บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การหาระยะทางระหว่างตัวแปร

การวัดระยะห่างระหว่างตัวแปรสามารถวัดได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากก็คือ การหาผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของทุกตัวแปร หรือที่เรียกว่า Euclidean distance ระยะห่างที่ได้จะเป็นระยะทางระหว่าง 2 ตัวแปรในแนวเส้นตรง ซึ่งการหาระยะห่างระหว่างตัวแปรแบบ Euclidean distance สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d(\mathbf{p},\mathbf{q}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i - q_i)^2} \tag{4.1}$$

เมื่อ $d(\mathbf{p},\mathbf{q})$ คือ ระยะห่างระหว่าง 2 ตัวแปร $\mathbf{p} = (p_1, p_2, ..., p_n)$ และ $\mathbf{q} = (q_1, q_2, ..., q_n)$

สำหรับการหาระยะห่างแบบ Mahalanobis distance หรือเรียกว่า Statistical distance ถูกนำเสนอโดย P. C. Mahalanobis [16] การคำนวณระยะห่างระหว่างตัวแปรแบบ Mahalanobis distance จะมีการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในแต่ละมิติของตัวแปรด้วย นั่นก็คือ

$$d(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \sqrt{(\mathbf{x}-\mathbf{y})^t \mathbf{s}^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{y})} \tag{4.2}$$

เมื่อ $d(\mathbf{x},\mathbf{y})$ คือ ระยะห่างระหว่าง 2 ตัวแปร $\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$ และ $\mathbf{y} = (y_1, y_2, ..., y_n)$ และ $\boldsymbol{S}$ คือ covariance matrix ของตัวแปร

4.2 การหาขอบภาพสำหรับภาพสีด้วย Mahalanobis distance

การหาขอบภาพสำหรับภาพสีด้วย Mahalanobis distance เป็นวิธีการระบุตำแหน่งของขอบภาพด้วยการพิจารณาค่า Gradient magnitude กับค่า Threshold โดยค่า Gradient magnitude ของแต่ละจุดภาพจะเป็นค่าความแตกต่างของสีของจุดนั้นๆ กับจุดภาพรอบข้าง ซึ่งความต่างของสีจะใช้ Mahalanobis distance เป็นตัววัด ทำให้มีการแยกการวัดความต่างของสีและความต่างของแสงออกจากกัน หลังจากนั้นก็จะใช้ Non-maximum suppression ในการลดขนาดของขอบภาพให้มีลักษณะบาง

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.1 การหาความแตกต่างของสี (Color distance)

เนื่องจากโมเดลสีที่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ใกล้เคียงกับสายตามนุษย์ คือ โมเดลสี HSV [19-20] แต่ภาพที่นำมาหาขอบภาพจะเป็นภาพในโมเดลสี RGB ดังนั้นจึงต้องแปลงภาพจาก RGB ให้เป็น HSV ก่อนนำไปคำนวณหาความแตกต่างของสี สำหรับการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างสีด้วย Mahalanobis distance จะทำได้ดังนี้

$$d(\vec{p},\vec{q})=\sqrt{(\vec{p}-\vec{q})^t\mathbf{s}^{-1}(\vec{p}-\vec{q})} \tag{4.3}$$

เมื่อ $d(\vec{p},\vec{q})$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างสีที่จุดภาพ p และ q โดยสีที่จุดภาพ p และ q จะถูกแทนด้วย $\vec{p}=(H_p,S_p,V_p)$ และ $\vec{q}=(H_q,S_q,V_q)$ ตามลำดับ เมื่อ H เป็นค่าสี (hue) S เป็นความสว่าง (lightness) และ V เป็นความบริสุทธิ์ของสี (saturation) และ $\boldsymbol{S}$ คือ covariance matrix ของตัวแปร

