

Építész-informatika 1



Pixelgrafika alapjai

Mintavétel elmélete

BME Építész-mérnöki Kar Építészeti Ábrázolás Tanszék
Batta Imre DLA

Tartalom

Téma: mintavétel elmélete, képfájl formátumok.

Mintavétel szabályai

felbontás ▪ színmélység
mintavételi hibák

Hibajavítás

felbontás növeléssel ▪ előszűréssel
hozzáadott zajjal ▪ utószűréssel

Fourier transzformáció

Képfájl formátumok

szolgáltatások ▪ tömörítési módok
Gif ▪ Png ▪ Tiff ▪ Jpg

Melléklet

Jpg tömörítés

Kép



A valóság folytonos – a kép diszkrét!

1.6×10^{-35} m Planck féle hosszúság felett !

Pixel

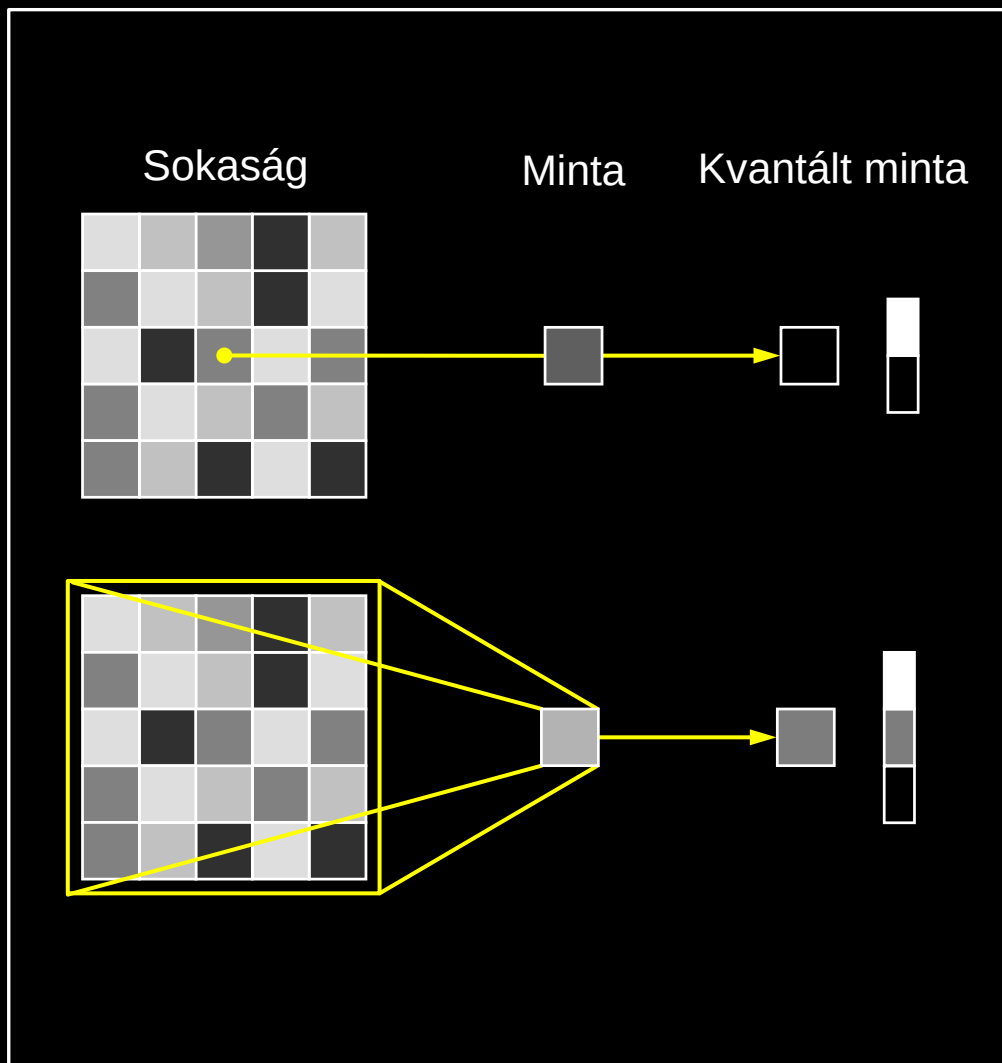


Pixel = képelem (picture element)

- **nem kis négyzet vagy kör,**
- **nincs kiterjedése,**
- **nincs területe,**
- **helyét koordináták határozzák meg,**
- **de a képelemek közötti távolságot a megjelenítő eszköz számára külön kell megadni,**
- **több mint pont,**

**a pixel minta,
szín és/vagy világosság információ.**

Mintavétel és kvantálás



Mintavétel

1. térben, és

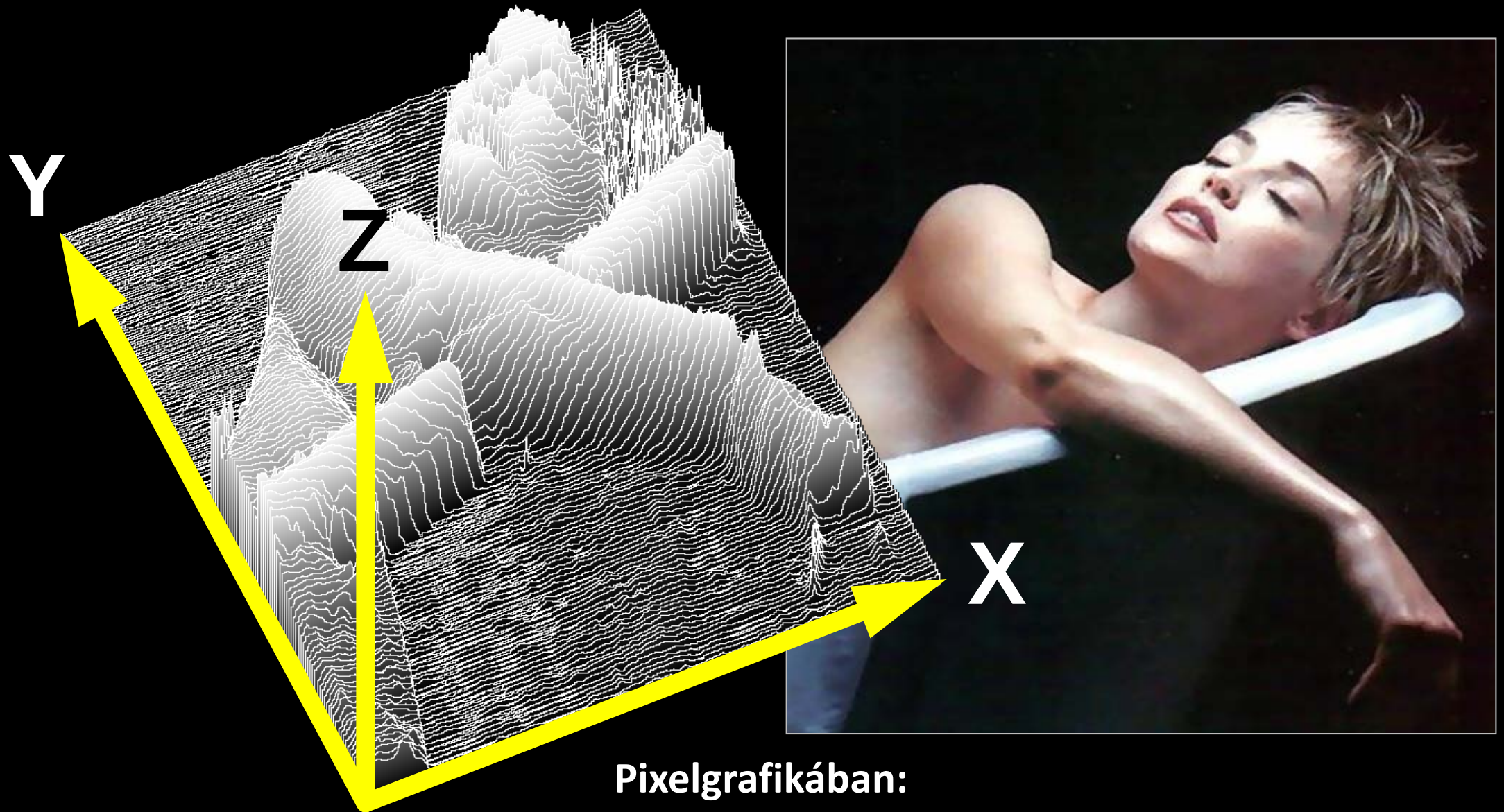
2. időben.

Kvantálás

3. mélységben.

A mintavételi gyakoriság és a kvantálási pontosság szükséges mértéke a látvány részletességétől függ!

Felbontás és színmélység



Pixelgrafikában:
mintavételi gyakoriság = felbontás, kvantálási pontosság = színmélység.

Felbontás és színmélység

Felbontás (Resolution)

egységnyi területen létrehozható (rögzíthető, megjeleníthető, nyomtatható stb.) képelemek száma.

Mértékegységei változó képméretnél

Sample / Inch (minta / hüvelyk) – szkennelés

Dot / Inch (pont / hüvelyk) – tintasugaras nyomtatás

Line / Inch (vonal / hüvelyk) – ofszet nyomdai nyomtatás

Line Pair / Inch (vonalpár / hüvelyk) – ofszet nyomdai nyomtatás

Mértékegységei állandó képméretnél

Pixel × pixel – képernyő, digitális kamera chip stb. (videó memóriához igazodó értékek: 1280 × 720, 1920 × 1080 stb.)

Színmélység (Color Depth)

megjelenítő eszközök képességeihez igazodó színesség és világosság árnyalatszám.

Integer

2^1 1 bit – 2 szín (pl. fekete-fehér)

2^8 8 bit (1 byte) – 256 szín- vagy világosság fokozat

2^{24} 3×8 bit (3 byte) – 3 szín x 256 fokozat (16.7 millió szín)

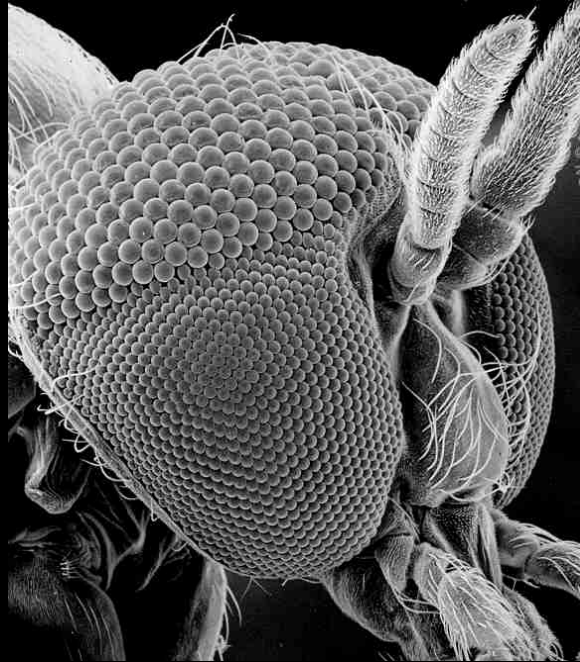
2^{48} 3×16 bit (4 byte) – 3 x 65 ezer fokozat

Lebegőpontos (HDR Imaging)

16 bit [1(előjel)+5(kitevő)+10(mantissza)]

32 bit [1(előjel)+8(kitevő)+23(mantissza)]

Mintavétel elmélete



Felbontás

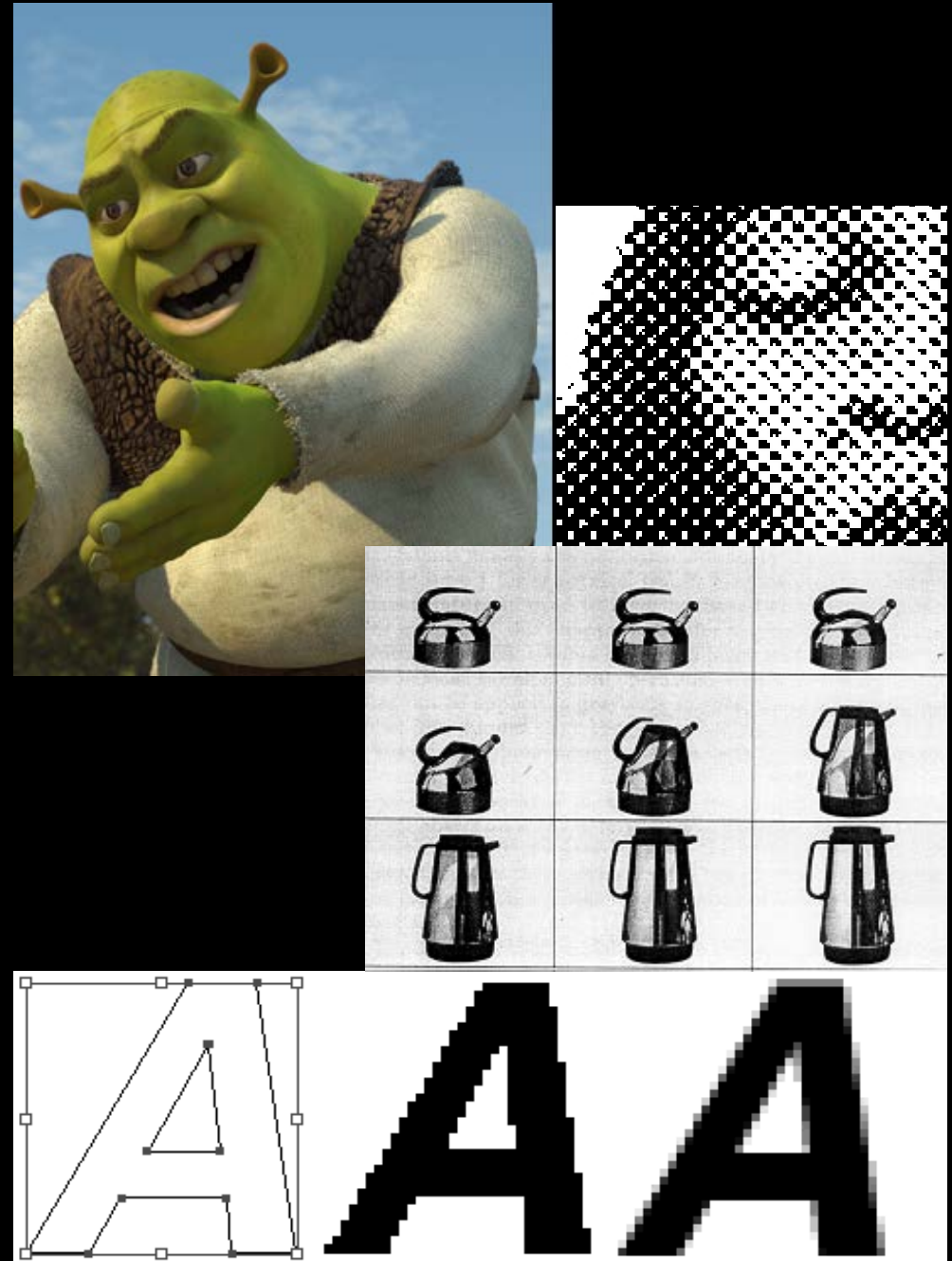
Képrögzítés: mintavétel

Mintavételezés (Sampling)

