INF2310 - Histogrambaserte operasjoner

12. februar 2020

- Histogram og gråtonetransformasjon - kort repetisjon
- Histogramtransformasjon
  - Histogramutjevning
  - Histogramtilpasning
  - Standardisering av histogram
- Lokal gråtonetransformasjon

Histogrammer: Repetisjon

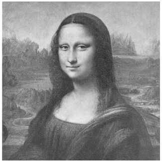
- Gråtonehistogram:
  $h(i)$ = antall piksler med pikselverdi i
- Normalisert histogram:

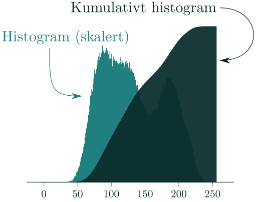
$$p(i) = \frac{h(i)}{N \times M}$$

- Normaliserte kumulative histogram:

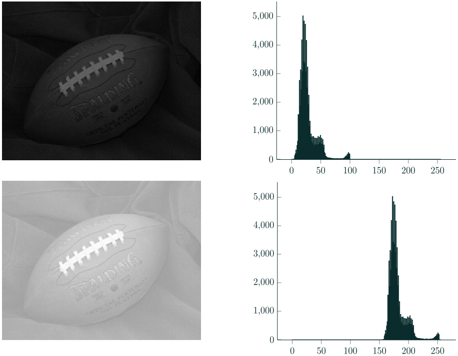
$$c(j) = \sum_{i=0}^{j} p(i)$$

Bilde:

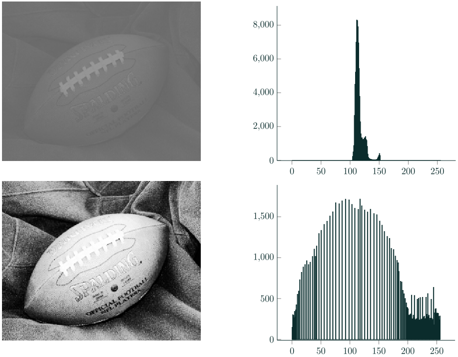




Lite/mye lyshet

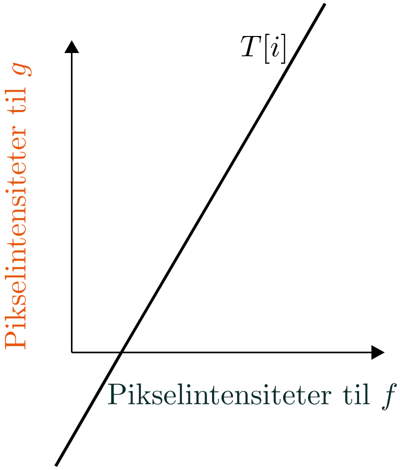


Lite/mye kontrast



Gråtonetransformasjon: Repetisjon

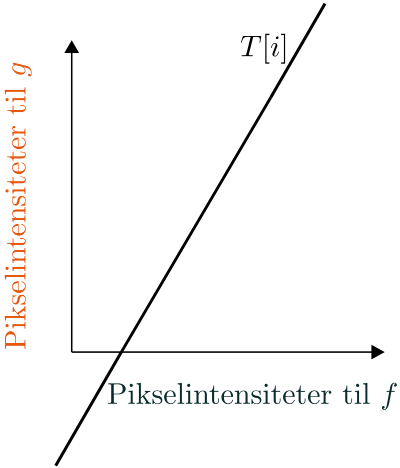
Forrige uke:
$T[i]$ bestemt av parametre,
f.eks a og b til en rett linje
$T[i] = ai + b$



