บทที่ 2

การประมวลผลภาพไบนารี่

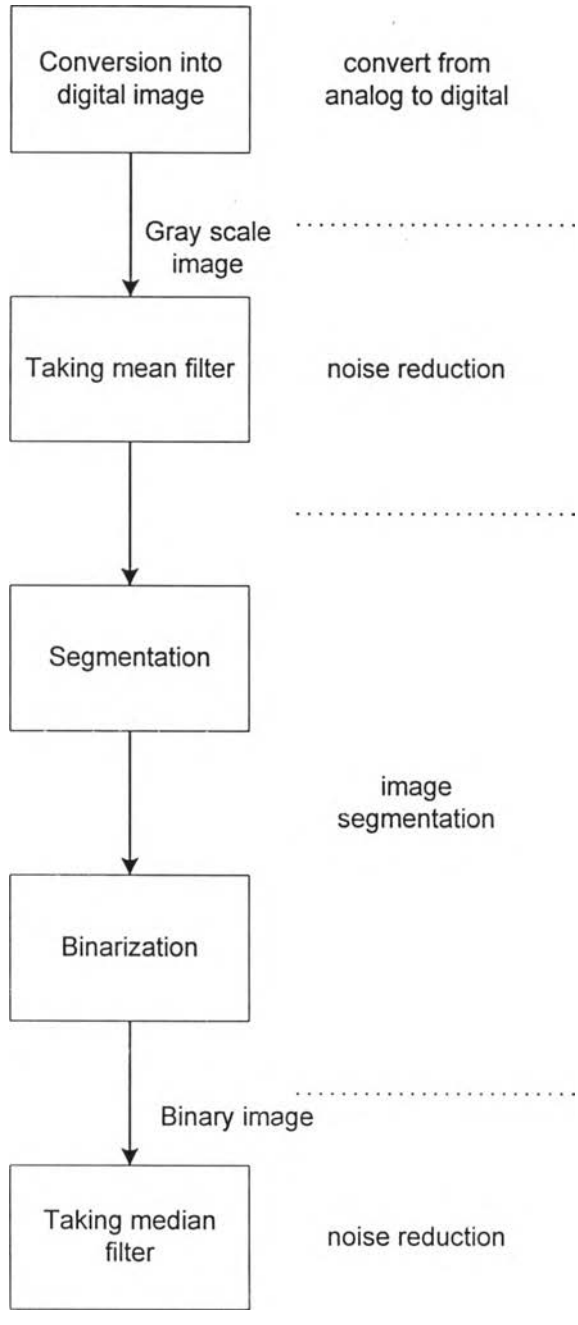
ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการประมวลผลภาพซึ่งเป็นพื้นฐานที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ ซึ่งในปัจจุบันนี้การประมวลผลภาพดิจิตอล (digital image processing) ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในด้านการวิเคราะห์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านการแพทย์, การพยากรณ์อากาศ, การทหาร และอื่นๆ การวิเคราะห์ในแต่ละด้านก็จะมีวิธีที่แตกต่างกันออกไปตามงานที่ใช้และผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น ในการประมวลผลภาพ ถ้าเราต้องการให้เห็นโครงร่างของภาพได้ชัดเจน เราก็ควรที่จะทำให้ขอบของภาพชัดเจนยิ่งขึ้น เป็นต้น

จากรูปที่ 2-1 งานวิทยานิพนธ์นี้เริ่มตั้งแต่การที่กล้อง CCD จับภาพซึ่งสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องเป็นสัญญาณอนาลอก ดังนั้นก่อนที่จะนำสัญญาณนี้ไปผ่านขบวนการโดยคอมพิวเตอร์นั้นต้องทำการแปลงให้เป็นภาพดิจิตอลก่อน ขั้นตอนการแปลงให้เป็นภาพดิจิตอลกล่าวในหัวข้อที่ 2.1

2.1 การแปลงให้เป็นภาพดิจิตอล

โดยทั่วไปภาพดิจิตอลจะหมายถึงฟังก์ชั่น $I(x,y)$ ซึ่งจะมีค่าเป็นแบบดีสครีต (discrete) ทั้งพิกัดและความสว่าง เราสามารถพิจารณาภาพดิจิตอลเสมือนกับเมตริกซ์ซึ่งแถวและหลักจะระบุถึงพิกัดของภาพกับค่าสมาชิกของเมตริกซ์ที่สอดคล้องกันกับระดับเทา (gray scale) ที่จุดนั้น

