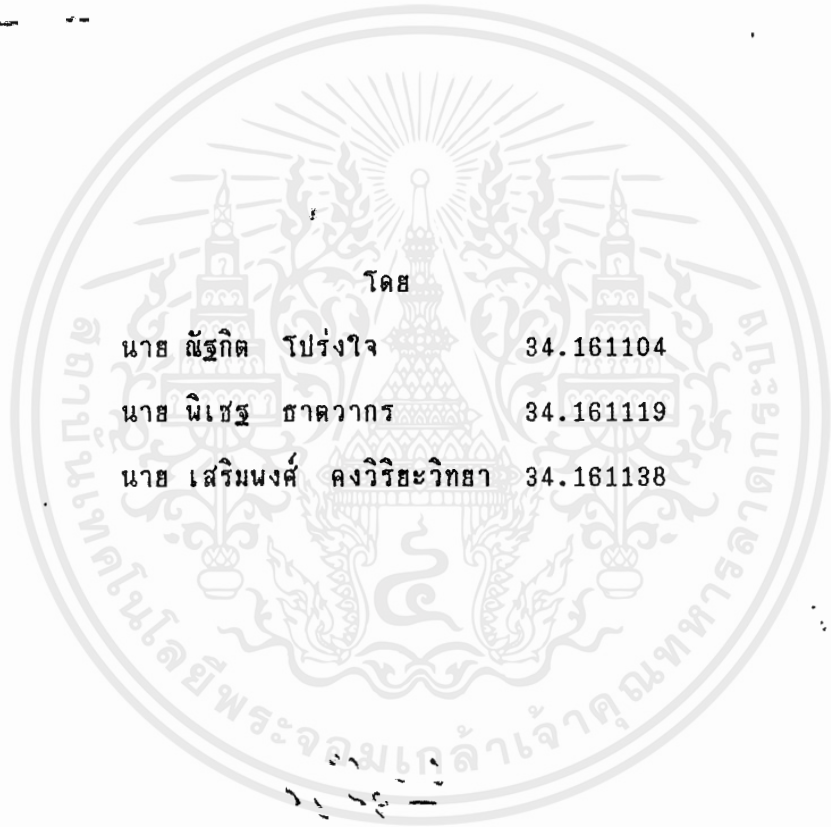




การจดจำส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุโดยการตรวจสอบจุดเด่นของวัตถุ
(RECOGNITION OCCLUDED PART OF OBJECT
BY DETECTING DOMINANT POINTS OF OBJECT.)



โดย
นาย ธีรภักดิ์ โปรงใจ 34.161104
นาย พิเชฐ ชาดวากร 34.161119
นาย เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา 34.161138

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก

032709

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดจำส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุโดยการตรวจสอบจุดเด่นของวัตถุ
(RECOGNITION OCCLUDED PART OF OBJECT
BY DETECTING DOMINANT POINTS OF OBJECT.)

โดย
นาย พัชรกิต โปรงใจ 34.161104
นาย นิเชฐ ชาติวากร 34.161119
นาย เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา 34.161138

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032709

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | การจดจำส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุโดยการตรวจสอบจุดเด่นของวัตถุ | |
| นักศึกษา | นาย ณัฐกิต โปรงใจ | 34.161104 |
| | นาย นิเชษฐ ชาติวาทกร | 34.161119 |
| | นาย เสริมพงศ์ คงวิริยะวิทยา | 34.161138 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ | |
| ระดับการศึกษา | อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิตทางเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม | |
| ปีการศึกษา | พ.ศ. 2535 | |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะกล่าวถึงการจดจำส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุโดยการตรวจสอบจุดเด่นของวัตถุ การตรวจสอบจุดเด่นของวัตถุเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญยิ่ง สำหรับการจดจำและการประมาณจุดพื้นฐานของการหมุน วิธีการประมาณด้วยรูปหลายเหลี่ยมถูกนำมาใช้กันโดยทั่วไปในการตรวจสอบหาจุดเด่น ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เราจะตรวจสอบหาจุดเด่นของวัตถุโดยใช้วิธีการประมาณด้วยรูปหลายเหลี่ยมแบบใช้ความโค้งในการตรวจสอบ ซึ่งวิธีนี้เราจะหากลุ่มของจุดที่มีความโค้งสูงสุดทางด้านบวก และจุดที่มีความโค้งต่ำสุดทางด้านลบ โดยตลอดของรูปร่างของวัตถุที่ผ่านการทำขอบให้เรียบโดยวิธีของเกอส์เซียน ผลที่ได้เราก็จะได้จุดเด่นของวัตถุออกมา หลังจากนั้นเราก็จะนำจุดเด่นเหล่านั้นไปหาส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุต่อไป

Thesis Title : RECOGNITION OCCLUDED PART OF OBJECT BY
DETECTING DOMINANT POINTS OF OBJECT.

Name : Mr.Natthakit Prongchai 34.161104

Mr.Phichet Thatawakorn 34.161119

Mr.Sermpong Kongviriyavithaya 34.161138

Thesis Advisor : Kaset Sirisantsumrid

Level of study : Bachelor of Industrial Technology in Industrial
Instrumentation Technology.

Academic Year : 1992

Abstract

This thesis describes recognition occluded part of object by detecting dominant points of object. Detecting dominant points is a crucial preprocessing step for shape recognition and point based motion estimation. Polygonal approximation has been a commonly used approach in detecting dominant points. In this thesis, we will detect dominant points by curvature guided polygonal approximation. In this method we find a set of positive maximum and negative minimum curvature points along the Gaussian smoothed boundary. The resulting break points, vertices of the approximated polygon, are the dominant points. After that, we used this dominant points to reconstruct partially occluded object.

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในการทำโครงการวิจัยชิ้นนี้มีขอบเขตในการศึกษาและค้นคว้า คือถ่ายภาพจากวัตถุหลายๆชิ้นที่มีการวางซ้อนทับกัน แล้วทำการแสดงส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุออกมาให้เห็น โดยอาศัยวิธีการหาความโค้งสูงสุดของขอบภาพ ที่เรียกว่าการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาค่าความโค้ง (curvature guided polygonal approximation.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อ | |
| ขอบเขตของโครงการวิจัย | |
| บทที่ 1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น | 1 |
| 1.1 จุดภาพ | 1 |
| 1.2 กรอบภาพ | 2 |
| 1.3 ตำแหน่งของจุดภาพ | 3 |
| 1.4 ระดับสีเทา | 6 |
| 1.5 ความผิดพลาดทางด้านปริมาณ | 10 |
| 1.6 ค่าผิดพลาดจากการวัด | 12 |
| 1.7 ฮิสโตแกรม | 14 |
| บทที่ 2 ขอบภาพ | 18 |
| 2.1 ตัวกรองสัญญาณแบบดิจิทัล | 18 |
| 2.2 ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน | 18 |
| 2.3 ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน | 21 |
| 2.4 การทำขอบภาพให้ดีขึ้น | 25 |
| 2.4.1 การทำขอบภาพให้ดีขึ้นโดยวิธีของลาปลาเชียน | 27 |
| 2.4.2 การหาขอบภาพโดยวิธีอื่นต่างของโรเบิร์ต | 31 |
| 2.4.3 การตรวจหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล | 32 |
| 2.4.4 ตัวกระทำแบบอื่นๆ | 33 |
| บทที่ 3 จุดเด่นของวัตถุและการจดจำวัตถุ | 36 |
| 3.1 การหาจุดเด่นของวัตถุ | 36 |
| 3.1.1 วิธีการประมาณแบบโพลีกอน | 36 |
| 3.1.2 วิธีการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาค่าความโค้ง | 38 |
| 3.2 การจดจำวัตถุ | 46 |
| บทที่ 4 การแสดงส่วนที่ถูกลบทิ้ง | 48 |
| 4.1 การแสดงส่วนที่ถูกลบทิ้ง | 48 |
| 4.1.1 การย้ายภาพ | 48 |
| 4.1.2 การหมุนภาพ | 50 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--------------------------------|------|
| บทที่ 5 ลำดับชั้นและผลการทดลอง | 54 |
| 5.1 ลำดับชั้นและผลการทดลอง | 54 |
| 5.2 สรุปลผลการทดลอง | 75 |
| 5.3 ปัญหาในการทดลอง | 76 |

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

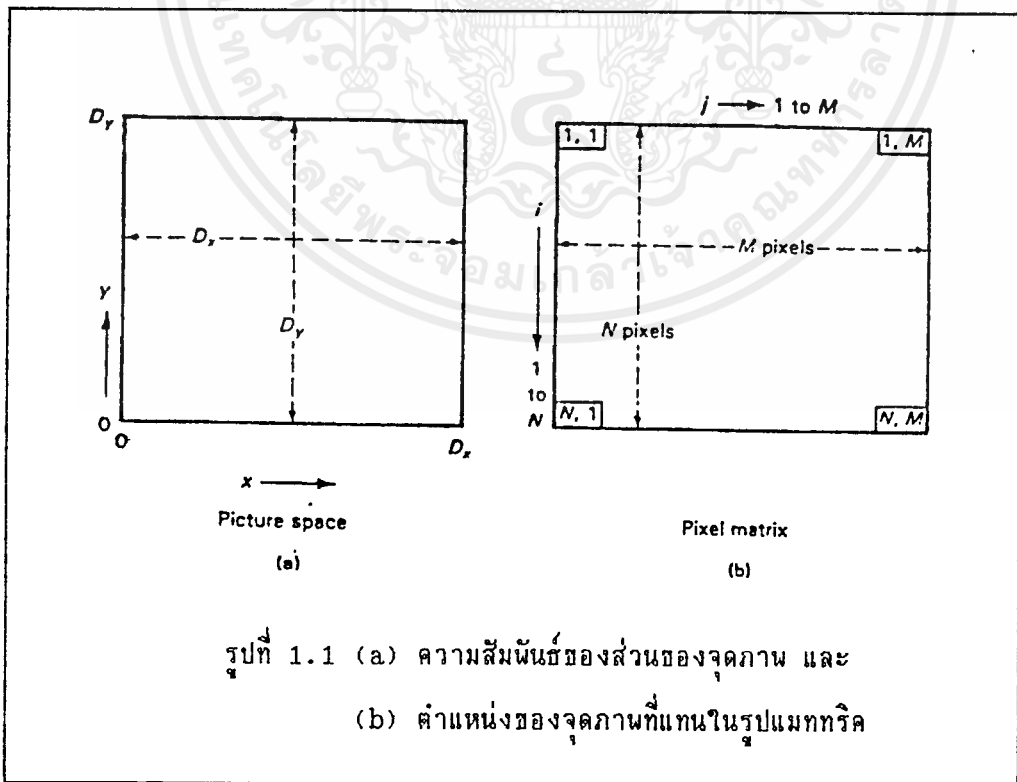
การประมวลผลภาพเบื้องต้น

(Fundamental Concepts of Image Processing)

