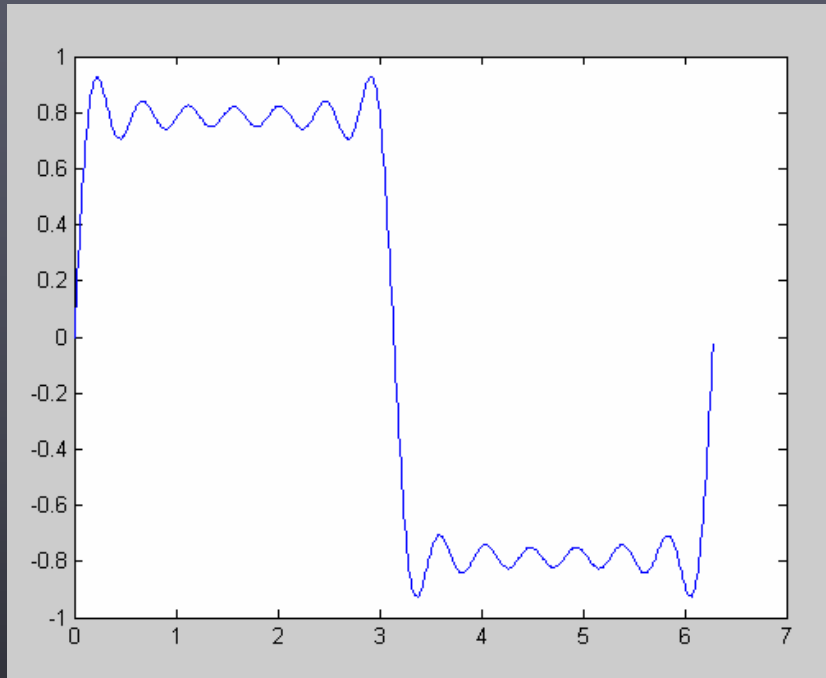
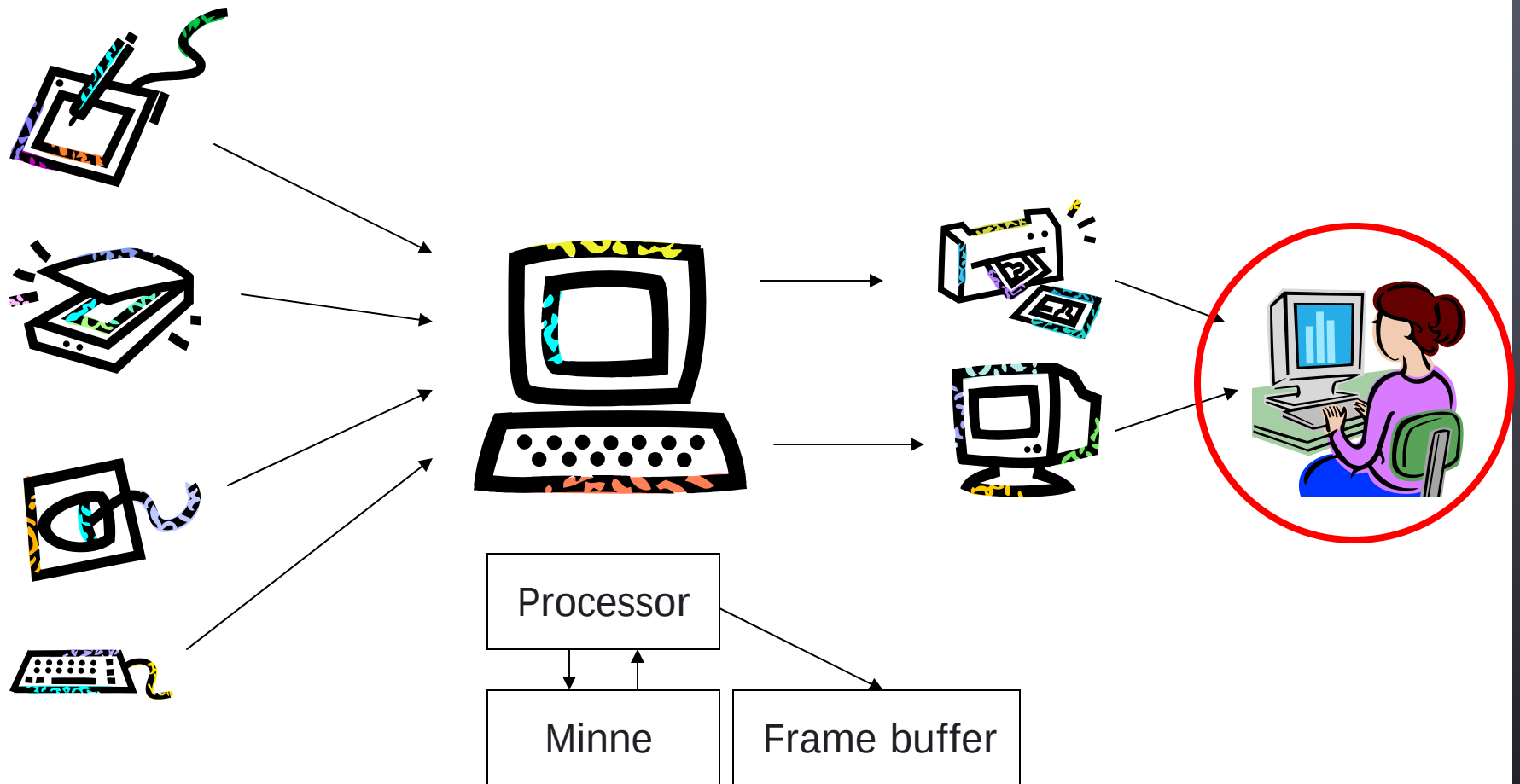




Signalbehandling och aliasing

Gustav Taxén
gustavt@csc.kth.se

Grafiska system



Färgblandning

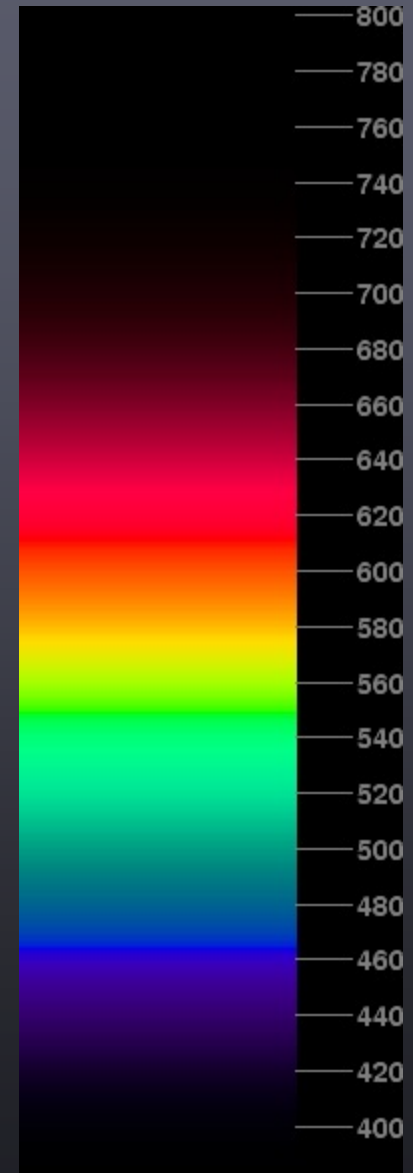
- Pigmentblandning för att åstadkomma olika färger.
- Men vilka pigment ska man blanda?
- Ex: Cennini's **Il Libro dell'Arte**.
- Blanda en "ren" färg med olika mängder vitt.

