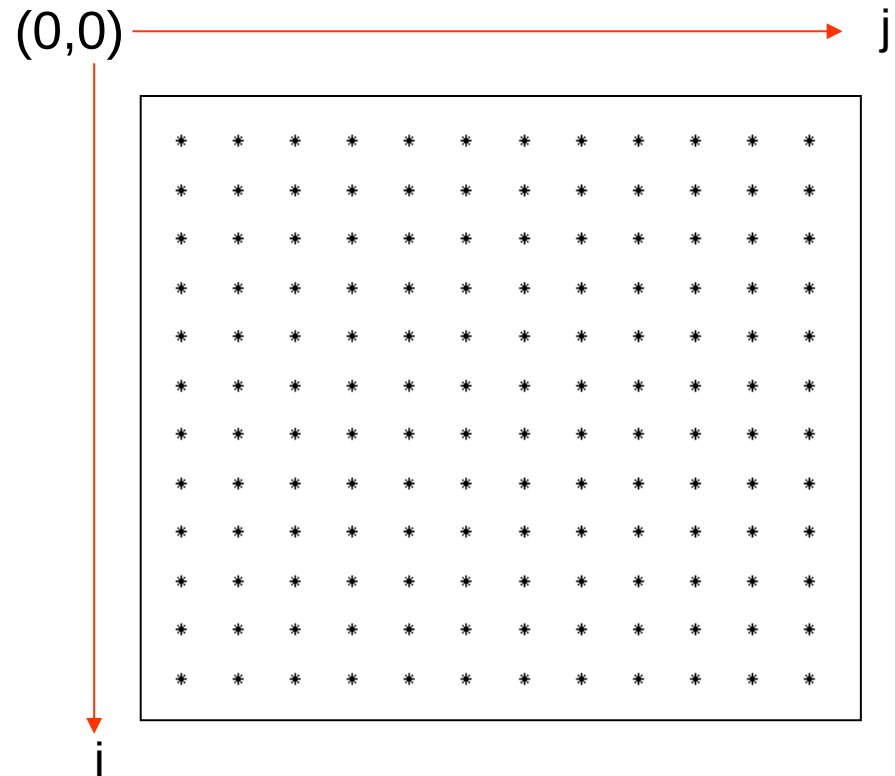

IN2070 – Januar 2022 – Ukens temaer

(Kap 2.3-2.4 med drypp fra kap. 4. i DIP)

- Romlig oppløsning
- Sampling av bilder
- Kvantisering av pikselintensiteter

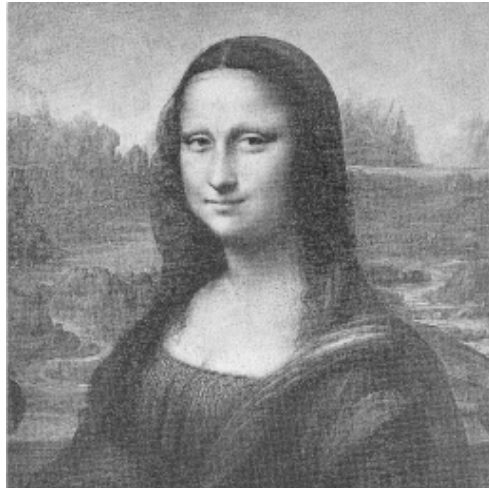
Intro: Sampling av bilder

- 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?)

