

3. Digitaalikuvien esitystavat

Grafiikan lajit

Mittayksiköt

Värimallit

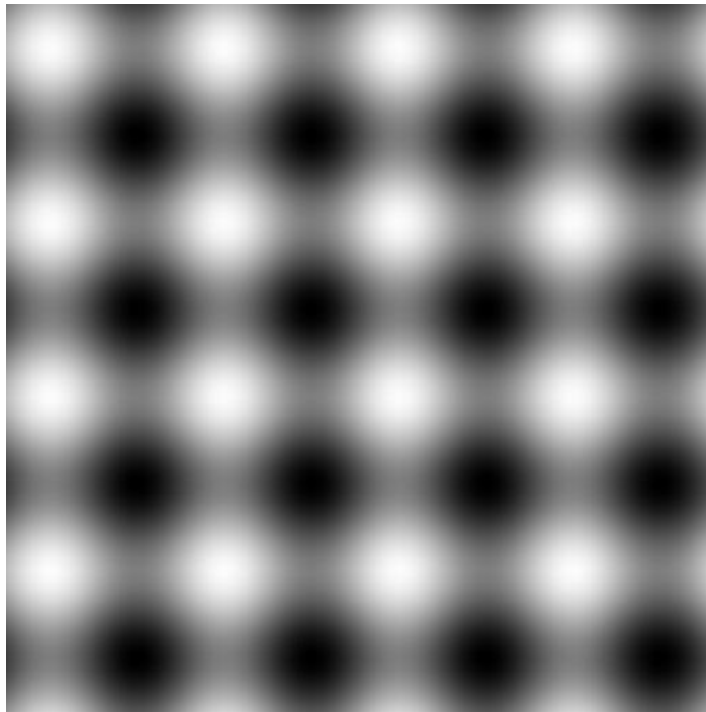
Tiedostoformaattit

Kuvan matemaattinen esitys

- Mikä tahansa koordinaatistoon sijoitettu funktio $f(x,y)$ voidaan tulkita kuvaksi, tulkitsemalla arvoalue sopivalla tavalla.
- Funktion arvo pisteessä (x,y) esittää kuvan kirkkautta, väriä tms. tuossa pisteessä.
- Funktio f voi olla havaintoihin perustuva (approksimoitu) tai keinotekoinen (\rightarrow piirros & *renderöinti*), esim. korkeuden ilmaisu kartalla.

Esimerkki kuvanmuodostuksesta

- 'Renderöidään' funktion $\sin(x)+\sin(y)$ määrittelemä pinta kuvaksi:



Vektorigrafiikka

- Rakentuu matemaattisesti esitetyistä objekteista.
- Yleensä viivapiirroksia (suoria, ympyröitä, käyriä), ehkä väritettyjä.
- Pieni tilantarve, vapaasti skaalattavissa.
- Ei yleensä käytetä valokuville; skannattujen piirustusten vektorointi kuitenkin järkevää (esim. Adobe StreamLine).
- Piirtotyökaluja: CorelDraw, Adobe Illustrator, ...

Bittikarttagrafiikka

- 'Pikseligrafiikka', 'rasterigrafiikka'
- ***Tämän kurssin pääkohde***
- Yleisin valokuvien digitaalinen esitysmuoto
- Digitaalikameran / skannerin tuottama
- Kuva = pikselimatriisi ('ruudukko')
- Pikseli = kuva-alkio ('ruutu');
paikka (x,y) -koordinaatistossa jolla arvo $f(x,y)$
- Kuvankäsittely on pikselien manipulointia,
mutta ei yleensä yksi kerrallaan.

Pikselien määrittäminen

- Kuvafunktio $f(x,y)$ teoriassa jatkuva
- *Otanta* = kuvafunktion arvojen määrittäminen diskreetein välein (\rightarrow *resoluutio*)
- Arvot teoriassa reaalilukuja (harmaasävykuvat) tai reaalilukujen vektoreita (värikuvat).
- Arvoja pitää approksimoida (*kvantisoida*) jollakin asteikolla (*värisyvyys* = bittiä/pikseli).
- Otanta & kvantisointi \rightarrow digitaalikuva

Kuvan perussuureet

- Pikselimäärä:
 - Vaaka- ja pystysuunnassa
 - Määräytyy kameran/skannerin mukaan
 - Rajoittaa laadukkaan tulostuksen kokoa
 - Todellinen koko riippuu lisäksi resoluutiosta.
 - Pikselimäärää voidaan laskennallisesti lisätä (interpolaatio), mutta se ei tuo kuvaan uutta informaatiota.
- Koordinaattijärjestelmä:
 - Origo vasemmalla ylhäällä, x kasvaa oikealle, y alaspäin.

