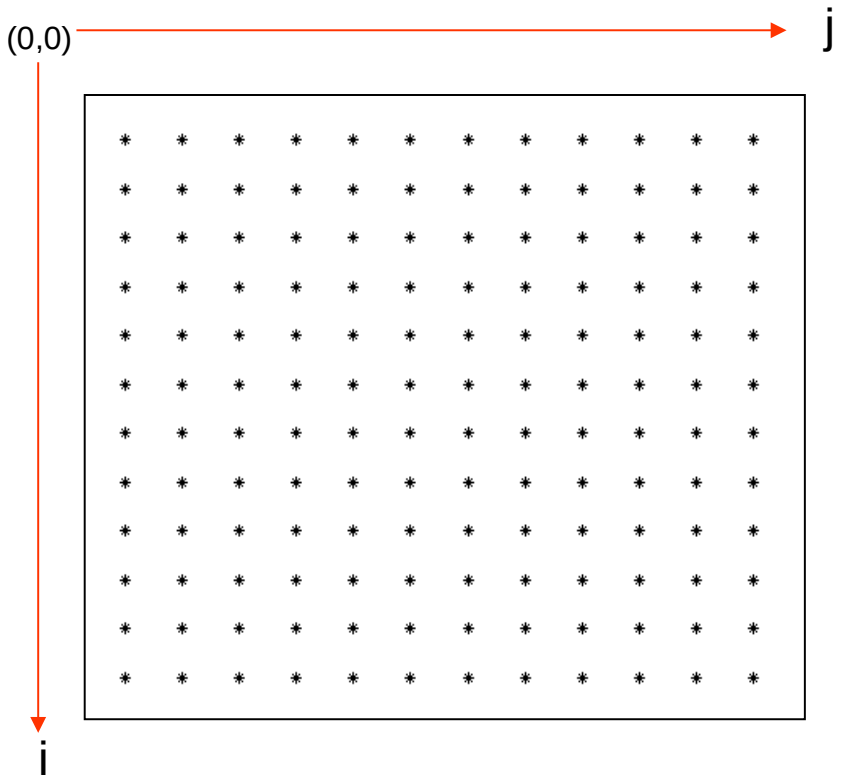
IN2070 – August 2023 – Ukens temaer

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

- Romlig oppløsning
- Sampling av bilder
- Kvantisering av pikselintensiteter

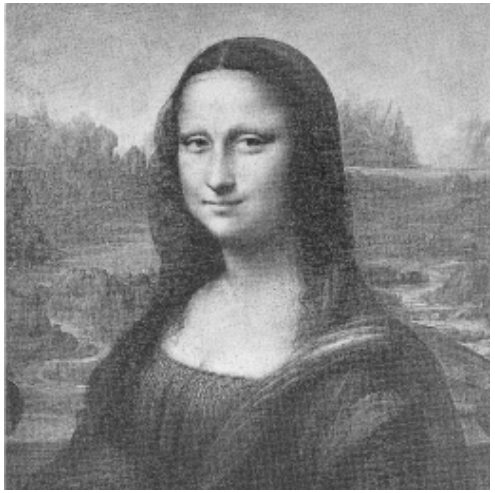
Intro: Sampling av bilder

- 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

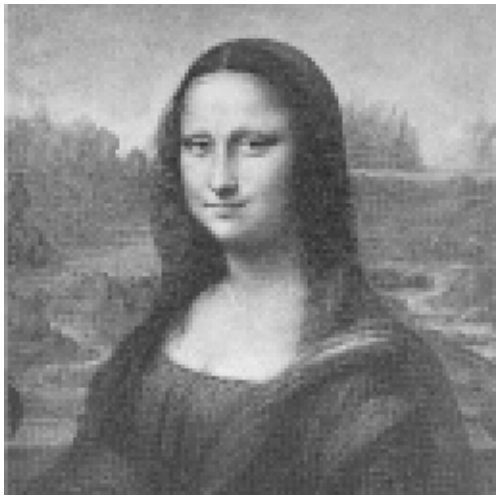


For en viss **romlig oppløsning / detaljnivå i bildet**, hvor tett må punktene i rutenettet ligge? (Hvor mange piksler pr. arealenhet?)

