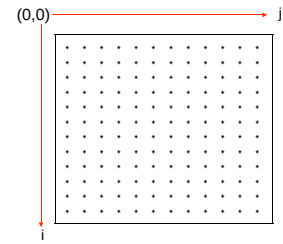


## IN2070 – Januar 2021 – Ukens temaer (Kap 2.3-2.4 med drypp fra kap. 4. i DIP)

- Romlig oppløsning
- Sampling av bilder
- Kvantisering av pikselintensiteter

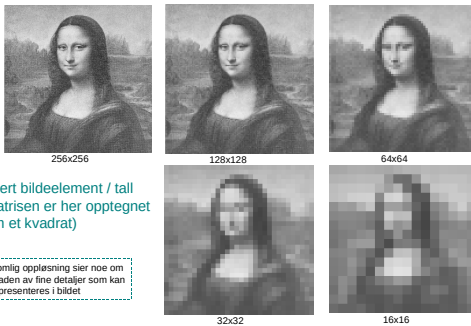
## Intro: Sampling av bilder

- Naturen er kontinuerlig
  - Et bilde er en kontinuerlig funksjon av to variable
- Et *digitalt* bilde består (oftest) av bildeverdier på et endelig 2D punktnett
- Sampling: Prosessen som plukker ut punkter fra et kontinuerlig bilde til et 2D punktnett



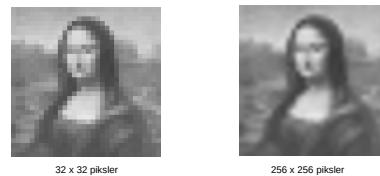
For en viss **romlig oppløsning / detaljnivå i bildet**, hvor tett må punktene i rutenettet ligge? (Hvor mange piksler pr. arealenhet?)

## Romlig oppløsning, eksempler



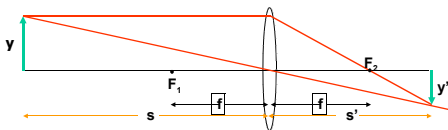
(Hvert bildeelement / tall i matrisen er her opptegnet som et kvadrat)

Romlig oppløsning sier noe om graden av fine detaljer som kan representeres i bildet

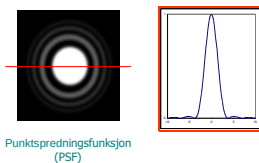


Forskjellig antall piksler, men lik romlig oppløsning

## Optisk avbildning



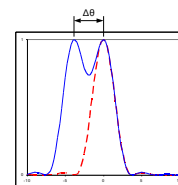
Ett «punkt» =>



Punktspredningsfunksjon (PSF)

## Romlig oppløsning

- Romlig oppløsning oppgis ofte som hvor langt fra hverandre to punktkilder må være for å kunne skille dem fra hverandre i bildet



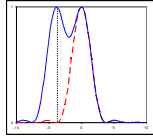
Angis som oftest som en vinkel

## Rayleigh-kriteriet

- Anta en "perfekt" linse med diameter D, og at lysets bølgelengde er  $\lambda$ . Kun diffraksjon spiller inn.
- To punkter i et objekt kan akkurat adskilles i bildet hvis vinkelen mellom dem,  $\theta$ , tilfredstiller:

$$\sin \theta = 1.22 \lambda / D \text{ radianer.}$$

- Dette er "Rayleigh-kriteriet".



## Rayleigh-kriteriet, eksempel

$$y' = \frac{yf''}{s - f}$$

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$$

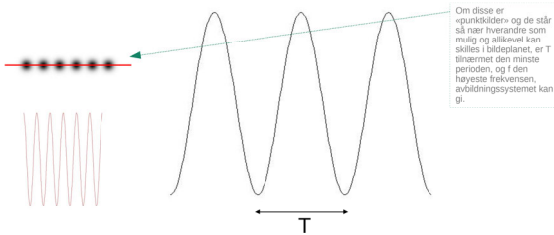
f = 35 mm og D = 10 mm (Tilnærmet vanlig kamera)  
 s = 5 m (Avstanden til det som avbildes)  
 $\lambda = 500 \cdot 10^{-9}$  m (Grønt lys)

$$\tan \theta \approx \sin \theta = 1.22 \lambda / D = 6.1 \cdot 10^{-5} \quad (\text{Rayleigh})$$

$$y = \tan \theta \cdot s \approx 3.05 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx \mathbf{0.3 \text{ mm}} \quad (\text{I objektplanet})$$

$$y' = 0.3 \text{ mm} \cdot 35 / (5000 - 35) \approx \mathbf{2.1 \mu\text{m}} \quad (\text{I bildeplanet})$$

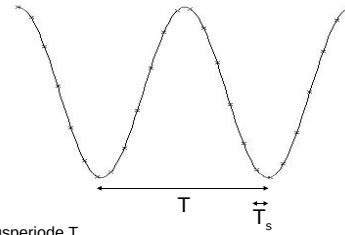
## Romlig periode og frekvens



Om disse er «punktdetektor» og de står så nær hverandre som mulig og sliket kan skilles i bildeplanet, er T tilnærmet den minste perioden, og f den høyeste frekvensen, avbildningsystemet kan gi.