ภาพที่นำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์จะถูกแทนด้วยตัวเลขที่อยู่ในรูปเมตริกซ์ แต่ภาพที่ได้จากกล้องจะอยู่ในรูปของฟังก์ชั่น $f(x,y)$ ที่ต่อเนื่องในระนาบสองมิติ ดังนั้นภาพดิจิตอลจึงได้จากการแปลงฟังก์ชั่น $f(x,y)$ ที่ต่อเนื่อง ให้เป็นฟังก์ชั่นไม่ต่อเนื่อง $I(x,y)$ โดยการควอนไตซ์ (quantized) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือค่าความเข้มของจุดภาพ (pixel) ที่มีอยู่ n ระดับซึ่งสอดคล้องกับระดับความละเอียดของภาพดิจิตอล รวมทั้งค่าพิกัด x,y โดยค่าเหล่านี้จะเป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ



รูปที่ 2-1 ขั้นตอนการแปลงเป็นภาพไบนารี่

การแปลงให้เป็นภาพดิจิตอลประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.1.1 แบบจำลองภาพ

คำว่า ภาพ (image) จะอ้างถึงฟังก์ชั่นของความเข้มแสงที่กำหนดโดย *I(x,y)* เมื่อค่าแอมปลิจูดของฟังก์ชั่น *I* ที่โคออดิเนต *(x,y)* ที่จุดนั้นๆจะมีค่าอยู่ระหว่าง ศูนย์และอนันต์ดังสมการที่ 2.1

$$0 \le f(x,y) < \infty \qquad (2.1)$$

ภาพที่มองเห็นโดยทั่วไปประกอบด้วยแสงสะท้อนจากวัตถุ โดยธรรมชาติแล้ว *f(x,y)* จะถูกกำหนดคุณสมบัติจากองค์ประกอบ 2 ประการคือ อย่างแรกได้แก่ปริมาณของแสงที่แพร่มาจากวัตถุและอีกอย่างคือปริมาณแสงสะท้อนออกจากวัตถุซึ่งจะเรียกว่า การส่องสว่าง (illumination) และ การสะท้อน (reflectance) เขียนแทนด้วย *i(x,y)* และ *r(x,y)* ตามลำดับและผลคูณของฟังก์ชั่นทั้งสองจะได้เป็น *f(x,y)* ดังสมการที่ 2.2

$$f(x,y) = i(x,y) * r(x,y) \qquad (2.2)$$

2.1.2 การชักตัวอย่างและการควอนไตซ์เซชั่น

ในการที่จะให้ภาพอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชั่นภาพ *f(x,y)* จะต้องแปลงเป็นดิจิตอล ทั้งทางพิกัดและแอมปลิจูด การทำให้เป็นดิจิตอลของทางพิกัด *(x,y)* เรียกว่า การชักตัวอย่างภาพ (image sampling) ในขณะที่การทำให้เป็นดิจิตอลในแง่ของแอมปลิจูด เรียกว่า gray-level quantization

สมมติว่าภาพต่อเนื่อง *f(x,y)* ถูกประมาณค่าให้เป็นปริมาณดีสครีตด้วยเมตริกซ์ขนาด *N*M* มิติดังสมการที่ 2.3