Gråtonetransformasjon: Repetisjon

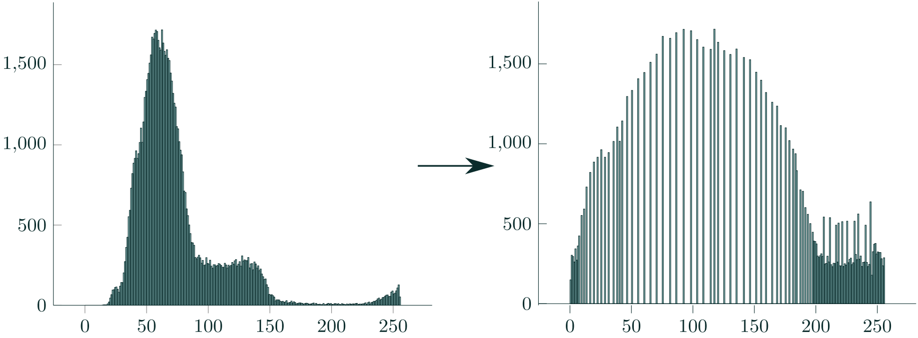
Forrige uke:
$T[i]$ bestemt av parametre,
f.eks a og b til en rett linje
$T[i] = ai + b$

Denne uken:
Finn $T[i]$ ved å **spesifisere ønsket histogram** til utbildet



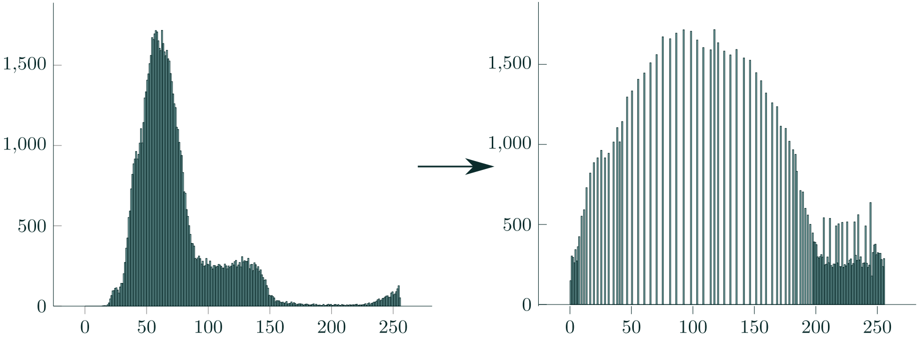
Histogramutjevning (Histogram equalization)

- **Mål:** Maksimere kontrast og samtidig beholde gråtonerikheten
- **Fremgangsmåte:** Global gråtonetransformasjon $T[i]$



Hva ønsker vi egentlig?

- Store mellomrom mellom høye histogramsøyler
- Lite mellomrom mellom lave søyler



Hva ønsker vi egentlig?

- Store mellomrom mellom høye histogramsøyler
- Lite mellomrom mellom lave søyler

  $\rightarrow$ Transformasjon med stort stigningstall der det er mange piksler og lavt stigningstall der det er få piksler

Hva ønsker vi egentlig?

- Store mellomrom mellom høye histogramsøyler
- Lite mellomrom mellom lave søyler

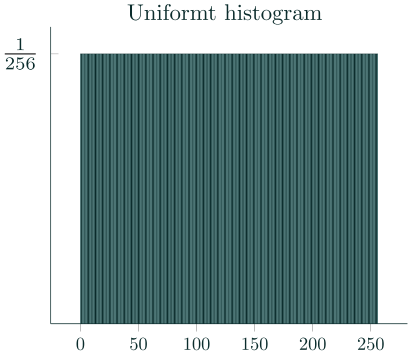
  $\rightarrow$ Transformasjon med stort stigningstall der det er mange piksler og lavt stigningstall der det er få piksler
- **Kumulative histogram** har disse egenskapene

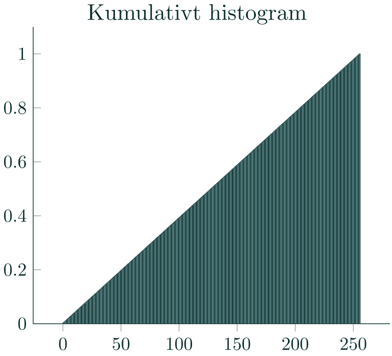
Hva ønsker vi egentlig?