Samspel mellan ljus och färg

- Samspel mellan ytor och ljus.
- Våra intryck beror av ljuskällans egenskaper och egenskaper hos ytan som reflekterar ljuset.
- Hjärnan separerar informationen till ytor och ljus.

Ljusenergi

- Ljus är elektromagnetisk strålning i våglängdsintervallet (c:a) 380-780 nanometer.
- Det diagram som visar energi som funktion av våglängd kallas för **spektra**.
- Ett givet spektra ger ett visst färgintryck.
- Om spektrat är särskilt starkt vid en viss våglängd uppfattar vi färgen (oftast) som i figuren till höger.
- Ex: laser på 635 nm upplevs som röd.



Ögats fysiologi

- **Stavar** (rods), urskiljer ljusstyrka.
- **Tappar** (cones) bestämmer färg.
- Tre olika sorters tappar, **S**, **M** och **L**.
- Olika känsliga i olika delar av våglängdsintervallet (nedre, mitten, och övre delen).

Ögats fysiologi

- Tapparna reagerar över hela intervallet.
- De kan bara avgöra om det är "mer" eller "mindre" energi.
- De rapporterar "mer" om intensiteten ökar eller om våglängderna i spektrat närmar sig det område där de är mest känsliga.
- Tapparnas känslighetskurvor överlappar varandra.
- De tre typerna av tappar reagerar oberoende av varandra.
- Så färgintrycket skapas i hjärnan genom att informationen från alla tapparna kombineras.
- Det är alltså inte sant att vi har en "röd", en "grön" och en "blå" typ av tappar!

Färguppfattning i olika kulturer

- Olika kulturer har olika många färger i sina språk.
- Försök tyder på att vissa färger är "viktigare" än andra (bl.a. Berlin & Kay, 1969).
- I språk med två färgord är de alltid svart och vitt. Sedan kommer rött, sedan grönt eller gult, sedan blått, sedan brunt.
- Teorin är dock omdebatterad.

Tristimulusteorin

- **Tristimulusteorin:** 1) Uppfattning av färg styrs av andelen ljusenergi i de tre olika våglängdsintervallen. 2) Ögats respons är proportionell mot dessa andelar.
- Förklarar att ljus med olika spektra kan uppfattas som samma färg!
- TV, monitorer, färgtryck, m.m. bygger på tristimulusteorin.

Färgmotsatsteorin

- **Färgmotsatsteorin** (Opponent color theory):
Färginformation skickas till hjärnan i tre kanaler.
- Kanalerna innehåller summan eller differensen mellan fotoreceptorernas "värden":
$$A = M + L$$
$$R/G = M - L$$
$$B/Y = S - A$$
- Förklarar varför röd och grön blandas till gult och inte grönrött!

Syntes

- Båda teorierna har brister!
- Men man kan kombinera dem i två steg (bl.a. Müller; Hurvich & Jameson, 50-t).
- Kallas ofta för **Stage theory**.

Land-experimentet

- Land och McCann (1950-t)
- Bildprojektionsexperiment
- Ögat använder mer information än förhållandet mellan olika våglängdsintervall!
- Vi tolkar tydligen **hela bilden** i varje intervall först, separat, innan de "läggs samman" till färg.
- Land kallar tolkningen **lightness**.

Lightness

- **Intensitet** (intensity) = Hur mycket ljus som kommer från en yta, kan mätas med en fotometer.
- **Reflektans** (reflectance) = Hur mycket ljus som reflekteras av en yta.
- **Lightness** = Ungefär en ytas reflektations-egenskaper oberoende av intensitet.

Lightness

- Stark spotlight på sammetstyget, svag på kritan.
- Kritan har högre reflektans, men tyget avger högre intensitet!
- Mäter man med fotometer så är tyget ljusast!
- Men om vi betraktar scenen så tolkar vi kritan som vit och tyget som svart!
- **Reflektans är inte samma kvantitet som lightness!**

Lightness



- Om man sakta vänder en serie kort ett och ett i ett mörkt rum kommer varje nytt kort uppfattas som vitt och de föregående se mörkare ut.
- Det funkar även om det första kortet är svart och de andra succesivt ljusare!
- **Hjärnan behöver se mer än en yta för att bedömma lightness!**

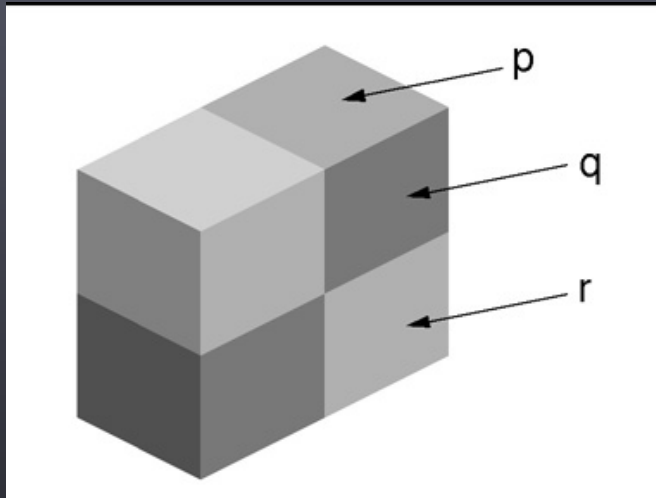
Lightness

- Om belysningen av en miljö är konstant – inga skuggor eller variationer någonstans – är lightness samma sak som reflektans.
- Vi kan automatiskt "bortse" från variationer i belysning.
- Enligt Land och McCann "beräknar" tapparna lightness i tre våglängdsintervaller.

Lightness

- Dessa tre värden är oberoende av ljusspektrat, vilket gör att en yta tolkas som att den har samma färg även om belysningen varierar.
- "Beräkningen" funkar mindre bra om ytan belyses av en lampa som skickar ut ljus i ett litet våglängdsintervall, som t.ex. natriumlampa!

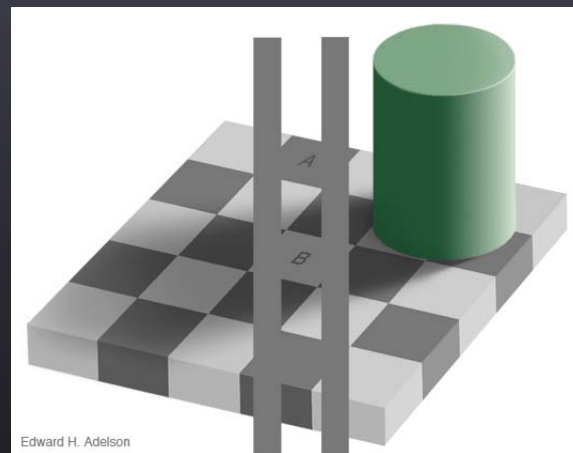
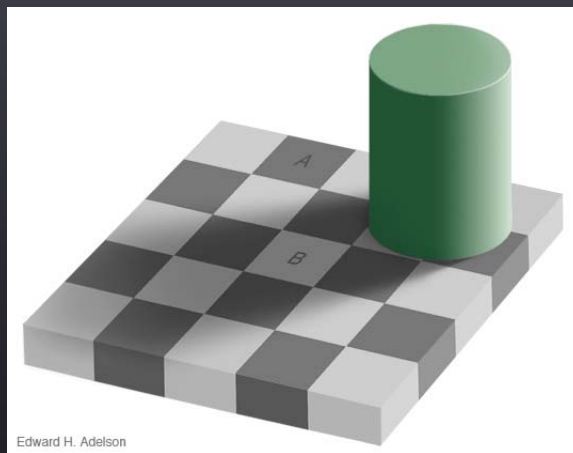
Tredimensionell analys



- p och r har samma intensitet – men p och q ser ut att ha samma lightness!
- Ögat tolkar p och q som att ha samma reflektans.
- Så perceptionssystemet gör en analys i tre dimensioner!