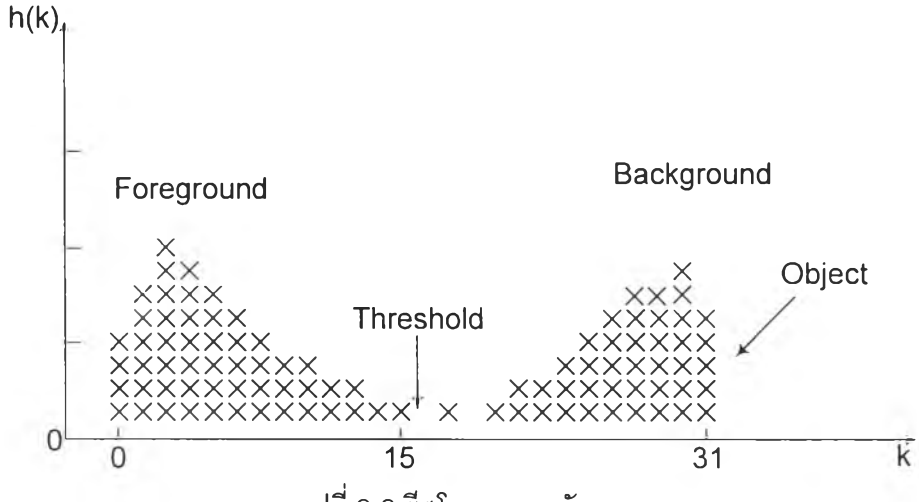
$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & . & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & . & f(1,M-1) \\ . & . & . & . \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & . & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) ทางด้านขวามือเรียกว่า ภาพดิจิตอล ในขณะที่แต่ละสมาชิกของเมตริกซ์จะเรียกว่า Image element, Picture element, pixel หรือ pel

2.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน

หลังจากที่ได้ภาพดิจิตอลซึ่งผ่านขบวนการการชักตัวอย่างและการควอนไตซ์เซชั่นแล้ว โดยปกติภาพดิจิตอลที่ได้มักมีสัญญาณรบกวนประกอบด้วย ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปจึงต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อน

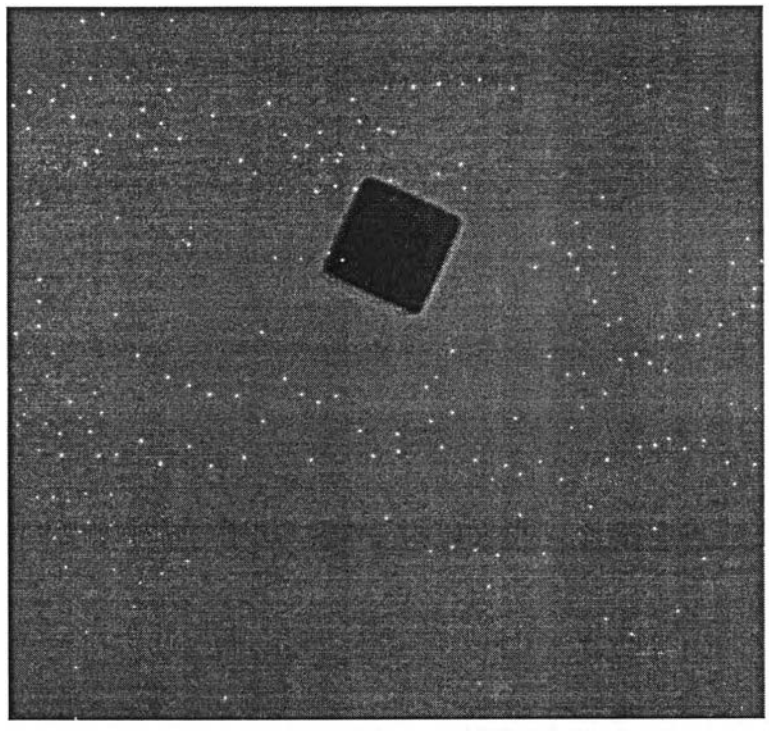
พิจารณาภาพดิจิตอลตัวอย่างและสมมติว่าใช้ n บิท แทนแต่ละจุดของภาพระดับเทา ดังนั้นความเข้มของภาพระดับเทาจะมีช่วงอยู่ระหว่าง *0* ถึง (2^n-1) และให้ *h(k)* แทนจำนวนของพิกเซลที่ระดับความเข้ม *k* และถ้าเราพล็อต กราฟระหว่าง *h(k)* กับ *k* ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่า ฮีสโตแกรมระดับเทา (gray scale histogram) ดังรูปที่ 2-2 ในกรณีนี้ให้ *k=5*



