

315 490 วิธีการทดลองทางฟิสิกส์ 4(3-3-3)

การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล

(Digital Image Processing) 6 ชม.

ดร. จันทร์เพ็ญ โทมัส

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ม. ขอนแก่น

- การประมวลผลภาพ คืออะไร
- นิยามเทอมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- Image Enhancement
- Image Restoration
- Image Segmentation



4. การปรับปรุงให้ดีขึ้น (Image Improvement) (1)

แบ่งเป็น

1. Image Enhancement - การปรับปรุงเพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างของรายละเอียดในภาพชัดเจนขึ้น
2. Image Restoration - การปรับปรุงในลักษณะ “กู้ภาพคืน” เพื่อให้สามารถเห็น รายละเอียดในภาพได้ชัดเจนขึ้น เช่น
 - * ปรับภาพที่ blur เนื่องจากวัตถุที่ถูกถ่ายภาพเคลื่อนที่
เลนส์กล้องไม่โฟกัส
 - * ปรับภาพที่บิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตเนื่องจากระบบการถ่ายภาพ
สำหรับภาพ 1 ภาพ เพื่อให้ได้เป้าหมายความชัดเจนของ
รายละเอียดอาจต้องทำทั้ง restoration & enhancement

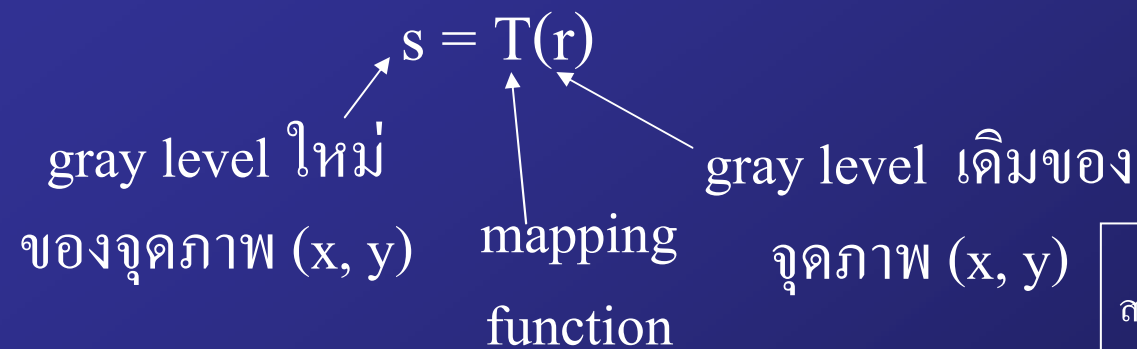
4.1 Image Enhancement พื้นฐาน (1)

วิธีการแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

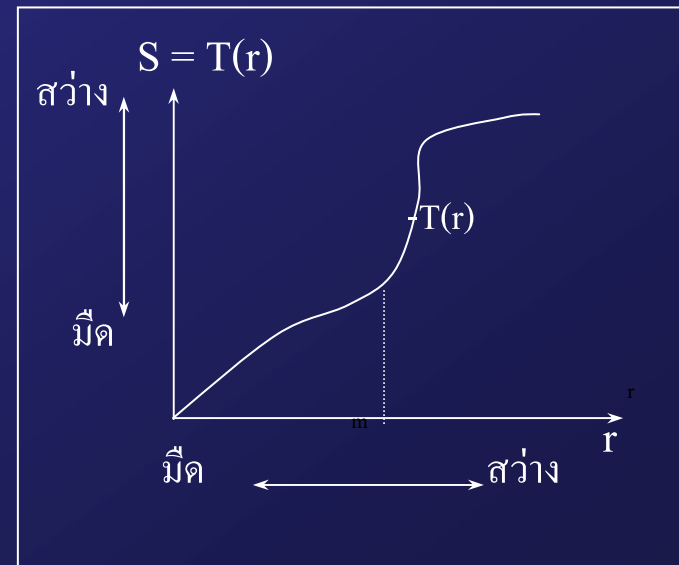
- Spatial-domain technique – ทำในโดเมนภาพ
 - Point operation หรือ pixel-by-pixel
 - Local operation โดยใช้ Mask มา convolute กับภาพ
- frequency-domain technique (frequency-spatial frequency ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงในเชิงตำแหน่ง) – ทำในโดเมนความถี่เชิงตำแหน่ง ผ่านการแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform)
 - Low pass filtering
 - High pass filtering
 - Band pass filtering, Band stop filtering

4.1.1 Spatial-domain techniques: Point operation

- เป็นการเปลี่ยนความเข้มทีละจุดภาพ (pixel-by-pixel)
- เป็น gray-level transformation/mapping ในรูป



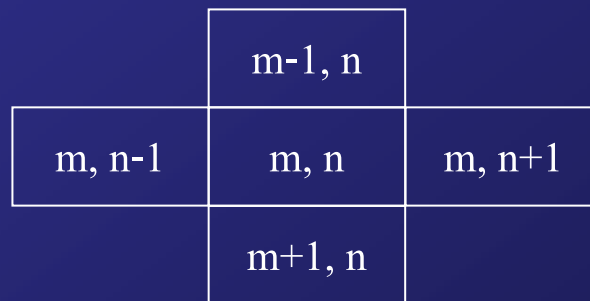
- T อาจเป็นฟังก์ชันง่ายๆ
หรือมีเทคนิค Histogram equalization



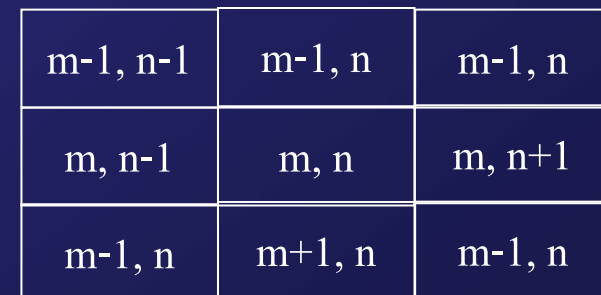
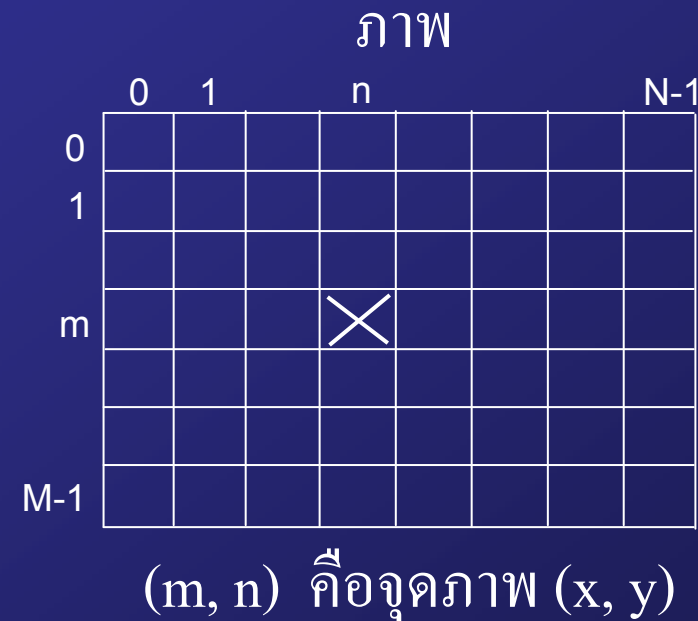
4.1.1 Spatial-domain techniques: Local operation (1)

- Local operation เป็นการนำข้อมูลของจุดภาพเพื่อนบ้านมาร่วมพิจารณา
- ใช้ mask (บางครั้งเรียก template, window หรือ filters) มา convolute กับภาพ
- mask เล็กสุดคือขนาด 3×3

เพื่อนบ้าน
ของจุดภาพ



4-neighbourhood

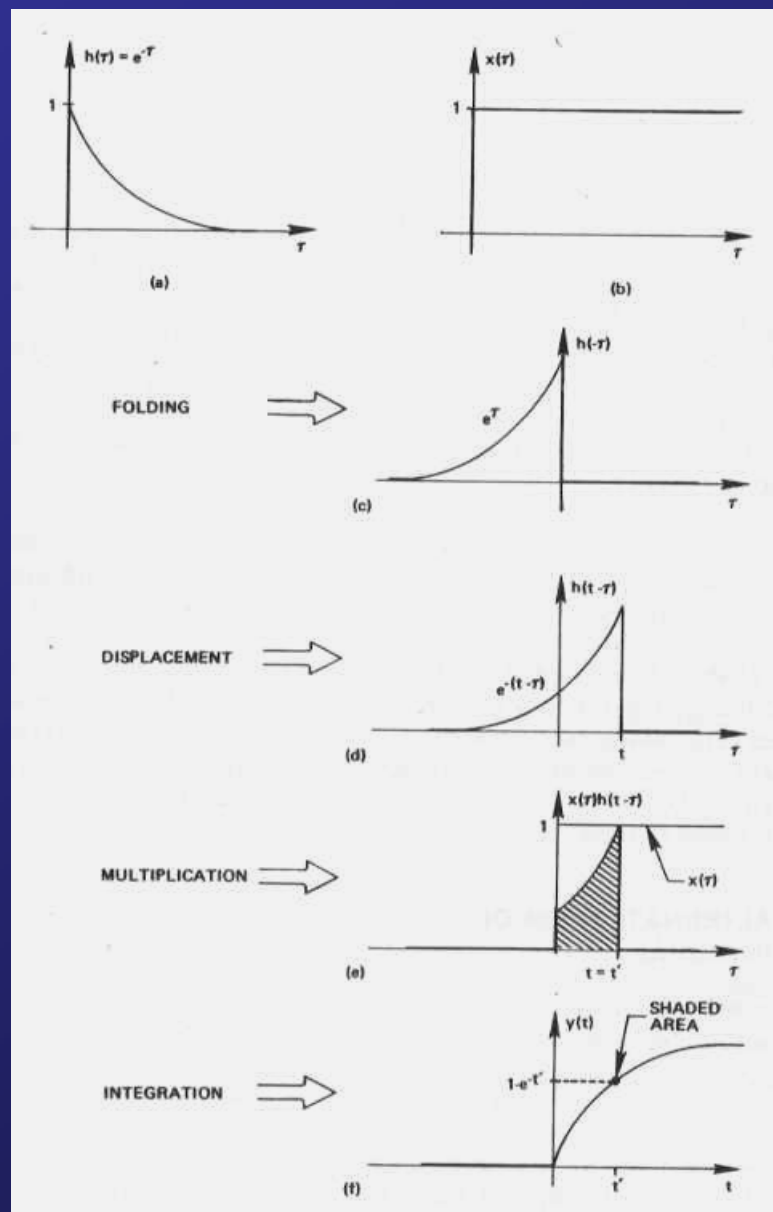


8-neighbourhood,
3x3 neighbourhood รอบจุด (m, n)