4.2.2 การหา Image gradient

การหา Image gradient เป็นการหาค่า Gradient magnitude และ Gradient direction ของทุกจุดภาพ ซึ่งการหา Gradient magnitude จะเป็นการหาค่าความแตกต่างของสีด้วยวิธีการที่อธิบายในหัวข้อ 4.2.1 โดยจะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักจากจุดภาพข้างเคียงในการคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี และจะทำการหาค่าความแตกต่างของสีทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อเลือกค่าที่มากกว่าเป็นค่า Gradient magnitude ของจุดภาพนั้น เมื่อได้ค่า Gradient magnitude แล้วก็จะถูกนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งหรือบริเวณของเส้นขอบภาพ สำหรับค่า Gradient magnitude ในแนวนอนจะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$G_x(x,y)=\begin{cases}c & ;c>0\\ 0 & ;c\le 0\end{cases} \tag{4.4}$$

เมื่อ

$$c=d(\vec{v},\vec{u})-\max(d(\vec{v},\vec{r}),d(\vec{u},\vec{q})) \tag{4.5}$$

$G_x(x,y)$	Gradient magnitude ในแนวนอนของจุดภาพ *(x, y)*
$d(\vec{v},\vec{u})$	ค่าความแตกต่างของสีระหว่างสีที่ถูกแทนด้วย $\vec{v}$ และ $\vec{u}$ ด้วยวิธี Mahalanobis distance
$\vec{v}$	ค่าสีที่จุดภาพ *(x, y)*

Prince of Songkla University Pattani Campus

$\vec{u}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x+1, y)*

$\vec{r}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x-1, y)*

$\vec{q}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x+2, y)*

สำหรับค่า Gradient magnitude ในแนวตั้งจะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$G_y(x,y)=\begin{cases}c & ;c>0\\ 0 & ;c\le 0\end{cases} \tag{4.6}$$

เมื่อ

$$c=d(\vec{v},\vec{u})-\max(d(\vec{v},\vec{r}),d(\vec{u},\vec{q})) \tag{4.7}$$

$G_y(x,y)$ Gradient magnitude ในแนวตั้งของจุดภาพ *(x, y)*

$d(\vec{v},\vec{u})$ ค่าความแตกต่างของสีระหว่างสีที่ถูกแทนด้วย $\vec{v}$ และ $\vec{u}$ ด้วยวิธี Mahalanobis distance

$\vec{v}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x, y)*

$\vec{u}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x, y+1)*

$\vec{r}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x, y-1)*

$\vec{q}$ ค่าสีที่จุดภาพ *(x, y+2)*

ค่า Gradient magnitude ที่จุดภาพ *(x, y)* จะหาได้จากสมการ 4.8 และสำหรับค่า Gradient direction ซึ่งเป็นทิศทางของค่า Gradient magnitude จะได้จากทิศทางของค่า Gradient magnitude ที่คำนวณได้ ดังนั้นถ้าเลือกค่า Gradient magnitude ในแนวนอนซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของสีของจุดภาพกับจุดภาพด้านซ้ายและขวา จะได้ว่าค่า Gradient direction จะมีค่าเท่ากับ 0 องศา แต่ถ้าค่า Gradient magnitude เป็นค่าความแตกต่างของสีของจุดภาพกับจุดภาพด้านบนและล่างซึ่งเป็นการคำนวณค่าความแตกต่างสีในแนวตั้ง จะได้ว่าค่า Gradient direction มีค่าเท่ากับ 90 องศา

$$G(x,y)=\max(G_x(x,y),G_y(x,y)) \tag{4.8}$$

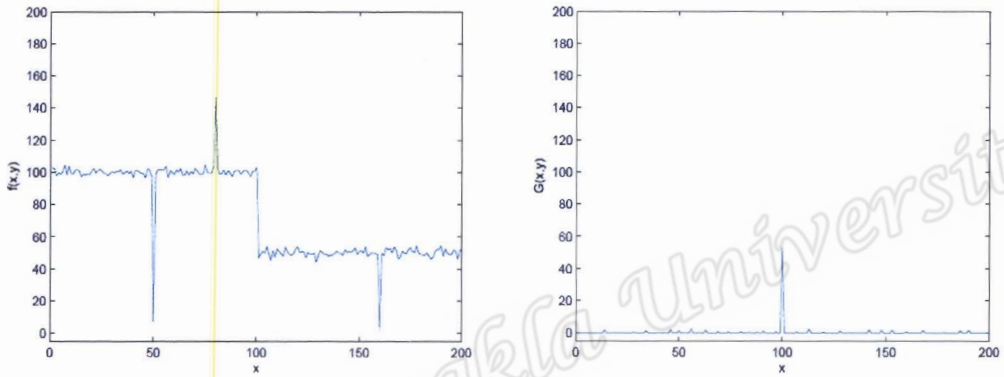
$G(x,y)$ Gradient magnitude ที่จุดภาพ *(x, y)*