Tredimensionell analys

- Hjärnan försöker separera information om reflektans från information om belysning!
- Systemet förutsätter en hel del om situationen (som t.ex. att ljus normalt kommer uppifrån).



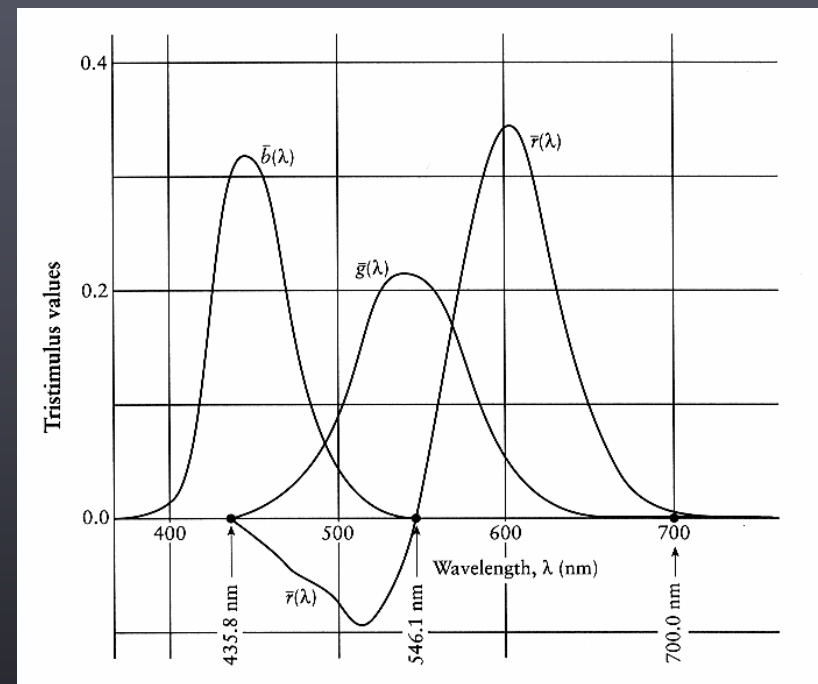
<http://web.mit.edu/persci/gaz/gaz-teaching/index.html>

Färgmatchning

- Men hur ska vi kunna beskriva färg (hyfsat) objektivt?
- CIE 1931 – en serie statistiska experiment
- Alla färger vi kan uppfatta kan man få om man blandar olika mängder ljus från tre väl valda ljuskällor.

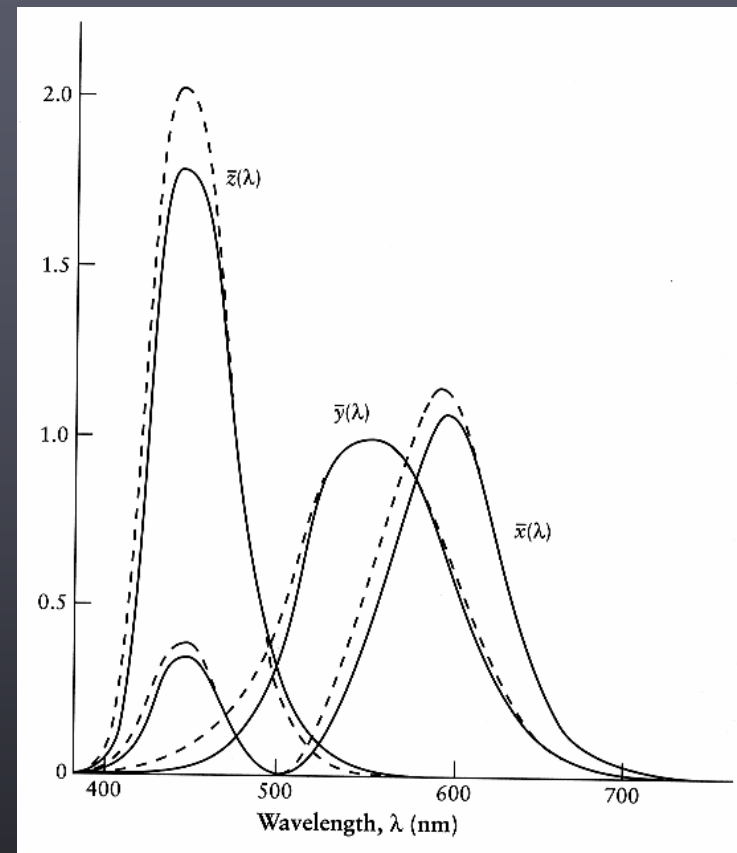
Färgmatchning

- Efter ett stort antal testpersoner fick man fram en "standard-observatör".
- Kurvorna visar hur mycket av varje ljuskälla man ska ta med för att få den "rena färgen" för varje given våglängd.



Färgmatchning

- Knepiggt att arbeta med negativa vikter.
- Alternativa kurvor för tre hypotetiska ljuskällor: **CIE Color matching functions.**



Färgmatchning

$$X = \int_{380}^{780} C(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

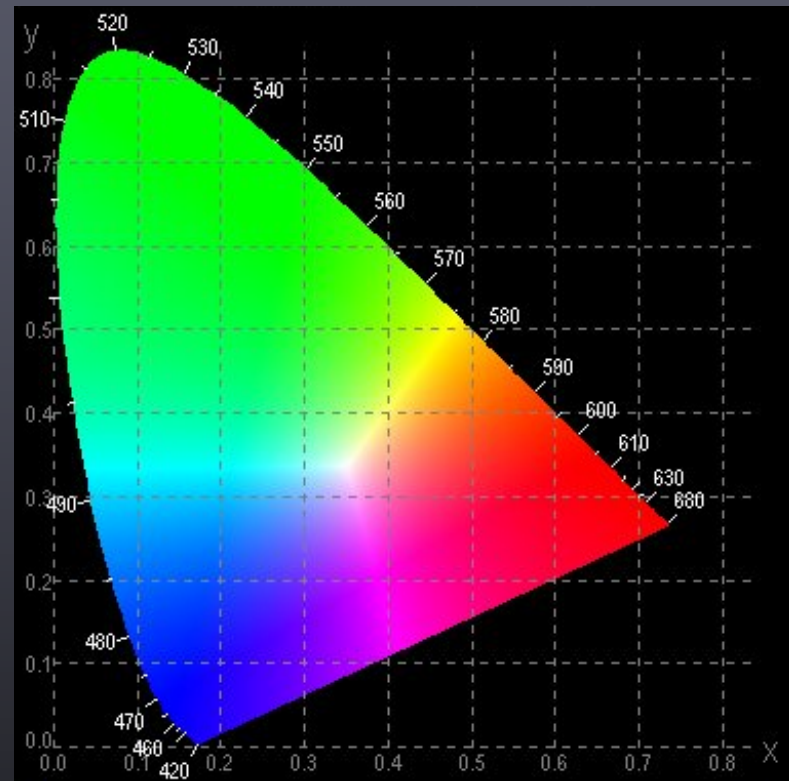
$$Y = \int_{380}^{780} C(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380}^{780} C(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

