

### บทที่ 3

## หลักการประมวลผลภาพ

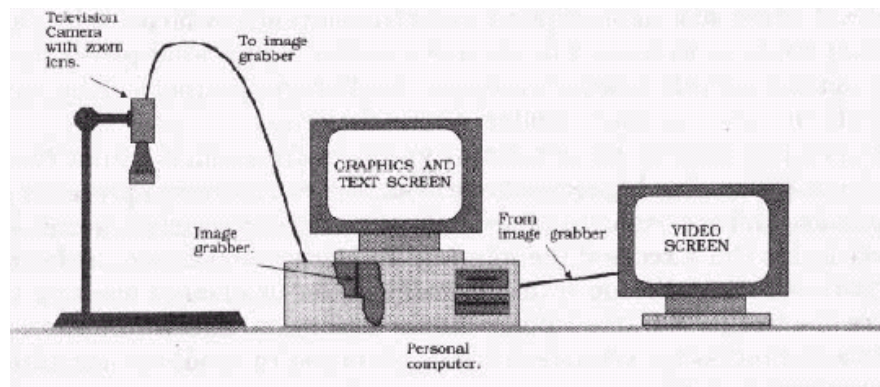
### 3.1 หลักการมองเห็นของมนุษย์กับการประมวลผลภาพดิจิทัล

ระบบการมองเห็นของมนุษย์ หากเปรียบเทียบกับปัจจุบันก็คือกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และกล้องวิดีโอ อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในการประมวลผลภาพดิจิทัลนิยมใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล หรือ กล้องวิดีโอ เนื่องจากให้ภาพที่คมชัด และเหมือนจริง จากนั้นนำข้อมูลภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์ต่อไป

### 3.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล

ขั้นตอนการประมวลผลภาพจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน

1. ขั้นตอนการนำข้อมูลภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์
2. ขั้นตอนการนำคอมพิวเตอร์มาพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อประมวลผลภาพ
3. ขั้นตอนการแสดงผลภาพ [4]



รูปที่ 17 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับระบบประมวลผลภาพ

โดยทั่วไปอุปกรณ์พื้นฐานในการประมวลผลภาพตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นจะประกอบด้วย เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีอุปกรณ์ตรวจจับภาพ (frame grabber card) ซึ่งจะต่อกับกล้องวิดีโอตัวจับภาพ ดังรูปที่ 17 ขั้นตอนการนำภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นการแปลงสัญญาณภาพทั่วไปเป็นสัญญาณอนาล็อก (analog signal) ให้เป็นสัญญาณภาพดิจิทัล เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลภาพได้ ทั้งนี้สามารถทำได้นำข้อมูลภาพจากตัวจับภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วภาพดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณจะถูกเก็บในหน่วยความจำที่มีอยู่ในอุปกรณ์ตัวจับภาพ และสามารถนำมาประมวลผลได้โดยการเขียนโปรแกรมภาษาระดับสูง อาทิ

เช่นภาษาซี อุปกรณ์ตัวจับภาพที่นิยมใช้จะสามารถเก็บภาพขนาด 512 \* 512 จุดภาพ(pixel) และแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับเทาได้อย่างน้อย 256 ระดับ ส่วนกล้องวิดีโอที่ใช้ในการเก็บภาพมักจะเป็นกล้องซีซีดี (charge coupled device (CCD) camera)

ก่อนการประมวลผลภาพต้องเตรียมข้อมูลภาพซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ปรับปรุงข้อมูลภาพในส่วนที่ไม่คมชัด
2. กำจัดสัญญาณรบกวน
3. การปรับคอนทราสต์ หรือปรับปรุงคุณสมบัติของการมองเห็น เช่น การปรับค่าความเข้มของจุดภาพ การกลับข้อมูลภาพ เป็นต้น
4. การแบ่งแยกข้อมูลภาพออกจากสีพื้น โดยใช้ค่าเทรชโฮลด์
5. การแปลงข้อมูลภาพในทางเรขาคณิต เช่น การหมุนภาพ การเปลี่ยนแปลงขนาดภาพ และการแก้ไขตำแหน่งของจุดภาพ
6. การแก้ไขข้อมูลภาพในส่วนที่มีการบิดเบี้ยว