$G_x(x,y)$ Gradient magnitude ในแนวนอนของจุดภาพ *(x, y)*

$G_y(x,y)$ Gradient magnitude ในแนวตั้งของจุดภาพ *(x, y)*

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับวิธีการหาค่า Gradient magnitude ดังกล่าวจะสามารถลดการรบกวนจากสัญญาณรบกวนได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงตัวอย่างการหา Gradient magnitude ของภาพ 1 มิติที่มีสัญญาณรบกวน 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง 50, 80, และ 170 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) สำหรับรูปที่ 4.1 (ข) แสดงค่า Gradient magnitude ที่คำนวณได้ จะเห็นว่าค่า Gradient magnitude ที่คำนวณได้ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน เนื่องจากวิธีการคำนวณค่า Gradient magnitude ไม่ได้คำนวณจากจุดภาพข้างเคียงโดยตรง แต่มีการนำค่าน้ำหนักของจุดภาพข้างเคียงมาพิจารณาร่วมด้วย



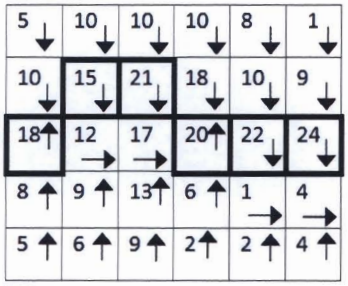
(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 (ก) ภาพ 1 มิติ ที่มีสัญญาณรบกวนในตำแหน่งที่ 50 80 และ 170 (ข) ค่า Gradient magnitude ที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอ

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.3 Non-maximum suppression

วิธีการ Non-maximum suppression เป็นวิธีสำหรับลดขนาดของขอบภาพที่ถูกนำเสนอใน Canny edge detector [17] การทำงานของ Non-maximum suppression จะทำการเปรียบเทียบค่า Gradient magnitude ของจุดภาพกับค่า Gradient magnitude ของจุดภาพที่อยู่ในแนวทิศลบและบวกของค่า Gradient directions และทำการลบค่า Gradient magnitude ในกรณีที่ไม่ได้มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบค่า Gradient magnitude ของจุดภาพกับค่า Gradient magnitude ของจุดภาพในทิศทางบวกและลบของ Gradient direction และทำการเปรียบเทียบไปเรื่อยๆ จนไม่สามารถลบค่า Gradient magnitude ได้ และก็จะได้ค่า Gradient magnitude ที่เหลือเพื่อนำไประบุตำแหน่งของขอบภาพต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลของขอบภาพที่ได้จาก Non-maximum suppression

จากรูปที่ 4.2 แสดงการลดขนาดของขอบภาพด้วยวิธี Non-maximum suppression โดยค่า gradient magnitude และทิศทางแสดงด้วยตัวเลขและลูกศรตามลำดับ สำหรับผลของขอบภาพจะแสดงภายในกรอบที่เป็นเส้นหนา

4.2.4 การหาตำแหน่งของขอบภาพ (Detecting edge locations)

ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการพิจารณาตำแหน่งของขอบภาพจากค่า Gradient magnitude ที่ได้จากขั้นตอนวิธี Non-maximum suppression ที่มีค่ามากกว่าค่า threshold (*th*) ที่กำหนดขึ้น ดังสมการ 4.7

$$E(x,y) = \begin{cases} 1 & ; G(x,y) \geq th \\ 0 & ; G(x,y) < th \end{cases} \quad (4.8)$$

$E(x,y)$	ค่าขอบภาพที่จุดภาพ *(x, y)* โดย 1 = ขอบภาพ 0 = ไม่เป็นขอบภาพ
$G_x(x,y)$	Gradient magnitude ของจุดภาพ *(x, y)*
th	threshold value