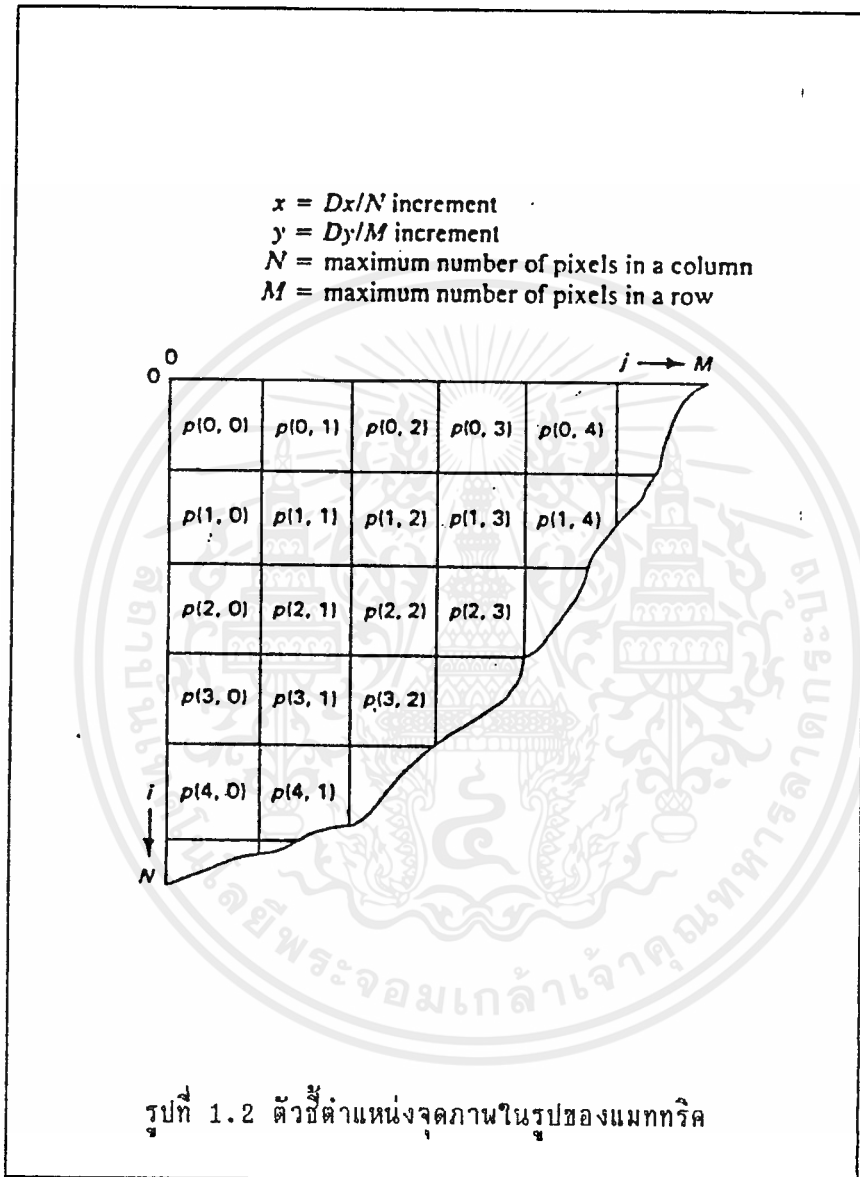
1.1 จุดภาพ

ภาพสามารถอธิบายได้โดยค่าของจุดภาพที่มีรูปเป็นเมทริกซ์ (matrix) ขนาด $N \times M$ (ค่าส่วนประกอบ $P(i,j)$ มีค่าเป็นบวก) ซึ่งแสดงถึงความเข้มของแสงฟลักซ์ (Flux) บนรูปภาพ ส่วนประกอบที่ (x,y) จะแทนโดยจุดภาพดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบจุดภาพ (picture element) และเมทริกซ์จุดภาพ (pixel matrix) จุดกำเนิดของภาพ (picture) และเมทริกซ์ (matrix) จะแตกต่างกัน x และ y เป็นโคออร์ดิเนต (coordinate) ในภาพ (picture) ที่มีจุดเริ่มต้นทางมุมด้านล่างซ้าย ขณะที่เมทริกซ์ (matrix) มีจำนวนจุดภาพเริ่มต้นที่มุมบนด้านซ้าย

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } i &= x & \text{เมื่อ } 1 &\leq i \leq N \\ j &= (M-y) & 1 &\leq j \leq M \end{aligned}$$



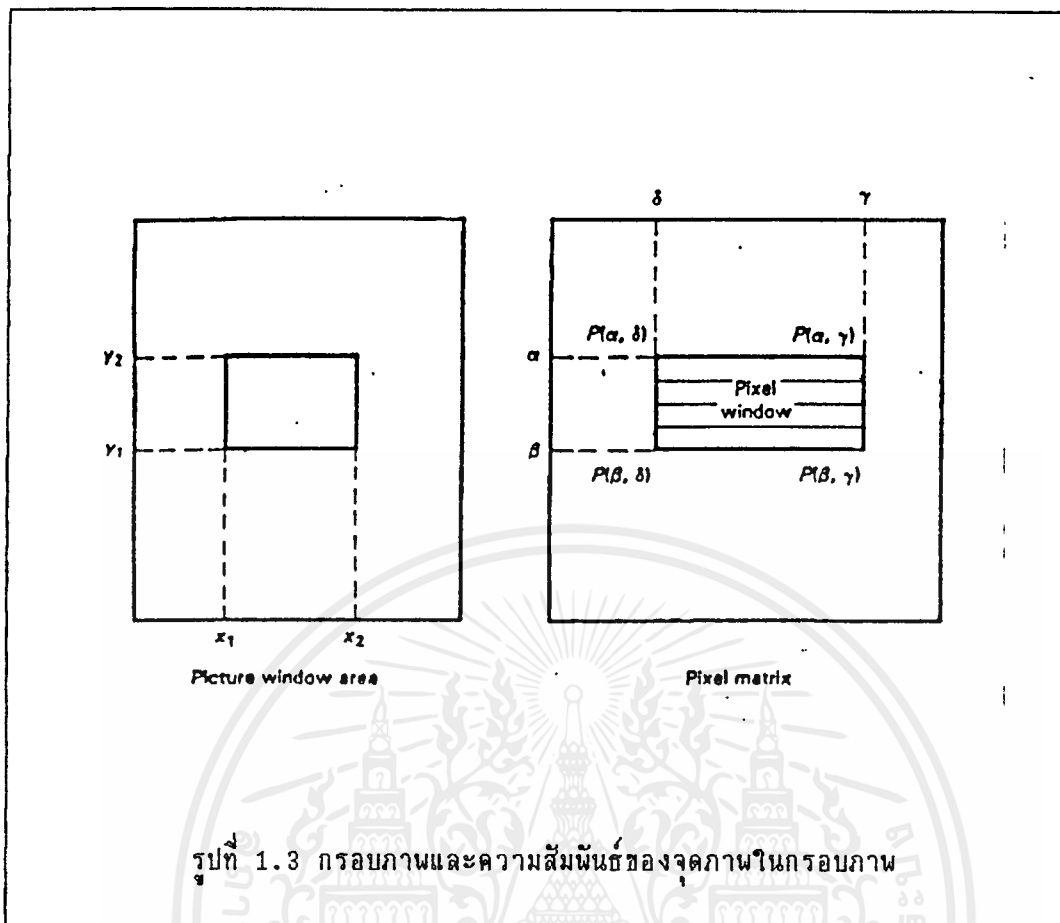
ค่าจำนวน (numerical value) หรือขนาด (magnitude) ของจุดภาพแสดงให้เห็นด้วยค่าเฉลี่ยความเข้มแสงบนพื้นที่ส่วนประกอบจุดภาพ (picture element) ที่แทนด้วยจุดภาพ ค่าของจุดภาพ $P_{i,j}$ มีช่วงที่ 0 ถึง 1



1.2 กรอบภาพ

บริเวณย่อย (Subregion) ของภาพมักเรียกว่า "กรอบภาพ" และถูกกำหนดโดยมุม 4 มุม และค่าของตำแหน่งจุดภาพ $P(\beta, \delta), P(\beta, \gamma), P(\alpha, \delta), P(\alpha, \gamma)$ ดังแสดงในรูปที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



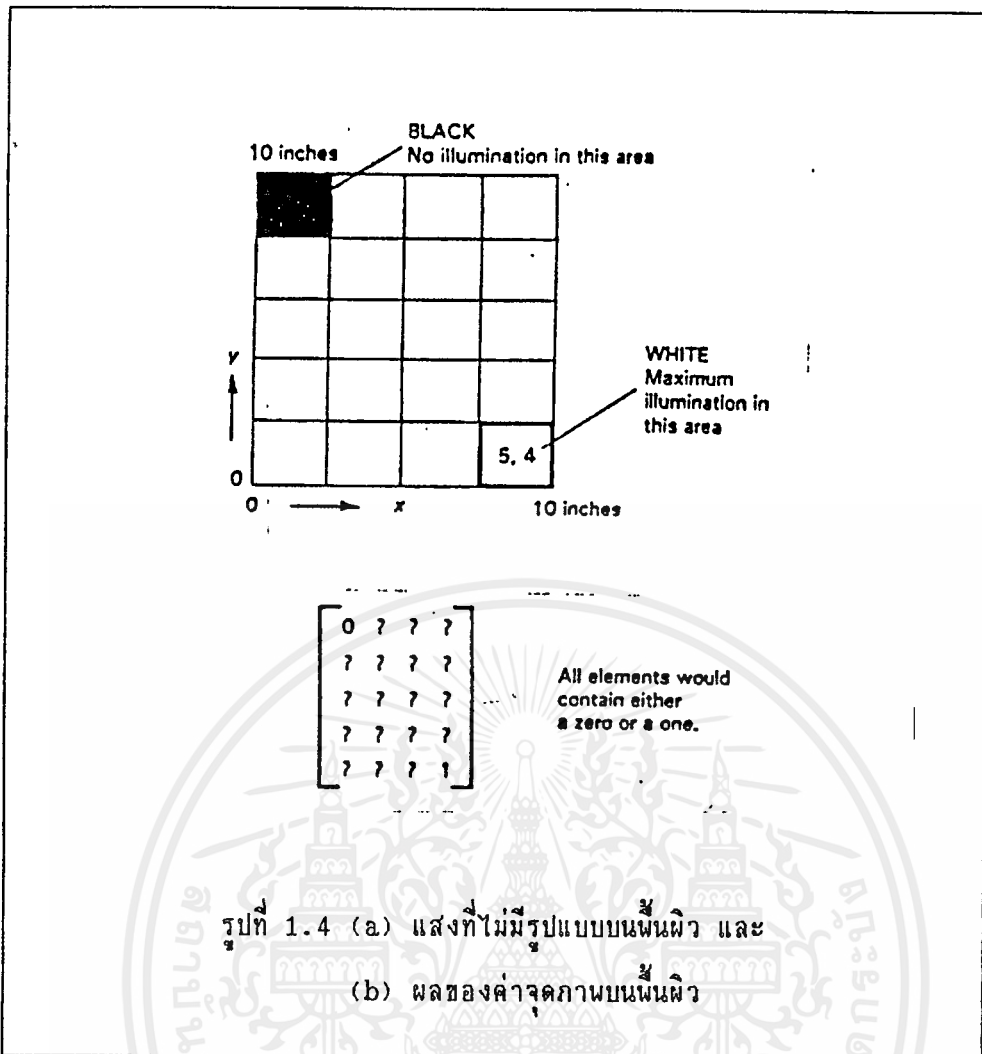
รูปที่ 1.3 กรอบภาพและความสัมพันธ์ของจุดภาพในกรอบภาพ

1.3 ตำแหน่งของจุดภาพ

คุณสมบัติของจุดภาพในรูปแบบพื้นฐานจะเหมือนกันหมด โดยโคออร์ดิเนต (coordinate) ของจุดภาพ จะอยู่ในพื้นที่ขนาด $N \times M$ ซึ่งแทนเป็นรูปภาพของจุดภาพที่ตำแหน่ง (n, m) จะมีค่าอยู่หนึ่งค่า ซึ่งถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยของแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ของภาพ (picture) แทนด้วยจุดภาพ

ลองพิจารณาที่ ที่ไม่มีแสงตกกระทบบนบริเวณส่วนบนของภาพ และมีแสงที่มีความสว่างมากตกกระทบบนบริเวณส่วนล่างขนาด $10" \times 10"$ ของภาพ (picture) ดังรูปที่ 1.4 ในระบบของไบนารี จะใช้การแทนค่าของแสงสว่างดังนี้ : บริเวณที่ไม่มีแสงสว่าง จะแทนด้วยค่า "0" และบริเวณที่มีแสงสว่างจะแทนด้วย "1" ภาพจะแสดงโดยแมทริก (matrix) ขนาด 5×4 คือ มี 5 แถว 4 หลัก แต่ละส่วนของภาพ (picture element) มีความกว้าง $2.5"$ และสูง $2"$ จะถูกกำหนดเป็นตัวเลข ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ส่วนนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 (a) แสงที่ไม่มีรูปแบบบนพื้นผิว และ (b) ผลของค่าจุดภาพบนพื้นผิว

