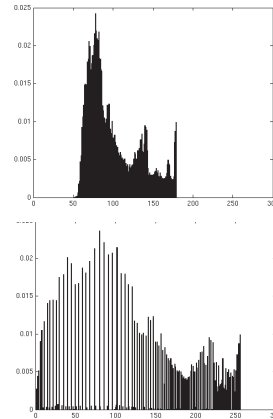


Temaer i dag

INF 2310 – Digital bildebehandling

FORELESNING 5 HISTOGRAM-TRANSFORMASJONER

Ole Marius Hoel Rindal
(omrindal@ifi.uio.no)
Foiler laget av Fritz Albregtsen,
Med noen endringer.



16.02.2015

INF2310

Gjennomgang av eksempler

- Onsdag 14:15-15:00 i Seminarrom C vil det bli gjennomgått MATLAB-eksempler av alt som blir forelest i dag.
- MATLAB-eksemplene ligger på github.com/olemarius90/INF2310

16.02.2015

INF2310

- Histogramtransformasjoner
 - Histogramutjevning
 - Histogramtilpasning
- Standardisering av histogram for billedserier
- Litt om histogramtransformasjoner i fargebilder
- Lokal gråtone-transformasjon
 - Adaptiv histogramutjevning/tilpasning
 - Lineær standardisering av σ og μ
- Pensum: Hovedsakelig 3.3 i DIP
- Neste uke: Naboskapsoperasjoner, konvolusjon, filtrering.

16.02.2015

INF2310

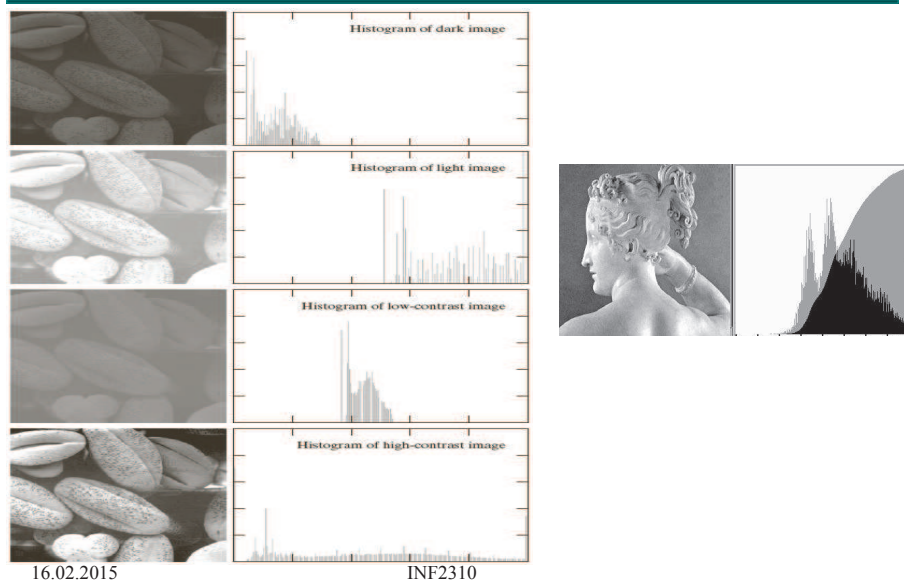
Repetisjon av histogrammer I

- Gråtonehistogram:
 $h(i) = \text{antall piksler i bildet med pikselverdi } i$ $\sum_{i=0}^{G-1} h(i) = n \times m$
- Det normaliserte histogrammet
 $p(i) = \frac{h(i)}{n \times m}, \sum_{i=0}^{G-1} p(i) = 1$
- Det kumulative histogrammet: $c(j) = \sum_{i=0}^j h(i)$
- Det normaliserte kumulative histogrammet: $c_n = \frac{c(j)}{n \times m}$

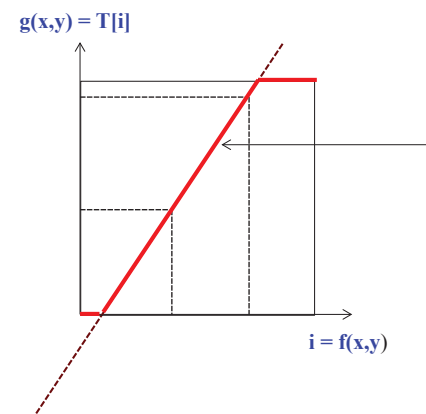
16.02.2015

INF2310

Repetisjon av histogrammer II



Repetisjon av gråtonetransform



Forrige uke:

$T[i]$ gitt som parametrisert funksjon.

Feks en linje i (f,g) planet:
 $T[i] = ai + b$

NB: Klipping av verdier utenfor $[0, G-1]$

I dag:

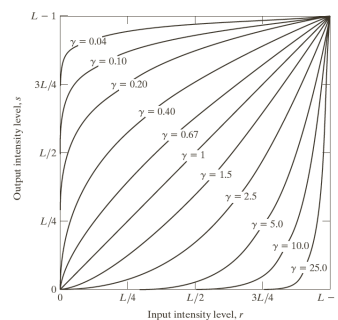
Gitt et bilde, finn $T[i]$ ved å spesifisere ønsket histogram.

