IN2070 – Høst 2023 – Ukens temaer
(Kap 3.3 i DIP)

- Kjapp repetisjon av gråtonetransformasjon
- Histogramtransformasjoner
  - Histogramutjevning
  - Histogramtilpasning/histogramspesifikasjon
  - Standardisering av histogram for billedserier
- Lokal gråtone-transformasjon

Repetisjon av histogrammer I/II

- Gråtonehistogram:

  h(i) = antall piksler i bildet med pikselverdi i,
  og følgelig er $\sum_{i=0}^{G-1} h(i) = n \times m$

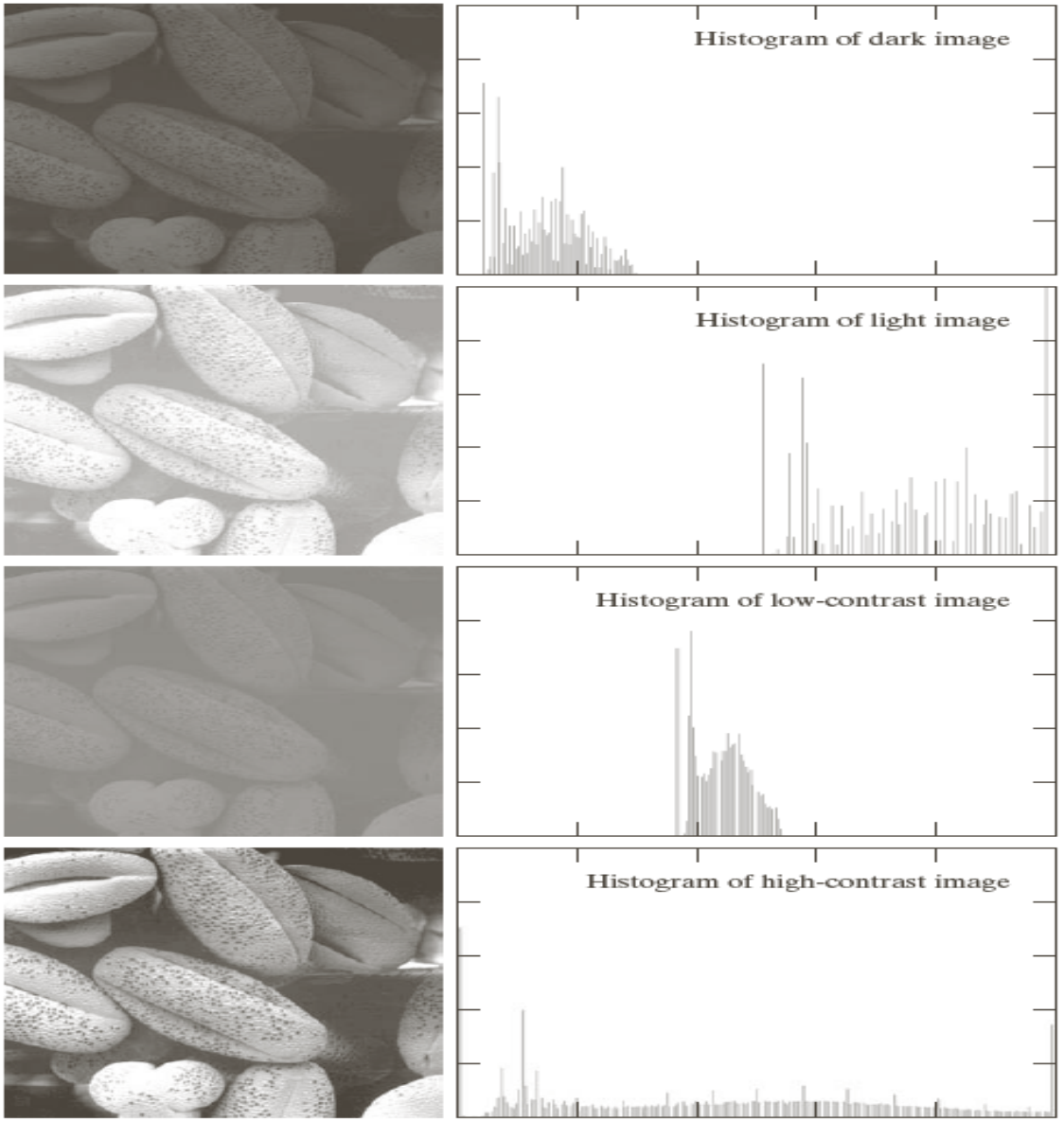
- Det normaliserte histogrammet:

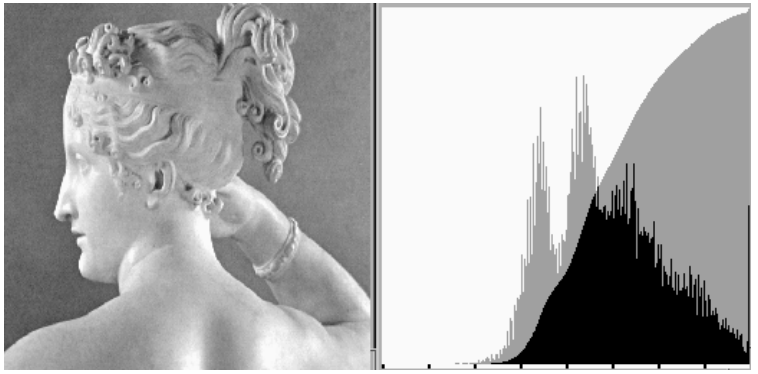
$$p(i) = \frac{h(i)}{n \times m}, \qquad \sum_{i=0}^{G-1} p(i) = 1$$

- Det normaliserte kumulative histogrammet:

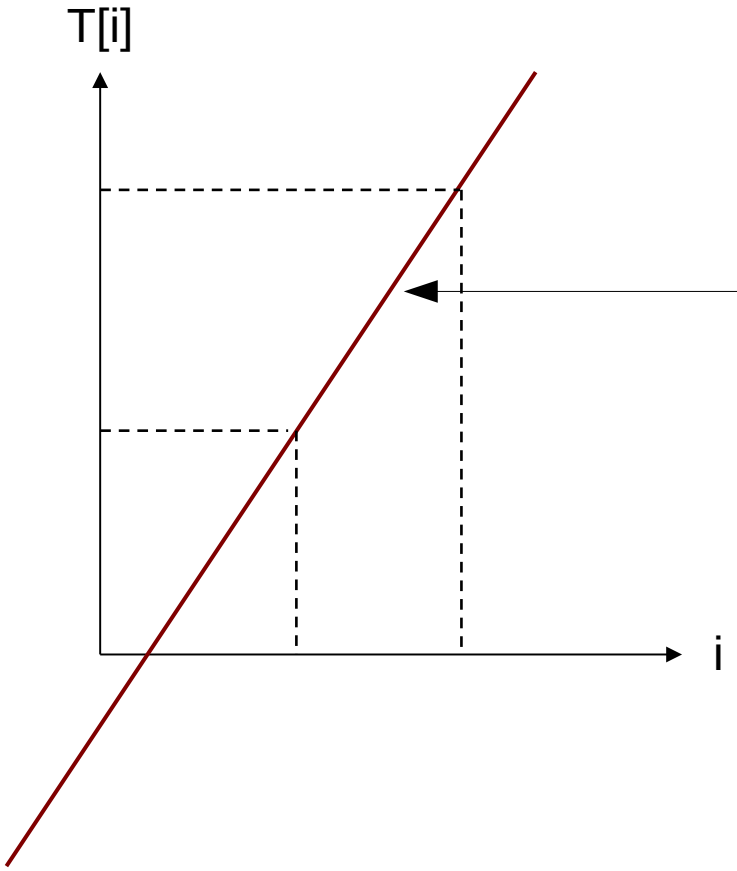
$$c(j) = \sum_{i=0}^{j} p(i)$$

Repetisjon av histogrammer II/II





Repetisjon av gråtonetransform



Forrige uke: T[i] gitt som en parametrisk funksjon.