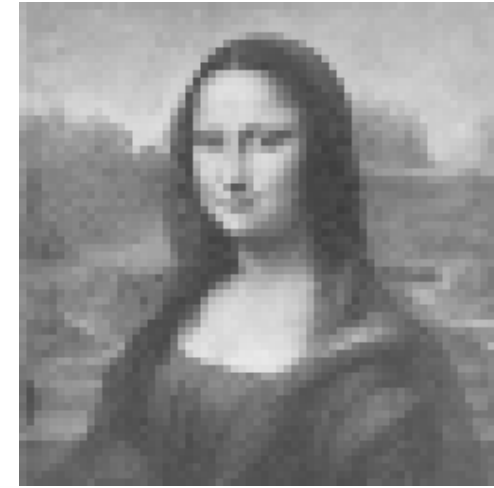
Romlig oppløsning, eksempler



256x256



128x128



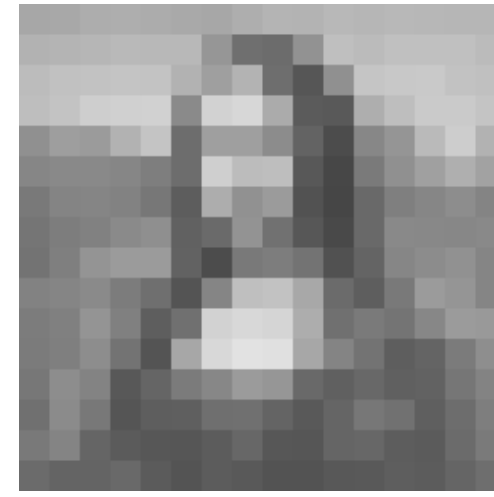
64x64

(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



32x32



16x16



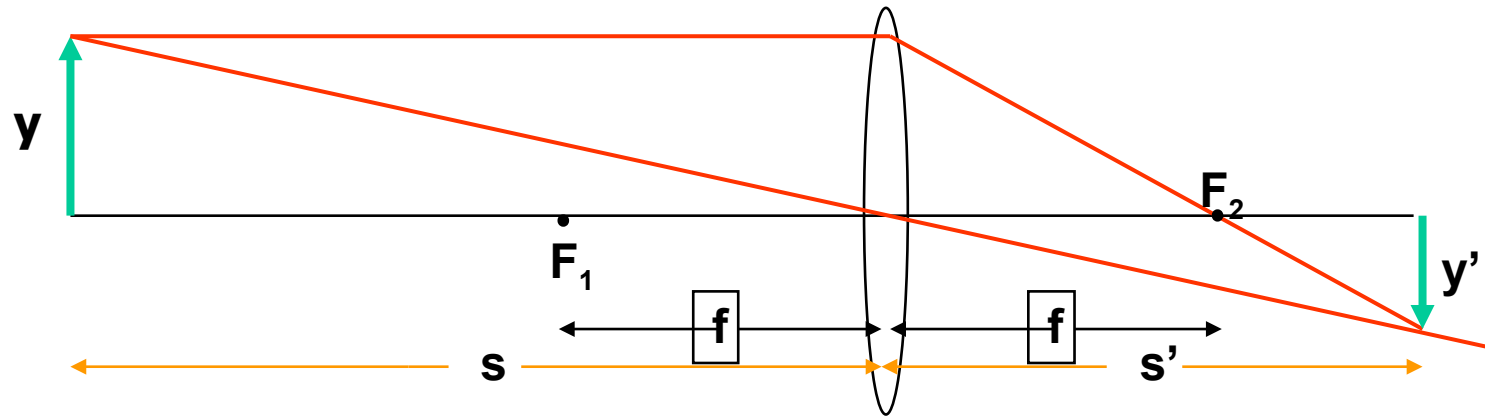
32 x 32 piksler



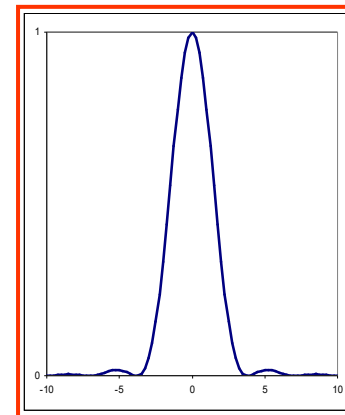
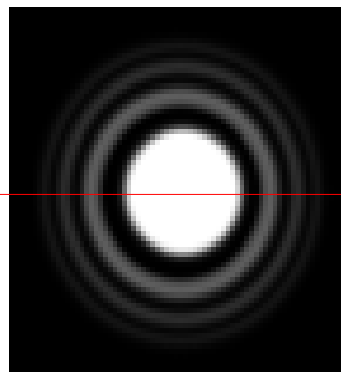
256 x 256 piksler

Forskjellig antall piksler, men lik romlig oppløsning

Optisk avbildning



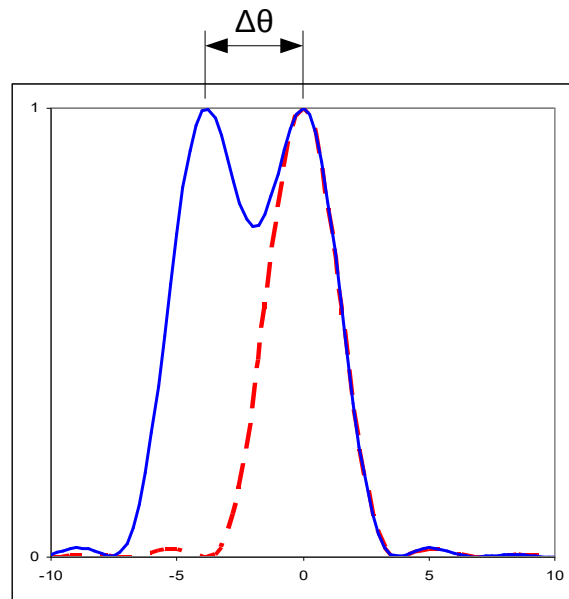
Ett «punkt» =>



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



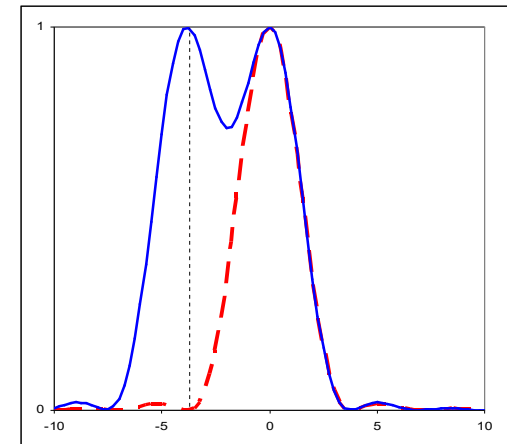
Angis som oftest som en vinkel

Rayleigh-kriteriet

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

$$\sin \theta = 1.22 \lambda / D$$

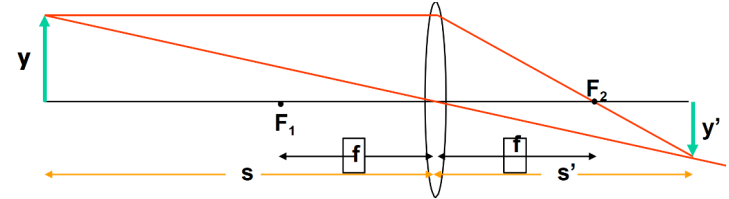
- Dette er "Rayleigh-kriteriet".



