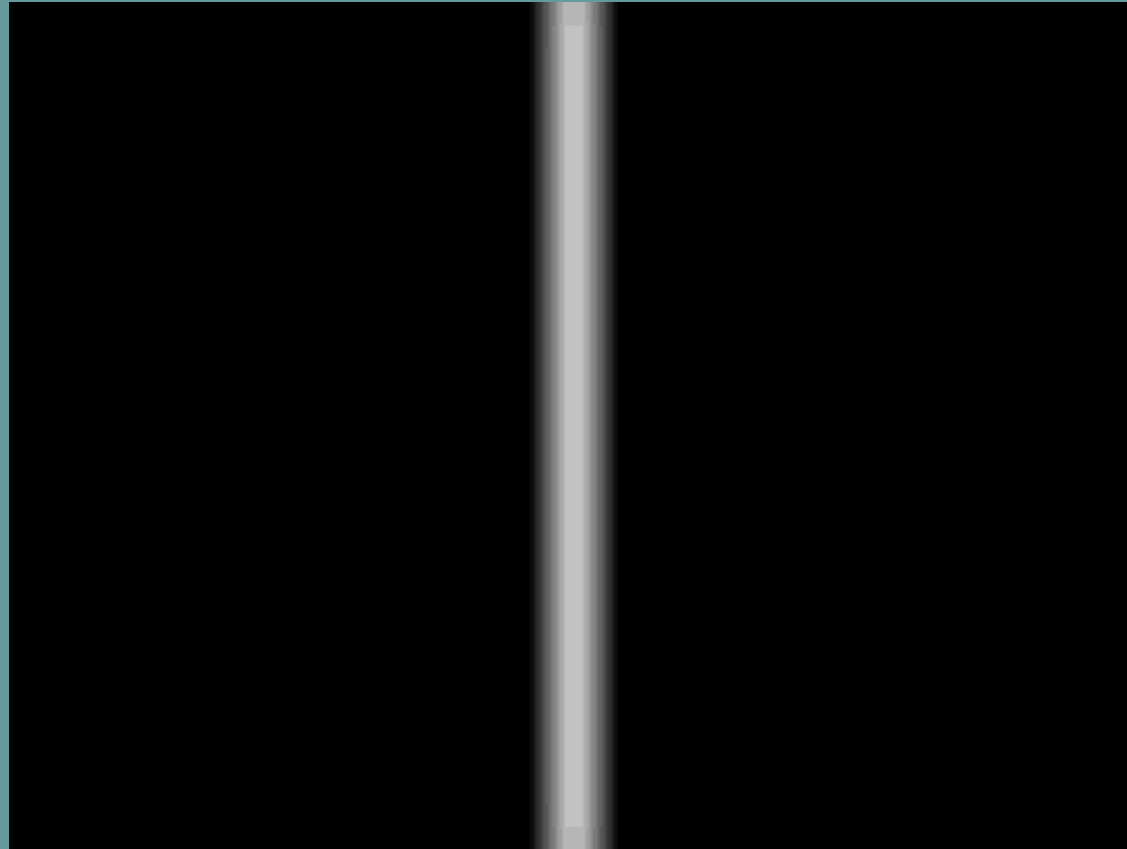
Mit lássunk élnék?

Zaj



A zajpontokat nem szabad az élpontokkal összekeverni

Mit lássunk élnék?



Egy vagy két él?

Mit lássunk élnék?



A textúrák határát ?

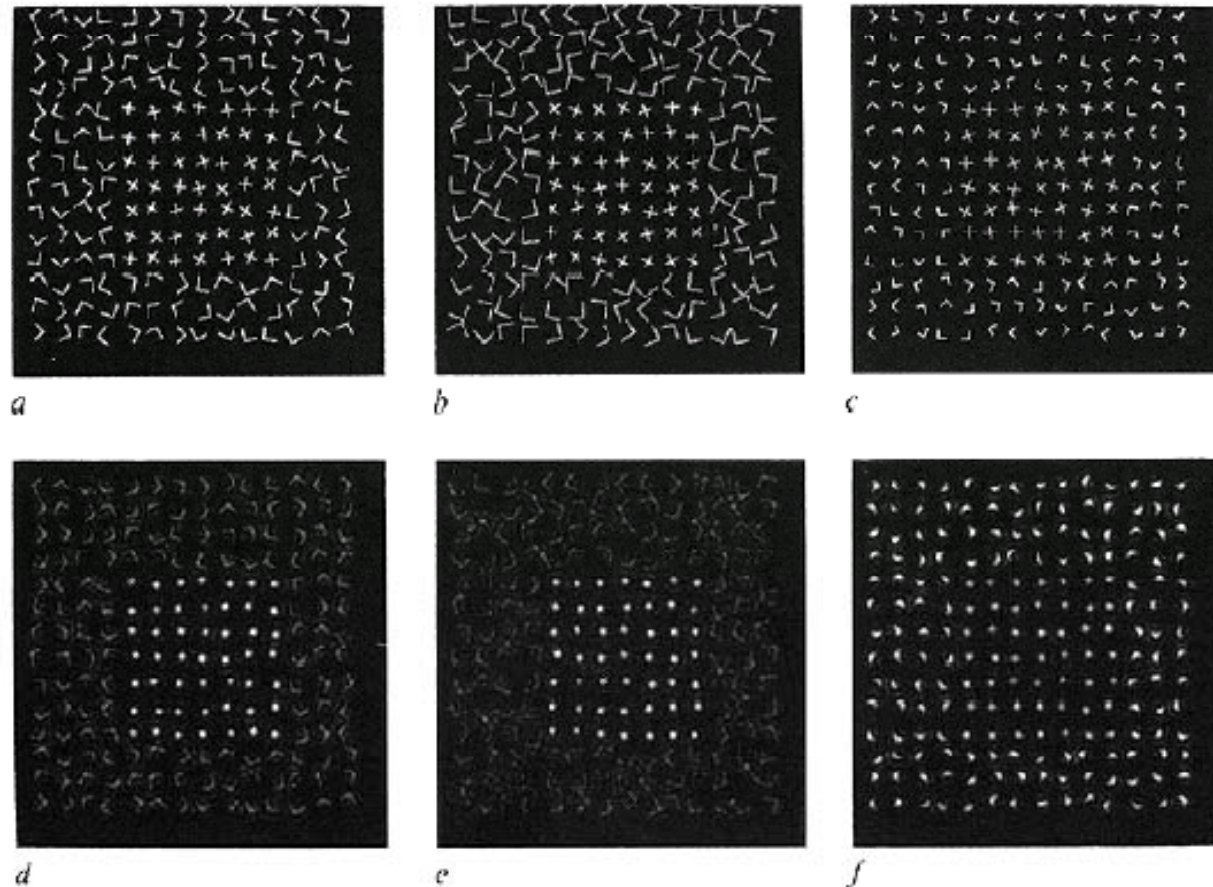
Textúra definíciói

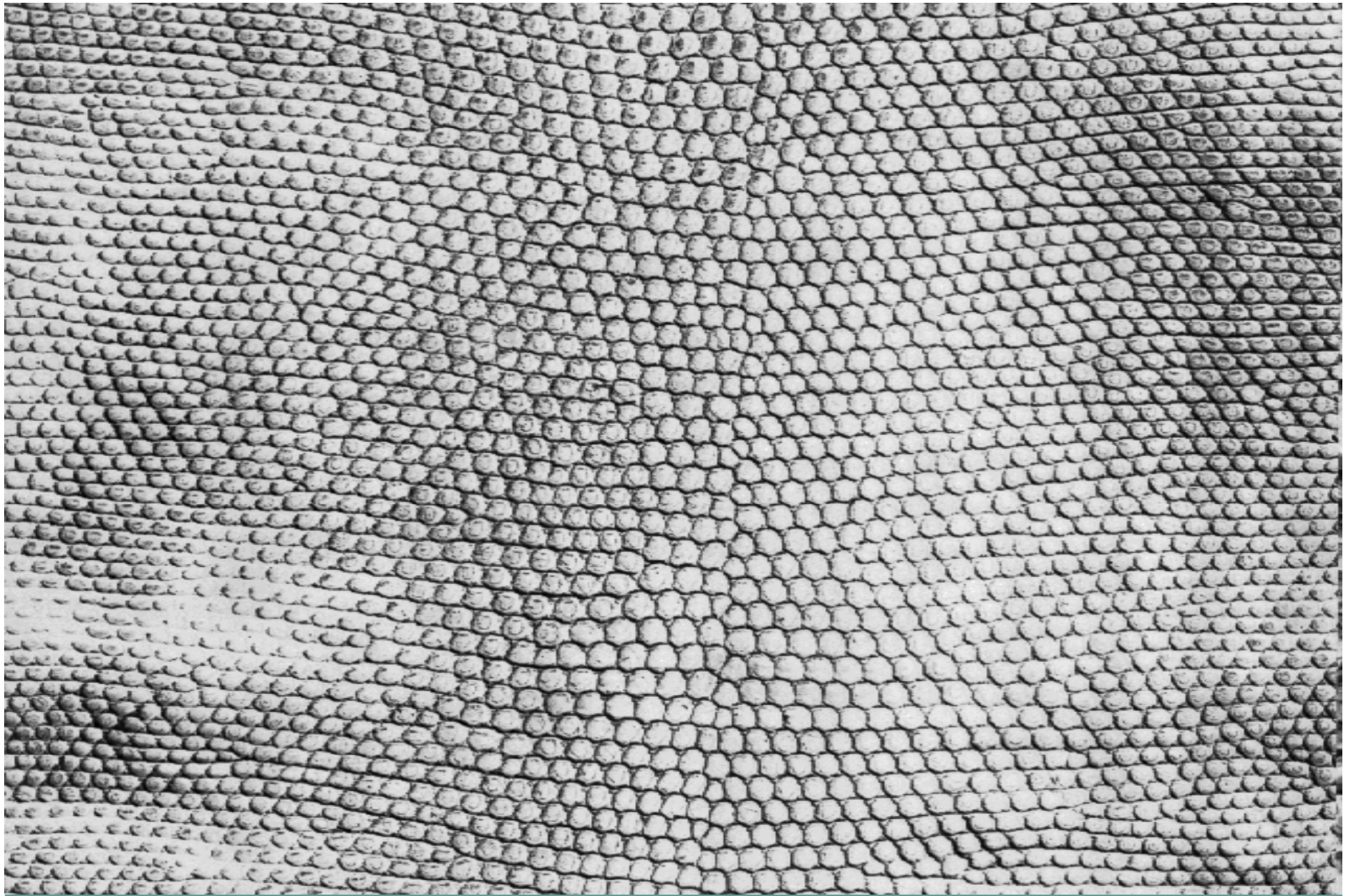
- Az emberi látás valamilyen statisztikai (in)homogenitást absztrahál a látványból, de annak pontos kvantitatív leírására legtöbbször képtelen