Feks en linje i planet:
T[i] = ai + b

I dag: Gitt et bilde, finn T[i] ved å spesifisere ønsket histogram.

Histogramutjevning (*histogram equalization*)

- Mål: *Maksimere kontrasten* og samtidig beholde *gråtonerikheten*

Gjøre histogrammet uniformt (flatt)

↕

Kumulative histogrammet en rett linje

- Middel: Global gråtonetransform; T[i]
  - Altså flytte på (hele) histogramsøyler

- Tilnærming ved å spre søylene mest mulig utover det støttede intensitetsintervallet

Tommelfingerløsning

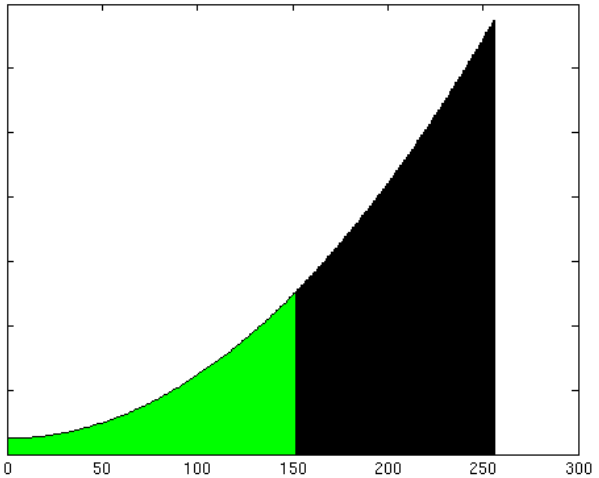
- Vil ha store mellomrom mellom høye histogramsøyler, og lite mellomrom der vi har lave søyler, samt ikke bytte om rekkefølgen

  → en transform med høyt stigningstall hvor det er mange piksler, og lavt stigningstall hvor det er få piksler

- Det **kumulative histogrammet** har akkurat disse egenskapene

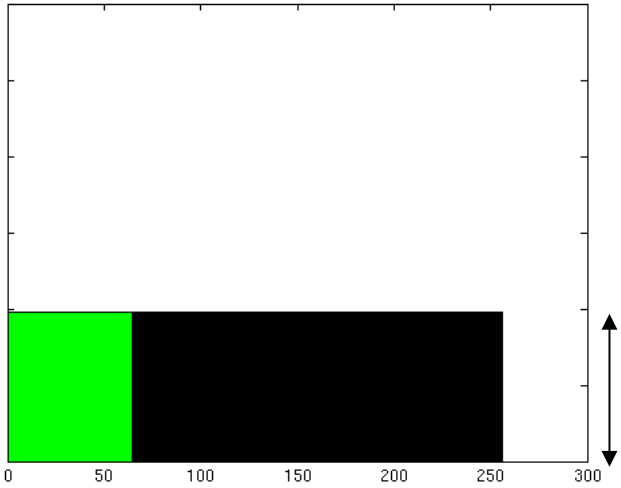
- Histogramutjevnings-transformen, T[i], er (faktisk) gitt ved det skalerte kumulative histogrammet til innbildet
  - Bittelitt mer håndfast utledning på neste side
  - En (riktig så) formell utledning i læreboka

Tommelfingerløsning++ I/II



i

T



T[i]

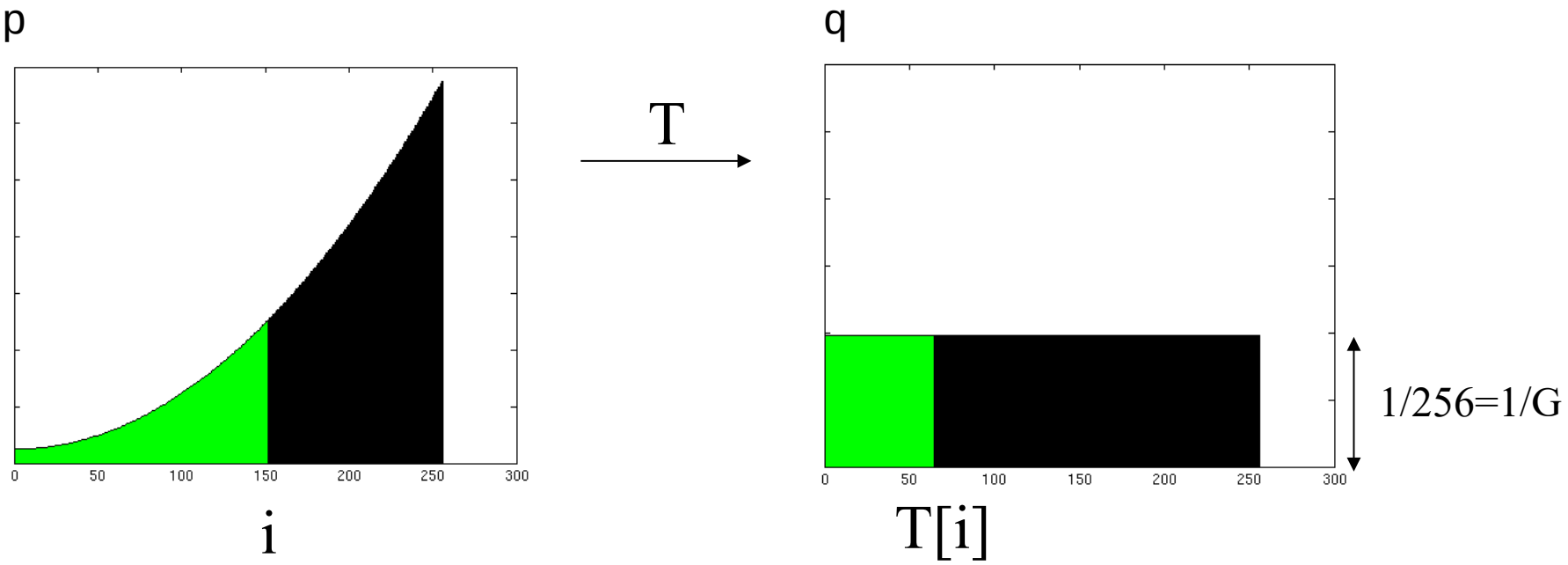
$$\int_0^i p(x)dx \quad = \quad T[i]\frac{1}{G}$$

$$\Downarrow$$

$$T[i] = G\int_0^i p(x)dx$$

Vi får tilnærmet det samme om vi bytter integrasjonen med en summasjon
→ diskret histogramutjevning

Tommelfingerløsning++ II/II



$$c_p(i) \approx c_q(T[i]) = T[i]\frac{1}{G}$$

$$\Downarrow$$

$$T[i] \approx G c_p(i)$$

Normalisert kumulativt histogram

Normalisert kumulativt histogram

Pseudokode for histogramutjevning

- For et $n \times m$ bilde med G gråtoner:
  - Lag array h, p, c og T av lengde G
- Finn bildets normaliserte histogram
  - Gå igjennom bildet piksel for piksel. Hvis piksel har intensitet i, la h[i]=h[i]+1
  - Deretter skalér, p[i] = h[i]/(n*m), i=0,1,…,G-1
- Lag det (normaliserte) kumulative histogrammet c
  - c[0] = p[0]
  - c[i] = c[i-1]+p[i], i=1,2,....,G-1
- Sett inn verdier i transformarray T

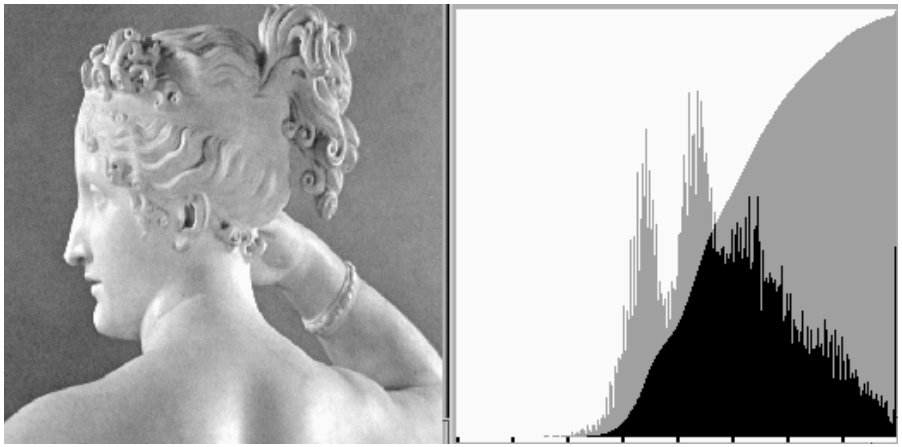
  T[i] = round((G-1)*c[i]), i=0,1,.....,G-1

