

HOOFDSTUK 2: Kleuren in multimedia

§1. Kleuren en licht

licht en het elektromagnetisch spectrum

licht = elektromagnetische golf
amplitude -> intensiteit
golflengte -> kleurtint

zichtbaar licht
golflengte 400-700 nm

spectrum of SPD (spectral power distribution) $E(\lambda)$
geeft belang van golflengtes in een lichtbundel weer
vaak gestandaardiseerd (vb. standaard daglichten, fluorlicht, ...)

'gewoon' licht vs. laserlicht

gewoon licht:

verschillende golflengtes
incoherent i/d ruimte
vb. daglicht: bevat alle zichtbare golflengtes

laserlicht:

klein interval golflengtes (theoretisch 1)
coherent i/d ruimte (= bundel blijft lang samen)

opm: fluorlicht

enkele (breder) pieken <-> 1 lijn bij laser

menselijk zicht

menselijk oog

netvlies met staafjes (rods) en 3 soorten kegeltjes (cones)

staafje

meet intensiteit (enkel grijswaarden)
vooral belangrijk in donkere omstandigheden

kegeltje

meten samen kleur
3 types voor 3 kleurwaarden (R/G/B)
vooral belangrijk in lichte omstandigheden

luminous-efficiency curve $V(\lambda)$

som van gevoeligheidscurves van receptoren R, G en B
geeft relatieve gevoeligheid voor golflengtes in ons oog weer
resultaat: vooral bij rood en groen

gepercipieerde kleurwaarden v/e lichtbundel

= emissie van bron gewogen op onze receptiviteit voor die component

$$R = \int E(\lambda) \cdot q_R(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int E(\lambda) \cdot q_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int E(\lambda) \cdot q_B(\lambda) d\lambda$$

(opmerking: op saturatiefactor na!!)

lichtreflectie en -absorptie op oppervlakten

principe

oppervlakten kunnen licht reflecteren en absorberen
verschillend naar hoeveelheid en per golflengte
dit bepaalde 'kleur' van deze oppervlakte

reflectiefunctie $S(\lambda)$

geeft weer hoeveel van het licht gereflecteerd wordt per golflengte

kleur van een oppervlak

= emissie van de bron gewogen op de reflectiefunctie

$$C(\lambda) = E(\lambda) \cdot S(\lambda)$$

gepercipieerde kleurwaarden v/e oppervlakte

= emissie van bron gewogen op de reflectiefunctie

en dat resultaat gewogen op onze receptiviteit voor die component

$$R = \int C(\lambda) \cdot q_R(\lambda) d\lambda = \int E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot q_R(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int C(\lambda) \cdot q_G(\lambda) d\lambda = \int E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot q_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int C(\lambda) \cdot q_B(\lambda) d\lambda = \int E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot q_B(\lambda) d\lambda$$

(opmerking: op saturatiefactor na!!)

gammacorrectie

probleem

helderheid van licht uitgedrukt in potentiaal (volt)

maar geen lineair verband!

$$\text{licht} = V_{in}^\gamma \text{ met } \gamma \neq 1 \text{ (vb. gamma rond 2.2 bij CRT)}$$

vb. bij waarde R toont scherm de hoeveelheid licht die bij R^γ hoort.

gevolg

stel 0 is zwart en 1 is wit (bij volt en lichthoeveelheid)

alles ertussen gaat donkerder weergegeven worden

vooral donkergrijs als praktisch zwart

oplossing

aangepaste waarde $R' = R^{1/\gamma}$ doorsturen

zodat na gammacorrectie oorspronkelijke getoond word

$$R'^\gamma = (R^{1/\gamma})^\gamma = R$$

MAAR gamma exact bepalen is zeer duur, dus meestal experimenteel

§2. Color matching functions

color matching functions

doel

- kies 3 (monochrome) hoofdkleuren
- bepaal voor elk (monochroom!) kleur hoeveel je van de hoofdkleuren nodig hebt
relatief t.o.v. verschillende λ
- relatief t.o.v. de drie hoofdkleuren

gebruik

- complex licht definiëren adhv deze 3 hoofdkleuren
- $F_i = \int_0^\infty E(\lambda) \cdot \bar{f}_i(\lambda) d\lambda$ met $E(\lambda)$ de SPD van de lichtbundel