Romlig oppløsning, eksempler



256x256



128x128



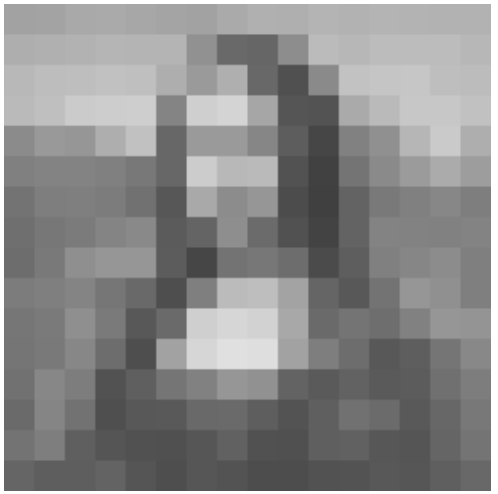
64x64

(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



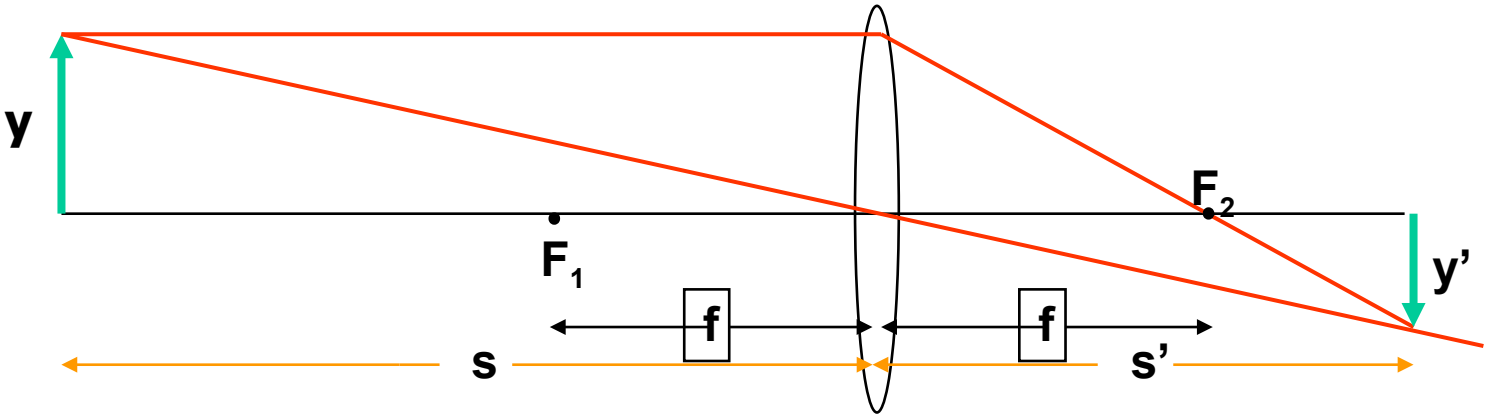
32 x 32 piksler



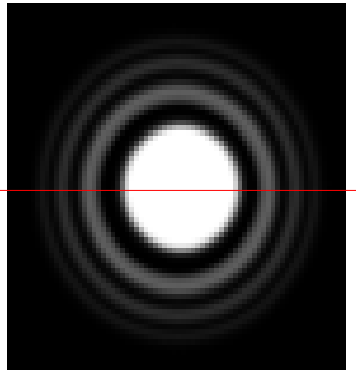
256 x 256 piksler

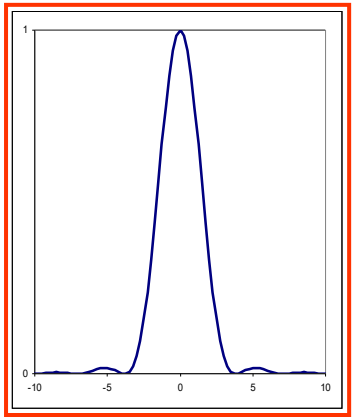
Forskjellig antall piksler, men lik romlig oppløsning!

Optisk avbildning



Ett «punkt» i virkeligheten →

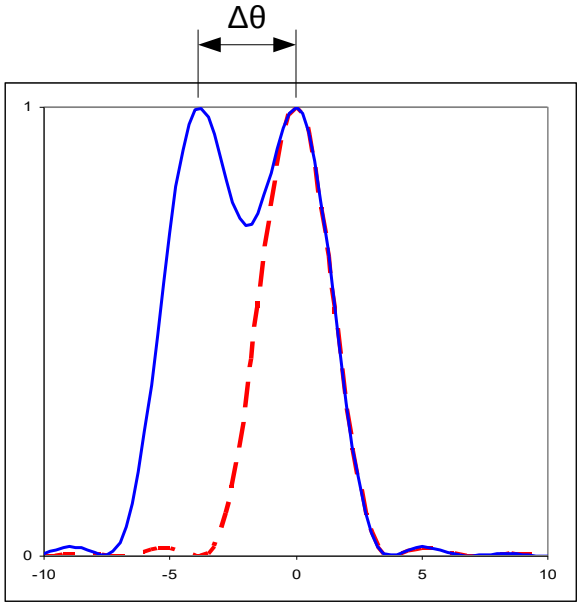




Punktspredningsfunksjon
(PSF)
i bildeplanet

Romlig oppløsning

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



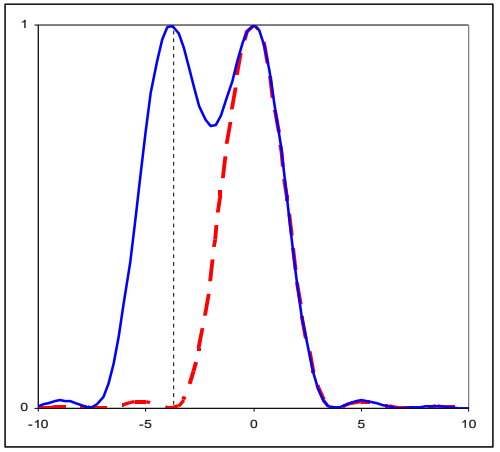
Angis som oftest som en vinkel

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:

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

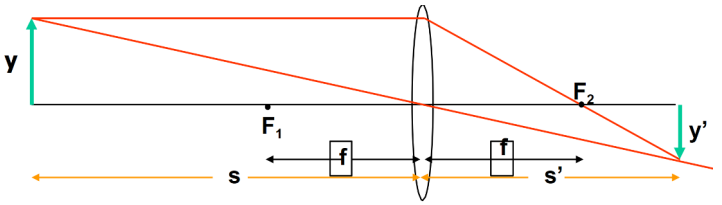
  - Dette er ”Rayleigh-kriteriet”.