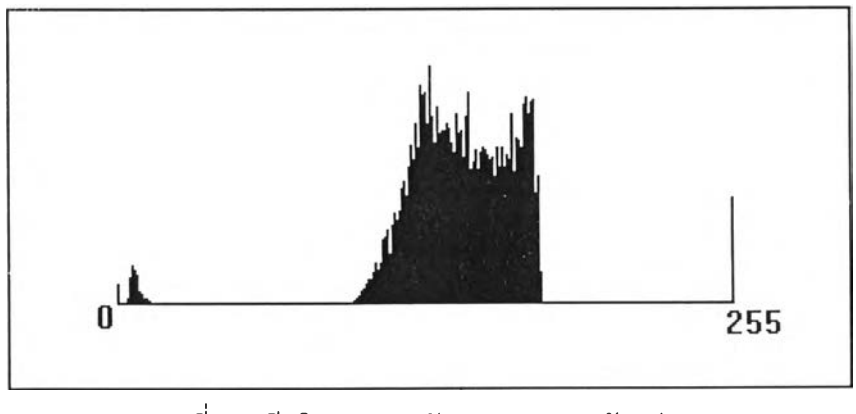
รูปที่ 2-2 ฮีสโตแกรมระดับเทา

จากรูปที่ 2-2 ฮีสโตแกรมที่ได้สามารถประมาณค่าการกระจายแบบสองยอด (bimodal distribution) โดยที่ยอดแรกเป็นฉาก (background) ขณะที่ยอดที่สองแสดงส่วนของวัตถุ (foreground) มีบางพิกเซลซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวน (noise) เนื่องจากเงาและความไม่เสมอกันของสีของวัตถุและฉาก

ตัวอย่างภาพดิจิตอลที่ได้จากกล้องและอีสโตแกรมระดับเทา แสดงดังรูปที่ 2-3 และรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-3 ตัวอย่างภาพระดับเทาที่ได้จากกล้อง CCD



รูปที่ 2-4 ฮีสโตแกรมระดับเทาของภาพตัวอย่าง

โดยปกติภาพระดับเทาที่ได้มาจะมีสัญญาณรบกวนประกอบ เนื่องจากหลายสาเหตุเช่นเครื่องมือที่ใช้, แหล่งกำเนิดแสง เป็นต้น เทคนิคในการช่วยลดสัญญาณรบกวนเหล่านั้น อาศัยหลักการที่ว่าจุดใดๆ ในภาพจะต้องมีระดับความสว่างสัมพันธ์กับบริเวณรอบๆ (neighboring point) จึงทำการลดสัญญาณรบกวนได้โดยอาศัยตัวกรอง (filtering) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการคอนโวลูชั่น (convolution) ของภาพกับตัวกรอง แสดงดังสมการที่ (2.4) และรูปที่ 2-5

$$g(i,j) = f(i,j) * h(m,n) = \sum_{m}\sum_{n} f(i-m, j-n)h(m,n) \qquad (2.4)$$

โดยที่ *g(i,j)* คือ เอาท์พุทที่ได้ที่จุด *(i,j)* หลังจากผ่านตัวกรอง
f(i,j) คือ อินพุทภาพที่จุด *(i,j)*
h(m,n) คือ ตัวกรองที่มีขนาด *m*n* พิกเซลและมีจุดกำเนิดที่ *(0,0)*

ตัวกรองที่เลือกกับภาพดิจิตอลนี้คือ ตัวกรองเฉลี่ย (mean filter) ที่มีขนาด 3*3 พิกเซล

- <u>ตัวกรองเฉลี่ย</u>

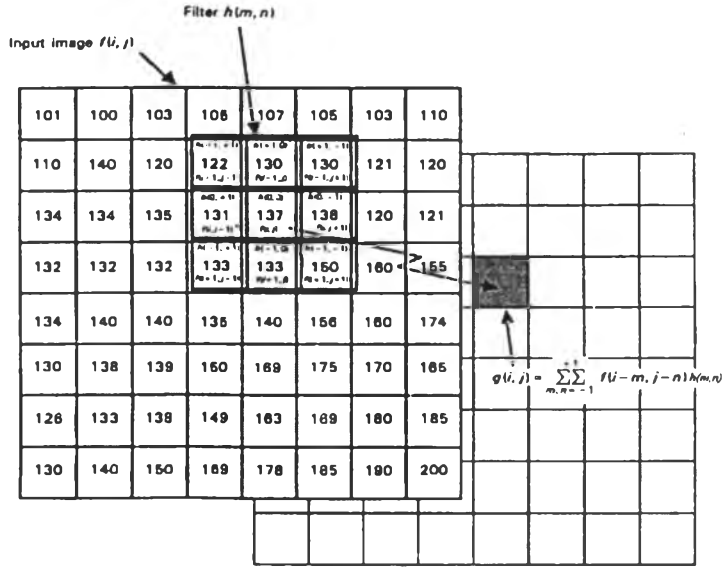
ตัวกรองเชิงเส้นชนิดหนึ่งที่ง่ายต่อการใช้งานคือตัวกรองเฉลี่ย ซึ่งค่าของแต่ละพิกเซลถูกแทนที่โดยการเฉลี่ยของค่าในบริเวณใกล้เคียง และแสดงด้วยสมการที่ 2.5