- Store mellomrom mellom høye histogramsøyler
- Lite mellomrom mellom lave søyler

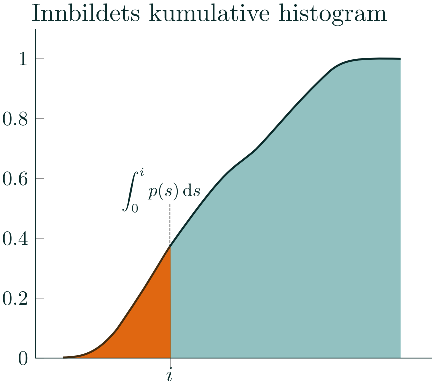
  $\rightarrow$ Transformasjon med stort stigningstall der det er mange piksler og lavt stigningstall der det er få piksler
- **Kumulative histogram** har disse egenskapene
- $T[i]$ bestemmes av skalert kumulativt histogram til bildet

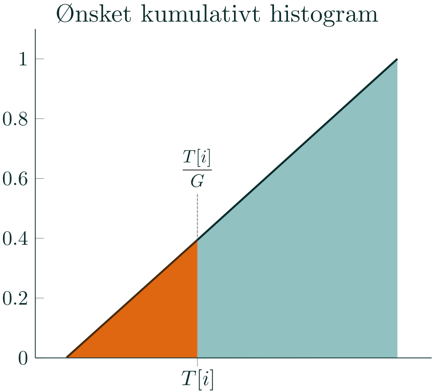
Hva ønsker vi egentlig?



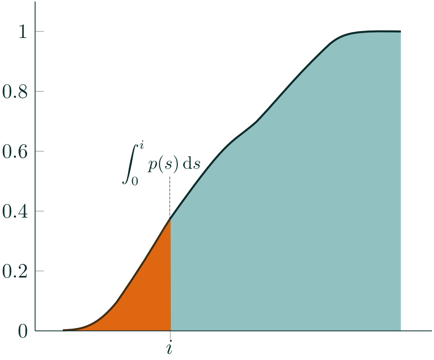


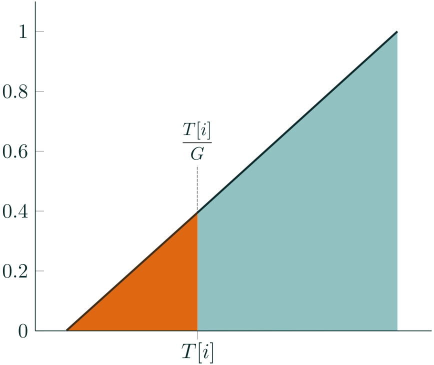
Hva ønsker vi egentlig?





Hva ønsker vi egentlig?

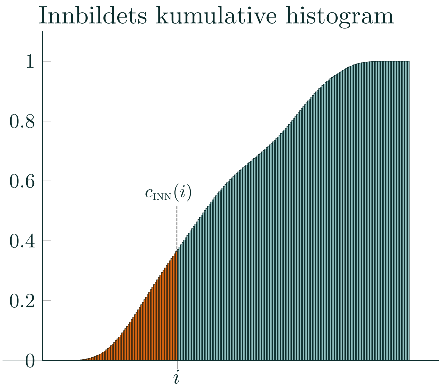


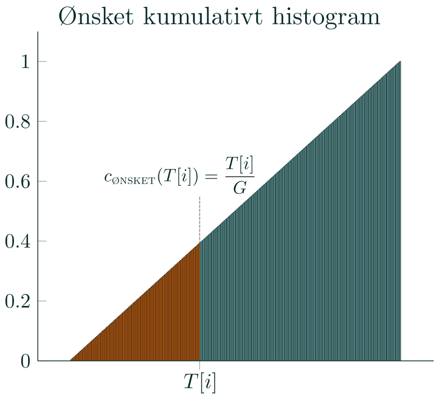


Ønsker: $$\int_0^i p(s)\,\mathrm{d}s = T[i]\frac{1}{G}$$

$\Rightarrow$ $$G\int_0^i p(s)\,\mathrm{d}s = T[i]$$

Hva ønsker vi egentlig?