16.02.2015

INF2310

Ikke-lineære transformeringer

- Vi har sett at logaritmiske og eksponensielle transformeringer endrer kontrasten i ulike deler av gråtoneskalaen.
- For å endre «formen» på histogrammet trenger vi altså som regel å bruke en ikke-lineær transformasjon.



16.02.2015

INF2310

Histogramutjevning (histogram equalization)

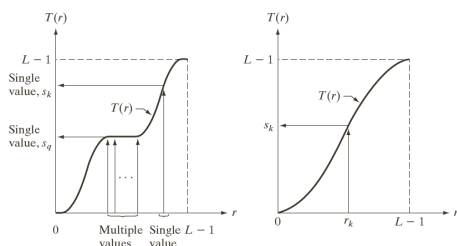
- Maksimal kontrast:
 - Alle pikselverdier like sannsynlige
 - Histogrammet er uniformt (flatt)
- Ønsker en transformasjon av bildet slik at det transformerte bildet har uniformt histogram
 - Dvs. at bildet har like mange piksler for hver gråtone
- Tilnærmer ved å flytte på histogram søyler
- Trenger en oversikt over hvor hver søyle skal flyttes: $T[i]$

16.02.2015

INF2310

Gråtonetransformasjon

- Trenger en transform $s = T(i)$ som tilfredsstiller:
 - 1) $T(i)$ er monotont økende, dvs $T(r_2) \geq T(r_1)$ hvis $r_2 > r_1$.
 - 2) $0 \leq T(i) \leq G-1$
- Hvis den inverse transformen skal være veldefinert, må 1) endres til
 - 1) $T(r_2) > T(r_1)$ hvis $r_2 > r_1$
- Det siste trenger vi til histogramspesifikasjon.



Hvis transformen slår sammen to gråtoner, kan vi ikke finne tilbake til de originale gråtonene.

16.02.2015

INF2310

Løsning: det kumulative histogrammet

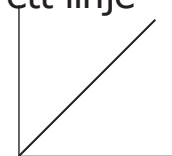
- Store mellomrom mellom høye søyler, og lite mellomrom der vi har lave søyler
 \Rightarrow en transform med høyt stigningstall hvor det er mange piksler, og lavt stigningstall hvor det er få piksler
- Det **kumulative histogrammet** har akkurat disse egenskapene
- Histogramutjevningstransformen, $T[i]$, er gitt ved det skalerte kumulative histogrammet til innbildet.

16.02.2015

INF2310

Et hint om en løsning:

- Hvis et bilde har uniformt histogram, så vil det kumulative histogrammet være tilnærmet en rett linje



\Rightarrow Vi må finne en flytting av søylene som gir oss et kumulativt histogram som ligner mest mulig på en rett linje.

16.02.2015

INF2310

Algoritme for histogramutjevning

- For et $n \times m$ bilde med G gråtoner:
 - Lag array p , c_n og T av lengde G med initialverdi 0
- Finn bildets normaliserte histogram
 - Gå igjennom bildet piksel for piksel.
 - Hvis piksel har intensitet i , la $p[i] = p[i] + 1$
 - Deretter skalér, $p[i] = p[i] / (n * m)$, $i = 0, 1, \dots, G-1$
- Lag det normaliserte kumulative histogrammet c_n
 - $c_n[0] = p[0]$, $c_n[i] = c_n[i-1] + p[i]$, $i = 1, 2, \dots, G-1$
- Sett inn verdier i transform-array T
 - $T[i] = \text{Round}((G-1) * c_n[i])$, $i = 0, 1, \dots, G-1$
- **Gå igjennom bildet piksel for piksel,**
Hvis inn-bildet har intensitet i ,
sett intensitet i ut-bildet til $s = T[i]$

16.02.2015

INF2310

Eksempel – histogramutjevning-1

- Tabell over pikselverdier, histogram, normalisert histogram, normalisert kumulativt histogram og histogram-transform $T[i]$ for et 64x64 piksels 3-bits bilde, der transformen er gitt ved $T(i) = \text{Round}[(G-1) * c_n(i)]$

i	h(i)	p(i)	c _n (i)	T[i]
0	790	0,19	0,19	1
1	1023	0,25	0,44	3
2	850	0,21	0,65	5
3	656	0,16	0,81	6
4	329	0,08	0,89	6
5	245	0,06	0,95	7
6	122	0,03	0,98	7
7	81	0,02	1,00	7

- Transformen $T[i]$ er en "Look-Up-Table" (LUT).

16.02.2015

INF2310

Eksempel – histogramutjevning-2

- Hvordan blir ut-histogrammet $p_s(i)$, gitt inn-histogrammet $p_r(i)$ og LUT'en?