CIE RGB kleuruimte

experimenten

- via colorimeter
- verschillende monochrome testkleuren 'matchen' met R, G en B schakelaar
- daaruit color matching functies $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ en $\bar{b}(\lambda)$ opstellen

probleem

- praktisch niet alle kleuren te vormen met RGB
- wel door bij testkleur een bepaalde hoeveelheid van 1 hoofdkleur bij te voegen
voorgesteld door negatieve functiewaarden
- $\bar{r}(\lambda)$ -functie heeft negatieve waarden

CIE XYZ 1931 kleuruimte

3 voorwaarden

- enkel positieve waarden
- te bepalen vanuit RGB ruimte via een lineaire transformatie
- middelste functie $\bar{y}(\lambda)$ komt overeen met luminous-efficiency curve $V(\lambda)$
was niet zeker dat dit met een lineaire transformatie zou kunnen!
doel: $Y = \int_0^\infty E(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$ is dan de (waargenomen) luminantie/helderheid

XYZ-waarden

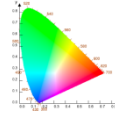
- definiëren een SPD $E(\lambda)$
- $X = \int E(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda$
- $Y = \int E(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$
- $Z = \int E(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$

§3. CIE xy chromaticiteitsdiagram

opbouw

reden:

3D (XYZ) data moeilijk weer te geven
dus omzetten naar 2D (xy)



chromaticiteit van een kleur weergeven met twee parameters x en y
<-> andere (Y waarde) staat voor luminantie

berekening

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

redundantie

$$x + y + z = \frac{X+Y+Z}{X+Y+Z} = 1 \quad \leftrightarrow \quad z = 1 - x - y$$

we houden nog twee vergelijkingen over

structurele eigenschappen

ingekleurd gebied: 'gamut' van het menselijk zicht
= alle zichtbare kleuren

bovenrand: 'spectral locus'
= alle monochrome kleuren

onderrand: 'line of purples'
wel geen voorstelling in monochroom licht

buitenkant: gesatureerde kleuren

centrum: wit
op (1/3, 1/3)

kies twee punten (lichten)
=> alle mengelingen liggen op de lijn tertussen

kies n punten (lichten)
=> alle mengelingen liggen in die n-hoek

dominante golflengte van een kleur
= snijpunt met locus van rechte door het punt en wit

'out of gamut'-kleuren

reden:

kleurenruimte definiëren adhv 3 basiskleuren
EN vanuit 3 punten kan je NOOIT alle zichtbare kleuren bepalen

benadering

hoogste mogelijke saturatie
zelfde dominante kleur
= snijpunt met locus van rechte door het punt en wit

§4. Kleuren weergeven

probleem

omzetting tussen

apparaatonafhankelijke (x, y, z) waarden (chromaticiteitsdiagram)

apparaatafhankelijke RGB-waarden

apparaatspecificaties

Rood, Groen en Blauw in het chromaticiteitsdiagram vastleggen

= hoekpunten van gamut

'White-point' in het chromaticiteitsdiagram vastleggen

waarden

$$x_r, y_r, x_g, y_g, x_b, y_b, x_W, y_W$$

via standaarden

vb. NTSC, SMPTE, EBU

overgang (x,y,z) en RGB

doel: welke chromaticiteit geeft een bepaalde RGB-waarde ECHT

$$\underbrace{\begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix}}_M \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

doel: welke RGB-waarden moet ik geven om een bepaald (x,y) kleur ECHT te zien

$$\underbrace{\begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix}}_{M^{-1}} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

probleem: soms negatieve R, G of B waarden

dan out-of-gamut kleur voor de RGB ruimte!

