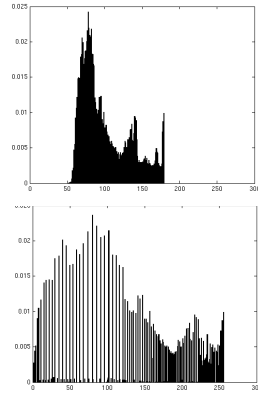


INF 2310 – Digital bildebehandling

FORELESNING 5 HISTOGRAM-TRANSFORMASJONER

Fritz Albregtsen



14.02.2012

INF2310

Temaer i dag

- Histogramtransformasjoner
 - Histogramutjevning
 - Histogramtilpasning
- Standardisering av histogram for billedserier
- Litt om histogramtransformasjoner i fargebilder
- Lokal gråtone-transformasjon
- Pensum: Hovedsakelig 3.3 i DIP
- Neste uke: Naboskapsoperasjoner, konvolusjon, filtrering.

14.02.2012

INF2310

Repetisjon av histogrammer I

- Gråtonehistogram:

$h(i)$ = antall piksler i bildet med pikselverdi i

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

- Det normaliserte histogrammet

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

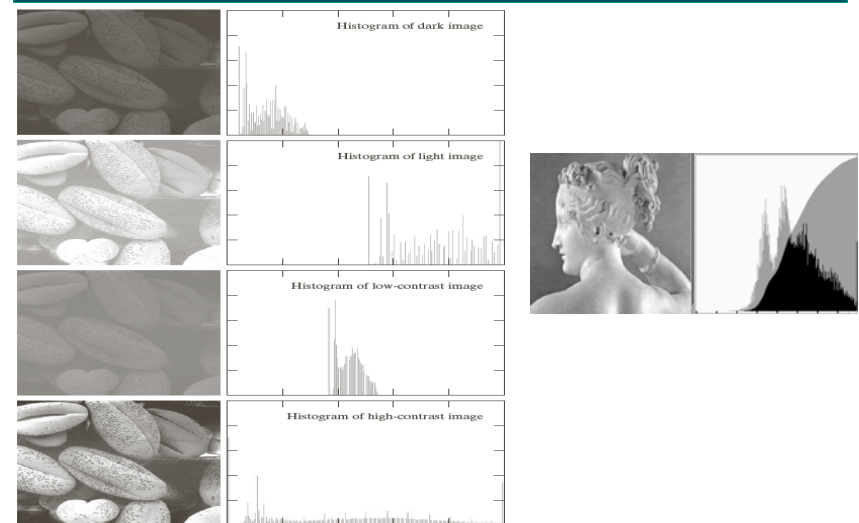
- Det kumulative histogrammet

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

14.02.2012

INF2310

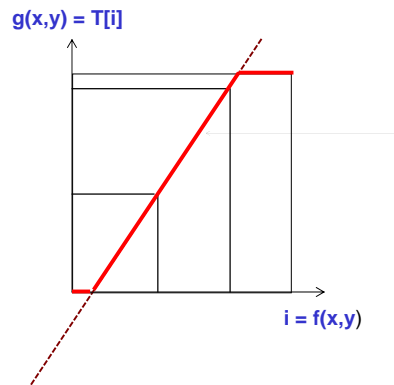
Repetisjon av histogrammer II



14.02.2012

INF2310

Repetisjon av gråtonetransform



Forrige uke:

$T[i]$ gitt som parametrisk funksjon.

Feks en linje i (f,g) planet:

$$T[i] = ai + b$$

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

I dag:

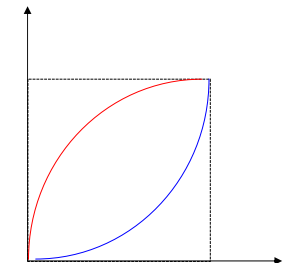
Gitt et bilde, finn $T[i]$ ved å spesifisere ønsket histogram.

14.02.2012

INF2310

Ikke-lineære transform

- Vi har sett at logaritmiske og eksponensielle transformere endrer kontrasten i ulike deler av gråtoneskalaen.



- Kan vi oppnå noe av det samme med histogrammer?