Rayleigh-kriteriet, eksempel

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

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



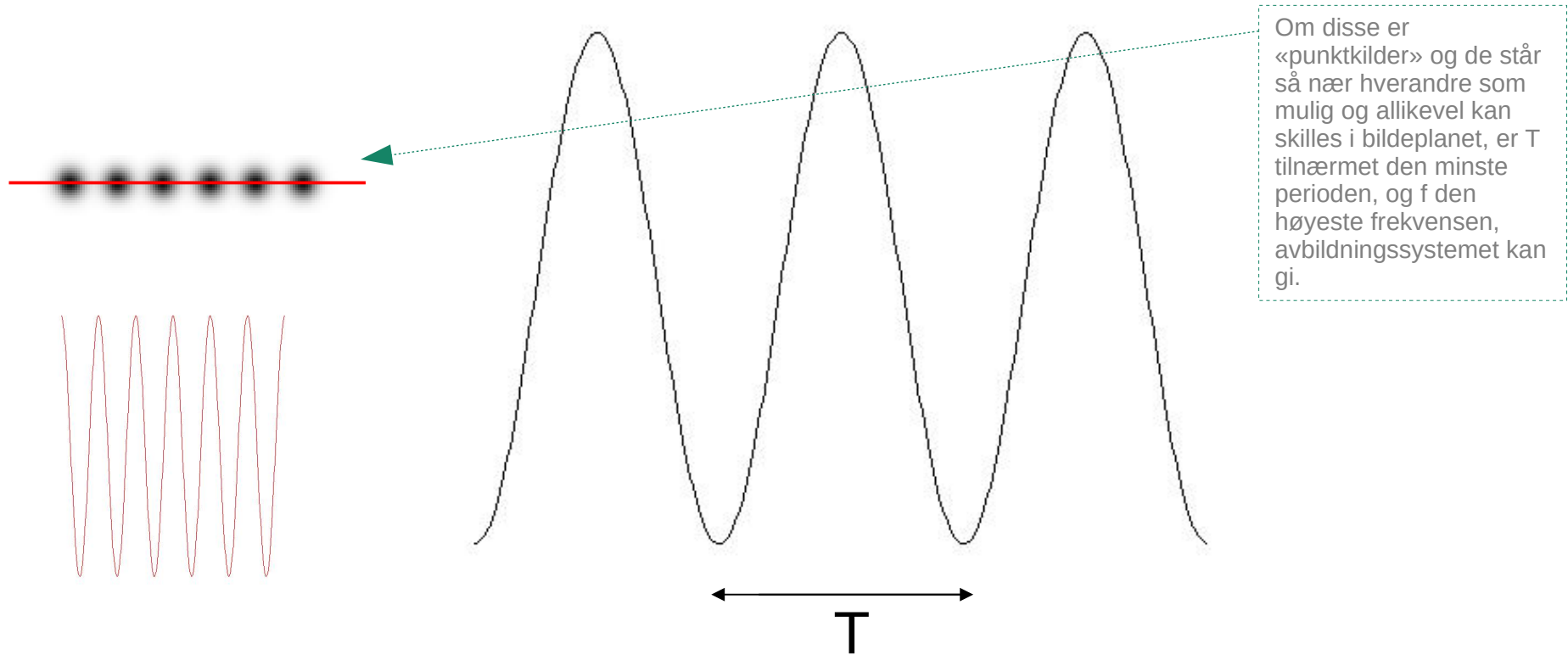
$f = 35 \text{ mm}$ og $D = 10 \text{ mm}$ (Tilnærmet vanlig kamera)
 $s = 5 \text{ m}$ (Avstanden til det som avbildes)
 $\lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ (Grønt lys)