  Alternativt
  T[i] = ceil(G*c[i] - 1)
- Gå igjennom bildet piksel for piksel:

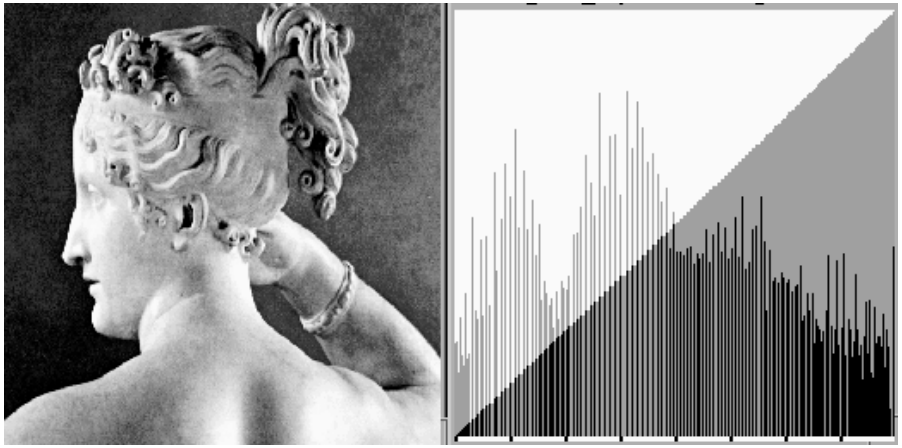
  g(x,y) = T[f(x,y)]

Histogramutjevning – eksempel I

- Det resulterende histogrammet ser ikke flatt ut, men det kumulative histogrammet er tilnærmet en rett linje



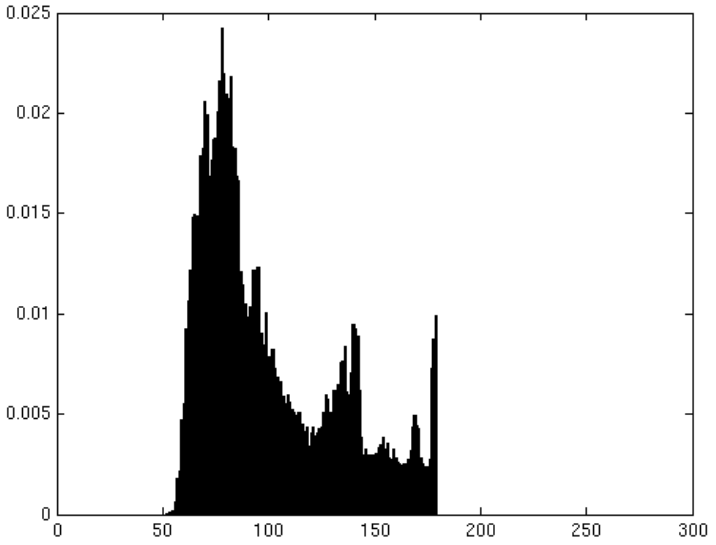
- Husk at søylene ikke kan splittes for å tilfredstille et flatt histogram ved ren gråtonetransform