Rayleigh-kriteriet, eksempel

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

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



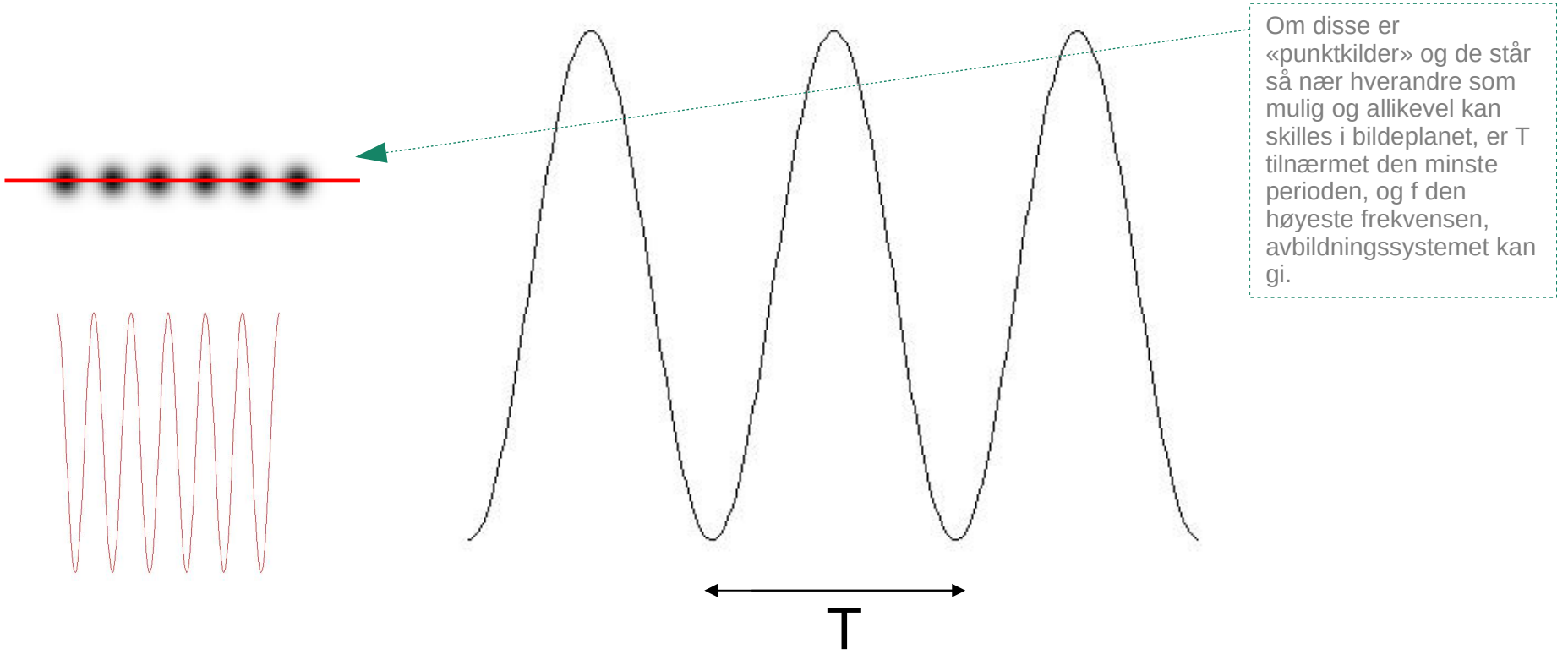
f = 35 mm og D = 10 mm («Vanlig» kamera)
s = 5 m (Avstanden til det som avbildes)
λ = 500 · 10^{-9} m (Grønt lys)

tan θ ≈ sin θ = 1.22 λ / D = 6.1 · 10^{-5} (Rayleigh)

y = tan θ · s ≈ 3.05·10^{-4}m ≈ **0.3 mm** (I objektplanet)

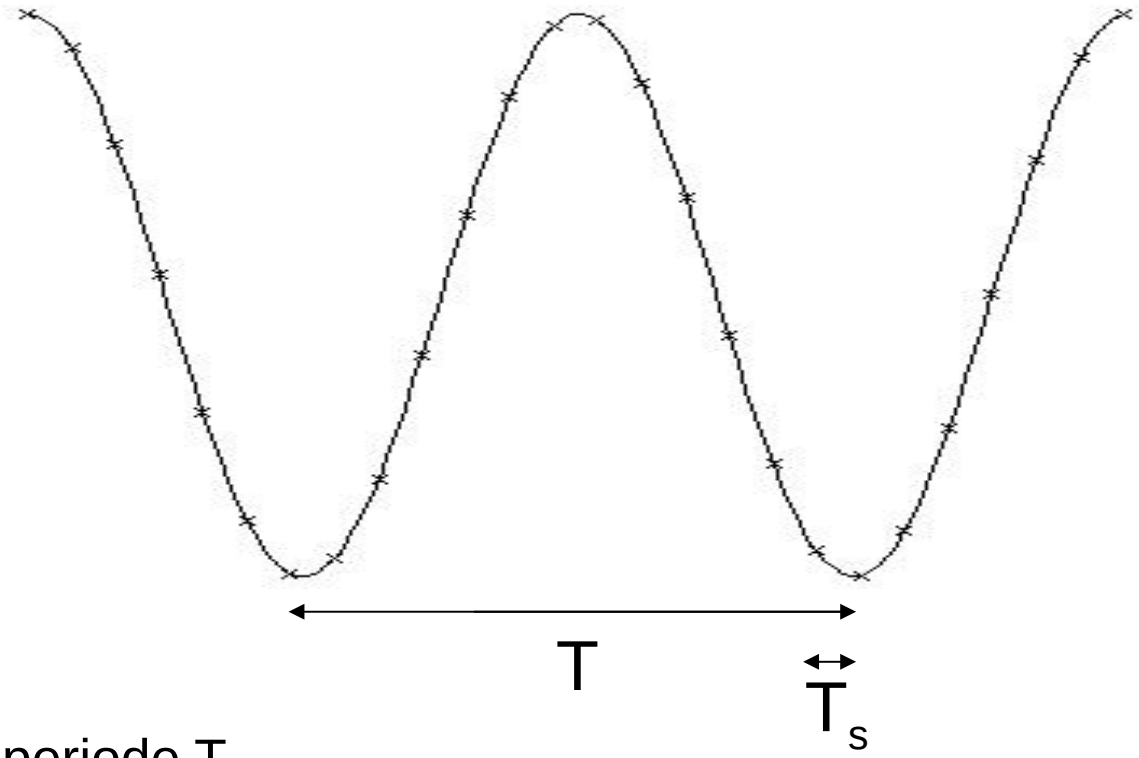
y' = 0.3 mm · 35 / (5000-35) ≈ **2.1 µm** (I bildeplanet)