witpuntcorrectie

problemen

niet enkel chromaticiteit mappen, maar ook magnitude

dus XYZ ipv xyz

$R = G = B = 1$ geeft niet de gevraagde (x_W, y_W) chromaticiteit

witpunt magnitude als eenheid nemen

stel $Y(\text{white point}) = 1$

we zoeken drie correctiefactoren d_1, d_2, d_3

zodat wanneer $R = G = B = 1$, dan exacte XYZ voor wit

XYZ waarde te bepalen uit (x_W, y_W) met $Y = 1$

correctie als diagonaalmatrix $D = \text{diag}(d_1, d_2, d_3)$

we bepalen de correctiewaarden

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{wit}} &= M \cdot \begin{bmatrix} d_1 & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 0 \\ 0 & 0 & d_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= M \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

\Leftrightarrow

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{wit}}$$

opmerking

moesten correctiefactoren 1 zijn, was er geen correctie gebeurd
kan oplopen tot 30% afwijking!

finale transformatie

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

we krijgen transformatiematrix $T = M \cdot D$

ook voor niet-witpunten gebruiken we deze matrix!

transformatie met gammacorrectie

beste manier

bepaal lineaire signalen

via bovenstaande finale transformatie

pas gamma correctie hierop toe

meest gebruikte manier

pas bovenstaande transformatie toe op niet-lineaire signalen

weinig verlies

belang Y' als helderheid v/e pixel

§5. Kleurmodellen voor printen (CMY, CMYK)

additieve kleuren vs. subtractieve kleuren

additieve kleuren

werkt met lichtbronnen

kleuren van twee verschillende bronnen worden opgeteld

vb. lichtstralen, fosfordeeltjes op monitor die oplichten, ...

subtractieve kleuren

werkt met deels absorberende oppervlakten

we onttrekken kleuren aan (dag)licht

wat we zien is de rest

vb. inkt

CMY kleurmodel

basiskleuren niet meer RGB

maar hun complimenten!

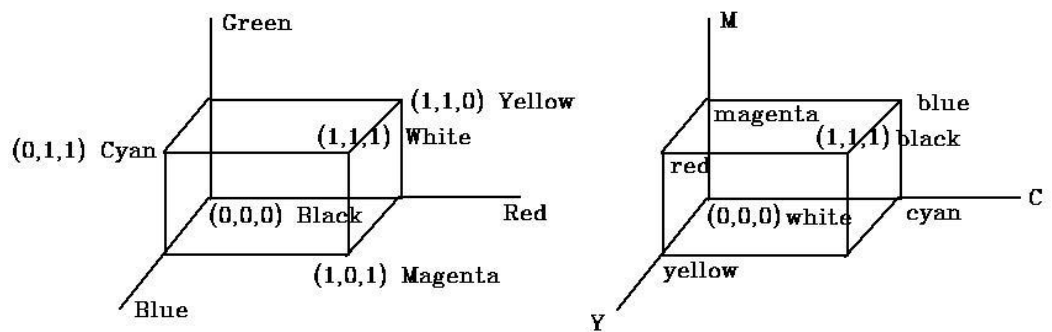
Cyan-Magenta-Yellow

Cyaan = wit – rood = groen + blauw

Magenta = wit – groen = rood + blauw

Geel = wit – blauw = rood + groen

RGB en CMY kubussen



transformatie RGB naar CMY

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

CMYK kleurmodel

apart kleurbakje voor zwart (key)
in plaats van zwart als som van 3 subtractieve basiskleuren (CMY)

reden:

veel meer zwart dan kleur printen
dus apart bakje
anders soort zwartpunt-correctie
onvolmaakt zwart (C+M+Y) geeft vuil bruin
= zeer storend
vgl. witpunt-correctie
<-> onvolmaakt wit stoort niet

transformatie CMY naar CMYK

$$K = \min(\{C, M, Y\})$$

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} C - K \\ M - K \\ Y - K \end{bmatrix}$$

printer gamut

imperfecties bij additieve kleuren
gamma-correctie, witpunt-correctie zorgen voor imperfectie
voor perfectie: perfect rood, groen en blauw, perfect reflecterend scherm (wit), ...

imperfecties bij subtractieve kleuren (vb. printen)

nog veel erger!