พื้นที่ขนาด 2.5" x 2" ที่อยู่ส่วนบนทางมุมซ้ายมือของภาพจะแทนด้วยตำแหน่ง (1, 1) ในแมทริกซ์ (matrix) ขนาด 5 x 4 จะมีค่า "0" อยู่ แสดงว่าบริเวณนี้ไม่มีแสงตกกระทบ พื้นที่ขนาด 2.5" x 2" ที่อยู่มุมซ้ายส่วนล่างของภาพ ซึ่งอยู่ที่หลักที่ 4 แถวที่ 5 แทนโดยตำแหน่ง (5, 4) จะมีค่าเป็น "1" อยู่แสดงว่าบริเวณนี้แสงสว่างสูงสุด จุดสังเกตค่าของจุดภาพที่ตำแหน่ง (1, 1) จะเป็น "0" และค่าของจุดภาพที่ตำแหน่ง (5, 4) จะเป็น "15" ถ้ามีระดับสีเทา (gray scale) เท่ากับ 16 ระดับ ซึ่งนำมาใช้แทนระบบไบนารี

ไม่มีข้อมูลในค่าของจุดภาพที่เป็นค่ากลางๆ และระบบที่ออกแบบไว้ จะต้องแสดงค่าระดับขั้น (Threshold value) ของแสงสว่าง ซึ่งค่าจะถูกเปลี่ยนจาก 0 ไป 1

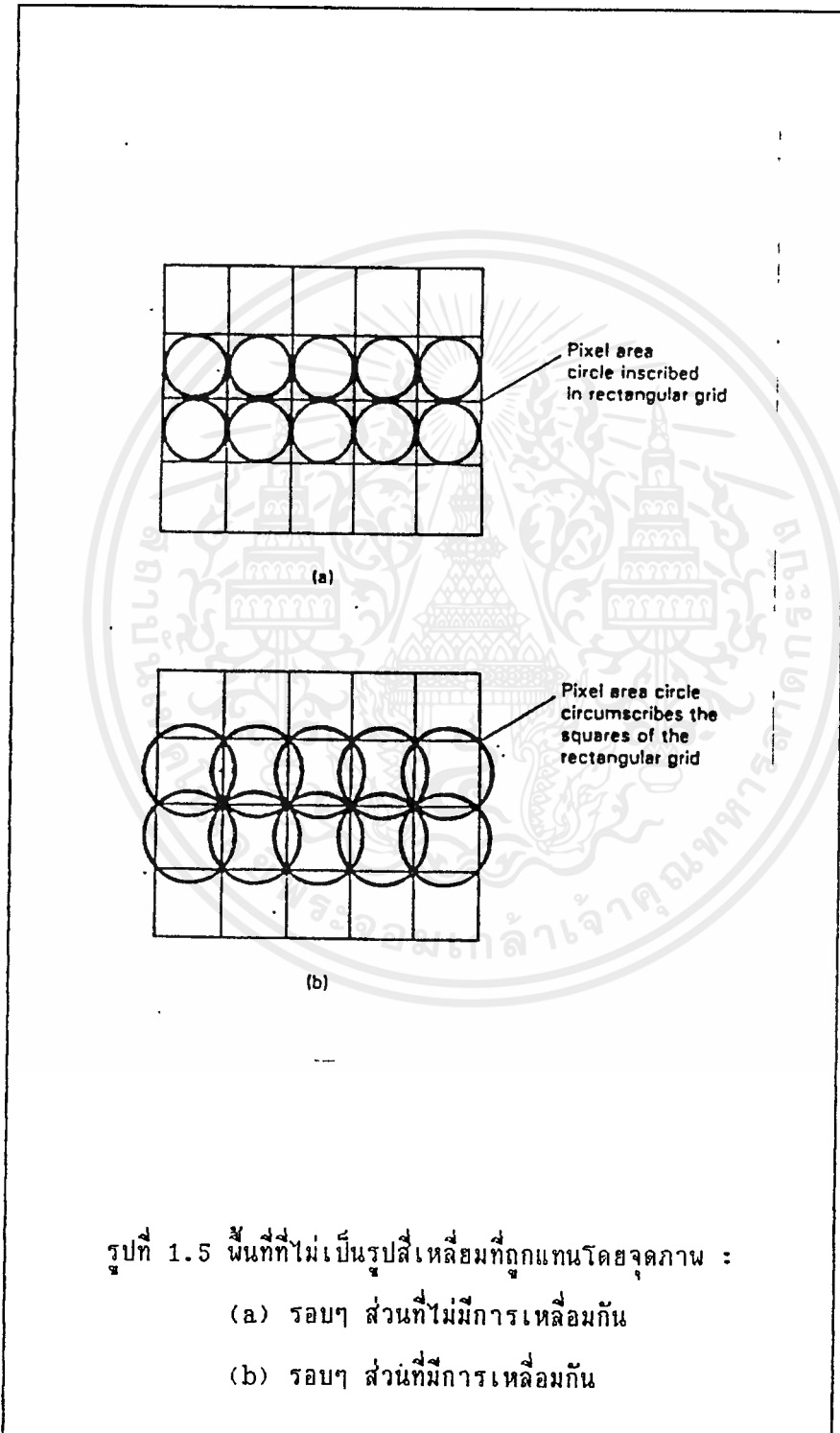
ในตัวอย่าง ส่วนของภาพ (picture element) เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่บนภาพจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือวงกลมนั้นขึ้นอยู่กับตัวเซ็นเซอร์ ในกรณีที่เป็นกล้องที่ใช้หลอด (tube-camera) กับพื้นที่ตัวเซ็นเซอร์เป็นแบบวงกลม อาจจะมีการเหลื่อมกัน (overlap) ดังแสดงใน

รูปที่ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่มี การเหลื่อมกัน (overlap) จะมีพื้นที่ของภาพระหว่างวงกลมซึ่งไม่ถูกวัด
 ในกรณีที่มีการเหลื่อมกันของวงกลม จะพื้นที่ซึ่งถูกวัดเป็นสองครึ่ง

ไม่มีข้อมูลในแผนที่จุดภาพ ซึ่งแสดงถึงรูปร่างของพื้นที่ในภาพต้นแบบ (original picture) แทนโดยจุดภาพ หรือข้อมูลเกี่ยวกับแสงสว่างในส่วนของจุดภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระดับสีเทา

เพื่อที่จะให้ข้อมูลที่อยู่ระหว่างค่าของแสงสว่าง จำเป็นจะต้องเพิ่มจำนวนในการเก็บข้อมูลแทนค่าของจุดภาพ ตัวอย่างเช่น ถ้าระดับของแสงสว่าง (illumination) อยู่ 4 ระดับ จะต้องการจำนวนบิตในการเก็บข้อมูลเพียงสองบิต จำนวนบิตเพิ่มขึ้นเป็น 4 บิต จะมีระดับแสงสว่างได้ 16 ระดับ 8 บิต จะได้ 256 ระดับ จำนวนของระดับสีเทา (gray level) โดยปกติจะเป็นสองยกกำลัง n (2^n) ค่าที่อยู่ต่ำสุดคือ "0" ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นสีดำ และตัวเลขที่เป็น "1" หรือมากกว่าขึ้นไปจะถูกแทนด้วยระดับสีเทาส่งสุด (maximum gray levels) ตัวอย่างเช่นค่า "15" ในระบบ 16 (ระบบที่มีระดับสีเทา 16 ระดับ) จะเป็นค่าสำหรับสีขาว การกำหนดค่าของจุดภาพ ปกติมักจะเป็นเลขจำนวนเต็ม (integer)

| ระดับสีเทา | ช่วงของค่าระดับสีเทา |
|------------|----------------------|
| 2^1 | 2 ค่า 0, 1 |
| 2^2 | 4 ค่า 0 ถึง 7 |
| 2^4 | 16 ค่า 0 ถึง 16 |
| 2^8 | 256 ค่า 0 ถึง 256 |

การแทนความสว่างของแสงแบบไบนารีเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทุกวันนี้ในระบบการมองเห็น (vision system) เพราะมีข้อดีคือทำตัวเซ็นเซอร์ง่าย ข้อมูลมีความถูกต้องสูง การประมวลผลและการเก็บข้อมูล ซึ่งในปัจจุบัน ไมโครโปรเซสเซอร์มีการประมวลผลแบบใช้ข้อมูลมากกว่า 8 บิตแล้ว ดังนั้นระดับสีเทา (gray level) ที่มีค่าเท่ากับ 16, 64 และ 256 จึงเป็นเรื่องธรรมดา ในเวลานี้ได้จำกัดค่าไม่ให้เกิน 256 ระดับ เพราะว่า 64 และ 256 ระดับ ก็ให้รายละเอียดมากพอที่ตามมนุษย์สามารถมองเห็น และเพียงพอที่จะนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมได้อย่างเพียงพอ ความสามารถของตามมนุษย์ในการบอกความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงได้นั้น อยู่ในระดับ 40 แต่สามารถบอกความแตกต่างได้เด่นชัดเพียง 10-15 ระดับเท่านั้น ระดับสีเทามีค่าเท่ากับ 16 เป็นสเกลที่ต่ำสำหรับตามมนุษย์ที่จะแยกแยะได้ ขณะที่ 64 และ 256 ระดับนั้น จะให้การแยกแยะได้มากกว่าตามมนุษย์ตามมนุษย์ที่จะแยกแยะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