สำหรับการกำหนดค่า threshold ถ้าภาพที่นำมาทดสอบมีความสว่างมาก ซึ่งจะทำให้ความแตกต่างของสีมีค่าน้อย ค่า threshold ควรจะมีค่าน้อยๆ แต่ถ้าความแตกต่างของสีภายในภาพเห็นได้ชัดเจน ค่า threshold ที่เหมาะสมไม่ควรมีค่าน้อยๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดเส้นขอบภาพที่ไม่ถูกต้องเกิดขึ้น

4.3 ผลการหาขอบภาพสำหรับภาพสีด้วย Mahalanobis distance

ในการวัดประสิทธิภาพของการหาขอบภาพสีด้วย Mahalanobis distance ทำโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีการต่างๆ เช่น Color canny [17], Minimum Vector Dispersion (MVD) edge detector [10], Compass operator [15] และ Robust Color Morphological Gradient (RCMG) [14] โดยการเขียนโปรแกรมด้วย Matlab ทดสอบกับภาพที่เป็นภาพจำลอง (Synthesize image) และภาพถ่าย

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับการทดสอบกับ Synthesized image ซึ่งเป็นภาพที่ทราบตำแหน่งของขอบภาพที่แท้จริง จะใช้ Pratt's Figure of Merit (Pratt's FOM) [18] ในการวัดความถูกต้อง โดยค่า Pratt's FOM สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Pratt's\ FOM = \frac{1}{\max(I_D, I_I)} \sum_{k=1}^{I_D} \frac{1}{1+\alpha(d_k)^2} \qquad (4.9)$$

I_D จำนวนจุดภาพที่ถูกพิจารณาว่าเป็นขอบภาพ

I_I จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบภาพจริงๆ

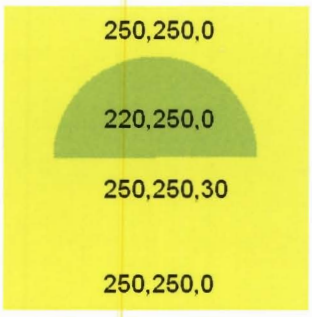
d_k ระยะทางระยะจุดภาพที่ถูกพิจารณาว่าเป็นขอบภาพกับขอบภาพจริง

α ค่าคงที่ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่าศูนย์เสมอ

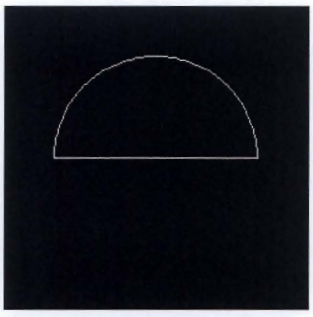
ค่า Pratt's FOM จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยถ้าค่า Pratt's FOM มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าขอบภาพที่หาได้เป็นขอบภาพจริงทั้งหมด สำหรับการทดสอบกับการหาขอบภาพวิธีในแต่ละวิธีจะทำการทดสอบด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์จนกระทั่งได้ค่า Pratt's FOM ที่ดีที่สุด

4.3.1 ทดสอบความถูกต้องในการคำนวณหาค่าแตกต่างของสี

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของการคำนวณหาความแตกต่างของสี จะทดสอบกับภาพจำลองขนาด 240x240 เป็นรูปวงกลมบนฉากหลังสีเหลือง (250, 250, 0) โดยวงกลมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ครึ่งวงกลมบนจะเป็นสีเขียว (220, 250, 0) และครึ่งวงกลมล่างเป็นสีเหลือง (250, 250, 30) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และขอบภาพแสดงในรูปที่ 4.3 (ข) ซึ่งจะเห็นว่าขอบของวงกลมจะเป็นแสดงเฉพาะครึ่งวงกลมด้านบนเท่านั้น เนื่องจากครึ่งวงกลมบนมีสีแตกต่างกับฉากหลัง แต่ครึ่งวงกลมด้านล่างจะเป็นสีเดียวกับฉากหลังแตกต่างกันด้วยแสงเท่านั้น



(ก) Synthesized image



(ข) Ground truth image

รูปที่ 4.3 ภาพ synthesize สำหรับทดสอบความถูกต้องในการคำนวณหาค่าแตกต่างของสี

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากการทดสอบจะได้ว่าค่า Pratt's FOM ของการหาขอบภาพด้วยวิธี Color Canny detector, Compass operator, MVD, RCMG และการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance เท่ากับ 0.5659, 0.4916, 0.8042, 0.6514, and 0.9948 ตามลำดับ