Kuvan perussuureet (jatk.)

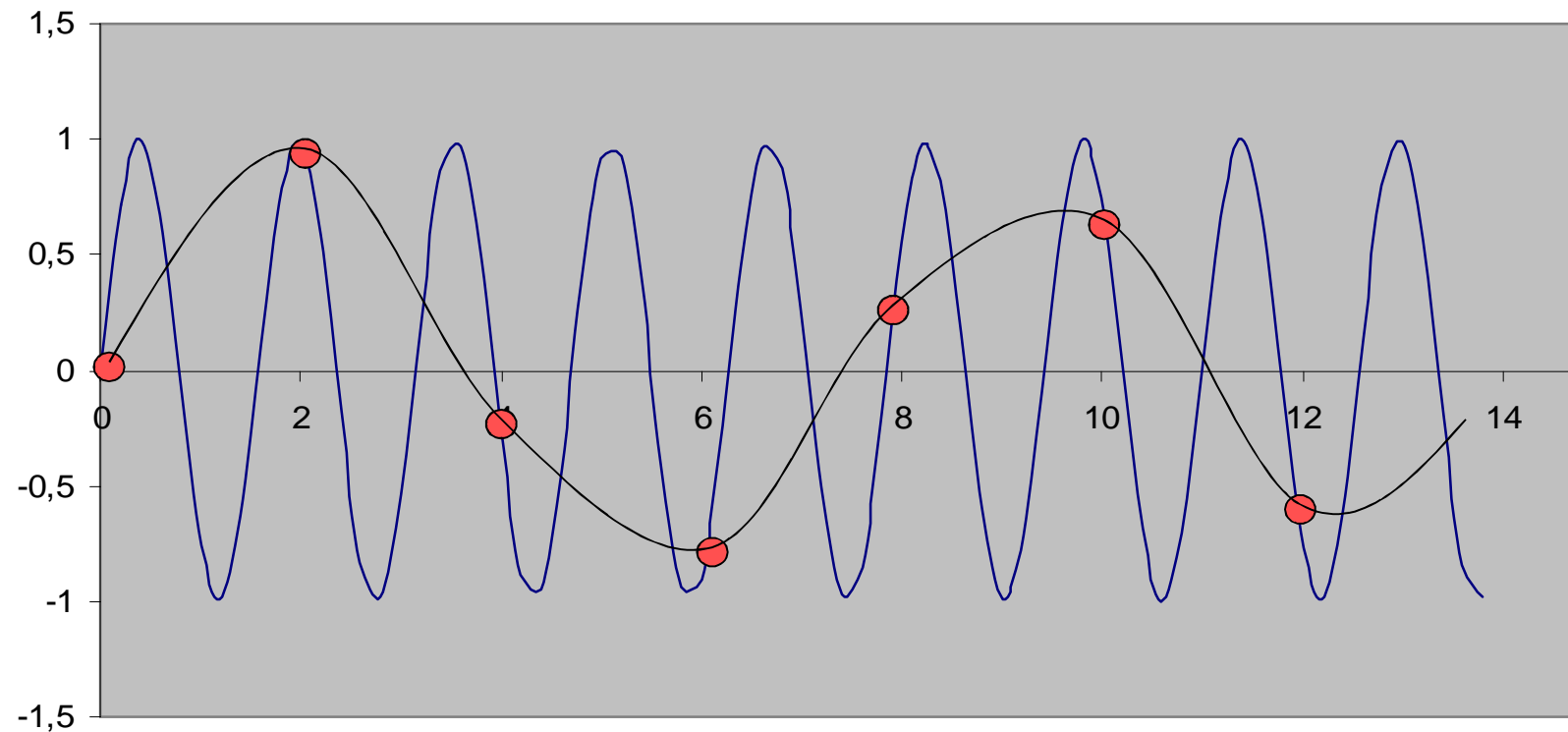
- Resoluutio
 - Pikseleitä tuumalla (ppi)
 - Erikseen vaaka- ja pystysuunnassa
 - Kertoo tarkkuuden (= pikselin koon)
 - Arvon voi tallettaa kuvan mukana
 - Tulostuslaatu hyvä, jos resoluutio vähintään 200-300 ppi
 - Rasteroidut painotyöt: Resoluution oltava \geq 2 x rasteroinnin linjatiheys

Resoluution riittävyys

- Riippuu kuvafunktion $f(x,y)$ *spatiaalisesta frekvenssistä*:
 - Pieni frekvenssi: muutokset hitaita
 - Suuri frekvenssi: muutokset tiheässä
- *Nyquistin sääntö*:
Otantafrekvenssin oltava $\geq 2 \times$ suurin spatiaalinen frekvenssi kuvassa.
Muuten *laskostumista (aliasing)*; ns. *Moire-ilmio*
- *Anti-aliasointi*: suodatetaan pois frekvenssit, jotka $> \frac{1}{2}$ otantafrekvenssi.