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

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

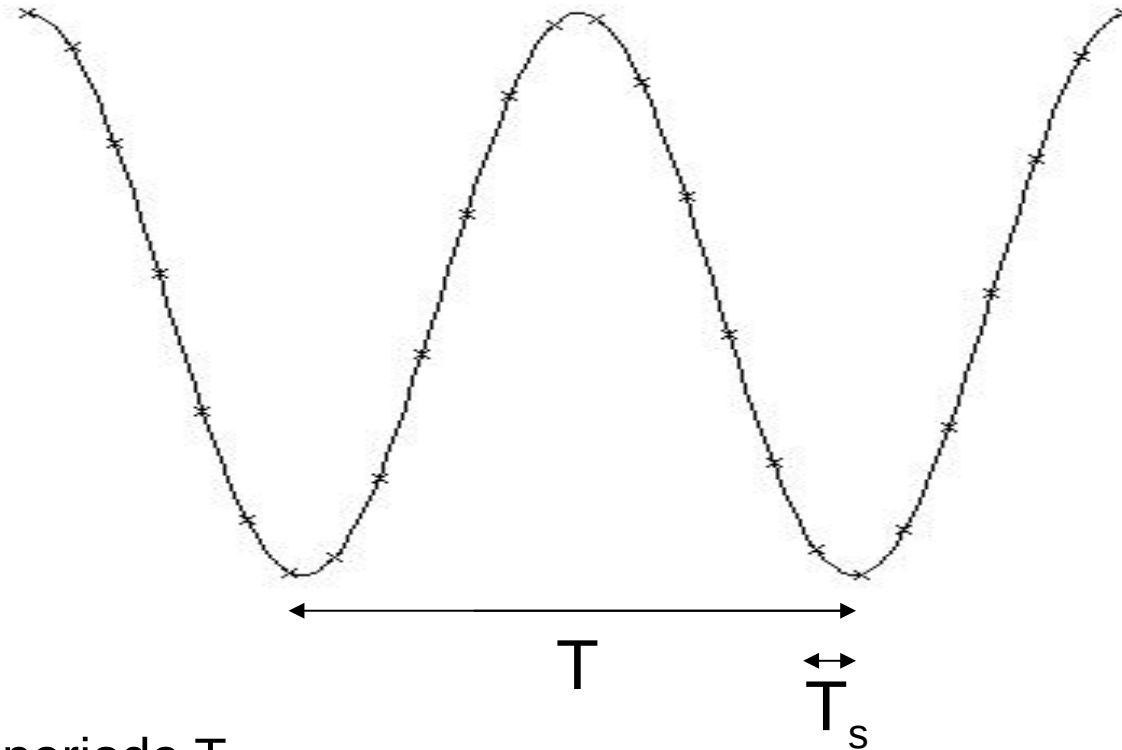
$y' = 0.3 \text{ mm} \cdot 35 / (5000 - 35) \approx \mathbf{2.1 \mu\text{m}}$ (I bildeplanet)

Romlig periode og frekvens



- 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 vi selvfølgelig ikke har ved «fysiske»/reelle bilder

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

- $2 f_{\max}$ 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 $f_{\langle \max \rangle}$, 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 «forvrenges» 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

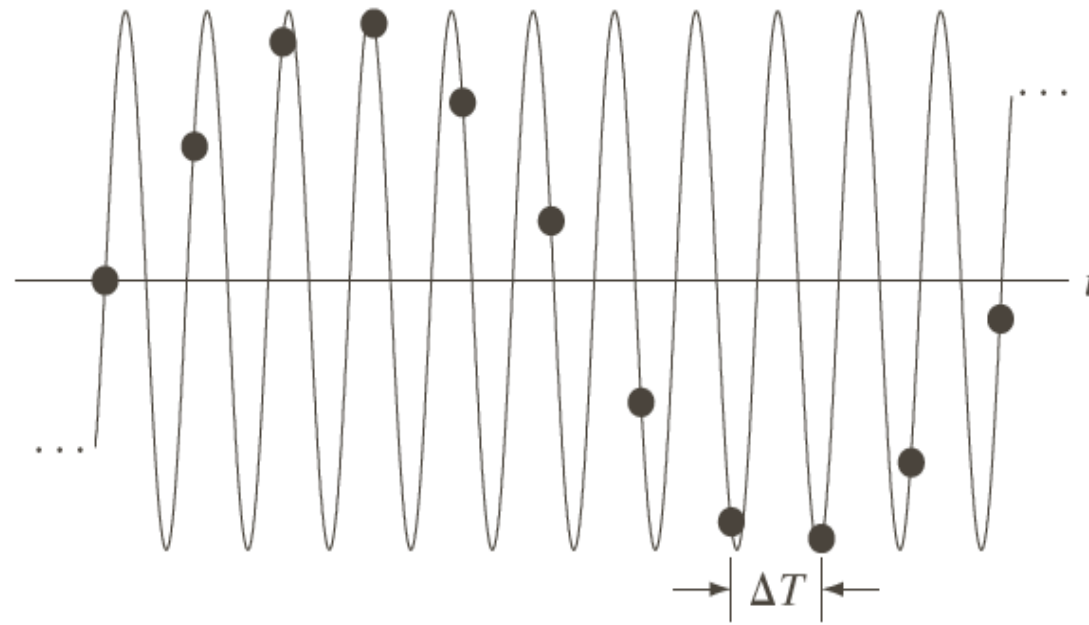
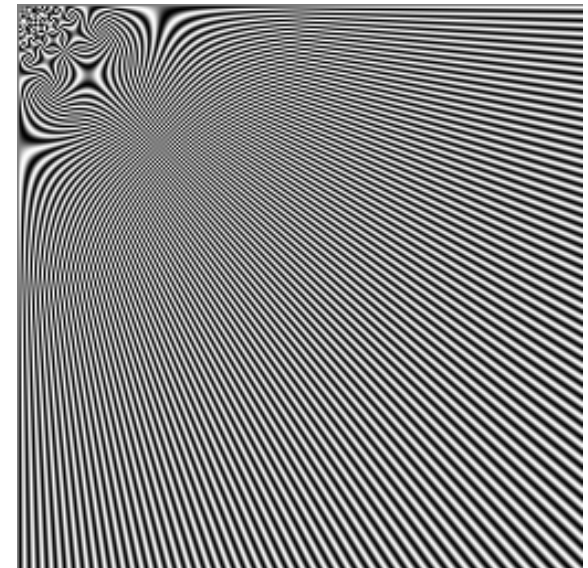
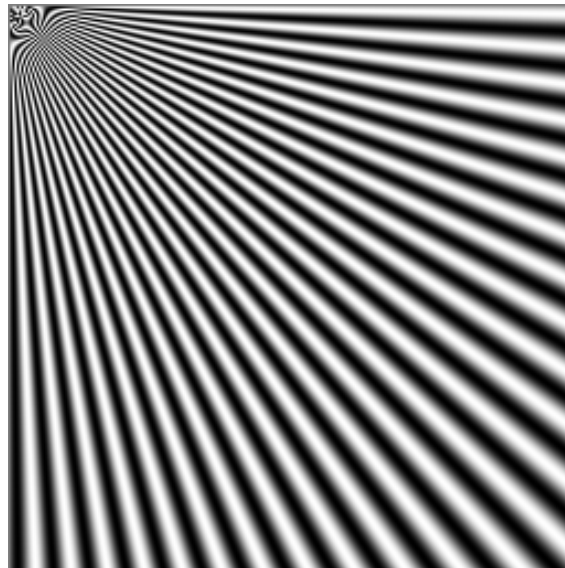
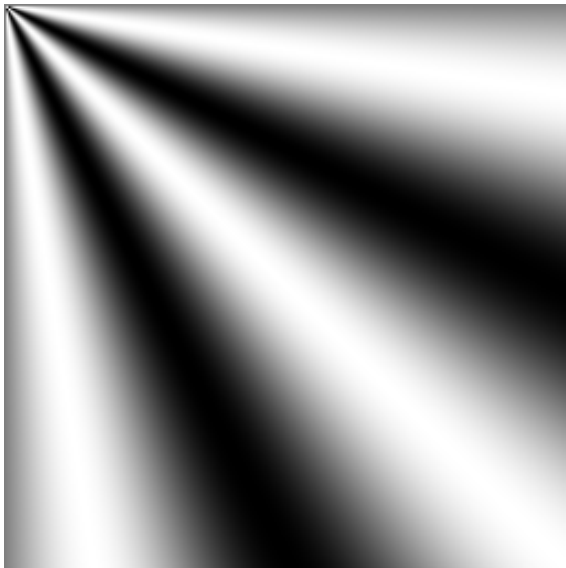