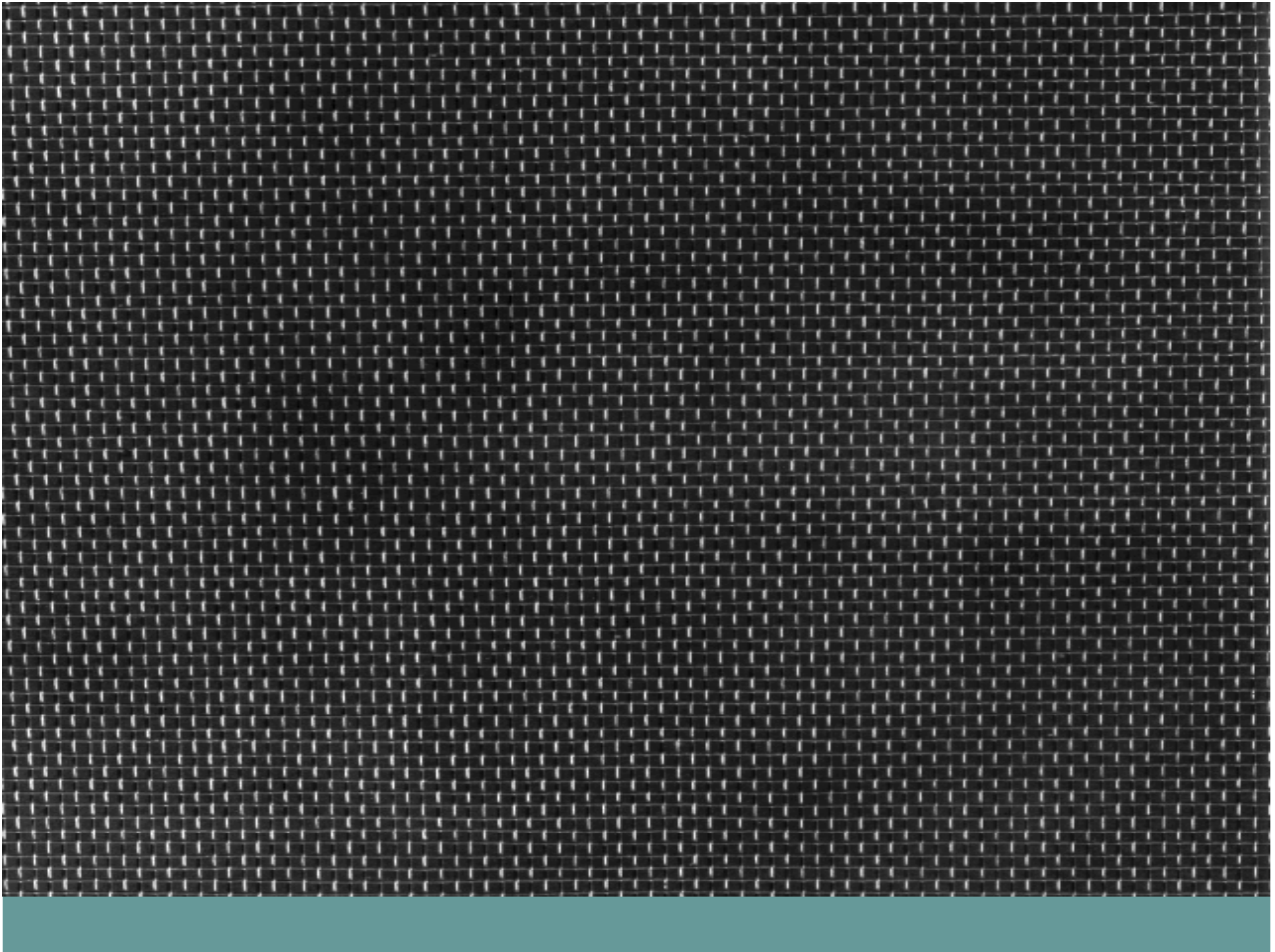
Textúrák emberi percepciója

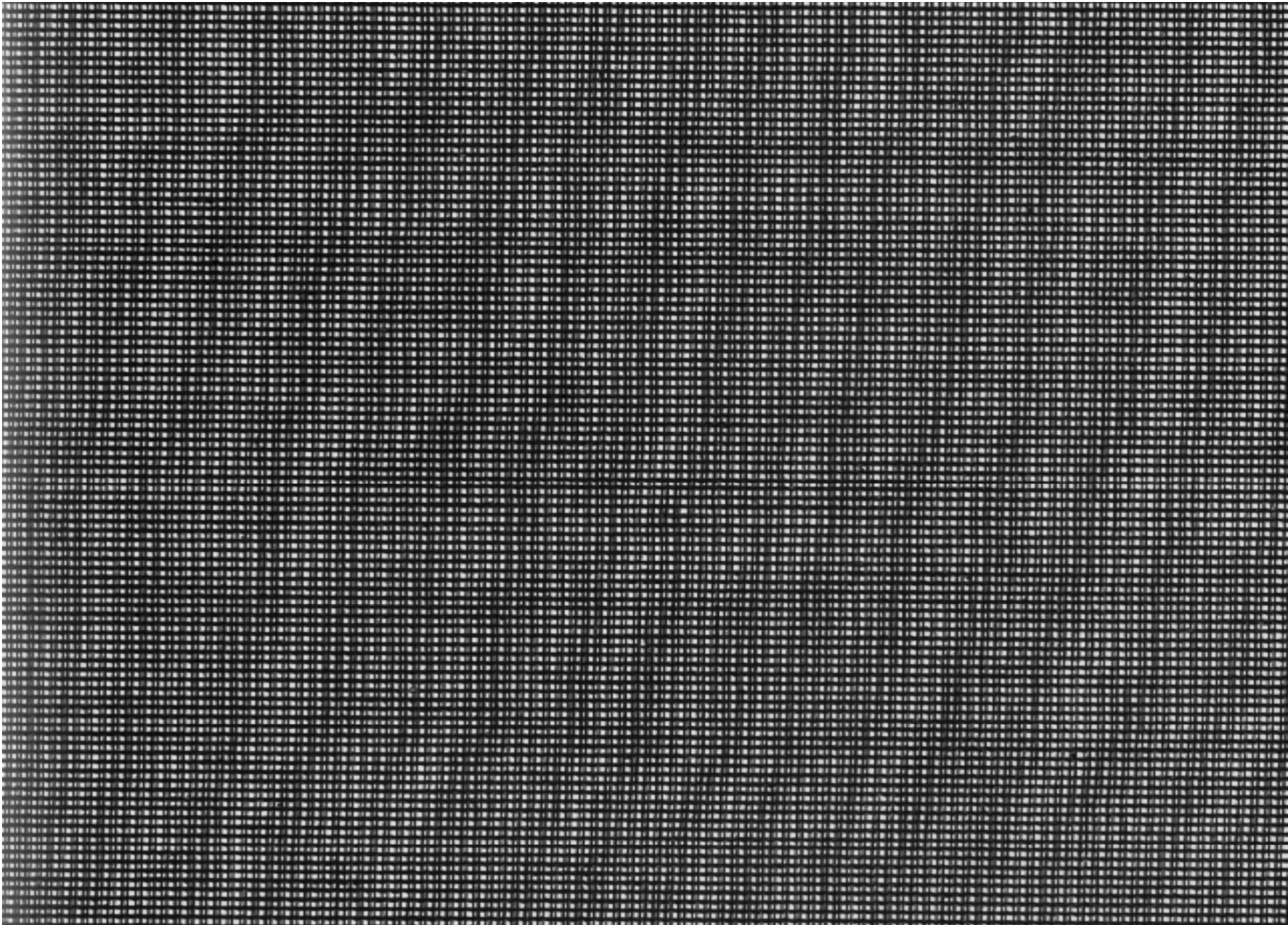
Bergen and Adelson, Nature 1988

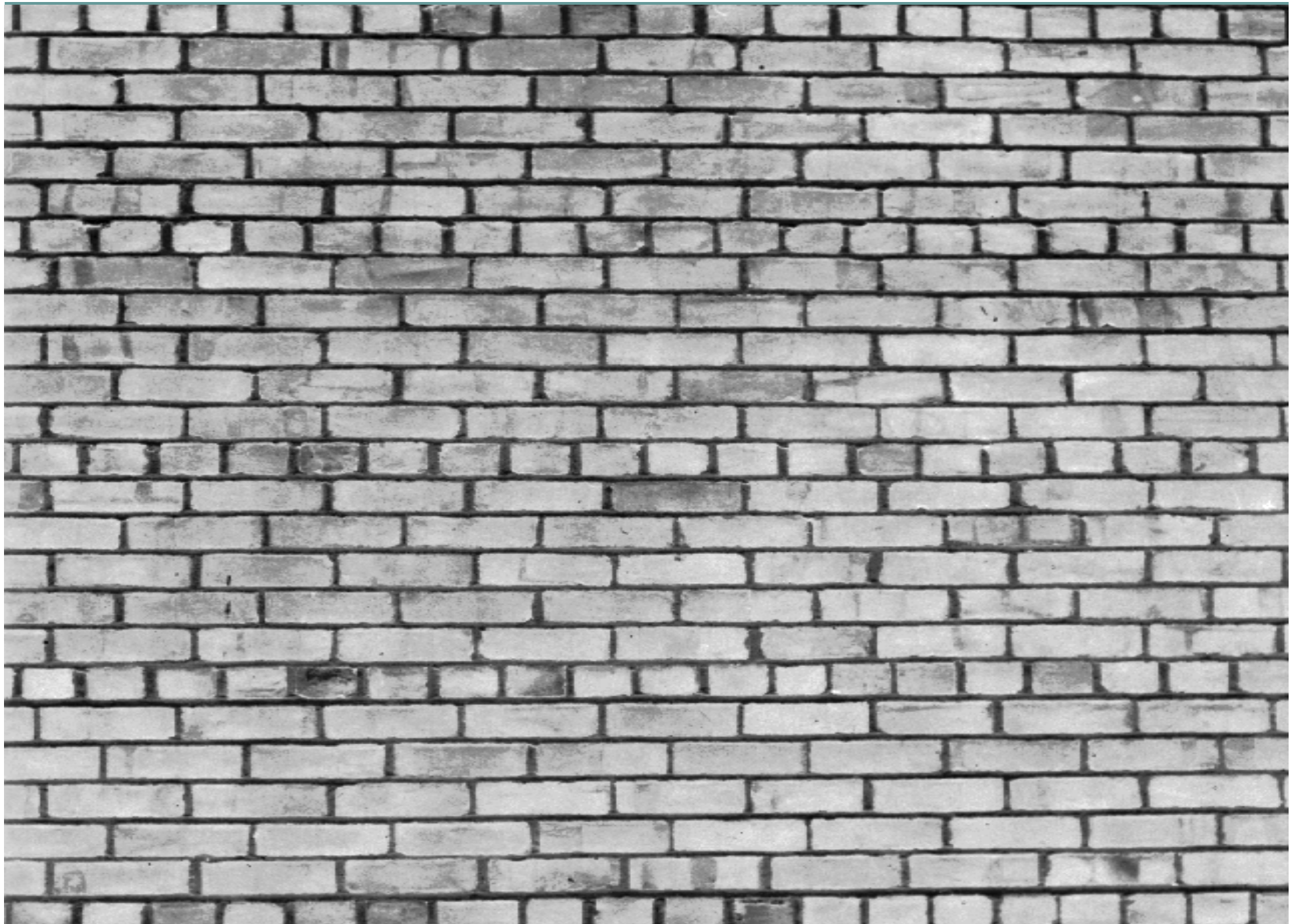
Fig. 1 *Top row.* Textures consisting of Xs within a texture composed of Ls. The micropatterns are placed at random orientations on a randomly perturbed lattice. *a.* The bars of the Xs have the same length as the bars of the Ls. *b.* The bars of the Ls have been lengthened by 25%, and the intensity adjusted for the same mean luminance. Discriminability is enhanced. *c.* The bars of the Ls have been shortened by 25%, and the intensity adjusted for the same mean luminance. Discriminability is impaired. *Bottom row:* the responses of a size-tuned mechanism *d*, response to image *a*; *e*, response to image *b*; *f*, response to image *c*.



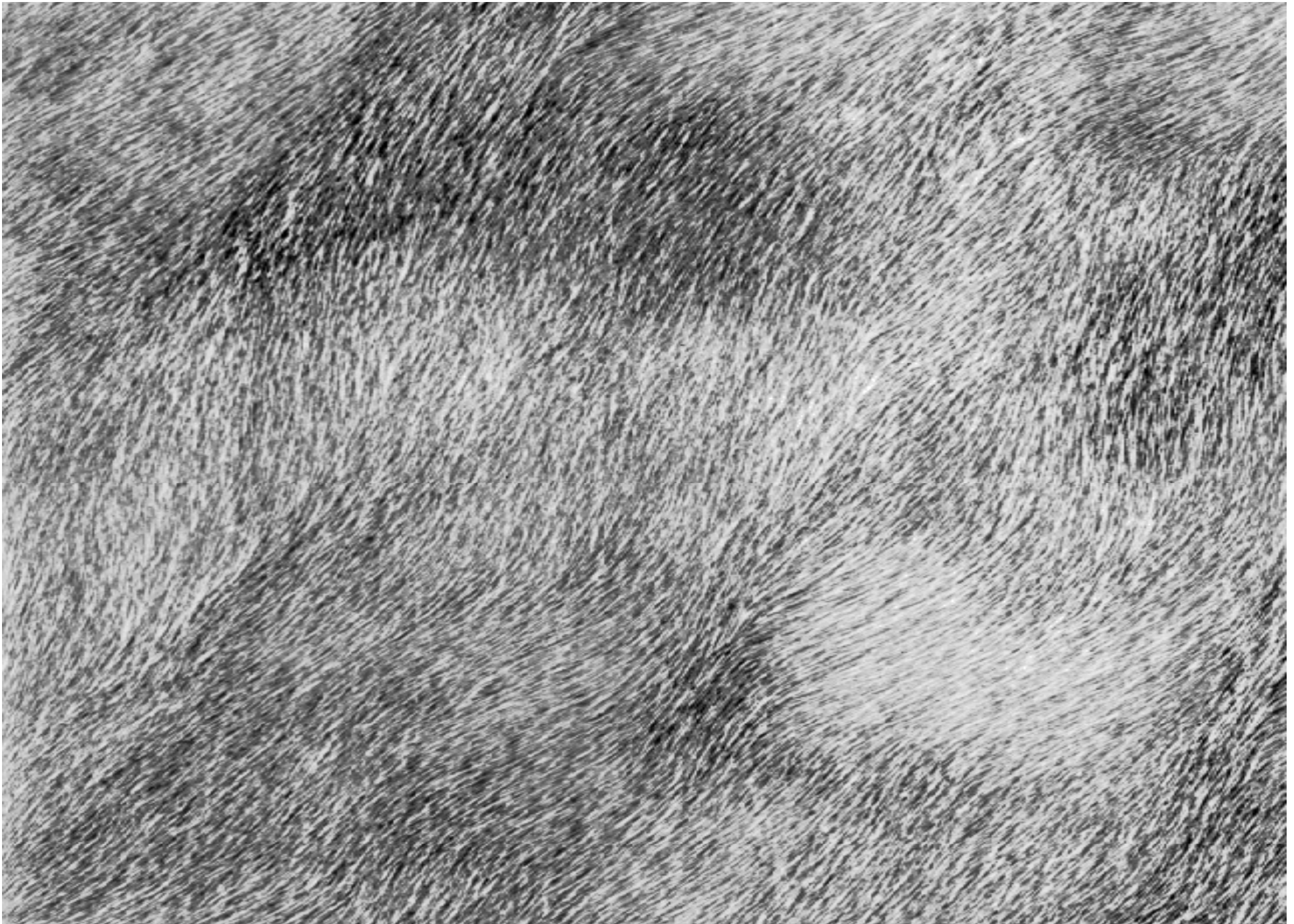








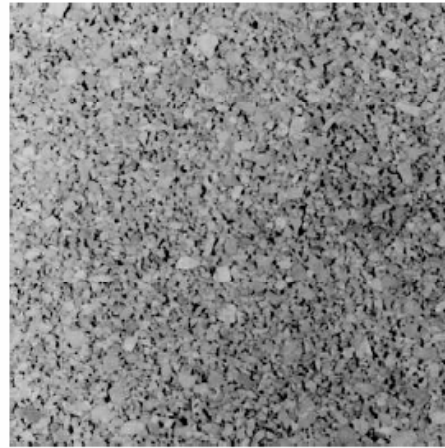




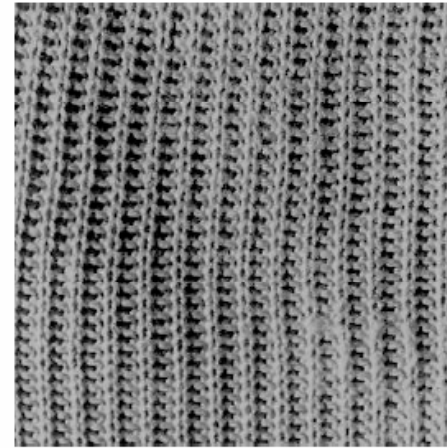
„Nyilvánvalóan” különböző textúrák



(b)



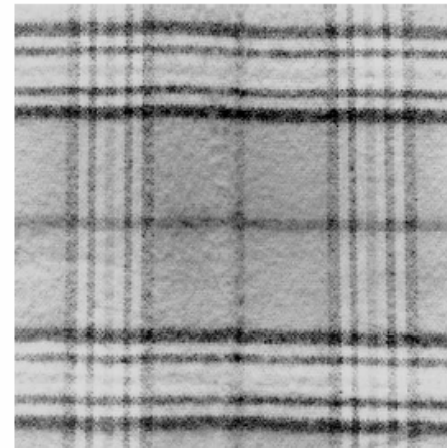
(d)



(a)



(c)