Romlig periode og frekvens



- Periode T (avstand før neste gjentagelse, tenk meter)
- Frekvens f = 1/T (antall gjentagelser 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 samplingsraten $f_s=1/T_s$ er større enn 2 f_{max}

(husk $f_s > 2f_{max} \leftrightarrow T_s < \frac{1}{2}T_{min}$)

- 2 f_{max} kalles ofte Nyquist-raten

Strengt tatt er T_{min} lik minste avstand mellom adskilbare punkter kun ved uendelig romlig repetisjon av slike punkter, ellers («bittelitt») mindre

- I praksis samples det derfor ofte litt tettere enn 2 ganger denne minste avstanden («oversamling») for god rekonstruksjon
- Egentlig vil det i bilder med endelig utstrekning kunne være (teoretisk) bidrag i *alle* frekvenser, tenk derfor frekvenser med innhold «av betydning»

Hva er T_{min} (i hvert fall), og hvilket krav til T_s bør vi da 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

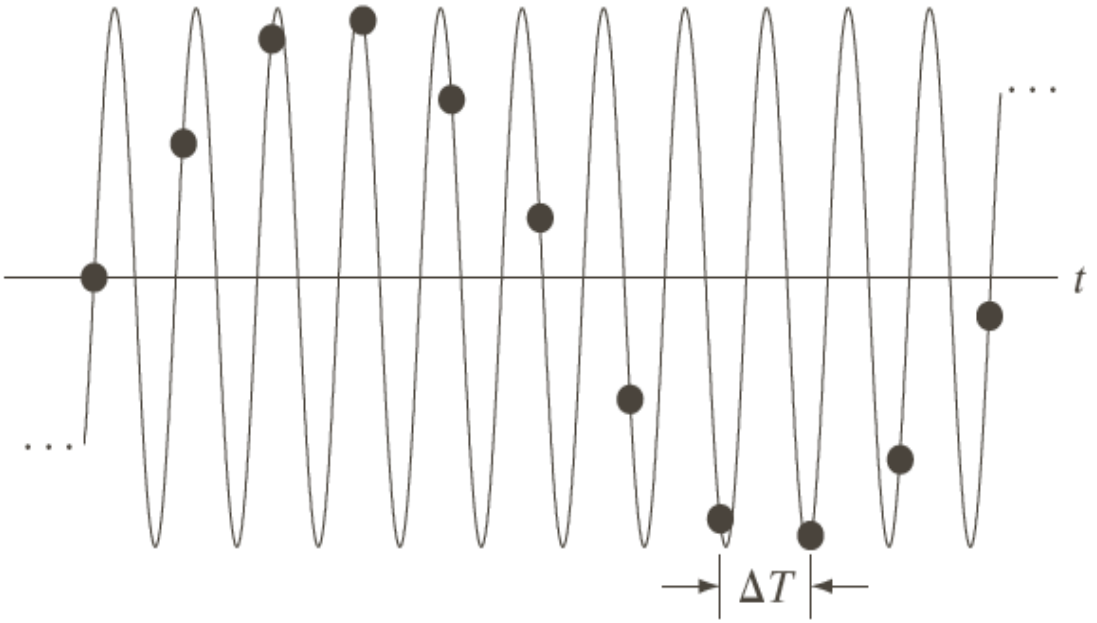
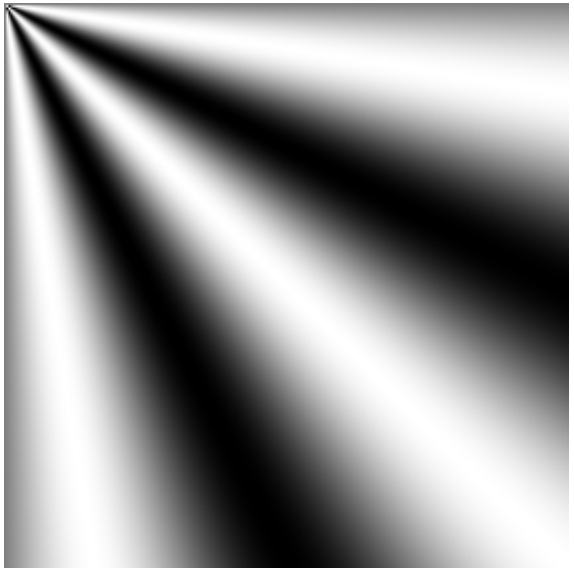
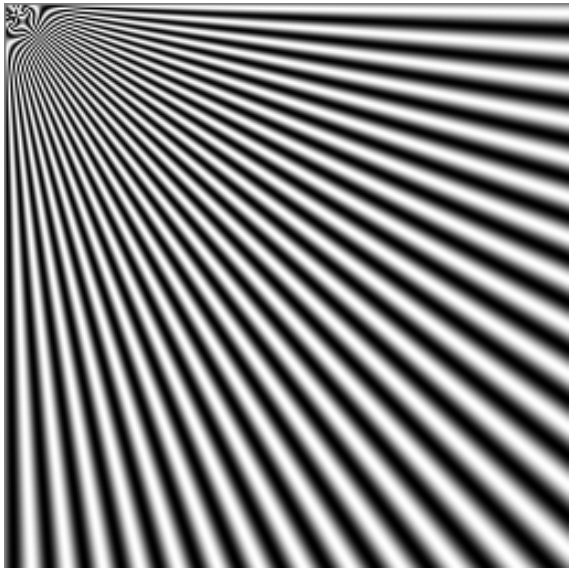
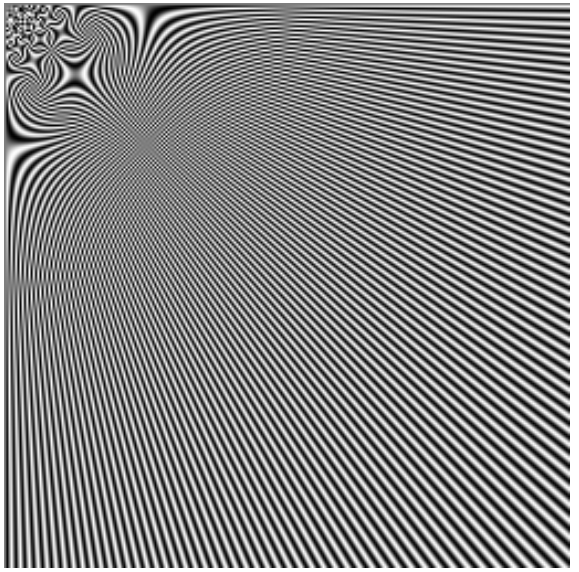