คอนโวลูชัน (convolution) (1)

1D convolution

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)g(x - \alpha)d\alpha$$

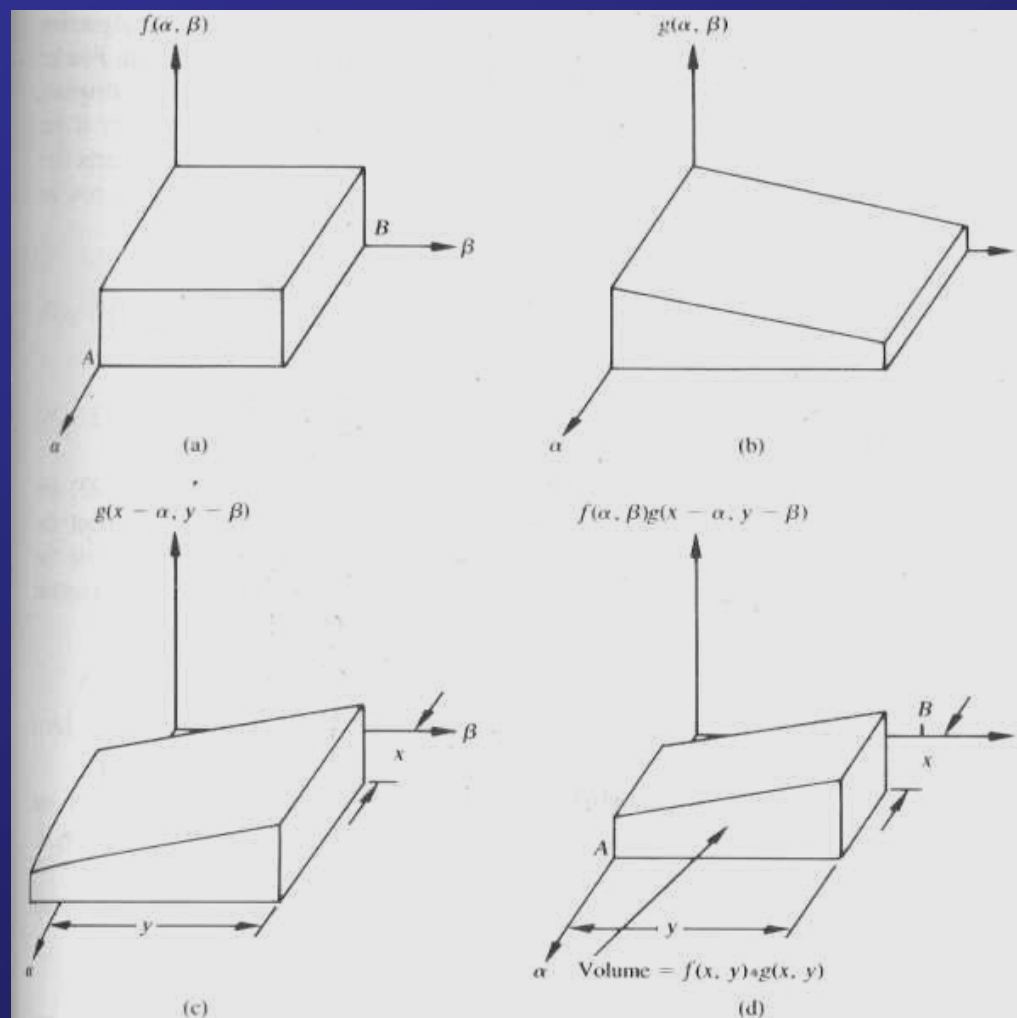


คอนโวลูชัน (convolution) (2)

2D convolution

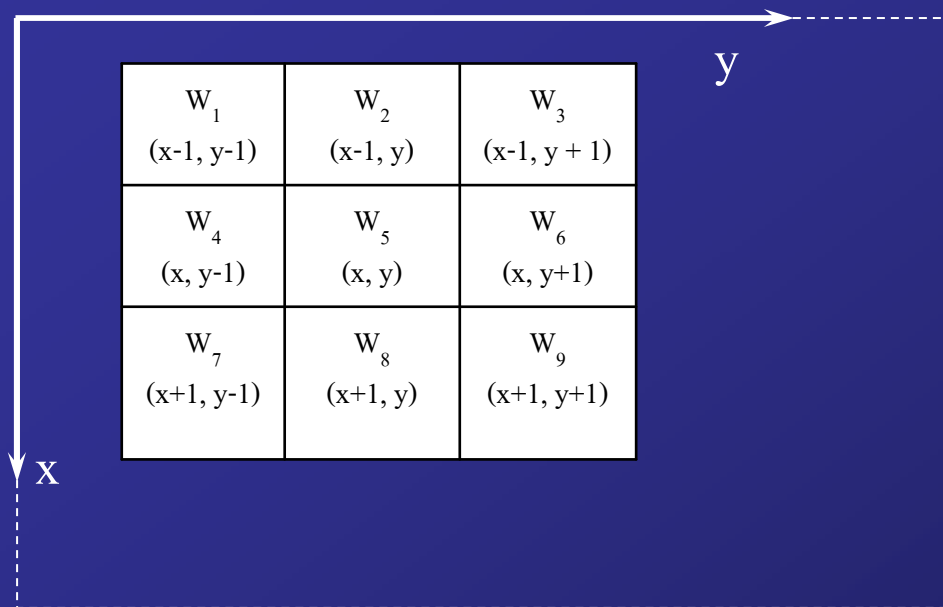
$$f(x, y) * g(x, y)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) g(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta$$



4.1.1 Spatial-domain techniques: Local operation (2)

คอนโวลูชัน (convolution)



- mask จะเคลื่อนไปจุดภาพอื่น โดยจุดกลาง mask จะทับกับจุดภาพที่ต้องการหาค่าใหม่
- เวลาการคำนวณจะเพิ่มตามขนาดของ mask

ค่าระดับเทาใหม่ทีจุด (x, y)

$$\begin{aligned} g(x, y) &= T[f(x, y)] \\ &= W_1 f(x-1, y-1) + W_2 f(x-1, y) + W_3 f(x-1, y+1) \\ &\quad + W_4 f(x, y-1) + W_5 f(x, y) + W_6 f(x, y+1) \\ &\quad + W_7 f(x+1, y-1) + W_8 f(x+1, y) + W_9 f(x+1, y+1) \end{aligned}$$

4.1.1 Spatial-domain techniques: Local operation (3)

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

ค่า $g(x, y)$ เป็นค่าเฉลี่ยของ
จุดภาพ (x, y) และ 8-เพื่อนบ้าน

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

เหมาะใช้กับภาพที่มีความเข้มเท่ากัน แต่
มีจุดที่มีความเข้มต่างออกไปกระจายอยู่

- จุดภาพตามขอบภาพอาจถูกตัดออกเพราะไม่มีจุดภาพเพื่อนบ้าน
-> ภาพผลลัพธ์ขนาดเล็กลง
- บางกรณีอาจม้วนภาพกลับทั้งทาง x และ y เสมือนเป็นภาพแบบ periodic -> ภาพผลลัพธ์ขนาดเท่าเดิม แต่ค่าที่ขอบภาพจะเพี้ยนบ้าง
- บางครั้งเรียก convolution mask เพราะกระบวนการคล้ายการ convolution
- ขนาด mask ไม่ต้องเท่ากับขนาดของภาพ

4.1.2 Frequency-domain methods (1)

หลักพื้นฐานจาก Convolution theorem

$f(x, y)$ ภาพเริ่มต้น , $g(x, y)$ ภาพผลลัพธ์

$h(x, y)$ - position-invariant operator

(ผลการ operation ขึ้นกับค่า $f(x, y)$ ที่จุดนั้น
เท่านั้น ไม่ขึ้นกับตำแหน่ง)

F.T. = Fourier transform, inv F.T. = inverse Fourier transform

Convolution $\Rightarrow g(x, y) = h(x, y) * f(x, y)$

ทฤษฎี Convolution $\Rightarrow G(u, v) = H(u, v) F(u, v)$

(F.T. ของ g) (F.T. ของ h)(F.T. ของ f)