Ønsker: $c_{\text{INN}}(i) \approx c_{\text{ØNSKET}}(T[i])$, $\quad c_{\text{ØNSKET}}(T[i]) = \dfrac{T[i]}{G}$

$\Rightarrow \quad Gc_{\text{INN}}(i) \approx T[i]$

Pseudokode for histogramutjevning

Finn bildets normaliserte histogram $p[i]$ for $i = 0, 1, \ldots, G-1$

Pseudokode for histogramutjevning

Finn bildets normaliserte histogram $p[i]$ for $i = 0, 1, \ldots, G-1$

$\triangleright$ *Finn bildets normaliserte kumulative histogram* $c[i]$*:*

$c[0] = p[0]$

$c[i] = c[i-1] + p[i]$ for $i = 1, 2, \ldots, G-1$

Pseudokode for histogramutjevning

Finn bildets normaliserte histogram $p[i]$ for $i = 0, 1, \ldots, G-1$

▷ *Finn bildets normaliserte kumulative histogram $c[i]$:*

$c[0] = p[0]$

$c[i] = c[i-1] + p[i]$ for $i = 1, 2, \ldots, G-1$

▷ *Sett inn verdier i transformasjon $T[i]$:*

$T[i] = \texttt{round}((G-1)c[i])$ for $i = 0, 1, \ldots, G-1$

Pseudokode for histogramutjevning

Finn bildets normaliserte histogram $p[i]$ for $i = 0, 1, \ldots, G-1$

▷ *Finn bildets normaliserte kumulative histogram* $c[i]$*:*

$c[0] = p[0]$

$c[i] = c[i-1] + p[i]$ for $i = 1, 2, \ldots, G-1$

▷ *Sett inn verdier i transformasjon* $T[i]$*:*

$T[i] = \text{round}((G-1)c[i])$ for $i = 0, 1, \ldots, G-1$

▷ *Transformèr innbildet* $f(x, y)$*:*

for $x = 0, \ldots, N-1$ **do**

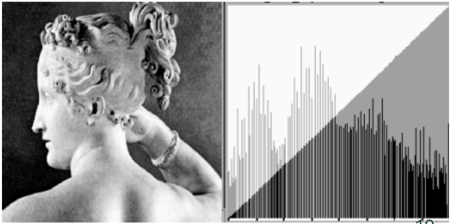
  for $y = 0, \ldots, M-1$ **do**

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

- Det kumulative histogrammet til det transformerte bildet er tilnærmet lik en rett linje!

Innbilde:

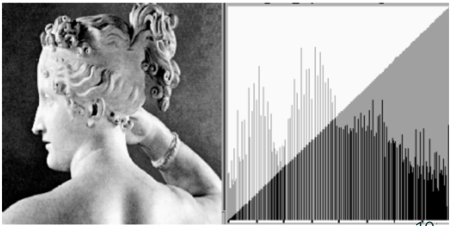
Transformert bilde:



- Det kumulative histogrammet til det transformerte bildet er tilnærmet lik en rett linje!
- Kan ikke få et flatt histogram ved ren gråtonetransformasjon

Innbilde:

Transformert bilde:



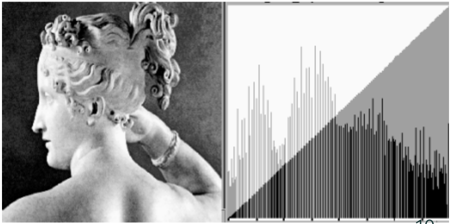
Histogramutjevning: eksempel 1

- Det kumulative histogrammet til det transformerte bildet er tilnærmet lik en rett linje!
- Kan ikke få et flatt histogram ved ren gråtonetransformasjon

  $\rightarrow$ kjenner ikke hvordan histogramsøyler skal splittes

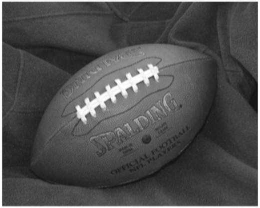
Innbilde:

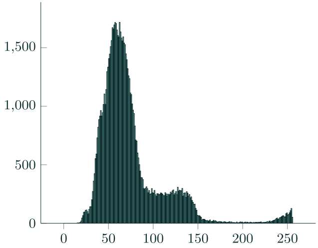
Transformert bilde:



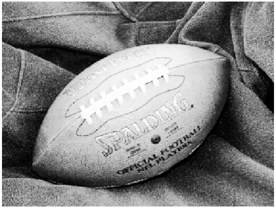
Histogramutjevning: eksempel 2

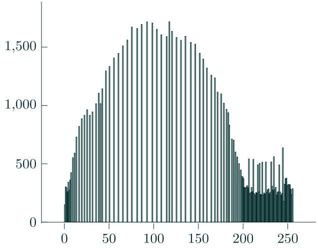
Innbilde





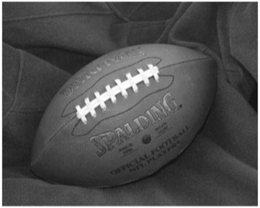
Utbilde

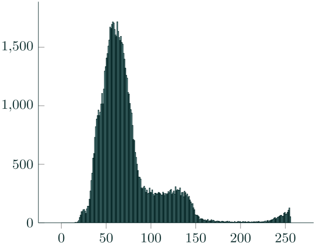




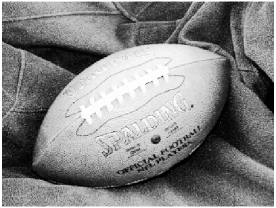
Histogramutjevning: eksempel 2

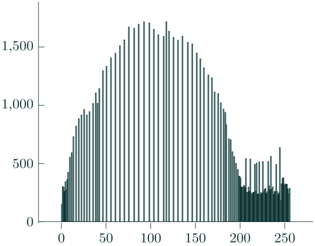
Innbilde





Utbilde





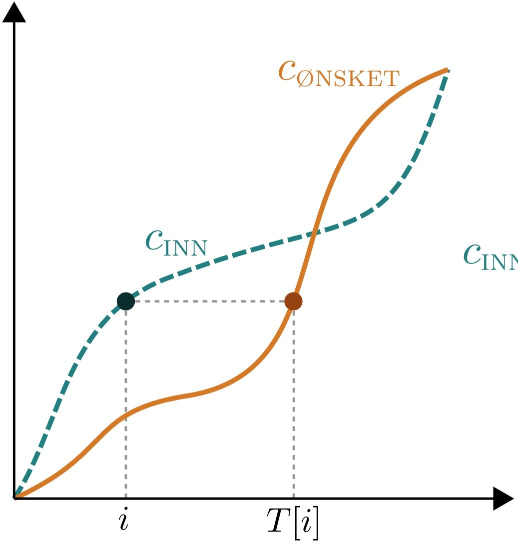
Gir nødvendigvis ikke beste visuelle resultat!

Histogramtilpasning

- Vi kan transformere det kumulative histogrammet til et bilde slik at det ligner på det kumulative histogrammet til et ønsket histogram
- **Hovedidè:** Finn verdi $T[i]$ s.a

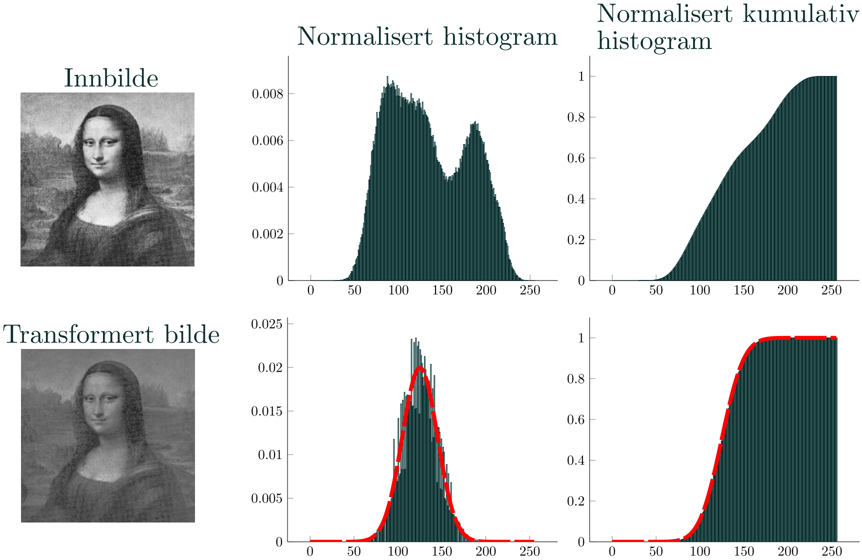
$$c_{\text{INN}}(i) \approx c_{\text{ØNSKET}}(T[i])$$