Laskostumisen synty

Esim. Otantaväli = 2, kohteen aallonpituus < 4, Moire-kuvion aallonpituus noin 8

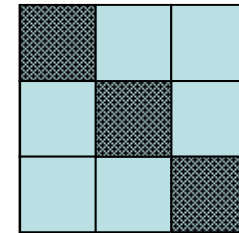


Kuvakoon sovitus

- Pikselimäärän pienentäminen ok, mutta alkuperäinen kuva ei palautettavissa
- Pikselimäärän suurentaminen ei säilytä tarkkuutta.
- Näyttöruutu: pikseli \leftrightarrow näyttöpikseli
 - Skaalaus voi huonontaa kuvan laatua
- Paperi: Kuvan koko määräytyy pikselimäärän ja resoluution mukaan
 - Esim. 1200 x 800 pikseliä & 200 ppi \rightarrow 6x4 tuumaa

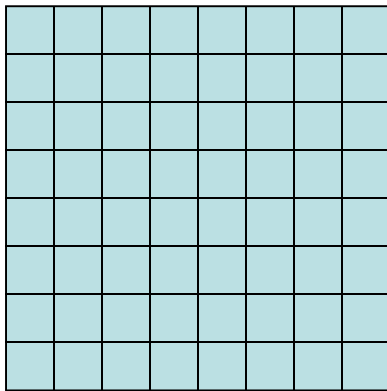
Otantakuvio

- Suorakulmainen ruudukko yleisin.
- Pistejonojen yhtenäisyys ongelma vinoissa viivoissa.
- Matka pikselistä naapuriin riippuu suunnasta.
- Kuusikulmaiset (heksagonaaliset) pikselit yo. suhteissa parempia, mutta eivät tue yhtäikaa sekä vaaka- että pystysuoria viivoja.
- Myös epätasainen otantakuvio mahdollinen (esim. *log-polar*)

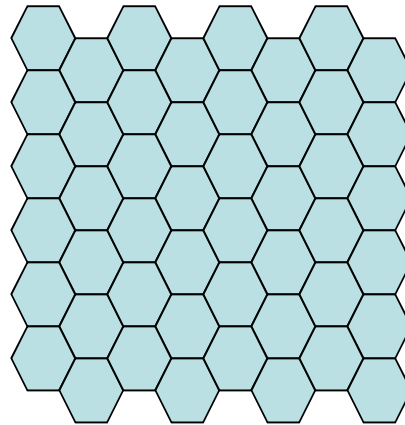


Esimerkkejä otantakuvioista

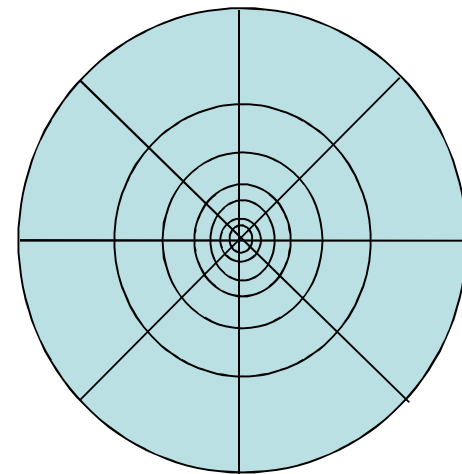
Ruudukko



Heksagonaalinen



Log-polar



Värimallit

- Puhdas väri \leftrightarrow valon aallonpituus;
violetti \approx 400 nm, punainen \approx 700 nm



- Teknisesti hankala generoida kaikkia värejä (aallonpituuksia) erikseen.
- Värit tehdään sekoittamalla perusvärejä sopivassa suhteessa.
- Perusvärit ja sekoitustulos riippuvat sovellettavasta värimallista.
- Lisäinfoa esim. http://en.wikipedia.org/wiki/Color_models,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Gamut>.