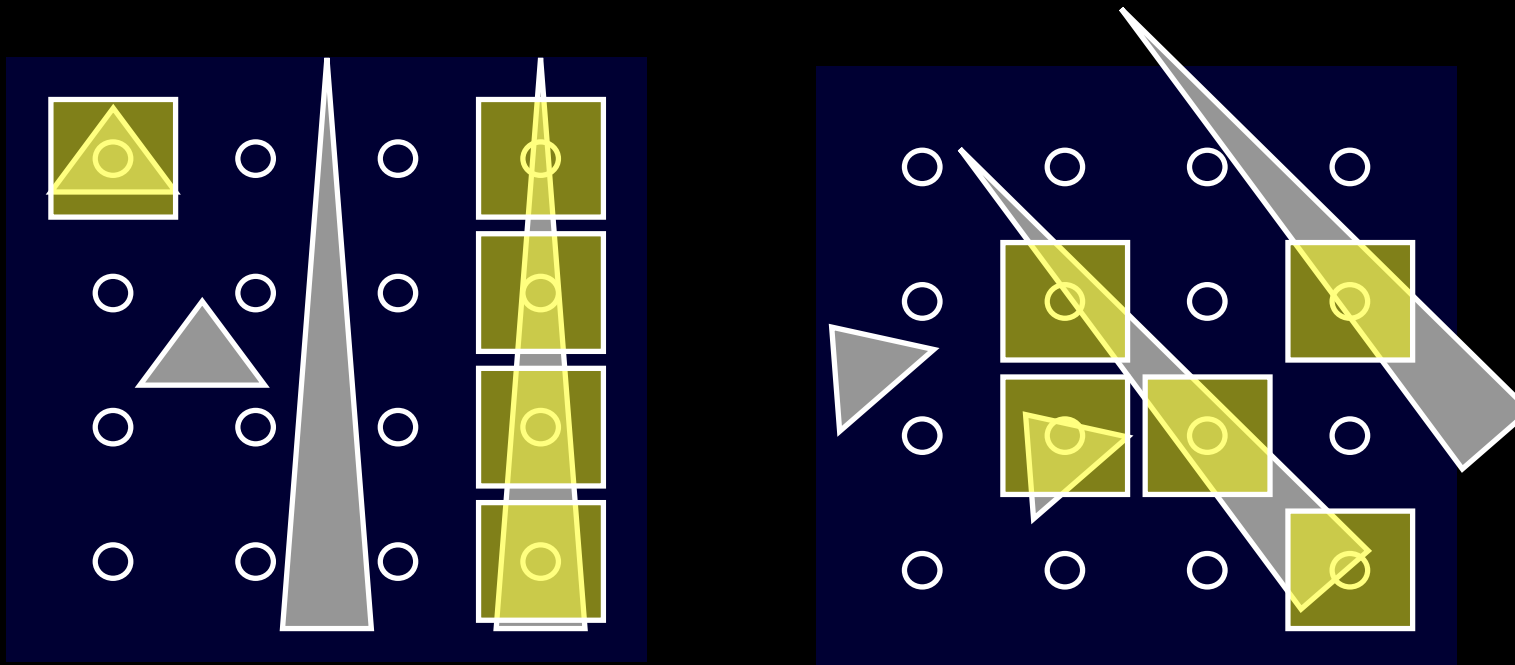
- digitális fénykép
- szkennelés
- render (3D geometria árnyalt megjelenítése)
- raszterizálás (vektoros alakzatok, pl. betűk)

Újra-mintavételezés (Resampling)

- pixelkép nagyítása-kicsinyítése
- pixelkép elforgatása
- pixelkép torzítása (Warp)
- pixelkép nyomtatása (féltónus ill. ditheráló mintázatok)



Mintavételezési hibák



Mintavételezési hibák elégtelen mintavételi gyakoriság (alacsony felbontás) esetén.

Alias jelenség

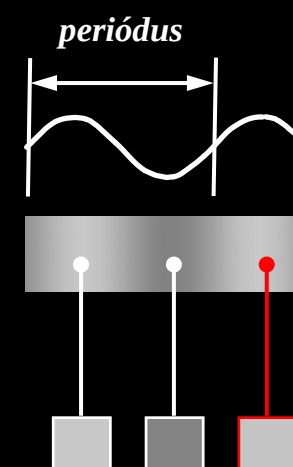
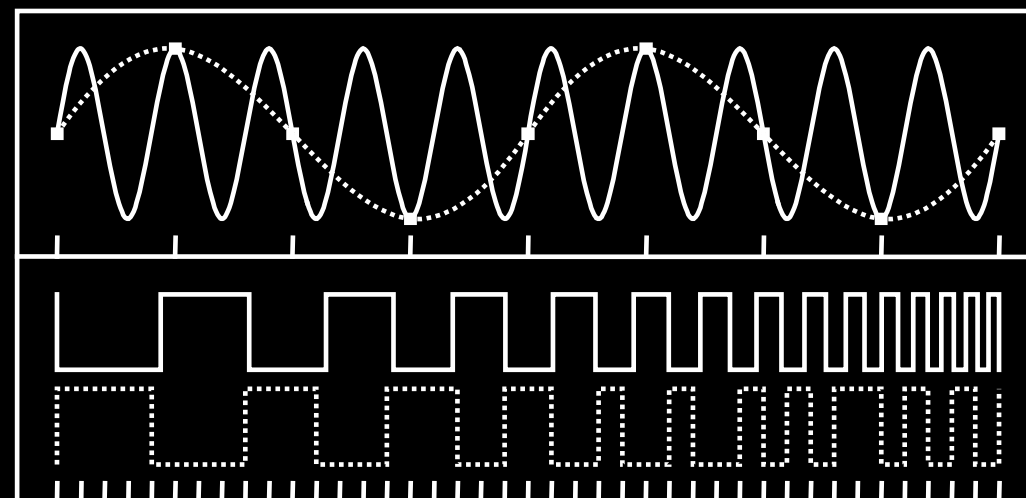
Alias jelenség

Analóg jel mintavételezése akkor megfelelő, ha a mintavételi gyakoriság (frekvencia) legalább kétszerese a jelben előforduló legmagasabb frekvenciának.

Ha a mintavételi frekvencia ennél alacsonyabb, a rekonstruált jelben a magas frekvenciák „álruhában” (*alias* latinul álruha, álarc), alacsony frekvencián jelennek meg.

$$\text{Nyquist küszöb} = \text{kép } f_{\max} / 2$$

Frekvencia: periodikusan ismétlődő esemény, pl. hullám gyakorisága, időegység alatt.



Mintavételezési hibák

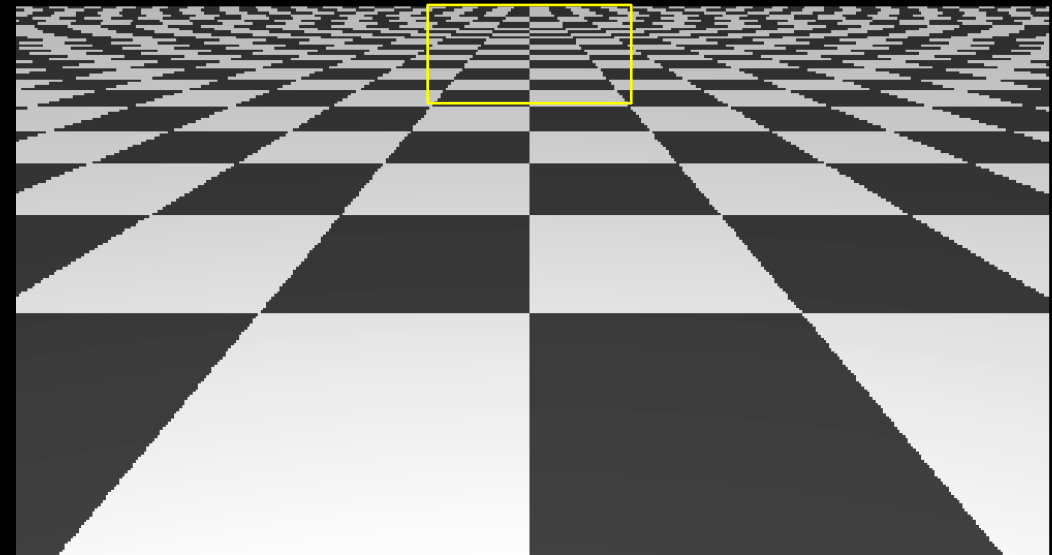
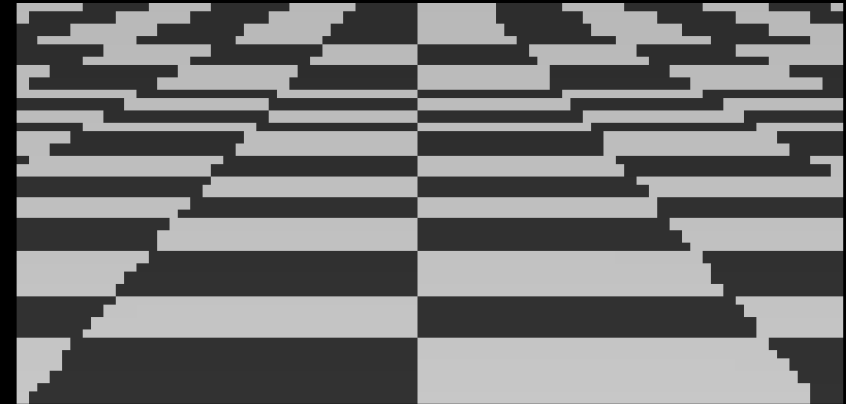
Alias típusú képhibák

a hirtelen változásoknál jelentkeznek,
különösen az éleknél láthatók:

- fogazottság,
- hibás képpontok (artefacts),
- moaré.

Megoldások

- növelni a mintavételi gyakoriságot,
vagy
- csökkenteni a látvány részletességét,
illetve
- zajjal elfedni a képhibákat,
továbbá
- hibajavítás utólag.



Moaré

Moaré a hibák hibája

akkor keletkezik, ha két (vagy több) – közel azonos periódussal ismétlődő – mintázat egymásra kerül.

Minél közelebb esik a két periódus, annál nagyobb lesz a moaré frekvencia.

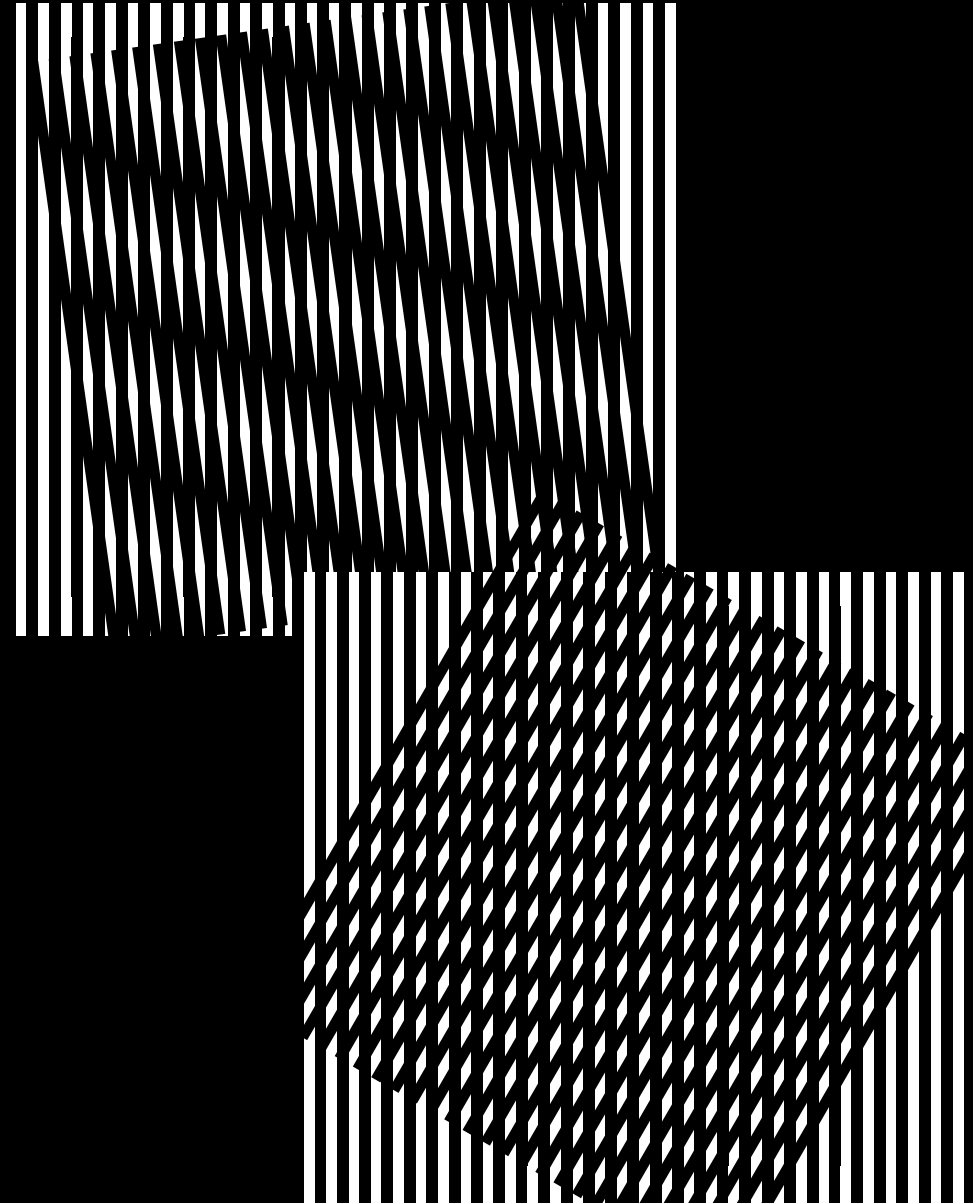
A legkevésbé akkor észrevehető, ha a mintázatok által bezárt szög 30° .

Gyakori előfordulások:

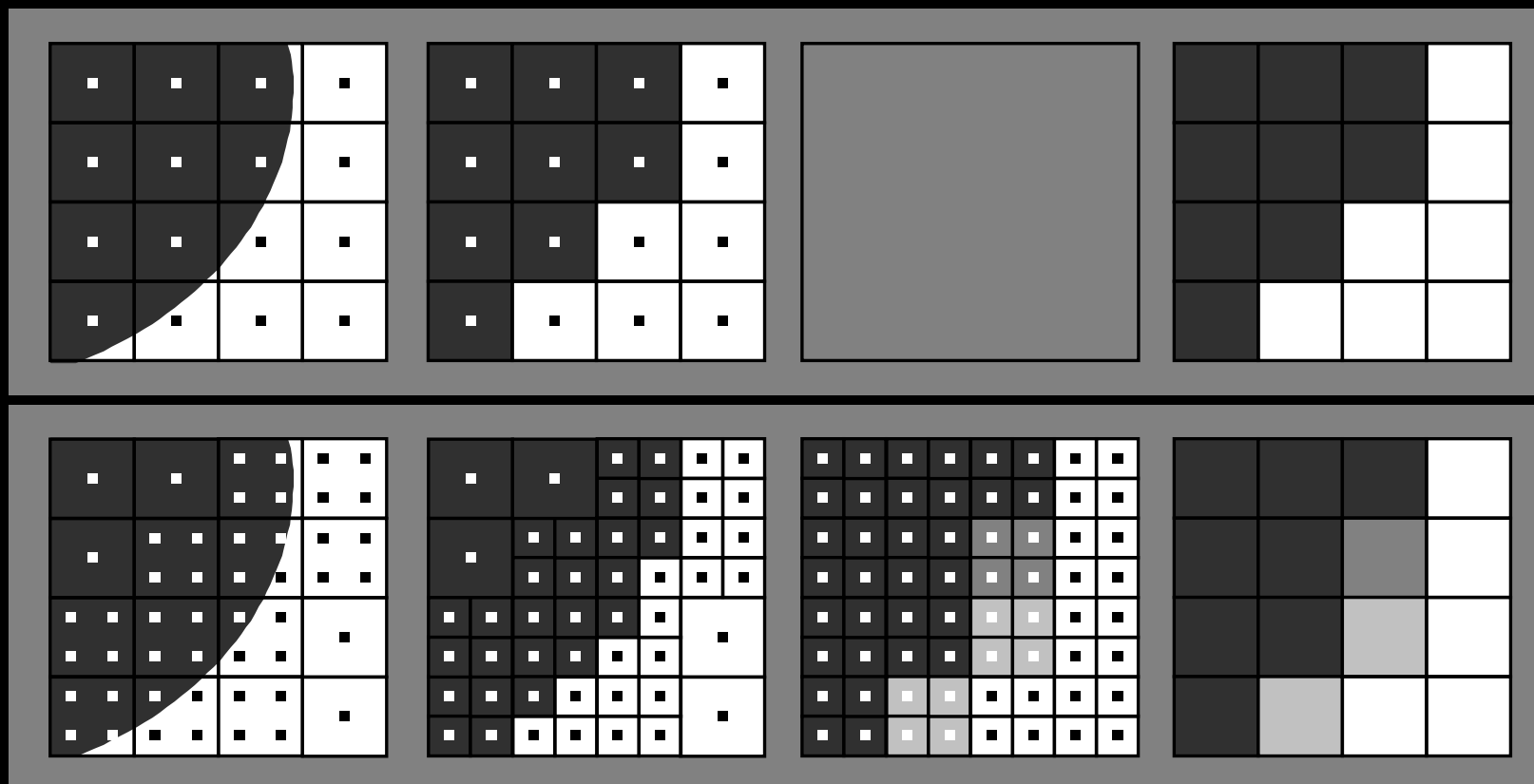
lassan változó magas frekvenciájú textúrák (pl. téglafal, szövet, szőnyeg) nyomtatásakor, rácsbontással készült nyomat (újság, plakát stb.) szkennelésekor.