Histogramtilpasning



$$c_{\text{INN}}(i) \approx c_{\text{ØNSKET}}(T[i])$$

Histogramtilpasning: bilde som tilpasses til en Gauss kurve



Histogram matching

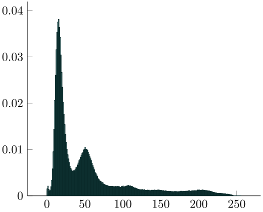
"Matche" et bildets histogram med et annet bildets histogram

Ønsker å matche histogrammet til:

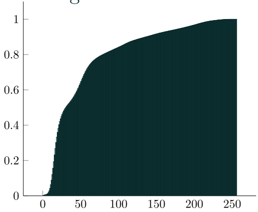
Innbilde

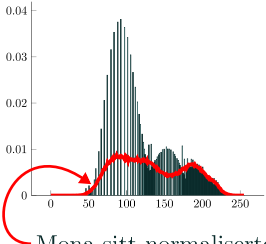
Transformert bilde

Normalisert histogram

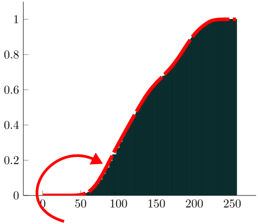


Normalisert kumulativ histogram





Mona sitt normaliserte histogram



Mona sitt normaliserte kumulative histogram

Standardisering av histogram

- Hensikt:
  - Sørge for at alle bilder i en serie har omtrent like histogrammer
- Metoder:
  - Histogramutjevning
  - Histogramtilpasning
- Hvorfor? Fjerne effekten av …
  - Døgnvariasjon i belysning
  - Aldringseffekter i lamper og detektorer
  - Samling av støv på linser o.l
- Hvor:
  - Produktinspeksjon i industri
  - Ansiktsgjenkjenning
  - Medisinsk avbildning
  - …

Forrige uke: bildene ble standardisert ved å bruke lineære gråtone-transformasjoner som ga bildene samme middelverdi og standard-avvik

Når er det lurt å unngå dette?

- Unngå å standardisere histogrammet hvis:
  - Middelverdi og varians kan ha en ”reell” betydning
  - Formen på histogrammet kan ha nytteverdi til videre analyse
- Kan heller:
  - Jobbe på kopier
  - Utføre lineære gråtonetransformasjoner på bildene.
    $\rightarrow$ bevarer strukturene i histogrammet

Eksempel

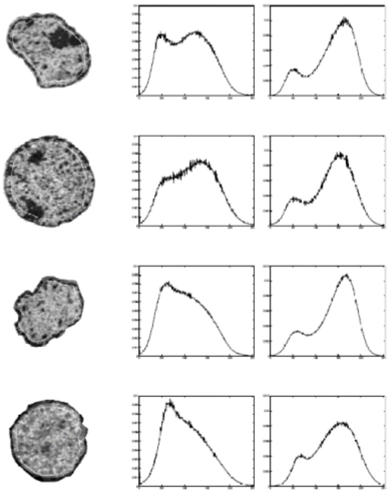


Figure 1: **First column:** *Examples of liver cell nuclei from normal, regenerating, noduli and tumor samples. The borders between the 30% peripheral and 70% central part are outlined as a thin white line.* **Second column:** *The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four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

(B. Nielsen et al)

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

- Standardisere den lokale kontrasten
  $\rightarrow$ ønsker samme ”lyshet” og kontrast i bildet

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

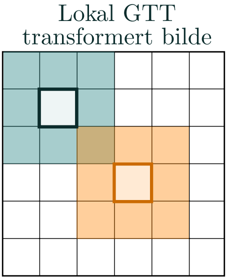
- Standardisere den lokale kontrasten
  $\rightarrow$ ønsker samme ”lyshet” og kontrast i bildet
- Transformasjonene kan bli beregnes ut i fra et **lokalt** område

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

- Standardisere den lokale kontrasten
  $\rightarrow$ ønsker samme ”lyshet” og kontrast i bildet
- Transformasjonene kan bli beregnes ut i fra et **lokalt** område
- Lokalt område er ofte kvadratisk omkring et piksler med koordinat (x, y)