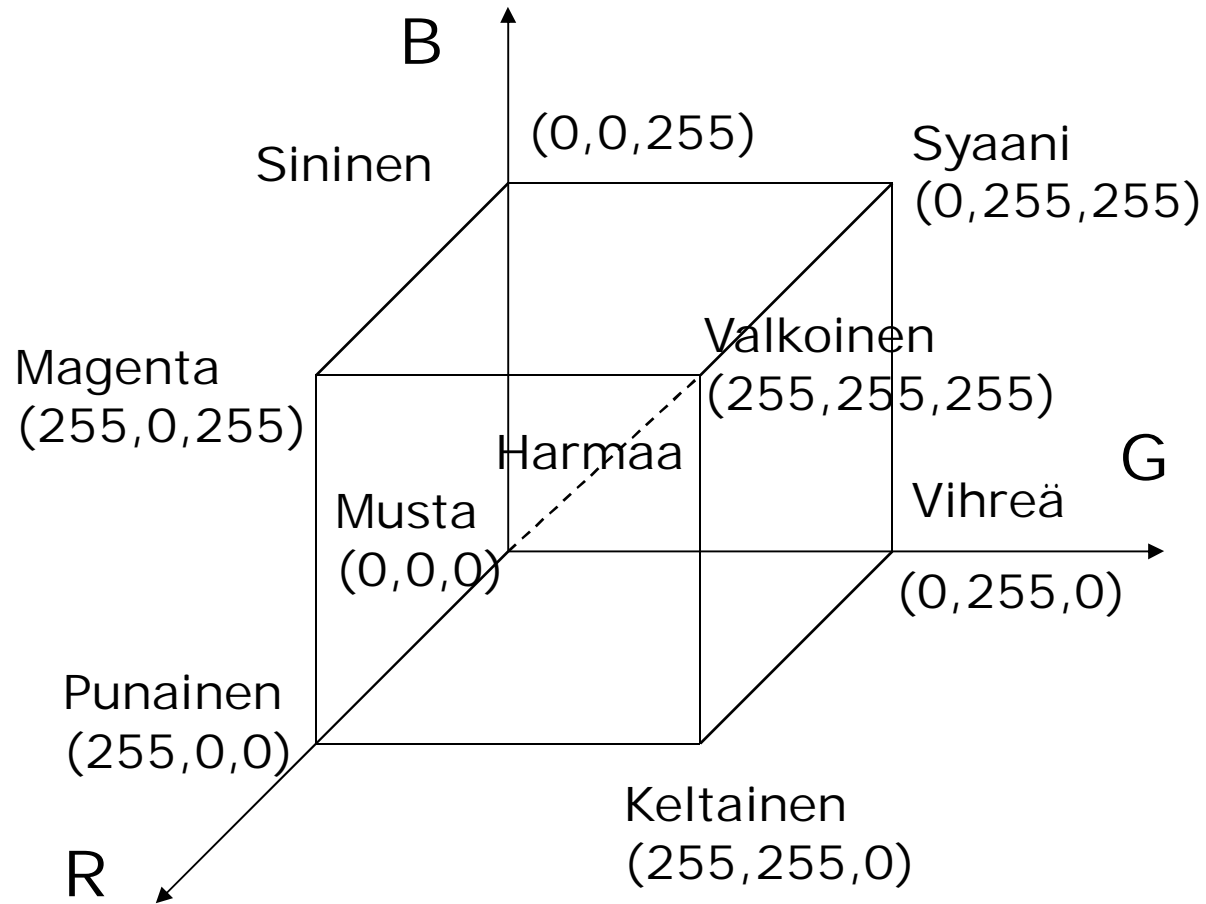
Additiivinen värimalli: RGB

- Perusvärit **punainen**, **vihreä**, **sininen** (RGB = Red-Green-Blue).
- Käytetään tietokonenäytöllä, joka koostuu väripistekolmikoista.
- Kunkin perusvärin kirkkaus esim. 0..255 (ns. täysvärinäyttö).
- Yhdistäminen *lisää* valon määrää.
- RGB on kuvankäsittelyohjelmien yleisimmin käyttämä värimalli.
- sRGB = uusi laiteriippumaton RGB-standardi (Windows, Internet)

Esimerkkejä värien sekoituksesta

- Välivärit:
 - Keltainen = R + G, $\langle 255, 255, 0 \rangle$
 - Magenta = R + B, $\langle 255, 0, 255 \rangle$
 - Syaani = G + B, $\langle 0, 255, 255 \rangle$
- Harmaasävyt:
 - Musta = $\langle 0, 0, 0 \rangle$
= $\langle 255, 255, 255 \rangle$
 - Harmaa = $\langle c, c, c \rangle$, $0 < c < 255$.