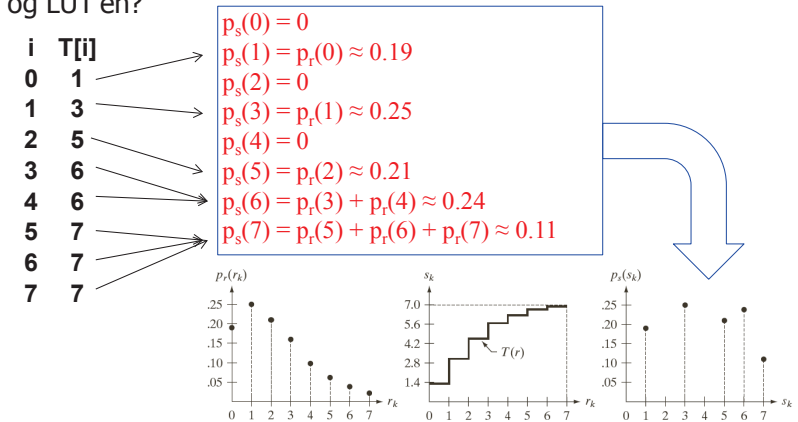


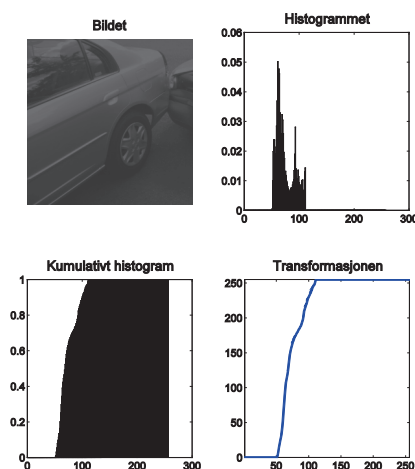
FIGURE 3.19 Illustration of histogram equalization of a 3-bit (8 intensity levels) image. (a) Original histogram. (b) Transformation function. (c) Equalized histogram.

16.02.2015

INF2310

Eksempel – histogramutjevning-3

- Finn bildets normaliserte histogram
- Lag det normaliserte kumulative histogrammet c_n
- Sett inn verdier i transform-array T
 - $T[i] = \text{Round}((G-1) * c_n[i])$ for $i=0,1,\dots,G-1$



16.02.2015

INF2310

Histogramutjevning, forts

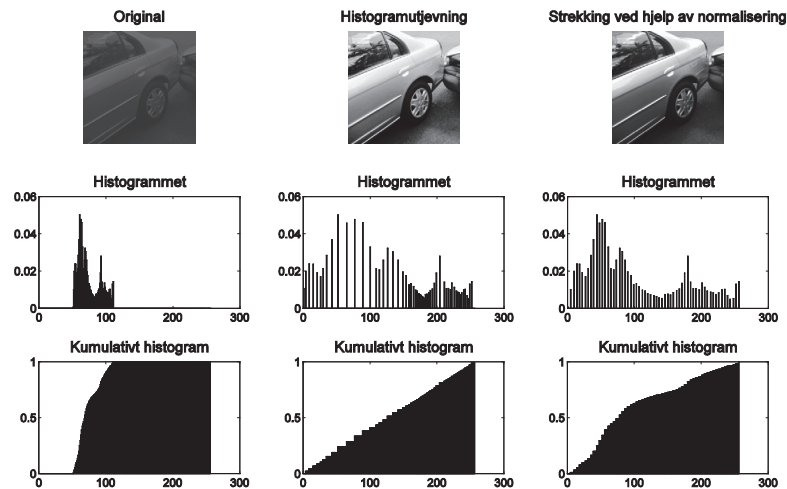
- Det resulterende histogrammet ser ikke flatt ut, men det kumulative histogrammet er en rett lineær rampe.
- Søylene kan ikke splittes for å tilfredstille et flatt histogram.



16.02.2015

INF2310

Eksempel 1 - histogramutjevning



16.02.2015

INF2310

Histogramutjevning

- Histogramutjevning kan flytte histogramsøyler
- Kan også slå sammen søyler
- Men kan ikke splitte søyler

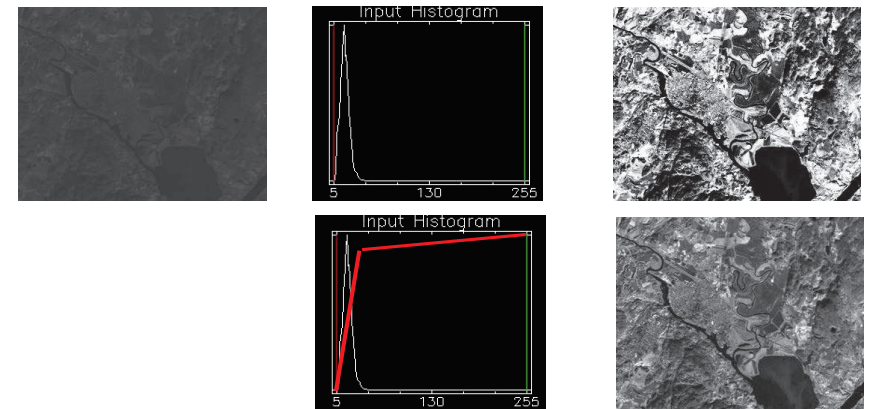
- Gir bare tilnærmet flatt histogram i utbildet
- Utbildets kumulative histogram stiger lineært

Q: Hva er resultatet av en histogramutjevning av et allerede histogramutjevnet bilde?

16.02.2015

INF2310

Eksempel 2 - histogramutjevning



Histogramutjevning gir ikke alltid det beste resultatet!