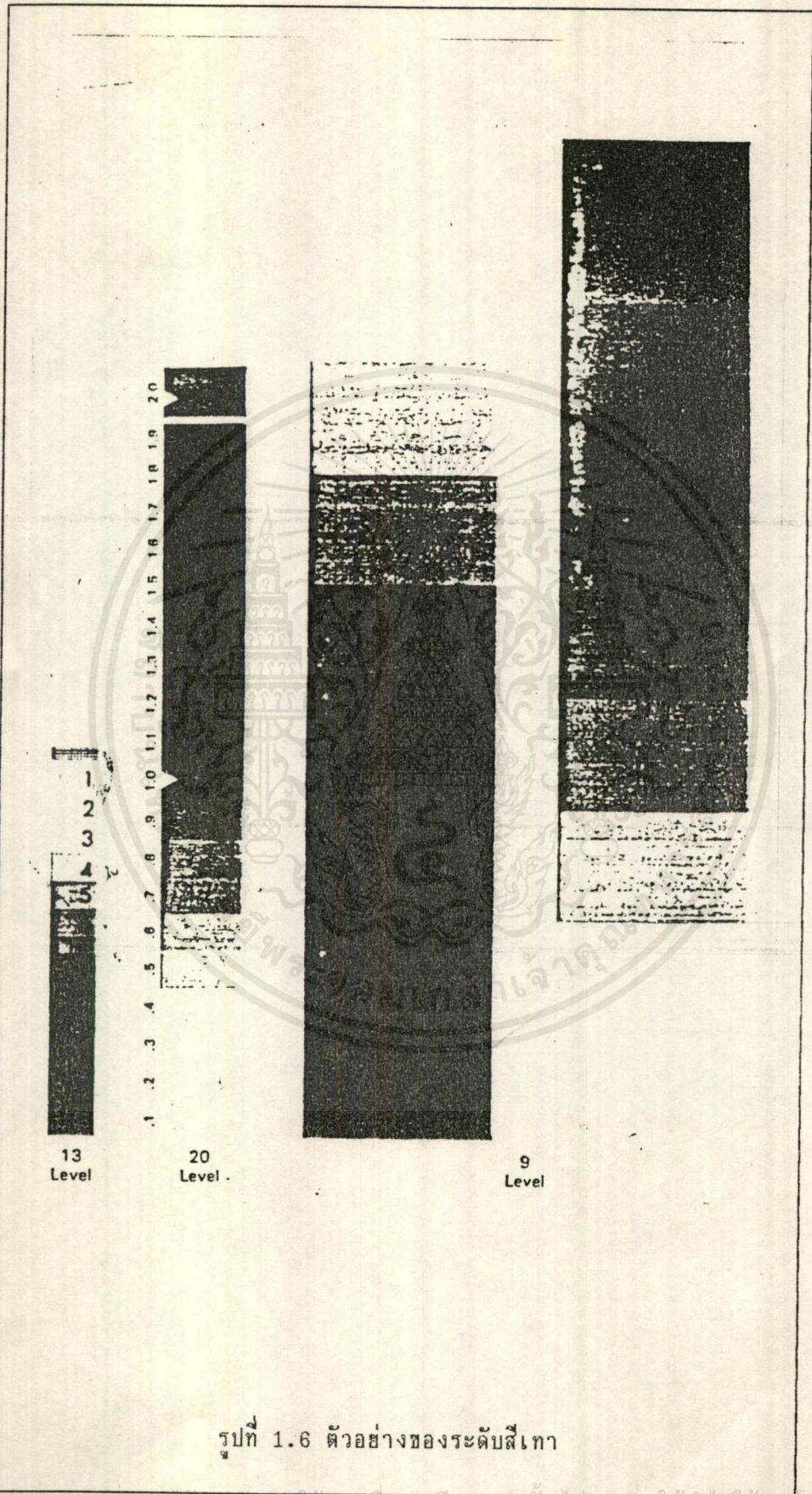
ระบบอาจมีความสามารถแบ่งได้ 256 ระดับ แต่องค์ประกอบร่วมกับการประยุกต์ใช้งานอาจจะทำให้จะต้องใช้รายละเอียดของจำนวนระดับสีเทา ความถูกต้องหรือความต้องการที่จะพัฒนาให้ดีขึ้น โดยทั่วไปใช้ 1/9, 1/13 หรือ 1/20 วิธีทำให้จุดภาพมีความละเอียดขึ้น และระบบระดับสีเทา ของ 9, 13 หรือ 20 ระดับสีเทา ดังแสดงในรูปที่ 1.6 จำนวนของระดับสีเทา (gray level) มีผลต่อภาพ โดยบริเวณที่มีแสงมากจะมีลักษณะเด่น (feature) ขณะที่แยกเฉพาะส่วนดังกล่าว โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของจำนวนระดับสีเทา จะช่วยให้คุณภาพของภาพดีขึ้นและจัดให้เหมาะสมที่จะทำให้ช่วงของระดับสีเทาดีขึ้น ถ้าข้อมูล (information) เป็นฐานข้อมูล (data base) ขณะที่ทวีคูณระดับสีเทา การจับ (acquisition) ภาพในโหมดไบนารี (binary mode) จะลดข้อมูลในการเก็บ แต่มีขีดจำกัดความสามารถใช้เทคนิคการขยายระดับสีเทา (gray scale expansion technique) ในการวิเคราะห์ประมวลผลของการกระทำ (operation) การเพิ่มขนาดของจุดภาพจากค่าเล็กๆ เช่น 32×32 ไปเป็น 250×250 จะเพิ่มความละเอียดและระดับรายละเอียดของภาพ นี่เป็นข้อแตกต่างจากการขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น "zoom" ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดของจุดภาพ

ในระบบระดับสีเทา จะให้ค่ากลางๆ (means) ของลักษณะเฉพาะบอกความแตกต่างระดับของความเข้มแสงในรูปภาพ (picture) และให้ค่ากลางของจุดภาพย่อย (subpixel) ที่เที่ยงตรงในการวัดขนาดของนิพจน์ (item) แสงด้านหลัง (back lighting) จะถูกนำมาใช้ตรวจจับในส่วนของเครื่องจักรกับระบบการมองเห็น (vision system) สำหรับช่วงทั้งหมด (overall length) ดังในรูปที่ 1.7

ส่วนของมุมในภาพ จะอยู่ในตำแหน่ง (2,1), (2,4), (5,1), (5,5)

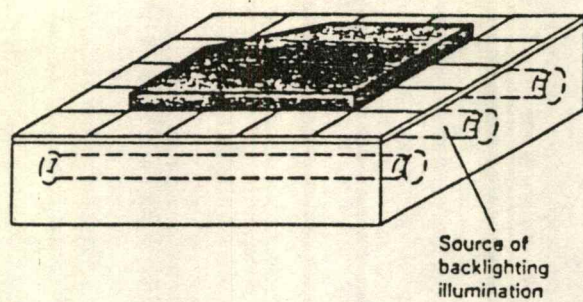
ในการวิเคราะห์แบบรังผึ้ง (cellular analysis) พื้นที่ที่แทนโดยจุดภาพที่ตำแหน่ง (2,5) จะเป็นบริเวณมืด และจะมีค่าเป็น "0" สำหรับที่ซึ่งไม่มีความเข้มของแสง พื้นที่ที่แทนที่ตำแหน่ง (5,2) จะมีวัตถุบังอยู่ครั้งหนึ่ง ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแสงเหนือพื้นที่ดังกล่าวจึงเท่ากับ $(0+15)/2$ หรือ 7.5 พื้นที่ที่สว่างทั้งหมดจะมีค่าของจุดภาพเท่ากับ 15 ค่าความเข้มแสงสว่างจะอยู่ในช่วง 0-15 ในระบบสีเทา 16 ระดับ

ขณะที่ค่าของจุดภาพจะต้องเป็นจำนวนเต็ม ค่า 7.5 จำเป็นต้องปรับปรุง การปรับปรุงจำเป็นจะต้องมีกฎเกณฑ์ ในระบบใด ๆ ซึ่งจะหาว่า จะเปลี่ยนค่าอัตราส่วน ไปเป็นจำนวนเต็ม (integer) ได้อย่างไร ตัวอย่างเช่น กฎเกณฑ์ทั่วไป จะปิดเศษขึ้นไปยังเลขจำนวนเต็มที่อยู่ถัดไป ถ้าค่าอัตราส่วนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 ดังนั้น ถ้าวัดค่าได้เป็น 7.5 ค่าที่ใช้จะเป็น 8 ขณะที่ในรูปที่ 1.7 ไม่ได้ปิดเศษขึ้น ถ้าวัดค่าได้ 6.6 ค่าที่ใช้ คือ 7 ผลของค่าอัตราส่วนถูกปิดเศษขึ้นมีความสำคัญ เพราะมันมีผลกระทบต่อค่าผิดพลาด และเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องรู้ว่า ค่าใดที่กำลังเอ็กสารถนเป็นเอ็กสารถนทวิส่วนไวสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมืออนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



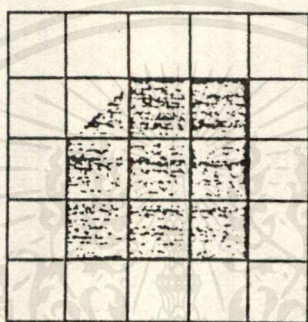
รูปที่ 1.6 ตัวอย่างของระดับสี่เทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในระบบอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Source of
backlighting
illumination

(a)



(b)

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 15 | 7 | 0 | 0 | 15 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

(c)

รูปที่ 1.7 (a) วัตถุบนตารางแสง

(b) เมื่อมองจากด้านบน และ

(c) เมื่อแทนในรูปของแมทริก โดย จุดภาพสีดำแทนด้วย "0"
และ จุดภาพสีขาวแทนด้วย "15"

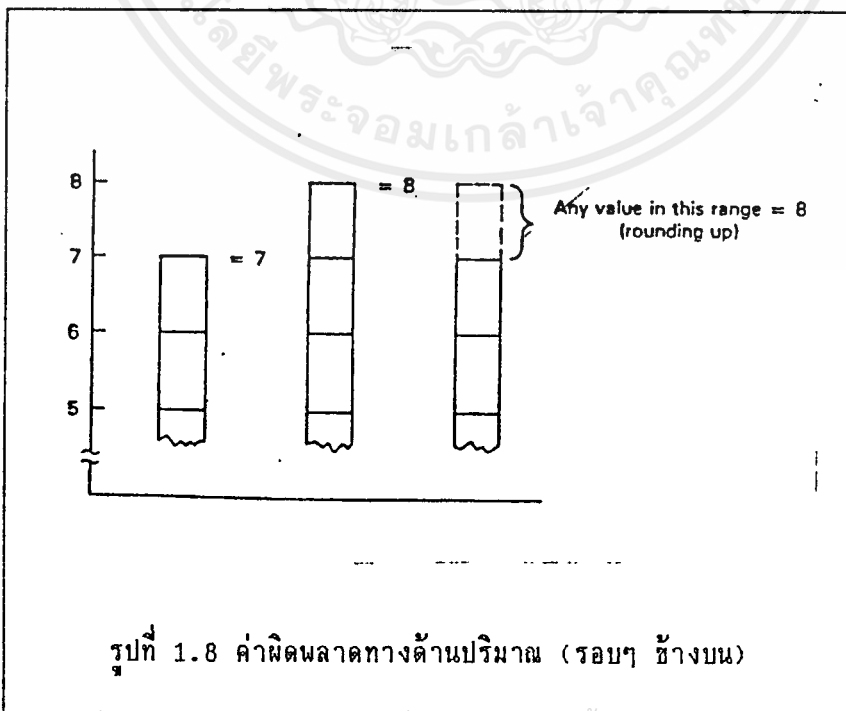
1.5 ความผิดพลาดทางด้านปริมาณ

การปัดเศษค่าระดับสี่ทศนิยมไปเป็นจำนวนเต็มจะได้ผลในความไม่แน่นอนของค่าที่ถูกต้อง ความไม่แน่นอนจะเป็นฟังก์ชันของกฎเกณฑ์การปัดเศษ

กฎเกณฑ์ซึ่งบอกว่า ค่าใดที่มีค่ามากกว่าค่าจำนวนเต็มจะถูกปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็มถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 1.8 สำหรับระบบที่มีค่าระดับสี่ทศนิยมเท่ากับ 16 ระดับ การปัดเศษนี้ จะให้ผลในทางที่ไม่แน่นอนในเชิงลบ (negative uncertainty)

ขนาด (dimension) และความกว้าง (tolerance) สามารถหาได้โดยการใช้วิธี ทำให้จุดภาพมีความละเอียดขึ้นและความรู้ในเรื่องการปัดเศษ ในตัวอย่างต่อไปนี้ ขนาดของ x (x dimension) ในรูป 1.9 ถูกแทนโดย 4 จุดภาพ และ "1" จุดภาพย่อยขนาด y (y dimension) ถูกแทนโดย 1 จุดภาพ

$$\begin{aligned}
 x &= 4 \text{ จุดภาพ} \times 0.100 \text{ นิ้ว/จุดภาพ (บนวัตถุ)} \\
 &= 1 \text{ ส่วนของจุดภาพ} \times 12/16 \times 0.100 \text{ นิ้ว/จุดภาพ} \\
 &= 12/16 \text{ นิ้ว} \text{ คือ ค่าคงที่ของระดับสี่ทศนิยมของจุดภาพ/ระดับสี่ทศนิยมทั้งหมด} \\
 x &= 0.400 \text{ นิ้ว} + 0.075 \text{ นิ้ว} = 0.475 \text{ นิ้ว} \\
 y &= 1 \text{ จุดภาพ} \times 0.100 \text{ นิ้ว/จุดภาพ} = 0.100 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$



ค่าความผิดพลาด หาได้จากกฎการปิดเศษ ค่าจุดภาพของ "0" แทนด้วยค่าสูงสุดของแสงสว่างค่าของจุดภาพ 11 แทนด้วยค่าของแสงสว่างจาก $10.x$ ถึง 11.0 ซึ่ง x เป็นค่าจำนวนเต็มที่มีมากกว่า "0" น้อยกว่าหรือเท่ากับ "1" ค่าของจุดภาพ 15 ถูกแทนด้วยค่าแสงสว่างจาก $14.x$ ถึง 15.0 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

| ค่าของจุดภาพในแมททริก | ค่าของความสว่างที่ถูกแทน โดยค่าของจุดภาพ |
|-----------------------|---|
| 0 | = 0 |
| 1 | = $0 < \text{ค่าของจุดภาพ} \leq 1$ |
| 11 | = $0 < \text{ค่าของจุดภาพ} \leq 11$ |
| 15 | = $0 < \text{ค่าของจุดภาพ} \leq 15$ |