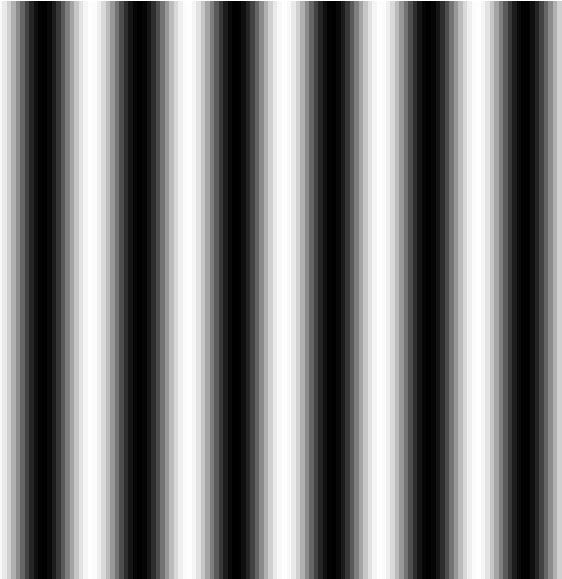
FIGURE 4.10 Illustration of aliasing. The under-sampled function (black dots) looks like a sine wave having a frequency much lower than the frequency of the continuous signal.

(Figur 4.11 s. 224 i DIP)

2D aliasing-eksempel



Oppgave



↔
12 cm

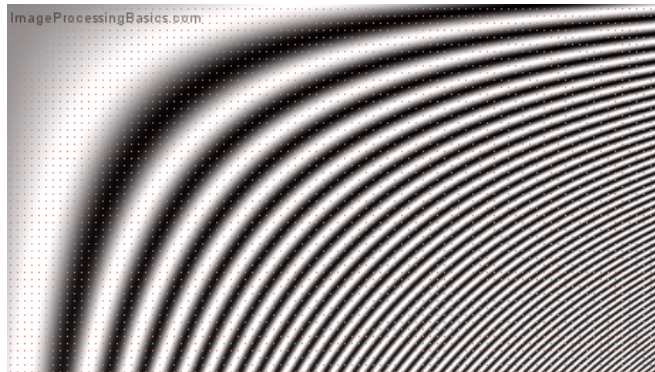
- Du tar bilde av et gjerde som består av gjerdestolper som er 6 cm brede og mellomrom som er 6 cm
- Bildet dekker 30 m av gjerdet
- Bildet er på 256x256 piksler

- Går dette bra?
- Hva er perioden i bildet og hva er samplingsperioden?