- Periode T (avstand før neste gjentakelse, tenk meter)
- Frekvens  $f = 1/T$  (antall gjentakelser per avstandsenhet, tenk per meter)

## Sampling av kontinuerlige signaler



- Samplingsperiode  $T_s$
- Signalets/bildets periode T
- Samplingsfrekvens  $f_s = 1/T_s$  (også kalt samplingsrate)
- **Hvor tett må man sample for å kunne rekonstruere signalet?**

## Samplingsteoremet (Shannon/Nyquist)

- Anta at det kontinuerlige bildet som skal samples har en høyeste frekvens  $f_{\max}$

Altså at bildet ikke har en uendelig oppløsning, noe som vil selvfølgelig ikke har ved «fysiske»/reelle bilder

- Det kontinuerlige bildet kan rekonstrueres fra det digitale bildet dersom **samplingsraten  $f_s = 1/T_s$  er større enn  $2 f_{\max}$**  (altså  $f_s > 2f_{\max} \leftrightarrow T_s < \frac{1}{2}T_{\min}$ )

- $2 f_{\max}$  kalles ofte Nyquist-raten

- Det er ikke uvanlig at det i praksis oversamples for å sikre god rekonstruksjon ( $f_{\max}$  settes ofte pragmatisk og i endelige bilder er det alltid noe informasjon i frekvenser over  $f_{\max}$ ), samt at kvantiseringsstøy kan reduseres)

Hva er  $T_{\min}$  og hvilket krav til  $T_s$  bør vi ha, i Rayleigh-kriteriet-eksempelet på lysark 8?

## Undersampling/aliasing

- Undersampling (sample med lavere samplingsrate enn Nyquist-kriteriet) medfører **aliasing**

- Ved undersampling «forvrennes» frekvensinnholdet og det digitale bildet inneholder ikke de samme frekvenser som det kontinuerlige bildet ..
- .. altså, de fine detaljene som ikke kan håndteres med den lave samplingsraten kan fremstå som helt andre romlige strukturer
- Aliasing betegner det fenomenet at en sinus-funksjon ved for lav samplingsrate gir opphav til samme diskrete signal som en sin med lavere frekvens

## 1D aliasing-eksempel

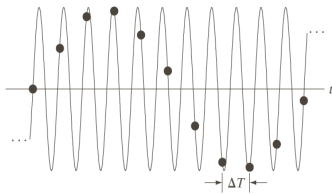
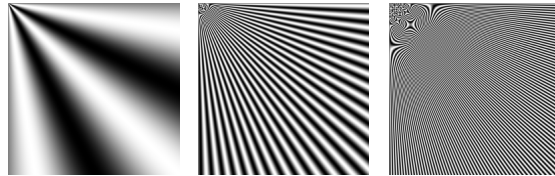


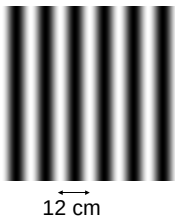
FIGURE 4.10 Illustration of aliasing. The under-sampled function (black dots) looks like a sine wave having a frequency much lower than the frequency of the continuous signal.

(Figur 4.11 s. 224 i DIP)

## 2D aliasing-eksempel



## Oppgave



- Du tar bilde av et gjerde som består av gjerdestolper som er 6 cm brede og mellomrom som er 6 cm
- Bildet dekker 30 m av gjerdet
- Bildet er på 256x256 piksler
- Går dette bra?
- Hva er perioden i bildet og hva er samplingsperioden?

## Anti-aliasing

- Ved *anti-aliasing* fjerner/demper vi de frekvensene i bildet vi ikke kan håndtere **før** vi sampler



(Figurer fra ImageProcessingBasics.com)

## Mer reell sampling av bilder I/II

- Et kontinuerlig bilde projiseres på en detektor-matrise
- Hver detektor måler intensitet som et arealgjennomsnitt

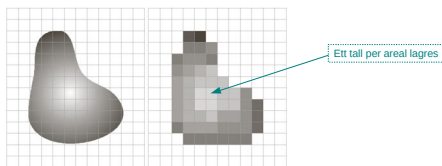




FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

## Mer reell sampling av bilder II/II

- Når et kamera tar bilde av et objekt, vil hvert piksel i bildet inneholde lys målt fra hele det området som pikselen dekker
- Eksempel: La oss si at et piksel dekker det området som er vist til høyre, og at dette lille området inneholder noe fin-struktur:
 
- Dette representeres etter samplingen ved gjennomsnittlig lysstyrke i området:
 