$$h[i,j] = \frac{1}{M}\sum_{(k,j)\in N} I[k,j] \qquad (2.5)$$

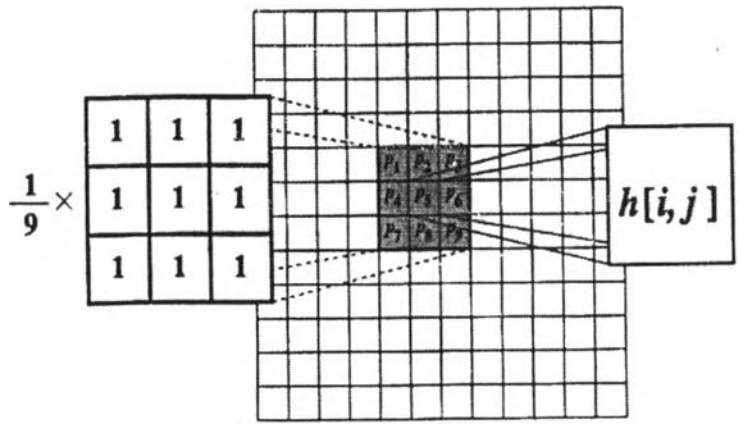
โดยที่ M คือ จำนวนของพิกเซลทั้งหมดในบริเวณใกล้เคียง และในกรณีเลือกใช้ตัวกรองขนาด 3*3 รอบจุด *[i,j]* เนื่องจากเหตุผลที่ว่าองค์ประกอบของระบบที่ได้จัดไว้ ทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่ใหญ่ ทำให้ตัวกรองขนาด 3*3 ก็เพียงพอที่จะสามารถขจัดสัญญาณรบกวนได้ และสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.6 โดยที่ M = 9

$$h[i,j] = \frac{1}{9}\sum_{k=i-1}^{i+1}\sum_{j=j-1}^{j+1} I[k,j] \qquad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 ภาพแสดงการคอนโวลูชั่นสามารถแสดงดังรูปที่ 2-6