Textúra

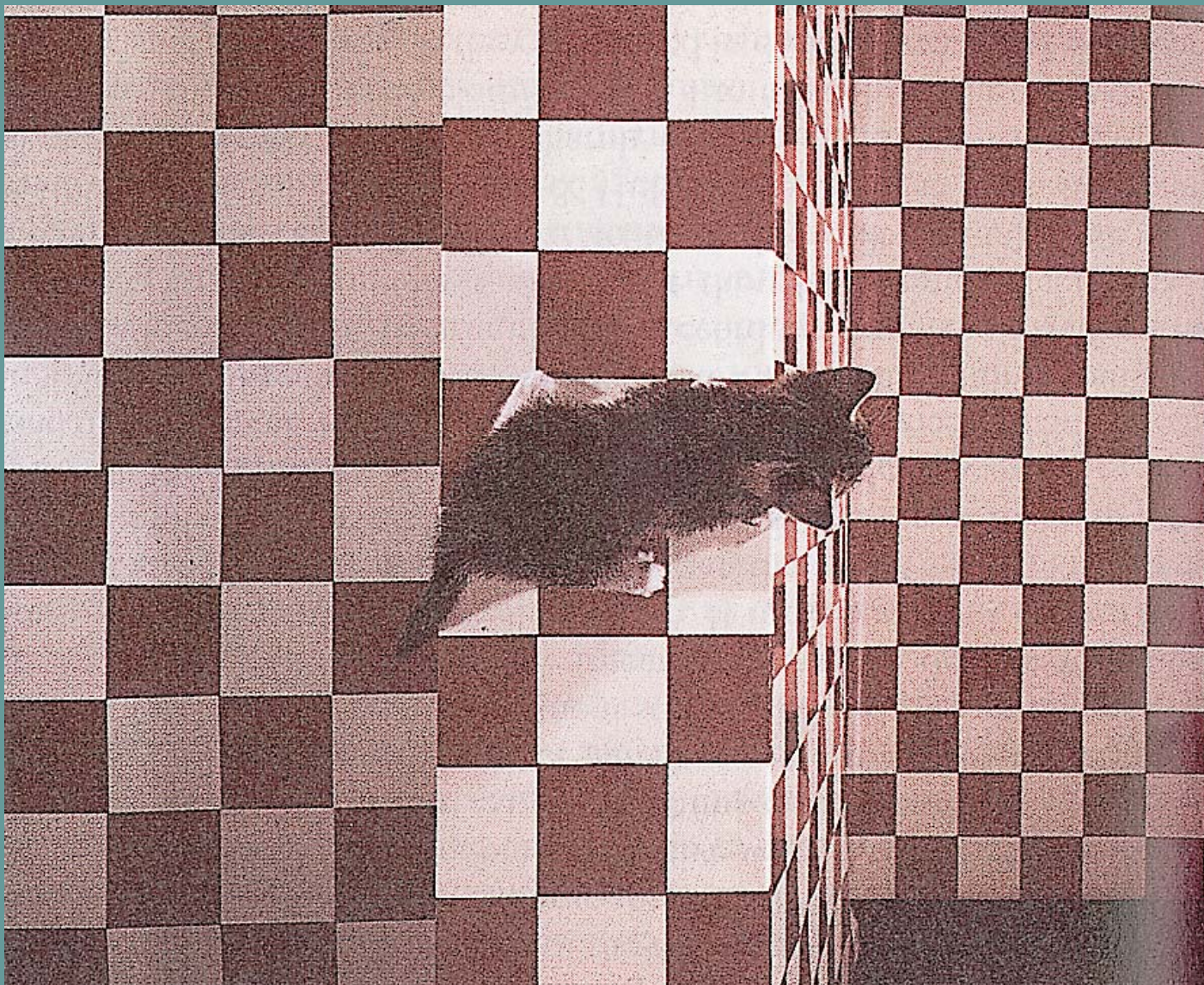
- Mi az hogy textúra?
- Hogyan detektáljunk releváns információt a textúrán?
- Hogyan mérjük textúra jellemzők nagyságát?
- Mire használható?

Textúra

- Jelenség, ami elterjedt (szinte minden látványon jelen van) – orientációt, 3D térbeliséget, felületi minőséget, stb. mutat
- könnyű létét megállapítani, de nehéz mibenlétét definiálni



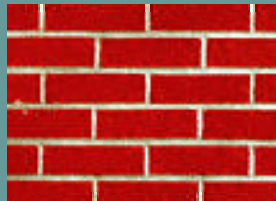
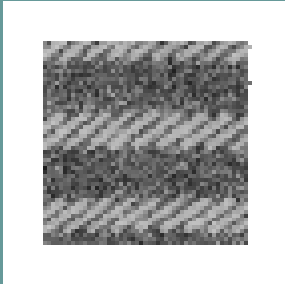
Alak és textúra - együtt



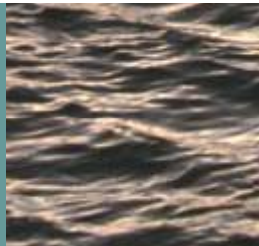
Mi az hogy textúra?

- Nincs pontos, egyértelmű definíció
- Gyakran a képen található információkat **alak és textúra** jellemzőkre osztják
- Mi beszéljünk inkább együttes **struktúrákról**

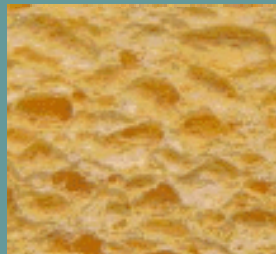
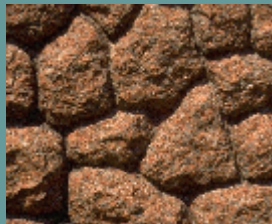
Mi az hogy textúra?



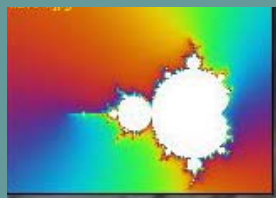
Ismétlődő struktúra



Sztochasztikus struktúra

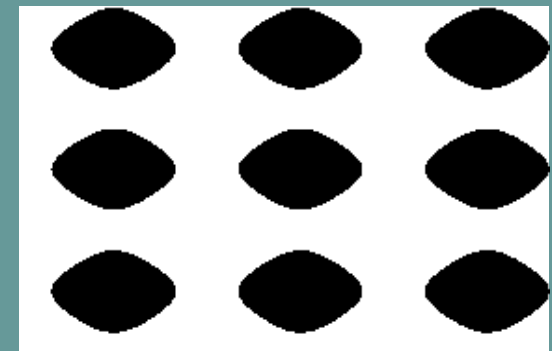
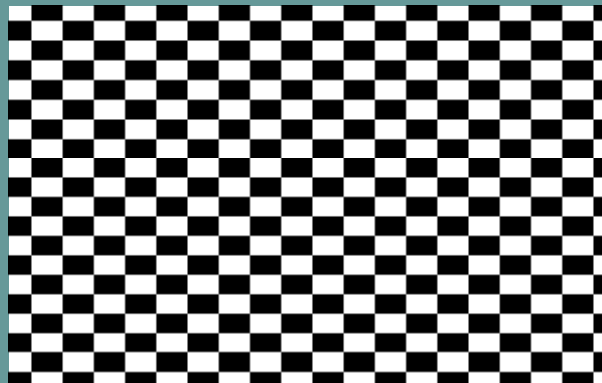


mindkettő



Fraktális jelleg

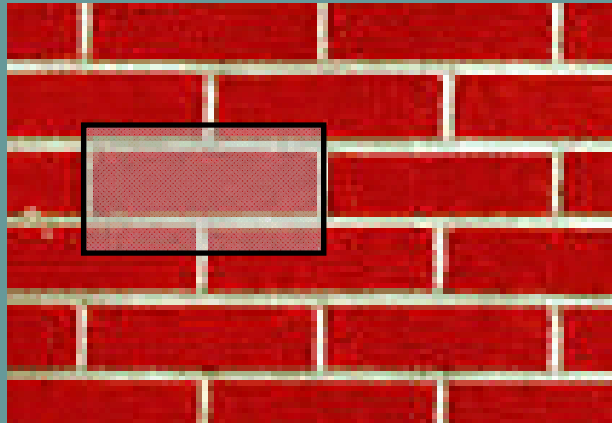
Determinisztikus textúra minták



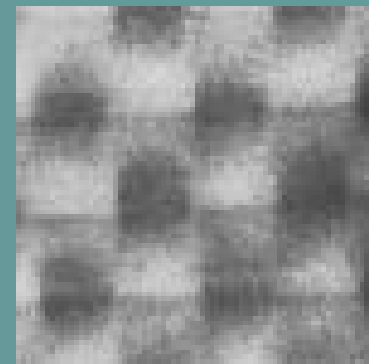
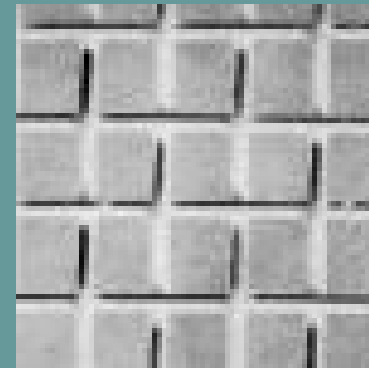
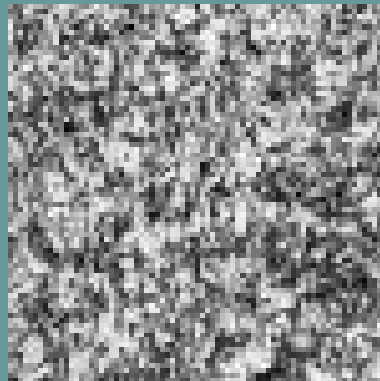
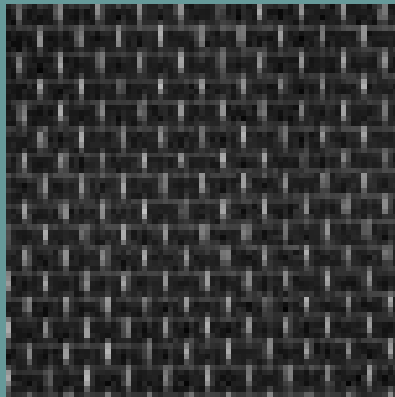
Statisztikus textúra minták



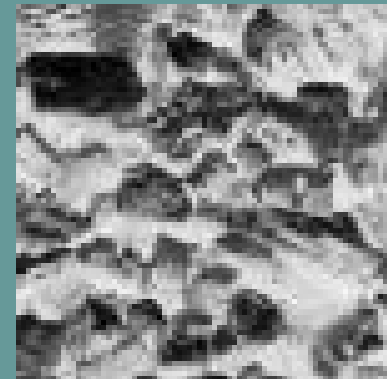
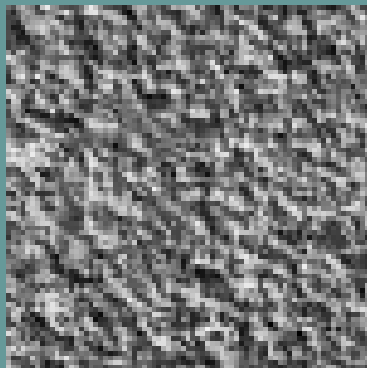
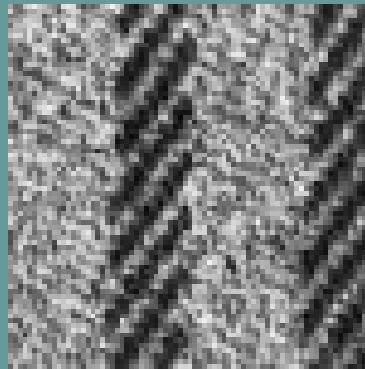
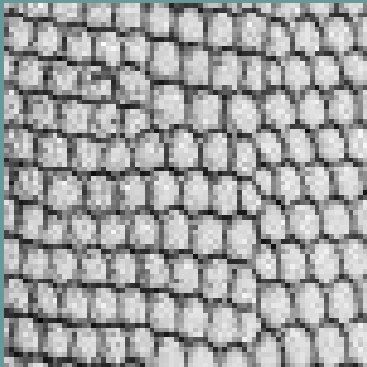
Periodikus textúrák



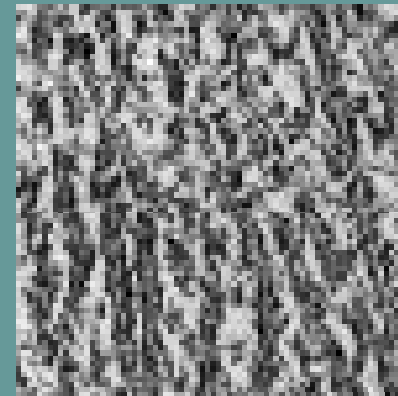
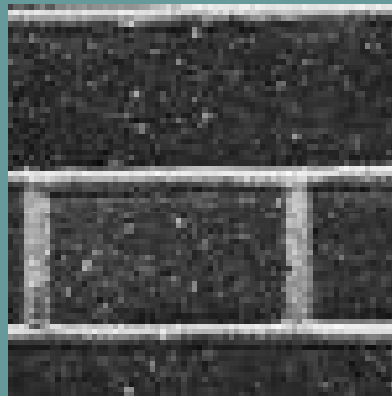
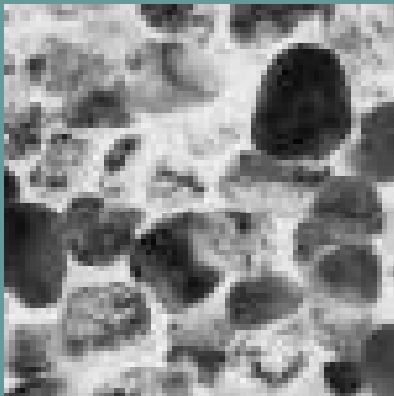
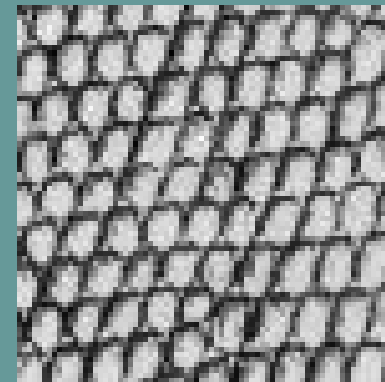
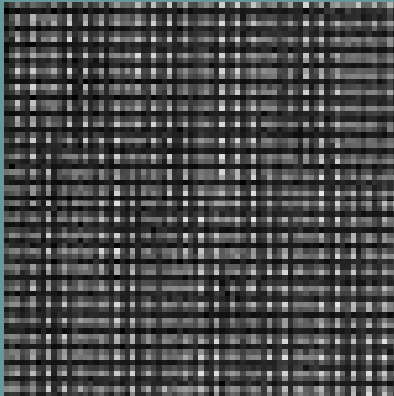
Brodatz féle referencia textúrák....