- Vi har målt en middelvei over et areal
  - Implisitt fjernet høyfrekvent bidrag
  - Konseptuelt det samme som å først glatte ut, så plukke punkt-sampler: Anti-aliasing-filtrering

## Samplingsmønster / skanningsmønster

- Vanligvis rektangulært grid
  - Konnektivtets-problemer (Merk: avstanden mellom diagonale punkter)
  - Avstandsmål
  - Mer om dette i morfologi-forelesningen
- Andre eksempler:
  - Hexagonalt
  - Varierende tetthet (netthinnen)
  - Polarkoordinater (f.eks ultralyd)

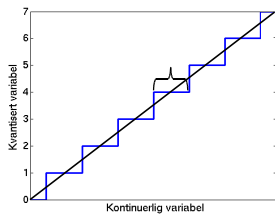


## Kvantisering

- $f(x,y)$  er intensitet/lysstyrke i  $(x,y)$  og er i sin natur en *kontinuerlig* variabel
- Når bildet,  $f$ , skal lagres digitalt må man velge et *visst antall nivåer* (og hvor nivåene skal ligge)
- **Kvantisering**: Prosessen som transformerer et kontinuerlig sampel  $f(x,y)$  til et diskret sampel  $f_{\text{digital}}(x,y)$

## Kvantisering, forts.

- Hvert piksel lagres vha.  $n$  bit
- Pikelet kan da inneholde heltallsverdier fra 0 til  $2^n-1$
- Eks 3 bit:



8 bit er vanlig for gråtonebilder, og 3\*8 bit for fargebilder

## Kvantiseringsfeil

- Kvantiseringsfeil
  - Summen av hver piksels avrundingsfeil
- Kan velge intervaller og tilhørende rekonstruksjonsintensiteter for å minimere denne => Ikke nødvendigvis uniform fordeling
- Sentrale stikkord:
  - Lagringsplass (og overføring)
  - Behov for presisjon/akseptabelt informasjonstap
  - Hardware-kompleksitet, eller fysiske begrensninger
- Merk: Fremvisning og videre analyse av det kvantiserte bildet stiller ulike krav til presisjon

## Eksempel: Plassbehov

- Typisk kamera (12 megapiksel)
  - $4032 \times 3024 = 12,192,768$  piksler
  - RGB  $\rightarrow 3 * 12,192,768 * 8 \text{ bit} \approx$  **35 MB**
  - Video  $\rightarrow 35 \text{ MB} * 25$  per sekund  $\rightarrow$  **52.5 GB** per minutt!
- Radarbilde fra ERS-satellitten:
  - Overføring fra satellitt kostbart
  - Dekker  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$
  - Pikseldekning  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$
  - $5000 \times 5000$  piksler
  - 8 bit: **25 MB**
  - 16 bit: **50 MB**
  - 32 bit: **100 MB**

Vi ser at kompresjon vil ofte fort melde seg som en nødvendighet.

## Krav til kvantiseringsnivåer

- Vi oppfatter kun noen titalls gråtoner samtidig, så trenger vi mer enn 256 nivåer (1 byte) pr. piksel?
- Tilfeller hvor *input*-intensitetsnivå varierer (for eksempel lysnivå ute og innendørs) og vi er nødt til å korrigere etter sampling
- For videre bildeanalyse/bildebehandling trenger vi ofte høyere antall kvantiseringsnivåer
- Eksempler på datatyper som ulike sensorer leverer:
  - Byte (0-255): Mest vanlig
  - 14 bit per kanal: Moderne kamera i RAW-filformat-modus
  - Unsigned short (16 bit): ERS SAR radarbilder vanlig format
  - 10 bit: MR-bilder (Magnetisk Resonans)
  - 64 bit complex: ERS single look complex radarbilder (rådata) med amplitude og faseinformasjon

## Eksempler - antall bit per piksel



8 bit



6 bit



4 bit



3 bit

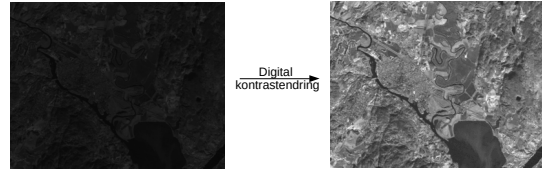


2 bit  
IN2070



1 bit

## Eksempel – varierende belysning



Må ha mange nok intensitetsintervaller for å kunne endre og fremheve de mørke områdene i ettertid.

## Sentrale temaer i dag

- Romlig oppløsning
  - Punktspredningsfunksjon (PSF)
  - Minste avstand mellom punktkilder
  - Romlig periode og romlig frekvens
- Sampling
  - Samplingsteoremet (Shannon/Nyquist)
  - Aliasing
  - Anti-aliasing
- Kvantisering
  - Kvantiseringsfeil
  - Fremvisning versus videre behandling/analyse