การวัดที่คลาดเคลื่อนในจุดภาพกับการปิดเศษ ทำให้วัตถุไม่สามารถขยายได้มากกว่าที่แสดงให้เห็นโดยการคำนวณขนาด (dimension) แต่สามารถทำได้น้อยลง โดยการรวมของขนาดจุดภาพ (pixel dimension) แทนโดย 1 ระดับสี่เทา ในทิศทาง x จุดสิ้นสุดของสองจุดภาพจะไม่ช่วยให้การวัดไม่แน่นอน ขณะที่ในทิศทาง y มีเพียง 1 จุดภาพที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ค่าความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนของขนาด

$$x = +0.0 \text{ นิ้ว} - 2 \text{ จุดภาพ} \times \frac{1}{16} \times 0.100 \text{ นิ้ว/จุดภาพ} \\ = -0.0125 \text{ นิ้ว}$$

$$y = +0.0 \text{ นิ้ว} - 1 \text{ จุดภาพ} \times \frac{1}{16} \times 0.100 \text{ นิ้ว/จุดภาพ} \\ = -0.00625 \text{ นิ้ว}$$

ขนาดของวัตถุ คือ

$$x = 0.475 + 0.0 \text{ นิ้ว} - 0.0125$$

$$y = 0.100 + 0.0 \text{ นิ้ว} - 0.00625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าซึ่งเป็นค่าจุดภาพถูกเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งของเลขจำนวนเต็มในการปิดเศษ และถูกลดค่าเมื่อปิดเศษลง ที่รู้จักกันในนามระดับขั้น (threshold) จะอยู่ในช่วงระหว่างเลขจำนวนเต็มสองจำนวน จะเป็นผลทั้งในทางบวกและทางลบของค่าผิดพลาด

ตามกฎเกณฑ์ ซึ่งค่าที่มากกว่า 6.5 จะปิดเศษขึ้นเป็น 7 ค่าระหว่าง 6.0 และ 6.5 จะปิดเศษลงเป็น 6.0 จะส่งผลทั้งทางบวกและทางลบของบริเวณไม่แน่นอน (uncertainty zone) ซึ่งเท่ากับ

1

2x (ค่าสูงสุดของระดับสีเทา)

จำนวน gray level ที่สูง จะทำให้เกิด quantizing error น้อย

1.6 ค่าผิดพลาดจากการวัด

ขนาด (dimension) ของวัตถุในภาพสามารถหาได้โดยการนับจำนวนจุดภาพ หรือ ส่วนของจุดภาพ (part of the pixel) ในทิศทางที่สนใจ ถ้าแสงด้านหลังถูกนำมาใช้ ภาพจะเป็นค่าหรือขาวอย่างใดอย่างหนึ่ง และค่ากลางของค่าระดับสีเทาจะครอบคลุมตำแหน่งของพื้นที่จุดภาพโดยวัตถุ ความถูกต้องของการวัดขนาด (dimension) จะมีผลกระทบโดยค่าผิดพลาดทางด้านปริมาตร รวมอยู่กับค่าพื้นที่จุดภาพ ณ ตำแหน่งสิ้นสุดของวัตถุ

ขนาดของวงรีของวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าในภาพ จากแสงทางด้านหลังของระบบที่มีระดับสีเทา 16 ค่า (16 gray-level system) กับขนาดจุดภาพของ 0.10×0.10 นิ้ว หาได้ โดยการบวกขนาดของจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาสูงสุดบวกกับส่วนย่อยของขนาดแทนด้วยค่ากลางๆ ของระดับสีเทา ดังแสดงในรูปที่ 1.9 ซึ่งใช้การปิดเศษขึ้น

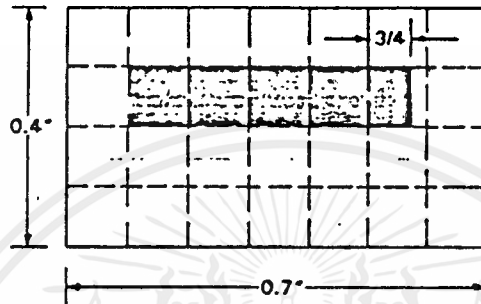
มีข้อแตกต่างของวัตถุซึ่งจะเป็นผลในค่ากลางๆ ของระดับสีเทา ในระบบแสงทางด้านหลัง ดังแสดงในรูปที่ 1.10

พื้นที่จุดภาพ 3 ส่วน กับค่าของ 7 ที่แทนผลกระทบของรูปร่างที่แตกต่างกัน ทางด้านคุณลักษณะพื้นที่ (2,4) คือ 50% ปกคลุมโดยส่วนที่สิ้นสุดที่ทึบ 45 องศา พื้นที่ (3,5) คือ 50% ที่ถูกปกคลุม โดยส่วนที่สีนอออกมาของสี่เหลี่ยมผืนผ้าของวัตถุ และพื้นที่ (1,3) คือ 50% ที่ปกคลุมโดยวัตถุที่เป็นรู (hole) สิ่งที่ต้องจำเป็นอย่างยิ่งคือ ต้องรู้ลักษณะเด่นของวัตถุในการวิเคราะห์ ค่าแมททริคของภาพ สำหรับวิเคราะห์ขนาด และค่าผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 15 & 15 & 15 & 11 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

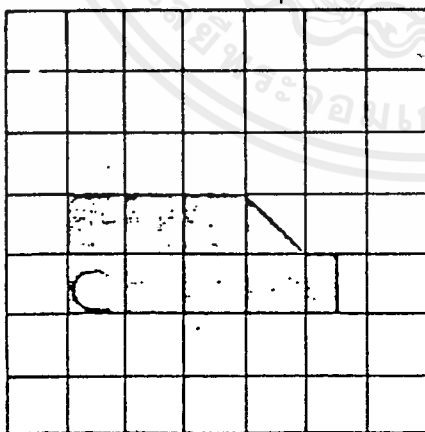
(a)



(b)

รูปที่ 1.9 (a) การกำหนดขนาดจากข้อมูลแมททริกภาพ

(b) วัตถุรูปร่างปรกติบนโต๊ะฉายแสง



(a)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 15 & 15 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & 15 & 15 & 15 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(b)

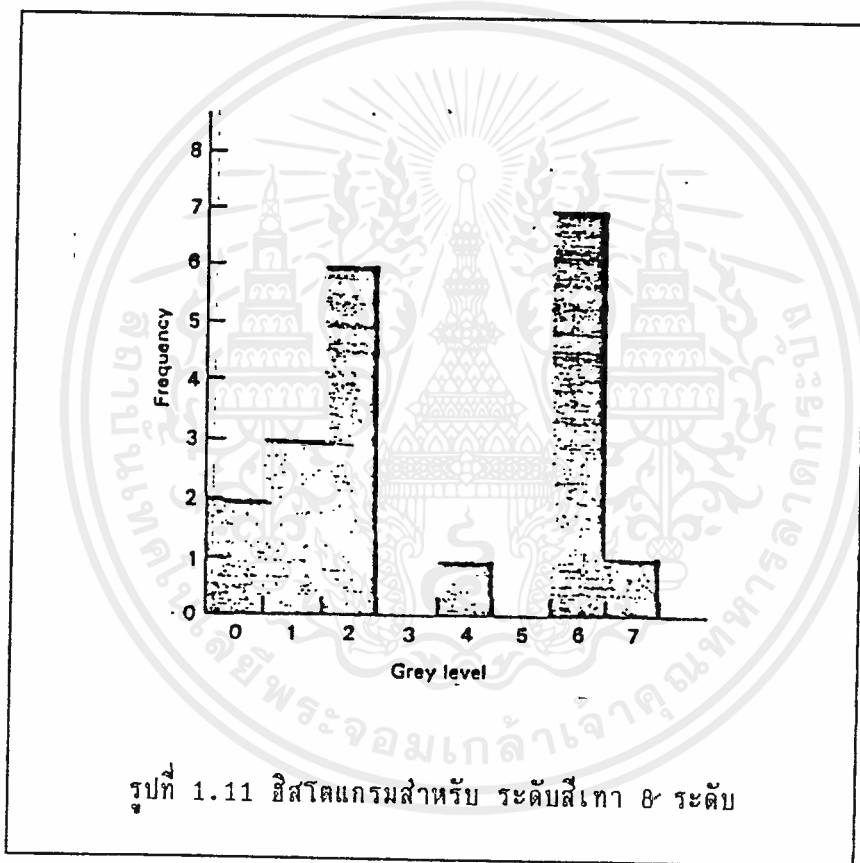
รูปที่ 1.10 (a) วัตถุรูปร่างไม่ปรกติบนโต๊ะฉายแสง

(b) ค่าจุดภาพของวัตถุตามรูป (a)

1.7 ฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรม คือภาพกราฟที่แทนความถี่ของการนับระดับสีเทา (gray level) ที่เกิดขึ้นในภาพ แนวแกน x เป็นค่าของระดับสีเทา (gray level) และแนวแกน y เป็นจำนวนจุดภาพที่มีระดับสีเทา (รูปที่ 1.11) ฮิสโตแกรม ถูกสร้างโดย

- 1) Digitizing the image frame.
- 2) Counting the pixels at each gray scale level และ
- 3) Plotting the frequency count of pixels at each gray level.



กราฟที่จะสามารถพิจารณาสร้างแบบกราฟแท่งที่แสดงจำนวนของจุดภาพที่แต่ละระดับสีเทา ที่เกิดขึ้นในกรอบ (frame)

ขนาด (magnitude) ของกราฟแท่งที่ค่าของจุดภาพ คือความน่าจะเป็นของค่าสีเทา (gray value) เกิดขึ้นในส่วนของภาพ (picture element) ในกรอบ (frame) ไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของจุดภาพ ความน่าจะเป็นของจุดภาพค่า b เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งจุด (x, y)

ในรูปภาพ ดังรูป 1.11 และมีสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

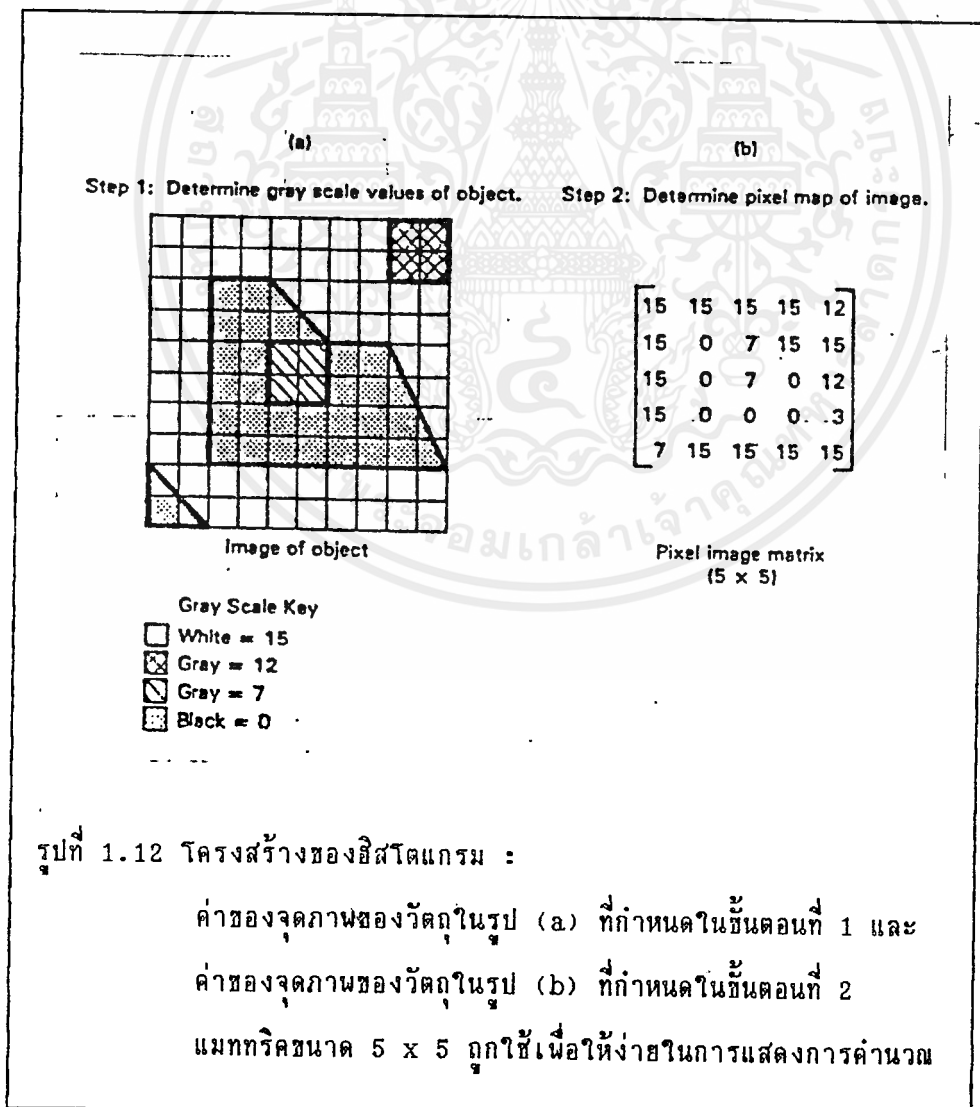
ค่าของ b

$$P(b) = \frac{\text{ที่ทุกๆ จุด } (x,y) \text{ ในภาพ}}{\text{จำนวนจุดภาพทั้งหมด}}$$