- Givet ett spektra kan vi förutsäga hur mycket ljus av varje lampa standardobservatören skulle välja!
- (X, Y, Z) specificerar en färg.
- Vi kan också arbeta med rena nyanser och bortse från intensiteten:

Chromaticity

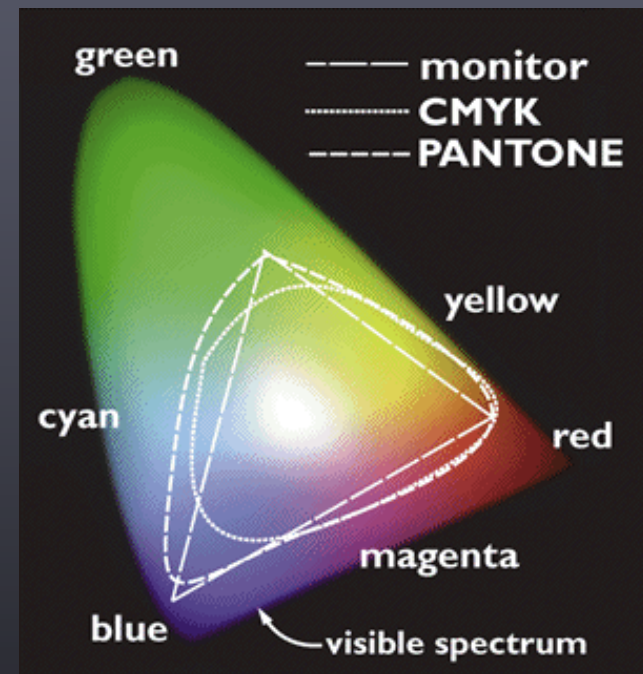
- Projicera på planet
 $X + Y + Z = 1$
- $x = X / (X + Y + Z)$
 $y = Y / (X + Y + Z)$
- (x, y, Y) definierar då en färg, där Y är **luminans** (intensitet).
- xy -diagrammet (utan Y) brukar kallas **CIE Chromaticity Diagram**.



Cathode Ray Tube (CRT)

Färggamuts

- Om man placerar in fosforernas färger i chromaticity-diagrammet kan man se vilka färger monitorn kan visa!
- $(R, G, B) = M(X, Y, Z)$ där M är en 3x3-matris.
- Att kunna "konvertera" från spektra till RGB är en av förutsättningarna för bildsyntes!



Perception och realism

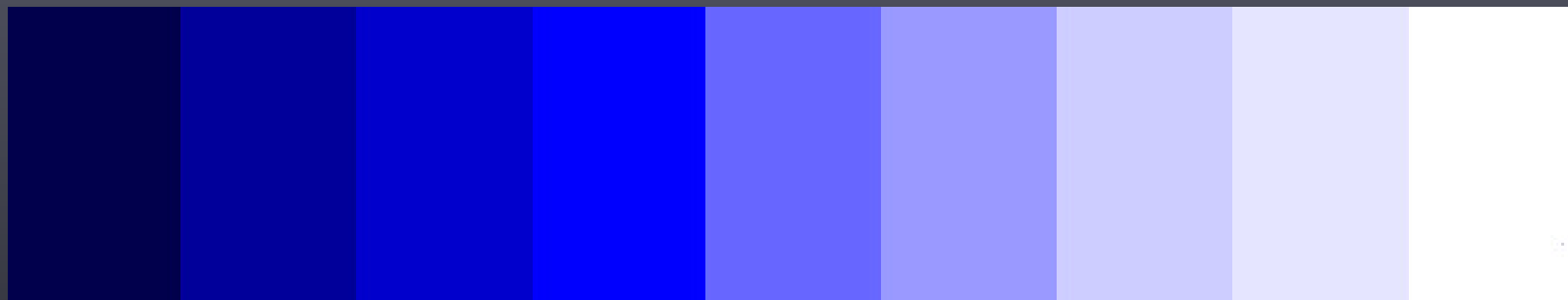
- Man vet fortfarande inte exakt hur synsystemet fungerar; teorierna motsäger delvis varandra.
- Men om vi var sämre på att skilja på yta och belysning skulle det vara enklare att skapa syntetiska bilder!
- Det är väldigt enkelt att upptäcka syntetiska bilder.
- Tack vare att systemet är så bra kan vi också "fylla i" i situationer där kvaliteten är låg!
- **Viljan att övertygas är kanske den viktigaste faktorn!**

Perception och datorgrafik

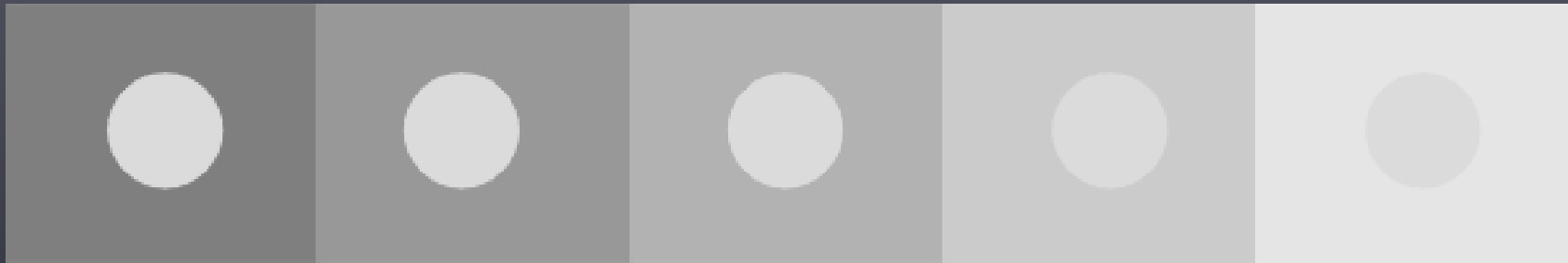


- För en datorgrafiker är det viktigt att känna till de vanligaste "underligheterna" i perceptionssystemet så att man kan korrigera för dem!
- Också viktigt att inte blanda samman synvillor med "felaktiga" värden!