14.02.2012

INF2310

Histogramutjevning (histogram equalization)

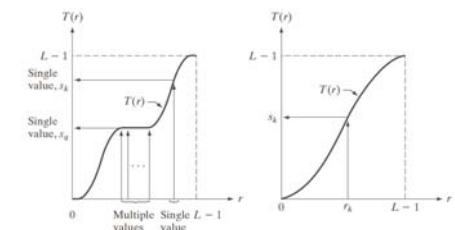
- Maksimal kontrast: Alle pikselverdier like sannsynlige
 - Histogrammet er uniformt (flatt)
- Ønsker en transformasjon av bildet slik at det transformerte bildet har uniformt histogram
 - Dvs. at bildet har like mange piksler for hver gråtone
- Tilnærmer ved å flytte på histogram søyler
- Trenger en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

14.02.2012

INF2310

Gråtonetransformasjon

- Trenger en transform $s = T(i)$ som tilfredsstill:
 - 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.



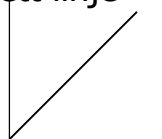
Hvis transformen slår sammen to gråtoner, kan vi ikke finne tilbake til de originale gråtonene.

14.02.2012

INF2310

Et hint om en løsning:

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



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

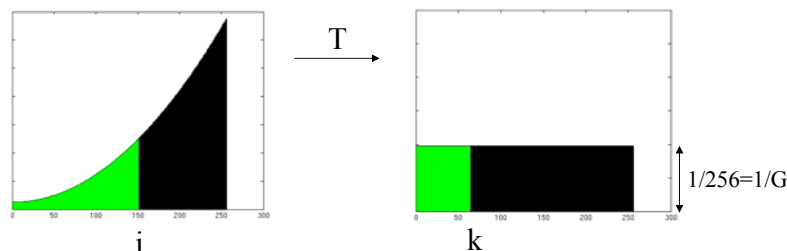
14.02.2012

INF2310

- Store mellomrom mellom høye søyer, og lite mellomrom der vi har lave søyer => 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 gitt ved det skalerte kumulative histogrammet til innbildet.

14.02.2012

INF2310



$$\int_0^i p(x) dx$$

$$k \frac{1}{G}$$

$$k = G \int_0^i p(x) dx$$

14.02.2012

INF2310

Algoritme for histogramutjevning

- For et $n \times m$ bilde med G gråtoner:
 - Lag array p , c 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 kumulative histogrammet c
 - $c[0] = p[0]$, $c[i] = c[i-1]+p[i]$, $i=1,2,\dots,G-1$
- Sett inn verdier i transform-array T
 - $T[i] = \text{Round}((G-1)*c[i])$, $i=0,1,\dots,G-1$
- Gå igjennom bildet piksel for piksel,
 - Hvis bildet har intensitet i , sett intensitet i utbildet til $s=T[i]$

14.02.2012

INF2310

Eksempel - histogramutjevning

- Tabell over pikselverdier og normalisert histogram, $p_r(i)$, 3-bits bilde:

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

Transform = skalert kumulativt histogram

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

$$T(0) = 1, \quad T(1) = 3, \quad T(2) = 5,$$

$$T(3) = T(4) = 6,$$

$$T(5) = T(6) = T(7) = 7.$$

I ut-histogrammet: $p_s(0) = p_s(2) = p_s(4) = 0,$

$$p_s(1) = p_r(0), \quad p_s(3) = p_r(1), \quad p_s(5) = p_r(2),$$

$$p_s(6) = p_r(3) + p_r(4) \approx 0.24$$

$$p_s(7) = p_r(5) + p_r(6) + p_r(7) \approx 0.11$$

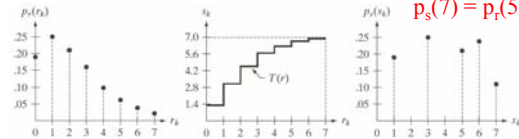


FIGURE 3.19 Illustration of histogram equalization of a 3-bit (8 intensity levels) image. (a) Original histogram. (b) Transformation function. (c) Equalized histogram.