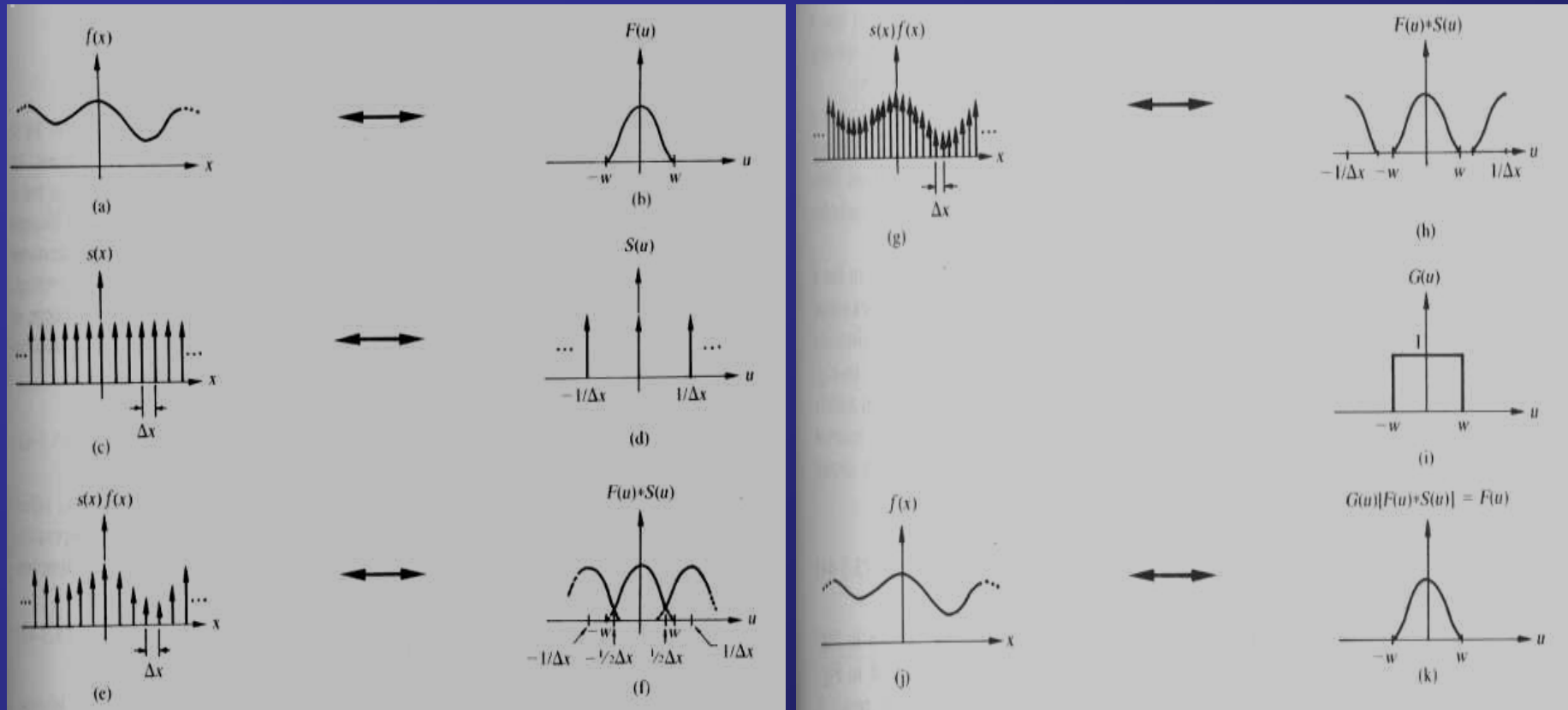
$H(u, v)$ - เรียก Transfer function ของกระบวนการ (หรือเรียก filter)

$\Rightarrow g(x, y) = \text{inv F.T.}[H(u, v) F(u, v)] = h(x, y) * f(x, y)$

4.1.2 Frequency-domain methods (2)

- ถ้า $H(u, v)$ เป็น F.T. ของ Convolution mask $h(x, y)$ ใน spatial-domain method
- $\Rightarrow H(u, v)$ และ $h(x, y)$ ต้องมีขนาดเดียวกัน
 \therefore mask ขนาดใหญ่เท่าภาพ $f(x, y)$
- ในการทำ Fourier Transform ต้องตระหนักถึง Sampling theorem เพื่อลด aliasing effect ซึ่งเป็นผลจาก Sampling rate ($= 1/\Delta x$) ต่ำไป เมื่อเทียบกับความถี่สูงสุด (w) ในข้อมูล (จาก F.T. ของข้อมูล ซึ่งให้ความถี่ในช่วง $[-w, w]$ กรณีฟังก์ชันต่อเนื่อง)
- ถ้า Δx ใหญ่ไป จะเกิดการซ้อนกันของฟังก์ชันใน frequency domain ดังนั้น ต้องเลือก Δx ให้เหมาะสม

4.1.2 Frequency-domain methods (3)

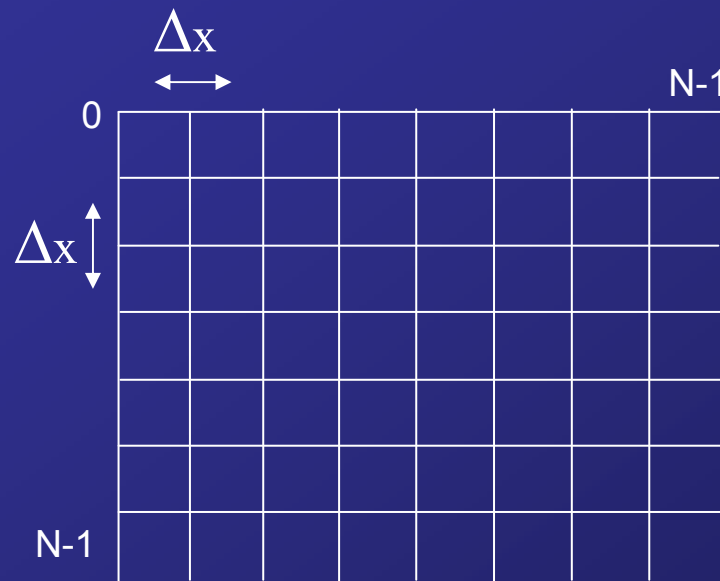


รูปที่ 4.1 การพัฒนาแนวคิดของการสุ่มข้อมูล (sampling)

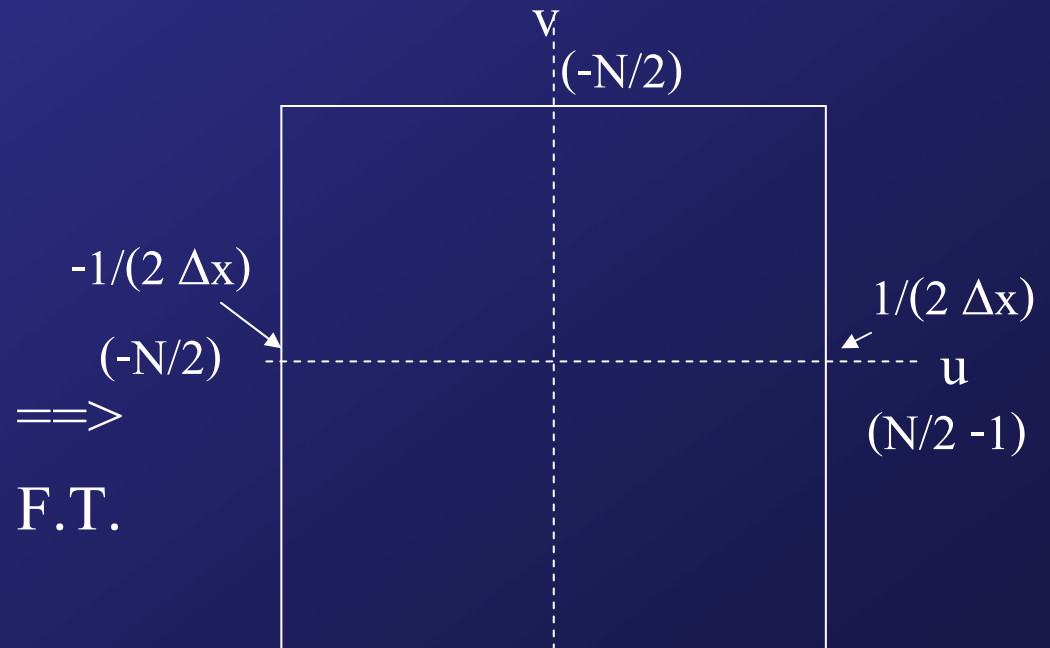
4.1.2 Frequency-domain methods (4)

Sampling theorem

อัตราเร็วหรือความถี่ของการสุ่มข้อมูล ($1/\Delta x$) จะต้องสูงเป็นอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สูงสุด (w) ในข้อมูล $\Rightarrow 1/(2\Delta x) \geq w$ หรือ $\Delta x \leq 1/2w$



$N \times N$ จุดภาพ



$(N/2 - 1)$
 $N \times N$ จุดภาพ

(หลัง phase switching)

4.2 Point Operation Image Enhancement (1)

(Spatial domain)

บางครั้งเรียก gray scale modification, gray scale mapping
เป็นการเปลี่ยนค่า gray scale ของจุดภาพแบบจุดต่อจุดโดยใช้
transformation function

$$s = T(r) \quad (1)$$

เมื่อ r, s คือ ค่า gray scale ก่อนและหลังการปรับของจุดภาพ (x, y)

T คือ transformation function หรือ mapping

L คือ จำนวนระดับเทาในภาพ (ระดับเทา $k = 0, \dots, L-1$)