RGB-värikuutio

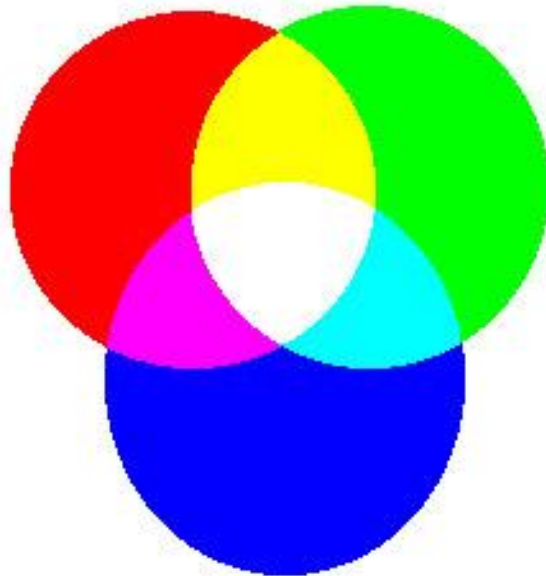


Subtraktiivinen värimalli

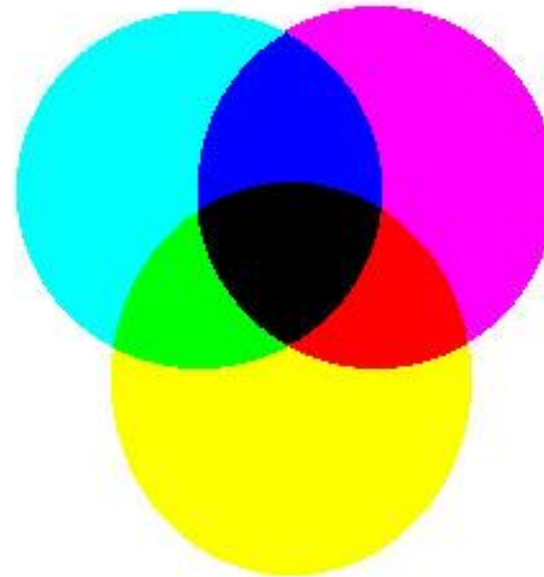
- Perusta: valon absorptio väriaineissa
- Käytetään painotuotteiden valmistuksessa
- CMYK-värimalli:
 - Perusvärit: RGB-mallin välivärit:
Keltainen , magenta ja syaani
 - Lisäksi musta (teknisistä syistä)
- Tummuus lisääntyy sekoitettaessa
- CMYK-väriavaruus suppeampi kuin RGB:n

Pää- ja välivärit

RGB:



CMYK:



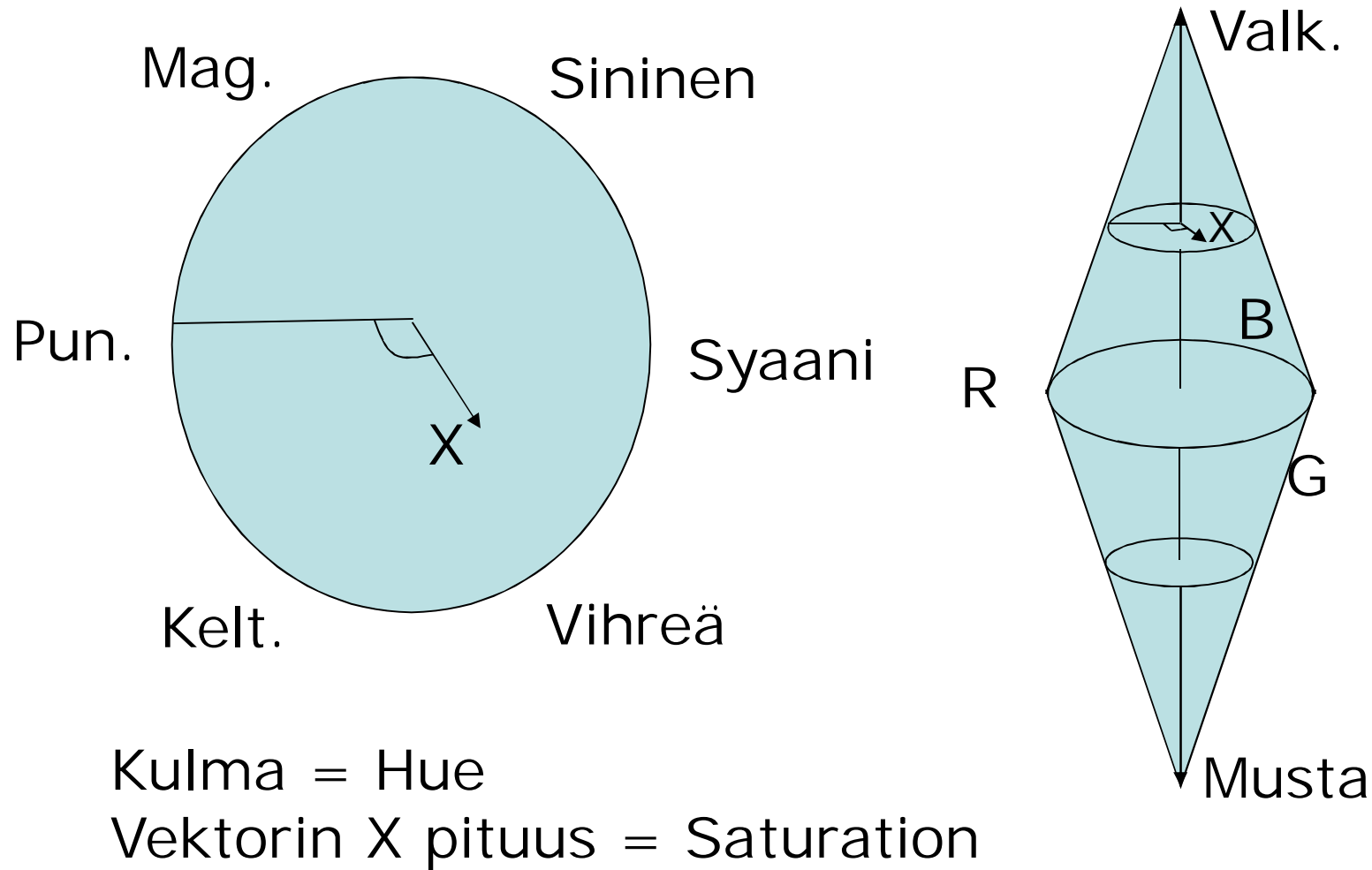
Värierottelu

- RGB → CMYK
- Esim. mustesuihkutulostimen ohjain tekee automaattisesti.
- RGB → CMY periaatteessa helppo:
 $\langle c, m, y \rangle = \langle 255-r, 255-g, 255-b \rangle$
- Käytännössä ei näin suoraviivainen
- Painokoneen värierottelu vaatii ammattitaitoa; painokoneessa usein enemmän perusvärejä.

HSL-värimalli

- Perustuu siihen, että ihmissilmä herkempi kirkkauden kuin värien muutoksille.
- Komponentit:
 - Värisävy (Hue)
 - Kylläisyys (Saturation); harmaan osuus
 - Kirkkaus (Lightness, Luminance)
- Käytetään myös lyhennettä HSI (Hue, Saturation, Intensity)
- HSV (Hue, Saturation, Value) samantapainen, kuts. myös HSB (Hue, Saturation, Brightness)

HSL-väriympyrä ja -kaksoiskartio



Muita värimalleja

- Video (TV): Kirkkaus- (luminance) ja värikomponentit (chrominance) erotettu. Standardoituja malleja:
 - YUV (PAL-TV, esim. Eurooppa)
 - YIQ (NTSC-TV, esim. USA)
 - YCbCr \approx YUV (esim. JPEG käyttää)
- L*a*b* (= LAB = CIELAB)
 - Vastaavat komponentit kuin yllä
 - Laiteriippumaton tallennusmuoto
- *ICC-profiili* määrittelee laitekohtaisen mallin, joka voidaan liittää osaksi kuvainformaatiota (ICC = International Color Consortium).

Väritilojen muunnokset

- Joudutaan tekemään esim. painatusta tai pakkausta (JPEG) varten.
- Turhia muunnoksia pitäisi välttää (heikentävät kuvan laatua).
- Lab-malli periaatteessa paras
 - Muunto harmaasävykuvaksi Lab-mallin kautta (tai suoraan skannerilla)
 - Terävöinti Lab-mallin kirkkauskanavaan

Muunnoskaavoja

Alla RGB skaalattu välille [0,1)

- RGB \rightarrow YUV
 - Kirkkaus: $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$
 - Värierokanavat: $U = B - Y$, $V = R - Y$,
PAL-järj.: $U = 0.492(B - Y)$, $V = 0.877(R - Y)$
- RGB \rightarrow YCbCr
 - $Cb = 0.5647(B - Y) + 0.5$
 - $Cr = 0.7132(R - Y) + 0.5$
- RGB \rightarrow YIQ:
 - $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$
 - $I = 0.596R - 0.275G - 0.321B$
 - $Q = 0.212R - 0.523G + 0.311B$