Irányított moaré:

négyszínnyomás pontrács mintázata, a rozetta.



Javítás minta-túlvételezéssel



SuperSampling

Ha mintavételi gyakoriság elégtelen – lásd a felső sort -, az eljárás mintavételek számát lokálisan megnöveli, majd az eredményt átlagolja, - lásd az alsó sort.

Az eljárás adaptív (alkalmazkodó): akkor indul el, ha a szomszédos pixelek világosság- és/vagy színkülönbsége meghaladja a megadott küszöbértéket.

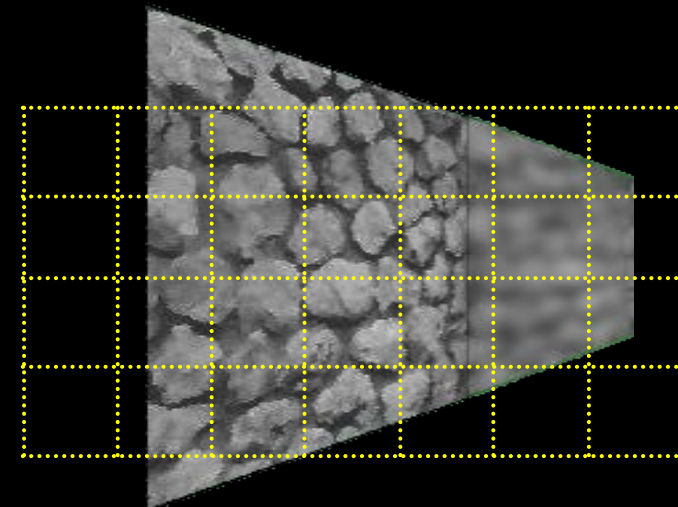
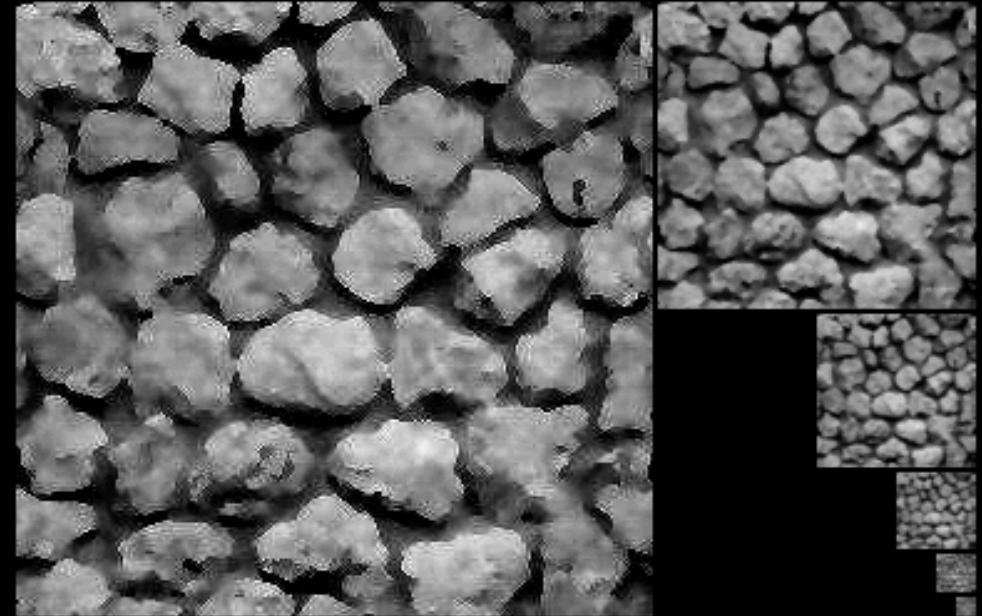
Javítás előszűréssel

Mip Mapping

(Multi In Parvo, latin, sok a kicsiben)
eljárást árnyalásnál (Render) használják.

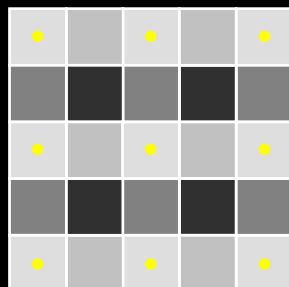
A textúra-képekből különböző felbontású változat készül, hogy a textúra részletessége a változó 3D-s geometria állandó felbontású mintavételezéséhez igazodhasson.

Pl. a perspektivikusan rövidülő kőfal közeli részén a nagyfelbontású változat, a távoli részén a kisfelbontású változat szolgáltatja a textúra-képet.

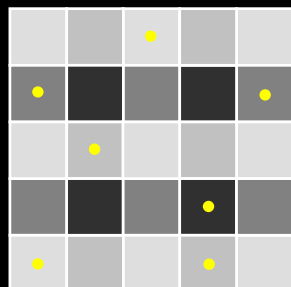


Javítás zajjal

STRUKTÚRÁLT

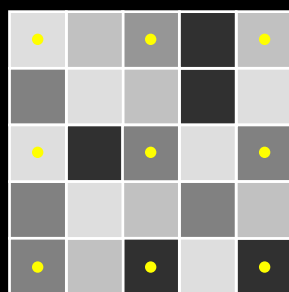


SZABÁLYOS

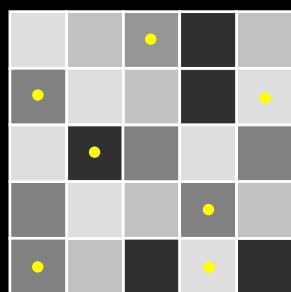


TAPOGATÓZÓ

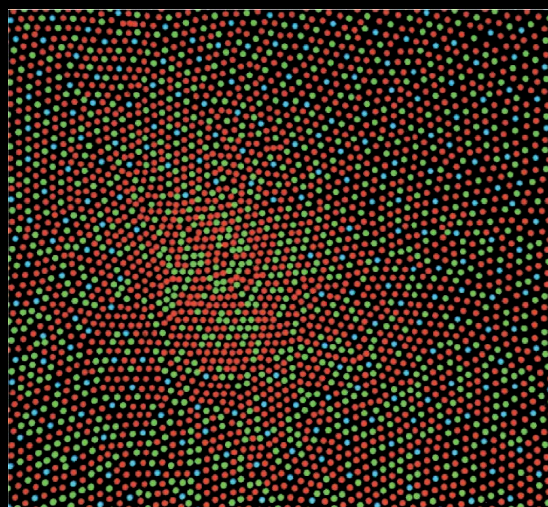
STRUKTÚRÁLATLAN



SZABÁLYOS



TAPOGATÓZÓ



RECEPTOROK A RETINÁN

Sztochasztikus (**véletlenszerű**) mintavétel

Két féle sokaság:

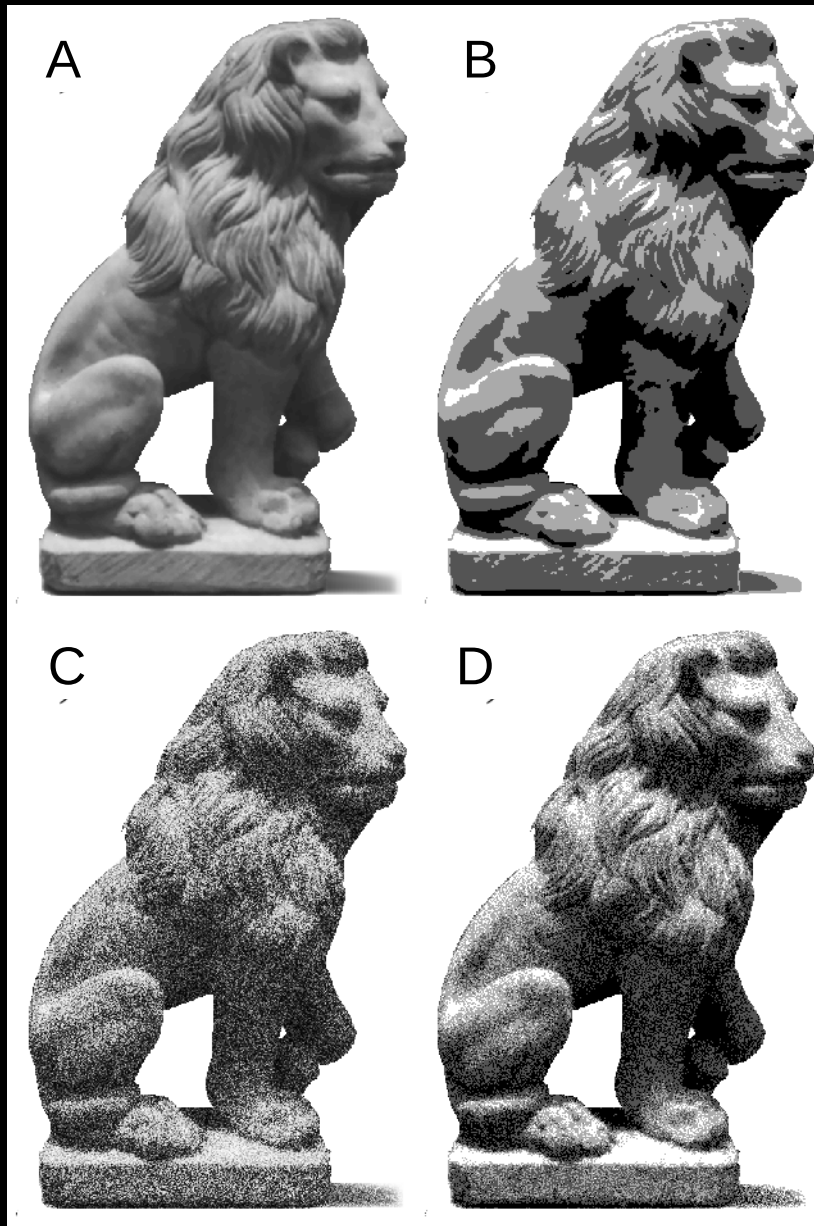
- » **strukturált** (ismétlődő, csóvás, osztódott)
- » **strukturálatlan** (nincs középpontja)

Tapogatózó stratégia (**Jitter**, fordított irányban nyomtatásnál Dither):

- » **ismétlődő sokaság mintavételénél** megakadályozza a hibák összeadódását, lásd moaré,
- + **elrejtí a mintavételi rácsot, (a szem észrevenné),**
- **amúgy a strukturálatlan sokaságból vett minta véletlenszerű marad.**

Eredmény: kevesebb minta, alacsonyabb felbontás is elég.

Javítás zajjal



Kvantálás előkevert zajjal

A bemenő jelhez kvantálás előtt hozzáadott tőle statisztikailag független zaj.

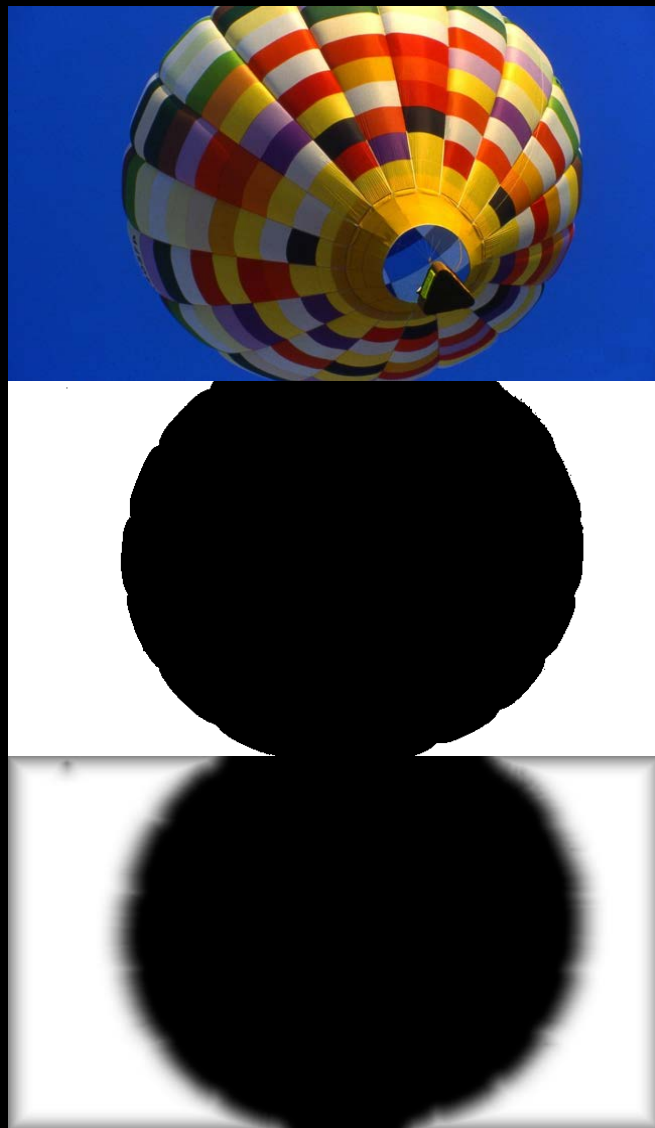
A. mintakép 64 szürkeárnyalattal

B. 4 szürkeárnyalatra kvantált kép

C. zajjal kevert 64 szürkeárnyalat

D. 4 szürkeárnyalatra kvantált zajos kép

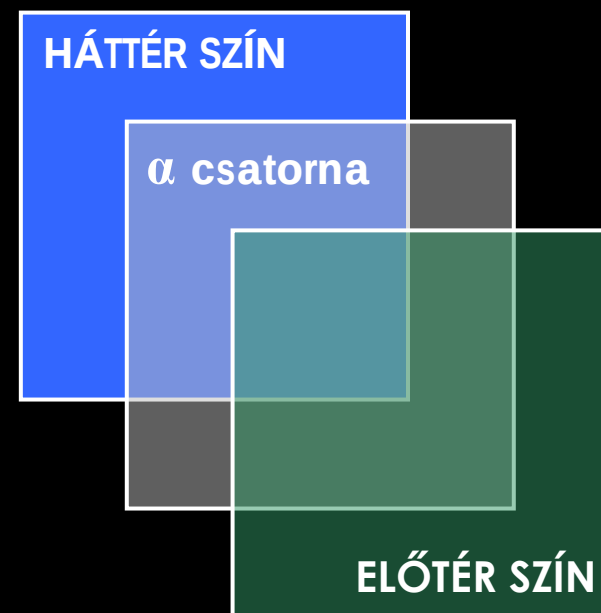
Javítás utólag



Alfa csatorna

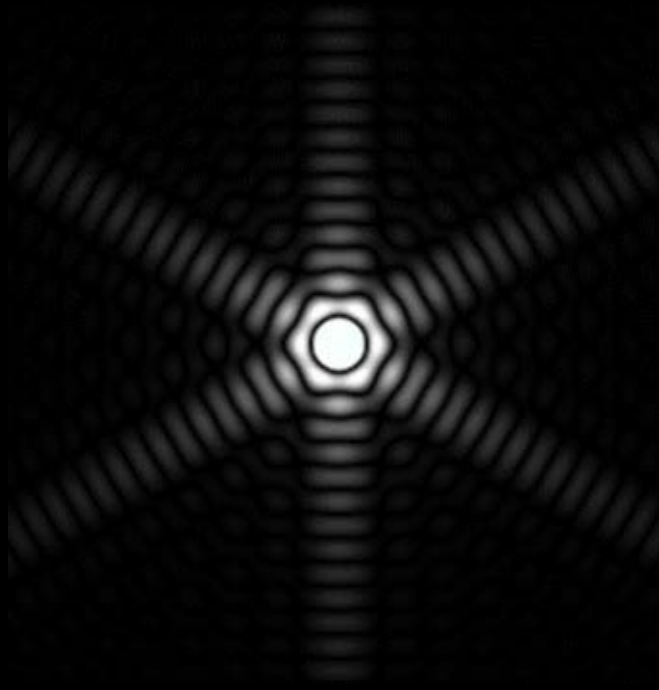
fekete-fehér (1 bit) ill. 256 szürke-
árnyalatos (8 bit) pixelkép.