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการหาความแตกต่างสีของวิธีการหาขอบภาพวิธีที่ใช้ Euclidean distance จะให้ค่าความต่างของสีในครึ่งวงกลมทั้งสองกับพื้นหลังเท่ากัน ดังนั้นถ้ากำหนดค่า threshold มีค่าน้อยๆ จะได้ขอบของวงกลมทั้งวง แต่ถ้ากำหนดค่า threshold มีค่าสูงก็จะไม่ปรากฏขอบภาพเลย มีเพียงแต่วิธีการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance เท่านั้นที่สามารถแยกความต่างระหว่างขอบภาพของครึ่งวงกลมทั้งสองได้ นั่นก็คือ ผลลัพธ์จากการตรวจหาขอบภาพจะปรากฏเป็นรูปครึ่งวงกลมเหมือนรูปที่ 4.3 (ข)

4.3.2 Robustness against noises

การทดสอบหาขอบภาพสำหรับภาพที่มีสัญญาณรบกวนได้ทดสอบกับภาพจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยเป็นภาพก่อนการถูกรบกวนด้วย White Gaussian noise, Salt and pepper noises, Impulsive noise และ Speckle noise ซึ่งสัญญาณรบกวนจะมีความแตกต่างกันตั้งแต่ 1-30 *dB* โดยมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนครั้งละ 5 *d*B

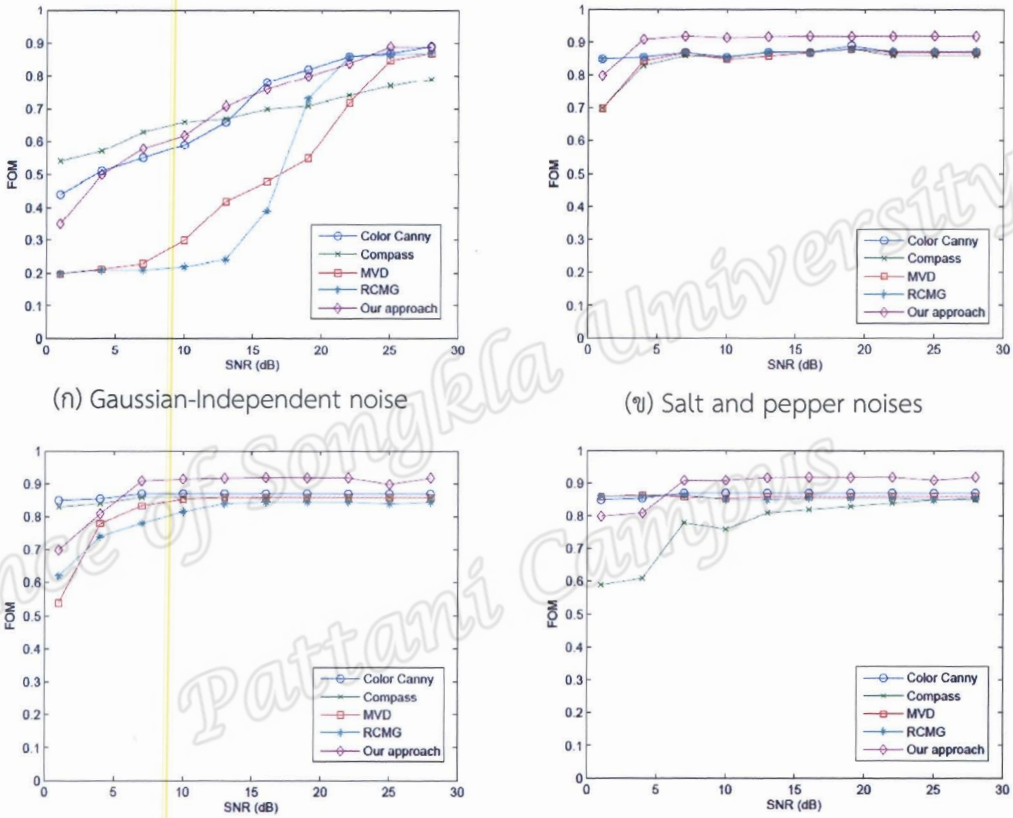
(a) Synthesized image (b) Ground truth image

