

## Repetisjon av histogrammer

### INF2310 – 13. februar 2019 – Ukens temaer (Kap 3.3 i DIP)

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

2019.02.13

INF2310

1 / 32

- 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:

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

- Det normaliserte kumulative histogrammet:

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

2019.02.13

INF2310

2 / 32

## Repetisjon av histogrammer II

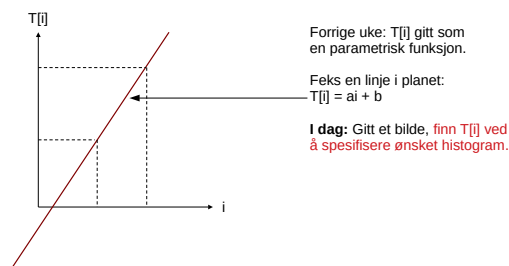


2019.02.13

INF2310

3 / 32

## Repetisjon av gråtonetransform



2019.02.13

INF2310

4 / 32

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

2019.02.13

INF2310

5 / 32

## Tommelfingerløsning

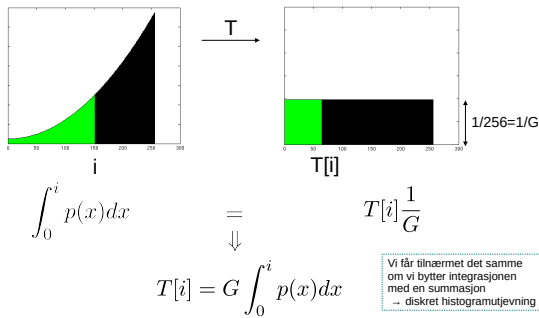
- Vil ha store mellomrom mellom høye histogrammsøyler, og lite mellomrom der vi har lave søyer, samt ikke bytte om rekkefølgen
  - en transform med høyt stigningstall hvor det er mange piksler, og lavt stigningstall hvor det er få piksler
- Det kumulative histogrammet har akkurat disse egenskapene
- 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

2019.02.13

INF2310

6 / 32

## Tommelfingerløsning++ I/II

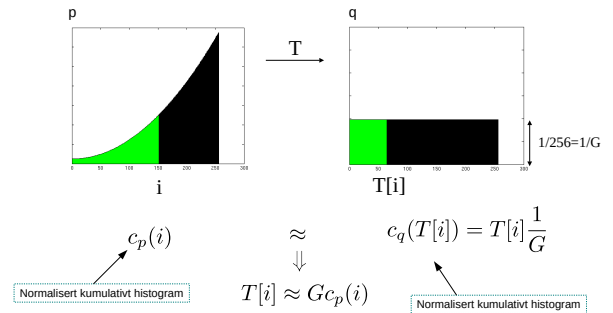


2019.02.13

INF2310

7 / 32

## Tommelfingerløsning++ II/II



2019.02.13

INF2310

8 / 32

## 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,  $p[i] = h[i] / (n * m)$ ,  $i = 0, 1, \dots, G-1$
- Lag det (normaliserte) kumulative histogrammet  $c$ 
  - $c[0] = p[0]$
  - $c[i] = c[i-1] + p[i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, G-1$
- Sett inn verdier i transformarray  $T$ 
  - $T[i] = \text{round}((G-1) * c[i])$ ,  $i = 0, 1, \dots, G-1$
- Gå igjennom bildet piksel for piksel, Hvis pikselen har intensitet  $i$ , sett intensitet  $i$  utbildet til  $s = T[i]$

Alternativt  
 $T[i] = \text{ceil}(G * c[i] - 1)$

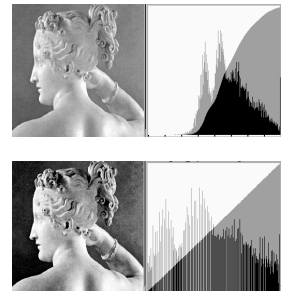
2019.02.13

INF2310

9 / 32

## 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

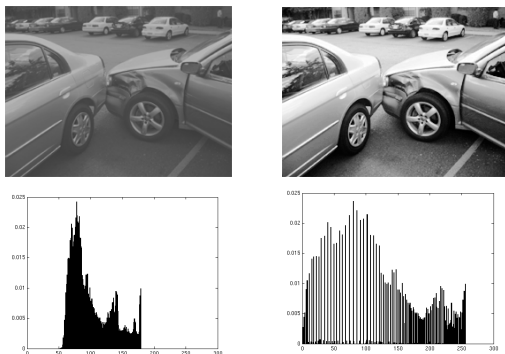


2019.02.13

INF2310

10 / 32

## Histogramutjevning – eksempel II

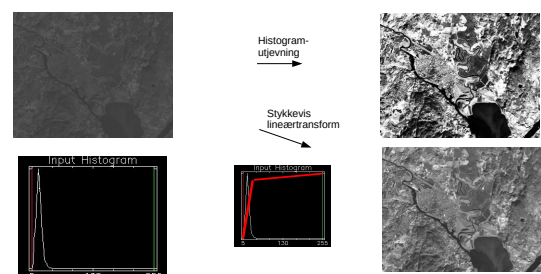


20

INF2310

11 / 32

## Histogramutjevning – eksempel III



Histogramutjevning gir ikke nødvendigvis det beste visuelle resultatet!