RGB → HSL

- Merk. $\text{Max} = \text{Max} \{R, G, B\}$, $\text{Min} = \text{Min} \{R, G, B\}$
- $H = 60 \cdot (G - B) / (\text{Max} - \text{Min})$, jos $\text{Max} = R$
 $H = 60 \cdot (B - R) / (\text{Max} - \text{Min}) + 120$, jos $\text{Max} = G$
 $H = 60 \cdot (R - G) / (\text{Max} - \text{Min}) + 240$, jos $\text{Max} = B$
- $L = (\text{Max} + \text{Min}) / 2$
- $S = (\text{Max} - \text{Min}) / (2L)$, jos $L \leq 0.5$
 $S = (\text{Max} - \text{Min}) / (2 - 2L)$, jos $L > 0.5$

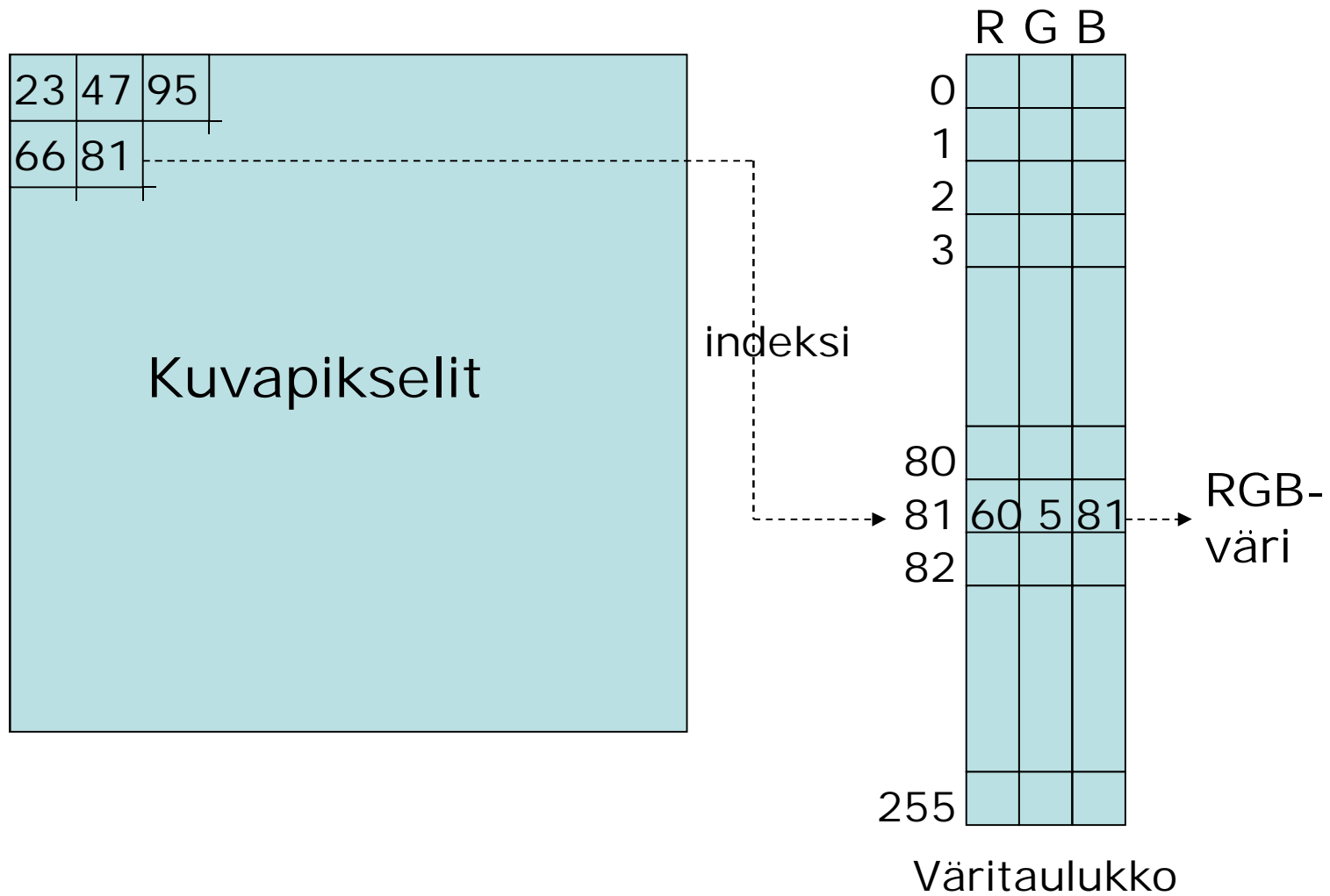
Värisyvyys

- Bittejä per pikseli (bpp)
- Kertoo samalla värien määrän
 - 1 bpp: 2 väriä (yl. musta & valkoinen)
 - 8 bpp: 256 harmaasävyä (hyvä), tai 256 värin paletti; sävyjen rajat näkyvät
 - 16 bpp: 65536 värin paletti
 - 18 bpp (3x6, halvemmat paneelinäytöt): 262144 väriä
 - 24 bpp (3x8, true color): 16.7 Mväriä
 - 32 bpp: mukana alfa-kanava (läpinäkyvyys)
 - 48/64 bpp: 16 bittiä/kanava (skannerit ja digikamerat: helpottaa sävysäätöjä)