16.02.2015

INF2310

Histogramtilpasning

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

16.02.2015

INF2310

Algoritme - histogramspesifikasjon

- Finn normalisert histogram, $p_r(i)$, for inputbildet, $f(r)$.
- Lag det normaliserte kumulative histogrammet $c_n(i)$.
- Sett $s(i) = \text{Round}((G-1) * c_n[i])$, $i=0,1,\dots,G-1$, Transformasjon T.
- Gitt ønsket histogram, $p_z(i)$, for bildet $g(z)$.
- Beregn kumulativt spesifisert histogram, skalér, avrund til nærmeste heltall i $[0,G-1]$, og lagre $G_z(q)$.
- For $i=0,1,\dots,G-1$, finn q slik at $G_z(q)$ er nærmest mulig $s(i)$, og lagre alle disse matchene i en array $G_z^{-1}(i)$.
 - Hvis flere q gir samme match, velg den minste.
- Kombiner så de to transformene T og G_z^{-1} til en ny mapping.
 - Alternativt først histogramutjevn innbildet med transformasjonen T, for så å transformere det histogramutjevne bildet med transformasjonen G_z^{-1}

16.02.2015

INF2310

Eksempel-histogramspesifikasjon

- Gitt:

r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k/MN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02

 og spesifisert histogram p_z :

z_q	Specified $p_z(z_q)$	Actual $p_z(z_k)$
$z_0 = 0$	0.00	0.00
$z_1 = 1$	0.00	0.00
$z_2 = 2$	0.00	0.00
$z_3 = 3$	0.15	0.19
$z_4 = 4$	0.20	0.25
$z_5 = 5$	0.30	0.21
$z_6 = 6$	0.20	0.03
$z_7 = 7$	0.15	0.11
- Vi fant at $T(0)=1, T(1)=3, T(2)=5, T(3)=T(4)=6, T(5)=T(6)=T(7)=7$.
- Regn ut: $G(0)=G(1)=G(2)=0.0, G(3)=1.05, G(4)=2.45, G(5)=4.55, G(6)=5.95, G(7)=7.00$;
- Avrundet til: **0,0,0,1,2,5,6,7**.

z_q	$G(z_q)$
$z_0 = 0$	0
$z_1 = 1$	0
$z_2 = 2$	0
$z_3 = 3$	1
$z_4 = 4$	2
$z_5 = 5$	5
$z_6 = 6$	6
$z_7 = 7$	7

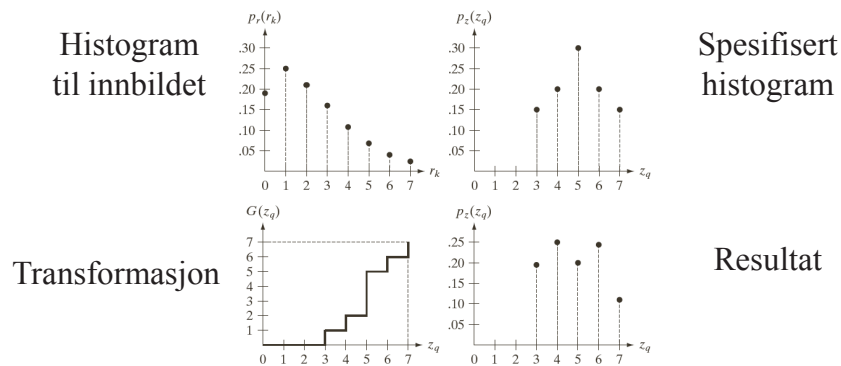
Finner mappingen mellom histogram-utjevnet og histogramspesifisert bilde:

s_k	→	z_q
1	→	3
3	→	4
5	→	5
6	→	6
7	→	7

16.02.2015

INF2310

Eksempel, forts.

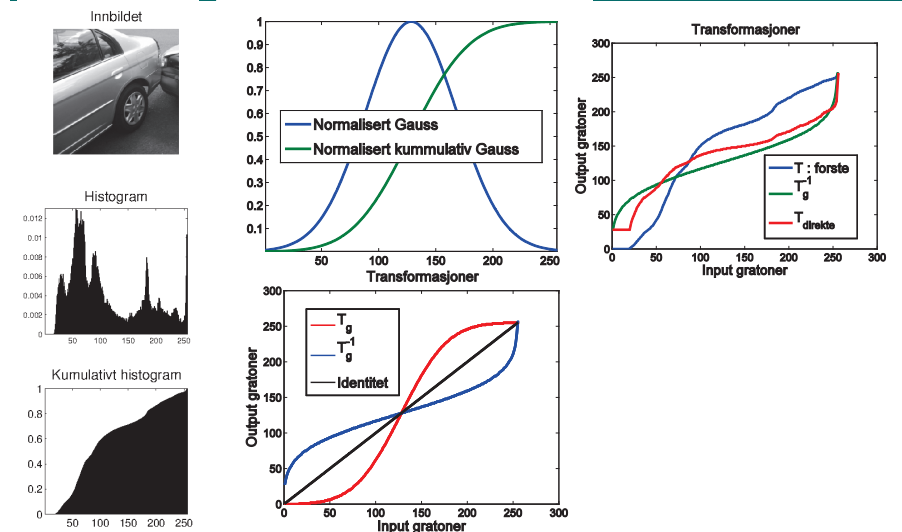


Vi ser at resultatet, og det spesifiserte histogrammet er noe forskjellig, men «tilnærmet» like.