หลักการ เพื่อความสะดวกให้ค่า r normalized อยู่ในช่วง $[0, 1]$

$$\nearrow 0 \leq r \leq 1 \nwarrow \text{(โดยที่ } r = k/(L-1)) \quad (2)$$

ดำ / มืดสุด ขาว / สว่างสุด

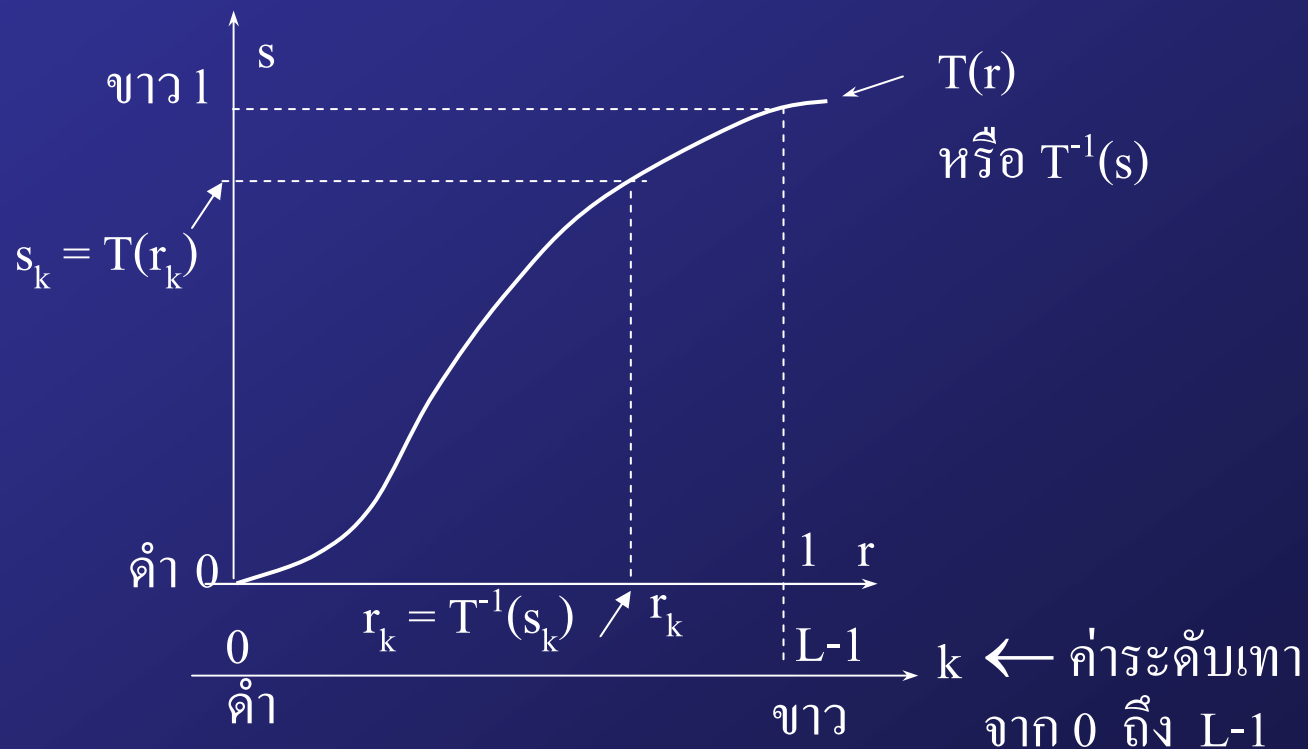
4.2 Point Operation Image Enhancement (2)

เงื่อนไขของ $T(r)$ คือ

ก) $T(r)$ ต้องเป็นค่าเดียวและเพิ่มขึ้นทางเดียวในช่วง $0 \leq r \leq 1$

ข) $0 \leq T(r) \leq 1$ สำหรับ $0 \leq r \leq 1 \Rightarrow 0 \leq s \leq 1$

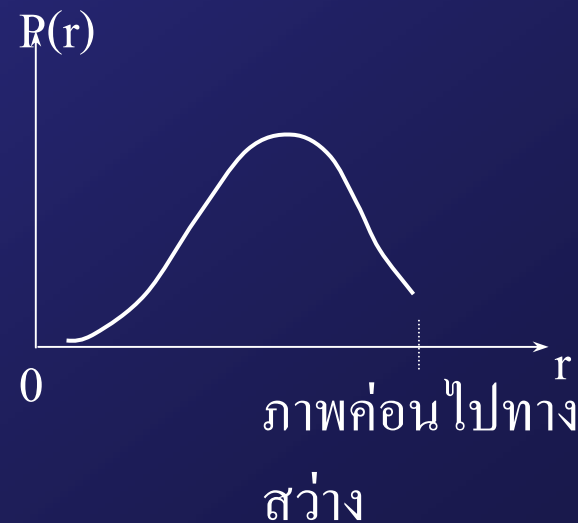
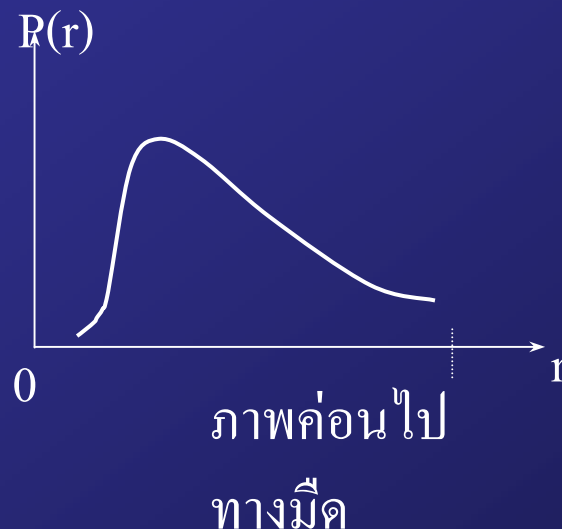
Inverse transform หา $r = T^{-1}(s)$



4.2 Point Operation Image Enhancement (3)

การกระจายความเข้มของจุดภาพ, Probability density
และ histogram

การกระจายความเข้มของภาพ โดยคำนวณจากความหนาแน่นของ
จุดภาพที่มีระดับเทาเท่ากัน ซึ่งจะให้ density function หรือ
probability density function $p(r)$ ของค่าระดับเทา



4.2 Point Operation Image Enhancement (4)

ในกรณีภาพดิจิทัล $p(r)$ จะไม่ต่อเนื่อง นิยมเรียก histogram และหาจากจำนวนจุดภาพที่มีระดับเทา r_k จะได้ normalized histogram หรือ probability-density function เป็น

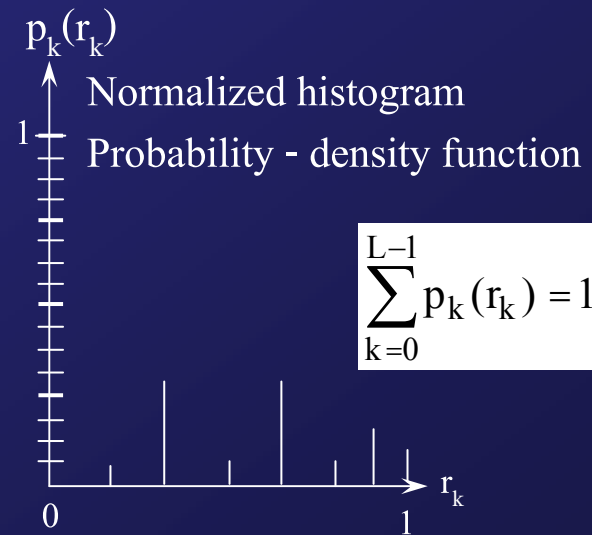
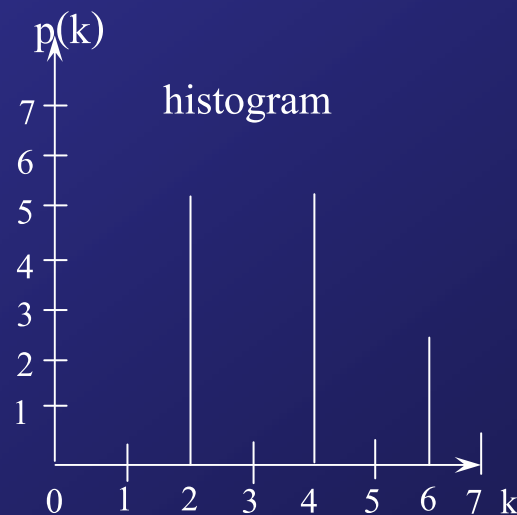
$$p_k(r_k) = n_k/n \quad \text{โดยที่} \quad (4)$$

เมื่อ n_k คือ จำนวนจุดภาพที่มีระดับเทา r_k ,

n คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด $0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, \dots, L-1$

$f(x, y)$

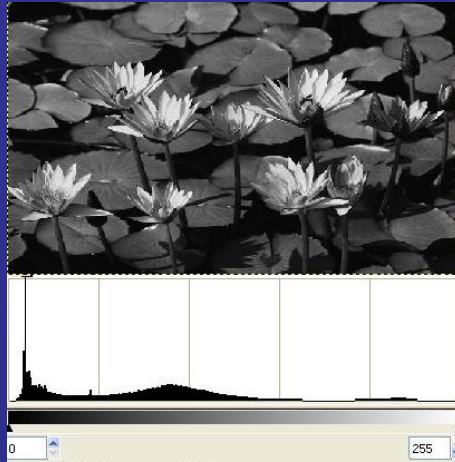
2	2	4	4
0	2	4	6
0	2	4	6
0	2	4	6



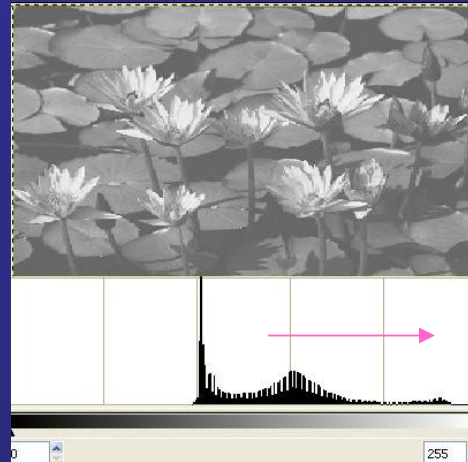
4.2.1 Global Enhancement (1)