### 3.3 การแปลงภาพดิจิทัล

สิ่งมองเห็นที่เป็นภาพทั่วไปจะเป็นลักษณะสัญญาณแบบอนาล็อก ซึ่งจะสามารถกำหนดได้เป็นฟังก์ชันความเข้ม 2 มิติ (two-dimensional light intensity function)  $f(x,y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นตำแหน่งพิกัดของภาพ ส่วนค่าของ  $f$  ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  นั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้ม (brightness) หรือ ระดับเทา (gray level) ของภาพที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งค่า  $f(x,y)$  จะมีค่ามากกว่าศูนย์ [4] กล่าวคือ

$$0 < f(x,y) < \infty \quad (3-1)$$

โดยทั่วไปค่าระดับความเข้มของแสง  $f(x,y)$  จะขึ้นกับองค์ประกอบสองส่วนคือ 1) ค่า illumination ซึ่งเป็นค่าระดับแสงที่มองเห็น และ 2) ค่า reflection ซึ่งค่าระดับที่สะท้อนมาจากวัตถุ ซึ่งค่าทั้งสองนี้อาจกำหนดให้เป็นฟังก์ชัน  $i(x,y)$  และ  $r(x,y)$  ตามลำดับ และค่า  $f(x,y)$  จะเป็นผลคูณของค่าทั้งสอง

$$f(x,y) = i(r,y)r(x,y) \quad (3-2)$$

โดยที่

$$0 < i(x,y) < \infty \quad (3-3)$$

และ

$$0 < r(x,y) < 1 \quad (3-4)$$

ค่าโดยเฉลี่ยสำหรับสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ  $i(x,y)$  และ  $r(x,y)$  สำหรับวัตถุ(วัสดุ) ต่างๆ จะเป็นดังนี้

$$r(x, y) = \begin{cases} 0.01 & \text{black velvet} \\ 0.65 & \text{stainless steal} \\ 0.80 & \text{flat white paint} \\ 0.90 & \text{silver plated metal} \\ 0.93 & \text{snow} \end{cases}$$

และ

$$i(x, y) = \begin{cases} 9000 & \text{clear sunny day} \\ 1000 & \text{cloudy day} \\ 0.01 & \text{full moon night} \\ 100 & \text{inside office} \end{cases}$$

โดยทั่วไปเราจะกำหนดค่าระดับความเข้มของแสงในกรณีของภาพโมโนโครม (monochrome image)  $f$  ที่พิกัด  $(x,y)$  เป็นค่าระดับเทา  $L$  ซึ่งจากสมการที่ (3-1) ถึง (3-4) เราจะได้ค่า  $L$  ดังนี้

$$L_{\min} \leq L \leq L_{\max} \quad (3-5)$$

โดยที่  $L_{\min}$  จะมีค่าเป็น  $L_{\min} = i_{\min} r_{\min} \approx 0.005$  และ  $L_{\max}$  จะมีค่าเป็น  $L_{\max} = i_{\max} r_{\max} \approx 100$

### 3.4 ลักษณะของแฟ้มการเก็บภาพให้อยู่ในระบบข้อมูลแบบดิจิทัล

ลักษณะของแฟ้มข้อมูลภาพจะมีการกำหนดตำแหน่งเหมือนกับเมตริกซ์โดยที่จำนวนคอลัมน์ (Column) และแถว (Row) จะแทนจำนวนจุดภาพของภาพเช่น ภาพขนาด 256\*256 หมายถึงแฟ้มข้อมูลของภาพดังกล่าวมีขนาด 256 คอลัมน์และ 256 แถว

$$A = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & f(1,3) & \dots & f(1,256) \\ f(2,1) & f(2,2) & f(2,3) & \dots & f(2,256) \\ f(3,1) & f(3,2) & f(3,3) & \dots & f(3,256) \\ - & - & - & & - \\ f(256,1) & f(256,2) & f(256,3) & \dots & f(256,256) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 18 เมตริกซ์ของรูปขนาด 256\*256

จากรูปที่ 18 จะเห็นว่าเพิ่มข้อมูลภาพจะประกอบไปด้วยสมาชิกของเมตริกซ์ ทั้งหมด  $i * j$  ตัว และที่ตำแหน่งในเมตริกซ์ต่าง ๆ ก็จะมี  $f(i,j)$  ซึ่งเป็นค่าระดับความเข้ม (Gray Level) ของภาพที่จุดนั้น