16.02.2015

INF2310

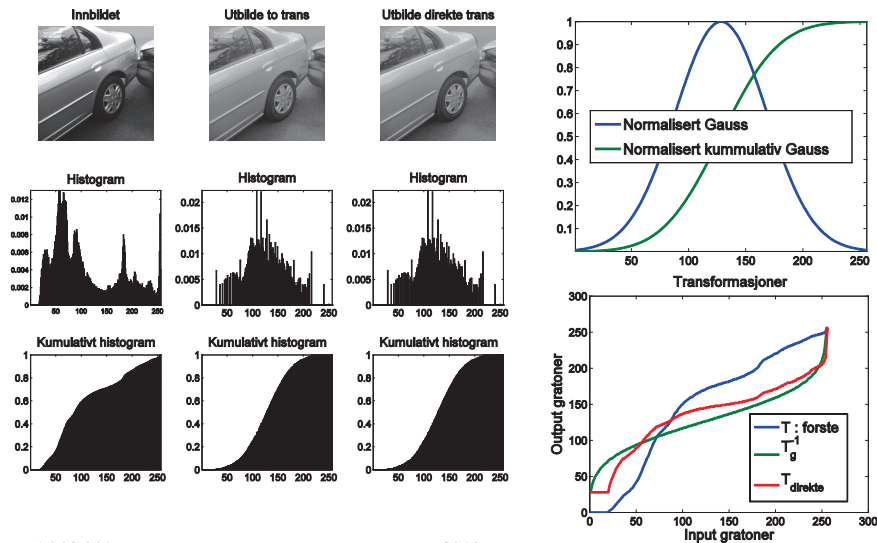
Tilpasning til Gauss-fordeling



16.02.2015

INF2310

Tilpasning til Gauss-fordeling

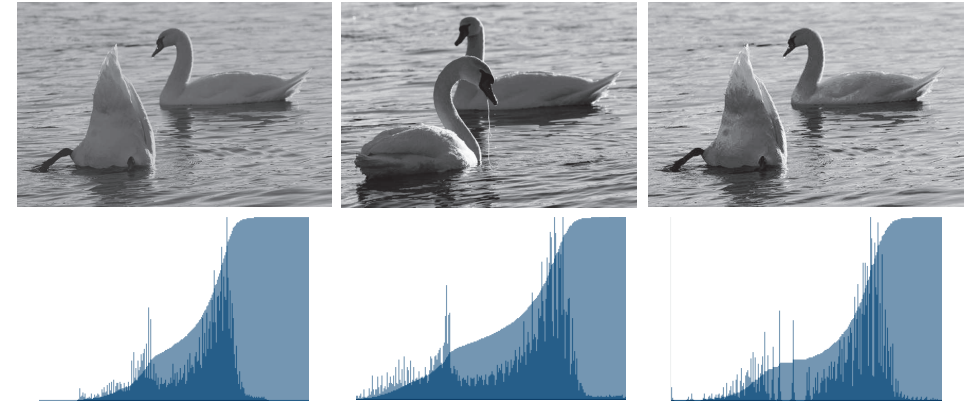


16.02.2015

INF2310

"Histogram matching"

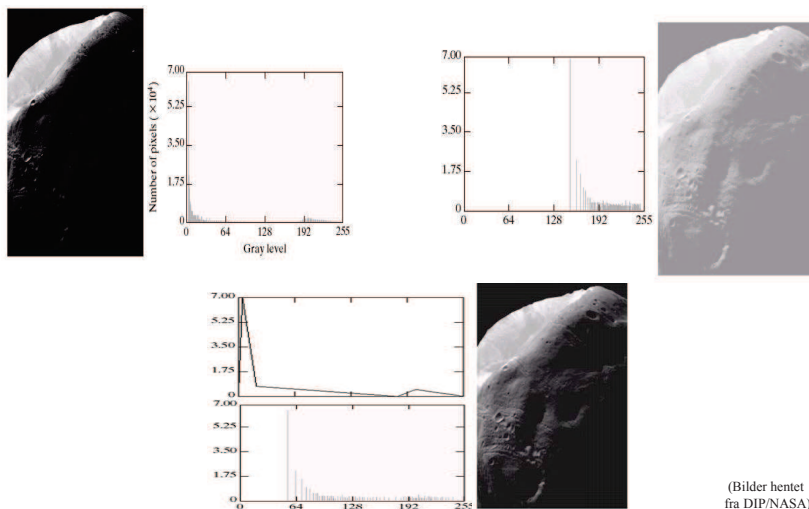
- Histogramtilpasning hvor det ene bildets histogram benyttes som ønsket form



16.02.2015

INF2310

Tilpasning til annen kurve



(Bilder hentet fra DIP/NASA)

16.02.2015

INF2310

Standardisering av histogram

- Hensikt:
 - Sørge for at alle bildene i en serie har like histogrammer
- Metoder:
 - Histogramutjevning
 - Histogramspesifikasjon (f.eks. til oppgitt Gauss-profil)
- Hvorfor? Fjerne effekten av
 - Døgnvariasjon i belysning
 - Aldringseffekter i lamper og detektorer
 - Akkumulering av støv på linser etc.
- Hvor:
 - Produkt-inspeksjon i industri
 - Ansiktsgjenkjenning
 - Mikroskopering av celler
 - ...