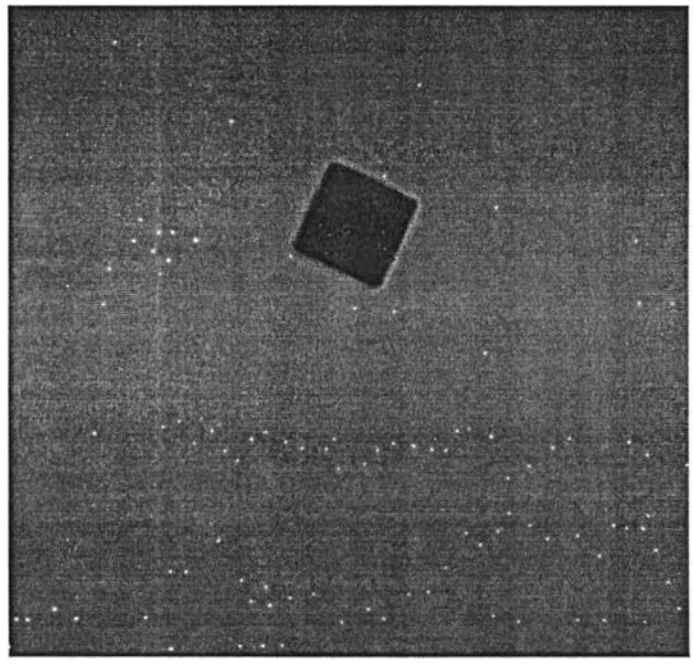


รูปที่ 2-5 ภาพการคอนโวลูชั่น

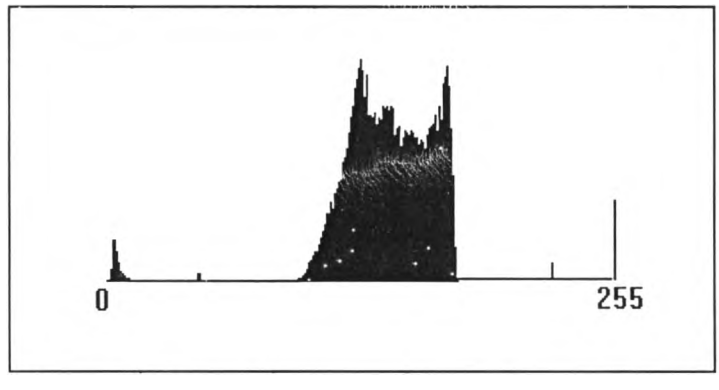


รูปที่ 2-6 แสดงตัวกรองเฉลี่ยในกรณี 3*3 พิกเซล

ผลที่ได้หลังจากนำภาพระดับเทาไปผ่านตัวกรองเฉลี่ยทำให้ภาพระดับเทาไม่คมชัด (blur) และฮีสโตแกรมที่ได้แสดงดังรูป 2-7 และรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-7 ภาพตัวอย่างเมื่อผ่านตัวกรองเฉลี่ย

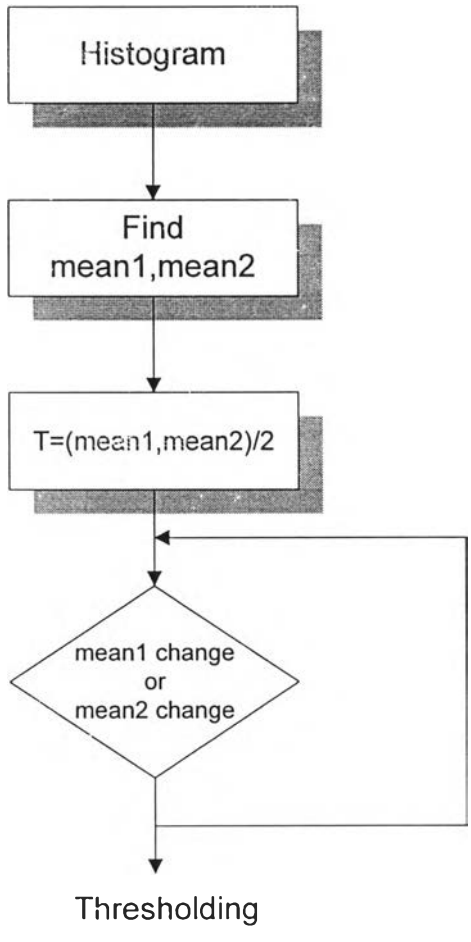


รูปที่ 2-8 ฮีสโตแกรมของภาพตัวอย่างเมื่อผ่านตัวกรองเฉลี่ย

2.3 อิมเมจเซกเมนต์เทชั่น

หลังจากที่กำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากภาพดิจิตอลแล้วขั้นตอนต่อมาคือการแยกส่วนของภาพวัตถุออกจากฉากซึ่งได้กล่าวต่อไป

กระบวนการที่ใช้ในการแยกภาพวัตถุ (foreground) ออกจากฉาก (background) และสิ่งต่างๆ นั้นเราเรียกว่า เซกเมนต์เทชั่น (segmentation) เซกเมนต์เทชั่นจะรวมถึงการแบ่งบริเวณของภาพที่ต่อเนื่องกัน โดยที่แต่ละบริเวณจะมีความคล้ายคลึงกัน (homogeneous) โดยที่อิมเมจเซกเมนต์เทชั่นประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ



รูปที่ 2-9 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนโดยวิธี iterative threshold selection

2.3.1 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะทำเซกเมนต์เทชั่นภาพระดับเทา ออกมาเป็นส่วนของวัตถุกับส่วนของฉาก นั่นคือการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพระดับเทา ซึ่งจะเปลี่ยนภาพระดับเทาให้กลายเป็นภาพไบนารี่ (binary image)

การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนนั้นเริ่มจากการนำภาพระดับเทาที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนมาพล็อตฮีสโตแกรมระดับเทาดังกล่าวมาแล้ว วิธีการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนนั้นขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2-9 โดยวิธีที่เลือกใช้ในการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเรียกว่า iterative threshold selection

2.3.2 การทำให้เป็นภาพไบนารี่

หลังจากที่ได้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแล้วขั้นตอนต่อมาคือการแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพ 2 ระดับ (binary image) ที่มีระดับความสว่างเพียง 2 ระดับคือขาวกับดำ โดยการเปรียบเทียบกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เขียนแทนด้วยสมการที่ 2.7

$$B(x,y) = \begin{cases} 1 & : \quad I(x,y) \geq Threshold \\ 0 & : \quad I(x,y) < Threshold \end{cases} \qquad (2.7)$$

โดยที่ $B(x,y)$ = ระดับความสว่างของภาพไบนารี่ ที่คู่อันดับ (x,y)

$I(x,y)$ = ระดับความสว่างของภาพระดับเทา ที่คู่อันดับ (x,y)

$Threshold$ = ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อแปลงเป็นภาพไบนารี่

หลังจากที่ทำการแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพไบนารี่แล้วพบว่าภาพไบนารี่อาจมีสัญญาณรบกวนอยู่ดังนั้นจึงนำภาพไบนารี่ไปผ่านตัวกรองอีกครั้ง โดยตัวกรองที่ใช้จะเป็นตัวกรองมัธยฐาน

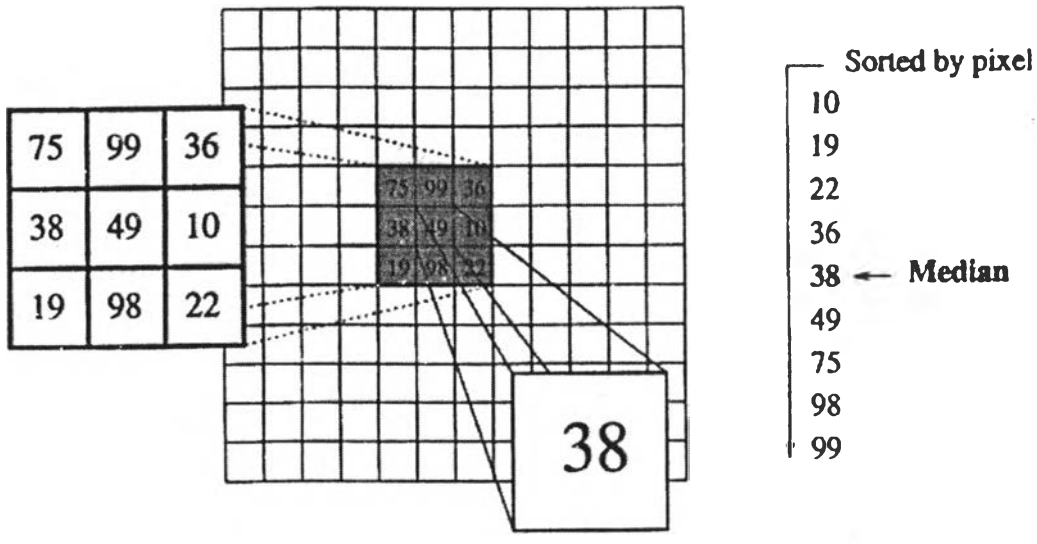
2.4 ตัวกรองมัธยฐาน

หลังจากที่เราสามารถแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพไบนารี่ได้แล้วพบว่าภาพไบนารี่ที่ได้มีสัญญาณรบกวน โดยที่สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีลักษณะกระจายดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงเลือกใช้ตัวกรองมัธยฐาน (median filter)