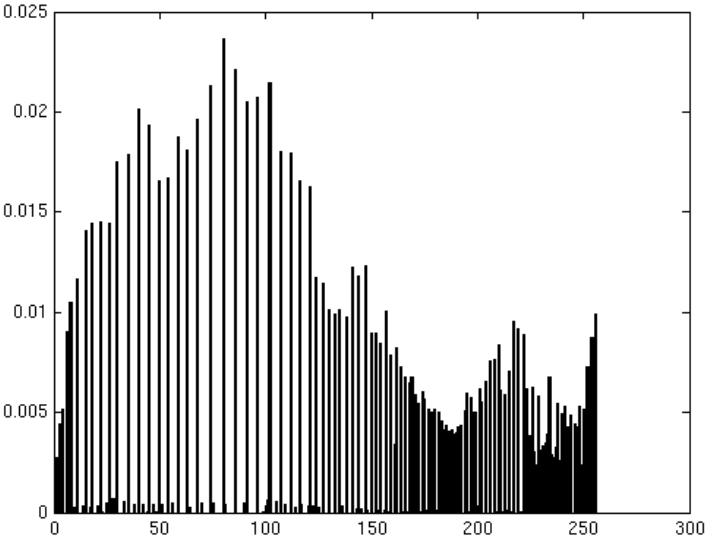


Histogramutjevning – eksempel II

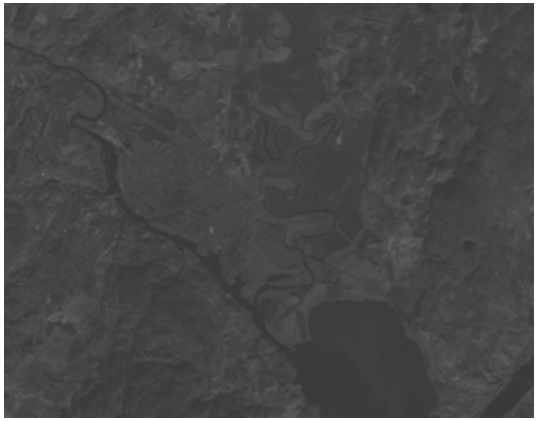








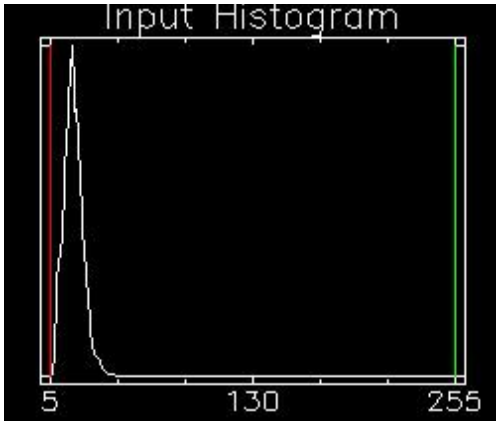
Histogramutjevning – eksempel III

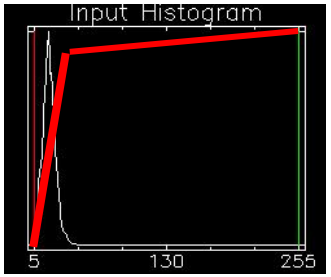


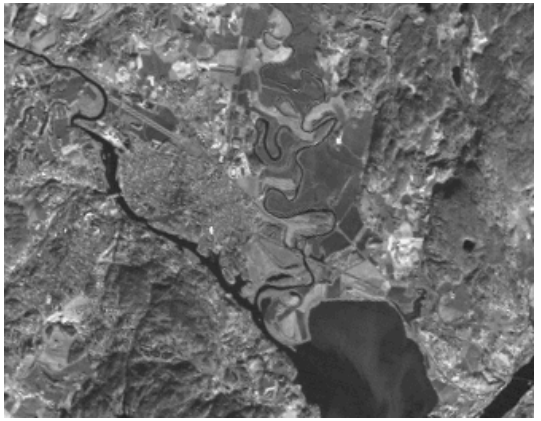
Histogram-
utjevning



Stykkevis
lineærtransform





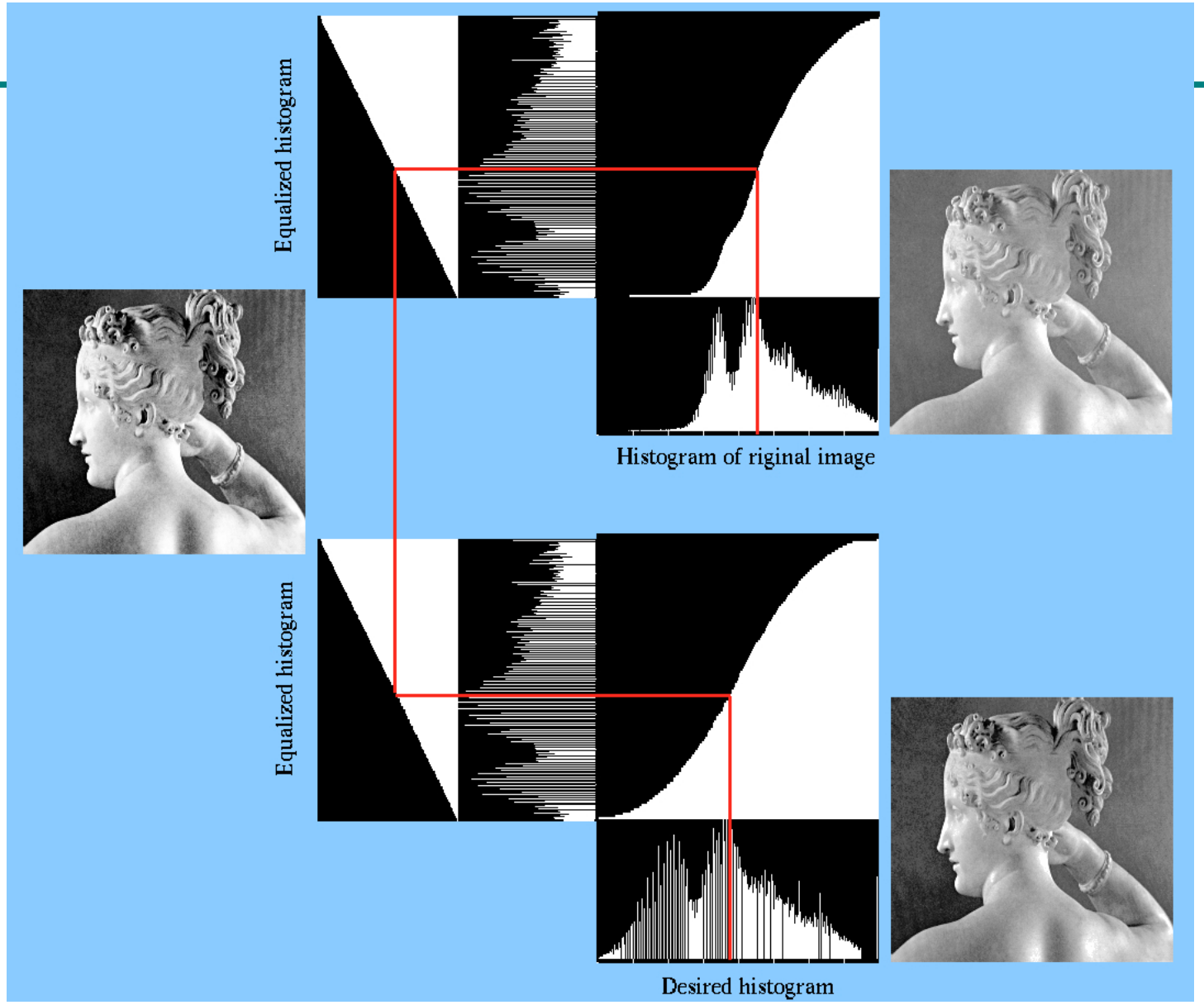


Histogramutjevning gir ikke nødvendigvis det beste *visuelle* resultatet!

Histogramtilpasning I/II

- Histogramutjevning gir (tilnærmet) flatt histogram
- Kan spesifisere annen form på resultathistogrammet:

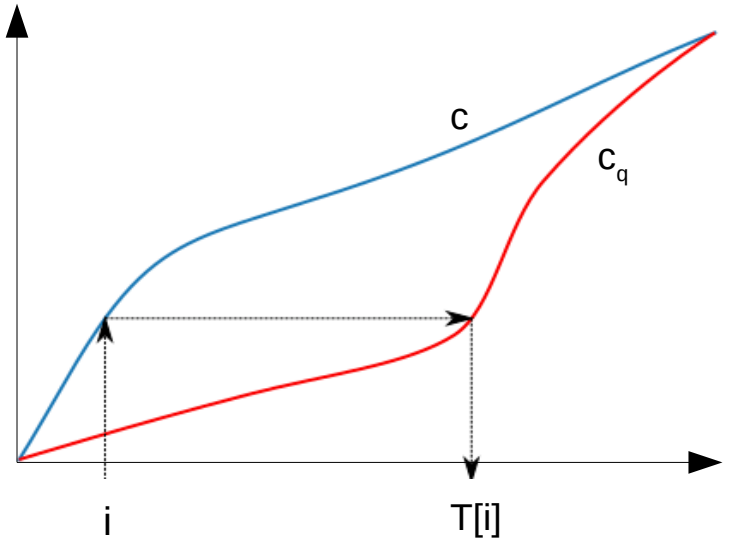
1. Gjør histogramutjevning på innbildet, finn s=T(i)
2. Spesifiser ønsket nytt histogram g(z)
3. Finn den transformen T_g som histogramutjevner g(z) og inverstransformen T_g^{-1}
4. Inverstransformer det histogramutjevnede bildet fra punkt 1 ved $z=T_g^{-1}(s)$



(Fra http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/contrast_transform/node3.html)

Histogramtilpasning II/II

- Alternativ tankegang: Flytt søylene på det *kumulative* histogrammet slik at vi får et nytt *kumulativt* histogram som ligner på det ønskede
- For hver i har vi en søylehøyde c(i) ..
- .. finn så T[i] slik at søylehøyden på det ønskede kumulative histogrammet, c_q, blir tilnærmet likt c(i)