รูปที่ 4.4 Synthesized image สำหรับทดสอบ Robustness against noises

ผลการทดสอบกับภาพที่ถูกรบกวนด้วย White Gaussian noise, Salt and pepper noises, Impulsive noise และ Speckle noise แสดงในรูปที่ 4.5 (ก-ง) ตามลำดับ สำหรับการทดสอบภาพที่ถูกรบกวนด้วย Gaussian independent noise ค่า Pratt's FOM สำหรับวิธี Color Canny และวิธีการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันและให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ ยกเว้นวิธี Compass ที่ให้ผลดีกว่าในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนน้อยกว่า 12 *dB* สำหรับภาพที่ถูกรบกวนด้วย Salt and pepper noises วิธี *Color Canny operator* และ RCMG ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน และวิธี Compass และ MVD ก็ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามวิธีการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance ก็ให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่น

Prince of Songkla University Pattani Campus

สำหรับภาพที่ถูกรบกวนด้วย Impulsive noise วิธี Color Canny operator และ Compass ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน สำหรับวิธี RCMG และ *MVD* methods ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน แต่วิธีการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance ก็ให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้ภาพที่ถูกรบกวนด้วย speckle noise ทุกวิธียกเว้นวิธี Compass ให้ผลดีกว่าสำหรับภาพที่สัญญาณรบกวนน้อยกว่า *5 dB* แต่สำหรับภาพที่มีสัญญาณรบกวนมากกว่า 5 *dB* วิธีการวิธีการหาขอบภาพด้วย *Mahalanobis distance* ก็ให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ



(ก) Gaussian-Independent noise (ข) Salt and pepper noises

(ค) Impulsive noise (ง) Speckle noise

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการหาขอบภาพสำหรับภาพที่มีสัญญาณรบกวน

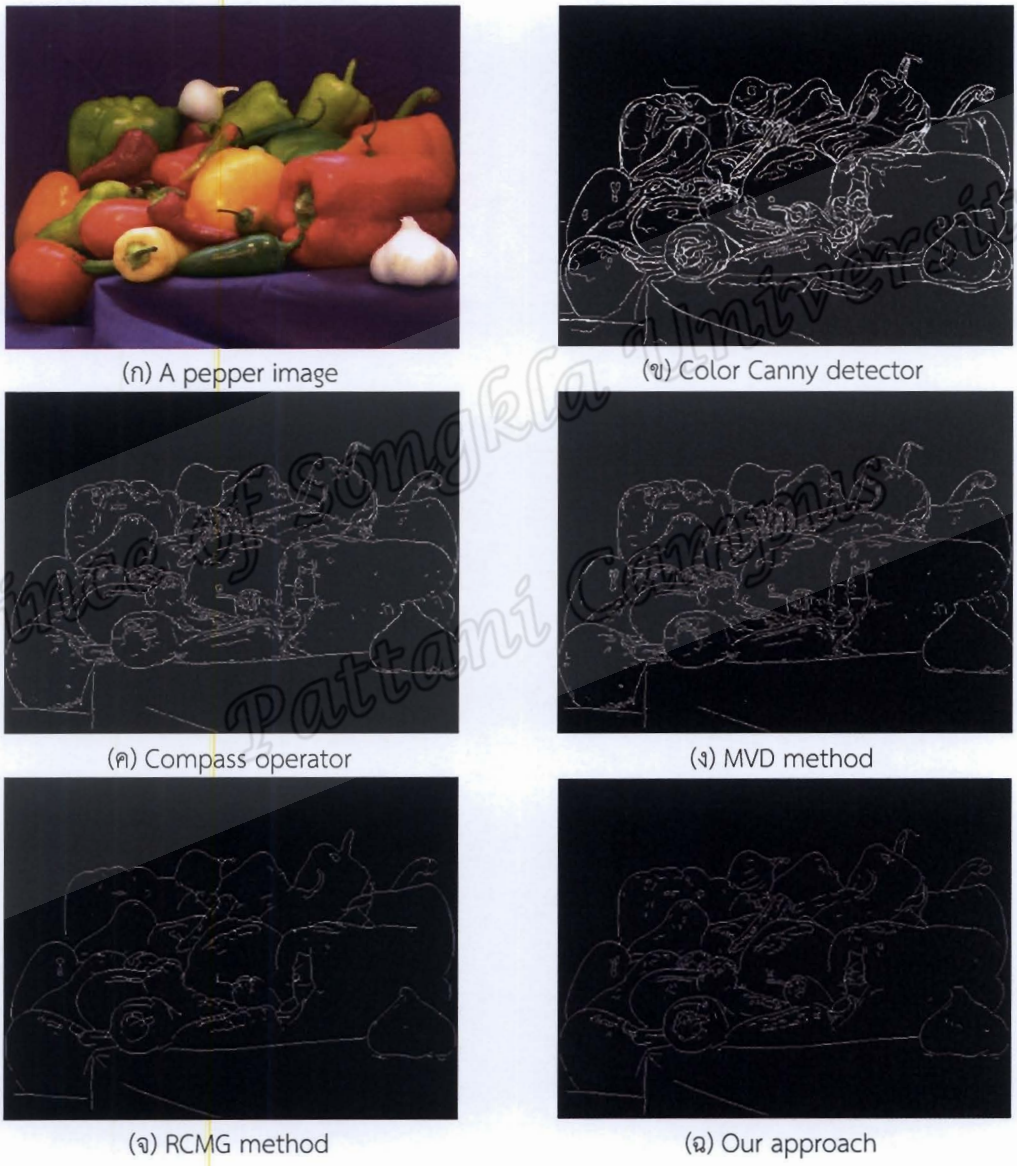
4.3.3 Experimental results on real-world images