14.02.2012

INF2310

Histogramutjevning, forts

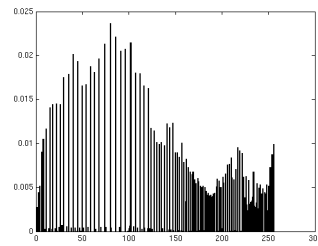
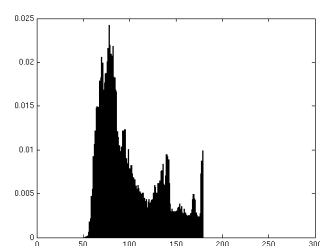
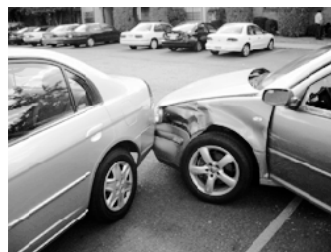
- Det resulterende histogrammet ser ikke flatt ut, men det kumulative histogrammet er en rett lineær rampe
- Søylene kan ikke splittes for å tilfredstille et flatt histogram



14.02.2012

INF2310

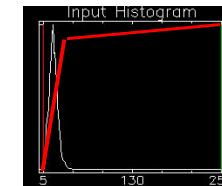
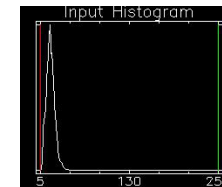
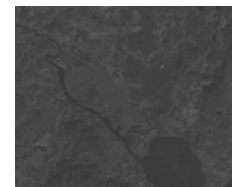
Eksempel 1 - histogramutjevning



14.02.2012

INF2310

Eksempel 2 - histogramutjevning



Histogramutjevning gir ikke alltid det beste resultatet!

14.02.2012

INF2310

Histogramtilpasning

- Histogramutjevning gir flatt histogram
- Kan spesifisere annen form på resultat histogrammet:
 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 $z=T_g^{-1}(s)$

14.02.2012

INF2310

Algoritme - histogramspesifikasjon

- Finn normalisert histogram, $p_r(i)$, for inputbildet, $f(r)$.
- Lag det kumulative histogrammet $c(i)$.
- Sett $s(i) = \text{Round}((G-1)*c[i])$, $i=0,1,\dots,G-1$
- 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 $T_{ny}(i)$.
 - Hvis flere q gir samme match, velg den minste.
- Kombiner så de de to transformene til en ny mapping.

14.02.2012

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 $p_z(z_q)$
$z_0 = 0$	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	0.24
$z_7 = 7$	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.

Finner mappingen mellom histogramutjevnet og histogramspesifisert bilde:

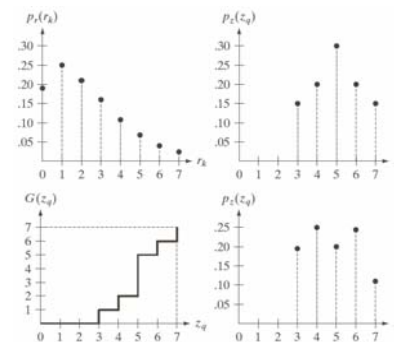
z_q	$G(z_q)$
$z_0 = 0$	0
$z_1 = 1$	0
$z_2 = 2$	0
$z_3 = 3$	1
$z_4 = 4$	2
$z_5 = 5$	5
$z_6 = 6$	6
$z_7 = 7$	7

s_k	\rightarrow	z_q
1	\rightarrow	3
3	\rightarrow	4
5	\rightarrow	5
6	\rightarrow	6
7	\rightarrow	7