16.02.2015

INF2310

Når bør du IKKE gjøre dette?

- Du mener at:
 - Det kan være "reelle" variasjoner i middelvei og varians til bildene i en bildeserie
- Du vet ikke:
 - Om noen senere vil bruke (1. ordens) histogram-parametre til klassifikasjon av bildene
- Hva gjør du?
 - Behold originalene, og jobb på kopier
 - Gjør lineære gråtonetransformasjoner på bildene
 - Dette vil bevare strukturene i histogrammet, selv om (μ, σ) endres
- Eksempel:
 - Mikroskopering av kreft-celler.

16.02.2015

INF2310

Eksempel RGB-bilde



Bånd 1: R



Bånd 2: G



Bånd 3: B



Alle båndene projisert samtidig med forskjellig bølgelengde

16.02.2015

INF2310

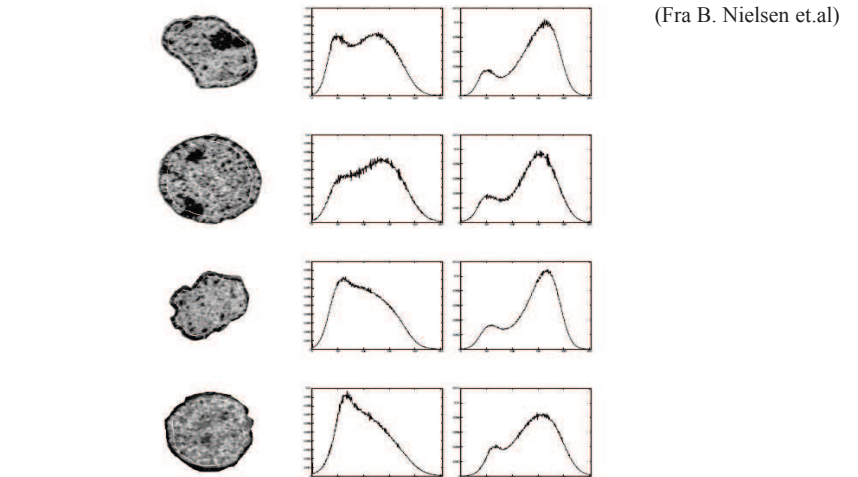


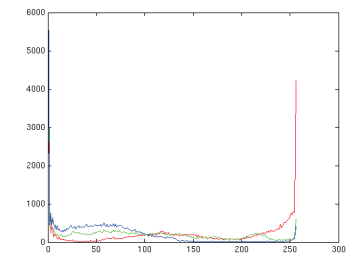
Figure 1: First column: Examples of liver cell nuclei from normal, regenerating, noduli and tumor samples. The borders between the 30% peripheral and 70% central part are outlined as a thin white line. Second column: The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four classes,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

16.02.2015

INF2310

1D histogram fra fargebilder

- Vi kan lage et histogram for hver kanal i et RGB-bilde
- Vi får 3 grafer
- Dette sier ikke noe om mengden av piksler som har verdien (r_1, g_1, b_1) i forhold til (r_2, g_2, b_2)

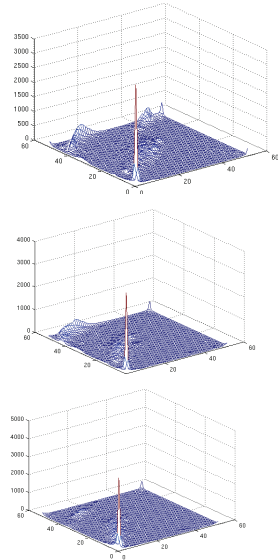


16.02.2015

INF2310

2D histogrammer fra fargebilder

- Vi kan lage 2D histogrammer for de tre kombinasjonene av 2 og 2 kanaler.
- Dette gir informasjon om forekomsten av piksler med gitte verdier av (r,g) , (r,b) og (b,g) .

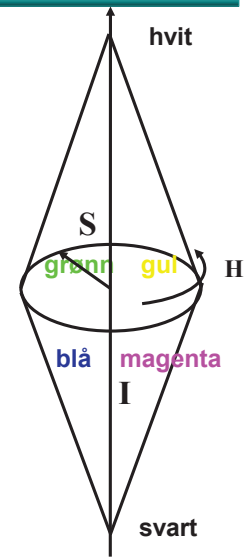


16.02.2015

INF2310

Histogramutjevning av RGB-bilder

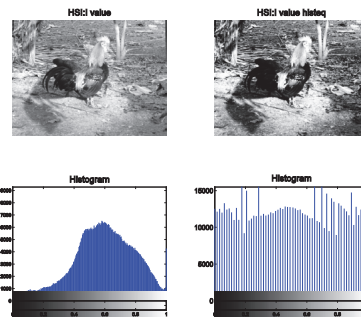
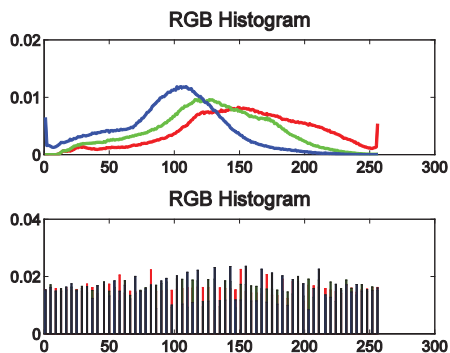
- Histogramutjevning på hver komponent (r,g,b) uavhengig av hverandre
 - Kan føre til endring i fargetonene i bildet
- Alternativt benytte HSI:
 - Transformér bildet fra RGB til HSI
 - Gjør histogramutjevning på I-komponenten
 - Transformer HSI_{ny} tilbake til RGB



16.02.2015

INF2310

Eks: Histogramutjevning RGB vs HSI



Om vi gjør histogramutjevning på RGB kanalene endrer vi fargetonene

For HSI er det kun I verdien som representerer gråtonen og denne kan «trygt» utjevnes.