### 3.5 การเตรียมภาพก่อนการประมวลผลภาพ

การเตรียมภาพเป็นขั้นตอนก่อนการแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารี ส่วนใหญ่จะเป็นกรองภาพ เพื่อกำจัดการรบกวน (Noise) หรือทำให้ภาพมีคุณภาพที่ดีขึ้นเมื่อไปเป็นภาพไบนารี [5]

- การเปลี่ยนแปลงฮิสโตแกรม (Histogram Equalize)

เป็นการแปลงฮิสโตแกรมของภาพให้มีค่ากว้างขึ้นผลของการแปลงทำให้ภาพมีความเข้มที่ดีขึ้น เทคนิคเช่นนี้นิยมมาใช้กับภาพที่ต้องการดูรายละเอียดของภาพที่ซ่อนอยู่โดยไม่คำนึงถึงสีของภาพ

- การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอัตโนมัติ (Auto Level)

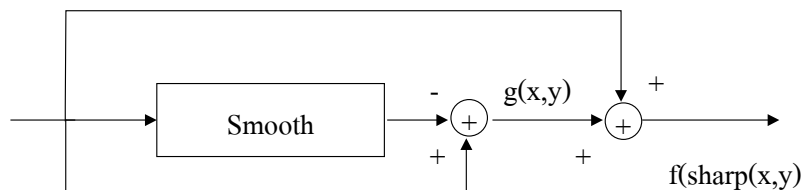
เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าิยมกันมากอีกวิธีหนึ่ง เทคนิคดังกล่าวนี้เป็นการเพิ่มความสว่างและความเข้มแสงของภาพ โดยไม่มีผลกระทบต่อสีของภาพเทคนิคดังกล่าวนิยมนำมาใช้กับภาพที่ถ่ายแล้วมืด

- การกรองภาพ (Filtering)

การกรองภาพมีอยู่หลายวิธีเช่น Average, Gaussian, Laplacian, LoG, Prewitt Sobel, Unsharp ในนี้จะกล่าวเฉพาะวิธีการกรองภาพ

### 3.6 วิธีการกรองแบบ Unsharp Filter

วิธีการกรองแบบนี้การเตรียมภาพก่อนการประมวลผลภาพอีกวิธีหนึ่งโดยการเพิ่มความคมชัดให้กับภาพ ความเร็วในการทำงานในการประมวลผลภาพรวดเร็วเนื่องจากการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ลักษณะการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 วิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการ Unsharp

จากรูปที่ 19 เมื่อข้อมูลภาพที่ต้องการปรับโดยใช้วิธีการนี้ต้องผ่านฟังก์ชันการปรับภาพให้เรียบจากนั้นนำข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับมาบวกกับข้อมูลภาพเดิมก็จะทำให้ได้ภาพที่คมชัดขึ้นตามสมการที่ (3-6)

$$f_{\text{sharp}}(x, y) = f(x, y) + k * g(x, y) \quad (3-6)$$

เมื่อค่า  $k$  เป็นค่าในการปรับความคมชัดมีค่าระหว่าง 0.2-0.7 ในกรณีค่า  $k$  มีค่ามากจะถือได้ว่าการกรองจะมีความคมชัดขึ้น

### 3.7 วิธีการแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารี

การแปลงภาพให้เป็นไบนารีเพื่อแปลงค่าภาพก่อนนำไปสู่กระบวนการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล(Digital Image Processing) ที่ใช้ในงานวิจัยคือ การใช้ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold)

การที่ภาพมีทั้งสีและลำดับชั้นของสี (Shade) ทำให้เกิดลวดลาย ซึ่งระดับความเข้มที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดลวดลายได้คือความเข้มสองระดับหรือที่เรียกว่าไบนารี (Binary) ซึ่งส่วนใหญ่คือสีขาวดำ และระดับความเข้มของสีขาวดำที่สามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้หมดคือระดับ 256 ระดับ ดังนั้นการที่เราสร้างอัลกอริทึมจะสามารถจำแนกลวดลายได้รวดเร็วเราควรแปลงภาพให้มีระดับความเข้มสองระดับเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลภาพได้ และมีวิธีการที่ใช้กันทั่วไปคือการแปลงภาพโดยใช้ ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งมีสมการดังนี้ต่อไป