การทดสอบการหาขอบภาพในภาพถ่ายได้ทดสอบกับภาพที่แสดงในรูปที่ 4.6 (ก) และรูปที่ 4.7 (ก) สำหรับรูปที่ 4.6 (ข) – (ฉ) และ รูปที่ 4.7 (ข) – (ฉ) เป็นผลลัพธ์การหาขอบภาพที่ได้จาก Color Canny detector, Compass, MVD, RCMG และการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance ตามลำดับ

สำหรับขอบภาพที่ได้จากวิธี Color Canny detector และ MVD จะเห็นว่าขอบภาพที่ได้เป็นขอบที่หนากว่าวิธีการอื่น เนื่องจาก Color Canny detector เป็นการหาขอบภาพจากการกระทำ OR ระหว่างเส้นขอบที่ได้จากแต่ละ Channel และวิธี MVD ไม่ได้ใช้การ non-maximal suppression สำหรับวิธี Compass

Prince of Songkla University Pattani Campus

operator ให้ขอบภาพที่ไม่ใช่ขอบภาพหลายตำแหน่ง เนื่องจากด้วยวิธีการจะมีการเลื่อนจากตำแหน่งขอบภาพเดิมเสมอ สำหรับวิธี RCMG จะได้ขอบภาพที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจจะเกิดจากการคำนวณทิศทางของ Gradient ผิดพลาด สำหรับการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance ให้เส้นขอบที่มีลักษณะบางและมีความต่อเนื่องดังแสดงในรูป 4.6 (ฉ)



(ก) A pepper image (ข) Color Canny detector

(ค) Compass operator (ง) MVD method

(จ) RCMG method (ฉ) Our approach

รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์ของการหาขอบภาพสำหรับภาพ Real-world

การทดสอบด้วยภาพ real-world อีกภาพเป็นภาพภายนอกตึกที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสง ส่วนของยอดตึกที่ล้อมรอบด้วยวงกลมจะเป็นบริเวณที่มีความแตกต่างของแสงมาก ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นวิธีการของภาพด้วย Mahalanobis distance สามารถแสดงขอบภาพได้มากกว่าวิธีการอื่นๆ