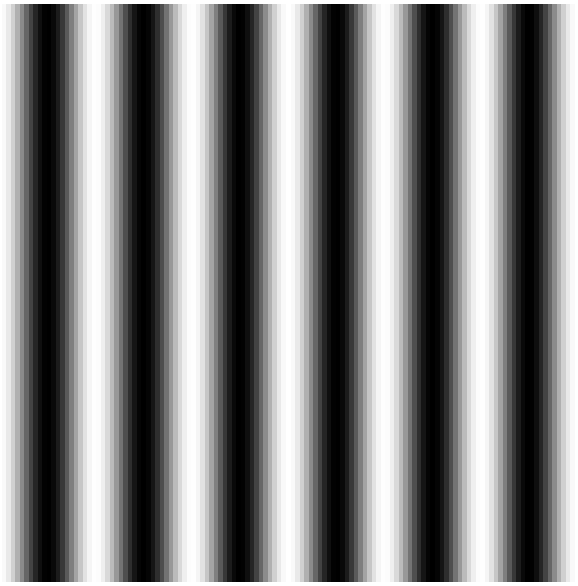
FIGURE 4.10 Illustration of aliasing. The under-sampled function (black dots) looks like a sine wave having a frequency much lower than the frequency of the continuous signal.

(Figur 4.11 s. 224 i DIP)

2D aliasing-eksempel

Oppgave



- 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
- Digitalt er bildet på 256x256 piksler

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

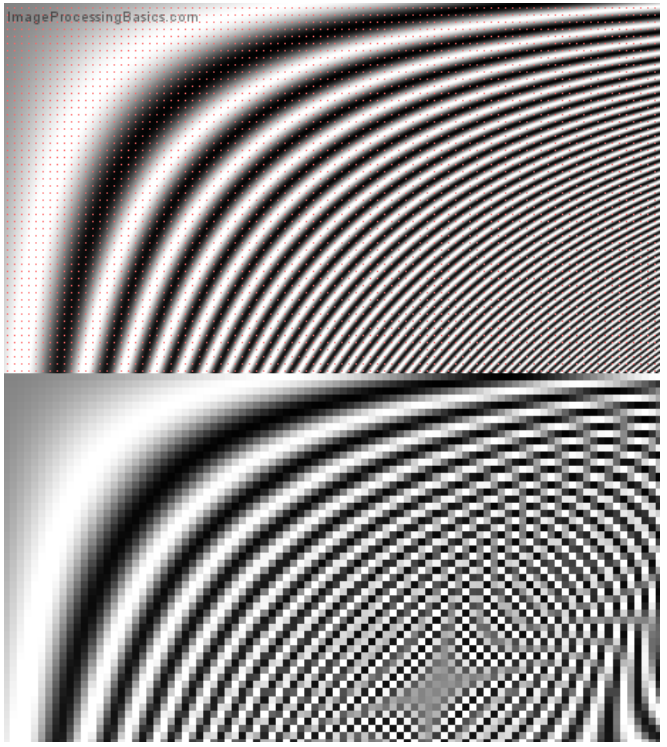
Anti-aliasing

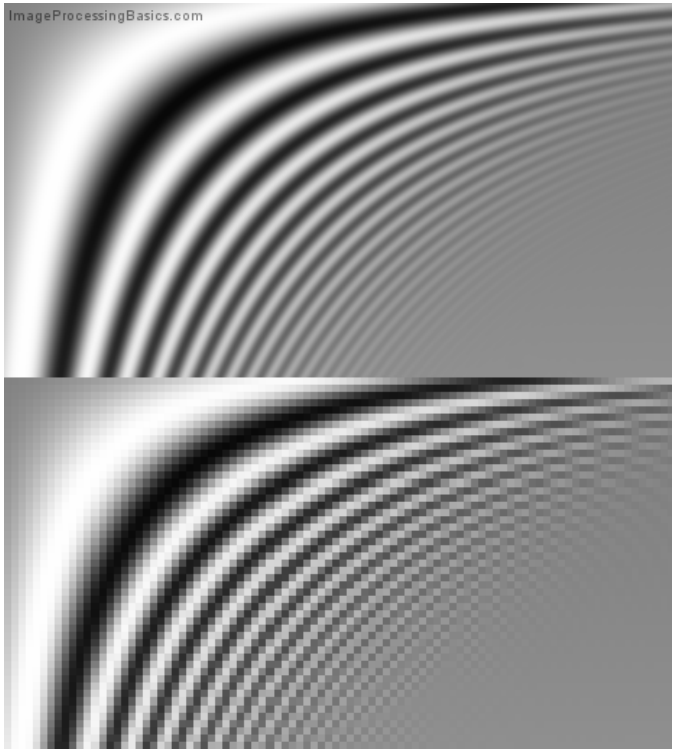
- Ved *anti-aliasing* fjerner/demper vi de frekvensene i bildet vi ikke kan håndtere **før** vi sampler