Exempel på synvillor: Mach bands



Exempel på synvillor: Simultaneous contrast



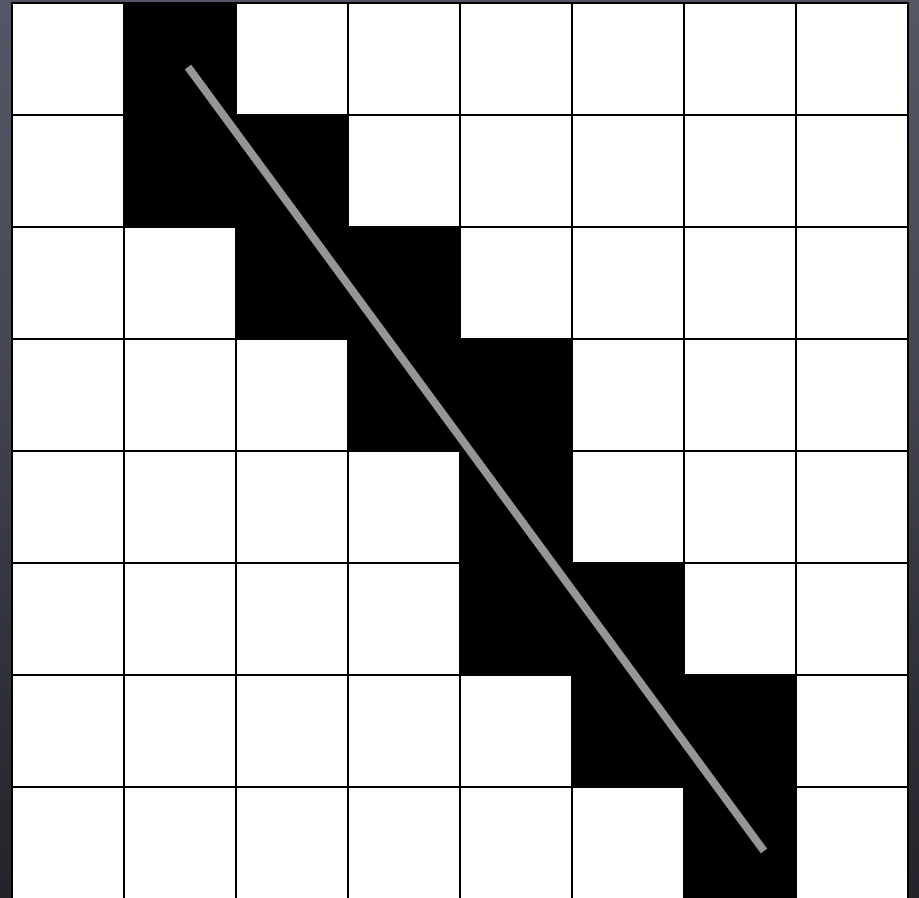
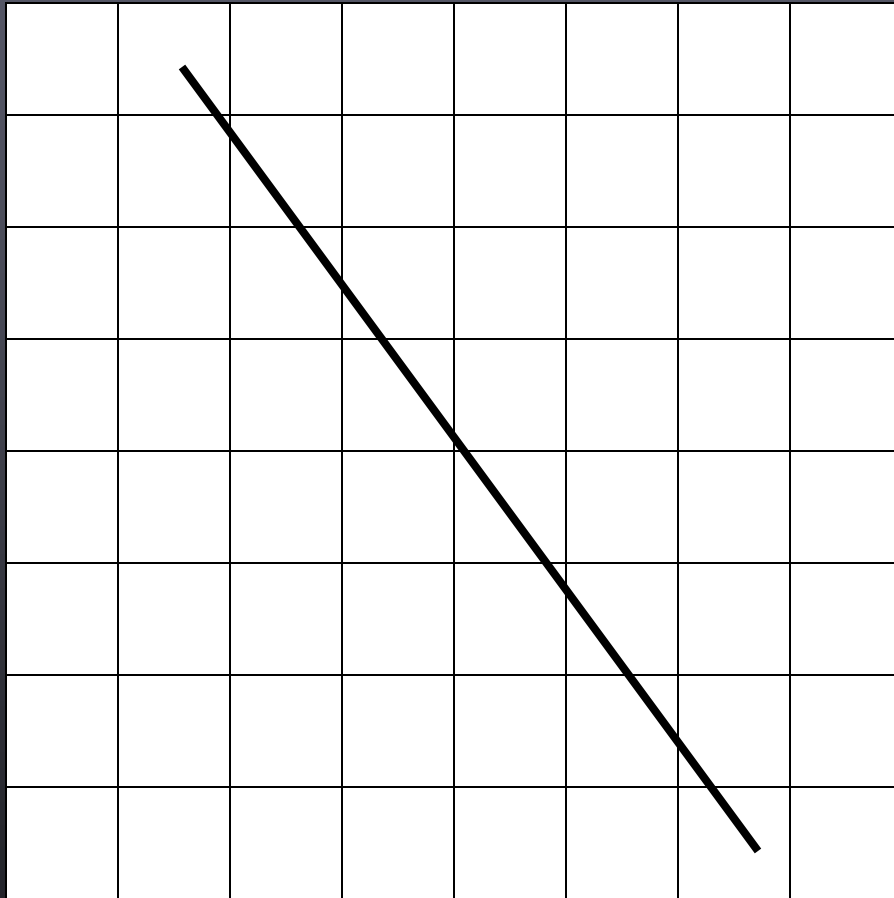
Exempel på synvillor: Subjective contours

http://www.iknow.net/CDROMs/eyephys_cdrom/geometry.html



Diskretisering

Aliasing



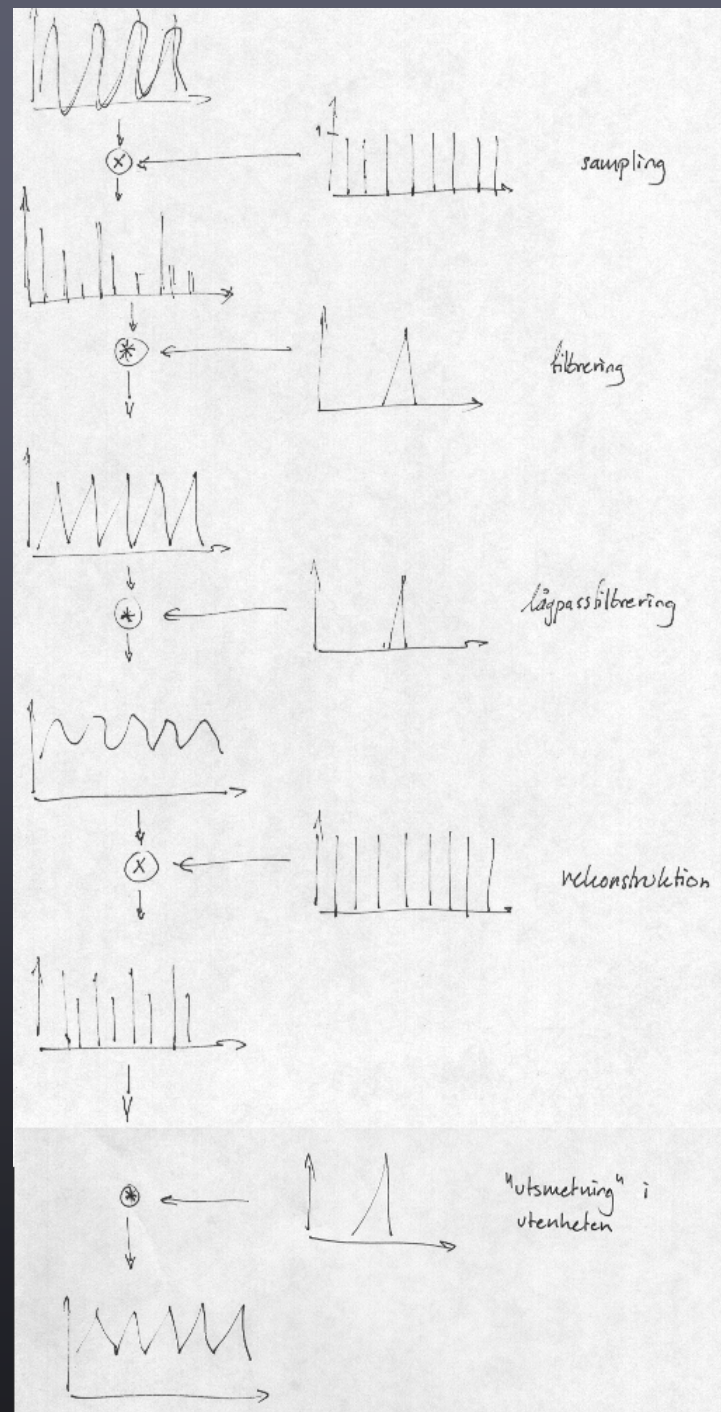
Aliasing

- Aliasing är en del av datorgrafikens natur.
- Man kan aldrig någonsin komma undan aliasing – men man kan göra den mindre märkbar!
- **Öka upplösningen eller filtrera bort högfrekvent information.**
- Mycket av datorgrafikerns vardag går ut på att arbeta med olika typer av aliasing-problem.