Prince of Songkla University Pattani Campus

(ก) A pepper image (ข) Color Canny detector

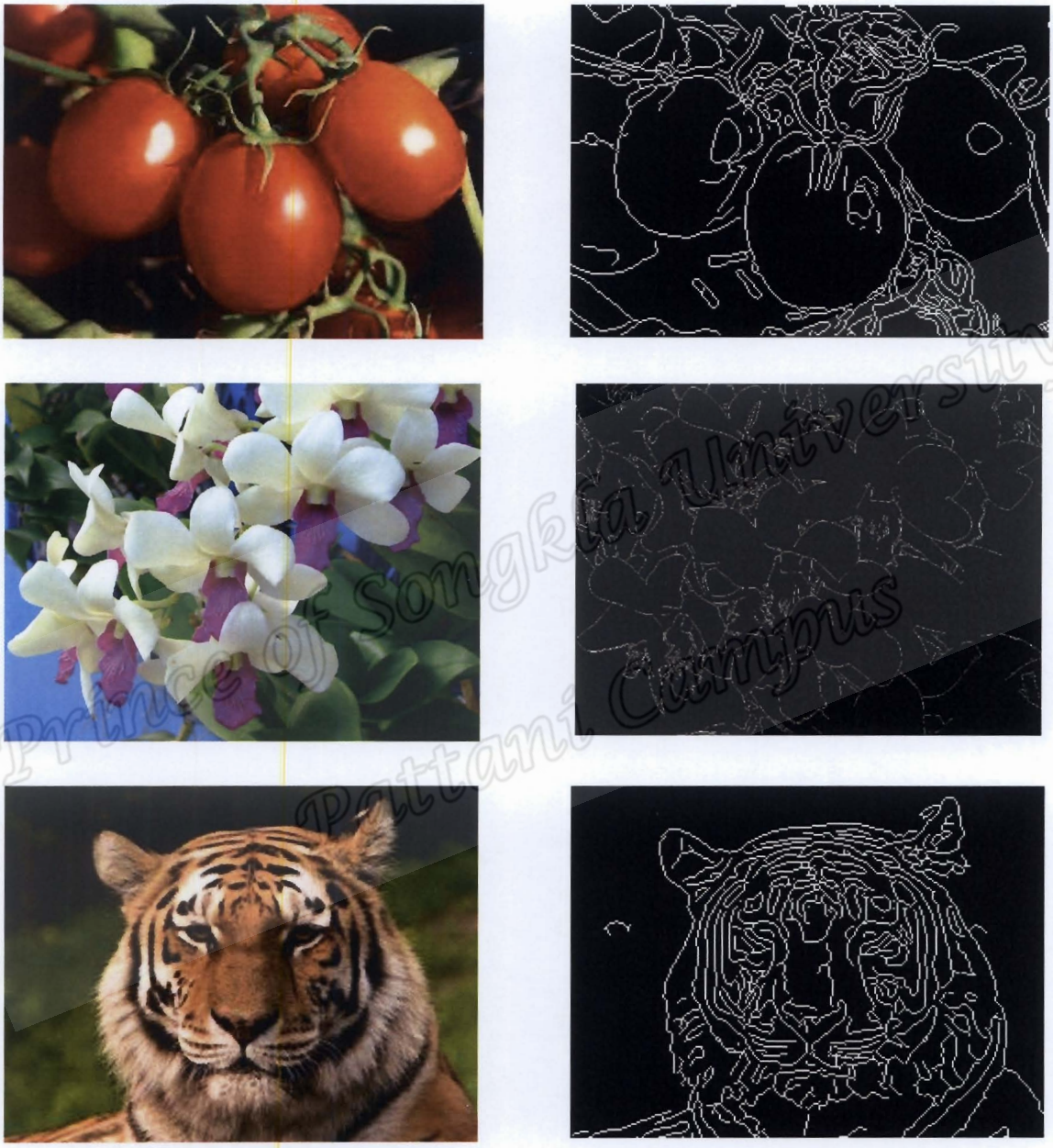
(ค) Compass operator (ง) MVD method

(จ) RCMG method (ฉ) Our approach

รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์ของการหาขอบภาพสำหรับภาพ Real-world

Prince of Songkla University Pattani Campus

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบวิธีการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance กับภาพ real-world อื่นๆอีก ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์ของการหาขอบภาพด้วย Mahalanobis distance

Prince of Songkla University Pattani Campus