C, M en Y inkt niet perfect (geen 'block dyes')

* blokkeert niet perfect 1 hoofdkleur (vb. 5 procent doorlaten)

* weerkaatst niet perfect de andere 2 (vb. 80 procent doorlaten)

* trage overgang in spectrum

<-> scherpe verticale lijnen op overgangen in spectrum

* vb. cyaan begint nog verder dan rood terug minder te absorberen

materiaal waarop je print

bepaalt mee absorptiekenmerken v/d inkt

we krijgen 'overspraak' (= interferentie)

tussen onze kleuronttrekkers (inktstoffen)

gamut van CMY-printer

gamut is maar beperkt deel van de subtractieve 'spectrum locus'

gamut is vaak een (onregelmatige) 6 hoek

centrum = zwart (vuil zwart)

6 hoeken = C, M, Y, CM, CY, MY

§6. Kleurmodellen voor video (YUV, YIQ, YCbCr)

welke kleurenruimte voor video?

uitgangspunt

video is groot

rekening houden met beperkte bandbreedte

RGB kleurmodel [R=G=B]

klassieke ruimte + vele toestellen werken hiermee

R, G en B kanalen bevatten evenveel info

gehalten in beelden ongeveer evenwaardig

probleem bij beperkte bandbreedte

wat laat ik vallen?

doel

andere kleurenruimte zoeken

via transformatie v/d kleurenruimte (R' , G' , B')

met prioritaire as(sen)

deze eerst doorsturen

bij beperkte bandbreedte eerst prioritaire doorsturen

YUV kleurmodel [$Y > U=V$]

kleurintensiteit of luminantie (Y) als prioritaire as

reden: mens gevoeliger voor Y-afwijkingen dan kleurtintafwijkingen

in principe kleurfoto -> zwart-wit foto

= zeer veel info

berekening:

$$Y' = 0.299 \cdot R' + 0.587 \cdot G' + 0.114 \cdot B'$$

(zie Y' van vroeger (XYZ) en inclusief gamma correctie)

twee chrominantie-componenten (U en V) als andere assen

chrominantie = verschil tussen kleur en grijswaarde met zelfde luminantie

berekening:

$$U = B' - Y' \qquad V = R' - Y'$$

opmerkingen

indien $R'=G'=B'$ (grijs kleur)

$Y' = R'=G'=B'$ (die grijswaarde)

$U=0, V=0$

probleem

nog geen tweede dominante as t.o.v. derde

YIQ kleurmodel [Y>I>Q]

kleurintensiteit of luminantie (Y) als prioritaire as
analoog aan YUV

situering

bepalen tweederangs prioritaire as
OF bepalen via 'principle component analysis'
techniek uit algebra
uit wolk punten dominante as bepalen
nadeel: complexe berekeningen
nadeel: hoofdassen afhankelijk per video!
OF zoeken naar iets simpel
proefondervindelijk

I en Q als geroteerde versie van U en V over 33°

precies 33° = proefondervindelijk!

zeer snel te berekenen (constante sin(33) en cos(33))

berekening

$$I = \underbrace{(R' - Y')}_{V} \cdot \cos(33^\circ) - \underbrace{(B' - Y')}_{U} \cdot \sin(33^\circ)$$

$$Q = \underbrace{(R' - Y')}_{V} \cdot \sin(33^\circ) + \underbrace{(B' - Y')}_{U} \cdot \cos(33^\circ)$$

YCbCr kleurmodel

nog een variatie op YUV

vaak gebruikt

JPEG beeldcompressie
MPEG videocompressie