การปรับค่าระดับเทาโดยพิจารณา density function ของทั้งภาพ

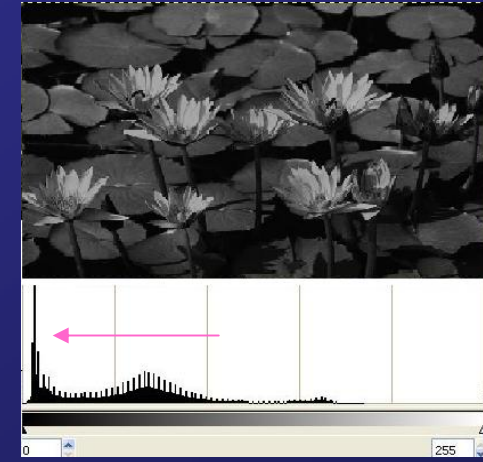
1. ปรับ
brightness
& contrast



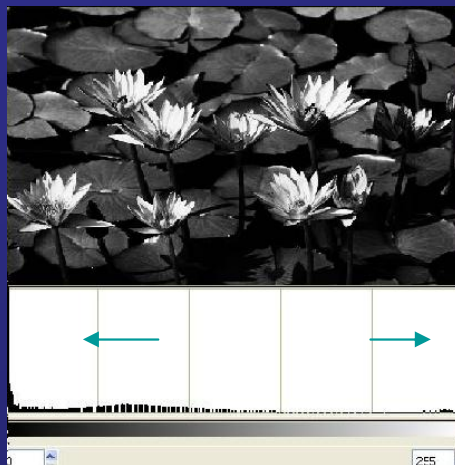
ภาพเริ่มต้น



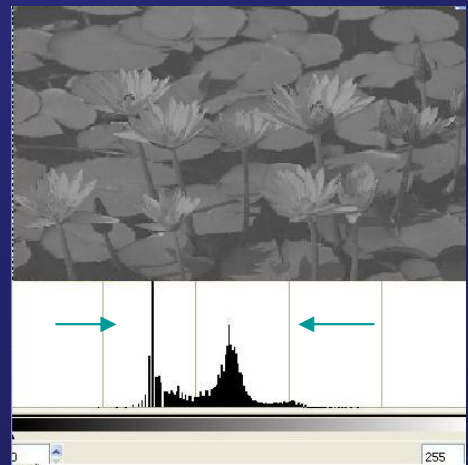
เพิ่มความสว่าง



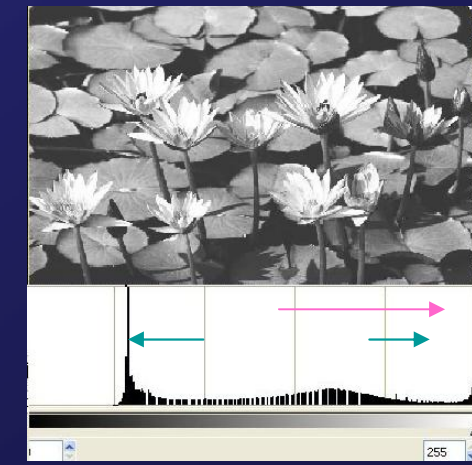
ลดความสว่าง



เพิ่มความแตกต่าง



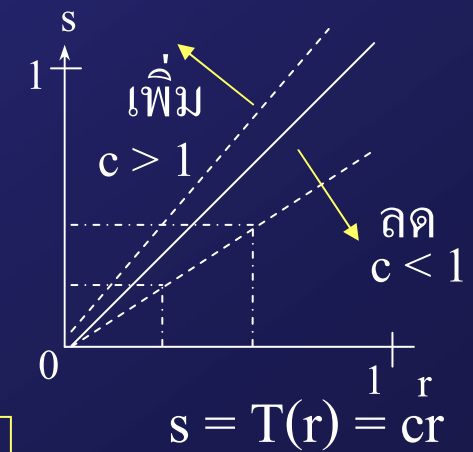
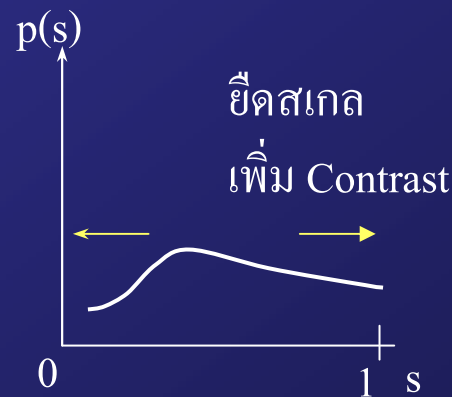
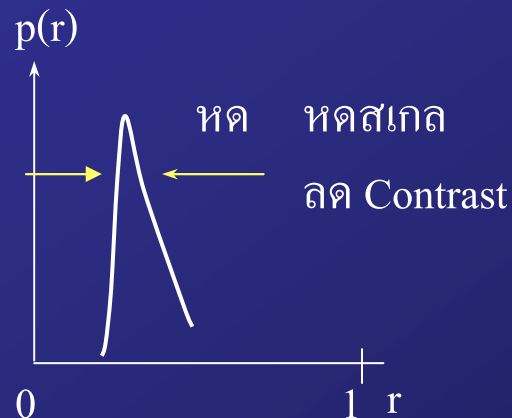
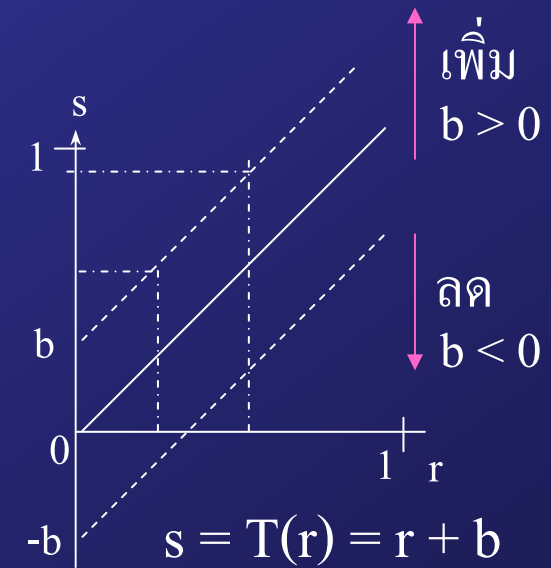
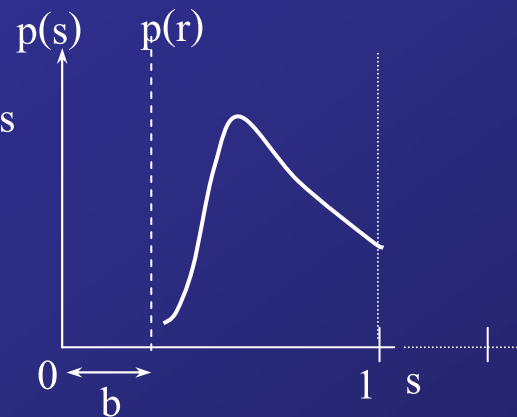
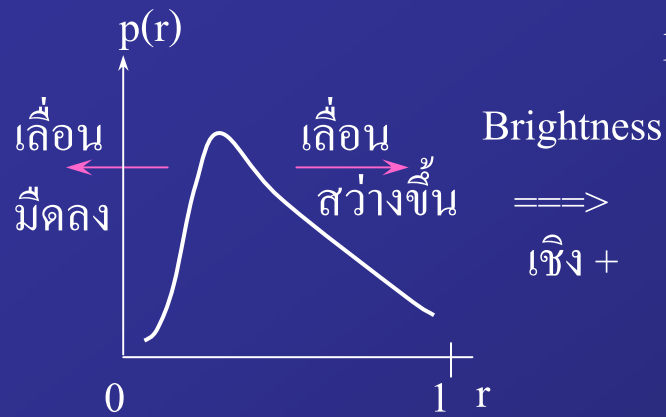
ลดความแตกต่าง



เพิ่มความสว่างและความแตกต่าง

4.2.1 Global Enhancement (2)

1. ปรับ brightness & contrast (2)



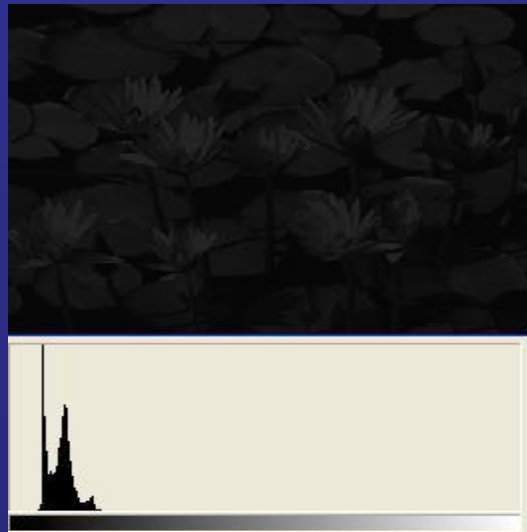
สมการปรับ brightness & contrast

$$s = T(r) = cr + b$$

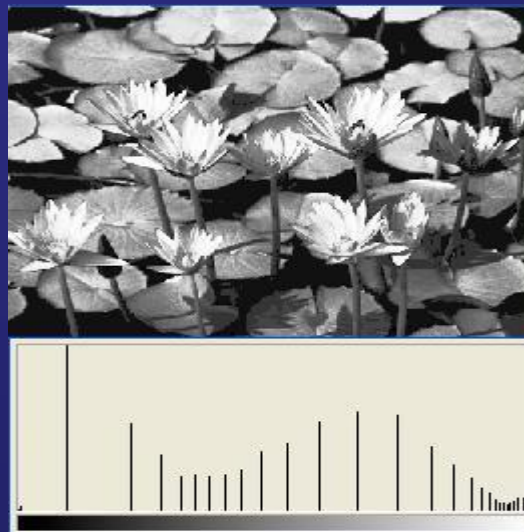
4.2.1 Global Enhancement (3)

2. Histogram equalization (1)

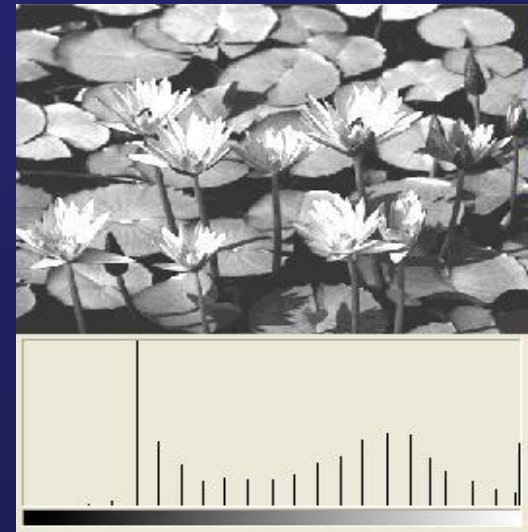
เป็นการปรับ histogram เพื่อให้เห็นรายละเอียดในภาพชัดเจนมีความแตกต่างมากขึ้น โดยทำให้การกระจาย probability density ครอบคลุมทั้งช่วงระดับเทาประมาณเท่าๆ กัน เหมาะกับภาพที่มีความแตกต่าง แต่มีความสว่างน้อย