สมมติให้  $B[i,j]$  คือภาพไบนารีที่เกิดจากภาพต้นแบบ  $f[i,j]$  ดังนี้

$$f_T[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{if } f[i,j] > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-7)$$

โดยที่  $f_T[i,j]$  = ค่าระดับความสว่างที่ตำแหน่ง  $(i,j)$

$T$  = ค่าเทรชโฮลด์

จากสมการข้างต้นภาพวัตถุ (Object) จะเป็นระดับความเข้มที่สว่าง ส่วนที่มีต่ำกว่าจะเป็นพื้น (Background) แต่ถ้าวัตถุมีความเข้มอยู่ในระดับกลางๆเราจะหาภาพไบนารี ได้จาก

$$f_T[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{if } T1 \leq f[i,j] \leq T2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-8)$$

โดยที่  $T1$  = ค่าเทรชโฮลด์ของความเข้มระดับที่ 1

$T2$  = ค่าเทรชโฮลด์ของความเข้มระดับที่ 2

จากสมการเราจะได้ภาพที่มีความเข้มในระดับกลางๆ เป็น 1 ส่วนนอกนั้นจะเป็น 0 การที่ในภาพเดียวกันอาจมีส่วนภาพในแต่ละส่วนไม่เท่ากันเราอาจแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆแล้วใช้ค่า เทรชโฮลด์อัตโนมัติ (Automatic Threshold)

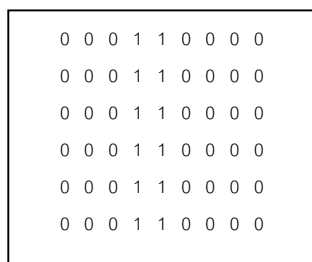
### 3.8 การหาขอบภาพ

การหาขอบภาพเป็นการหาขอบเขตของวัตถุภายในภาพซึ่งขอบเขตของวัตถุจะเป็นที่เด่นและมีความสำคัญมากที่สุดที่จะนำไปสู่การรู้จักวัตถุนั้นๆ โดยคอมพิวเตอร์จะเห็นได้ว่าการหาขอบภาพเป็นการหาจุดเด่นของวัตถุนั่นเอง ลักษณะที่เด่นของวัตถุที่เรามองเห็นโดยทั่วไปก็คือ ส่วนที่เป็นเส้น หรือส่วนที่เป็นขอบของวัตถุ เมื่อมีแสงมากระทบก็就会有ความสว่างมากกว่าส่วนอื่น โดยทั่วไปลักษณะของขอบภาพที่ดีจะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

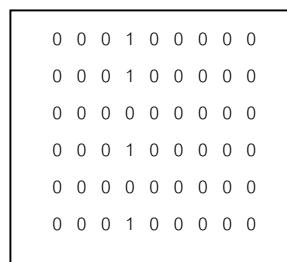
- มีความบางคือ จุดที่เป็นขอบภาพจะต้องมีความกว้างเพียงจุดเดียวเท่านั้น
- มีความต่อเนื่อง โดยจุดของขอบภาพในวัตถุเดียวกันมีความต่อเนื่องกัน ถ้าจุดที่เป็นขอบภาพมีอยู่เพียงจุดเดียว โดยไม่ต่อเนื่องกับจุดใดในย่านใกล้เคียงเลยอาจจะเป็นขอบภาพที่ไม่สมบูรณ์ หรืออาจจะเป็นสัญญาณรบกวนได้

- ตำแหน่งของจุดที่เป็นขอบภาพควรมีความถูกต้องโดยขอบที่มีความถูกต้องนั้นจะต้องอยู่ในส่วนที่มีค่าความเข้มของจุดภาพที่สูงกว่า

จากรูปที่ 20 ได้แสดงขอบภาพ โดยใช้ตัวเลขในลักษณะต่างๆ โดยรูปที่ 20 (ก) แสดงขอบภาพที่มีความหนา และรูปที่ 20 (ข) เป็นขอบภาพที่ไม่ต่อเนื่อง



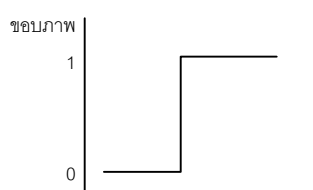
(ก) ขอบภาพหนา (กว้าง 2 จุด)