Originalbilde →

Nedsample ↓

Resultatmatrise/ resultatbilde opptegnet med store, kvadratiske piksler →

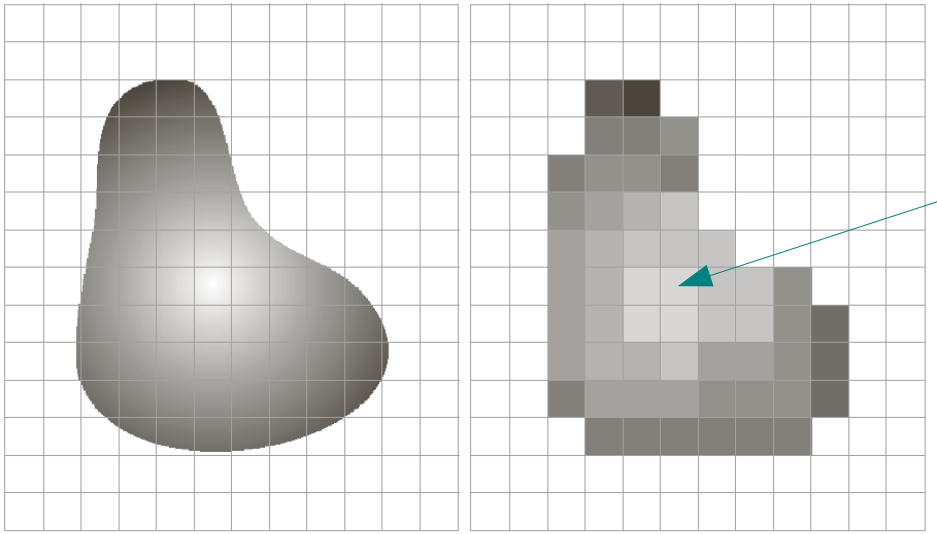




(Figurer fra ImageProcessingBasics.com)

Mer reell sampling av bilder I/II

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



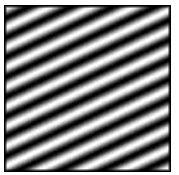
a b

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

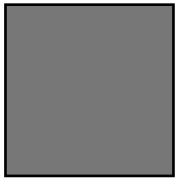
Mer reell sampling av bilder II/II

- 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:



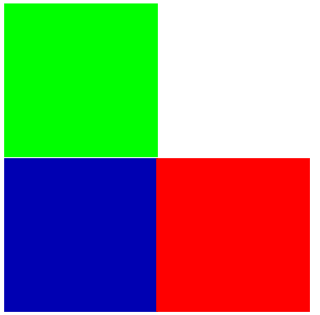
- Dette representeres etter samplingen ved gjennomsnittlig lysstyrke i området:



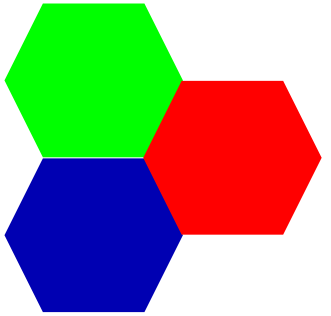
- Vi har målt en middelverdi over et areal
  - Implisitt fjernet høyfrekvent bidrag
  - **Konseptuelt det samme som å først glatte ut, så plukke punkt-sampler** → Anti-aliasing-filtrering

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

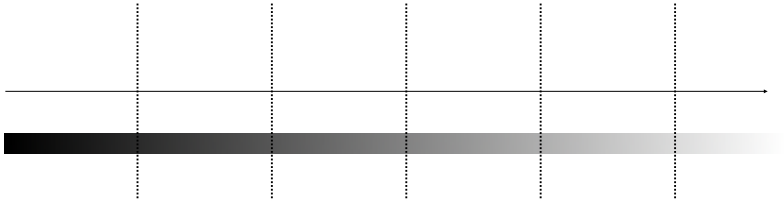
- *f*(x,y) er intensitet/lysstyrke i (x,y) og er i sin natur en *kontinuerlig* variabel

- Når bildet, *f,* skal lagres digitalt må man velge et *visst antall nivåer* (og tilhørende terskler)

- ***Kvantisering****:* Prosessen som transformeren et kontinuerlig sampel *f*(x,y) til et diskret sampel $f_{digital}$(x,y)

Kvantisering, forts.