Digital signalbehandling

- Att gå från en kontinuerlig (analog) signal till diskreta värden och tillbaka igen.
- Att konvertera från analog till digital brukar kallas **sampling**.
- Att konvertera från digital till analog brukar kallas **rekonstruktion**.
- Målet är att den rekonstruerade signalen ska vara så lik den ursprungliga analoga signalen som möjligt.

Sampling



Faltning (convolution)

Bättre alternativ än att bara "binda samman" de samplade punkterna.
(Mer om en liten stund.)

Lågpassfiltrering

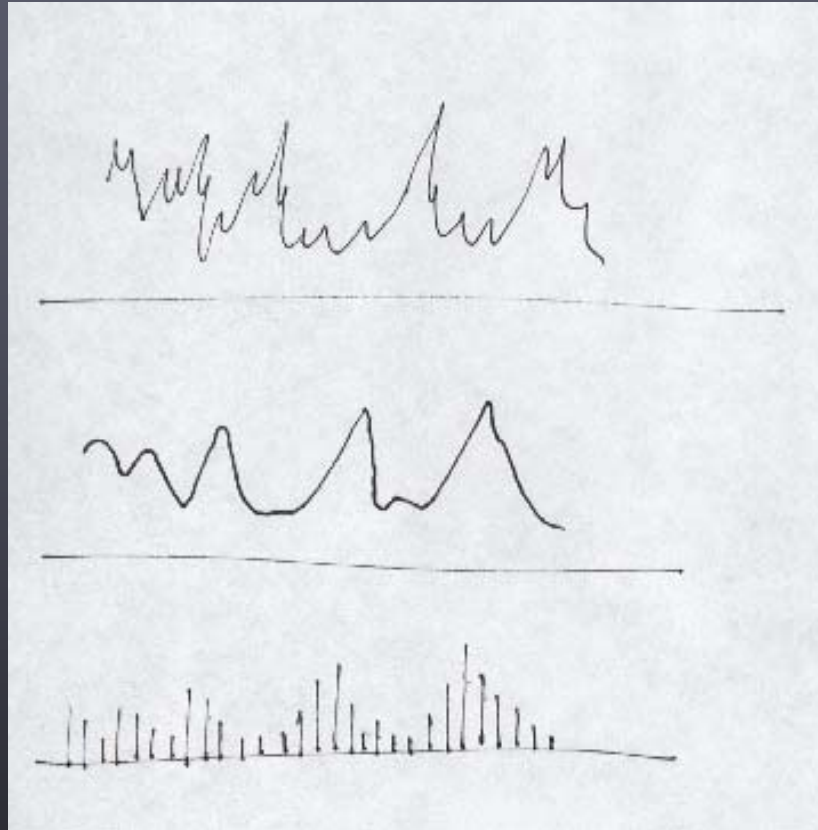
Om utenheten har lägre upplösning än den samplade signalen bör man ta bort högfrekvent information.

Det görs genom faltning med ett **lågpassfilter**. (Mer senare!)

Rekonstruktion

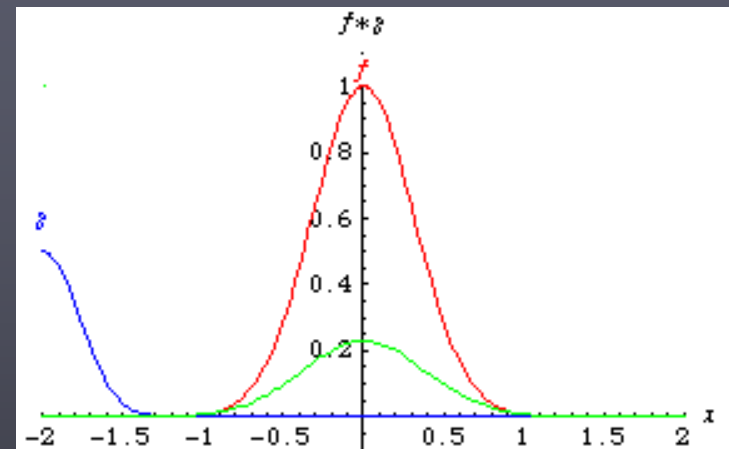
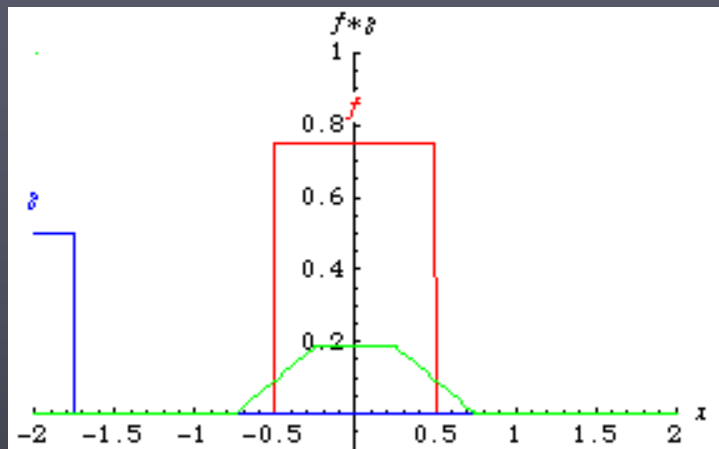
Resultat

Utenheten kommer att "smeta ut" bilden
(t.ex. utrymmet mellom pixlar på en monitor).
Rent matematisk motsvarar det ytterligere en faltning.



Oftast lågpassfiltrerar man (analogt) innan man samplar.

Faltning (convolution)

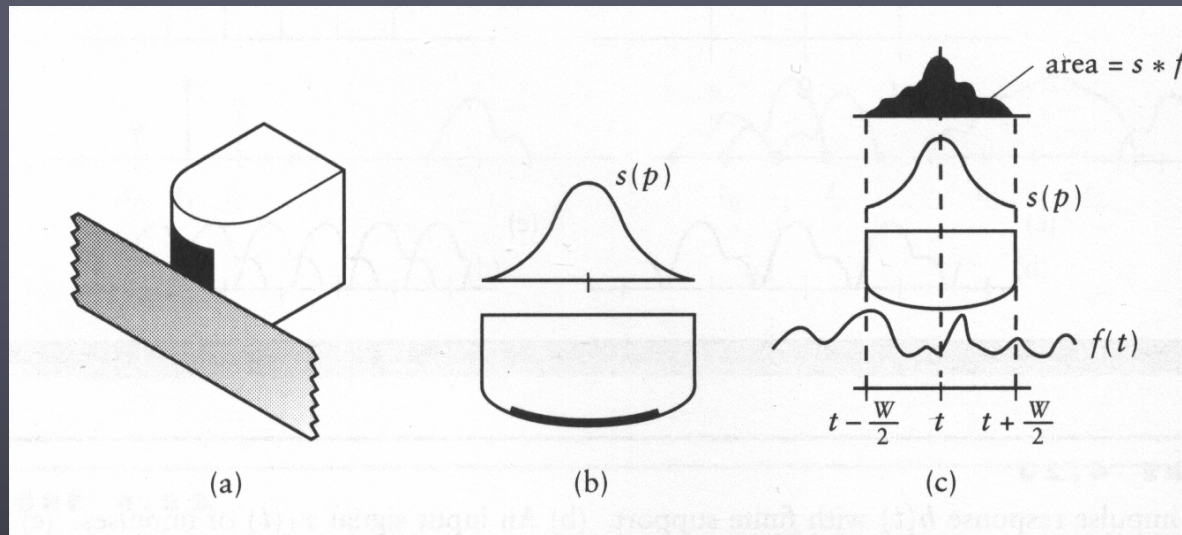


Operation som beräknar "överlappet" av två funktioner $f(x)$ och $g(x)$ när $g(x)$ "förs" över $f(x)$.

$$f * g \equiv \int_0^t f(\tau)g(\tau - t)d\tau$$

I figurerna är den röda funktionen $f(x)$, den blåa funktionen $g(x)$.
Det gråa området är arean inne i integralen, plottas som den gröna funktionen.