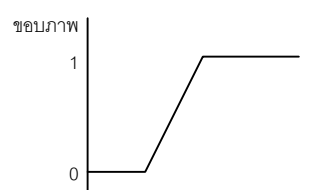
(ข) ขอบภาพที่ไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 20 แสดงลักษณะขอบภาพแบบต่างๆ

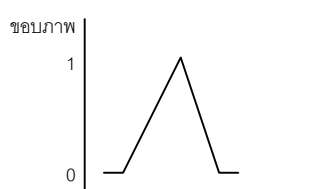
รูปแบบของขอบภาพที่ปรากฏในรูปภาพโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยขอบภาพหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.5(ก) เป็นขอบภาพที่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดขอบภาพแบบนี้ส่วนใหญ่เป็นภาพที่มนุษย์จำลองขึ้นมาส่วนภาพโดยทั่วไปจะเป็นขอบภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มทีละน้อย ดังรูปที่ 3.5(ข) รูปที่ 3.5(ค) ขอบภาพที่ค่าความเข้มที่ค่าความเข้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น หรือลดลงทีละน้อย ในลักษณะของรูปหน้าจั่ว และรูป 3.5(ง) แสดงขอบภาพที่เป็นสัน



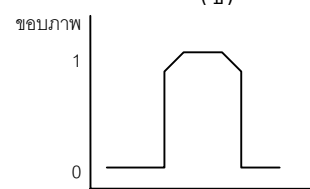
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 21 แสดงขอบภาพชนิดต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงมีผลต่อการหาขอบภาพ หรือลักษณะทางกายภาพตัววัตถุเอง (เช่น ลักษณะของพื้นผิว และรูปทรง) คุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของรูปภาพที่จะบอกขอบเขตและลักษณะทางกายภาพของวัตถุที่อยู่ในภาพ

### 3.9 การหาขอบภาพโดยใช้ออนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง

เป็นการหาขอบภาพโดยแปลงเกรเดียนต์แบบไม่ต่อเนื่องบนข้อมูลภาพเชิงตัวเลข ซึ่งเป็นการหาตำแหน่งค่าความเข้มของจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง และเกรเดียนต์  $\nabla f(x, y)$  ที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องในระนาบสองมิติซึ่งสามารถกำหนดได้โดย [4]

$$\nabla f(x, y) = \left( \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (3-9)$$

สำหรับขนาดของมันสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2} \quad (3-10)$$

ส่วนทิศทางของเวกเตอร์เกรเดียนต์คือ

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\partial f}{\partial x} / \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (3-11)$$

เนื่องจากการหาขอบภาพเป็นการประมวลผลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงใช้ออนุพันธ์ย่อยแบบไม่ต่อเนื่องทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน  $x$  และ  $y$  ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \nabla_x g(x, y) &= g(x, y) - g(x-1, y) \\ \nabla_y g(x, y) &= g(x, y) - g(x, y-1) \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} x-1, y & x, y \\ x, y & x, y-1 \end{bmatrix} \quad (3-12)$$

และสำหรับทิศทาง  $\theta$  หาได้จากสมการที่ (3-11)

$$\nabla g(x, y) = g(x, y) \cos \theta + g(x, y) \sin \theta \quad (3-13)$$

ส่วนขนาดโดยประมาณของเกรเดียนต์  $g(x, y)$  สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$|\nabla g(x, y)| = \sqrt{(\nabla_x g(x, y))^2 + (\nabla_y g(x, y))^2} \quad (3-14)$$

การหาขอบภาพโดยใช้เกรเดียนต์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป เช่น วิธี Roberts สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$g(x, y) = \text{Max}(|g(x, y) - g(x+1, y+1)|, |g(x+1, y) - g(x, y+1)|) \quad (3-15)$$



โดยพิกัด  $x, y$  มีลักษณะดังนี้

$$\begin{bmatrix} x, y + 1 & x + 1, y + 1 \\ x, y & x + 1, y \end{bmatrix}$$

และฟังก์ชัน  $\text{Max}(A, B)$  จะเป็นค่าที่มากกว่าระหว่าง  $A$  กับ  $B$  วิธีของ Prewitt และ Sobel จะใช้จุดภาพในบริเวณใกล้เคียงที่จะอยู่ในกรอบหรือวินโดวขนาด  $3 \times 3$  ซึ่งอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} x, y + 2 & x + 1, y + 2 & x + 2, y + 2 \\ x, y + 1 & x + 1, y + 1 & x + 2, y + 1 \\ x, y & x + 1, y & x + 2, y \end{bmatrix}$$