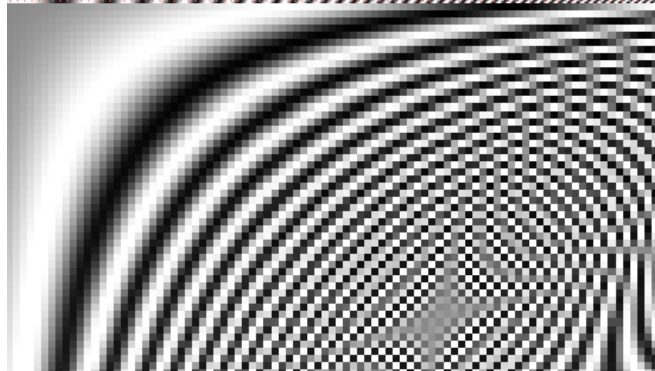
Anti-aliasing

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

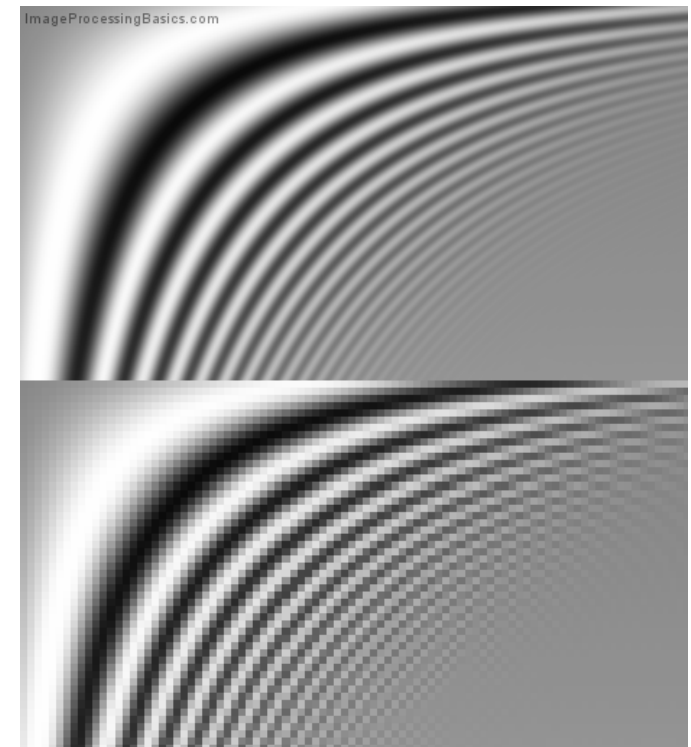
Originalbilde



Nedsample



Resultatmatrise/
resultatbilde
opptegnet med
store, kvadratiske
piksler



(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

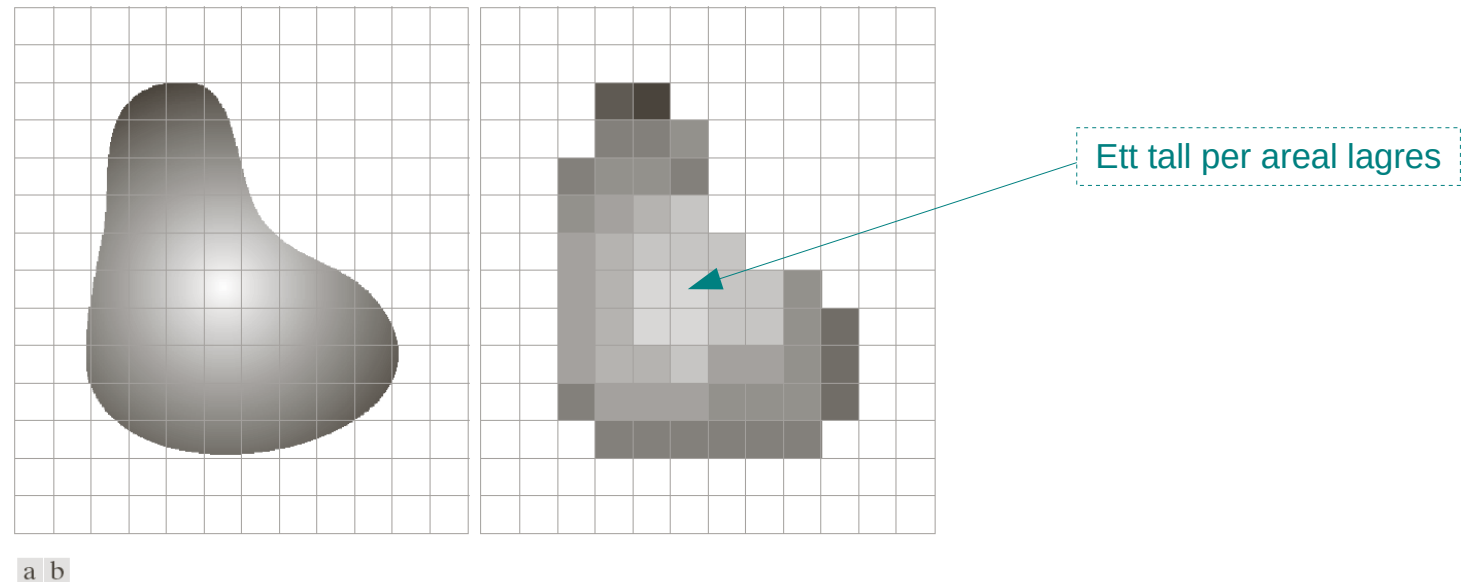
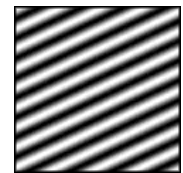


FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

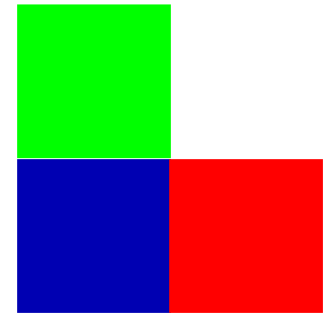
Mer reell sampling av bilder II/II

- Når et kamera tar bilde av et objekt, vil hvert piksel i bildet inneholde lys målt fra hele det området som detektoren dekker
- Eksempel: La oss si at en detektor 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 middelværdi over et areal**
 - Implisitt fjernet høyfrekvent bidrag
 - Konseptuelt det samme som å først glatte ut, så plukke punkt-sampler: Anti-aliasing-filtrering

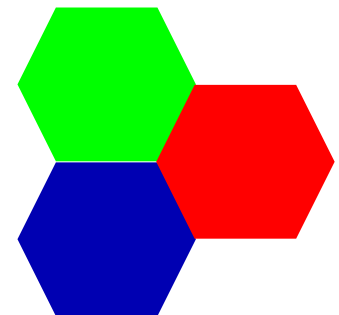


Samplingsmønster / skanningsmønster

- 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)

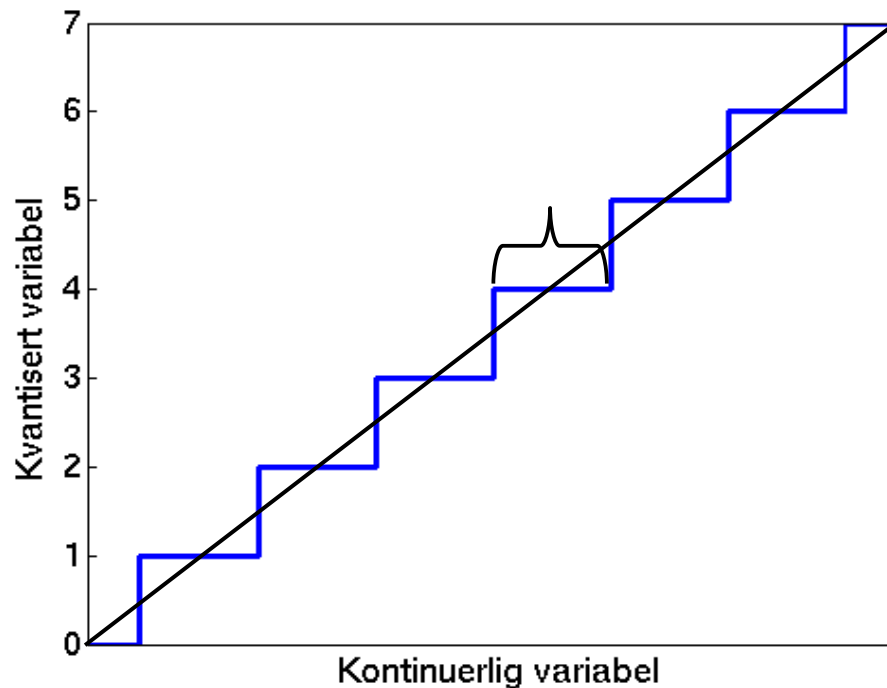


Kvantisering

- $f(x,y)$ 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 $3 \cdot 8$ bit
for fargebilder

Kvantiseringssfeil

- Kvantiseringssfeil
 - Summen av hver piksels avrundingsfeil
- Kan velge intervaller og tilhørende rekonstruksjonsintensiteter for å minimere denne => Ikke nødvendigvis uniform fordeling
- Sentrale stikkord:
 - Lagringsplass (og overføring)
 - Hardware-kompleksitet, kostnad eller fysiske begrensninger
 - Behov for presisjon/akseptabelt informasjonstap
- 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 km x 100 km
 - Pikseldekning 20 m x 20 m
 - 5000 x 5000 piksler
 - 8 bit: **25 MB**
 - 16 bit: **50 MB**
 - 32 bit: **100 MB**



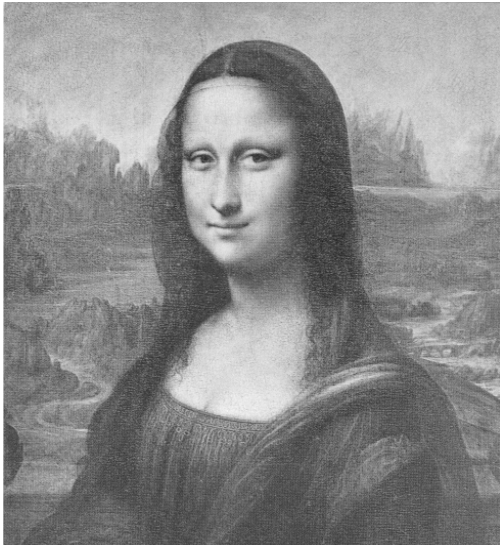
.. eller 92 GB for rådata i mer moderne 14-bit per kanal.