Faltning



Ett läshuvud för ett magnetband har varierande känslighet över sin yta, $s(p)$.

Funktionen $f(t)$ är lagrad på bandet.

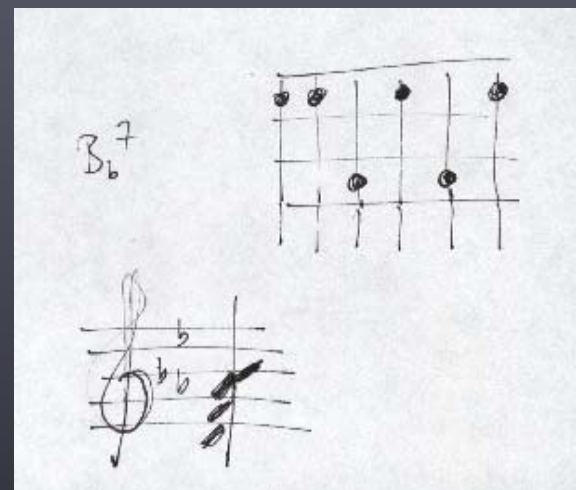
Läshuvudets respons vid en given tidpunkt är

$$y(t) = \int_{t-W/2}^{t+W/2} f(t-\tau)s(\tau)d\tau$$

Faltningen är arean av produkten av funktionerna över intervallet.

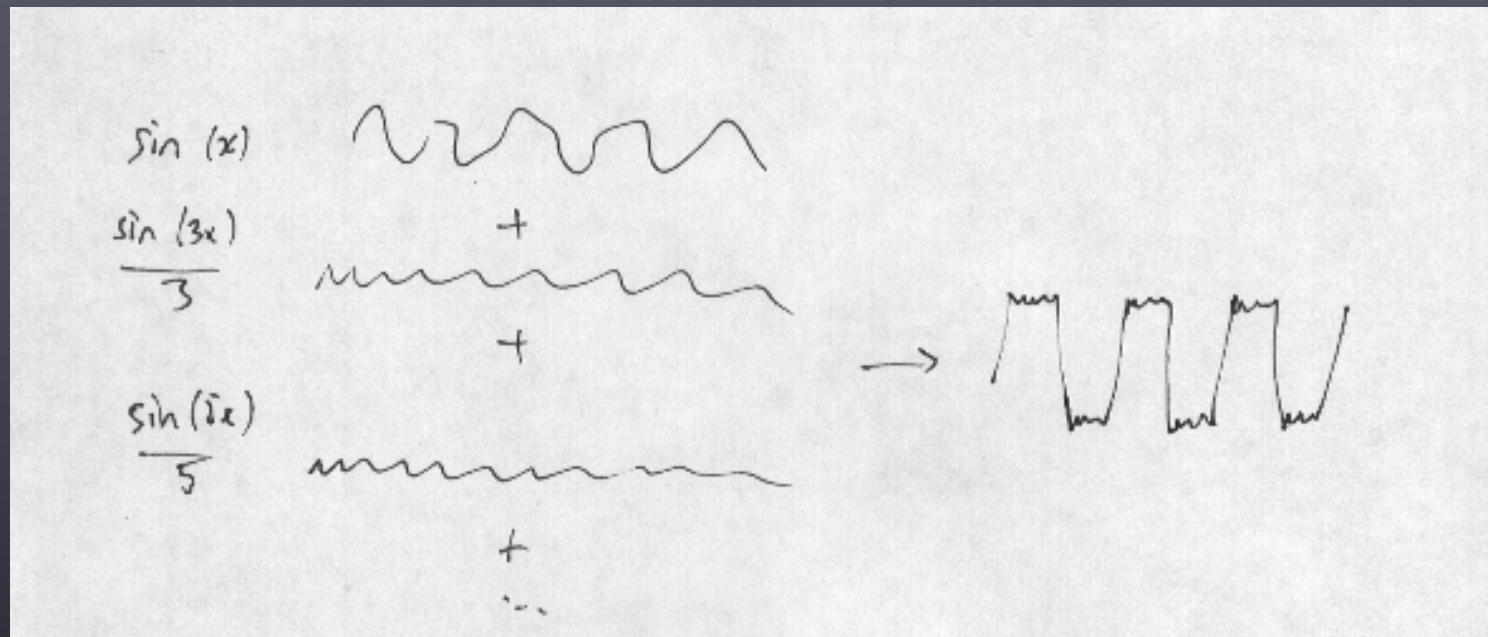
Fouriertransform

- Fouriertransformen översätter en signal till dess representation i **frekvensdomänen**.
- Enkelt uttryckt kan alla signaler representeras av en summa av sinusfunktioner med olika fas och amplitud.
- Det kan dock krävas ett oändligt antal.



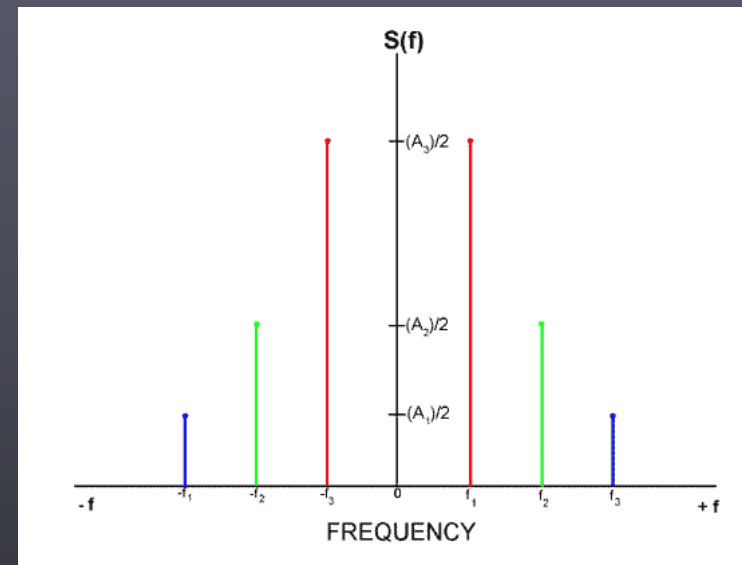
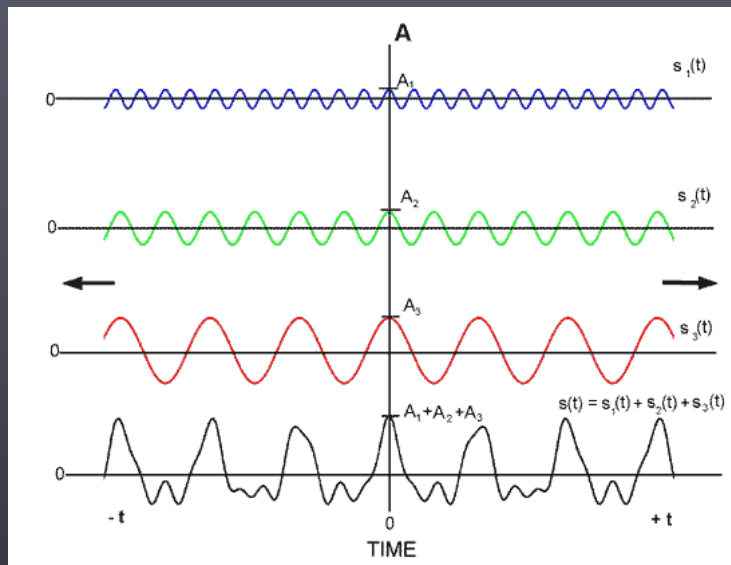
Alternativa representationer av ett musikackord.