0-1 közötti értékekkel szabályozza az
előtér/háttér pixel érvényesülését, azaz
az átlátszóságot.



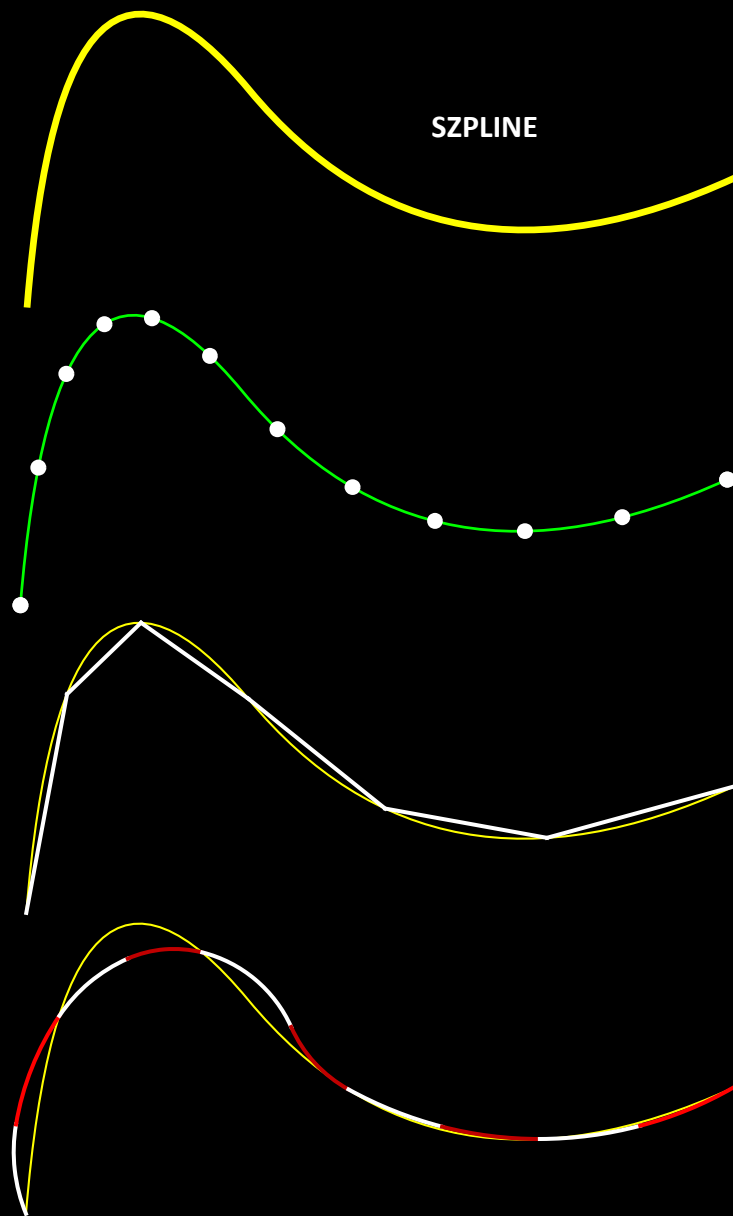
$$\text{Szín} = [\alpha \times \text{Előtérszín}] + [(1 - \alpha) \times \text{Háttérszín}]$$

Mintavétel elmélete

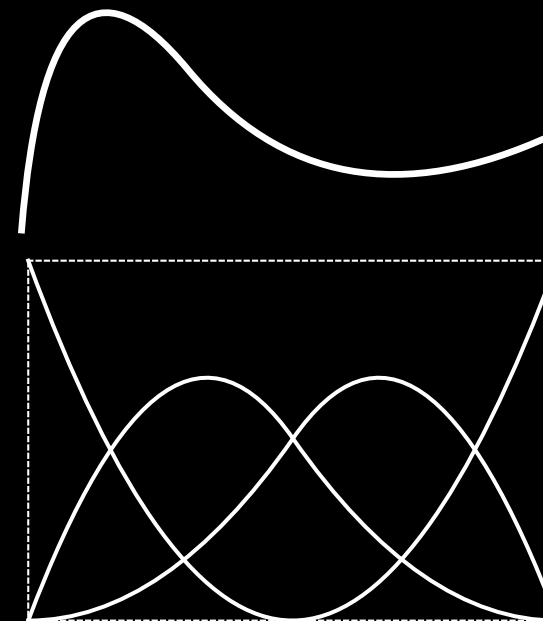


Fourier transzformáció

Bázis függvények



Folytonos függvény legjobb közelítése folytonos függvény, folytonosan ad értéket. A szabályos (bázis) függvények, pl. szinusz, koszinusz, parabola stb. előnye: csak az együtthatókat kell tárolni. Bonyolult görbéhez, felülethez is elég néhány adat.



Fourier transzformáció



Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)

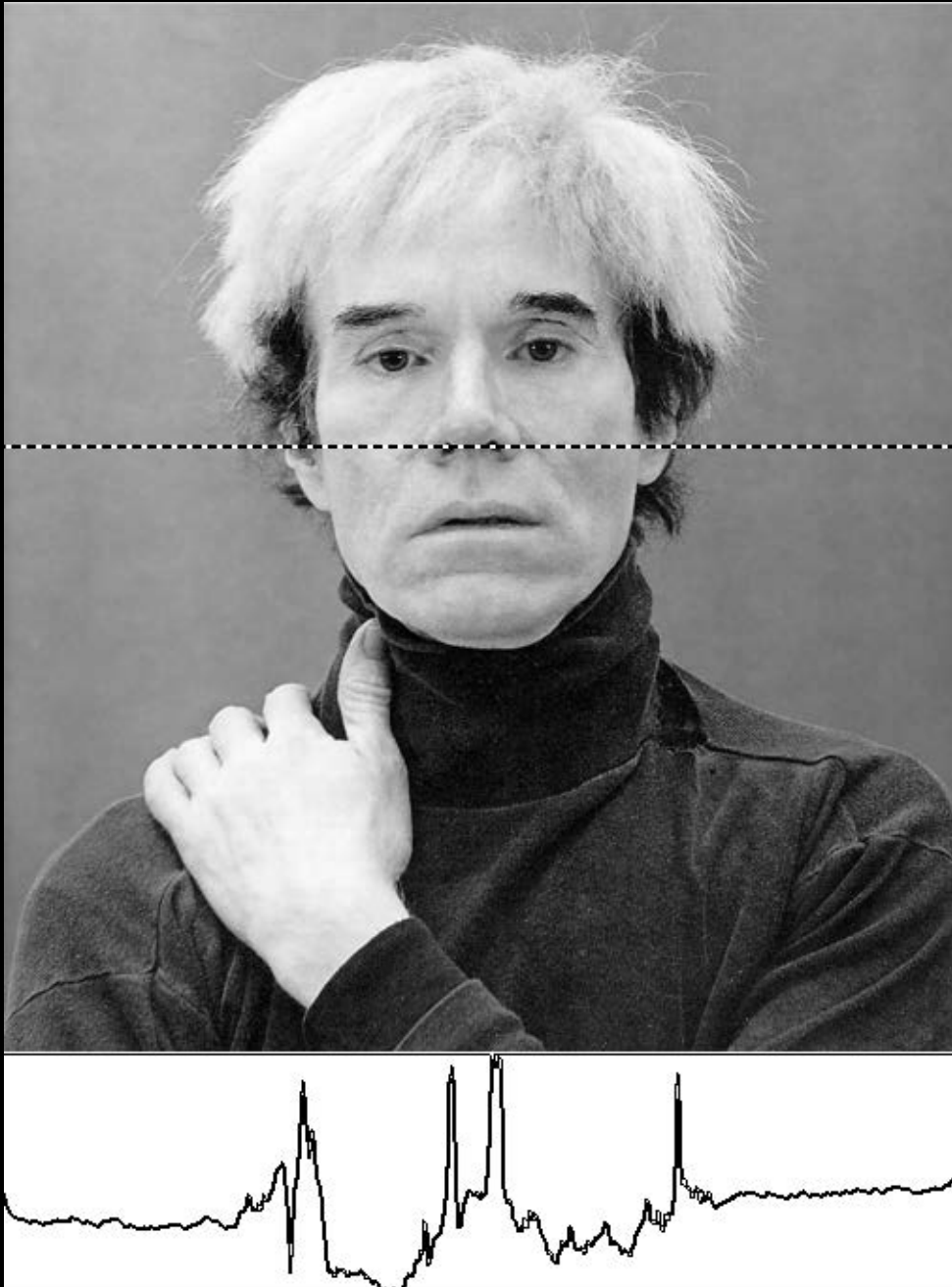
Fourier transzformáció

segítségével a kép vagy hang (jel, függvény) ábrázolható (pontosabban közelíthető) szinusz és koszinusz függvények sorozatának összegeként.

Alkalmazási területek

- mintavételi gyakoriság szükséges mértékének megállapítása
- szűrés (kép magas frekvenciáinak csökkentése, az alias típusú képhibák megszüntetése, zajcsökkentés stb.)
- képjavítás (lágyítás, élesítés, élkiemelés, élkeresés stb.)
- pixelkép tömörítés
- alakfelismerés (arc, ujjlenyomat, szöveg ill. betű stb.)
- és sok más.

Fourier transzformáció



$f(x)$ függvény Fourier féle transzformáltja $F(u)$ függvény, amelynek...

- értelmezési tartománya az összetevő szinusz és koszinusz függvények frekvenciái;
- értékkészlete az összetevő függvények súlyát reprezentáló együtthatók (amplitúdók).

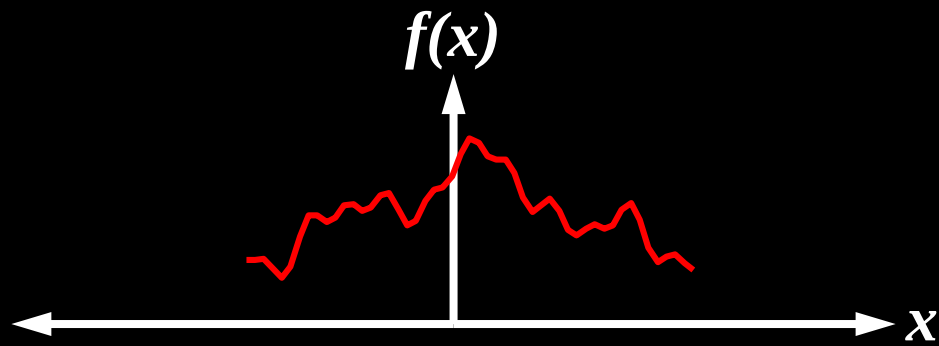
$$f(x) = a_0 + a_1 \cos(x) + b_1 \sin(x) + a_2 \cos(2x) + b_2 \sin(2x) + \dots$$

Minél több az összetevő függvény, annál pontosabb az $f(x)$ függvény közelítése.

A frekvencia sorrend fontossági sorrend, az alacsony frekvenciájú (hosszú) hullámok a nagy változásokat, a magas frekvenciák a részleteket tartalmazzák.

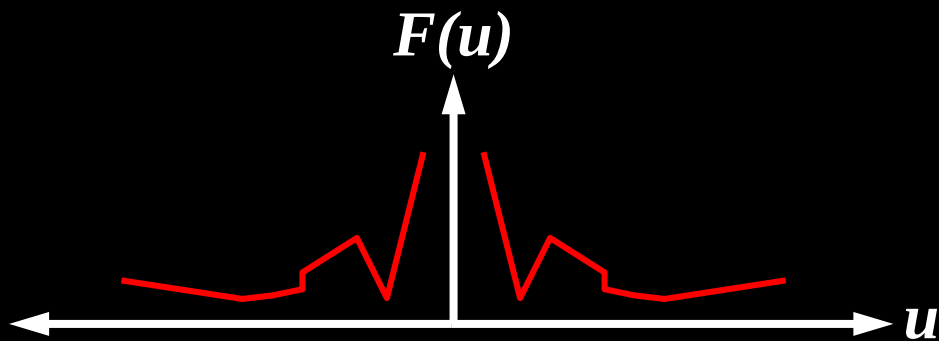
A kis értékű együtthatók esetén a magas frekvenciájú összetevők elhagyhatók.