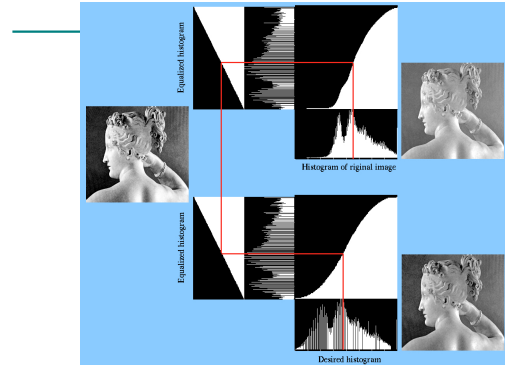
2019.02.13

INF2310

12 / 32

## Histogramtilpasning I/II

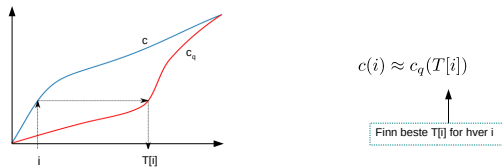
- Histogramutjevning gir (tilnærmet) flatt histogram
- Kan spesifisere annen form på resultatthistogrammet:
  1. Gjør histogramutjevning på innbildet, finn  $s=T(i)$
  2. Spesifiser ønsket nytt histogram  $g(z)$
  3. Finn den transformen  $T_g$  som histogramutjevner  $g(z)$  og inverstransformen  $T_g^{-1}$
  4. Inverstransformer det histogramutjevnete bildet fra punkt 1 ved  $z=T_g^{-1}(s)$



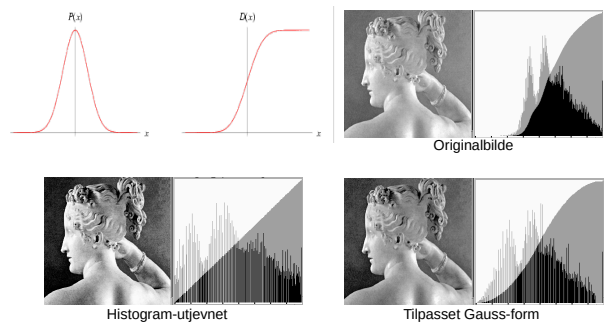
(Fra [http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/contrast\\_transform/node3.html](http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/contrast_transform/node3.html))

## Histogramtilpasning II/II

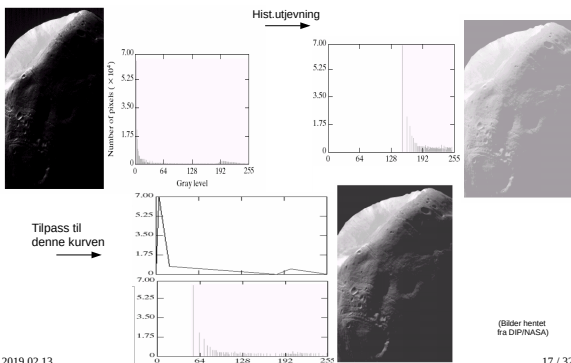
- Alternativ tankegang: Flytt søylene på det *kumulative* histogrammet slik at vi får et nytt *kumulativt* histogram som ligner på det ønskede
- For hver  $i$  har vi en søylehøyde  $c(i)$  ..
- .. finn så  $T[i]$  slik at søylehøyden på det ønskede kumulative histogrammet,  $c_q$ , blir tilnærmet likt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



## Tilpasning til Gauss-profil

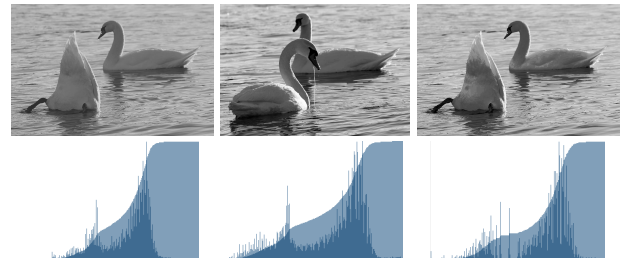


## Tilpasning til vilkårlig kurve



## "Histogram matching"

- Histogramtilpasning hvor det ene bildets histogram benyttes som ønsket form



## Standardisering av histogram

- Hensikt:
  - Sørg 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 middelværdi og varians