ภาพเริ่มต้น



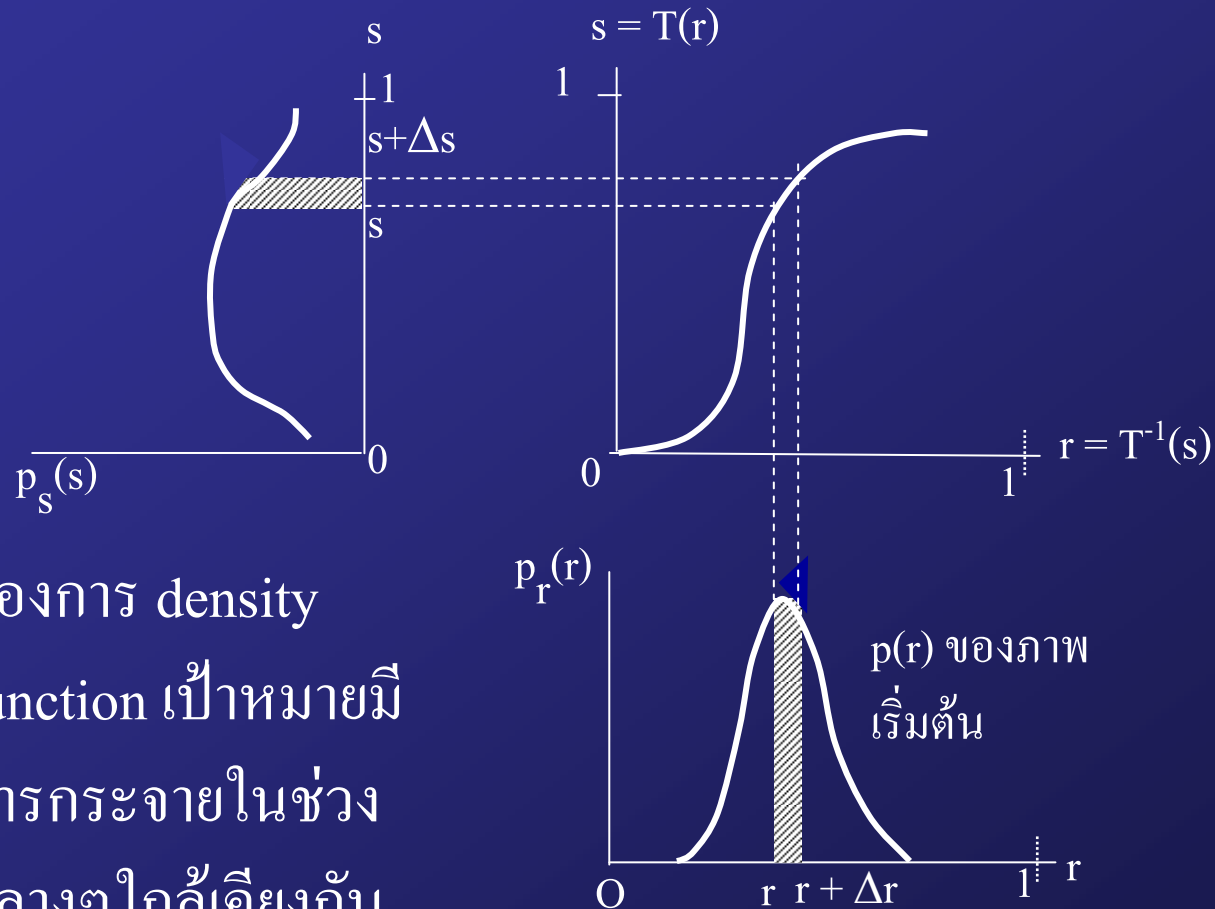
หลัง equalization



ปรับ brightness & contrast

4.2.1 Global Enhancement (4)

2. Histogram equalization: หลักการ



ต้องการ density
function เป้าหมายมี
การกระจายในช่วง
กลางๆ ใกล้เคียงกัน

4.2.1 Global Enhancement (5)

2. Histogram equalization: หลักการ (ต่อ)

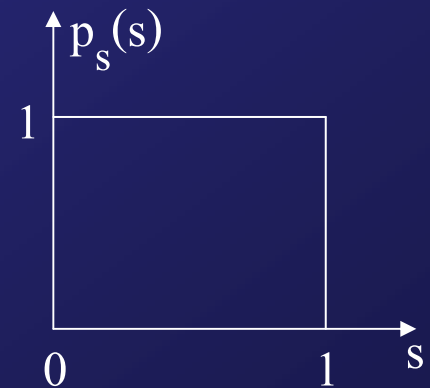
เพื่อกงความหนาแน่นของจุดภาพในช่วงระดับเทาเล็กๆ

$$p_r(r)\Delta r = p_s(s)\Delta s \Rightarrow p_s(s) = p_r(r)(\Delta r/\Delta s)$$

$$\Delta r, \Delta s \rightarrow 0 \quad p_s(s) = \left[p_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T^{-1}(s)}$$

$$s = T(r) \quad \therefore \quad ds/dr = T'(r) \Rightarrow dr/ds = 1/T'(r)$$

$$p_s(s) = \left[p_r(r) \frac{1}{T'(r)} \right]_{r=T^{-1}(s)}$$



กรณี histogram equalization ต้องการให้ density function เท่ากันหมดตลอดช่วงระดับเทา

$$p_s(s) = [p_r(r)/T'(r)] = 1 \Rightarrow T'(r) = p_r(r) \Rightarrow s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw$$

4.2.1 Global Enhancement (6)

2. Histogram equalization: หลักการ (ต่อ)

ในทางปฏิบัติ

$$p_r(r_k) = n_k/n ; 0 \leq r_k \leq 1$$

$$k = 0, 1, \dots, L-1 \text{ (L ระดับเทา)}$$

n_k = จำนวนจุดภาพที่มีค่า r_k

n = จำนวนจุดภาพทั้งหมด

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$0 \leq r_k \leq 1$$

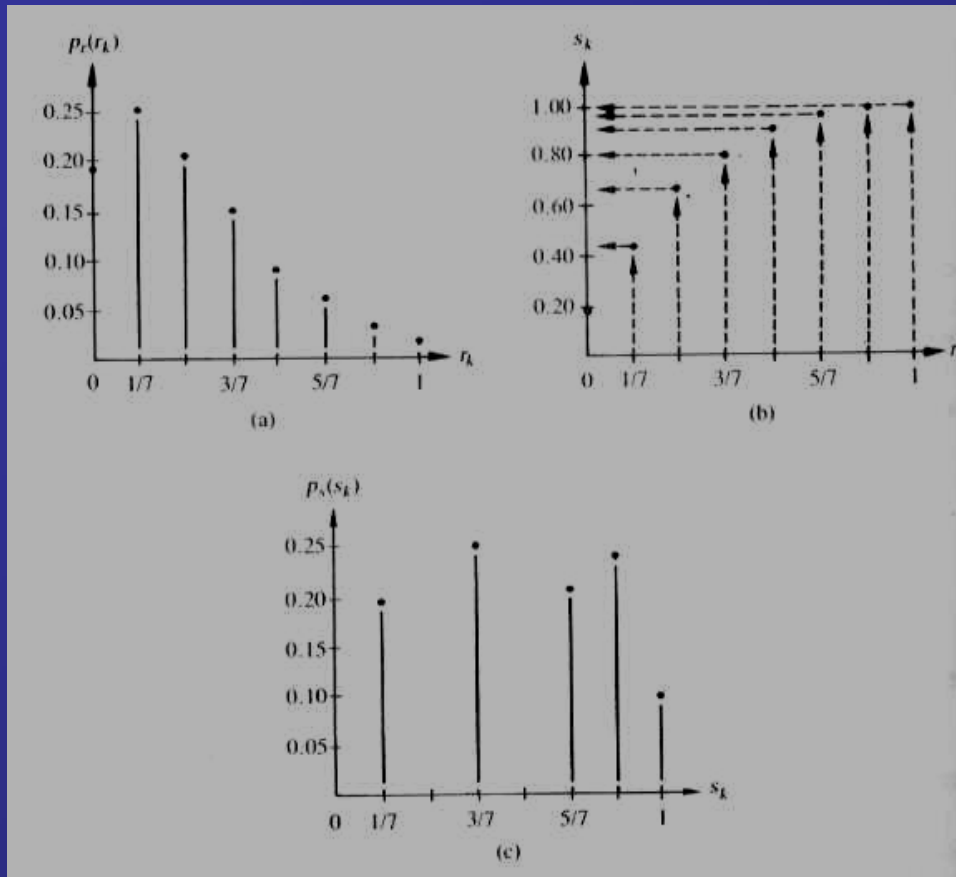
$$k = 0, 1, \dots, L-1$$

Inverse transform $r_k = T^{-1}(s_k)$

$$0 \leq s_k \leq 1$$

4.2.1 Global Enhancement (7)

2. Histogram equalization: หลักการ (ต่อ)



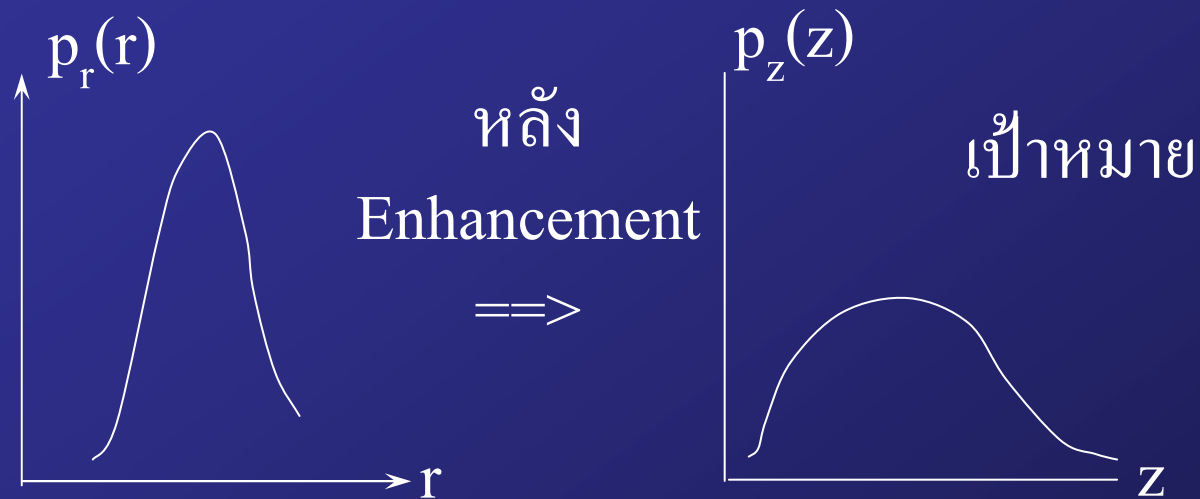
r_k	$p_r(r_k)$	s_k	s_k	$p_s(s_k)$
0.00	0.19	0.19	1/7	0.19
0.14	0.25	0.44	3/7	0.25
0.29	0.21	0.65	5/7	0.21
0.43	0.15	0.80	6/7	
0.57	0.09	0.89	6/7	0.24
0.71	0.07	0.96	1	
0.86	0.03	0.99	1	
1.00	0.01	1.00	1	0.11