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

- Standardisere den lokale kontrasten
  $\rightarrow$ ønsker samme ”lyshet” og kontrast i bildet
- Transformasjonene kan bli beregnes ut i fra et **lokalt** område
- Lokalt område er ofte kvadratisk omkring et piksler med koordinat (x, y)
- Kun pikselen på plass (x, y) blir transformert
  $\rightarrow$ Egen transform for hvert piksel i bildet



Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

- Histogramtilpasning:

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

- Histogramtilpasning:
  - Beregn det kumulative histogrammet i *vinduet* sentrert om (x, y)

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

- Histogramtilpasning:
    - Beregn det kumulative histogrammet i *vinduet* sentrert om (x, y)
    - Endre piksel med koordinat (x, y)

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

- Histogramtilpasning:
    - Beregn det kumulative histogrammet i *vinduet* sentrert om (x, y)
    - Endre piksel med koordinat (x, y)
- Lineær standardisering av standardavvik

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

- Histogramtilpasning:
  - Beregn det kumulative histogrammet i *vinduet* sentrert om (x, y)
  - Endre piksel med koordinat (x, y)
- Lineær standardisering av standardavvik
  - Beregn middelverdi μ_{xy} og standardavvik σ_{xy} innad vindu sentrert om (x, y)

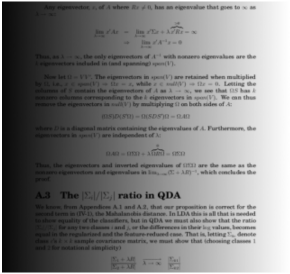
Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Lokal GTT som prøver å oppnå samme kontrast over hele bildet

- Histogramtilpasning:
  - Beregn det kumulative histogrammet i *vinduet* sentrert om (x, y)
  - Endre piksel med koordinat (x, y)
- Lineær standardisering av standardavvik
  - Beregn middelverdi μ_{xy} og standardavvik σ_{xy} innad vindu sentrert om (x, y)
  - Transformèr innbilde $f(x, y)$ til utbilde $g(x, y)$ som har ønsket standardavvik σ_0 ved lineær transformasjon:

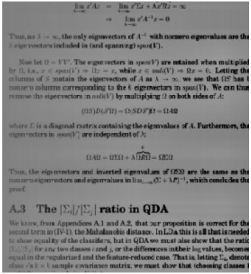
$$g(x, y) = \mu_{xy} + (f(x, y) - \mu_{xy})\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

Lokal GTT: eksempel 1



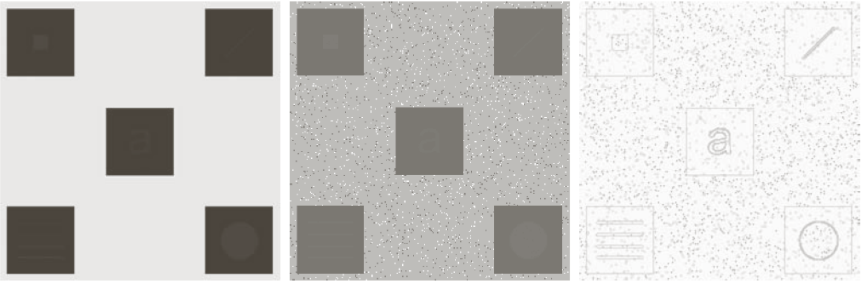
Original

Global histogram-utjevning



Lokal endring av middelverdi og kontrast

Lokal GTT: eksempel 2

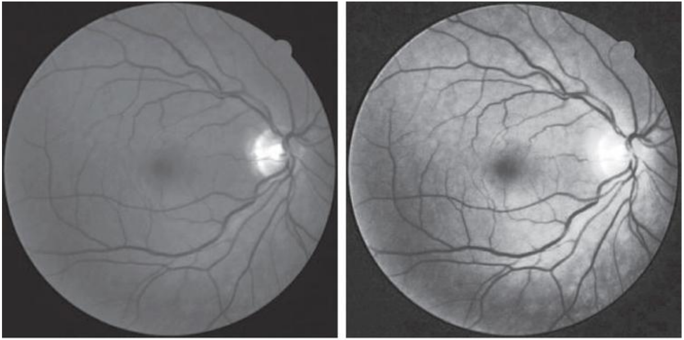


a b c

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.