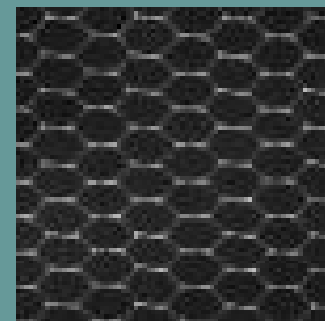
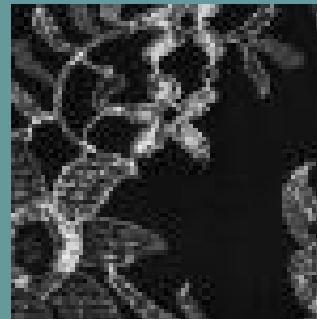
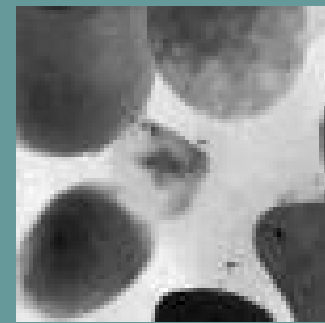
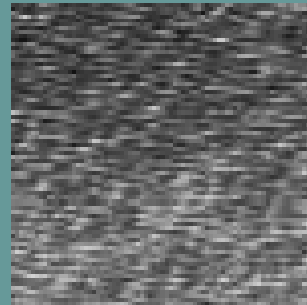
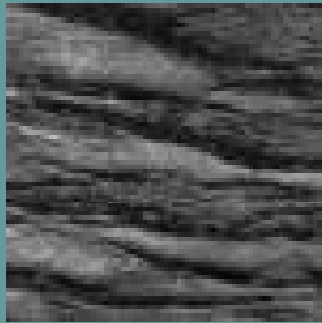
Brodatz féle referencia textúrák.....

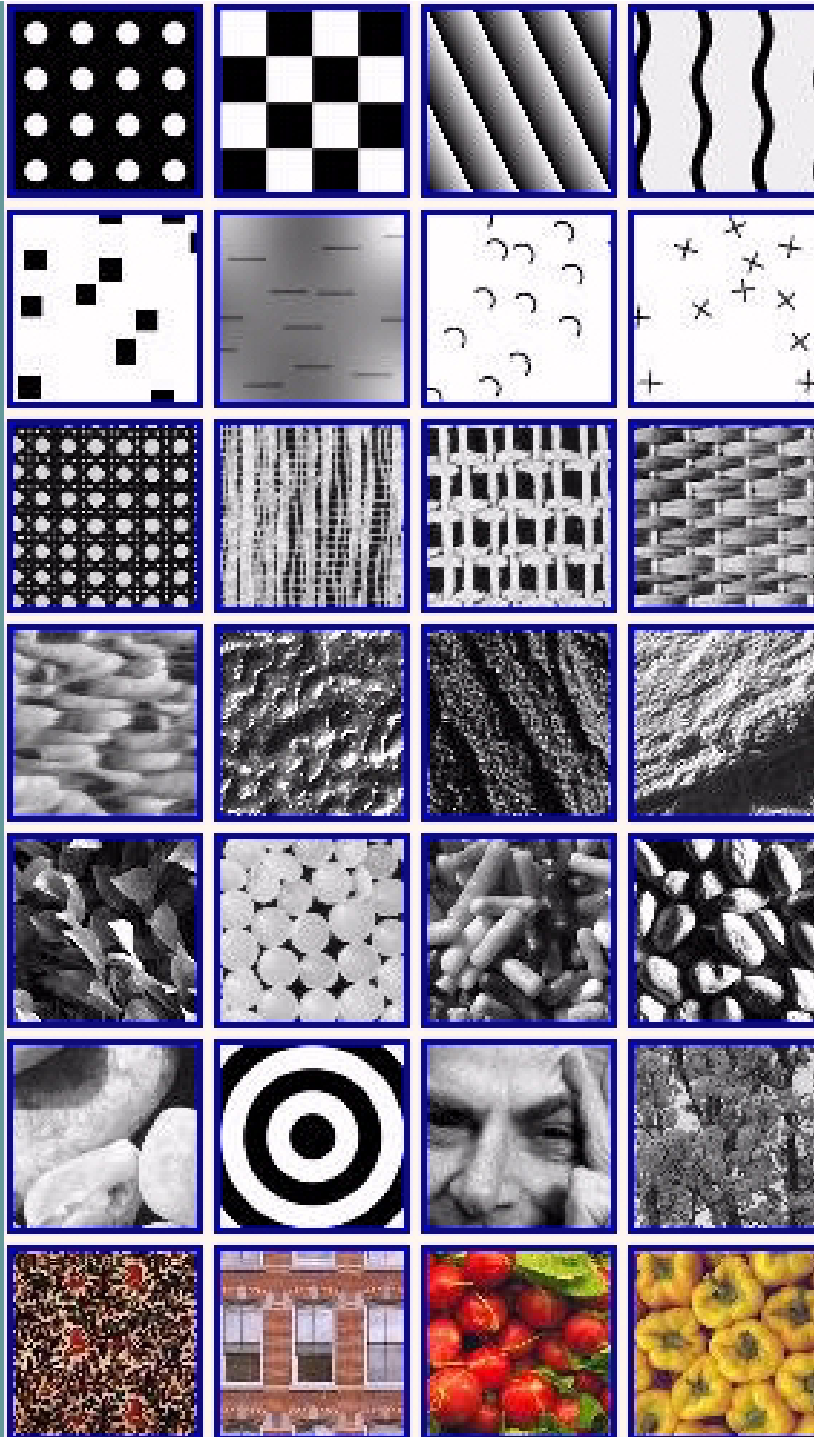


Brodatz féltreferencia textúrák.....



Brodatz féle referencia textúrák.....

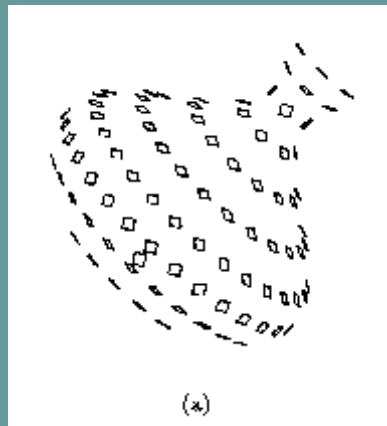




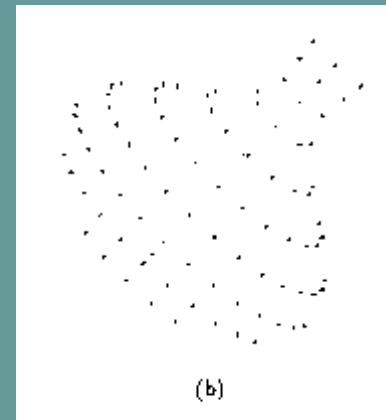
**Értelmezhető textúra
leírás: különböző
ismert algoritmikus
alapon lehetséges:**

- Statisztikai leírás
- Strukturális leírás
- ...

Néha a textúra önmagában szemléletesebb



Minta



Felületi normális

Textúrák leírása

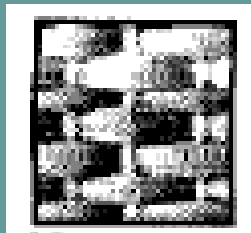
megfigyelés: textúrák ismétlődő elemekből állnak
(angolul: texel)

Textúra leíráshoz

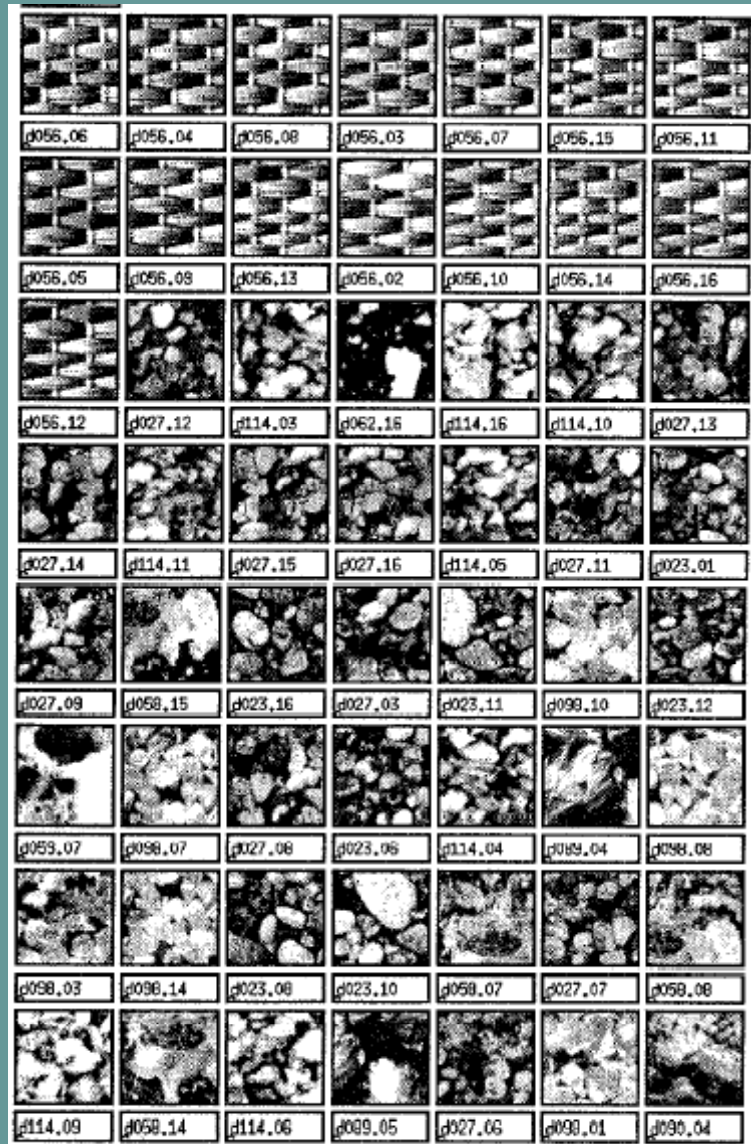
Meg kell találni a texeleket majd statisztikát kell csinálni

De milyen szűrőkkel?