Fourier transzformáció



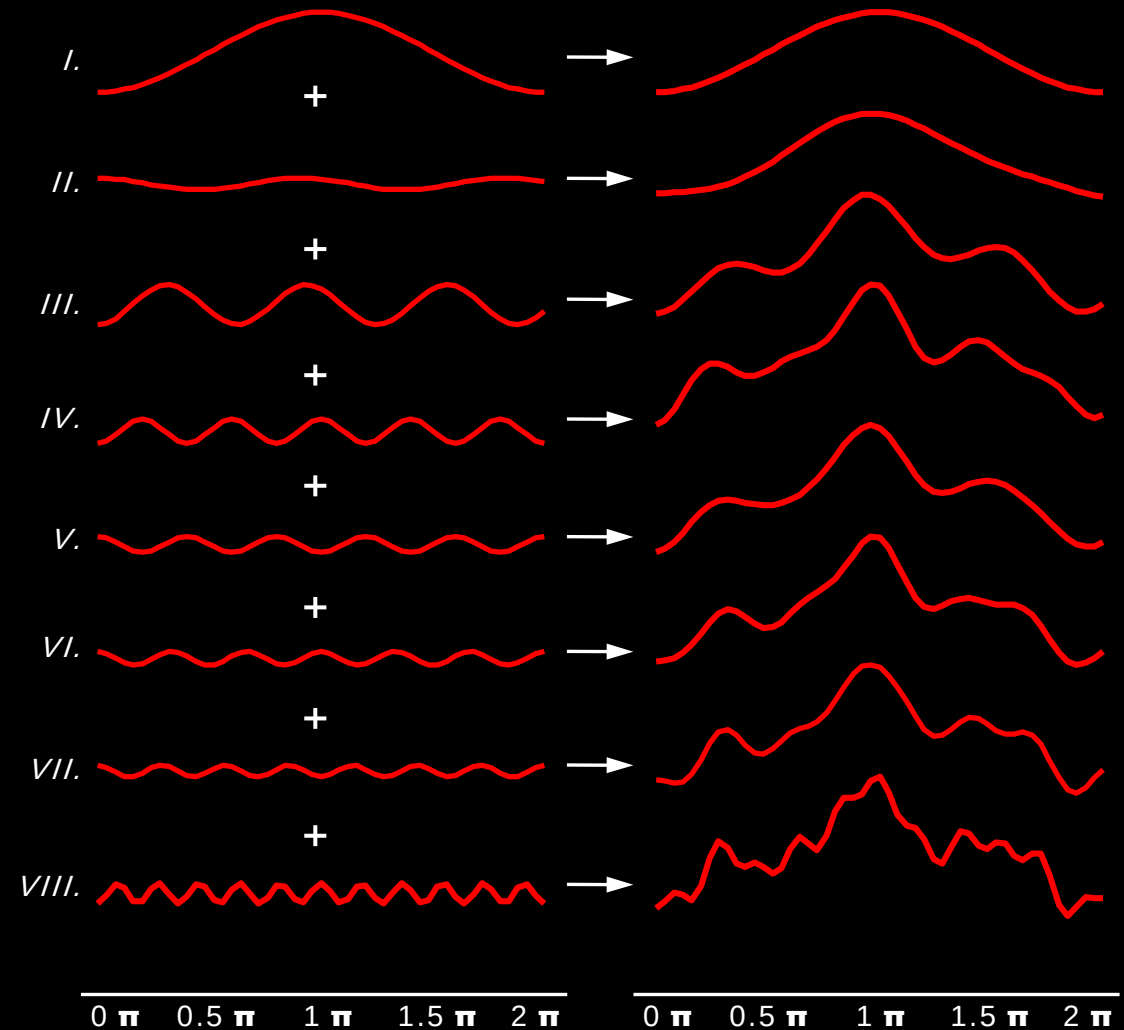
Képfüggvény

Értelmezési tartomány: helyzet (vagy idő)



Frekvencia spektrum

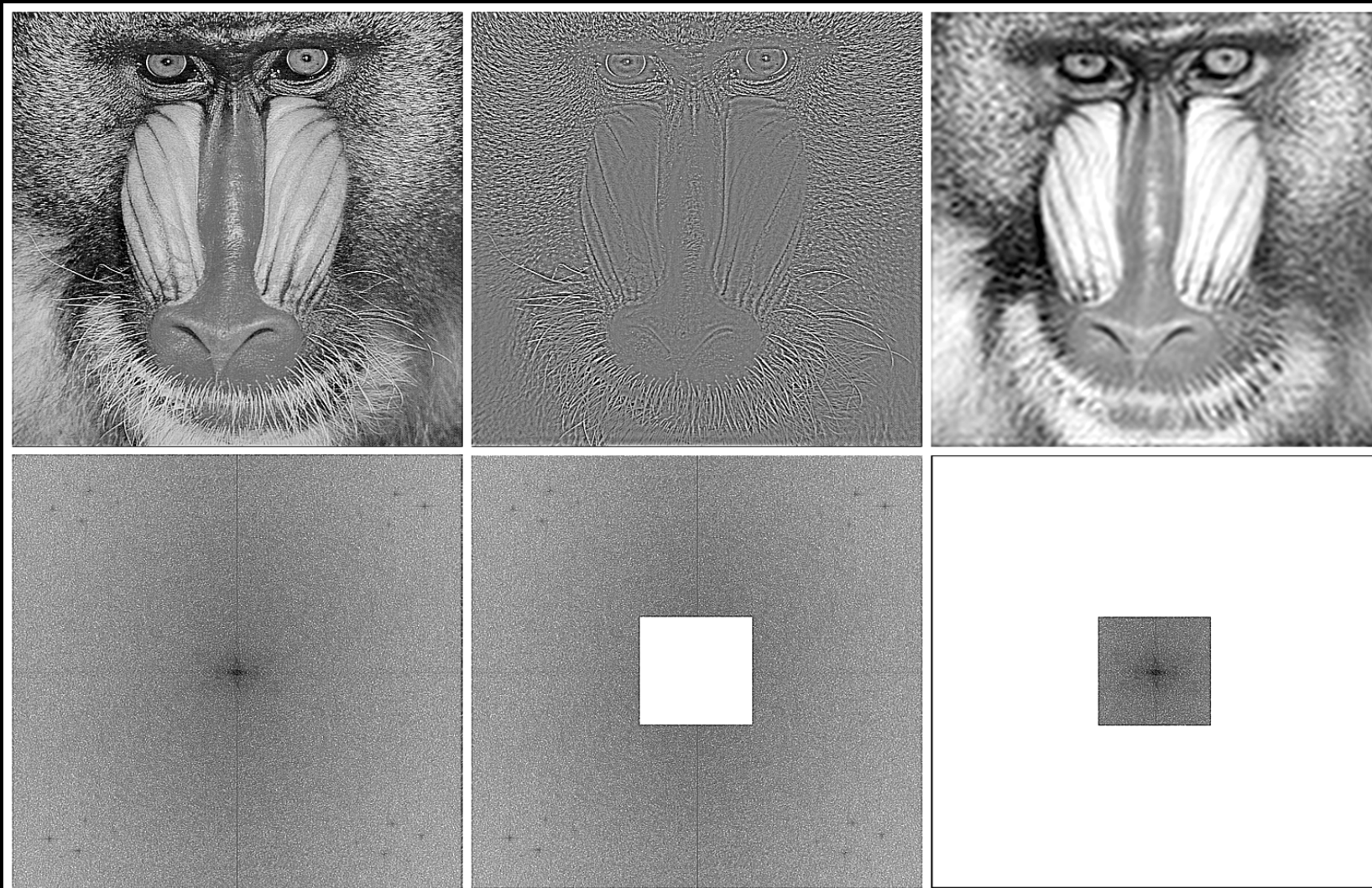
Értelmezési tartomány: frekvencia



**Fourier transzformáció: konverzió a helyzet és a frekvencia tartomány között.
A frekvencia függvény visszaalakítható képfüggvénnyé.**

Fourier transzformáció

Alacsony ill. magas frekvenciák eltávolítása gyors Fourier transzformációval (FFT) készített 2D-es spektrum-képen.



Felül: mintakép. Alul: frekvencia spektrumkép, közepén az alacsony, szélén a magas frekvenciákkal.

Felül: mintakép csak a magas frekvenciákkal. Alul: frekvencia spektrumkép az eltávolított alacsony frekvenciákkal.

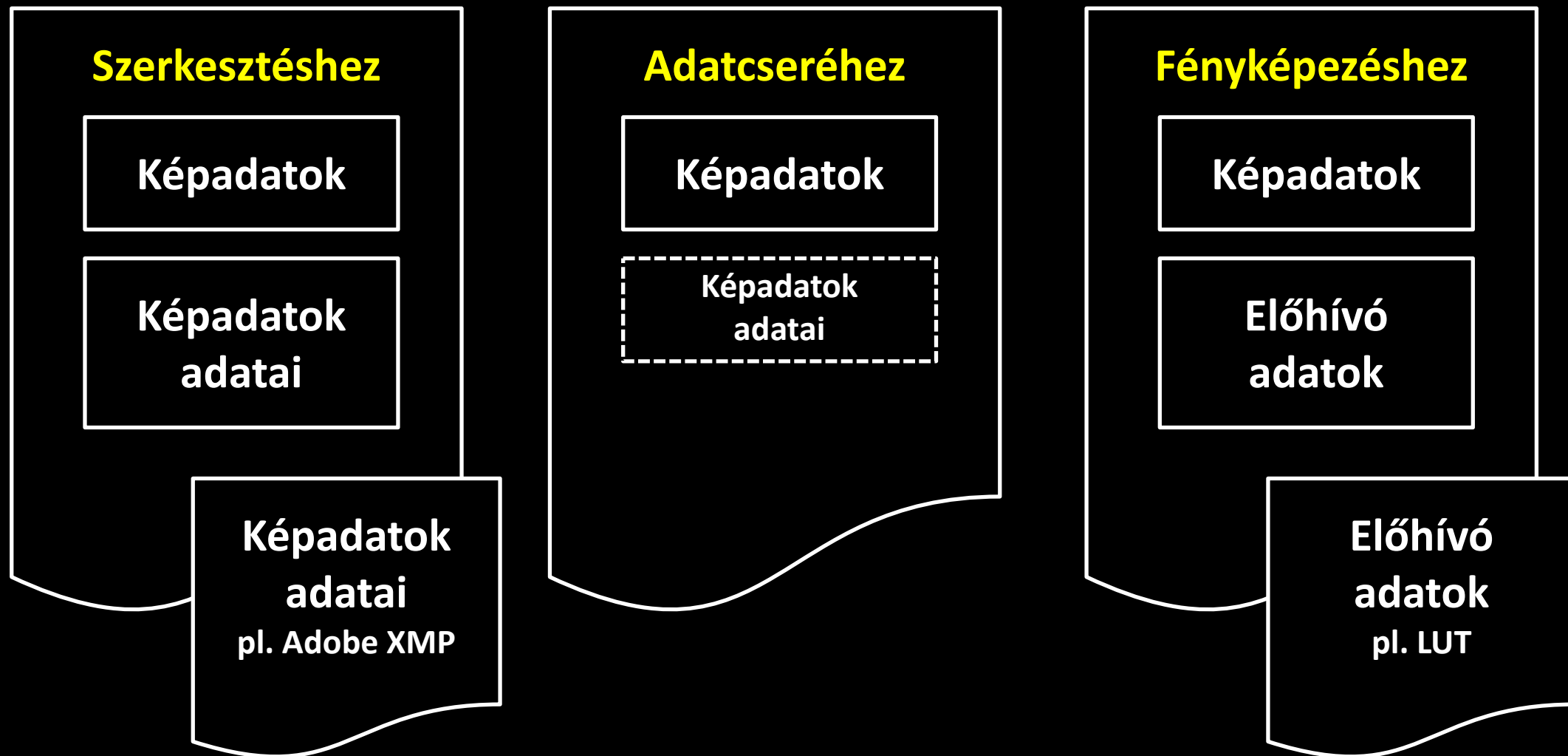
Felül: mintakép csak az alacsony frekvenciákkal. Alul: frekvencia spektrumkép az eltávolított magas frekvenciákkal.

Mintavétel elmélete



Képfájlok

Képfájl formátumok



Képfájl szolgáltatások

Színmodell / színtér

RGB, YCC, CMYK, CIEXYZ, CIELab.
sRGB vagy beágyazott színprofil szerint

Színmélység

fekete-fehér
szürkeárnyaltos
színes (8 – 16 bit/csatorna)
indexált (Eps, Gif, Pdf, Png, Targa, Tiff)

Több kép egy fájlban

alfa csatorna (Gif, Png, Tiff)
multi-page (Tiff),
animáció (Gif),
előkép (Preview, Thumbnail)

Skálázhatóság (Web)

váltósoros, szekvenciális vagy progresszív
letöltés,
különböző felbontás (Jp2)

Tömörítés

veszteséges (Jpeg, Gif)
veszteségmentes (Png, Tiff)

Képadatok adatai (metaadatok)

gamma korrekció
színtér (színprofil) [!\[\]\(e3275251d0893157c3584e20c81dc3ba_img.jpg\)](#)
fehér pont (1931 CIExy)
előhívó adatok digitális fényképfájlhoz:
» fehéregyensúly (színhőmérséklet)
» lencse korrekciók (torzítás, képszéli
sötétedés, kromatikus aberráció)
színmódosítások (LUT)
georeferencia adatok (pixelek közötti
valós távolság, vetítési mód, datum)
és sok más

Szöveges információk

időpecsét, hely
fókusz távolság, blende, zársebesség

Tömörítés

Packbits

Kvantálás

DCT

Prediktív (delta)

LZW

Wavelet



ZIP

4:2:2, 4:1:1

Huffman

Indexálás

RLE

Tömörítés egymást kiegészítő eljárások eredménye:
csökkenti a képi adatban található ismétlődéseket (redundanciát), és ha lehet,
eltávolítja a szemmel már nem észrevehető részleteket.

Kérdések: képminőség ↔ fájl méret? tárolási méret? adatátviteli sebesség?
létrehozási idő (kódolás)? letöltési idő (dekódolás)?

Tömörítések elvei

Adat: CBC,CBC,CBC,CBC,CBC,CAA,CAA,CAA,BBC,BBC,BBC,BBC,AAA,AAA,CCC,CBC (48)

Run Length Encoding (RLE)

Kód:

CBC5,CAA3,BBC4,AAA2,CCC1,CBC1 (24)

Indexáló

Paletta (max. 256 hely):

1=AAA, 2=BBC, 3=CAA, 4=CBC, 5=CCC stb.

Kód:

4,4,4,4,4,3,3,3,2,2,2,2,1,1,5,4 (16)

Huffman

Gyakoriság (16 kód alapján):

CBC=0.32, BBC=0.25, CAA=0.18, AAA=0.12,

CCC=0.06

Kódtábla (bináris):

0=CBC, 1=BBC, 01=CAA, 10=AAA, 001=CCC stb.

Kód:

0,0,0,0,0,01,01,01,1,1,1,1,10,10,001,0 (23)

4 : 2 : 2

Kód (világosság + 2 színcsatorna):

C,C,C,C,C,C,C,C,B,B,B,B,A,A,C,C (16)

B,B,A,A,B,B,A,C (8)

C,C,A,A,C,C,A,C (8) (32)

Prediktív (delta)

Kód:

CBC,0,0,0,0,CAA,0,0,BBC,0,0,AAA,0,CCC,CBC (27)

LZW (Lempel, Ziv, Welsch)

Kiinduló kódtábla (256):

A=1, B=2, C=3 stb.

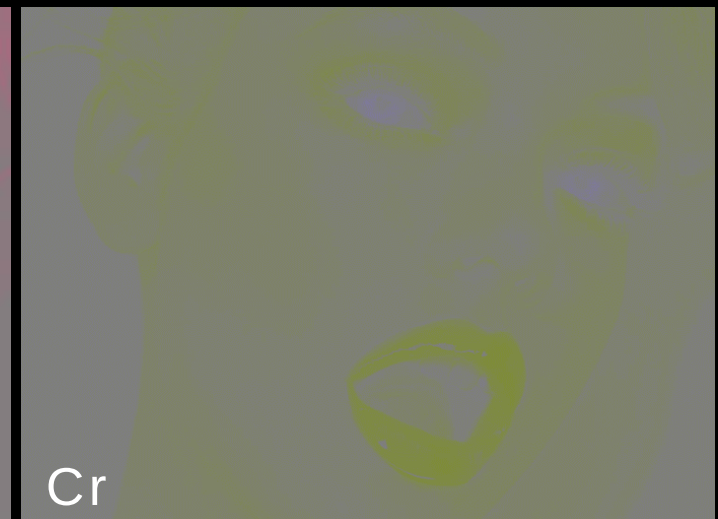
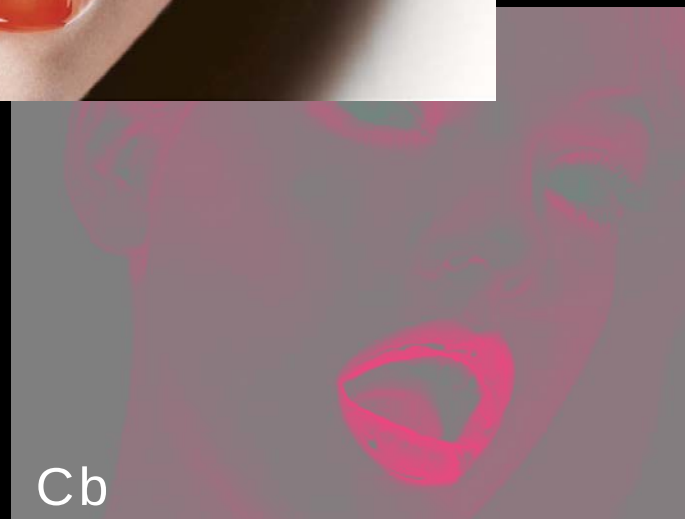
Generált kódtábla (4056), ablak szélesség itt 4 hely:

CB=257, CC=258, BC=259, CBC=260, CBCC=261 stb.