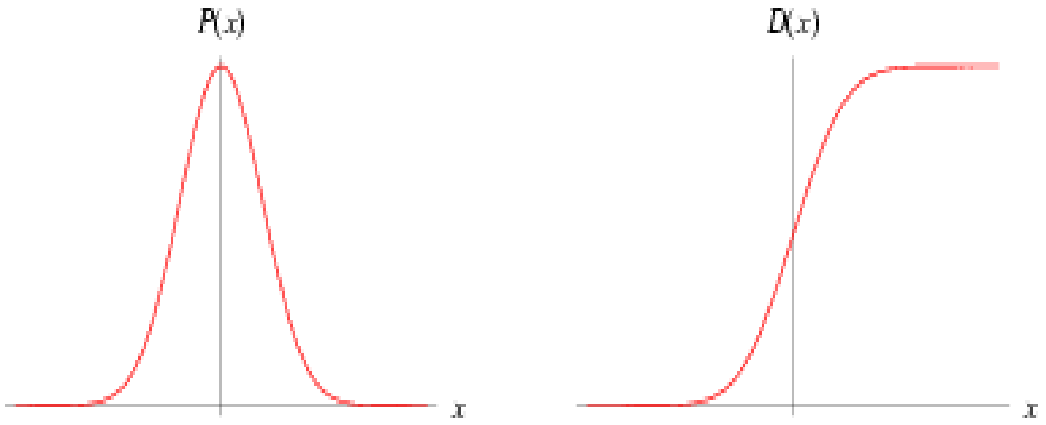


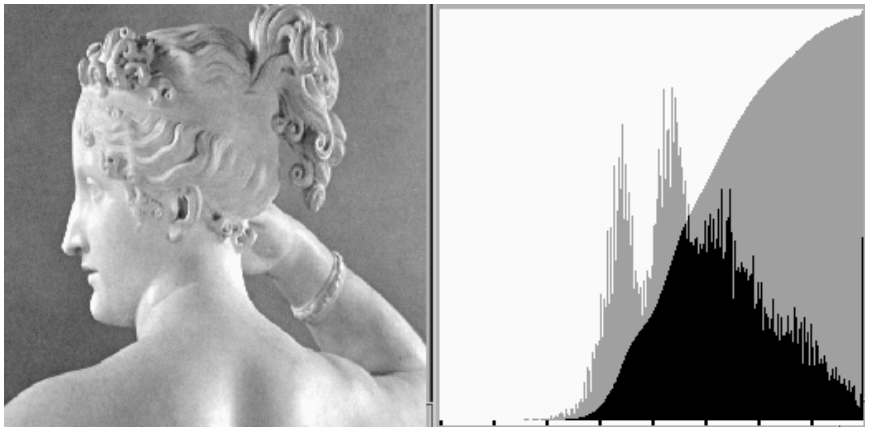
$$c(i) \approx c_q(T[i])$$

Finn beste T[i] for hver i

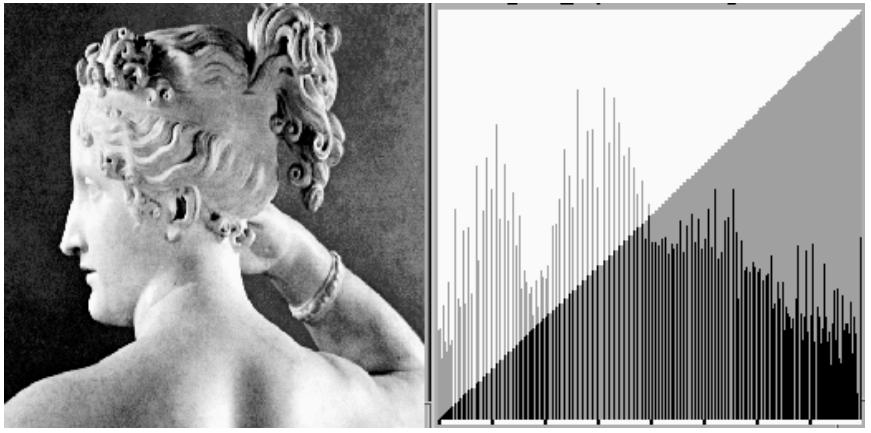
Ukeoppgave å kode dette!