Alkalmazás: Textúra-alapú keresés



Mintakép

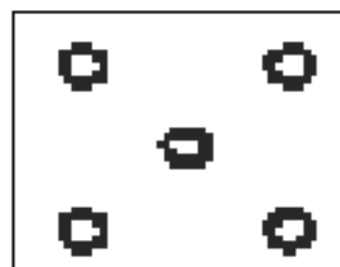


csökkenő
Hasonlóság
szerint
rendezve

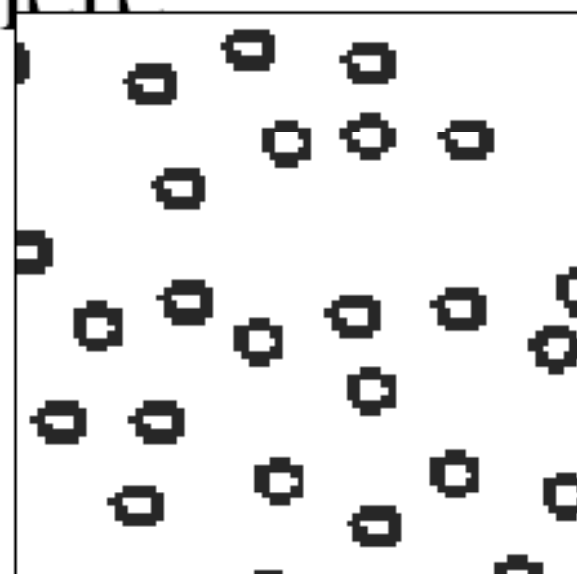


Texturing a sphere

Sample image



2D



3D

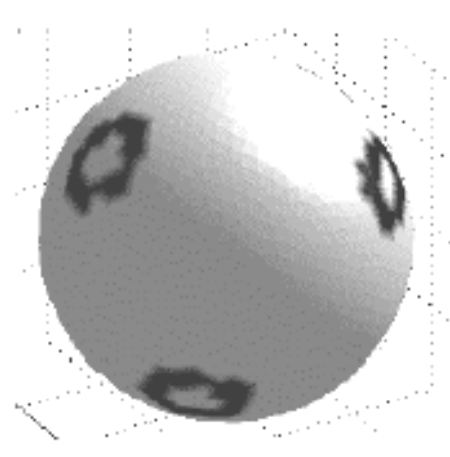
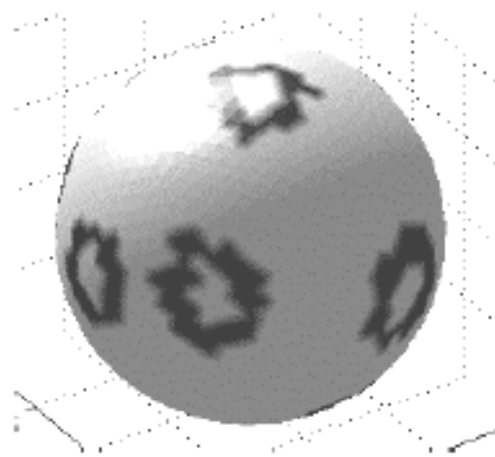
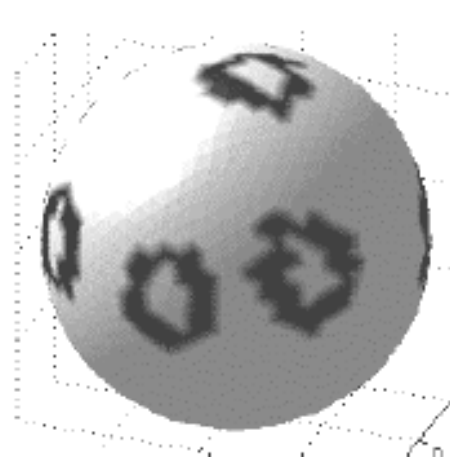
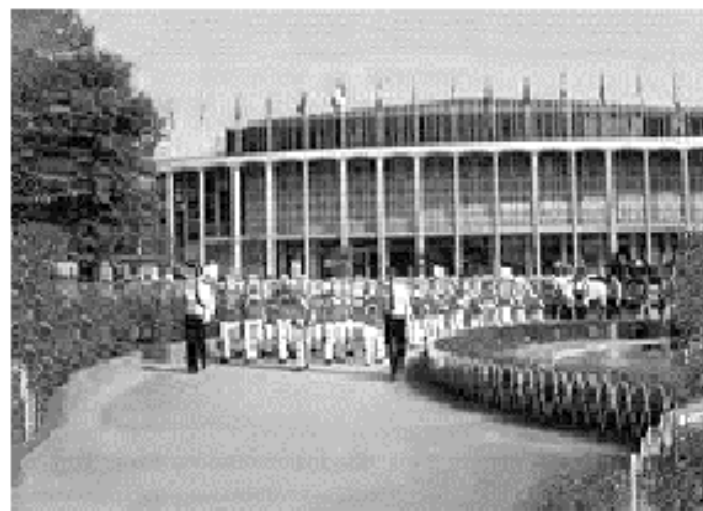
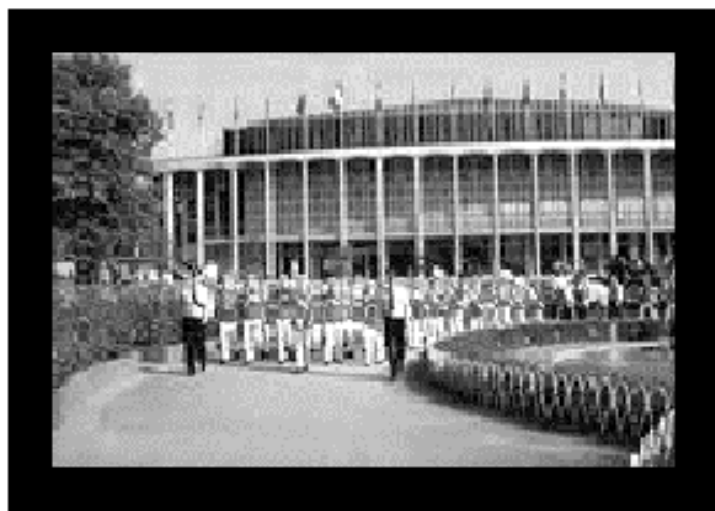


Image Extrapolation



Textúra alapú feladatok megfogalmazása

- több standard feladat van:

Szegmentálás (határok megkeresése)

Szintézis (kisméretű minták alapján
rágenerálás nagy térbeli felületekre)

„Shape from texture” (3D információ
visszaállítása textúra torzulásból)

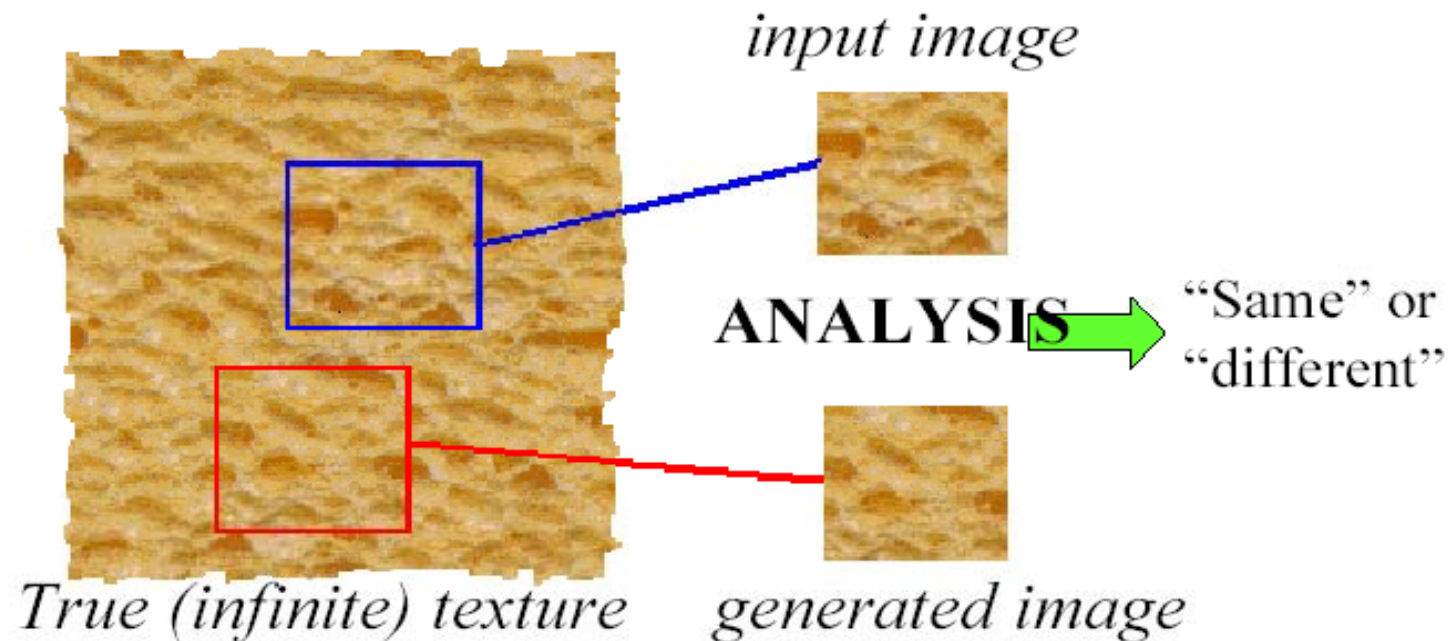
Képindeksálás – textúra azonosság alapján

....

Mindegyik feladat igényli a textúra leírását, de különböző nehézségűek

1. Textúrák megkülönböztetése (határok keresése)

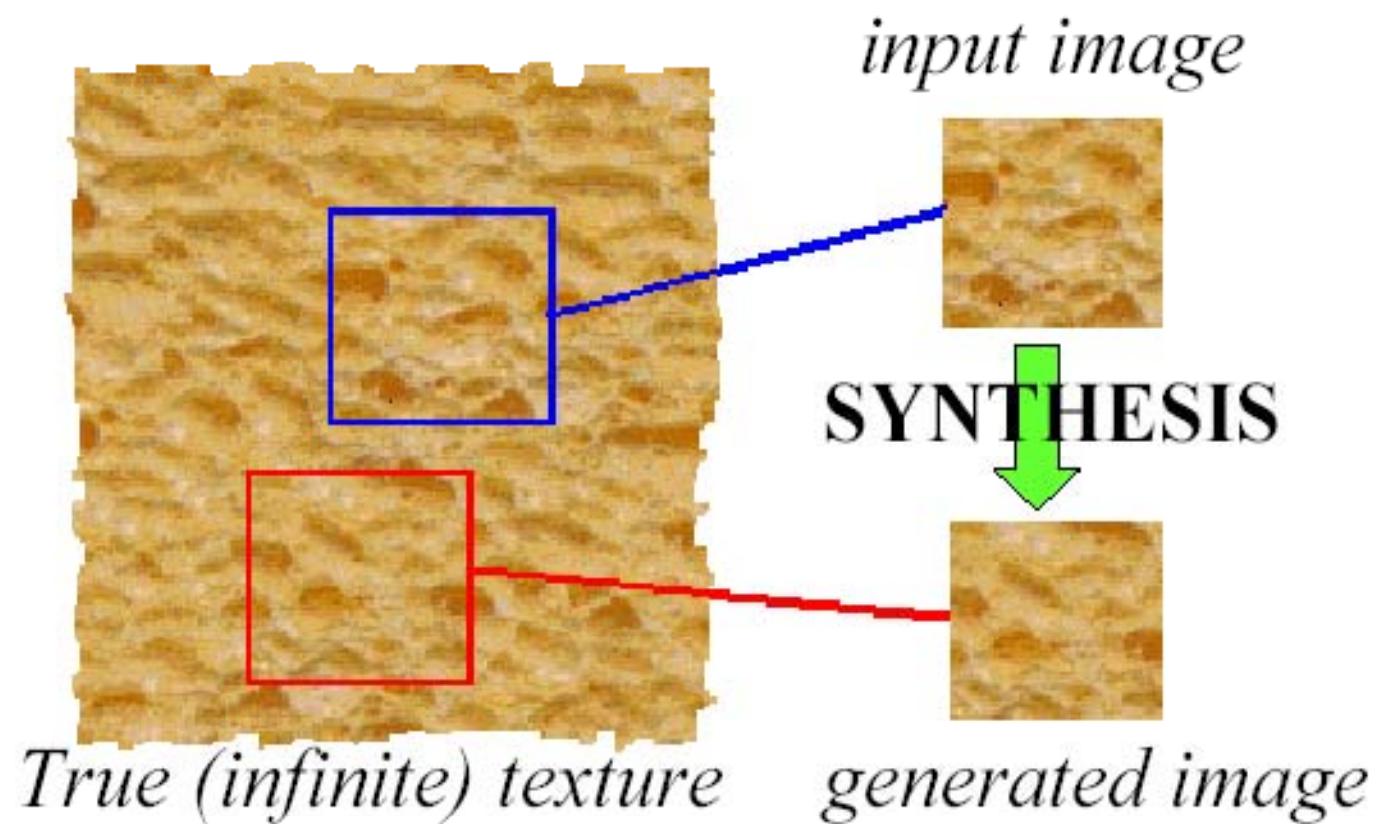
The Goal of Texture Analysis



Compare textures and decide if they’re made of the same “stuff”.

2) Szintézis (pl. grafika)

The Goal of Texture Synthesis



Több látszik mint csak az ismétlés



texel



Algoritmikus megközelítések

Algoritmikus háttér textúra jellemzők mérésére:

- Statisztikai jellemzők
- Spektrális jellemzők
- Strukturális jellemzők
- Derivative of Gaussian piramis
- Laplace piramis
- Difference of Gaussian piramis
- Irányfüggő szűrők alkalmazása
- ...

TEXTÚRA ANALÍZIS - STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

ELSŐRENDŰ STATISZTIKA

Egyetlen Pixelre

Hisztogramm adható meg



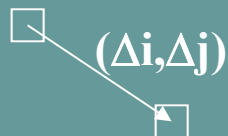
Előfordulás
(OCCURENCIA)



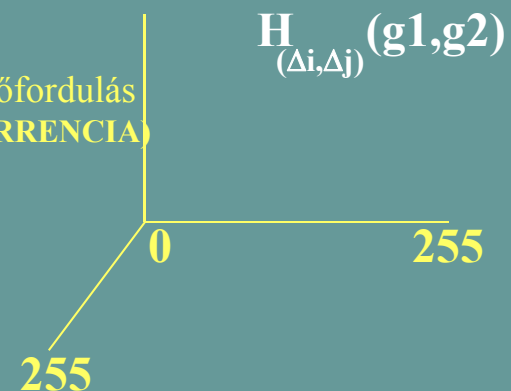
MÁSODRENDŰ STATISZTIKA

Két Pixelre

adott értékpár, adott távolság, adott irányban ...



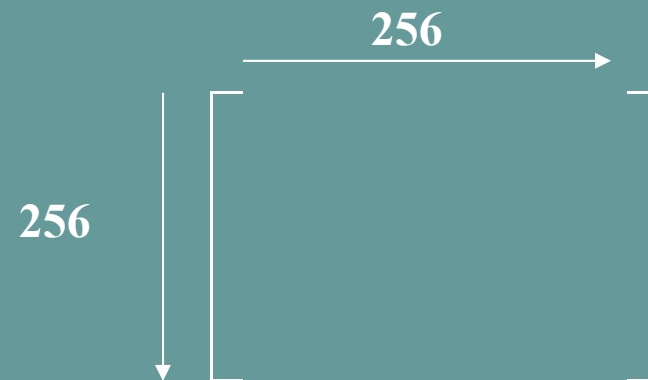
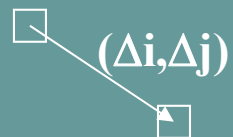
Együttes előfordulás
(CO-OCCURENCIA)



TEXTÚRA ANALÍZIS - STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

Másodrendű statisztika:

két pixel szürkeségi szint értékének
együttes előfordulása
megadott távolságra és irányban



8 bit /pixel kép esetén:
256 x 256 2D mátrixba
rendezhető a gyakoriság

TEXTÚRA ANALÍZIS – MÁSODRENDŰ STATISZTIKA JELLEMZŐI

Általában csak közeli pixelek között van kapcsolat: $(\Delta i, \Delta j)$
tipikusan kis értékre választandó $\in \{ (1,0), (0,1), (1,1) \}$

Általában a szint ugások is limitáltak ezen távolságon belül
pl 256 lehetséges szint esetén csak a 8 vagy kevesebb eltérést
reprezentáló mátrix elemeket vesszük figyelembe

Szimmetrikus the co-occurencia mátrixot kapunk a
transzponált mátrix hozzáadásával

$$C_{(\Delta i, \Delta j)}(g1, g2) = H_{(\Delta i, \Delta j)}(g1, g2) + H_{(\Delta i, \Delta j)}^T(g1, g2)$$

A valós pozitív szimmetrikus mátrix rotációs invariációval is bír

Példa: egy kép és co-occurencia mátrixai

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

$$P_{0^\circ,1} = \begin{vmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{vmatrix}$$

$$P_{135^\circ,1} = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{vmatrix}$$

CO-OCCURRENCIA MÁTRIXBÓL SZÁRMAZTATHATÓ TEXTÚRA MÉRTÉKEK

$$\sum_{a,b} P_{\phi,d}^2(a,b) \quad (13.4)$$

Energia

$$\sum_{a,b} P_{\phi,d}(a,b) \log_2 P_{\phi,d}(a,b) \quad (13.5)$$

Entrópia

$$\max_{a,b} P_{\phi,d}(a,b) \quad (13.6)$$

Maximális valószínűség

$$\sum_{a,b} |a - b|^\kappa P_{\phi,d}^\lambda(a,b) \quad (13.7)$$

Kontraszt

CO-OCCURRENCIA MÁTRIXBÓL SZÁRMAZTATHATÓ TEXTÚRA MÉRTÉKEK

$$\sum_{a,b;a \neq b} \frac{P_{\phi,d}^{\lambda}(a,b)}{|a-b|^{\kappa}} \quad (13.8)$$