ตัวอย่างการคำนวณ Histogram equalization (a) Histogram เริ่มต้น

(b) Transformation function (c) Equalized histogram

4.2.1 Global Enhancement (8)

3. Direct Histogram Specification: หลักการ
กรณีที่กำหนดลักษณะ histogram เป้าหมาย



วิธีทำ ทำเป็นขั้นตอน เริ่มจากแนวคิดของ histogram equalization

4.2.1 Global Enhancement (9)

3. Direct Histogram Specification: หลักการ (ต่อ)

จาก $s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw$ และให้ $v = G(z) = \int_0^z p_z(w) dw$

โดยที่ $r = T^{-1}(s)$ และ $z = G^{-1}(v)$

ต้องการหา transform function ระหว่าง r กับ z

ถ้าให้ $s = v$ จะได้ $z = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)]$

(ถ้า $G^{-1}[T(r)] = T(r) \Rightarrow$ Histogram equalization เพราะ $z = s$)

ในทางปฏิบัติ

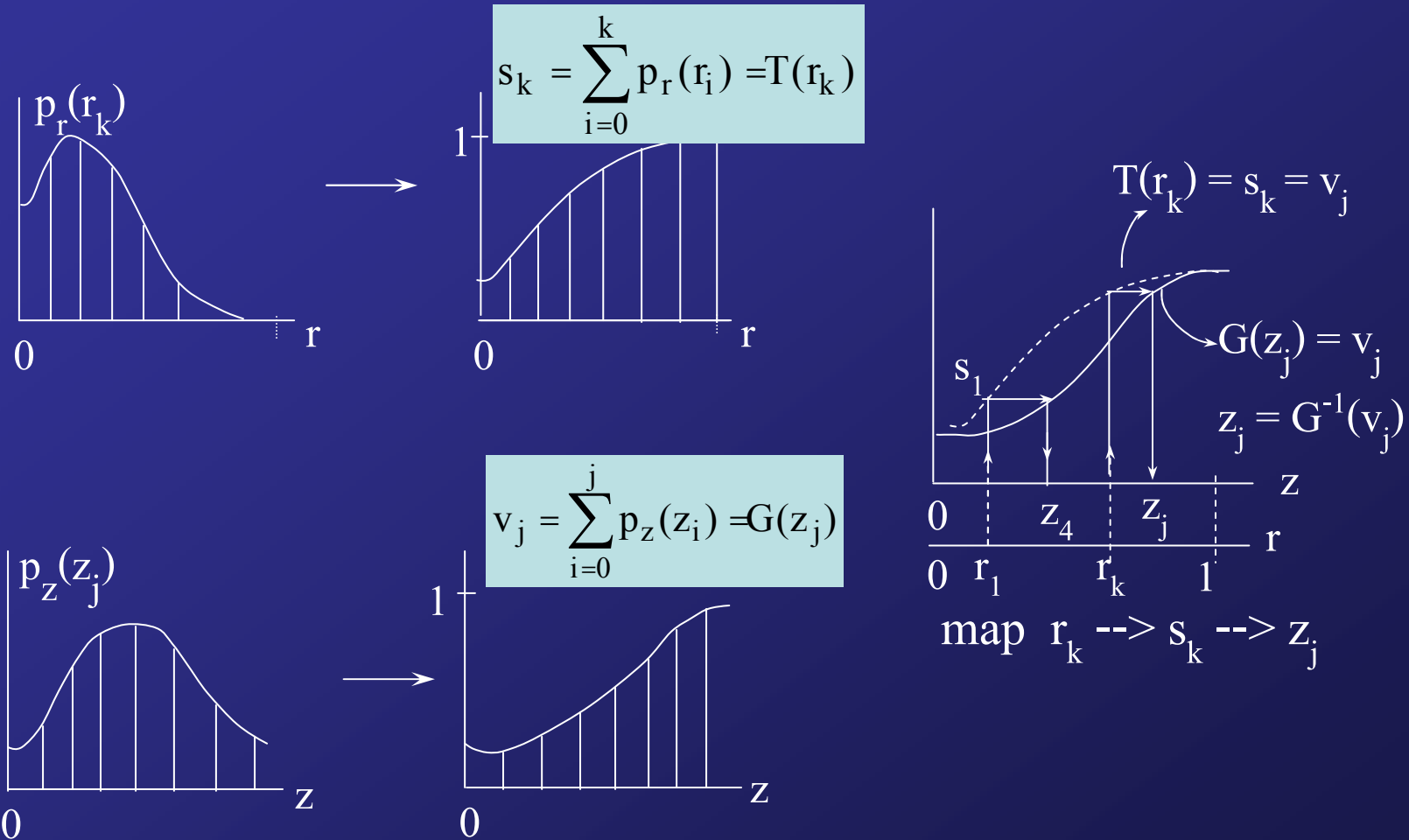
จาก $p_r(r_k)$ หา $T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = s_k$

จาก $p_z(z_k)$ หา $G(z_k) = \sum_{j=0}^k p_z(z_j) = v_k$

แล้วหา $z_k = G^{-1}[s_k]$

4.2.1 Global Enhancement (10)

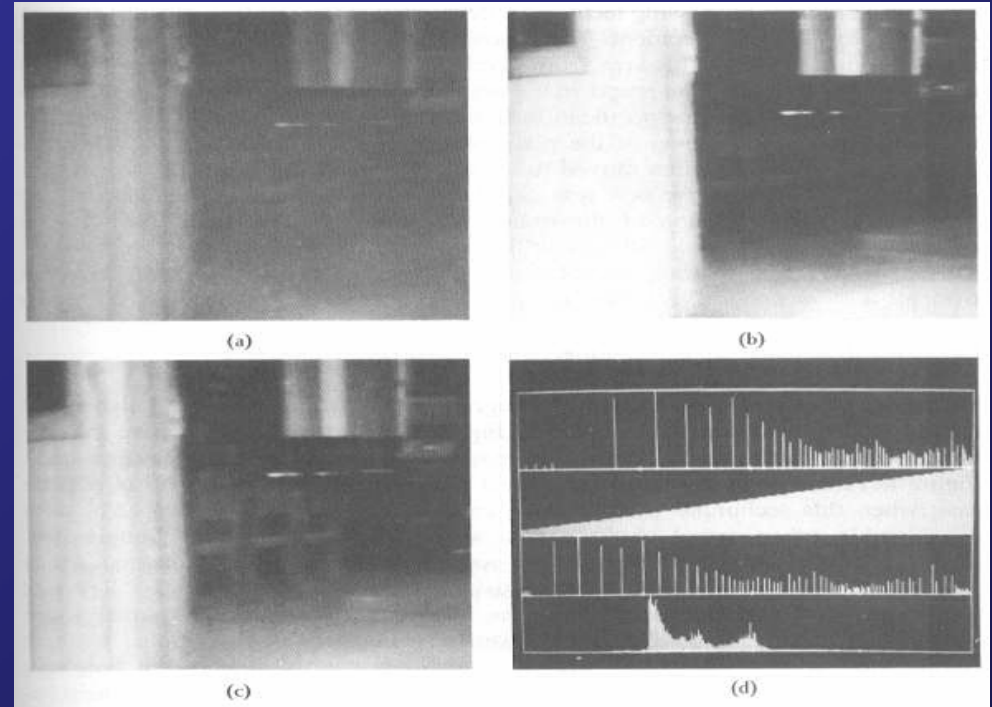
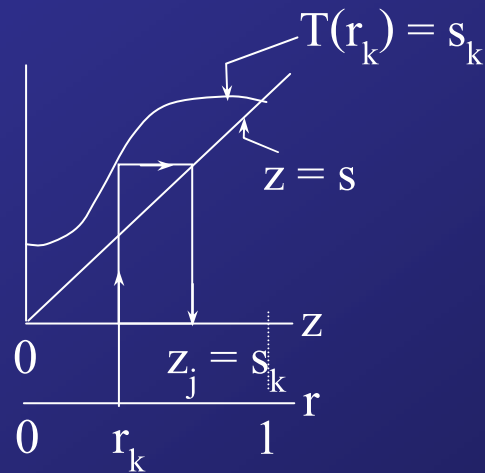
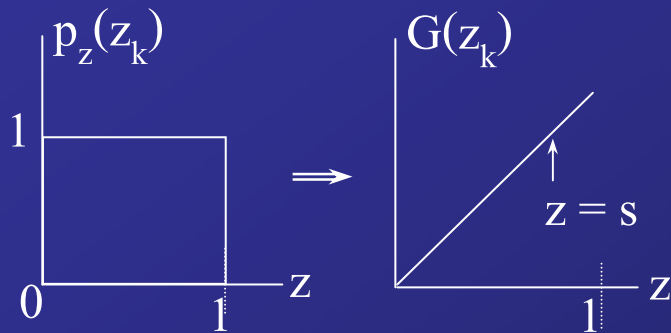
3. Direct Histogram Specification: หลักการ (ต่อ)