ถ้า $b = 6$ ระดับสีเทาและค่าของฮิสโตแกรม ที่ 6 เท่ากับ 7 คือ

$$P(6) = 7/20 = 0.35$$

รูปร่างของฮิสโตแกรม ที่เตรียมข้อมูลบนคุณลักษณะ (characteristic) ของภาพตัวอย่าง ฮิสโตแกรม ที่แคบบอกถึงระดับความแตกต่างของสีขาวและสีดำ ในภาพหรือรายละเอียดของค่าของ จุดภาพอาจแทนด้วยคุณลักษณะพิเศษของนิพจน์ (item) ในภาพ (picture) เช่นมีส่วนของรูปฮิสโตแกรม มีประโยชน์ในการตั้งค่าระดับขึ้น ในการเปลี่ยนภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพแบบไบนารี หรือการปรับปรุง ส่วนของสเปคตรัมระดับสีเทา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) โครงสร้างของฮิสโตแกรม ของภาพสามารถสร้างขึ้นโดยขั้นตอนดังต่อไปนี้ ดัง
 ในรูปที่ 1.12 และ 1.13 อย่างนี้ ใช้แมทริกขนาด $M \times N$ และจำนวนจุดภาพทั้งหมดเป็นผล
 จาก $M \times N$ ถ้า

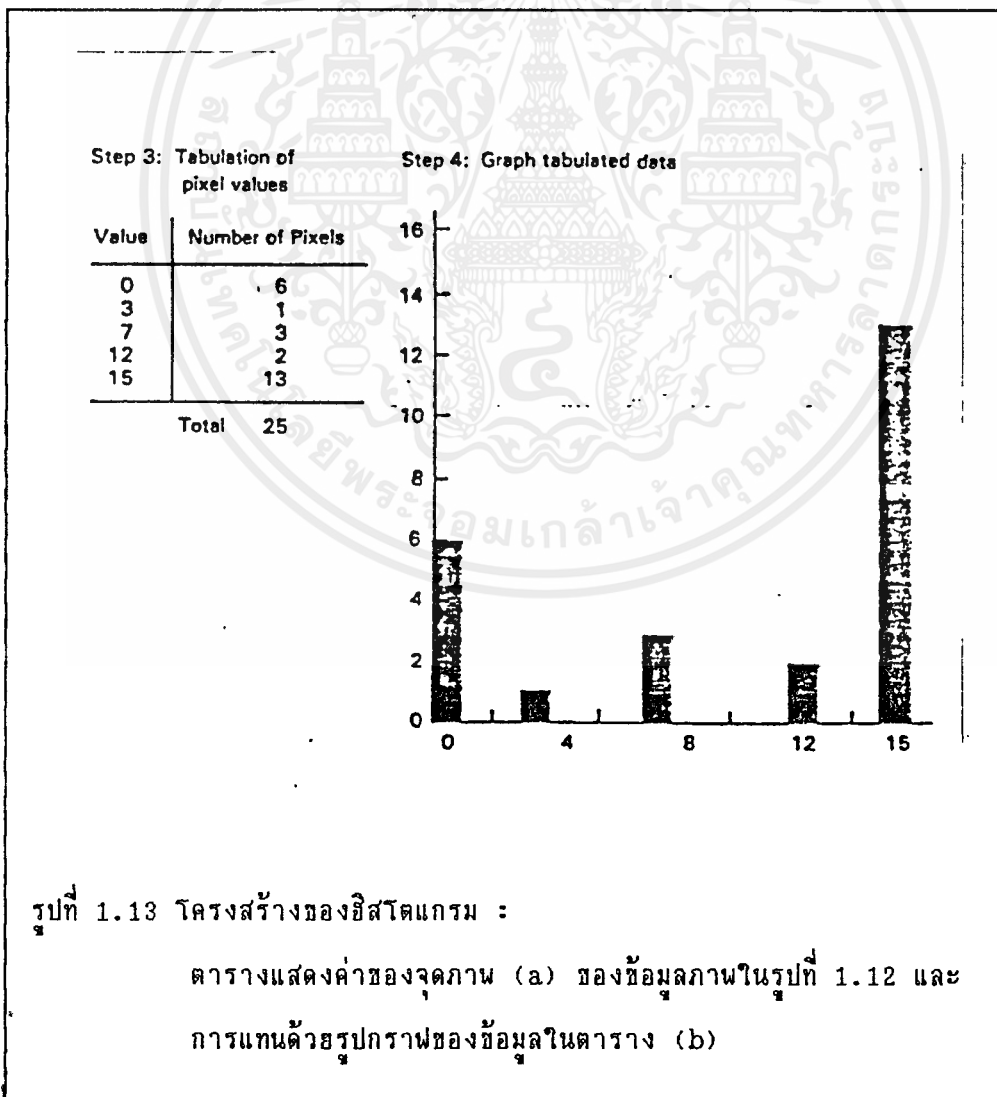
$$M = 10$$

$$N = 10$$

$$\text{จุดภาพทั้งหมด} = 10 \times 10 = 100$$

อาจจะเป็นไปได้ว่า M และ N ไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกล้อง และอัตราการ
 สุ่มสัญญาณที่เปลี่ยนจากสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และหน่วยความจำของระบบ ค่าที่สูง
 ของ M และ N จะเพิ่มความเที่ยงตรง แต่ราคาก็จะเพิ่มขึ้นตามความจุและเวลาการตอบสนอง

(2) โครงสร้างของแผนภาพของจุดภาพ (pixel map) ของภาพ ในตัวอย่างเป็น
 โครงสร้าง แมทริก ขนาด 5×5 จำนวนจุดภาพทั้งหมด คือ 25



(3) ผลตารางของแผนภาพของจุดภาพ นั่นคือ นับความถี่ของค่าจุดภาพแต่ละค่าที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่า "0" เกิดขึ้นใน 6 จุดภาพ แต่ค่า 3 เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว จำนวนของค่าทั้งหมดในตารางจะต้องเท่ากับ $N \times M$ ในตัวอย่างนี้เท่ากับ 25

(4) สร้างฮิสโตแกรม โดยกราฟแท่ง สำหรับค่าแต่ละจุดภาพจาก "0" ไปถึงระดับสีเทาโดยหนึ่ง ในตัวอย่างระดับสีเทาของ 16 ถูกใช้สร้างแผนภาพของจุดภาพ และค่าสูงสุด คือ 15 มันจะแสดงค่าสูงสุดของจุดภาพในแผนภาพ ไม่มีองค์ประกอบ (factor) ของฮิสโตแกรม จะประกอบด้วยกราฟแท่ง สำหรับค่าของจุดภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 15



บทที่ 2

ขอบภาพ

(Edge Enhancement)

2.1 ตัวกรองสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล

ตัวกรองสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล สามารถแบ่งออกได้เป็น ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน และตัวกรองความถี่สูงผ่าน ขึ้นอยู่กับส่วนของสเปกตรัมของความถี่ที่มีผลกระทบ ผลของสัญญาณรวมจะมีทุกความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

สัญญาณเอ้าท์พุทของตัวกรองความถี่สูงผ่านจะมีความถี่สูง เอ้าท์พุทของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีแต่ระดับต่ำ คุณสมบัติของความถี่ตัดสามารถเปลี่ยนแปลงโดยเลือกค่าที่จะใช้ในการกรองได้

ความถี่ต่ำในจุดภาพจะถูกทำให้มีคุณลักษณะ โดยการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างระหว่างสีขาวกับสีดำ จุดภาพข้างเคียงอย่างช้าๆ ในความสัมพันธ์กับความถี่สูง จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็วที่บริเวณขอบของวัตถุ

2.2 ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านจะมีผลต่อเฉพาะความถี่ต่ำในข้อมูลภาพ (image data) และจะลดทอนความถี่สูงดังแสดงในรูปที่ 2.2 การลู่จุดที่ไม่ดีในภาพสามารถนิจาร์ณาสัญญาณรบกวนและความถี่สูง เพราะว่าค่าของจุดภาพที่อยู่ข้างเคียงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผลของรอยด่างในภาพสามารถลดลงได้ โดยการใช้ตัวกรองสัญญาณเฉลี่ยอย่างง่าย สมบัติของแมทริกสำหรับตัวกรองสัญญาณเฉลี่ย มีขนาดเป็น 3×3 ซึ่งจะมี 9 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

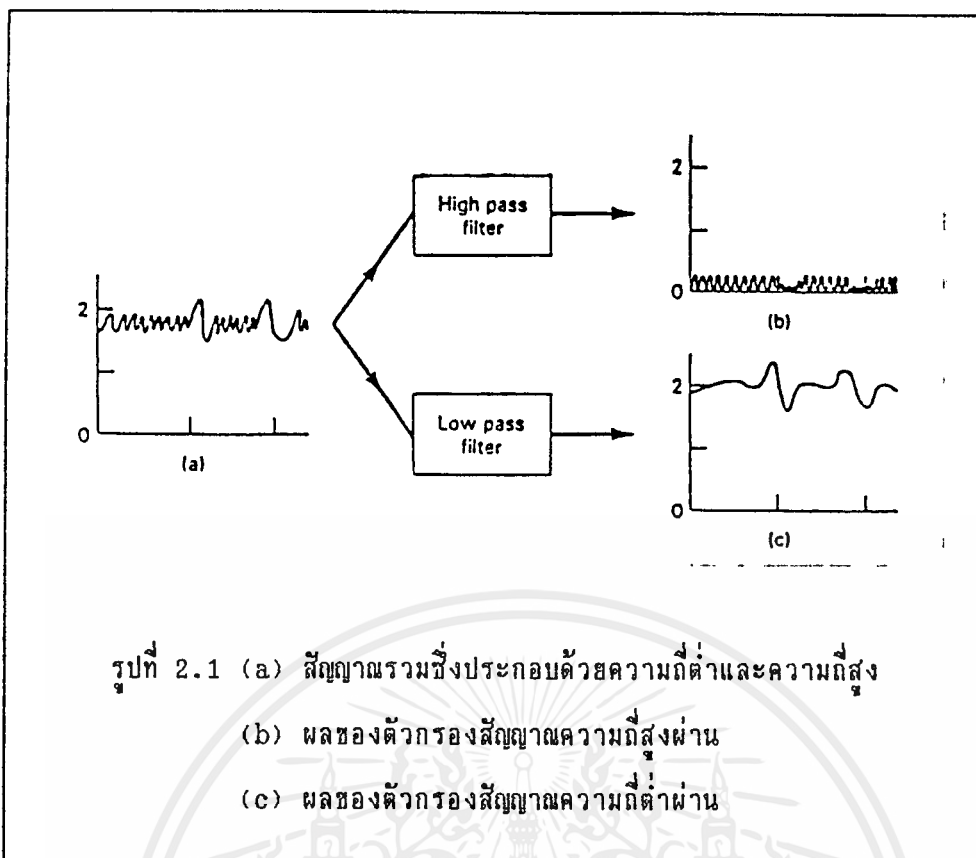
ค่าของจุดภาพในเอ้าท์พุทของแมทริก ถูกคำนวณโดยการนำกรอบของการคอนโวลูชันไปทำการคอนโวลูชันกับข้อมูลภาพ (image data) ที่ตำแหน่ง $p_{1,1}$ กับค่าสัมประสิทธิ์ของแมทริก $f_{1,1}$ และให้ผลไว้ที่ตำแหน่งกลางของพื้นที่ในแมทริกภาพอันใหม่ ค่าใหม่ของ $q_{2,2}$ หาได้จาก

$$q_{2,2} = f_{1,1} \times p_{1,1} + f_{2,1} \times p_{2,1} + \dots + f_{3,3} \times p_{3,3}$$