16.02.2015

INF2310

Eks: Histogramutjevning RGB vs HSI



Originalbilde

Histogramutjevning på RGB

Histogramutjevning i intensitet i HSI

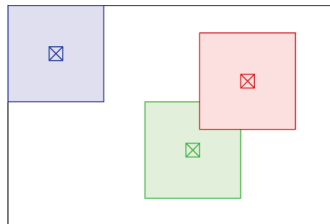
HSI: Hue = ren farge, saturation = fargemetning, intensity = gråtone.

16.02.2015

INF2310

Lokal gråtonetransform (GTT)

- Vil standardisere den **lokale** kontrasten
 - Samme kontrast over hele bildet
- Transformasjonene vi har sett på kan beregnes ut fra piksel-verdiene i en **lokal omegn** (kvadratisk vindu) omkring punktet (x,y)
 - Kun pikselverdien $g(x,y)$ bestemmes av transformen basert på dette vinduets piksler
 - Altså egen transform for hvert piksel i bildet (lokal adaptivitet).

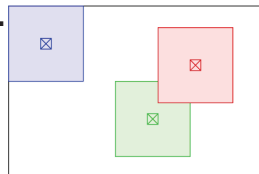


16.02.2015

INF2310

Lokal histogramspesifikasjon/utjevning

- Også kjent som adaptiv histogramutjevning
 - AHE (Adaptive histogram equalization)
- Beregn kumulativt histogram i et vindu sentrert om (x,y)
- Endre senterpikselen ved den resulterende transformen
- Størrelsen på vinduet er en viktig parameter.
- Piksler langs kanten må behandles spesielt.
- Hver piksel får altså sin egen transform, dette er en svært regnekrevende fremgangsmåte. Vi kan utnytte at vinduene er overlappende i utregningen.



16.02.2015

INF2310

Lokal gråtonetransform (GTT)

- Utfør lokal GTT som gir «samme kontrast» over hele bildet
- Vi skal se på to metoder
 - 1 : Lokal histogramspesifikasjon/utjevning
 - Også kjent som adaptiv histogramutjevning
 - AHE (Adaptive histogram equalization)
 - En mye brukt variant: CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization)
 - 2 : Lineær standardisering av σ til σ_0
 - Beregn $\mu(x,y)$ og $\sigma(x,y)$ 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

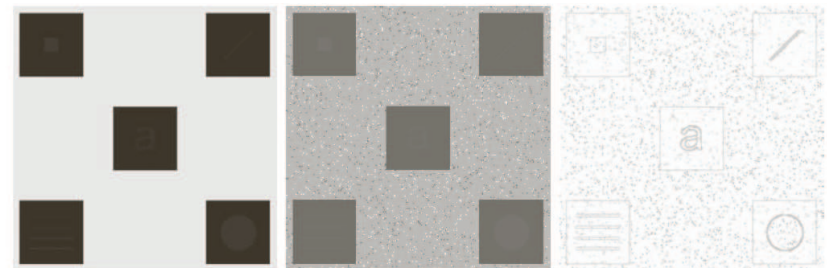
$$g_1(x, y) = \mu(x, y) + (f(x, y) - \mu(x, y)) \frac{\sigma_0}{\sigma(x, y)}$$

Vi kom fram til disse uttrykkene forrige uke!

16.02.2015

INF2310

Global HistEq vs Lokal HistEq



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 .

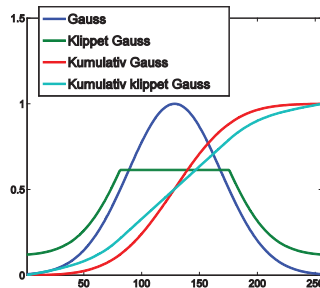
(Fra DIP, Gonzales & Woods)

16.02.2015

INF2310

Kontrastbegrenset lokal histogramspesifikasjon/utjevning

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



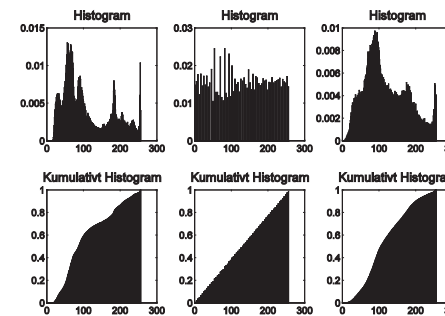
16.02.2015

INF2310

Lokal histogramspesifikasjon/utjevning



Hele bildet ble noe mer «varierende», men detaljer i bildet som for eksempel felgen og hjulet ble mer tydelig.