4.2.1 Global Enhancement (11)

3. Direct Histogram Specification: หลักการ (ต่อ)

กรณี histogram equalization



ตัวอย่างการใช้ Histogram specification

(a) ภาพเริ่มต้น (b) ใช้ histogram equalization (c) ใช้ histogram specification (d) Histograms (จากล่าง (a) – (c))

4.2.2 Local Enhancement (1)

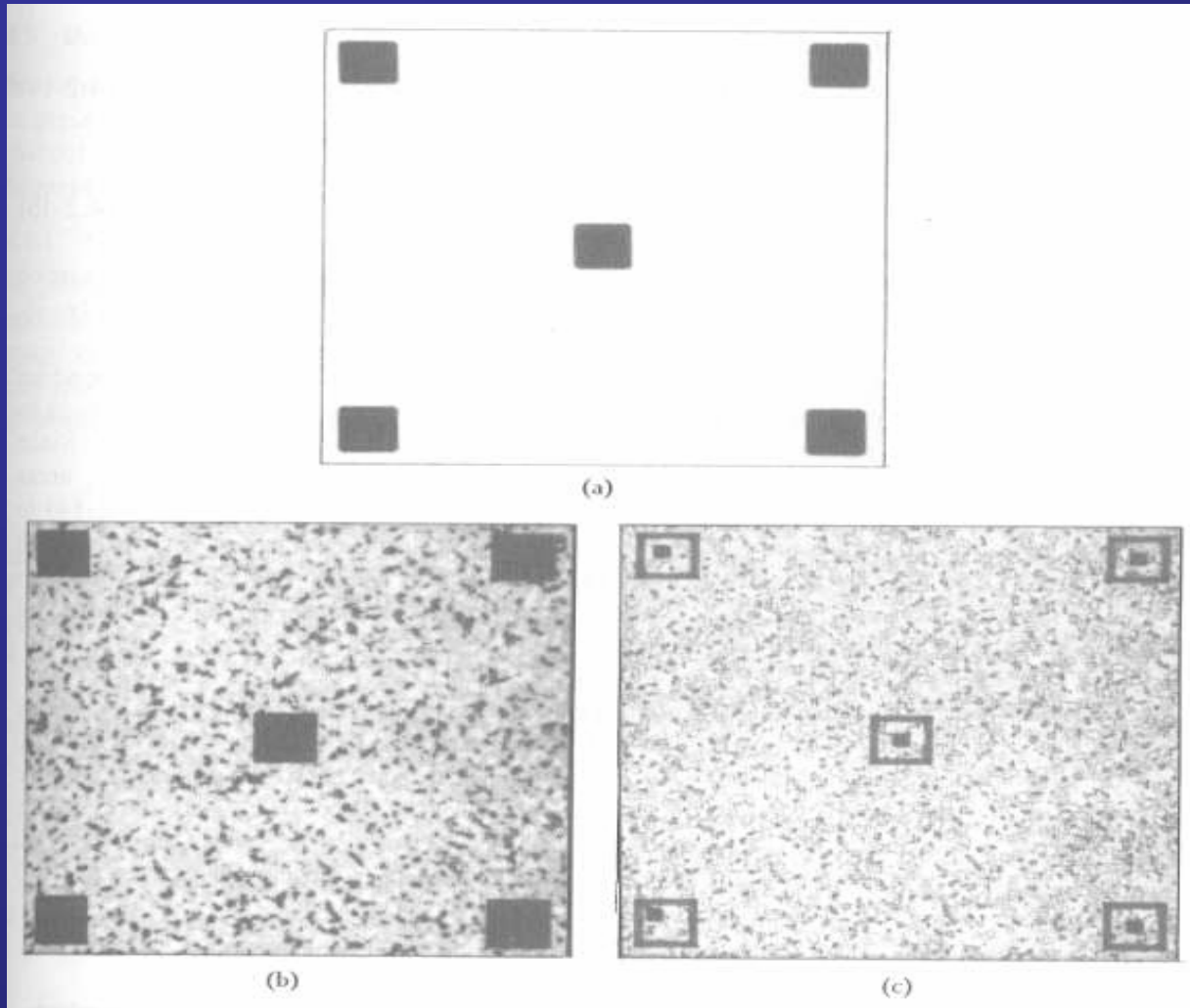
1. Local histogram modification

ในกรณีที่ต้องการรายละเอียดมากขึ้น ผลของจุดภาพที่อยู่ห่างไกลจากจุดภาพที่พิจารณาจะมีไม่มากนัก ใน local enhancement จะพิจารณา histogram ภายในบริเวณเพื่อนบ้านรอบจุดภาพที่พิจารณาเช่น $n \times m$ แล้วใช้วิธี histogram equalization หรือ histogram specification เฉพาะภายในบริเวณ $n \times m$ รอบจุดภาพนั้น และขยับบริเวณไปคิดที่จุดภาพอื่น

ดูตัวอย่างจาก Gonzalez ใช้ 7×7 neighbourhood

4.2.2 Local Enhancement (2)

1. Local histogram modification (ต่อ)



รูปที่ (a) ภาพเริ่มต้น
(b) ผลของ global
histogram equalization
(c) ผลของ local
histogram equalization
ใช้ 7 x7 neighbourhood
รอบแต่ละจุดภาพ

4.2.2 Local Enhancement (3)

2. Local Enhancement โดยใช้ค่า mean และ variance

ไม่ใช้ histogram แต่พิจารณาค่าความเข้มเฉลี่ยและ variance (σ)
ภายในบริเวณ $n \times m$ เพื่อนบ้าน

mean \rightarrow average brightness, variance \rightarrow contrast

$$g(x,y) = T[f(x,y)] = A(x,y)[f(x,y) - m(x,y)] + m(x,y)$$

โดยที่

$$A(x,y) = kM/\sigma(x,y), \quad 0 < k < 1$$

$m(x,y)$ = local mean ของระดับเทา

M = global mean ของ $f(x,y)$

$\sigma(x,y)$ = ค่า standard deviation ของ
ความเข้มภายใน $n \times m$ เพื่อนบ้าน

k = ค่าคงที่ $0 < k < 1$

$A(x,y)$ = local gain factor อาจกำหนด

ช่วง $[A_{min}, A_{max}]$

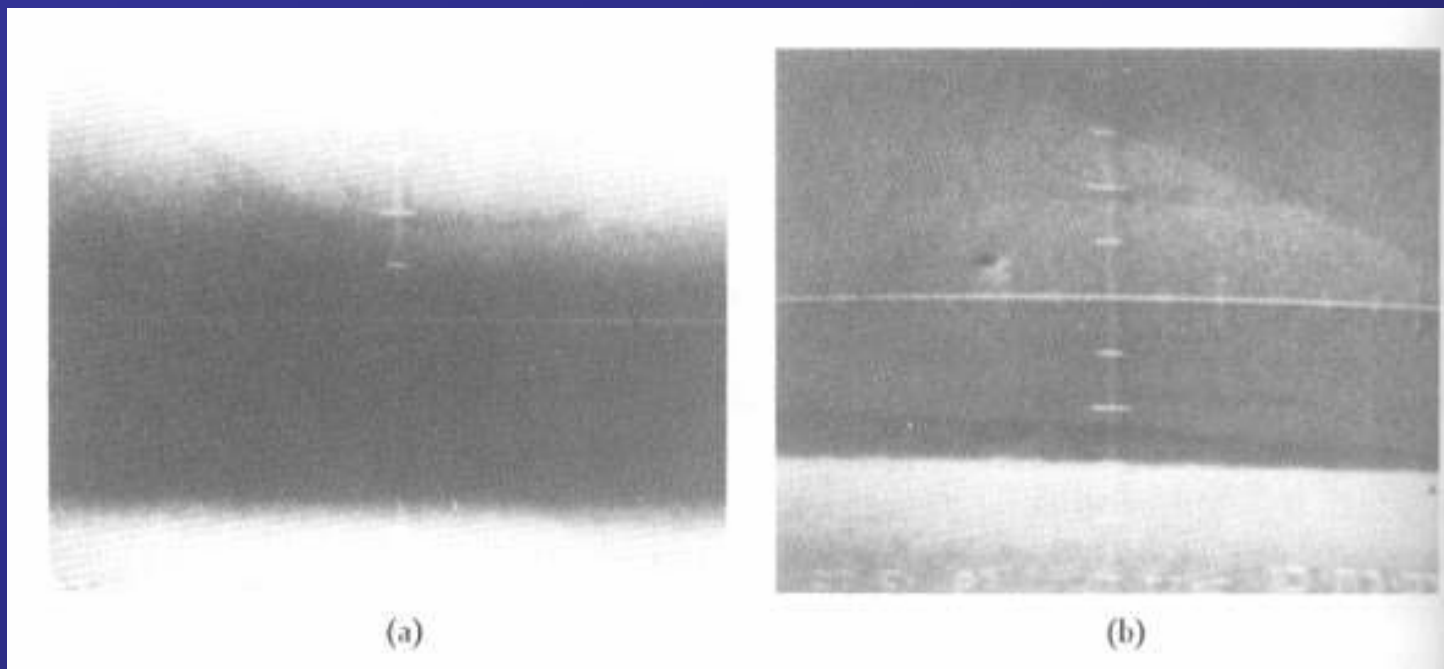
A , m & σ ขึ้นกับเพื่อนบ้านของจุด (x, y)

$A(x,y)$ แปรผกผันกับ σ ของความเข้ม

\Rightarrow ขยายบริเวณที่มี contrast ต่ำ

4.2.2 Local Enhancement (4)

2. Local Enhancement โดยใช้ค่า mean และ variance (ต่อ)



รูปที่ (a) ภาพก่อน และ (b) หลังการปรับด้วย local enhancement โดยใช้ mean & variance ในบริเวณ 15×15 จุด เพื่อนำมา ให้สังเกตรายละเอียดที่รอยต่อระหว่างสองบริเวณ