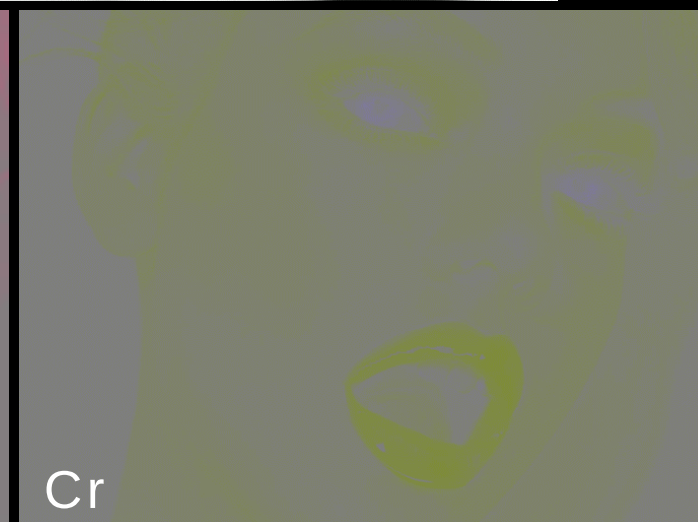
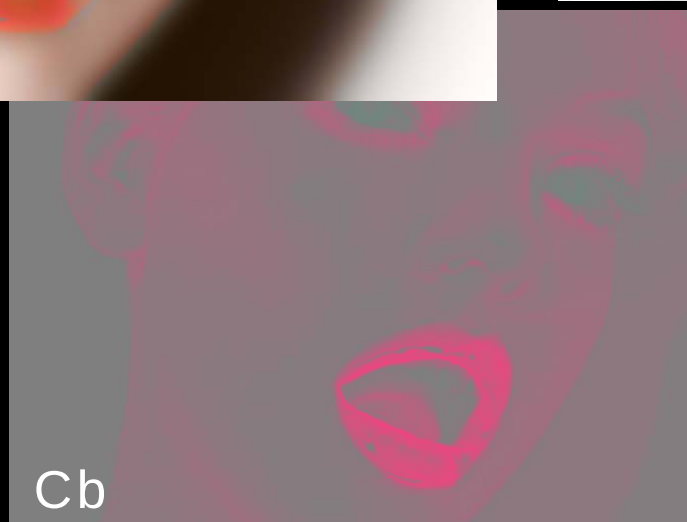
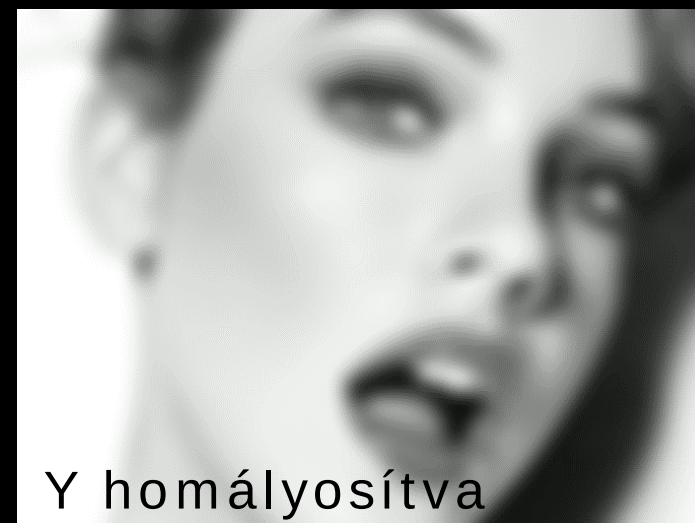
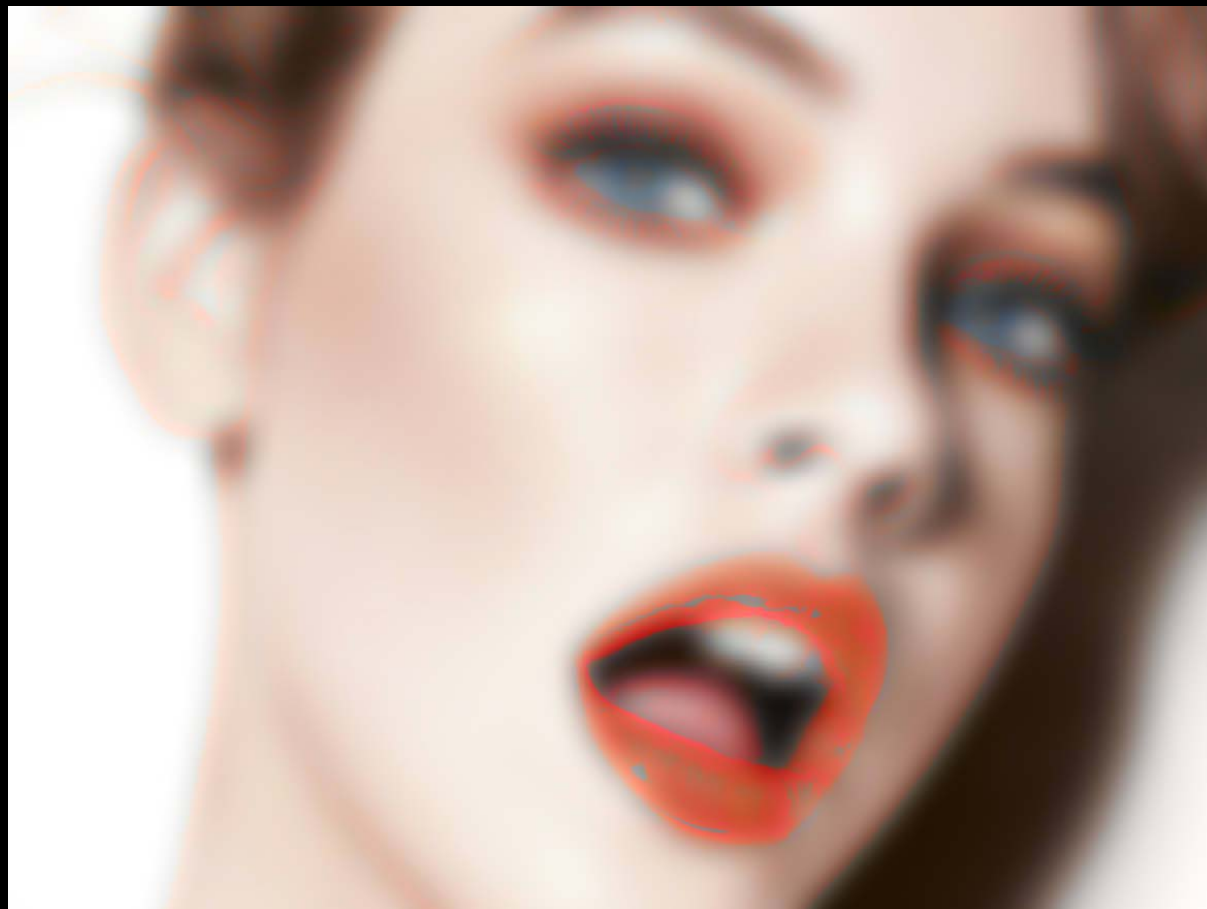
Kód:

261,259,261,259,260....

YCbCr színkülönbség színmodell

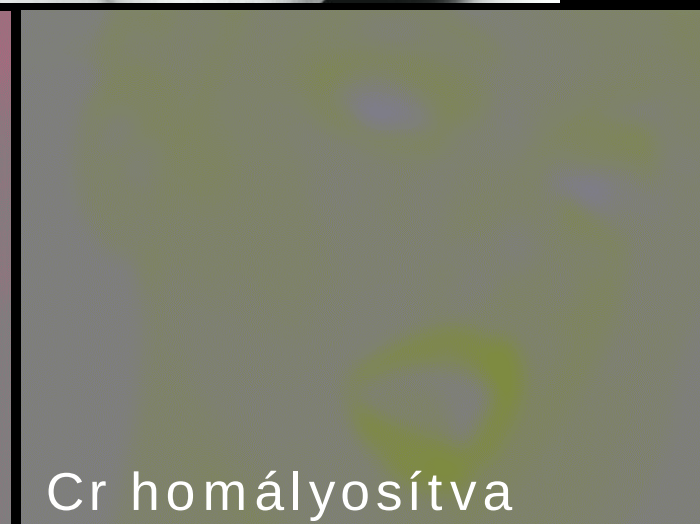
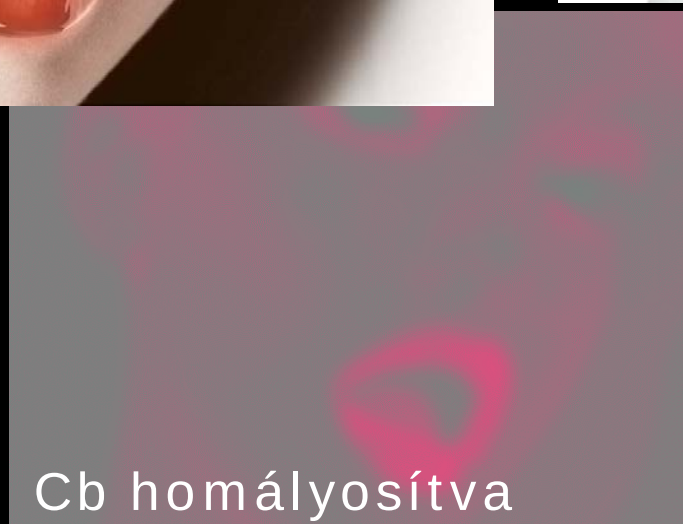
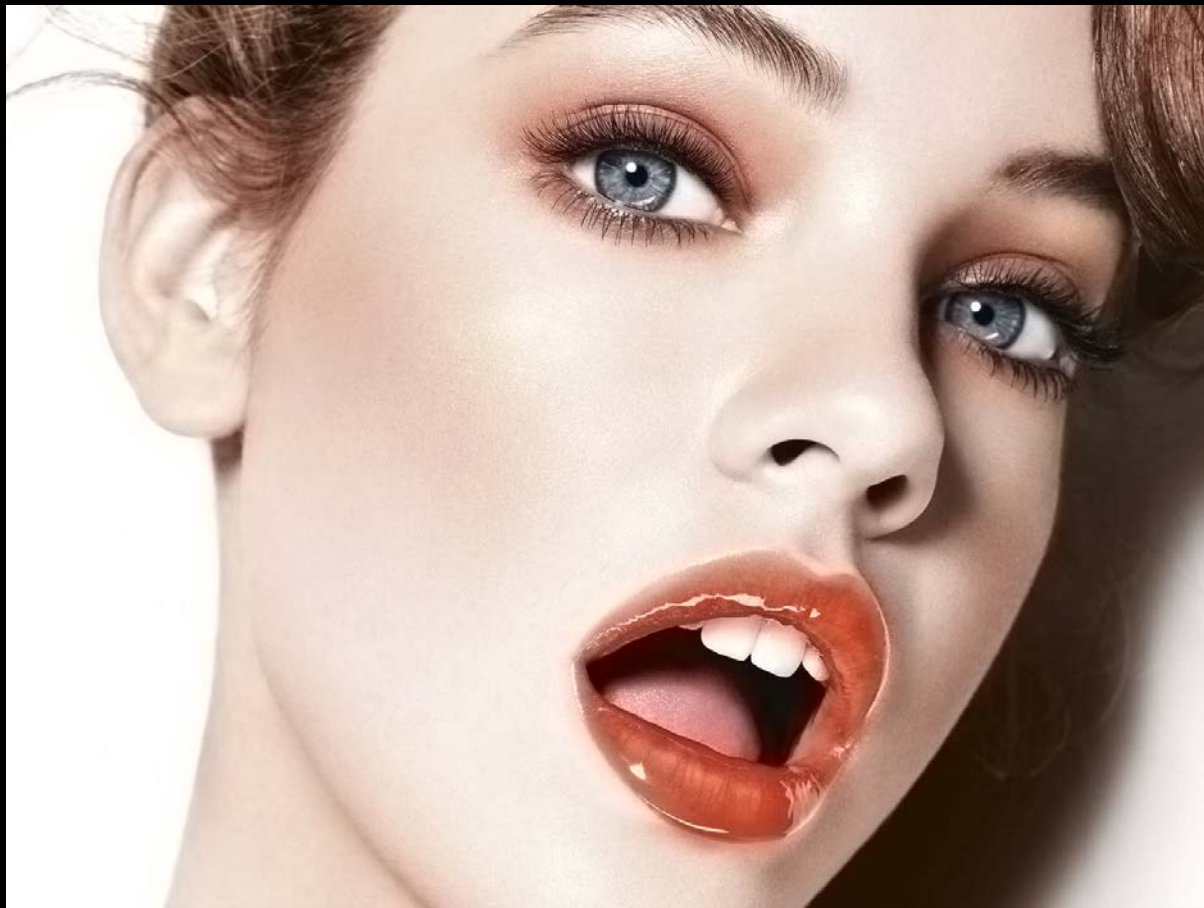


YCbCr színkülönbség színmodell



A homályosítás az alulmintavételezést illusztrálja.

YCbCr színkülönbség színmodell



A homályosítás az alulmintavételezést illusztrálja.

