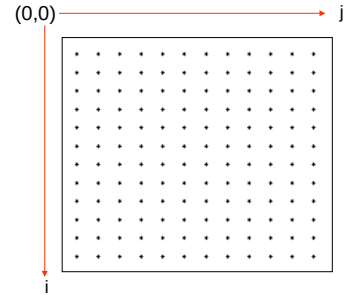


INF2310 – 23. januar 2019 – Ukens temaer
(Kap 2.3-2.4 med drypp fra kap. 4. i DIP)

- Romlig oppløsning
- Sampling av bilder
- Kvantisering av pikselintensiteter

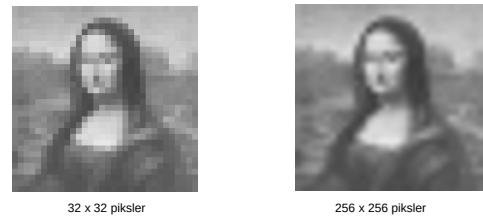
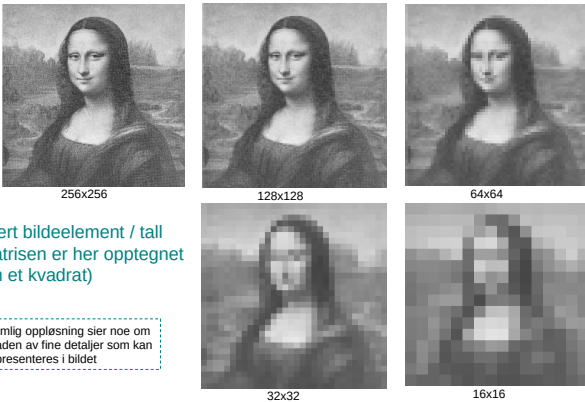
Sampling av bilder

- 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



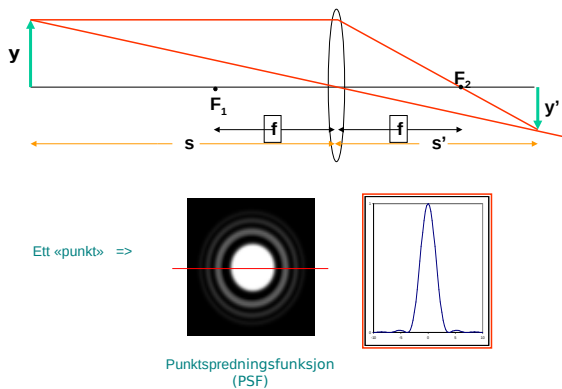
For en viss **romlig oppløsning / detaljnivå i bildet**, hvor tett må punktene i rutenettet ligge? (Hvor mange piksler pr. arealenhet?)

Romlig oppløsning, eksempler



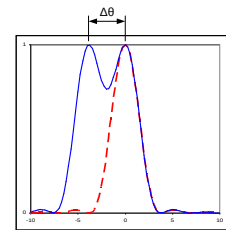
Forskjellig antall piksler, men lik romlig oppløsning

Optisk avbildning



Romlig oppløsning

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



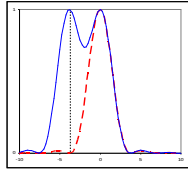
Angis som oftest som en vinkel

Rayleigh-kriteriet

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

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

- Dette er "Rayleigh-kriteriet".



2019.01.23

INF2310

7 / 27

Rayleigh-kriteriet, eksempel

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

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

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

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

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

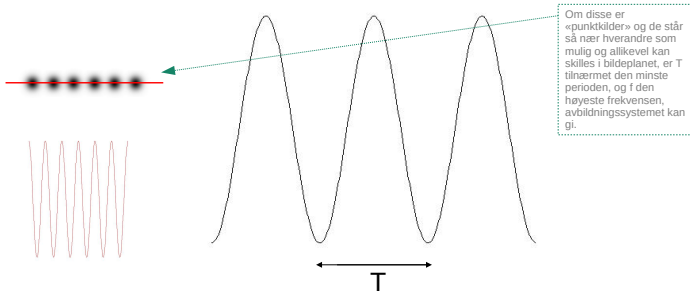
$$y' = 0.3 \text{ mm} \cdot 35 / (5000-35) \approx \mathbf{2.1 \mu\text{m}} \quad (\text{I bildeplanet})$$

2019.01.23

INF2310

8 / 27

Romlig periode og frekvens



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

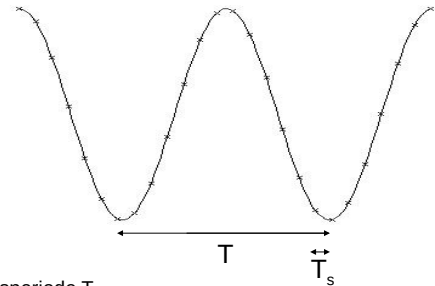
- Periode T (avstand før neste gjentakelse, tenk meter)
- Frekvens $f = 1/T$ (antall gjentakelser per avstandsenhet, tenk per meter)

2019.01.23

INF2310

9 / 27

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?**

2019.01.23

INF2310

10 / 27

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 vi 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 $f_s > 2f_{\max} \leftrightarrow T_s < 1/2T_{\min}$)

- $2 f_{\max}$ 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?