Tilpasning til Gauss-profil

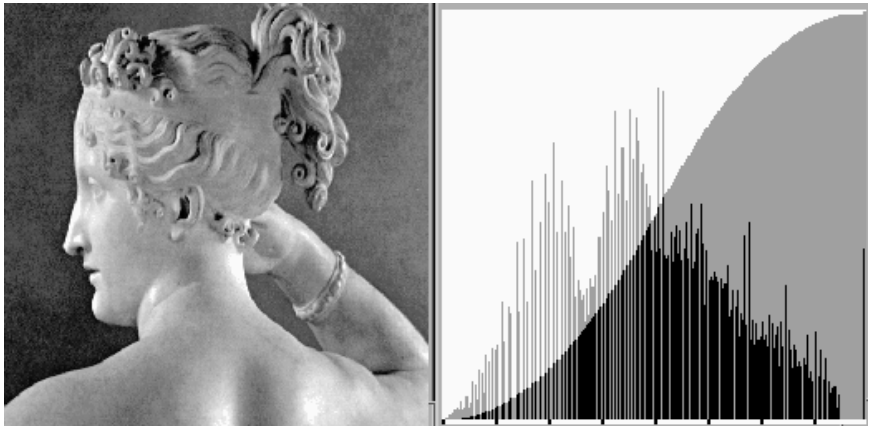




Originalbilde

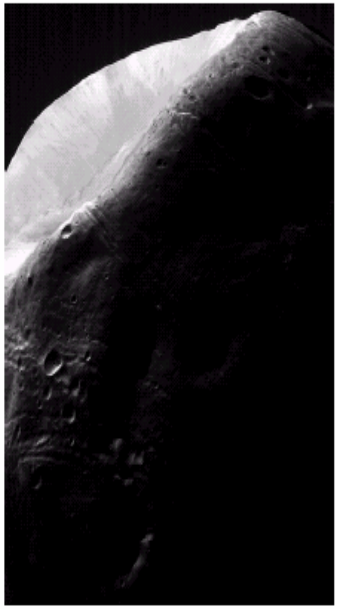


Histogram-utjevnet

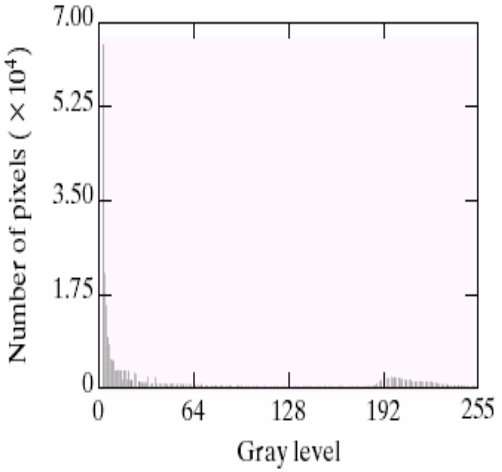


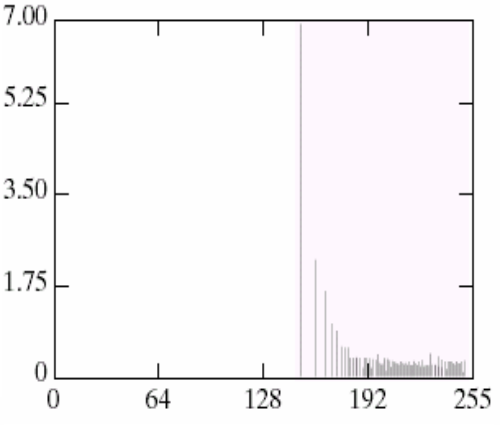
Tilpasset Gauss-form

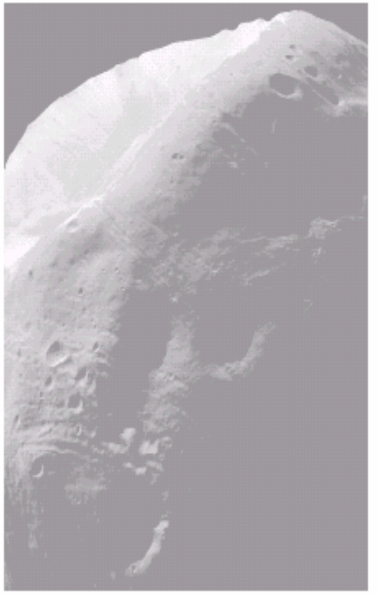
Tilpasning til vilkårlig kurve



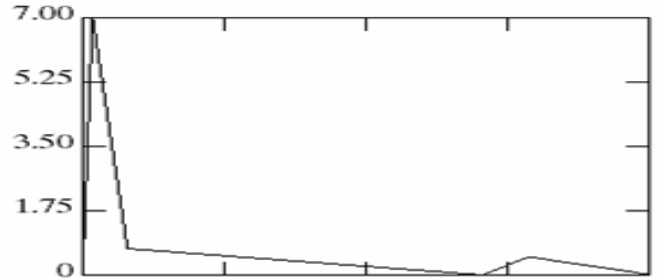
Histogramutjevning

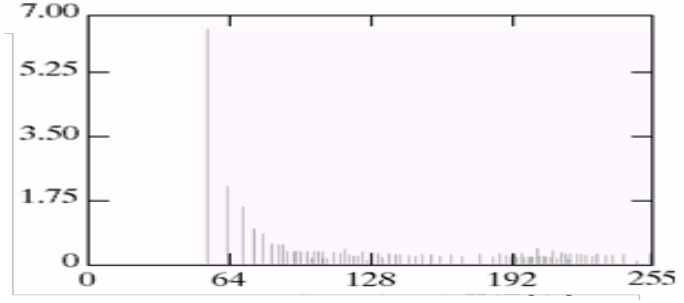






Tilpass til
denne kurven





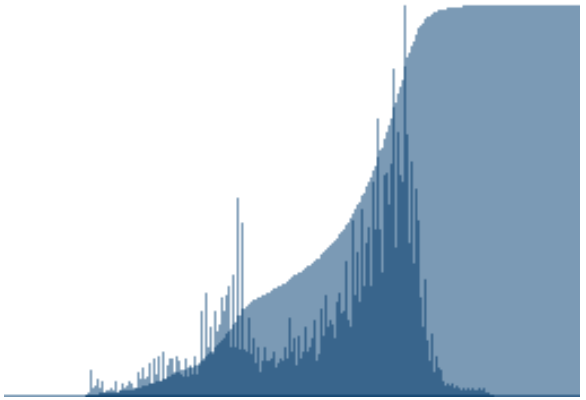
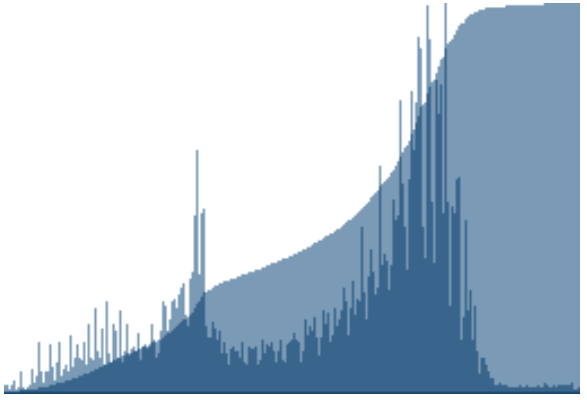
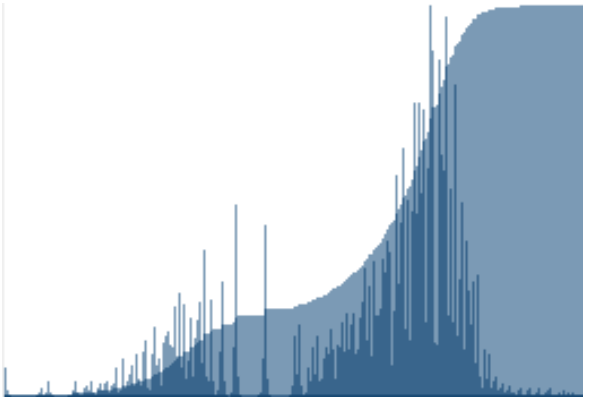


(Bilder hentet
fra DIP/NASA)

”Histogram matching”

- Histogramtilpasning hvor det ene bildets histogram benyttes som ønsket form



Standardisering av histogram

- Hensikt:
  - Sørge for at alle bildene i en serie har like histogrammer
    - Antar altså at fordelingene av gråtonene bør være nogenlunde lik over bildene
- Metoder:
  - Histogramutjevning
  - Histogramspesifikasjon (f.eks. til oppgitt Gauss-profil eller referansebilde)
- Hvorfor? Fjerne effekten av
  - Døgnvariasjon i belysning
  - Aldringseffekter i lamper og detektorer
  - Akkumulering av støv på linser etc.
- Hvor:
  - Produkt-inspeksjon i industri
  - Ansiktsgjenkjenning
  - Medisinsk avbildning
  - ...

Jfr. forrige uke, da vi standardiserte bilder ved å benytte en lineær strekking til å gi bildene samme middelverdi og varians

Når bør du IKKE gjøre dette?

- Ikke standardisere histogrammet hvis:
  - Det kan være ”reelle” variasjoner i middelverdi og varians til bildene i en bildeserie
  - «Formen» på histogrammet kan ha verdi ved videre analyse

- Hva gjør du?
  - Behold originalene, og jobb på kopier (selfølgelig..)
  - Gjør lineære gråtonetransformasjoner på bildene
    - Dette vil bevare strukturene i histogrammet, selv om (μ,σ) endres

- Eksempel:
  - Mikroskopering av kreft-celler (se neste side)

(Fra B. Nielsen et.al)

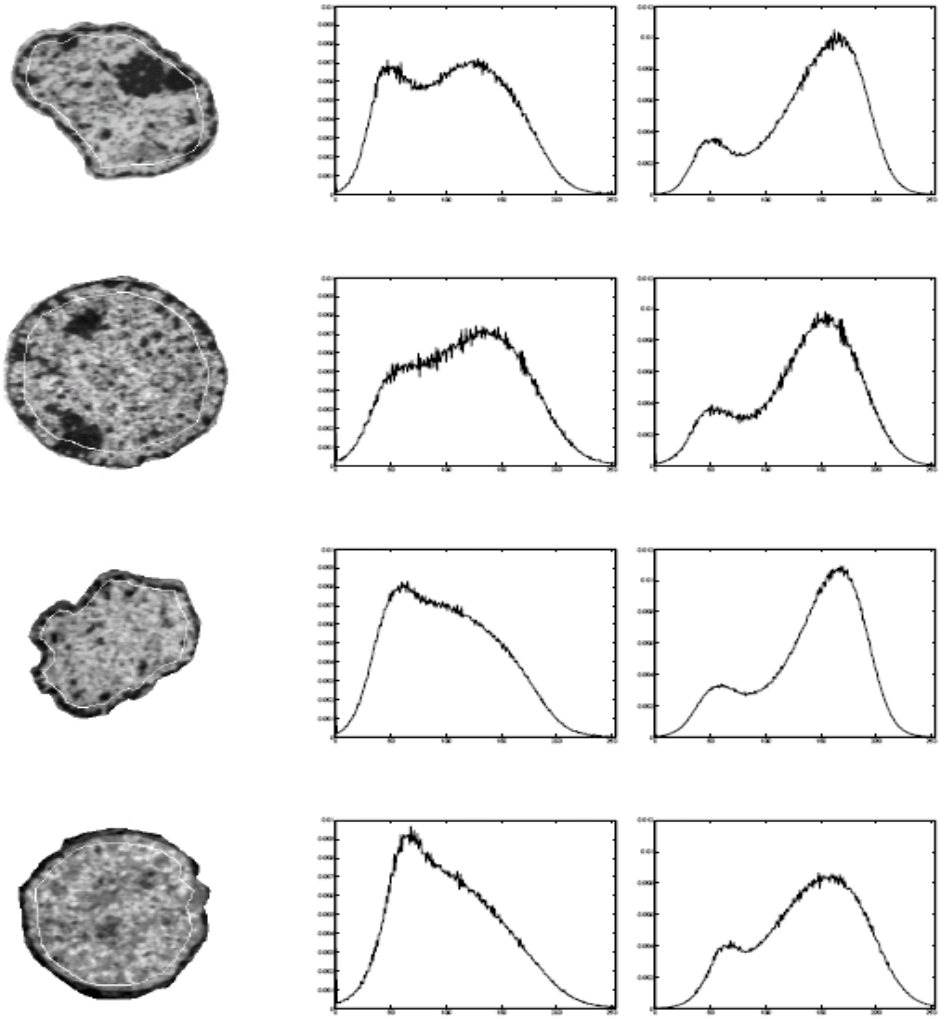
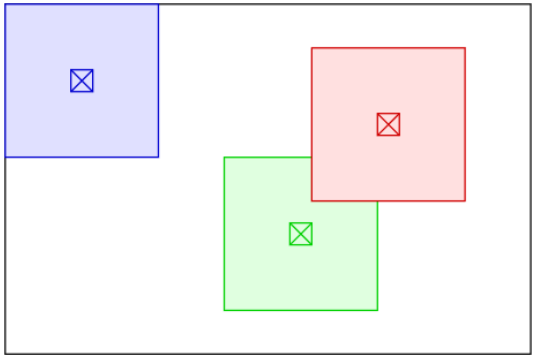


Figure 1: **First column:** *Examples of liver cell nuclei from normal, regenerating, noduli and tumor samples. The borders between the 30% peripheral and 70% central part are outlined as a thin white line.* **Second column:** *The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four classes, based on the 30% peripheral part of nuclei.* **Third column:** *The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four classes, based on the central 70% of the nuclei.*

Lokal gråtonetransform (GTT) I/III

- Vil standardisere den **lokale** kontrasten
  - Vil ha samme “lyshet” og kontrast over hele bildet

- Transformasjonene vi har sett på kan beregnes ut fra piksel-verdiene i en **lokal omegn** (typisk et kvadratisk vindu) omkring punktet (x,y)
  - Kun pikselen (x,y) bestemmes av transformen basert på dette vinduets piksler
  - Altså egen transform for hver piksel i bildet (adaptiv)