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?
- For videre bildeanalyse/bildebehandling trenger vi ofte høyere antall kvantiseringsnivåer
- Tilfeller hvor *input*-intensitetsnivå varierer (for eksempel lysnivå ute og innendørs) og vi er nødt til å korrigere etter sampling
- 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 Resonnans)
 - 64 bit complex: ERS single look complex radarbilder (rådata) med amplitude og faseinformasjon

Eksempler - antall bit per piksel



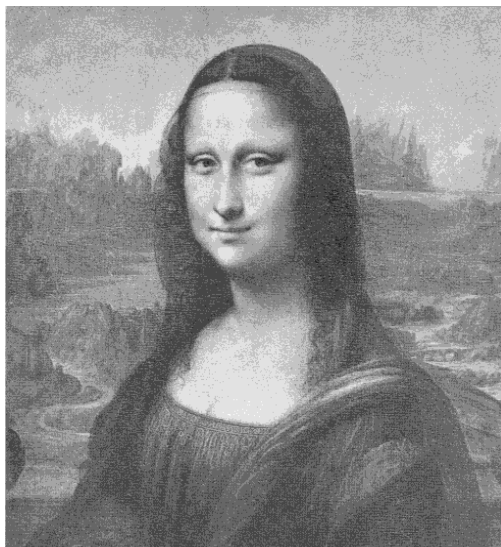
8 bit



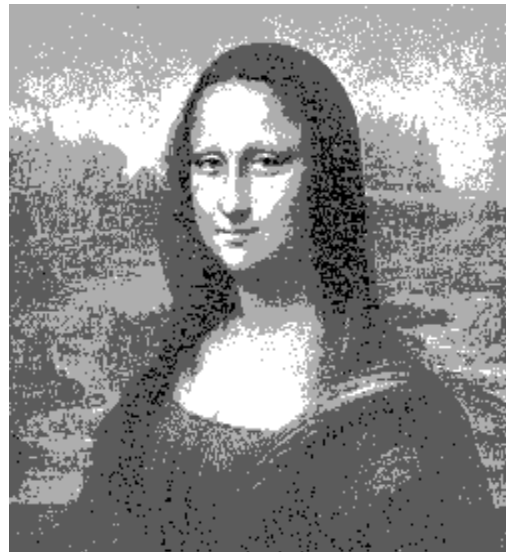
6 bit



4 bit



3 bit

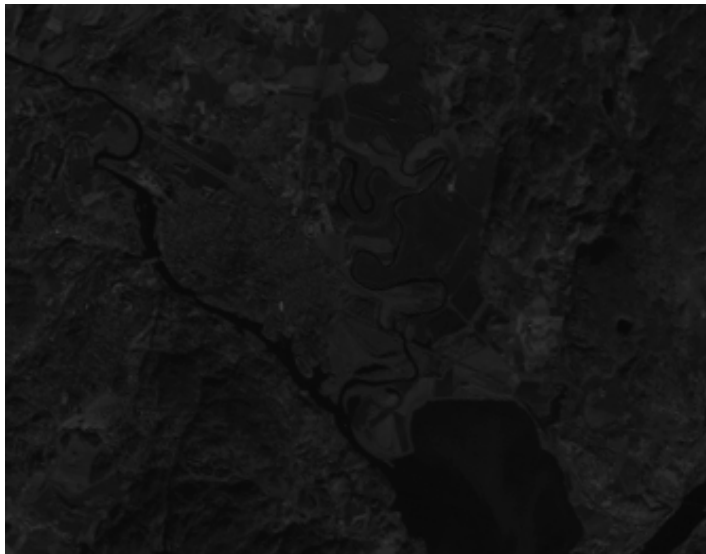


2 bit
IN2070

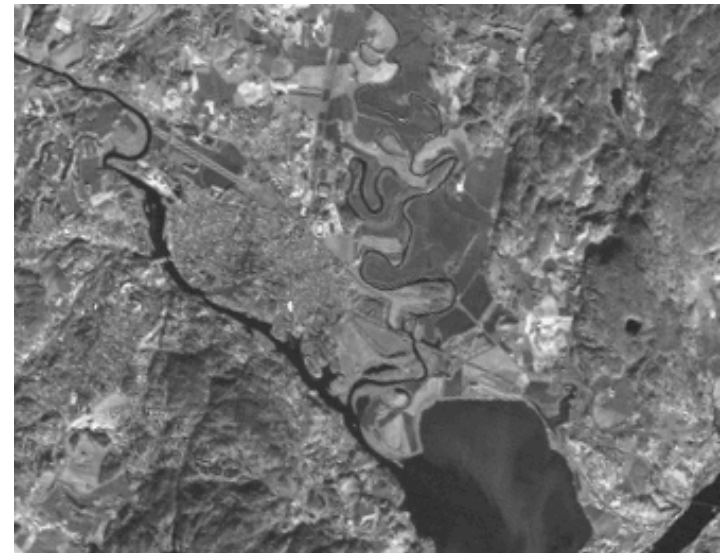


1 bit

Eksempel – varierende belysning



Digital
kontrastendring →



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