(Bilde hentet fra DIP)

Lokal GTT: eksempel 3



(iospress.com / Jiang et al 2015)

Begrense mengden av endring til de lokale transformasjonene

Innbilde

"Ubegrenset" lokal histogramutjevning

"Ubegrenset" lokal lineær strekking

Lokal gråtonetransformasjon (Lokal GTT)

Begrense mengden av endring til de lokale transformasjonene

Innbilde

"Ubegrenset"
lokal histogramutjevning

"Ubegrenset"
lokal lineær strekking

→ innføre brukerstyrke parametre

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Lokal GTT som gir ny middelverdi μ_0 og standardavvik σ_0:

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

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Lokal GTT som gir ny middelverdi μ_0 og standardavvik σ_0:

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

- Typisk "flatt" bilde

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Lokal GTT som gir ny middelverdi μ_0 og standardavvik σ_0:

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

- Typisk "flatt" bilde
- Introdusere β som styrer hvor kraftig μ blir endret:

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

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Lokal GTT som gir ny middelverdi μ_0 og standardavvik σ_0:

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

- Typisk "flatt" bilde
- Introdusere β som styrer hvor kraftig μ blir endret:

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

$\beta = 0$ gir uforandret middelverdi

$\beta = 1$ gir lik middelverdi over hele bildet

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Homogene områder i et bilde: $\sigma_{xy} = 0$

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Homogene områder i et bilde: $\sigma_{xy} = 0$
- men ...

$$g(x, y) = \cdots + (f(x, y) - \mu_{xy})\frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

Lokal GTT i praksis, lineær strekking

- Homogene områder i et bilde: $\sigma_{xy} = 0$
- men …

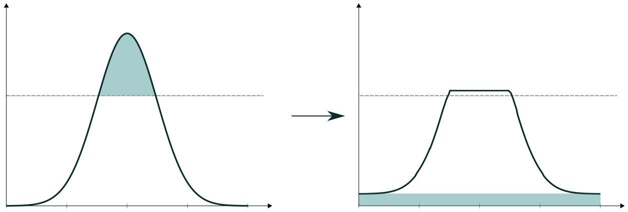
$$g(x, y) = \cdots + (f(x, y) - \mu_{xy}) \frac{\sigma_0}{\sigma_{xy}}$$

- Innfører parameter δ:

$$g(x, y) = \cdots + (f(x, y) - \mu_{xy}) \frac{\sigma_0}{\sigma_{xy} + \delta\sigma_0}$$

Lokal GTT i praksis, histogramutjevning

- Mye brukt variant: **CLAHE**
  (**C**ontrast **L**imited **A**daptive **H**istogram **E**qualization)
- Begrenser kontrastendring ved å klippe det før vi finner det kumulative histogrammet
- Gir transformasjon med lavere stigningstall
  $\rightarrow$ mindre kontrastendring



Implementasjon: Lokal GTT

- Regnekrevende!

Implementasjon: Lokal GTT

- Regnekrevende!
    - Histogramtilpasning

Implementasjon: Lokal GTT

- Regnekrevende!
  - Histogramtilpasning
  - Lineær transformasjon

Implementasjon: Lokal GTT

- Regnekrevende!
  - Histogramtilpasning
  - Lineær transformasjon
- Bruk overlapp mellom vinduer til å oppdatere histogram eller μ_{xy} og σ_{xy}

Implementasjon: Lokal GTT

- Regnekrevende!
  - Histogramtilpasning
  - Lineær transformasjon
- Bruk overlapp mellom vinduer til å oppdatere histogram eller μ_{xy} og σ_{xy}
- Eventuelt approksimèr:
  Beregn transformasjon for hvert n-te piksel og interpoler mellom transformasjonene

Oppsummering

- Histogramtransformasjoner
  - Histogramutjevning
  - Histogramtilpasning
- Standasrdisering av histogram for serier av bilder
- Lokal gråtonetransformasjon
  - Samme kontrast og ”lyshet” over hele bildet
  - Beregn og bruk transformasjonene innad vindue sentrert om hvert piksel
  - Kontrastbegrensning
    - Lineærestrekking
    - Histogramutjevning
  - Regnekrevende!