16.02.2015

INF2310

Lineær standardisering av σ til σ_0

- Lineær standardisering av σ til σ_0
 - Beregn $\mu(x,y)$ og $\sigma(x,y)$ 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

$$g_1(x, y) = \mu(x, y) + (f(x, y) - \mu(x, y)) \frac{\sigma_0}{\sigma(x, y)}$$

Vi kom frem til dette forrige uke:

$$a = \frac{\sigma_T}{\sigma}, \quad b = \mu_T - a\mu = \mu \left(1 - \frac{\sigma_T}{\sigma} \right)$$

$$\Rightarrow T[i] = \frac{\sigma_T}{\sigma} i + \mu \left(1 - \frac{\sigma_T}{\sigma} \right) = \mu + (i - \mu) \left(\frac{\sigma_T}{\sigma} \right)$$

16.02.2015

INF2310

Lineær standardisering til σ_0 og μ_0

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

$$g_2(x, y) = \mu_0 + (f(x, y) - \mu(x, y)) \left(\frac{\sigma_0}{\sigma(x, y)} \right)$$

- Men dette vil gi et "flatt" bilde
- Parameteren β kan styre hvor kraftig vi endrer μ :
 - $\beta = 0 \Rightarrow$ uforandret middelerdi over hele bildet
 - $\beta = 1 \Rightarrow$ lik middelerdi over hele bildet

$$g_3(x, y) = \beta \mu_0 + (1 - \beta) \mu(x, y) + (f(x, y) - \mu(x, y)) \left(\frac{\sigma_0}{\sigma(x, y)} \right)$$

16.02.2015

INF2310

Lineær standardisering til σ_0 og μ_0

- Hva er karakteristisk for homogene områder i et bilde?

$$\sigma(x, y) = 0$$

- Her får vi problemer, fordi vi har σ i nevneren:

$$g_3(x, y) = \dots + (f(x, y) - \mu(x, y)) \frac{\sigma_0}{\sigma(x, y)}$$

- Innfører parameteren δ :

$$g_4(x, y) = \beta \mu_0 + (1 - \beta) \mu(x, y) + (f(x, y) - \mu(x, y)) \left(\frac{\sigma_0}{\sigma(x, y) + \delta \sigma_0} \right)$$

- Lokal pikselverdi-mapping gir økt regnearbeid.

16.02.2015

INF2310

Lokal GTT – Eksempel II



”Original”



Global histogram-
utjevning



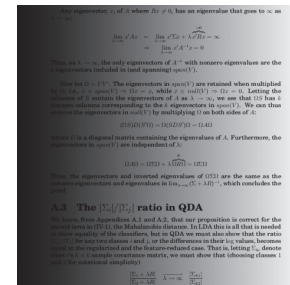
Lokal endring av
middelverdi og kontrast

Endret bildeutsnitt.
Hvorfor ?

16.02.2015

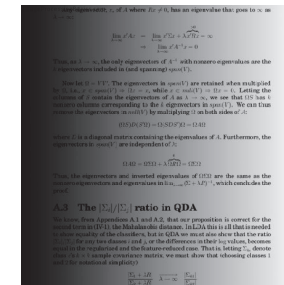
INF2310

Lokal GTT – Eksempel I



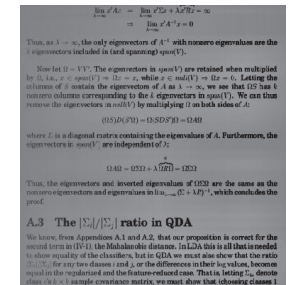
Original

16.02.2015



Global histogram-
utjevning

INF2310



Lokal endring av
middelverdi og kontrast

Lokal GTT - Implementasjon

- Lokal kontrast-endring er regnekrevende
 - Histogramspesifikasjon: Beregne nytt lokalt kumulativt histogram for hver piksel
 - Lineær transform: Beregne ny μ og σ for hver piksel
- Benytt overlappet mellom vinduene i det man flytter til neste piksel
 - Løpende oppdatere både histogrammet, μ og σ
 - Alternativ: Bruk median og percentil.

16.02.2015

INF2310

Sentrale temaer i dag

- Histogramtransformasjoner
 - Histogramutjevning
 - Histogramtilpasning
- Standardisering av histogram for billedserier
 - Fjerne effekten av variasjoner i avbildningsforhold (døgnvariasjon, lampe, støv etc)
 - Ikke lurt med histogramtilpasning hvis histogram-formen inneholder informasjon som senere skal benyttes
 - Alternativ til standardisering av bilder med lineær transform
- Litt om histogramtransformasjoner i fargebilder
- Lokal gråtone-transformasjon
 - 1. metode:
 - Lokal histogramutjevning/tilpasning
 - Kontrastbegrenset lokal histogramutjevning/tilpasning
 - 2. metode
 - Samme kontrast (og middelvei) over hele bildet
 - Beregn og benytt transformene på lokalt vindu rundt hver piksel
 - Dette er regnekrevende.

16.02.2015

INF2310

Gjennomgang av eksempler

- Onsdag 14:15-15:00 i Seminarrom C vil det bli gjennomgått MATLAB-eksempler av deler av det som har blitt forelest i dag.
- MATLAB-eksemplene ligger på github.com/olemarius90/INF2310
- Dette er en veldig god repetisjon, møt opp!

16.02.2015

INF2310