Størrelsen på vinduet er en parameter som må settes

Lokal GTT II/III

- Utfør lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

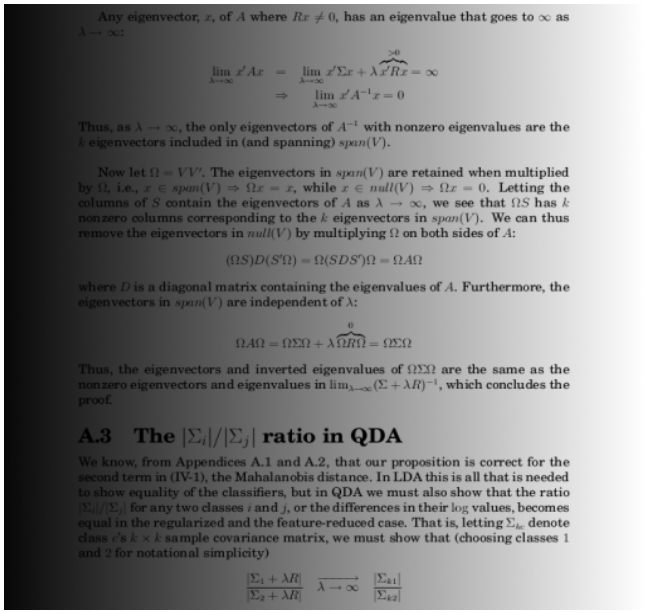
  - Histogramspesifikasjon
    - Beregn det kumulative histogrammet i et *vindu* sentrert om (x,y)
    - Endre *senterpikselen* ved den resulterende transformen

  - Lineær standardisering av σ
    - Beregn μ_{xy} og σ_{xy} i et vindu sentrert om (x,y)
    - Transformer f(x,y) til g(x,y) med en lineær transform som gir nytt standardavvik σ_0 innenfor vinduet

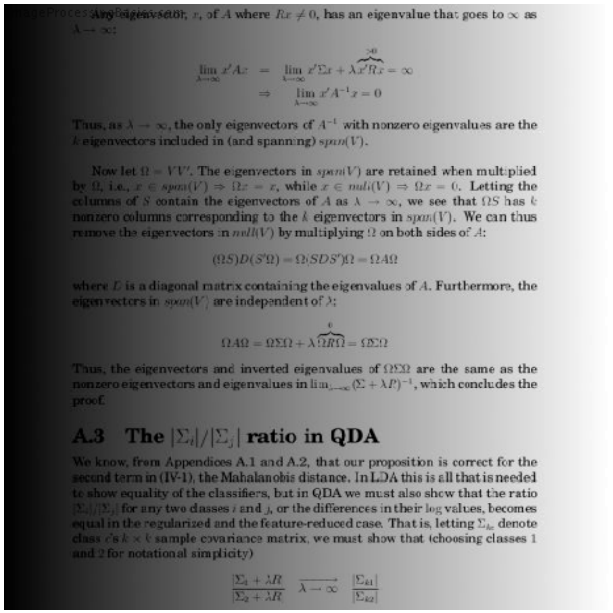
$$g_1(x,y) = \mu_{xy} + [f(x,y) - \mu_{xy}]\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

(Husk at vi kom frem til dette uttrykket forrige uke)