Indeksoidut värit

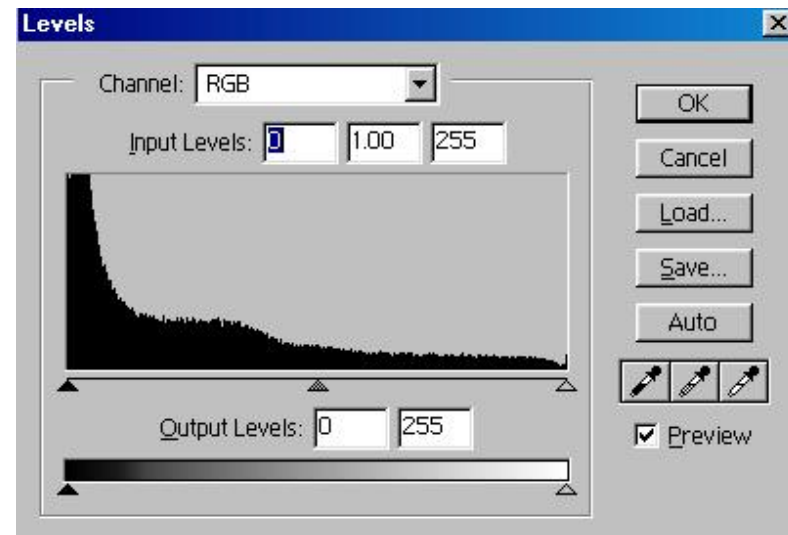
- Väripaletti (taulukko) sisältää 'edustavan' kokoelman eri värisävyjä
- Taulukko sisältää sävyjen RGB-arvot
- 256 sävyä tuottaa välttävän laadun
- Esim. GIF
- Palettityyppejä:
 - Järjestelmäpaletti (esim. Windows)
 - Web-paletti (eri järjestelmien yhteiset värit)
 - Mukautettu paletti: Kuvakohtainen

Indeksoidut värit: periaate



Kuvan väritasapaino

- Kuvataan histogrammeilla: Pikselimäärät eri RGB- tai kirkkausarvoilla
- Jakautuma mielellään tasapainoinen



Kuvatiedostomuodot

- Yleensä binäärisiä
- Ohjelmistokohtaiset vs. siirtoformaattit.
- Kuvankäsittelyohjelmat pystyvät lukemaan useimpia siirtoformaatteja.
- Useissa formaateissa pakkaus (tiivistys) mukana; perusvaihtoehdot:
 - *Häviötön* (lossless), erikoissovelluksissa
 - *Häviöllinen* (lossy), yleisempi valokuville
- Eräissä formaateissa (esim. GIF, TIFF) ollut patenttiongelmia (LZW-pakkaus; umpeutui 2004)

Kuvatiedoston rakenne

- Otsake + kuvadata
- Otsakkeen alussa signatuuri ('magic number'), joka kertoo formaatin
- Lisäksi leveys, korkeus, ym.
- Esim. PGM (Portable Grey Map):

```
P5
#Kommentti
640 480 255
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ...
```


Eräitä kuvaformaatteja

- BMP = Windows BitMaP (1-24 bpp)
- GIF (Graphics Interchange Format)
 - 256 indeksoitua väriä, pakattu
 - Yleinen www-sivuilla
- JPEG (Joint Photographic Experts Group)
 - Häviöllinen pakkaus; säädettävissä
 - Tasolla ≥ 0.5 bpp virhe huomaamaton
 - Pakkaus-/purkuajalla ei merkitystä nykykoneissa.
 - Suositeltava formaatti www:hen.
- TIFF (Tagged Image File Format)
 - Monipuolinen, yleisesti tunnettu; pakkaus optiona

Eräitä kuvaformaatteja (jatk.)

- PNG (Portable Network Graphics):
 - Häviötön pakkaus (LZ77)
 - Vaihtoehto GIFille (ei patenttiongelmia)
 - <http://www.w3.org/TR/png.html>
- EPS (Encapsulated PostScript)
 - Erityisesti kirjapainojen käyttämä
 - Tuki mielivaltaisen muotoisille kuville
- Kuvankäsittelyohjelmien formaatit
 - Esim. Photoshop: PSD-formaatti
 - Säilytysmuoto editointivaiheiden aikana