14.02.2012

INF2310

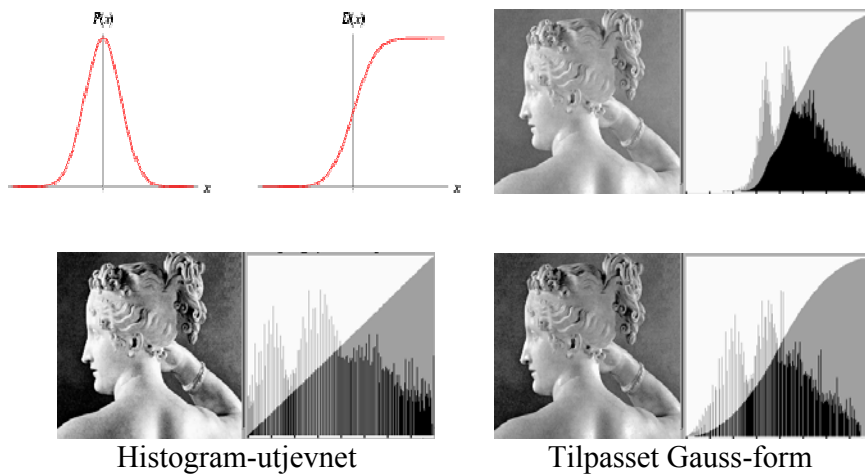
Eksempel, forts.



14.02.2012

INF2310

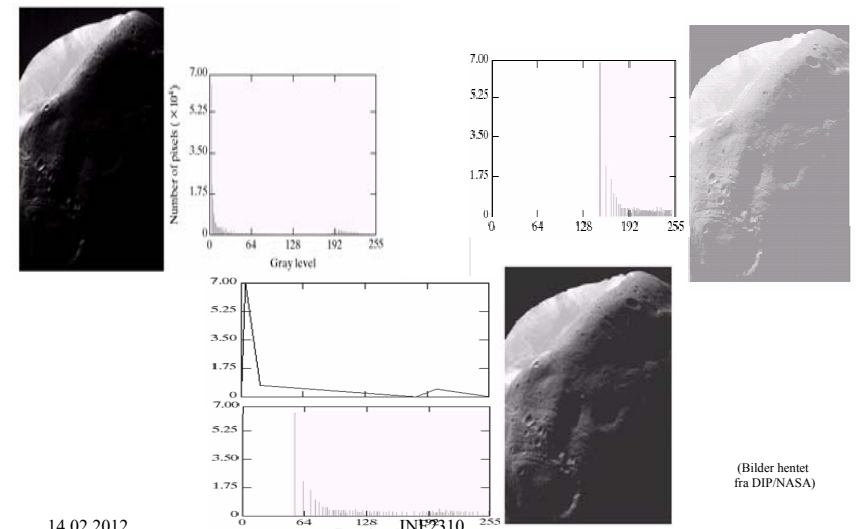
Tilpasning til Gauss-profil



14.02.2012

INF2310

Tilpasning til annen kurve

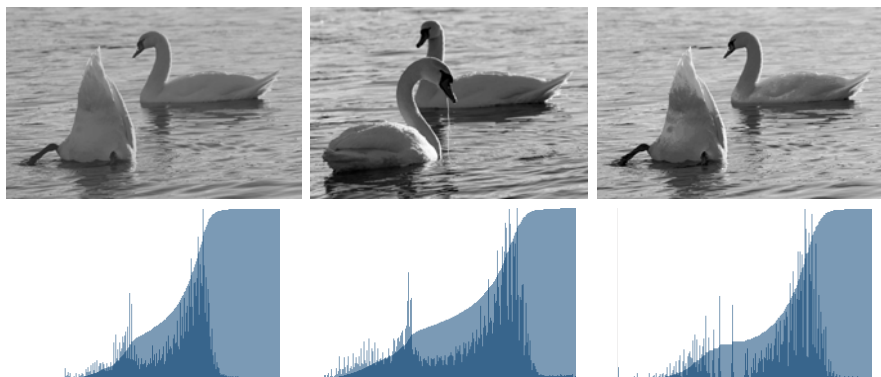


14.02.2012

INF2310

"Histogram matching"

- Histogramtilpasning hvor det ene bildets histogram benyttes som ønsket form



14.02.2012

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
 - ...

14.02.2012

INF2310

Når bør du IKKE gjøre dette?

- Du mener at:
 - Det kan være "reelle" variasjoner i middelværdi 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.