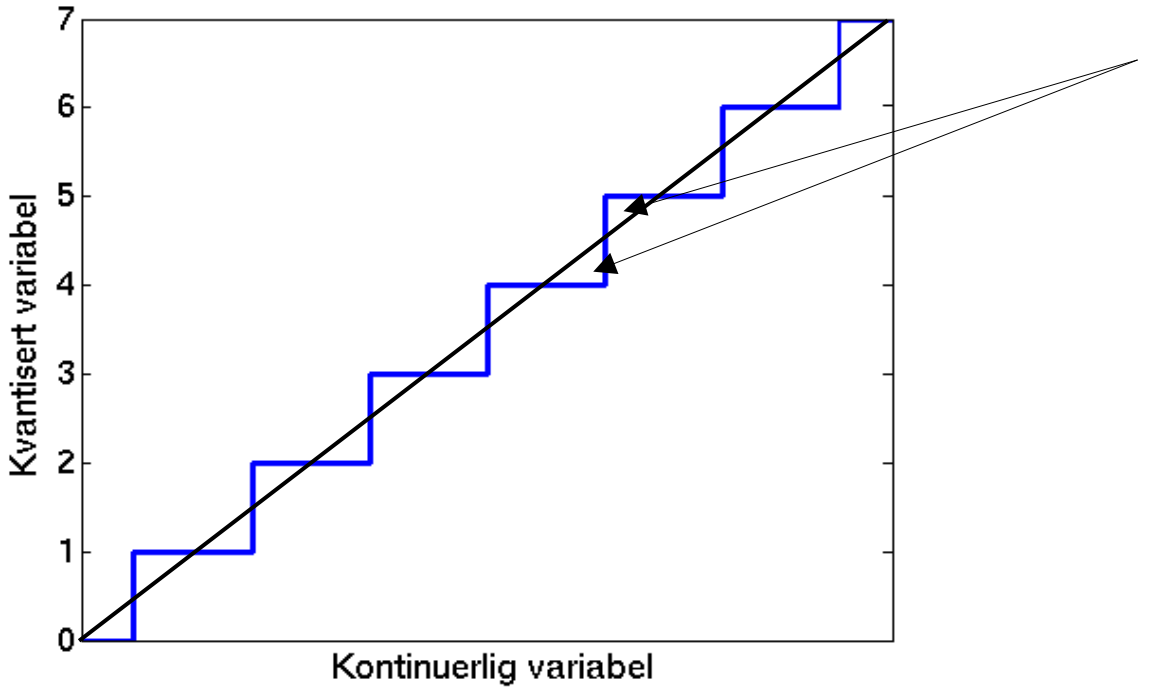
- Hvert piksel lagres vha. *n* bit:
  - 2^n forskjellige verdier (feks heltall fra 0 til 2^n*-1)*
  - Må bestemme ***intensitetsintervall → heltall***
  - .. og ***heltall til ut-intensitet*** for rekonstruksjon



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

Kvantisering, forts.

- Ikke uvanlig å illustrere begge prosessene i en slik figur (her, 3 bit per piksel):



Kvantiseringsfeil

- Kvantiseringsfeil
  - Summen av hver piksels avrundingsfeil
  - Uniform intensitetsfordeling → areal av trekantene forrige slide
- 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 × 3024 = 12,192,768 piksler
  - RGB → 3 * 12,192,768 * 8 bit ≈ **35 MB**
  - Video → 35 MB * 25 per sekund → **52.5 GB** per minutt!

- Radarbilde fra Sentinel 1-satellitten:
  - Overføring fra satellitt kostbart
  - Strip Map mode: 80 km x 80 km
  - Samplingsrate: 5 m x 5 m
  - 16000 x 16000 piksler

    8 bit: **244 MB**

    16 bit: **488 MB**

    32 bit: **977 MB**

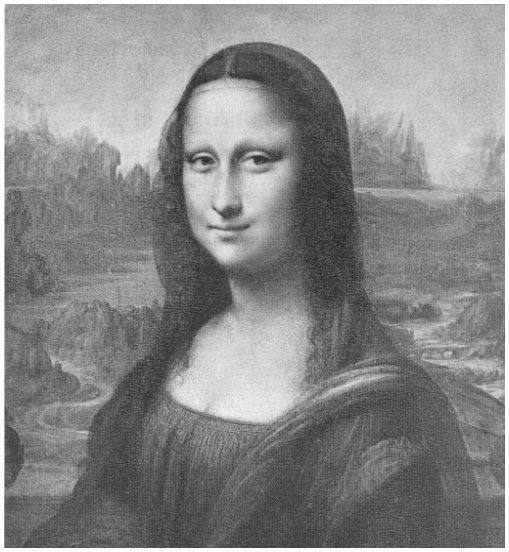
.. eller 92 GB for rådata i mer moderne 14-bit per kanal.

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

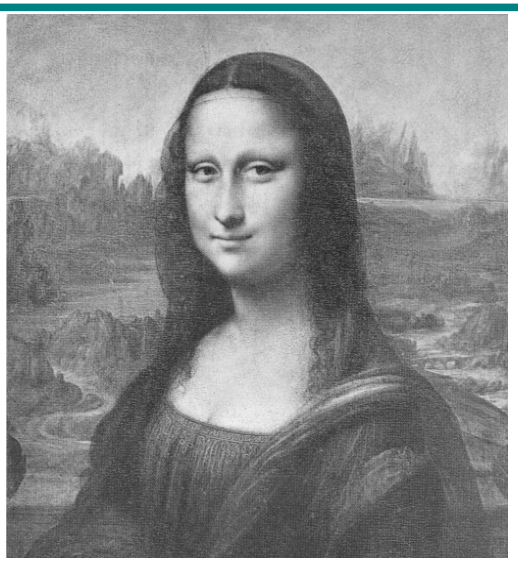
Krav til kvantiseringsnivåer

- 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
  - 10-16 bit: MR-bilder (magnetisk resonnans)
  - 32 bit complex: Sentinel-1 single look complex (radarbilder) med amplitude og faseinformasjon