วิธีของ Prewitt

$$g(x, y) = \left( \left| \sum_y^{y+2} g(x, y) - \sum_y^{y+2} g(x + 2, y) \right| + \left| \sum_x^{x+2} g(x, y) - \sum_x^{x+2} g(x, y + 2) \right| \right) \quad (3-16)$$

วิธีของ Sobel จะมีการใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$g(x, y) = \left( \begin{array}{l} |g(x, y) + 2g(x, y + 1) + g(x, y + 2) - (g(x + 2, y) + 2g(x + 2, y + 1) + g(x + 2, y + 2))| - \\ |g(x, y) + 2g(x + 1, y) + g(x + 2, y) - (g(x, y + 2) + 2g(x + 1, y + 2) + g(x + 2, y + 2))| \end{array} \right)$$

จากสมการข้างต้น (3-12)-(3-13) สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของวินโดวได้ดังนี้

Roberts

$$w_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad w_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Prewitt

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad w_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad w_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

จะเห็นว่าในวินโดว์ของแต่ละวิธีจะมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างไปจากการหาเกรเดียนต์ของการเริ่มต้น (3-11) ที่มีเพียง 2 ระดับ เช่น ค่าถ่วงน้ำหนักของ Roberts และ Prewitt จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักของเกรเดียนต์ 3 ระดับ (คือ  $-1, 0, 1$ ) และของ Sobel มี 5 ระดับ (คือ  $-2, -1, 0, 1, 2$ )

### 3.10 การหาขอบภาพโดยใช้อุปกรณ์อันดับที่สอง

การหาขอบภาพโดยวิธีนี้จะไม่มีการพิจารณาทิศทางของขอบภาพ แต่จะสนใจเฉพาะขนาดของความเป็นขอบภาพ (เกรเดียนต์) เท่านั้น ดังนั้นวินโดว์ที่ใช้หาขอบภาพโดยวิธีนี้จะมีเพียงวินโดว์เดียว ซึ่งวิธีต่างๆ ที่นำมาใช้ในงานวิจัยมี ดังนี้

- ตัวดำเนินการ Laplacian

ตัวดำเนินการหาขอบภาพ Laplacian ของฟังก์ชันสอง มิติ  $g(x,y)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องบนช่วง  $[x,y]$  ที่ได้มาจากการประมาณอนุพันธ์เชิงเส้นของฟังก์ชันต่อเนื่องดังสมการ (3-14)

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3-17)$$

สำหรับในกรณีของเกรเดียนต์ของ  $\nabla^2 g(x,y)$  ที่ได้จากการประมาณสมการที่ (3-14) เพื่อใช้ในการหาขอบภาพในพื้นที่  $3 \times 3$  จุดสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\nabla^2 g(x,y) = 4g(x,y) - (g(x+1,y) + g(x,y+1) + g(x,y-1)) \quad (3-18)$$

ในการกำหนด Laplacian เชิงตัวเลข สัมประสิทธิ์ที่คุณอยู่กับพิกัดที่ต้องการหาขอบภาพจะต้องมีค่าเป็นบวกเสมอส่วนสัมประสิทธิ์ในตำแหน่งอื่นๆอาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ เนื่องจากอนุพันธ์ของ Laplacian ผลรวมของสัมประสิทธิ์ทั้งหมดต้องเป็นศูนย์เสมอ ซึ่งในกรณีที่ถ้าจุดภาพที่อยู่ในพื้นที่  $3 \times 3$  มีค่าเท่ากันหมดเมื่อคอนโวลูชันกับตัวดำเนินการนี้ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือศูนย์ ซึ่งแสดงได้ว่าจุดภาพไม่ใช้ขอบภาพอย่างแน่นอน ในรูปที่ 22 แสดงวินโดว์ของ Laplacian ในรูปแบบต่างๆ ทั้งที่ใช้จุดภาพใกล้เคียง 4 จุดดังรูปที่ 22(ก) และ 8 จุดดังรูปที่ 22(ข) กับ(ค) ซึ่งจะมีผลต่อจุดภาพต่างกัน

$$\begin{array}{ccc} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(ก)} & \text{(ข)} & \text{(ค)} \end{array}$$

รูปที่ 22 แสดงตัวดำเนินการหาขอบภาพของ Laplacian