จากการทดลองเมื่อนำภาพไบนารี่ที่ได้มาผ่านตัวกรองมัธยฐานพบว่าสัญญาณรบกวนที่ยังมีเหลืออยู่นั้นสามารถกำจัดได้หมด ดังนั้นแสดงได้ว่าการนำภาพไบนารี่ที่ได้มาผ่านตัวกรองมัธยฐานนั้นสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวกรองมัธยฐานเป็นวิธีการทางการกำจัดสัญญาณรบกวน (noise reduction) วิธีหนึ่ง โดยอาศัยความสัมพันธ์จากจุดรอบๆข้าง ซึ่งมีวิธีการที่แตกต่างจากตัวกรองเฉลี่ย ลักษณะของตัวกรองมัธยฐานเป็นการนำค่าระดับเทารอบข้างจุดที่พิจารณาทั้งหมด 8 พิกเซล รวมทั้งจุดที่พิจารณามาทำการเรียงความแตกต่างของระดับสีเทา อาจจะเรียงจากมากไปน้อย หรือน้อยไปมาก แล้วนำค่ากลางซึ่งเป็นลักษณะของมัธยฐานเป็นค่าแทนจุดที่พิจารณา ลักษณะดังกล่าวเราจะแยกความแตกต่างจากการทำตัวกรองเฉลี่ยตรงที่ตัวกรองเฉลี่ยเป็นการนำภาพรอบข้างจุดที่พิจารณาทั้งหมด 8 รวมทั้งจุดที่พิจารณา มาทำการเฉลี่ย แล้วนำค่าที่เฉลี่ยแล้วมาแทนค่าจุดที่พิจารณา จะเห็นได้ว่าลักษณะของการทำตัวกรองเฉลี่ยเป็นการนำค่าระดับสีเทามาคำนวณทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้มีความสัมพันธ์กับทุกค่าระดับสีเทารอบๆข้าง แต่ลักษณะของการทำตัวกรองเฉลี่ยเราจะไม่นำค่าระดับสีเทามาทำการคำนวณแต่จะเป็นการนำค่าดังกล่าวมาเรียง แล้วหาค่ากึ่งกลางพิจารณาจากรูปที่ 2-10

สมมติว่าค่าระดับเทาของจุดรอบข้างจุดหนึ่งหรือจุดที่พิจารณามีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าระดับสีเทาทั้งหมดที่เราพิจารณามากๆซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ (impulse noise) การทำตัวกรองมัธยฐาน ค่าดังกล่าวจะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาที่เราจะใช้แทนจุดที่เราทำการพิจารณา เปรียบเสมือนการกำจัดสัญญาณรบกวนในจุดๆนั้นออกไป เมื่อเราทำการเปรียบเทียบกับการทำตัวกรองเฉลี่ย ค่าระดับสีเทาที่จะใช้แทนจุดที่จะพิจารณามีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทำตัวกรองเฉลี่ยมาก ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้จุดที่พิจารณาโดยตัวกรองเฉลี่ยกลายเป็นสัญญาณรบกวน หรืออีกเหตุผลหนึ่งเราจะกล่าวได้ว่ารูปแบบของการทำตัวกรองมัธยฐานจะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวน (noise) ได้ดีกว่าการทำโดยตัวกรองเฉลี่ย



รูปที่ 2-10 ตัวกรองมัธยฐาน

ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าการแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพไบนารี่นั้นทำได้โดยการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน และพบว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการผ่านขบวนการดังกล่าว คือผ่านตัวกรองเฉลี่ยซึ่งใช้กำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น และไม่ผ่านตัวกรองเฉลี่ยนั้นให้ผลของค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากระบบที่จัดไว้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อแปลงเป็นภาพไบนารี่นั้นสามารถกำจัดได้โดยตัวกรองมัธยฐาน

จากเหตุผลดังกล่าวเราสามารถที่จะลดขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองเฉลี่ยออกได้และผลที่เกิดขึ้นในเรื่องของเวลาพบว่าขั้นตอนที่ประกอบด้วยตัวกรองเฉลี่ยจะใช้เวลาประมาณ 1.76 วินาที และเมื่อตัดขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองเฉลี่ยใช้เวลาประมาณ 0.88 วินาที ดังนั้นจะเห็นได้การแปลงเป็นภาพไบนารี่โดยการตัดขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยตัวกรองเฉลี่ยจะใช้เวลาลดลงจาก 1.76 วินาทีเป็น 0.88 วินาที