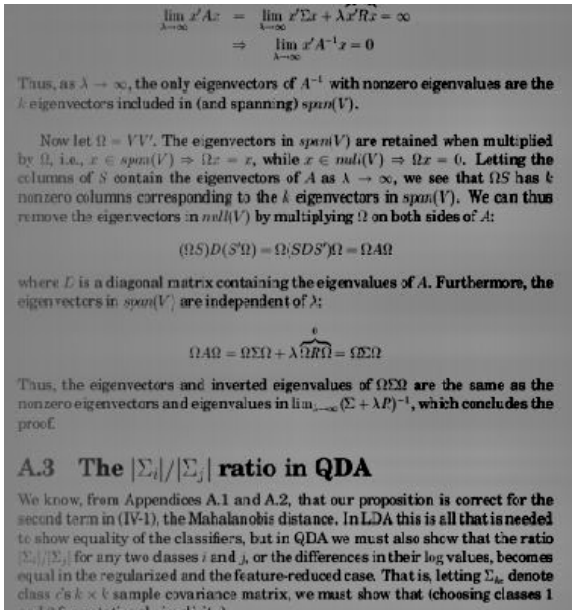
Lokal GTT – Eksempel I



Original

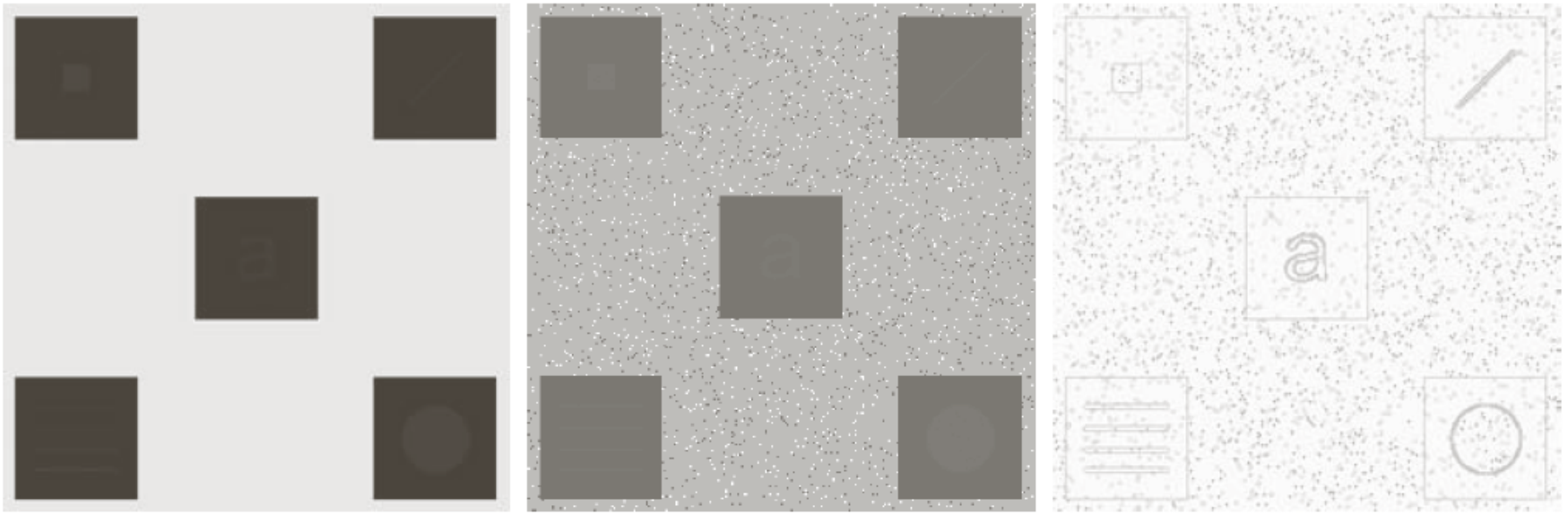


Global histogram-utjevning



Lokal endring av middelverdi og kontrast

Lokal GTT – Eksempel II

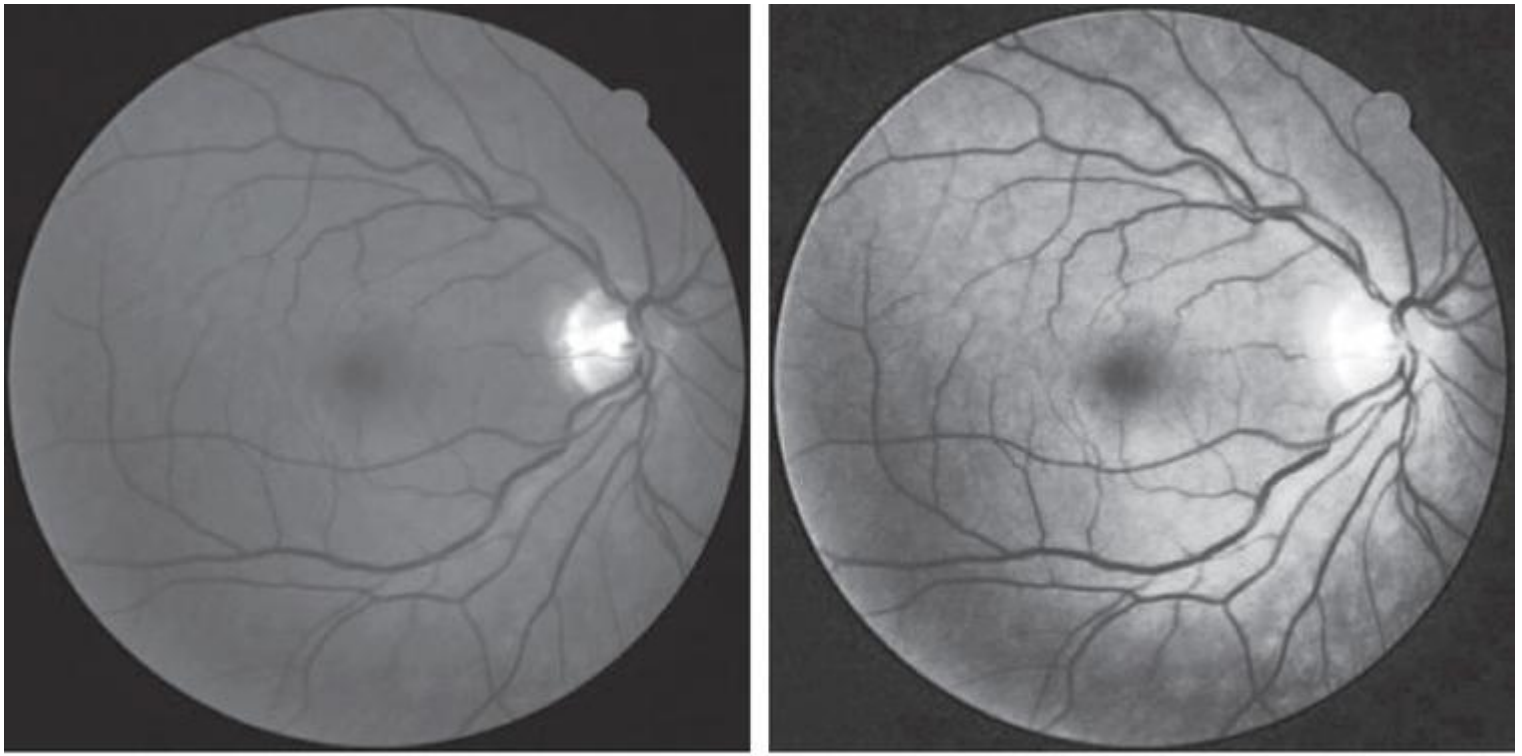


a b c

FIGURE 3.26 (a) Original image. (b) Result of global histogram equalization. (c) Result of local histogram equalization applied to (a), using a neighborhood of size 3 × 3.

(Fra DIP, Gonzales & Woods)

Lokal GTT – Eksempel III



(iospress.com / Jiang et al. 2015)

Lokal GTT III/III

- Vi er ofte nødt til å begrense «endringsviljen» til de lokale kontrastendringstransformene
  - Innføre brukerstyrte parametre (i tillegg til vindusstørrelsen)



Input



«Ubegrenset»
lokal histogramutjevning



«Ubegrenset»
lokal lineær strekking

Lokal GTT i praksis | lineær strekking I/II

- Ønsker vi en lokal GTT som også gir en ny middelverdi μ_0 , så bruker vi transformen

$$g_2(x,y) = \mu_0 + [f(x,y) - \mu_{xy}]\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

- Men dette vil ofte gi et ”flatt” bilde
- Introduserer parameteren β, styrer hvor kraftig vi endrer μ:
  - β = 0 → uforandret middelverdi over hele bildet
  - β = 1 → lik middelverdi over hele bildet

$$g_3(x,y) = \beta\mu_0 + (1-\beta)\mu_{xy} + [f(x,y) - \mu_{xy}]\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

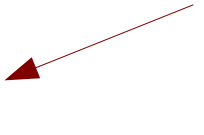
Lokal GTT i praksis | lineær strekking II/II

- Hva er karakteristisk for homogene områder i et bilde?

$$\sigma_{xy} = 0$$

- Her får vi problemer, fordi

$$g_3(x,y) = \ldots + [f(x,y) - \mu_{xy}]\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

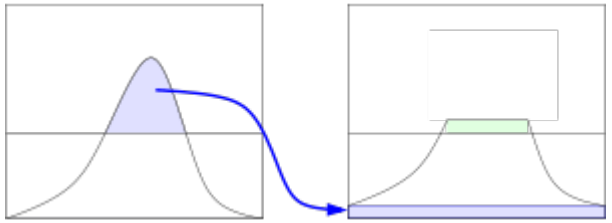


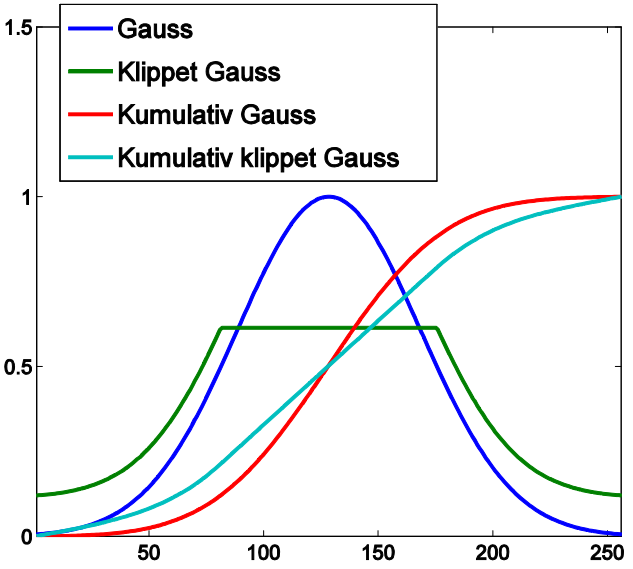
- Innfører parameteren δ:

$$g_4(x,y) = \beta\mu_0 + (1-\beta)\mu_{xy} + [f(x,y) - \mu_{xy}]\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy} + \delta\sigma_0}$$

Lokal GTT i praksis | histogramutjevning

- En mye brukt variant: CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization)
- Her «begrenser» vi kontrastendringen ved å klippe histogrammet før vi regner ut det kumulative histogrammet.
- Dette gir en transformasjon med lavere stigningstall, som gir mindre kontrastendring





Lokal GTT - Implementasjon

- Lokal konstrastendring er *regnekrevende*
  - Histogramspesifikasjon: Beregne nytt lokalt kumulativt histogram for hver piksel
  - Lineær transform: Beregne ny μ og σ sigma for hver piksel

- Benytt overlappet mellom vinduene i det man flytter til neste piksel
  - Løpende oppdatere histogrammet, eller μ og σ

- Eller, gjør en approksimasjon: Beregn kun transform for hvert n-te piksel, og interpoler mellom transformene

Sentrale temaer i dag

- Histogramtransformasjoner
  - **Histogramutjevning**
  - **Histogramtilpasning**

- Standardisering av histogram for billedserier
  - Fjerne effekten av variasjoner i avbildningsforhold (døgnvariasjon, lysforhold, sensorbytte, støv etc)
  - Ikke lurt med histogramtilpasning hvis histogram-formen inneholder informasjon som (senere) skal/kan benyttes
  - Mer dyptgripende alternativ til standardisering av bilder med lineær transform

- Lokal gråtone-transformasjon
  - Samme kontrast og «lyshet» over hele bildet
  - Beregn og benytt transformene på lokalt vindu rundt hver piksel
  - Kontrastbegrensning (både for lineær strekking og histogramutjevning)
  - (Mer) regnekrevende