2019.01.23

INF2310

11 / 27

Undersampling/aliasing

- Undersampling (sample med lavere samplingsrate enn Nyquist-kriteriet) medfører **aliasing**
- Ved undersampling «forvrenses» 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

2019.01.23

INF2310

12 / 27

1D aliasing-eksempel

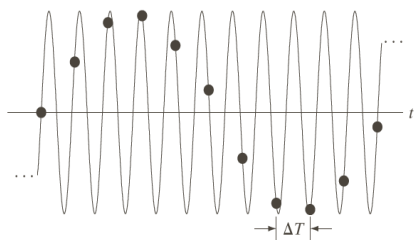
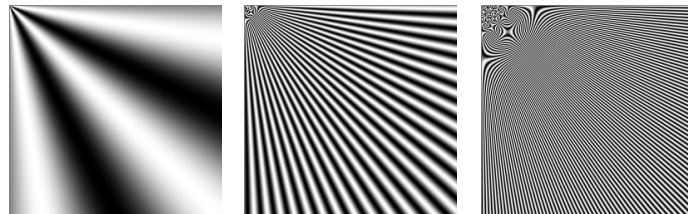


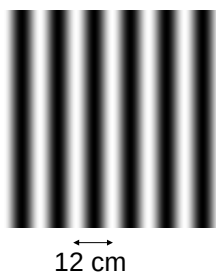
FIGURE 4.10 Illustration of aliasing. The under-sampled function (black dots) looks like a sine wave having a frequency much lower than the frequency of the continuous signal.

(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

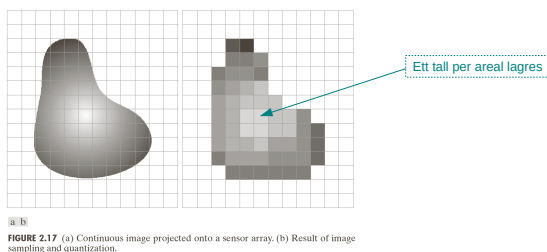




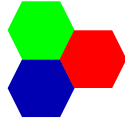
FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

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

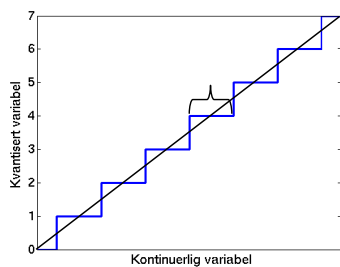


Kvantisering

- $f(x,y)$ 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 $f_{digital}(x,y)$

Kvantisering, forts.

- Hvert piksel lagres vha. n bit
- Pikselet 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

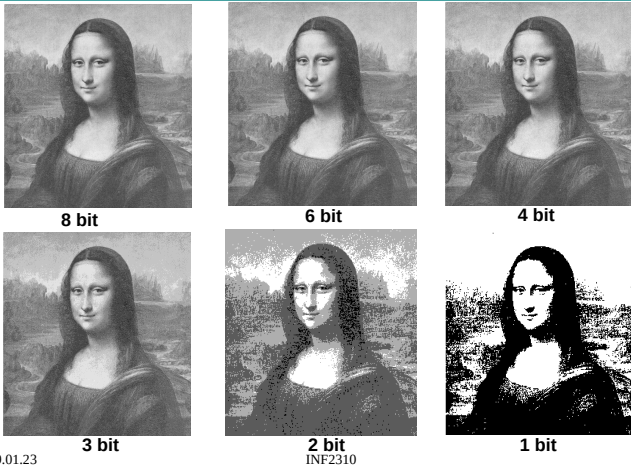
- Typisk kamera (12 megapiksel)
 - $4032 \times 3024 = 12,192,768$ piksler
 - RGB $\rightarrow 3 * 12,192,768 * 8 \text{ bit} \approx$ **35 MB**
 - Video $\rightarrow 35 \text{ MB} * 25 \text{ per sekund} \rightarrow$ **52.5 GB per minutt!**
- Radarbilde fra ERS-satellitten:
 - Overføring fra satellitt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

Vi ser at kompresjon vil ofte ført 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 radarbilde vanlig format
 - 10 bit: MR-bilder (Magnetisk Resonans)
 - 64 bit complex: ERS single look complex radarbilde (rådata) med amplitude og faseinformasjon

Eksempler - antall bit per piksel



2019.01.23

INF2310

25 / 27

Eksempel – varierende belysning



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

2019.01.23

INF2310

26 / 27

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

2019.01.23

INF2310

27 / 27