GIF - Graphics Interchange Format

Szolgáltatások

színmodell: **RGB**

színtér: sRGB | beágyazott színprofil szerint

színmélység: **1 bit (B&W) | 8 bit (256 szín)**

átlátszóság vagy háttérszín: **1 bit**

animáció

metaadatok: **megjegyzések, színprofil**

tömörítés: **veszteséges**

skálázhatóság: **váltósoros**

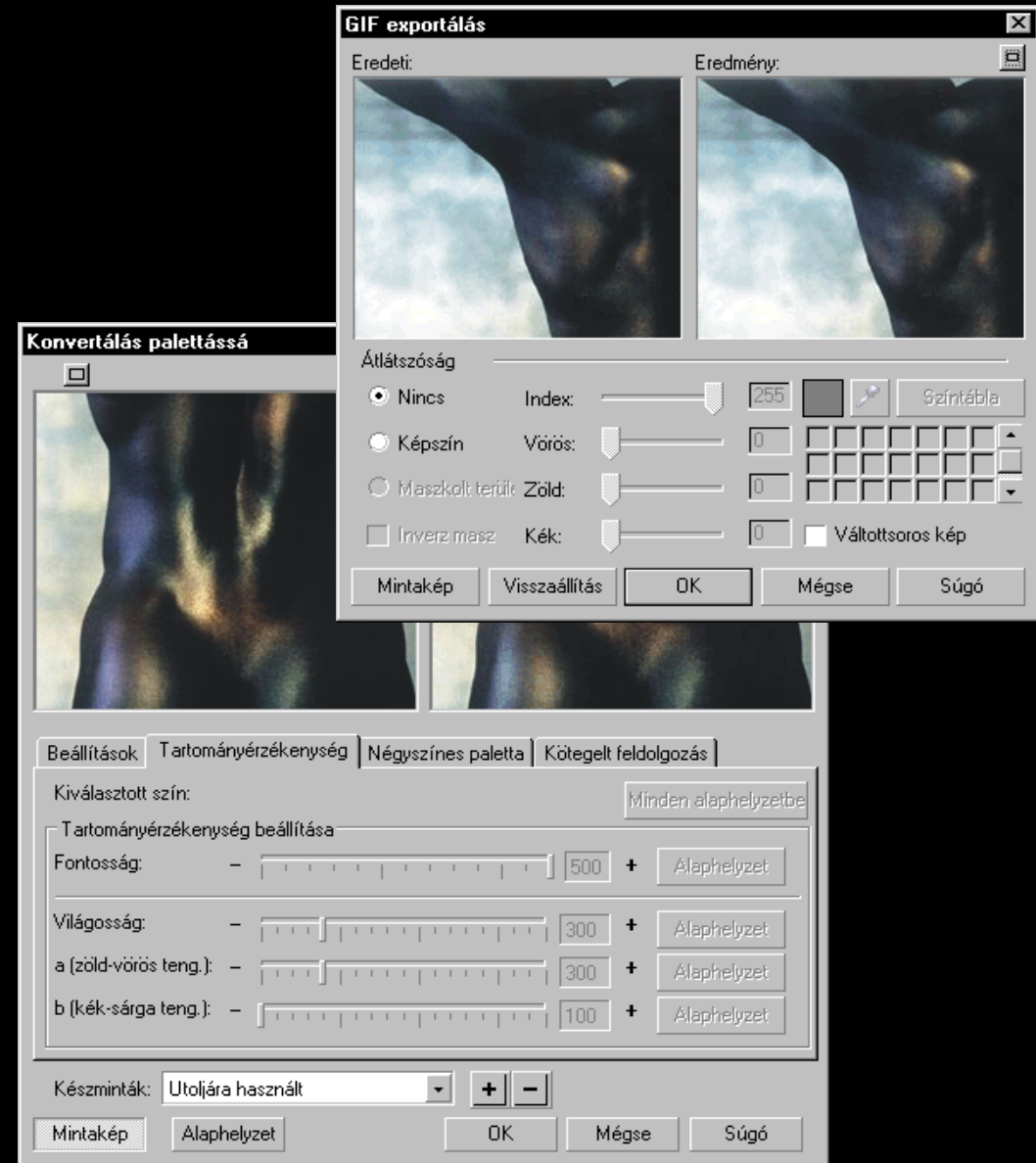
max. képméret: **64K×64K pixel**

Tömörítés

színindexálás + LZW

Felhasználás

**hatékony tömörítés (kis fájl méret),
animáció, árnyaltos grafika (ha a
színhelyesség nem követelmény), vonalas
rajz (ha 8 bites szürke árnyaltos)**



Gif tömörítés minősége

A GIF színtáblázat (Color Palette) $2^8 = 256$
RGB színt indexál. Ha a kép több mint 256
színt tartalmaz, a tömörítés veszteséges!

**A veszteség csökkentése érdekében a
paletta szerkeszthető, a 256 szín
összeállítható:**

- » adaptív módon (a gyakori színek kerülnek
a palettába, a többi ditherálás közelíti),
- » web-biztos színekből,
- » szürkeárnyaltos színekből,
- » egyedileg választott színekből,
- » az oprendszer 8-bites színeiből stb.

A színek száma ditherálással növelhető.

Ditherálás: a köztes színeket a szomszédos
pixelszínek módosításával közelíti.



Diterációs algoritmusok, Ulichney 1987

Png - Portable network graphics

Szolgáltatások

színmodell: **RGB**

színtér: sRGB | beágyazott színprofil szerint

színmélység: **24/48 bit (TrueColor), 8/16 bit (Grayscale)**

átlátszóság vagy háttérszín: **8/16 bit**

tömörítés: **vesztésmentes, változtatható tömörítési arány, vagy színindexálással veszteséges**

metaadatok: **gamma korrekció, színprofil, RGB+W CIE_{xy} színekoordináták, megjegyzések**

skálázhatóság: **váltósoros**

max. képméret: **2G×2G pixel**

Tömörítés

előszűrés + LZ77 + Huffman / 8 bites színindexálás

Felhasználás

színhelyes grafika, fotó



Az alfa csatornák a képek inverz szürkefokozatú változataiból készültek.

Tiff - Taged image file format

Szolgáltatások

platform: **MacOS/Windows**

színmodellek: **RGB, CMYK, YCC, CIELab**

színtér: beágyazott színprofil szerint

színmélység: **1-64 bit (4×16 bit)**

több kép

tömörítés: **veszteségmentes/veszteséges,**

változtatható tömörítési arány

metaadatok: **korlátlan**

max. képméret: **4 GB-os fájl**



Tömörítés

PackBits (Mac) | LZW | Huffman & RLE |

Jpeg | Zip

Felhasználás

professzionális grafika & DTP nyomdai

nyomtatáshoz (CMYK), szkennelés (48 bit),

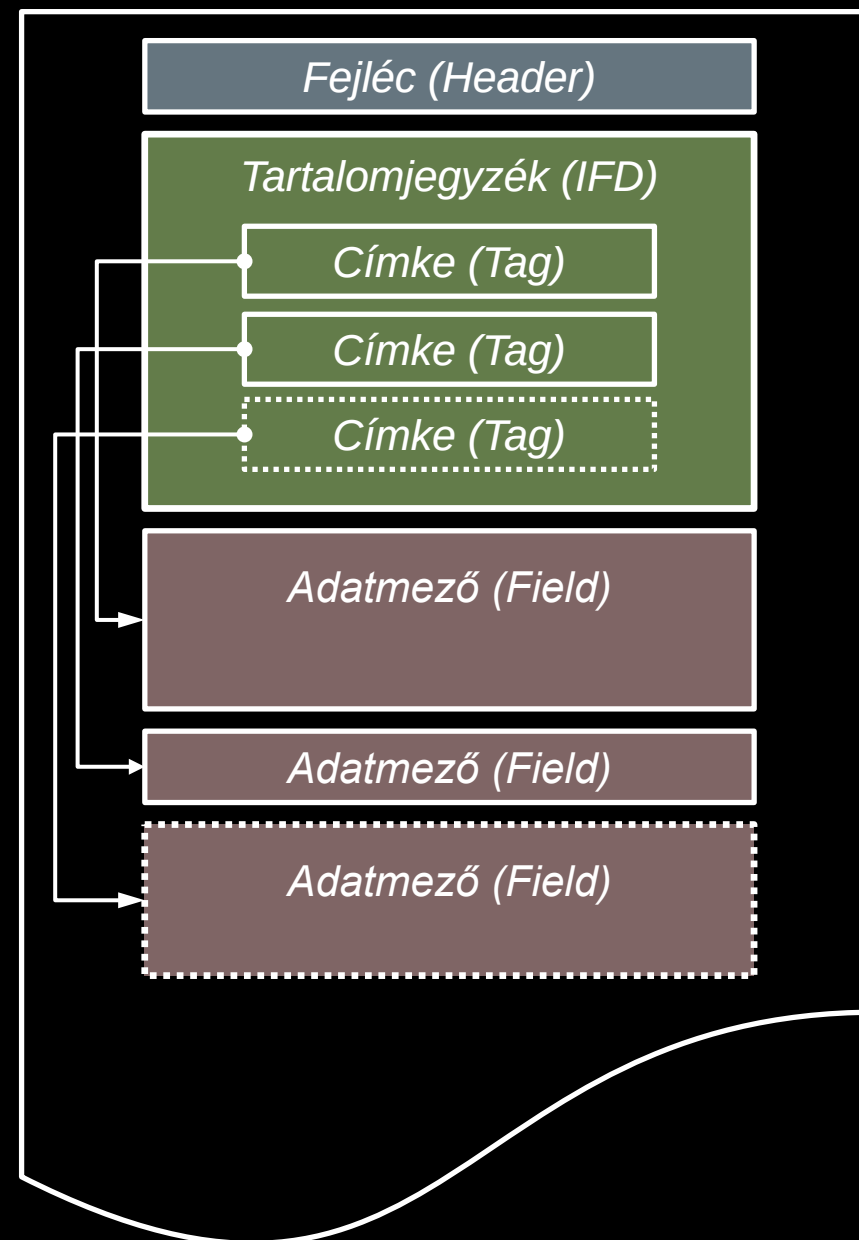
térképészet, geodézia stb.

Tiff - Taged image file format

A Tiff Tag (címké) szabványos vagy egyedi adatcsoportokhoz un. adatmezőkhöz tartozó utasítás, amely a képnéző, képszerkesztő alkalmazások számára meghatározza az adatmezők helyét a fájlban és az adatkezelés módját.

Az ismeretlen vagy hiányzó címkék és adatmezők csak az utasítás átlépését eredményezik, ezért az alkalmazók egyedi címkéket illetve adatmezőket illeszthetnek a Tiff fájlba.

A kamera raw és a HDR képfájlok is Tiff fájlok.



Jpeg - Joint Photographic Experts Group

Szolgáltatások

színmodell: **YCbCr**

színtér: sRGB | beágyazott színprofil szerint

színmélység: **1 bit | 24 bit (True Color)**

tömörítés: **veszteséges, változtatható**

tömörítési arány

metaadatok: **megjegyzések, színprofil**

skálázhatóság: **progresszív**

max. képméret: **64K x 64K pixel**

Tömörítés

4:4:4, 4:2:2, 4:1:1 mintavétel + DCT (Jpeg)

vagy WT (Jpeg2000) + RLE + Huffman

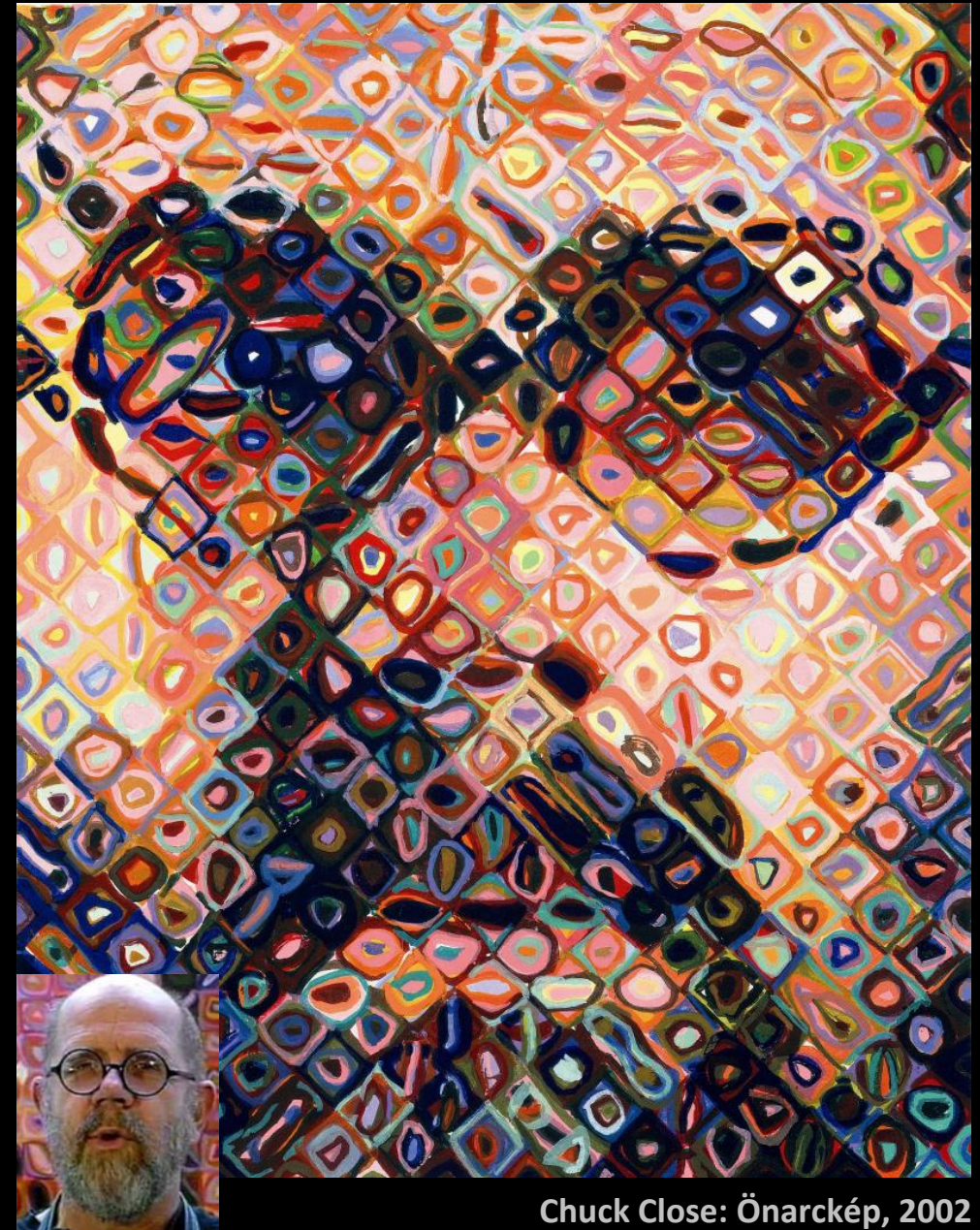
Felhasználás

fénykép, árnyaltos grafika

Változatok

Jpeg2000 (jp2) – választható veszteséges

vagy veszteségmentes tömörítés



Chuck Close: Önarckép, 2002

Jpeg tömörítés

A veszteséges tömörítés két eljárás eredménye:

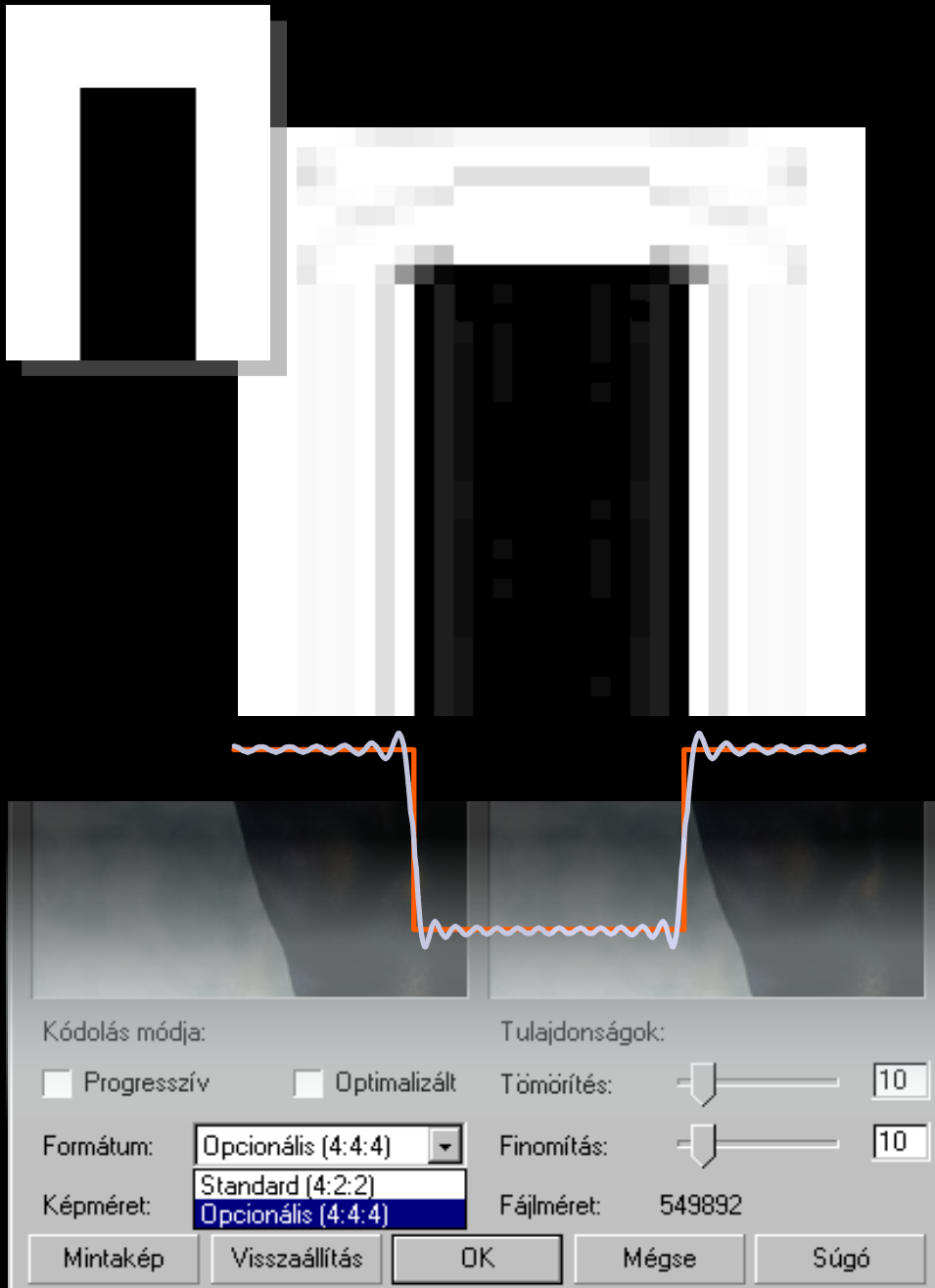
1. A Jpeg fájl az RGB pixelszíneket világosság (Y) és két színességi (Cb, Cr) adatra alakítja, így a kétféle adat eltérő mintavételi gyakorisággal tömöríthető (4:4:4, 4:2:2, 4:1:1).
2. A 8x8-as blokkokra osztott Y,Cb,Cr értékeket DCT (diszkrét koszinusz transzformáció) 64 koszinusz bázisfüggvény együtthatóival tárolja.

A tömörítés az együtthatókat kerekíti: ahogy növeljük a kerekítés mértékét, előbb a magas, majd a közép, végül az alacsony frekvenciák vesznek el, végül marad a 8x8-as blokk pixelszíneinek átlaga.



A tömörítés mértéke és így a kép minősége blokkról-blokkra változik.

Jpeg tömörítés



A tömörítés minősége függ a kép tartalmától!
Hozzávetőleg...

T = 10 kiváló minőség, fantom kontúrok
nem észlelhetők,

T = 20-30 jó minőség, fantom kontúrok,

T = 50 gyenge minőség, a 8x8-as
pixelblokkok már láthatók.

Vigyázat: a Jpeg kép minden egyes mentése
újabb veszteséget okoz, szerkesztéshez a
képet célszerű veszteségmentes
fájlformátumban menteni!

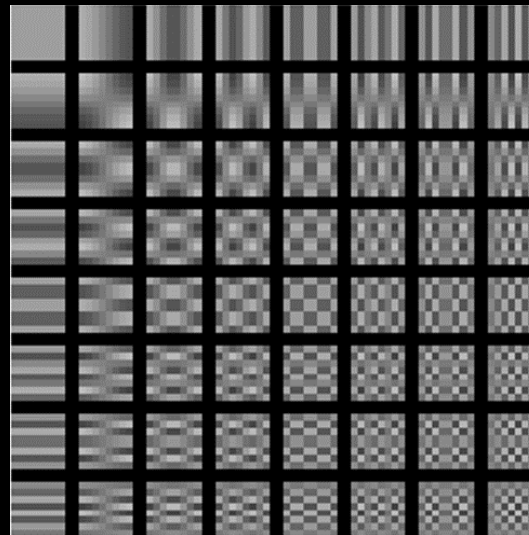
Jpeg alkalmatlan vonalas rajzok (line art)
rögzítésére. A hirtelen változások határát
a kvantált DCT tömörítés nem képes elég
magas frekvenciákkal kezelni, ezért ott
alias típusú képhibák keletkeznek.



www.epab.bme.hu © Batta Imre 2016

batta@arch.bme.hu

Mintavétel elmélete



Melléklet
Jpg tömörítés

Jpeg tömörítés – 1.

A Jpeg fájl tömörítése több lépésben, 8 x 8 pixelből álló blokkonként történik.

1. RGB-YCC konverzió

Az alábbi RGB-YCC videó konverziós képlet a pixelkép RGB adatait világosság (Y) és a színességet két színkülönbség (Cb, Cr) adatra alakítja az alábbi képlet szerint:

$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

$$Cb = -0.169 R - 0.331 G + 0.500 B$$

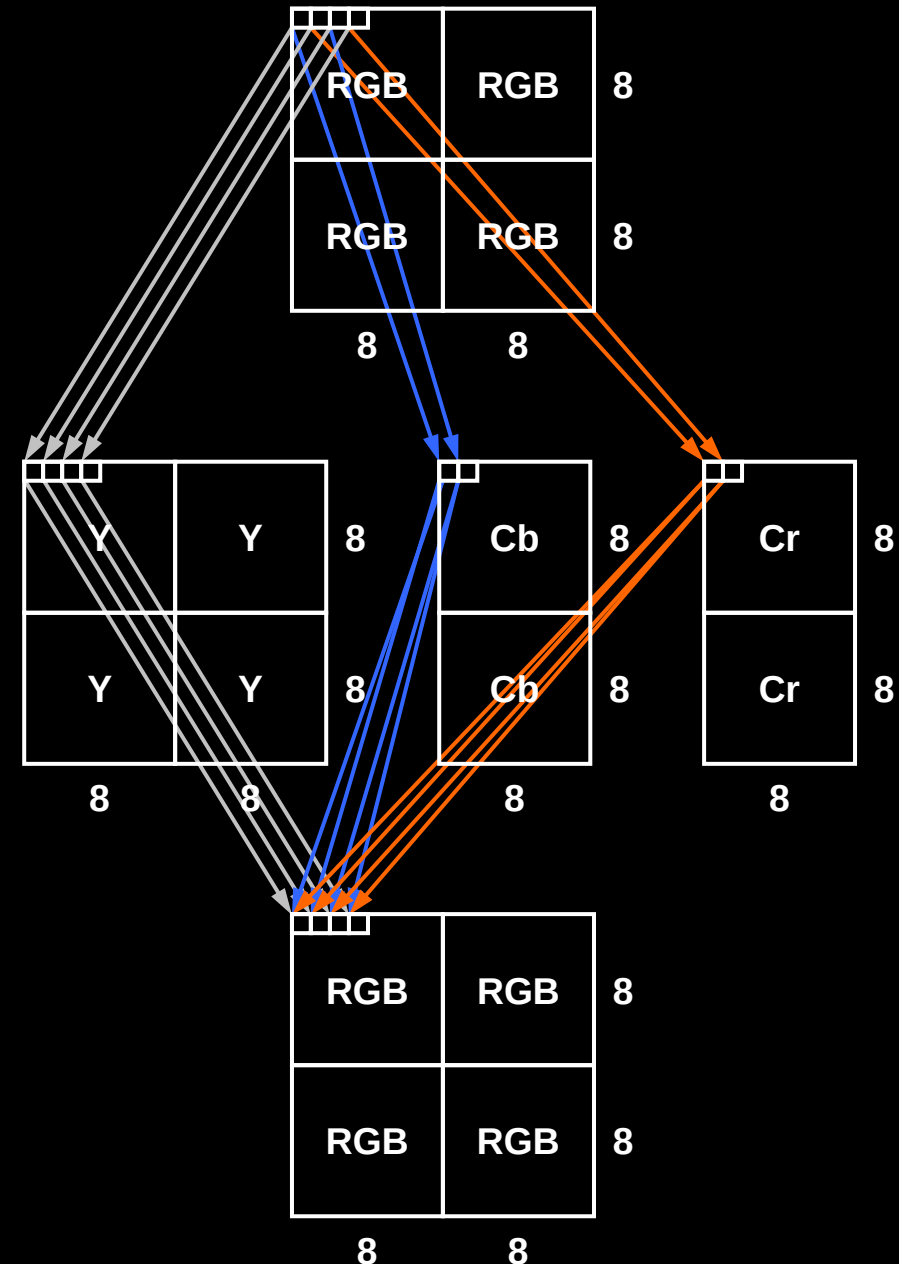
$$Cr = 0.500 R - 0.419 G - 0.081 B$$

2. Színesség alul-mintavételezés

A világosság és a színkülönbség információk elkülönítése lehetővé teszi, hogy a felhasználó választása szerint a Cb és Cr színkülönbség adatok alul-mintavételezhetők (Chroma Subsampling).

Ha a választott formátum 4:2:2 (4 minta világosság, 2-2 minta színkülönbség), a mintavétel négy 8 x 8-as blokk színkülönbség adatait két 8 x 8-as színkülönbség blokkba gyűjti össze. Ez már veszteséges tömörítést eredményez.

Ha a választott formátum 4:1:1, egy-egy 8 x 8-as színkülönbség blokk keletkezik.



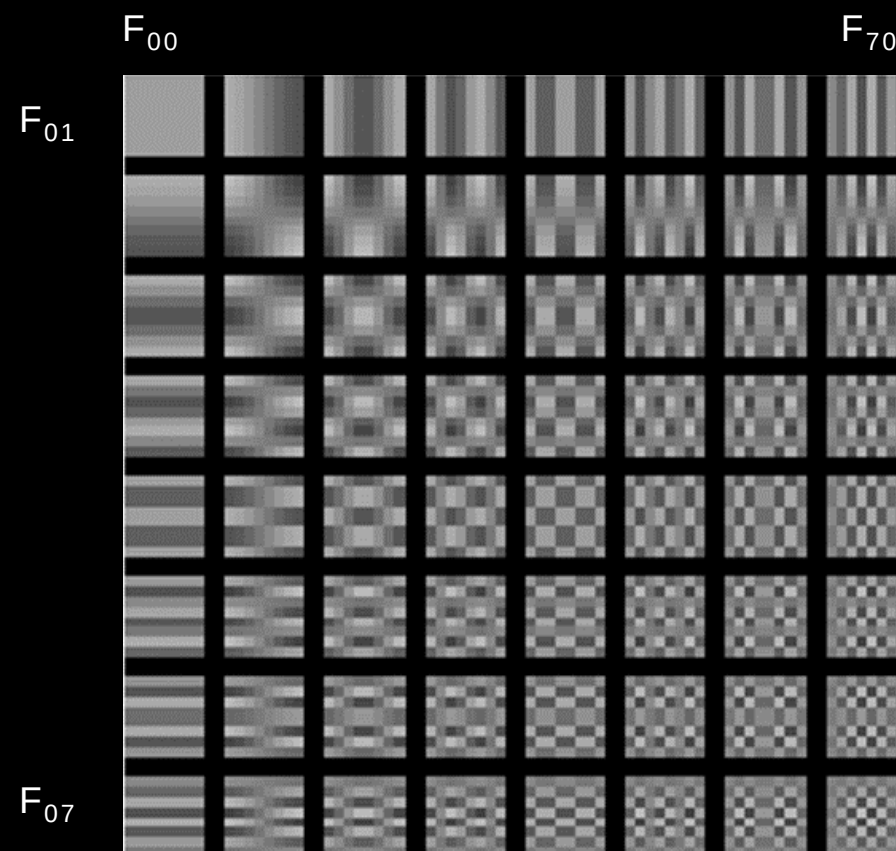
Jpeg tömörítés – 2.

3. Diszkrét koszinusz transzformáció

A DCT (diszkrét koszinusz transzformáció) a Fourier transzformáció diszkrét értékkel dolgozó kétdimenziós változata. A Jpeg fájl esetében a 8 x 8-as blokkok térbeli domborzatát összegző 64 db 3D-s koszinusz bázisfüggvény együtthatóit számítja ki.

A transzformáció eredménye 64 együtthatóból álló frekvenciaspektrum, amelyből a bal felső sarok az átlagérték, körülötte csoportosulnak a kép lényeges változásait meghatározó alacsony frekvenciák, míg a jobb alsó részen találhatók a finom részleteket tartalmazó magasak. Kisebb kerekítési hibák következményétől eltekintve az együtthatókból a kép még veszteségmentesen fejthető vissza.

Jobboldali kép: 64 DCT koszinusz bázisfüggvény felülnézeti képe. A bal felső kezdő F00 konstans függvény kivételével a periódus-szám x és y irányban 0.5 - 4 között változik. Pl. az F10-es x irányban lejtő fél-koszinusz görbe, az F01-es pedig y irányban. A jobb alsó sarokban található F77-es frekvenciája a legmagasabb, mindkét irányban négy periódusból áll.



Jpeg tömörítés – 3.

4. Kvantálás

A tömörítés a kvantálással kezdődik, amely a DCT együtthatókat táblázatokban tárolt osztókkal elosztja, majd egész számokra kerekíti. A kvantálás eredményeként – átlagos kép esetében – a 8×8 -as blokkok jobb alsó részén, a magas frekvenciáknál, 0 értékek keletkeznek.

A színekülönbség táblázatok osztói nagyobb értékűek, így a színesség információk minősége tovább romlik.

A táblázatokban az osztók értéke enyhén aszimmetrikus eloszlású. Ennek célja a moaré jellegű mintázatok kialakulásának megakadályozása.

A tömörítés mértékét a felhasználó az osztók értékének növelésével (szorzásával) növelheti.

A kvantáló táblázatok értékeit tapasztalati úton határozták meg.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Y világosság kvantáló tábla

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

Cb, Cr színekülönbség
kvantáló tábla

Jpeg tömörítés – 4.

5. Futóhossz tömörítés

A Run Length Encoding (az ismétlődő számokhoz rendelt „futóhossz”) kódolással a fájl mérete tovább csökken, mert a kvantált együtthatók eloszlása olyan, hogy az ismétlődő számok, mindenekelőtt a 0-ák – a cikk-cakk táblával meghatározott sorrend szerint láncra fűzve – rendszerint ismétlődnek. Minél nagyobb a kvantálás (kerekítés), annál hatékonyabb az RLE.

6. Huffman tömörítés

A futóhossz kódolás eredményeként kapott számpárok végső tömörítése Huffman (vagy aritmetikai) statisztikai kódolással történik. A gyakori számok kódja rövidebb, a ritkábban előfordulóké hosszabb. A futóhossz és a Huffman tömörítés veszteségmentesek.

7. Mentés

Az elkészült Jpeg fájlban a kódolt adatokat megelőzi a fejléc (File Header), amely az Exif és Web szöveges információkon kívül a két kvantáló és a Huffman kódok táblázatait tartalmazza. A RGB-YCC konverziós mátrix és a cikk-cakk táblázat szabványos.

8	2	-6	-5	0	0	0	0
2	5	-4	6	0	3	0	0
-5	7	0	0	0	0	0	0
-2	0	0	0	0	0	0	0
0	5	0	-2	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Együttható értékek jellemző eloszlása kvantálás után

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

Cikk-cakk tábla