Inverz momentum

$$\frac{\sum_{a,b} [(ab) P_{\phi,d}(a,b)] - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (13.9)$$

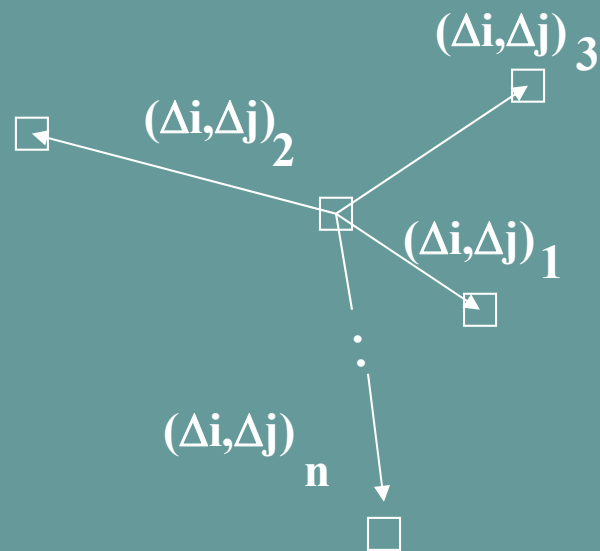
Korreláció

$$\begin{aligned} \mu_x &= \sum_a a \sum_b P_{\phi,d}(a,b) \\ \mu_y &= \sum_b b \sum_a P_{\phi,d}(a,b) \\ \sigma_x &= \sum_a (a - \mu_x)^2 \sum_b P_{\phi,d}(a,b) \\ \sigma_y &= \sum_b (b - \mu_y)^2 \sum_a P_{\phi,d}(a,b) \end{aligned}$$

Ahol a

Középérték és szórás az alábbi
alakban adható meg:

N-ed rendű statisztikák



N-dimenziós mátrix (lenne)
De túl számításigényes

Textúra analízis Fourier együtthatókkal

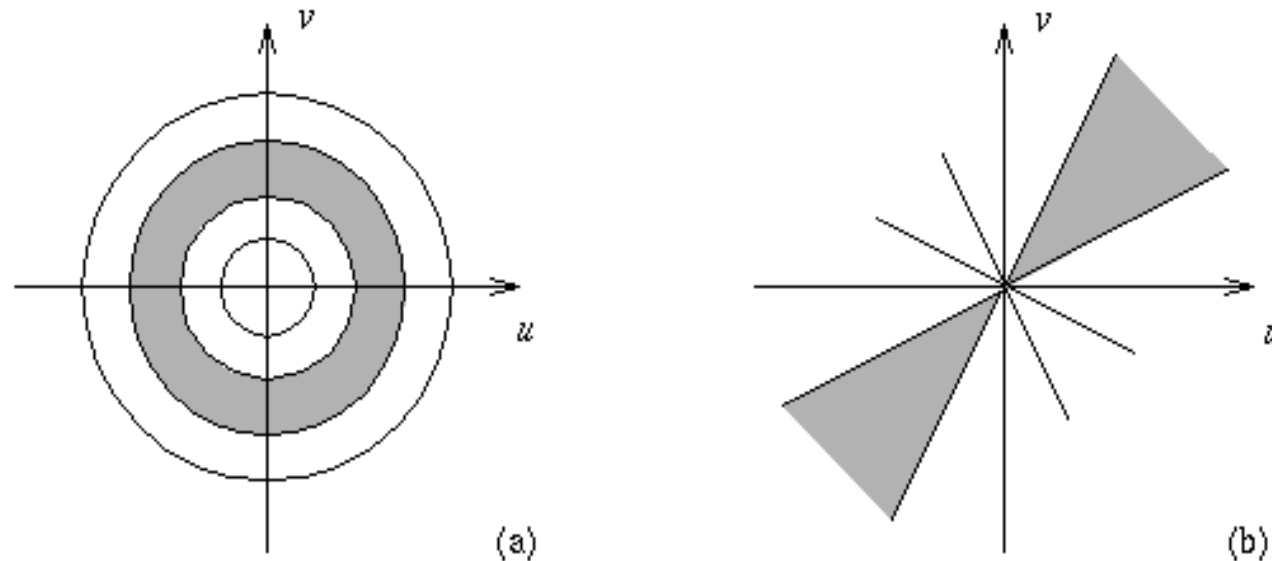


Figure 13.3 *Partitioning of Fourier spectrum: (a) Ring filter, (b) wedge filter reflecting the Fourier spectrum symmetry.*

Periodikusság: különböző frekvenciák energiájának meghatározása

Irányultság: frekvencia „cikkek” energiája

...

Textúra analízis futási hossz kódolással

$$K = \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} B(a, r) \quad (13.11)$$

$$\frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{B(a, r)}{r^2} \quad (13.12)$$

Definíciók:

- **B(a,r)** ... r hosszúságú a szintű primitívek száma minden irányban
 - **M, N** ... Kép dimenziója
 - **L** ... Szürkeségi szintek száma
 - **Nr** ... Maximális primitív hossz
 - **K** ... Primitívek száma
-

Rövidebb primitívek kiemelése

Textúra analízis futási hossz kódolással

$$\frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} B(a, r) r^2 \quad (13.13)$$

Hosszabb primitívek kiemelése

$$\frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \left(\sum_{r=1}^{N_r} B(a, r) \right)^2 \quad (13.14)$$

Szint uniformitás mértéke

Textúra analízis futási hossz kódolással

$$\frac{1}{K} \sum_{r=1}^{N_r} \left(\sum_{a=1}^L B(a, r) \right)^2 \quad (13.15)$$

- Hossz uniformitás mértéke

$$\frac{K}{\sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} B(a, r)} = \frac{K}{MN} \quad (13.16)$$

- Primitív arány

Strukturális leírás

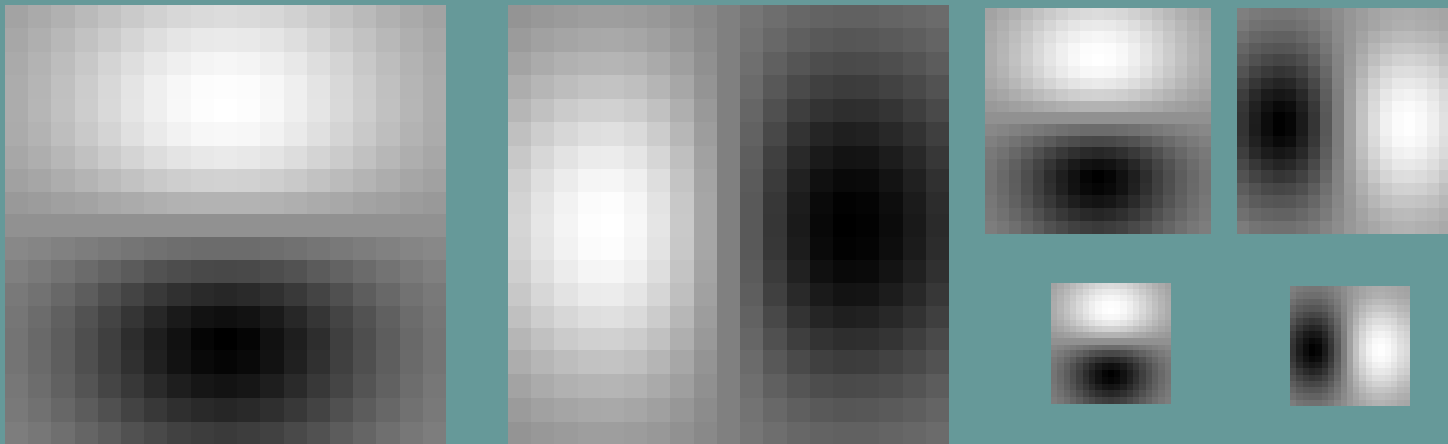
Ha a textúra valamilyen szabályosságot követ:

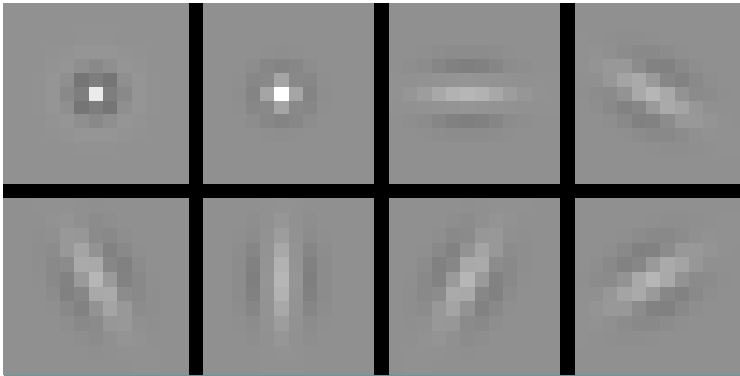
1. Primitívek diszkriminálása
2. „String”-ek generálása
3. Szegmentálás / osztályozás