เงื่อนไขของตัวกรองความถี่ต่ำ คือ

- (1) ส.ป.ส. ทั้งหมดต้องเป็นบวก และ
- (2) ผลรวมทั้งหมดของ ส.ป.ส. จะต้องเท่ากับ "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{2,1} & f_{3,1} \\ f_{1,2} & f_{2,2} & f_{3,2} \\ f_{1,3} & f_{2,3} & f_{3,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของแมทริกซ์กรองความถี่ต่ำผ่าน

ถ้าผลรวมของ ส.ป.ส. มากกว่า "1" จะเป็นผลทางการขยาย ถ้าผลรวมน้อยกว่า "1" จะให้ผลทางลดทอน และขนาดของค่าของจุดภาพที่อยู่บนภาพจะถูกลดลง ดังนั้นภาพจะมีลดลง การประยุกต์ใช้งานของ ส.ป.ส. ที่มีขนาดของแมทริกซ์เท่ากับ 3×3 กับพื้นที่ข้อมูล ซึ่งทุกจุดภาพมีค่าเหมือนกันหมดจะไม่มีข้อบกพร่อง ซึ่งมีขึ้นต่างระหว่างจุดภาพข้างเคียง ผลของตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านในการลดทอนสัญญาณรบกวนสามารถพิสูจน์ให้เห็นโดยการนิยาม กรณีสี่ที่หนึ่งจุดภาพในแมทริกซ์ ซึ่งเป็น "0" กำหนดให้เป็นส่วนที่เสียในพื้นที่ของตัวรับสัญญาณที่ใช้จับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ ข้อมูลจุดภาพข้างเคียงจะมีค่าเป็น "high" หมด

$$\begin{bmatrix} 7 & 7 & 7 & 7 \\ 7 & (0) & 7 & 7 \\ 7 & 7 & 7 & 7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7 & 7 & 7 & 7 \\ 7 & (7) & 7 & 7 \\ 7 & 7 & 7 & 7 \end{bmatrix}$$

แมททริกที่มีส่วนที่เสีย

แมททริกหลังจากที่ผ่านตัว

กรองสัญญาณความถี่ต่ำแล้ว

ถ้าค่าของส่วนที่เสียยังคงเป็นค่า "high" ของ "low" เพราะผลของจุดต่างสีขาว การประยุกต์ใช้งานของตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านจะมีผลกับการลดขนาดของค่าของจุดภาพที่เสีย ผลของการเพิ่มขึ้นของขนาดของบริเวณรอบๆ (neighborhood) เป็น 5×5 หรือ 9×9 สามารถพิสูจน์ โดยการเปรียบเทียบผลของการใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน กับกรณีที่มีจุดภาพที่เสีย (bad pixel) หนึ่งตัว ("0" ในขณะที่บริเวณอื่นมีค่าเป็น "1" หมด) ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลของขนาดของตัวกรอง

| ขนาดของแมททริก | ค่าที่นำไปคอนโวลูชัน | ค่าอัตราส่วนของส่วนที่เสีย | ค่าเวลาสัมพัทธ์ที่คำนวณได้ |
|----------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 3×3 | $1/9$ | $8/9$ | 1 |
| 5×5 | $1/25$ | $24/25$ | $25/9 = 2 - 7/9$ |
| 9×9 | $1/81$ | $80/81$ | $81/9 = 9$ |

พบว่าขนาดของแมททริกที่ใหญ่จะเป็นเหตุให้ค่าที่คำนวณได้ใหม่ซึ่งเหมาะกับจุดภาพข้างเคียง แต่จะเสียเวลาในการคำนวณ แมททริกขนาด 3×3 ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่เพราะจะลดเวลาในการคำนวณประมวลผล และต้นทุนของเครื่องมือ ผลที่ได้จะถูกตรวจสอบให้แน่นอนว่าอยู่ภายในค่าผิดพลาดที่ต้องการหรือไม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน

ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน จะกลับกันกับตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน คือจะไม่เปลี่ยนแปลงความถี่สูงของสัญญาณ (signal)

ผลของแสงที่เป็นพื้นหลัง จะมีผลในระดับดีซีไปอัส ในระบบการมองเห็นข้อมูลเพราะค่าต่ำสุดของจุดภาพทั้งหมดที่อยู่เหนือบางค่าที่กำหนดให้ ผลของการใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน กับข้อมูลสำหรับแมททริกภาพขนาด 6×6 ถูกแสดงในอีโสตแกรมของรูปที่ 2.3 ค่าของจุดภาพที่ส่งอาจจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่เปลี่ยนแปลงก็ได้ ขึ้นอยู่กับจุดอิ่มตัว (degree of saturation) ของภาพ

ส.ป.ส. ของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ตั้งไว้สำหรับแมททริกที่จะนำไปคอนโวลูชัน มีขนาด 3×3 คือ

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

- (1) ส.ป.ส. สามารถเป็นได้ทั้งบวก (positive) หรือ ลบ (negative)
- (2) ผลรวมของ ส.ป.ส. เป็น "0"

เพราะค่ารวมของ ส.ป.ส. เท่ากับ "0" ส่วนที่เป็นระดับดีซีจะถูกกดไว้อย่างสมบูรณ์ ถ้าผลรวมเท่ากับ "+1" ค่าของระดับดีซี จะยังคงมีค่าเท่ากับสัญญาณต้นแบบ (original signal) การกรองจะถูกใช้กับ ส.ป.ส. ของแมททริกที่นำไปกรองที่มีขนาด 3×3 บนข้อมูลภาพ (image data) การคูณ ส.ป.ส. และข้อมูลในทุกค่าของ 9 ส่วน และผลบวกทั้ง 9 ส่วน เพื่อหาค่าใหม่ของแต่ละตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางของแมททริกขนาด 3×3 ตัวกรองจะถูกเลื่อนไปอีก "1" และประมวลผลซ้ำ และหาค่าของส่วนของตัวถัดไป ตัวอย่างที่แสดงการประมวลผลเพื่อหาค่าในรูปที่ 2.4 การคอนโวลูชันของตัวกรอง และข้อมูลจะให้ค่าของตรงกลางของส่วนที่ตำแหน่ง (2,2)

$$\begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ +1 & -8 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 4 & 8 & 8 \\ 4 & 8 & 8 \\ 4 & 8 & 8 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & [] & - \\ - & - & - \end{bmatrix}$$

ตัวกรอง

ข้อมูล

ส่วนที่จะได้

$$\begin{aligned} (2,2) &= +(1 \times 4) + (1 \times 8) + (1 \times *) + (1 \times 4) - (8 \times 8) \\ &\quad + (1 \times 8) + (1 \times 8) + (1 \times 4) + (1 \times 8) \\ &= +4+8+8+4-64+8+4+8+8 \\ &= +52-64 \\ &= -12 \end{aligned}$$

ขอบภายในเมทริกซ์ของภาพ จะปรากฏการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในค่าของจุดภาพข้างเคียง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ตัวอย่าง B ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและขนาดของขอบภาพซึ่งถูกคำนวณ หรือแทนด้วยส่วนของความถี่สูง ของค่าของจุดภาพในภาพ

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & +9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของเมทริกซ์ที่ถูกปรับปรุงแล้ว

$$\begin{bmatrix} X & X & X & X & X & X & X \\ X & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & X \\ X & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & X \\ X & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & X \\ X & X & X & X & X & X & X \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X & X & X & X & X & X & X \\ X & 4 & -8 & +20 & 8 & 8 & X \\ X & 4 & -8 & +20 & 8 & 8 & X \\ X & 4 & -8 & +20 & 8 & 8 & X \\ X & X & X & X & X & X & X \end{bmatrix}$$

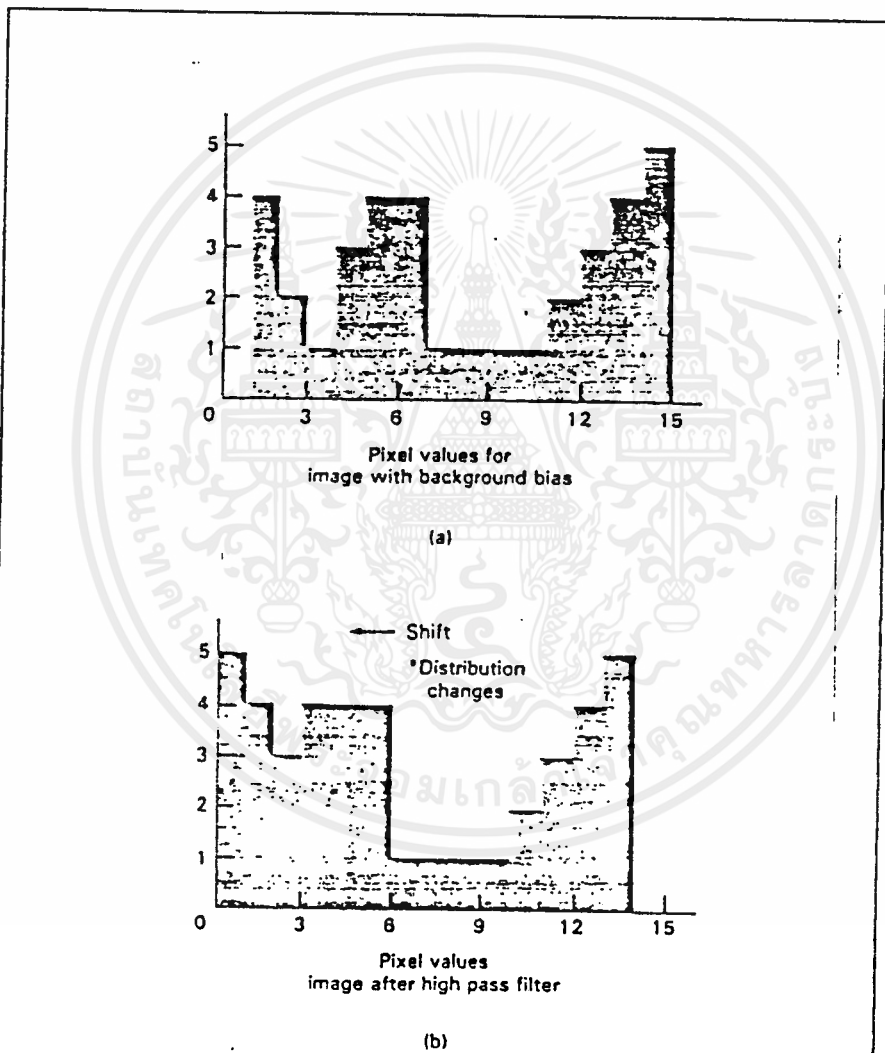
ผลของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านที่ถูกปรับปรุงแล้วในตัวอย่าง A และตัวอย่าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงสามารถกำจัดค่าคงที่ที่ใช้ไบอัส ในตัวอย่าง A และทำให้ขอบภาพ (edge pixel) ต่ำลง ในตัวอย่าง B ซึ่งผลของแมททริกมีเส้นของแนว และค่าของจุดภาพจะเป็น "high"