14.02.2012

INF2310

(Fra B. Nielsen et.al)

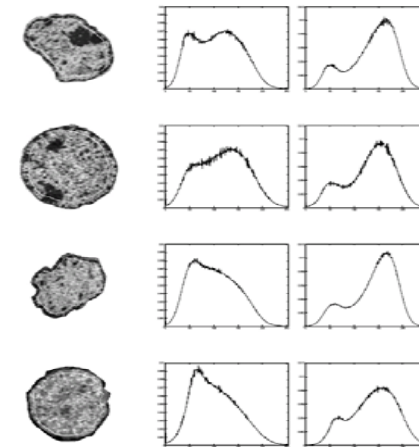


Figure 1. First column: Examples of liver cell nuclei from normal, regenerating, nodular and tumor samples. The borders between the 10% peripheral and 70% central part are outlined as a thin white line. Second column: The mean gray level histograms from all cell nuclei within each of the four classes, based on the 10% 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.

14.02.2012

INF2310

Eksempel RGB-bilde



Bånd 1: R



Bånd 2: G



Bånd 3: B



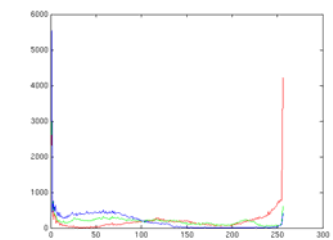
Alle båndene projisert samtidig med forskjellig bølgelengde

14.02.2012

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)

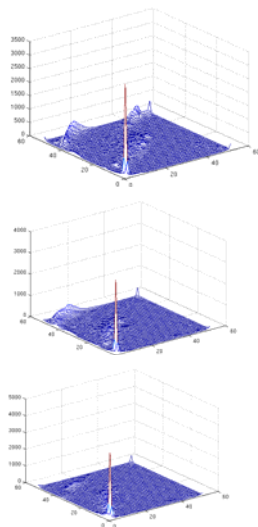


14.02.2012

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) .

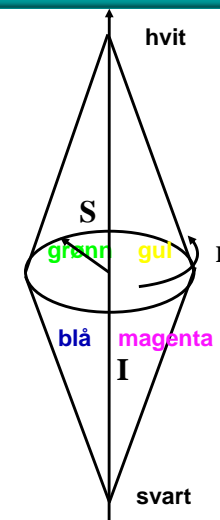


14.02.2012

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



14.02.2012

INF2310

Eks: Histogramutjevning RGB vs HSI



Originalbilde

Histogramutjevning på RGB

Histogramutjevning i intensitet i HSI

14.02.2012

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).

14.02.2012

INF2310

Lokal GTT – Eksempel I



Original

Global histogram-
utjevning

Lokal endring av
middelverdi og kontrast

14.02.2012

INF2310

Lokal GTT – Eksempel II



”Original”

Global histogram-
utjevning

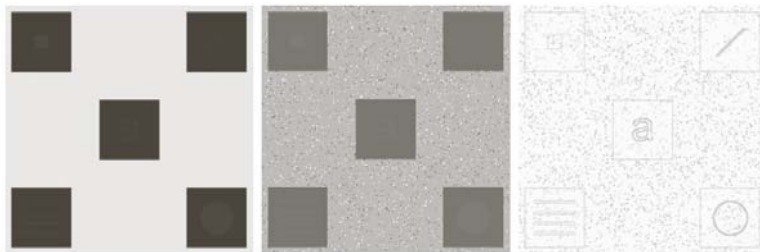
Lokal endring av
middelverdi og kontrast

Endret bildeutsnitt.
Hvorfor ?

14.02.2012

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)

14.02.2012

INF2310

Lokal GTT - 2

- Utfør lokal GTT som gir samme kontrast over hele bildet
 - Histogramspesifikasjon
 - Beregn kumulativt histogram i et vindu sentrert om (x,y)
 - Endre senterpikselen ved den resulterende transformen
 - 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!

14.02.2012

INF2310

Lokal GTT - 3

- Ønsker vi lokal GTT som også gir en ny middelvei 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 middelvei over hele bildet
 - $\beta = 1 \Rightarrow$ lik middelvei over hele bildet

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

14.02.2012

INF2310

Lokal GTT - 4

- 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.

14.02.2012

INF2310

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.

14.02.2012

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
 - Samme kontrast (og middelvei) over hele bildet
 - Beregn og benytt transformene på lokalt vindu rundt hver piksel
 - Dette er regnekrevende.

14.02.2012

INF2310