A nyelvtan „megtanulása” a legnehezebb

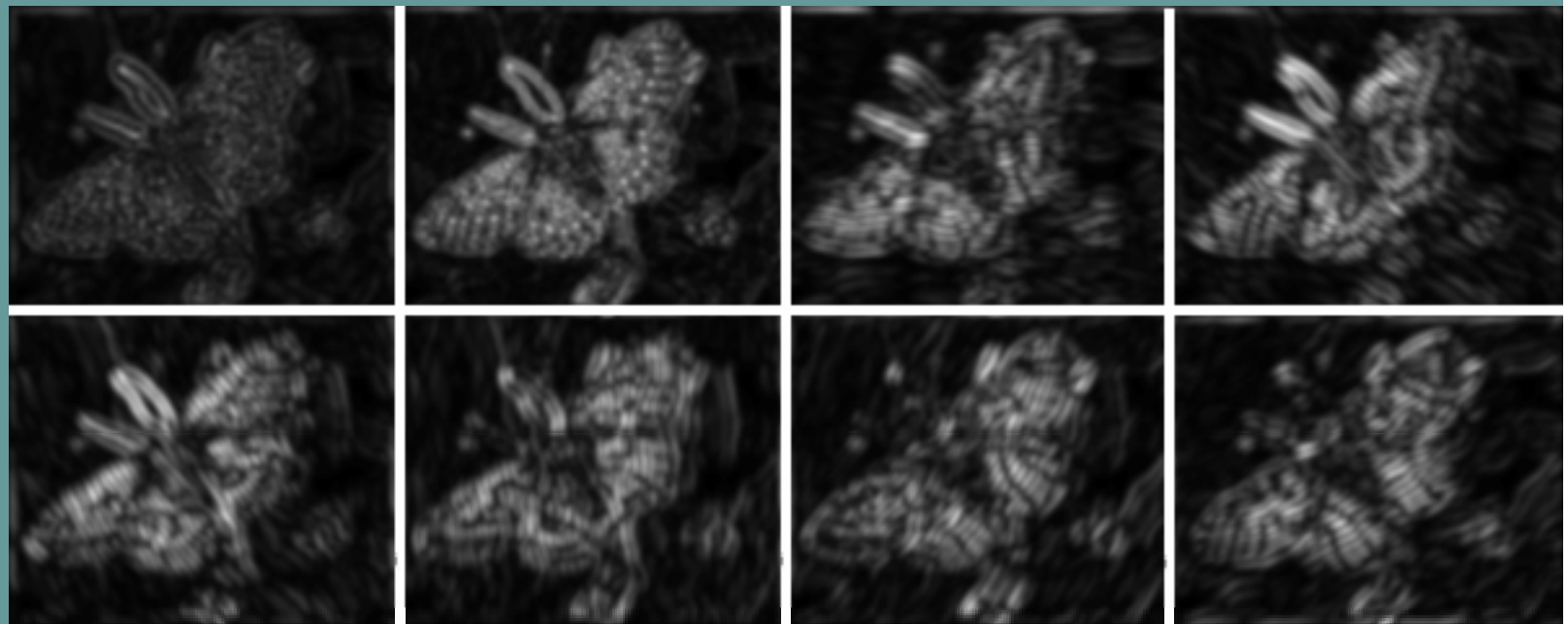
Derivative of Gaussian

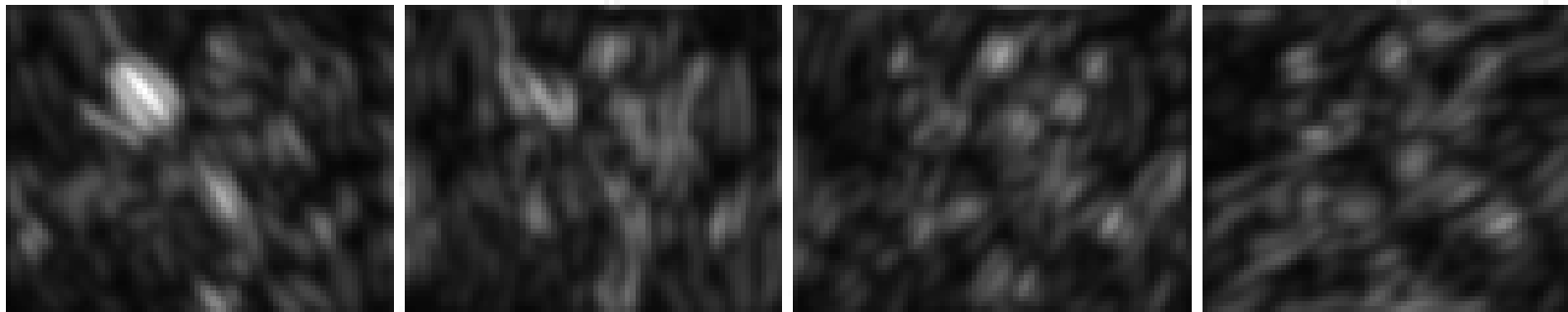
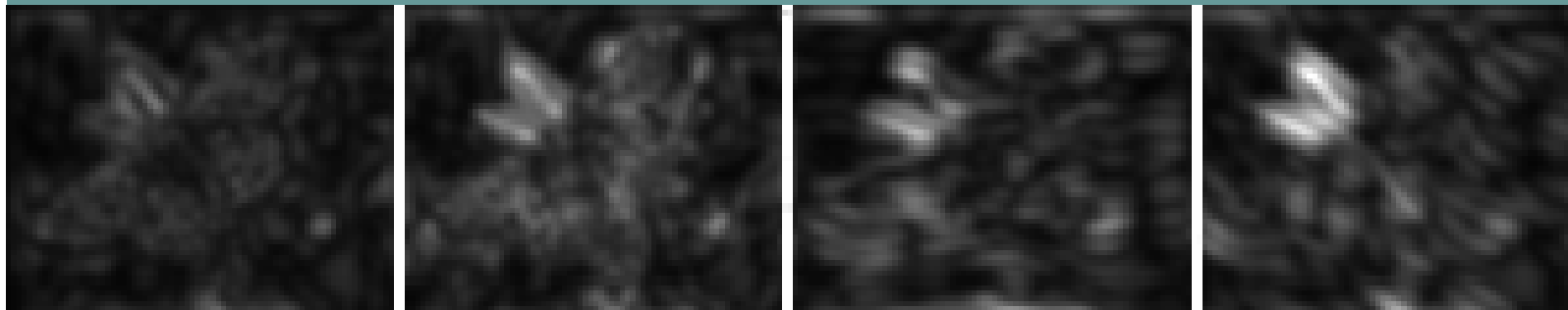
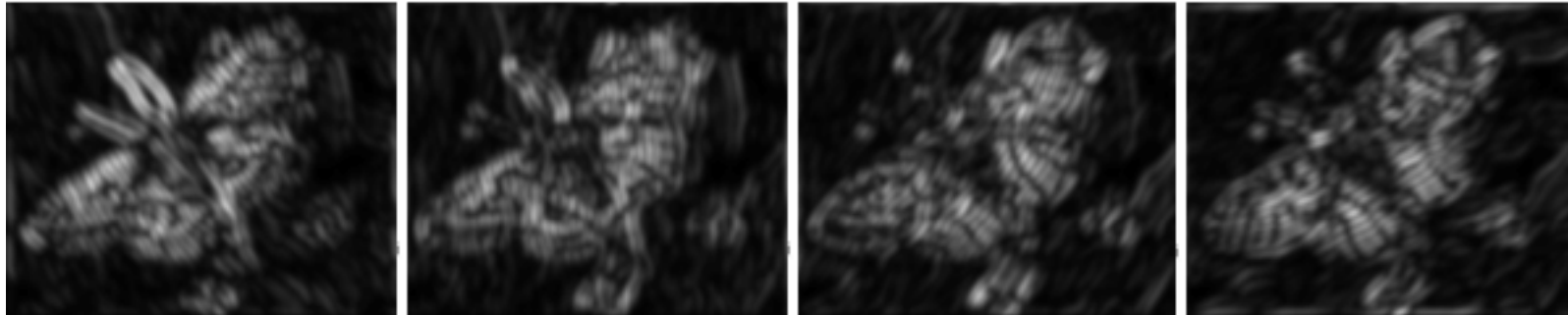
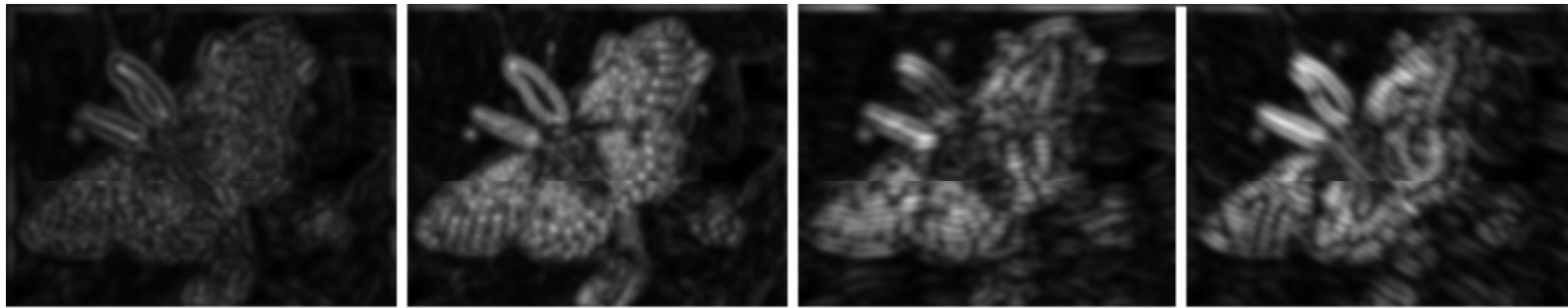
Mérni a gradiens nagyságát és irányát különböző skálázásnál (piramis módszer)





Írányfüggő szűrők alkalmazása
(Malik & Perona, 1990)





Laplace vagy Difference of Gaussian Piramist építsünk?

Laplacian piramis építése helyett:

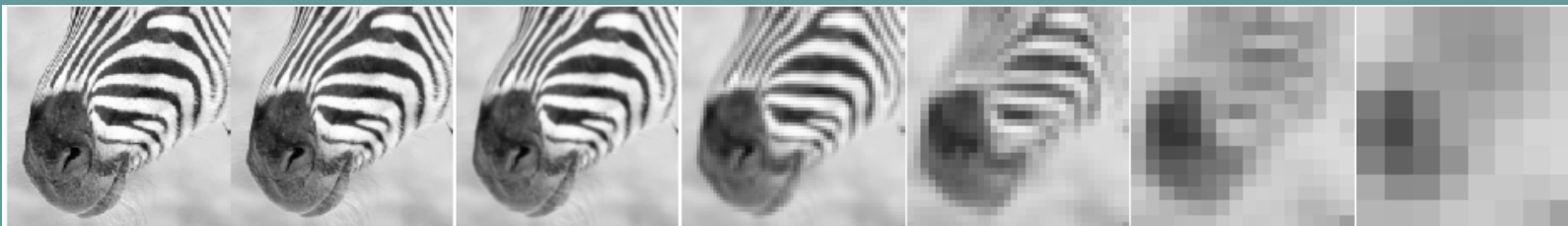
Difference of Gaussian piramis felépítése (jó közelítés, már láttuk)

Jellemzők:

sáváteresztő szűrő: minden szint különböző sávra érzékeny

Az eredeti kép visszaállítása:

A piramis legfelső szintjéből indulva a piramis rekonstrukciója



512

256

128

64

32

16

8



Gaussian
pyramis



512

256

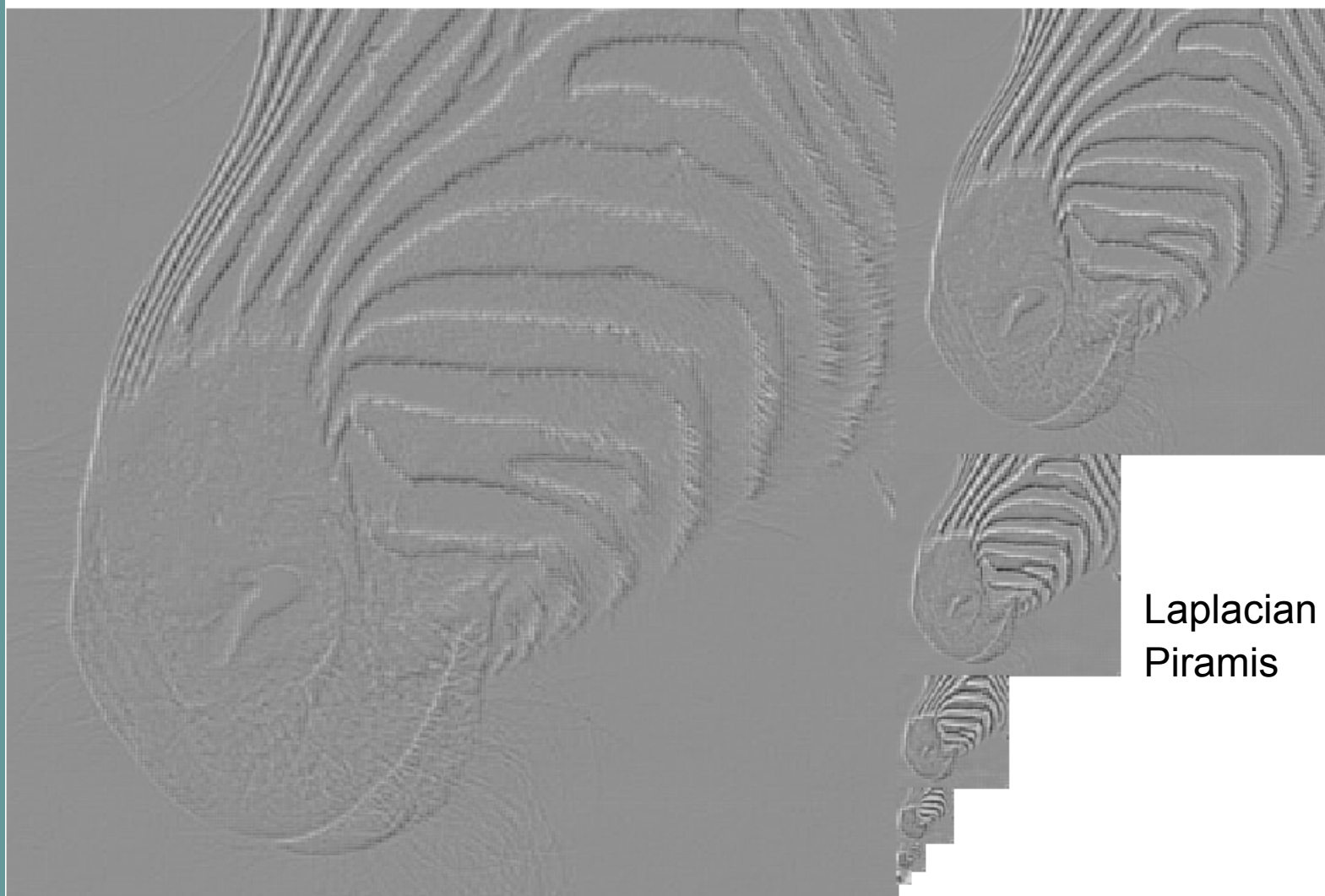
128

64

32

16

8



Laplacian
Piramis

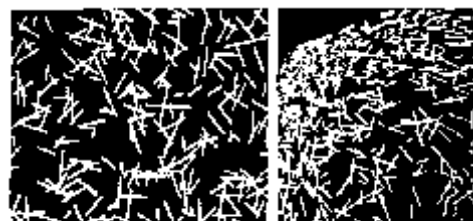
Textúrából felület-gradiens



Horizont (eltűnő vonal) meghatározása a texelek mérettorzulása alapján

Egyetlen kép alsó feléből is – ahol a horizont **kontúrja nem látszik!**

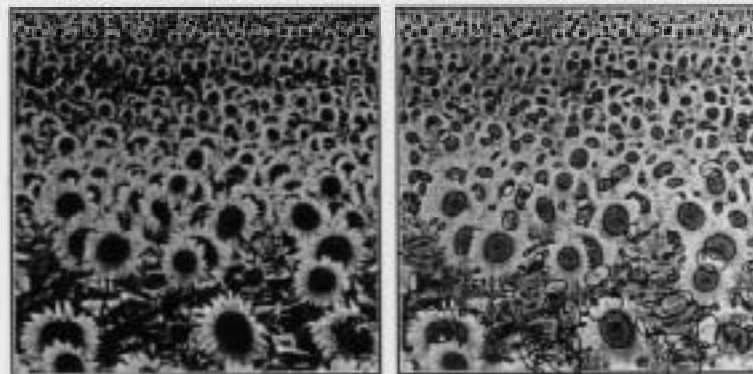
Textúrából gradiens



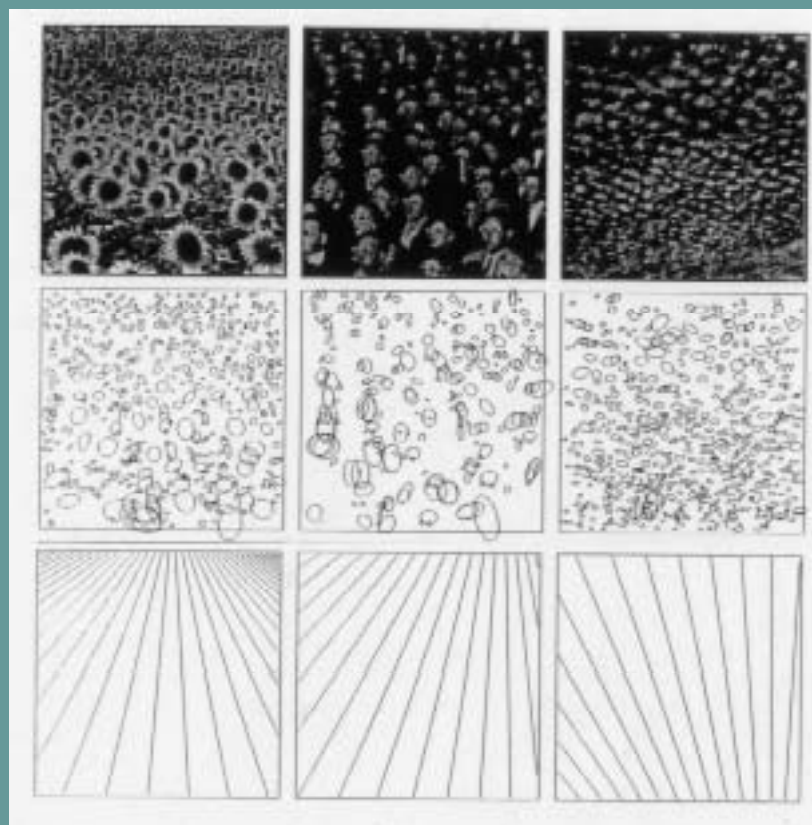
(a)