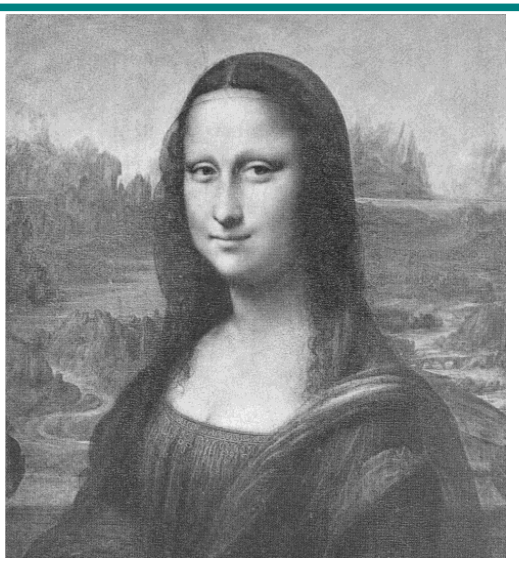
Eksempler - antall bit per piksel



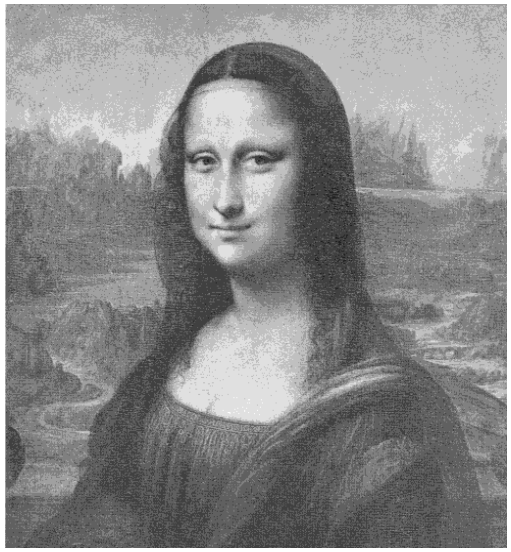
8 bit



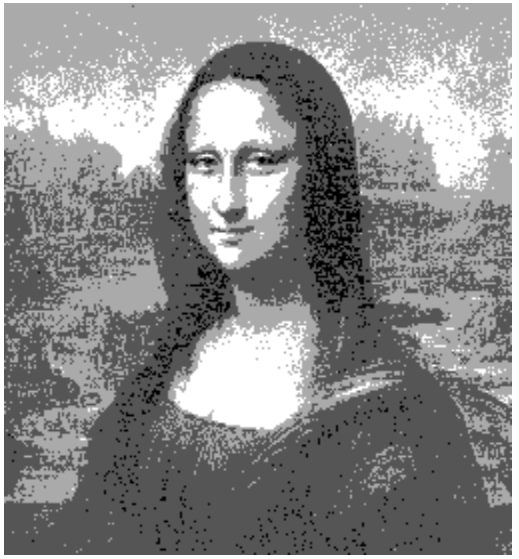
6 bit



4 bit



3 bit

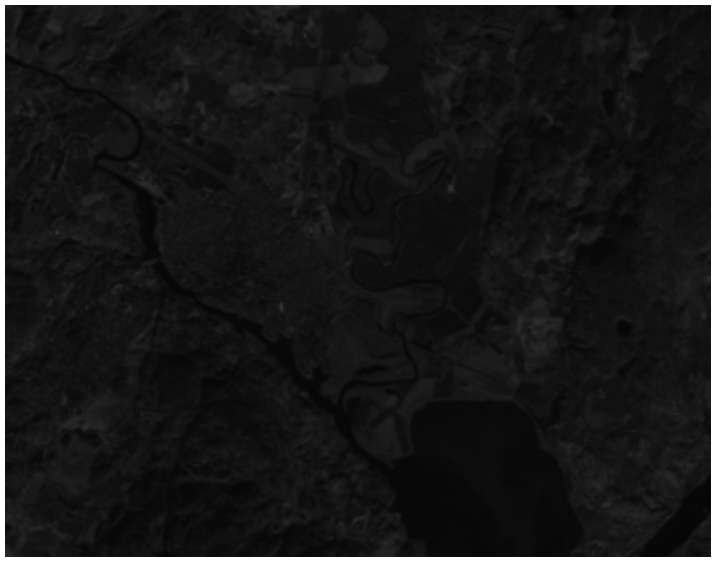


2 bit

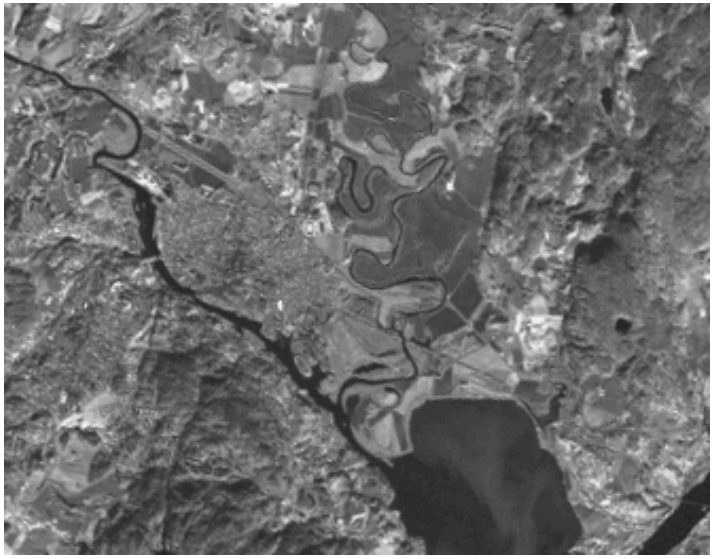


1 bit

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 punktlignede objekter
  - Romlig periode og romlig frekvens
- Sampling
  - Samplingsteoremet (Shannon/Nyquist)
  - Aliasing
  - Anti-aliasing
- Kvantisering
  - Kvantiseringsfeil
  - Fremvisning versus videre behandling/analyse