Fouriertransform



Fouriertransform

Fouriertransform



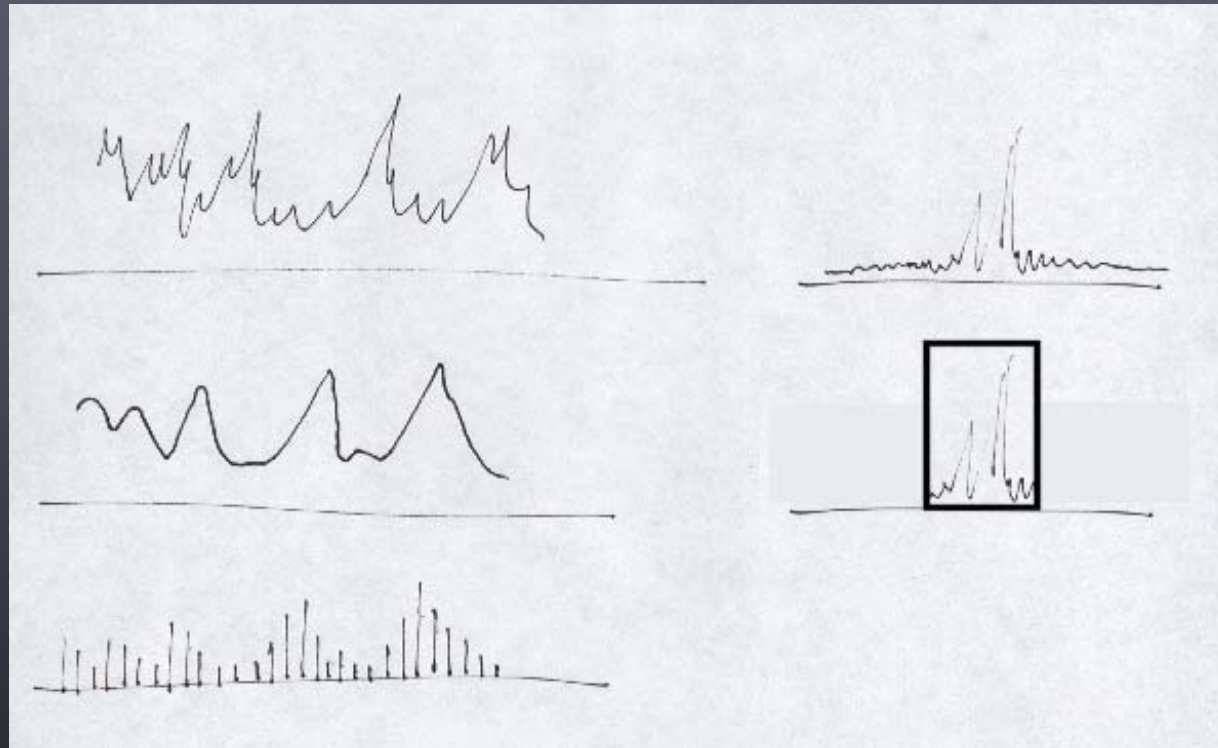
Lite förenklat kan man säga att frekvensdomänen visar frekvenserna hos sinusfunktionerna som ingår och vilken amplitud varje sinusfunktion har.

(Egentligen använder man komplexa tal så att man också kan representera fasförskjutning.)

Filtrering

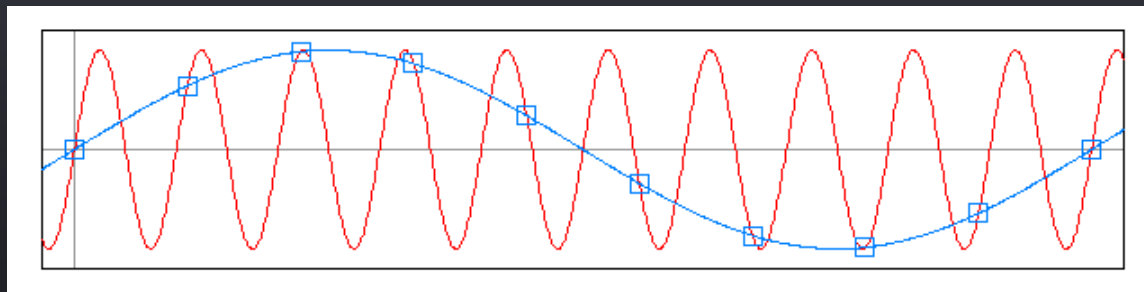
- Att filtrera är detsamma som att klippa bort frekvenser i frekvensdomänen, d.v.s. multiplicera dem med 0.
- **Faltning är ekvivalent med multiplikation i frekvensdomänen och vice versa!**
- Den "naiva" fouriertransformen är egentligen $O(N^2)$, men det finns en algoritm, **Fast Fourier Transform (FFT)** som är $O(N \log N)$.
- Transformen existerar för både diskreta och kontinuerliga funktioner.

Filtering

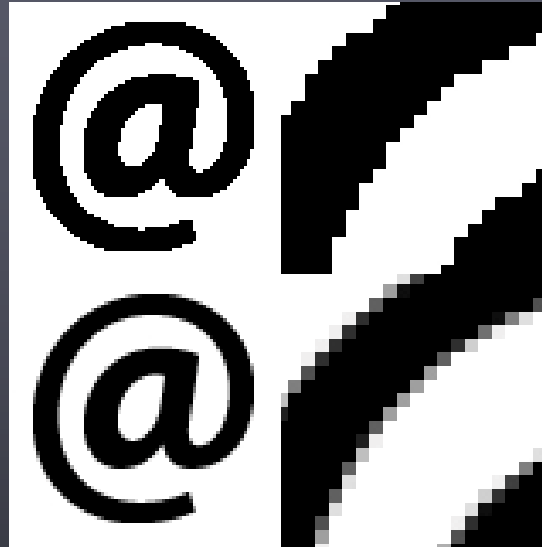


Nyquists sats

- En signal f som samplas kan rekonstrueras perfekt bara om antalet samplingar är **minst 2 ggr den högsta frekvensen i f .**
- Frekvenser i f som ligger ovanför kommer att projiceras tillbaka in i intervallet och ge upphov till **aliasing**.



Anti-aliasing



Om vi inte kan öka upplösningen får vi
lågpasfiltrera istället!

I praktiken introducerar vi **brus**.

Filtervarianter

- Beroende på hur vi klipper (eller förstärker!) frekvenser i frekvensdomänen får vi olika resultat.
- I Photoshop kan man konstruera sina egna filter.
- (Men många av det som kallas "filter" i Photoshop är egentligen kombinationer av olika operationer.)