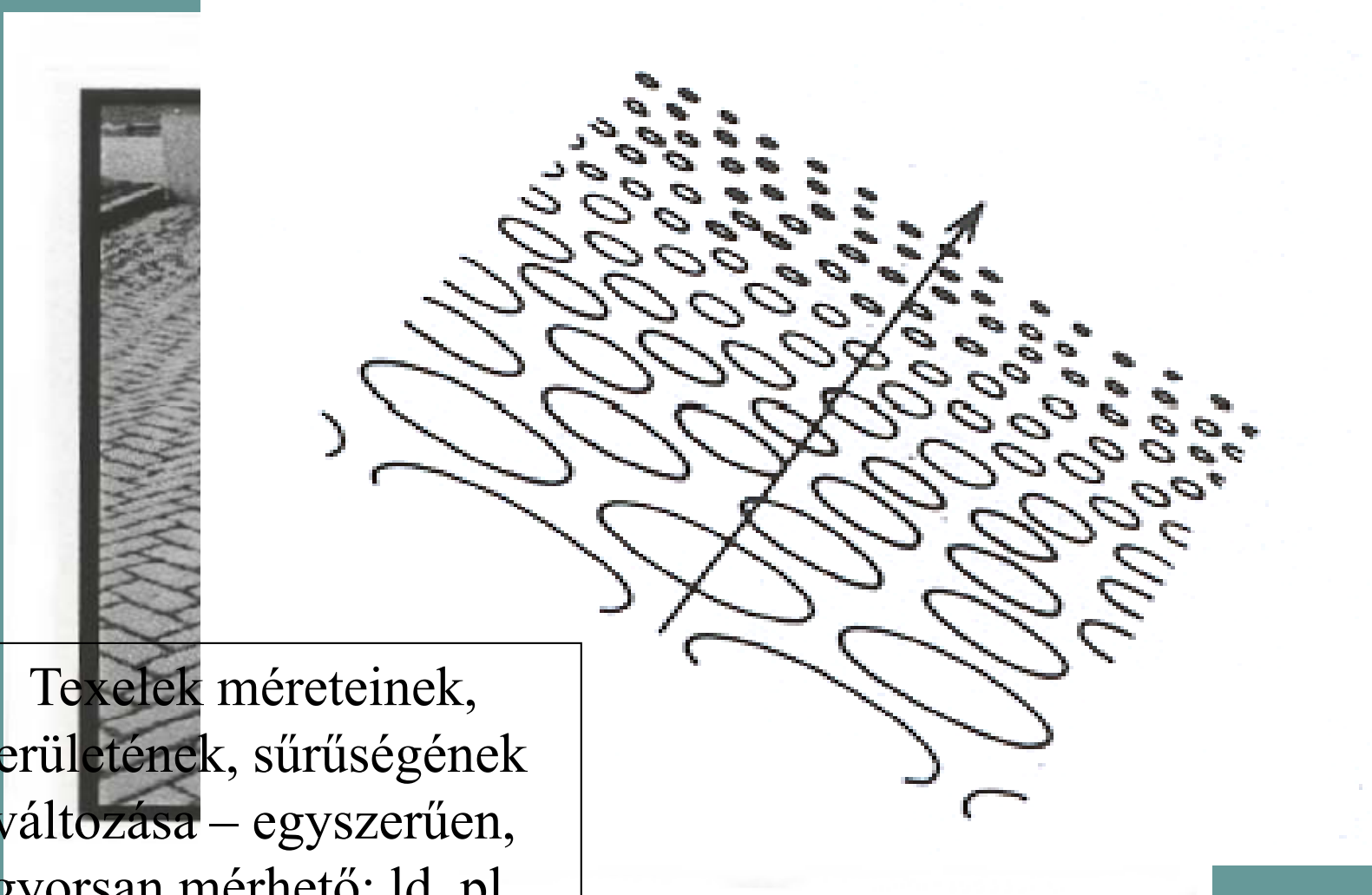
(b)



Textúrából gradiens



Textúrából felület-gradiens



Texelek méreteinek,
területének, sűrűségének
változása – egyszerűen,
gyorsan mérhető: ld. pl.
morfológiai algoritmusok

Shape from texture - Alakmeghatározás textúrából

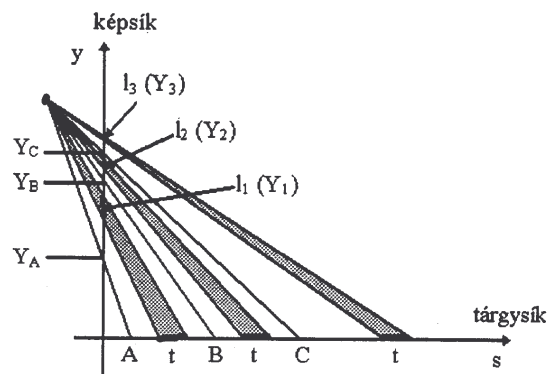
Alapelv : a textúráról rendelkezünk bizonyos a priori információkkal, ennek alapján a textúra torzulásaiból következtetünk a 3D-s alakra. Általában a textúra homogenitását (egyforma méretű elemek, stb.) tételezzük fel, és a torzulásokból számítjuk ki a felületi gradienst.

A következőkben három módszert tárgyalunk, melyek más-más textúra jellemzőkből következtetnek a térbeli alakra:

1. Textúra elemek méretének változása
2. Textúra elemek területének változása
3. Textúra elemek sűrűségének változása

1. Textúra elemek méretének változása

Feltételezés: a megfigyelt textúra elemek azonos -, de nem feltétlenül ismert - méretűek.



1. ábra

Jelölések:

t : a megfigyelt textúra elem valós mérete.

l_i : a megfigyelt textúra elem mérete a képen, Y_i -nél.

$P(y)$: „vetítési” függvény, a tárgysík (s) és a képsík (y) közti megfeleltetést adja meg:

$$P(y) = \frac{1}{k_1} \frac{ds}{dy} \Rightarrow ds = k_1 P(y) dy \Rightarrow s = k_1 \int P(y) dy$$

A vetítési függvényt közelíthetjük valamely, az "ismert" pontokra illesztett görbével:

$$P(Y_i) = k_2 \frac{t}{l_i} \quad (\text{Azaz } Y_i \text{ környékén } ds \approx t \text{ és } dy \approx l_i.)$$

Innen:

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{k_1 k_2 t \int_{Y_A}^{Y_B} P^*(y) dy}{k_1 k_2 t \int_{Y_A}^{Y_B} P^*(y) dy} = \frac{\int_{Y_A}^{Y_B} P^*(y) dy}{\int_{Y_A}^{Y_B} P^*(y) dy}$$

, ahol $P^*(y)$ a $P(y)$ vetítési függvény a fentiek szerinti közelítése
kiemelve $k_2 t$ -t.

Az alakjellemzők számításához nem kell ismerni :

- a kamera modellt (paraméterekt)
- t nagyságát.

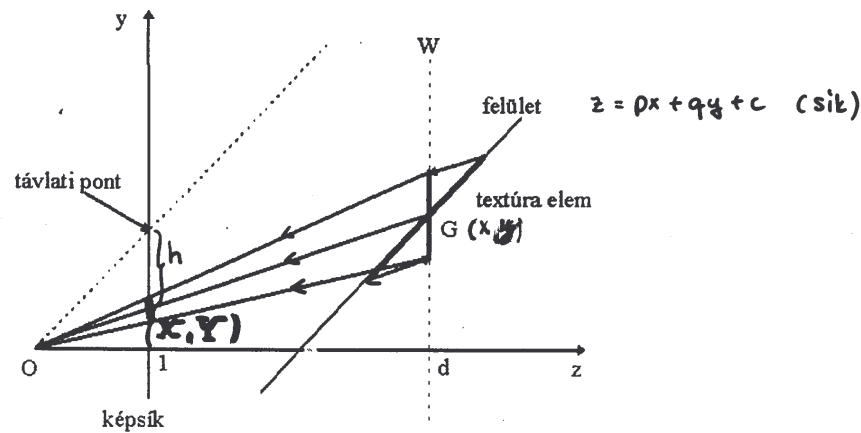
2. Textúra elemek területének változása

Feltételezés: a textúra elemek területe azonos.

Adott sík felület: $z = px + qy + c$. Amennyiben a paramétereket meg tudjuk határozni, a felület térbeli alakja megkapható.

Eltűnő, távlati vonal: az a vonal a képsíkon, ahol a részletek már nem különböztethetők meg. Az adott felületet a képsíkra vetítve mindig ettől a vonaltól "lefele" eső képpontokat kapunk. A képsík és a felülettel párhuzamos, fókuszponton átmenő sík metszékeként kapható meg. Ennek ismeretében a sík egyenlete, ill. annak p és q paraméterei már megkaphatók.

Elv: a textúra elemek területének változásából a távlati vonal meghatározása, és abból a sík egyenlete p és q paramétereinek származtatása.



2. ábra

Jelölések:

O: fókuszpont, egyben az origó. A képsík a $z=1$ helyen található.

G: a textúra elem súlypontja, képsíkbeli koordinátái: (X, Y) . Távolsága a fókuszponttól (z koordináta):

$$d = \frac{c}{1 - pX - qY} \quad \left(X = \frac{x}{d}, Y = \frac{y}{d} \text{ behelyettesítve} \right)$$

W: G-t tartalmazó, a képsíkkal párhuzamos sík.

s: a textúra elem területe a képen.

s^* : a textúra elem területe a felületen.

h: a távlati vonal és a textúra elem súlypontjának a távolsága a képsíkon.

A vetítési transzformáció:

(csak a legegyszerűbb lépések felírása - orokor elvárás)

Ha a textúra elemek területe elég kicsi, a vetítési transzformáció helyett jó közelítésként használható a következő két lépcsős transzformáció:

1.) Vetítés W-re, OG-vel párhuzamos sugarakkal. A transzformációs mátrix:

$$T_1 = \frac{1}{\sqrt{p^2 + 1}} \begin{bmatrix} 1 - pX & \frac{-q(p + X)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \\ -pY & \frac{p^2 - qY + 1}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \end{bmatrix} \quad (\text{Affine tr.})$$

2.) A W-n kapott kép perspektivikus vetítése a képsíkra. A transzformációs mátrix:

$$T_2 = \frac{1}{d}$$

A távlati vonal meghatározása a képen textúra párokból:

Bizonyítható, hogy affin transzformációknál: $\frac{s}{s^*} = \det T$, azaz a textúra elem képsíkbeli és felület területének hányadosa a transzformációs mátrix determinánsával egyenlő. Ez esetben:

$$\frac{s}{s^*} = \det T_2 T_1 = \frac{1}{d^3} \frac{c}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}$$

- Azaz a textúra mérete a képen a súlypont d távolságának 3. hatványától függ. !

$$h = \frac{1 - pX - qY}{\sqrt{p^2 + q^2}} = \frac{1}{d} \frac{c}{\sqrt{p^2 + q^2}}$$

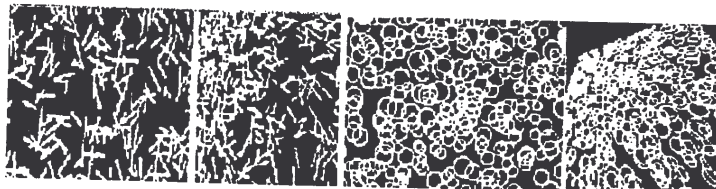
A távlati vonal és a textúra elem súlypontjának a távolsága a képen:

- Azaz a súlypont és a távlati vonal távolsága fordítva arányos d-vel.

Legyen f_i a súlypont és a távlati vonal távolsága a súlypontokat összekötő egyenes menten mérve (l. 4. ábra).

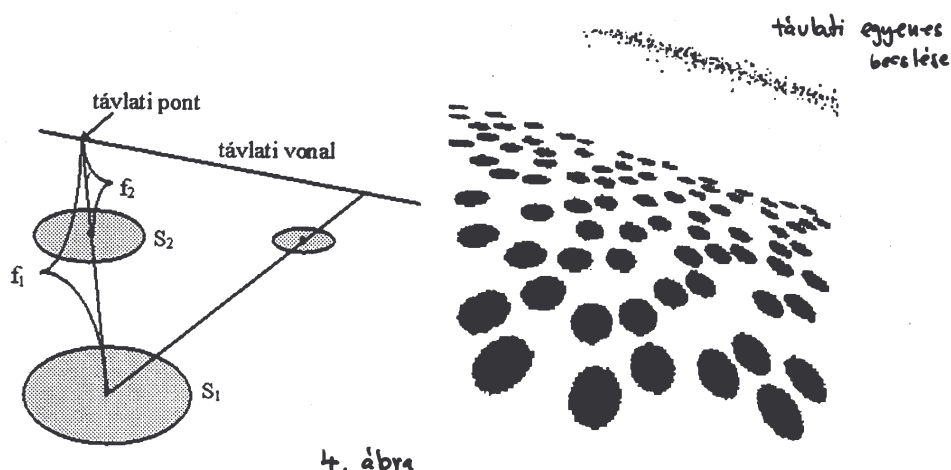
$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\sqrt[3]{s_1}}{\sqrt[3]{s_2}}$$

Ekkor: $\frac{f_1}{f_2} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\sqrt[3]{s_1}}{\sqrt[3]{s_2}}$. Így tetszőleges textúra elem párhoz megkapható a távlati egyenes egy becsült pontja.



3. ábra

illusztráció a
3. ponthoz



4. ábra

3. Textúra elemek sűrűségének változása

Feltételezés: a textúra mindenhol egyenlő sűrűségű, azaz egységnyi felületre mindenütt ugyanannyi textúra elem jut.

Jelölések:

G: kijelölt régió súlypontja, képsíkbeli koordinátái: (X,Y).

s: kijelölt régió területe a képen.

s*: kijelölt régió területe a felületen.

p, q: a sík felület ($z=px+qy+c$) paraméterei.

Elv: A kijelölt régió területére a felületen (s*) és a képen (s) az alábbi összefüggés írható fel:

$$s^* = \lambda s, \text{ ahol } \lambda = \frac{c^2 \sqrt{p^2 + q^2 + 1}}{(1 - pX - qY)^3}$$

Egyenlő sűrűségű textúrát feltételezve s_1^* és s_2^* a felületen k_1 és k_2 darab textúra elemet tartalmaznak

$$\frac{k_1}{s_1^*} = \frac{k_2}{s_2^*}, \text{ a képen nézve } \frac{k_1}{\lambda_1 s_1} = \frac{k_2}{\lambda_2 s_2}, \text{ ahol } \lambda_1 = \frac{c^2 \sqrt{p^2 + q^2 + 1}}{(1 - pX_1 - qY_1)^3} \text{ és } \lambda_2 = \frac{c^2 \sqrt{p^2 + q^2 + 1}}{(1 - pX_2 - qY_2)^3} \quad ((X_1, Y_1 \text{ és } (X_2, Y_2) \text{ a két régió központja a képen}).$$

Tehát régiópárokat kijelölve, bennük a textúra elemeket megszámolva, p és q becsülhető.

ld. 3. ábra