## Når bør du IKKE gjøre dette?

- Ikke standardisere histogrammet hvis:
  - Det kan være "reelle" variasjoner i middelværdi 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  $(\mu, \sigma)$  endres
- Eksempel:
  - Mikroskopering av kreft-celler (se neste side)

## 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 pikselverdiene 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)

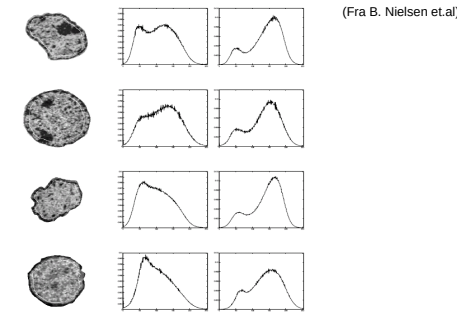
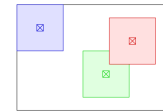


Figure 1. First column: Examples of four cell nuclei from normal, regressing, nodal and tumor samples. The borders between the 10% peripheral and 10% central parts are indicated in this section. The second column: The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four classes. Based on the 10% peripheral part of nuclei. The third column: The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four classes, based on the central 10% of the nuclei.

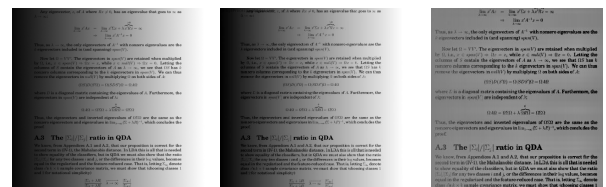
## Lokal GTT II/III

- 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  $\sigma$ 
    - Beregn  $\mu_{xy}$  og  $\sigma_{xy}$  i et vindu sentrert om  $(x,y)$
    - Transformer  $f(x,y)$  til  $g(x,y)$  med en lineær transform som gir nytt standardavvik  $\sigma_0$  innenfor vinduet

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

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

## Lokal GTT – Eksempel I



Original Global histogram-utjevning Lokal endring av middelværdi og kontrast

## Lokal GTT – Eksempel II

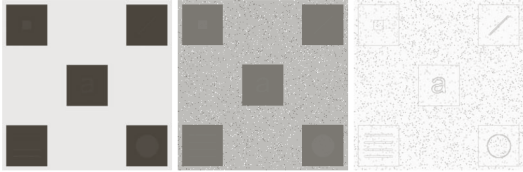


FIGURE 3.26 (a) Original image. (b) Result of global histogram equalization. (c) Result of local histogram equalization applied to (a), using a neighborhood of size  $3 \times 3$ .

(Fra DIP, Gonzales & Woods)

2019.02.13

INF2310

25 / 32

## Lokal GTT – Eksempel III



(ospreess.com / Jiang et al. 2015)

2019.02.13

INF2310

26 / 32

## Lokal GTT III/III

• Vi er ofte nødt til å begrense «endringsviljen» til de lokale kontrastendringstransformene

- Innføre brukerstyrte parametre



Input



«Ubegrenset» lokal histogramutjevning  
INF2310



«Ubegrenset» lokal lineær strekking  
27 / 32

2019.02.13

INF2310

27 / 32

## Lokal GTT i praksis | lineær strekking I/II

- Ønsker vi også lokal GTT som også gir en ny middelvei  $\mu_0$ , 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  $\beta$ , styrer hvor kraftig vi endrer  $\mu$ :  
 $\beta = 0 \rightarrow$  uforandret middelvei over hele bildet  
 $\beta = 1 \rightarrow$  lik middelvei over hele bildet

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

2019.02.13

INF2310

28 / 32

## 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

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

- Innfører parameteren  $\delta$ :

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

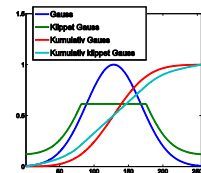
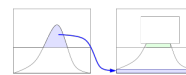
2019.02.13

INF2310

29 / 32

## 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



2019.02.13

INF2310

30 / 32

## Lokal GTT - Implementasjon

---

- Lokal kontrastendring er *regnekrevende*
  - Histogramspesifikasjon: Beregne nytt lokalt kumulativt histogram for hver piksel
  - Lineær transform: Beregne ny  $\mu$  og  $\sigma$  for hver piksel
- Benytt overlappet mellom vinduene i det man flytter til neste piksel
  - Løpende oppdatere histogrammet, eller  $\mu$  og  $\sigma$
- 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
  - 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)
  - Regnekrevende