ส.ป.ส. ของแมททริกสามารถปรับปรุงซึ่งผลรวมเท่ากับ "1" และผลลัพท์ที่แตกต่างกัน ถูกกำหนดให้ เมื่อตัวกรองถูกนำไปใช้กับข้อมูลในตัวอย่าง A และ B

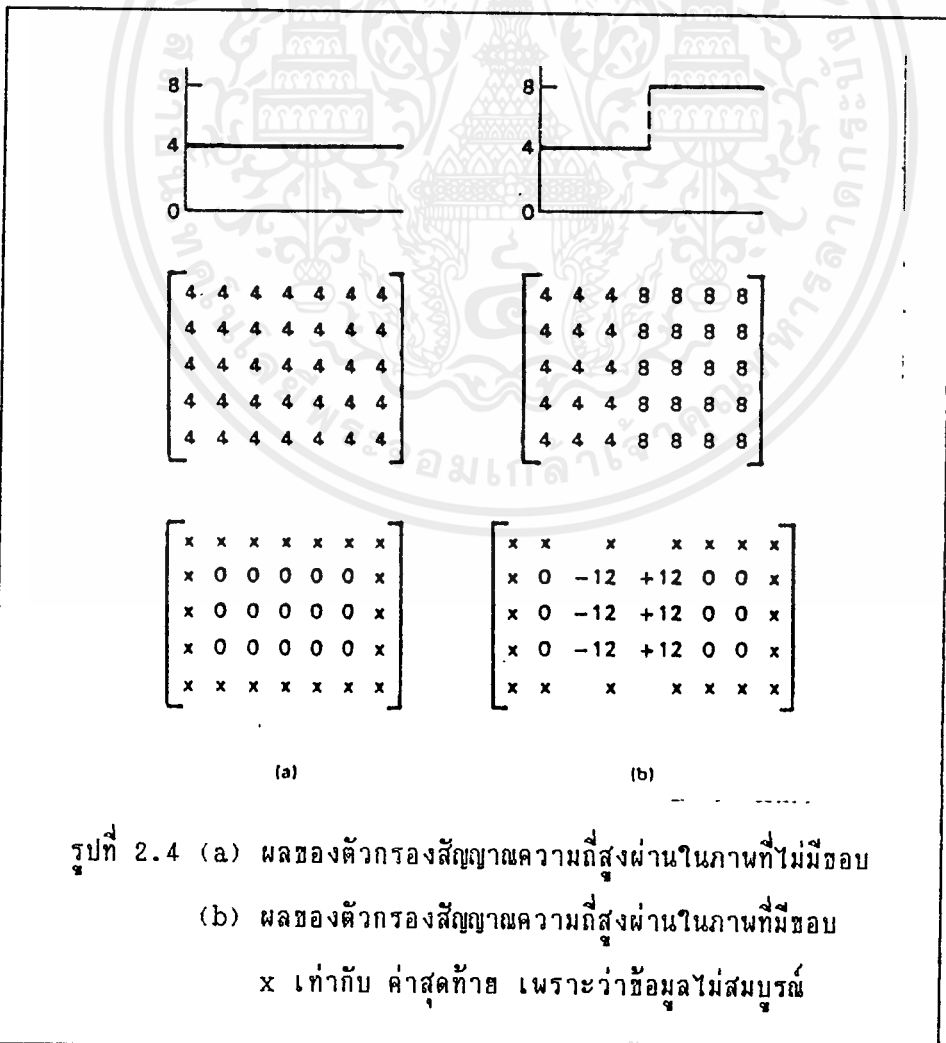
ผลของการคอนโวลูชัน ของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงที่ถูกปรับปรุงแล้วกับข้อมูลในภาพ A และ B จัดเตรียมภาพไว้ให้ ซึ่งระดับไบอัสก็ยังคงอยู่ และความถี่สูงจะถูกขยาย



รูปที่ 2.3 ผลของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงบนฮิสโตแกรม เมื่อค่าของจุดภาพมีการเลื่อน รูปร่างของฮิสโตแกรมก็จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย

แมททริกขนาด 3 x 3 เป็นส่วนที่เล็กที่สุดและต่ำที่สุดในการคำนวณที่ต้องการทำการคอนโวลูชัน วิธีที่ง่ายคือขยายเป็นแมททริกขนาด 5 x 5 และ 9 x 9 และผลจะให้ความแตกต่างไม่เด่นชัด ขณะที่การคำนวณถูกขยาย โดยองค์ประกอบ (factor) ของ 2.7 และ 9 ดังนั้นการคอนโวลูชัน ที่มีขนาด 3 x 3 สามารถทำให้มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานในงานอุตสาหกรรม ผลของแมททริกขนาด 9 x 9 สามารถทำบนแมททริกขนาด 3 x 3 โดยการซ้ำกับการคอนโวลูชันกับแมททริกที่มีขนาด 3 x 3 ค่าที่อยู่นอกเหนือส่วนนี้จะสูญหาย เพราะว่าเป็นข้อมูลที่ไม่สำคัญ ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านมีคุณสมบัติเช่นนี้ ซึ่งข้อมูลในบริเวณขอบถูกปรับปรุง และขอบมีผลต่อการขยายการตรวจสอบหาขอบ เป็นความรู้พื้นฐานในการหาจากภาพ เพราะว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างขาวดำ, รูปร่าง, ตำแหน่ง และขนาด

ขอบภาพ (edge) เป็นพารามิเตอร์วิกฤต (critical parameter) ของแนวความคิด และตำแหน่งของขอบภาพเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ในระบบการมองเห็นจะใช้ความแตกต่างจากตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ไปทำให้รูปร่างหน้าตา (feature) ที่กำลังพิจารณาอยู่ให้ดีขึ้น



รูปที่ 2.4 (a) ผลของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านในภาพที่ไม่มีขอบ
 (b) ผลของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านในภาพที่มีขอบ
 x เท่ากับ ค่าสุดท้าย เพราะว่าข้อมูลไม่สมบูรณ์

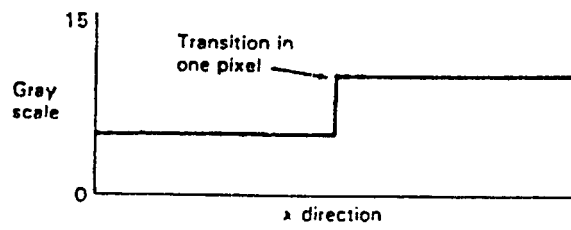
2.4 การทำขอบภาพให้ชัดขึ้น

ขอบภาพ คือบริเวณรอบๆ ระหว่างสองบริเวณที่มีความแตกต่างของระดับสีเทา ขอบภาพในอุดมคติจะเป็นฟังก์ชันแบบขั้น (step function) และสามารถที่จะเห็นความคมชัดหรือความพร่ามัว ซึ่งความพร่ามัวหรือขอบภาพที่หนาสามารถพิจารณาองค์ประกอบของจำนวนตำแหน่งขอบภาพที่เล็ก ดังในรูปที่ 2.5 ในความเป็นจริงของการใช้งานระบบมองเห็น ขอบภาพโดยปกติจะมีสัญญาณรบกวน (noise) รวมอยู่ในข้อมูลด้วย

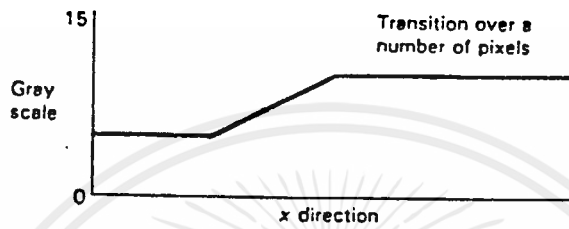
ความถี่สูงก็ถูกรวมอยู่กับการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในค่าความเข้มแสงของจุดภาพ การทำให้ขอบภาพชัดขึ้น สามารถทำได้ โดยการใช้รูปแบบของตัวกรองสัญญาณความถี่สูงกับข้อมูลภาพ (image data) ตัวกระทำที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ขอบภาพชัดขึ้นที่ยังคงรูปร่างของตัวอักษร แต่ที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม คือ

- การทำขอบภาพให้ชัดขึ้นโดยวิธีของลาปลาเชียน (Laplacian edge enhancement)
- การหาขอบภาพโดยวิธีขั้นต่างของโรเบิร์ต (Robert's gradient)
- การตรวจหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล (Sobel edge detector)

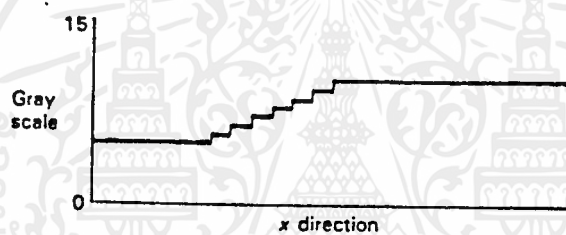
ขอบภาพแบบนี้ ระดับขั้นจะแยกพื้นที่ออกเป็นสองส่วนกับความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของระดับสีบนแต่ละข้างของขอบภาพ เส้นที่พิจารณาจะมีขอบภาพสองขั้น (2 step) คืออันหนึ่งเป็นบวก และอีกอันหนึ่งเป็นลบ ความกว้างของเส้นขั้นอยู่กับการแยกระยะทางระหว่างสองระดับขั้น



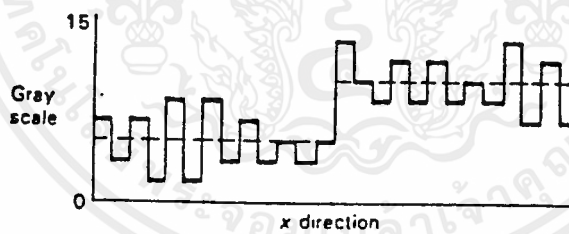
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 2.5 ชนิดต่างๆ ของขอบภาพ :

- (a) ระดับขั้นในทางอุดมคติ
- (b) ระดับขั้นที่มีความกว้าง
- (c) ระดับขั้นที่มีความกว้างและมีลักษณะเป็นรูปบันได
- (d) ระดับขั้นในทางอุดมคติที่มีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การทำขอบภาพให้ดีขึ้นโดยวิธีของลาปลาซ

ตัวกระทำแบบลาปลาซ ที่ใช้ในการประมวลผลเป็นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ อนุพันธ์ย่อยของลาปลาซ แสดงในรูปของฟังก์ชันต่อเนื่องได้ดังนี้

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ต่อเนื่องสามารถประมาณโดยความแตกต่างของตัวกระทำ ในการเทียบกันที่ไม่ต่อเนื่อง ของการใช้งานประมวลผลการมองเห็นแบบการหมุนแบบดิจิทัล ในด้านความไวของการประมวลผลแบบลาปลาซ จำเป็นที่จะต้องหาการเปลี่ยนแปลงความคมชัดของความเข้มแสงที่จุดภาพ ในทิศทาง x และ y

$$L(i, j) = \nabla^2 p(i, j) = x^2 p(i, j) + y^2 p(i, j)$$

เมื่อ

$$x^2 = [p(i-1, j) - p(i, j)] - [p(i, j) - p(i+1, j)]$$

$$y^2 = [p(i, j+1) - p(i, j)] - [p(i, j) - p(i, j-1)]$$

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}$$

$$x^2 = [d-e] - [e-f]$$

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}$$

$$y^2 = [h-e] - [e-b]$$

เมื่อรวมพจน์เข้าด้วยกันจะได้ผลดังข้างล่างซึ่งเป็นตัวกระทำลาปลาซ

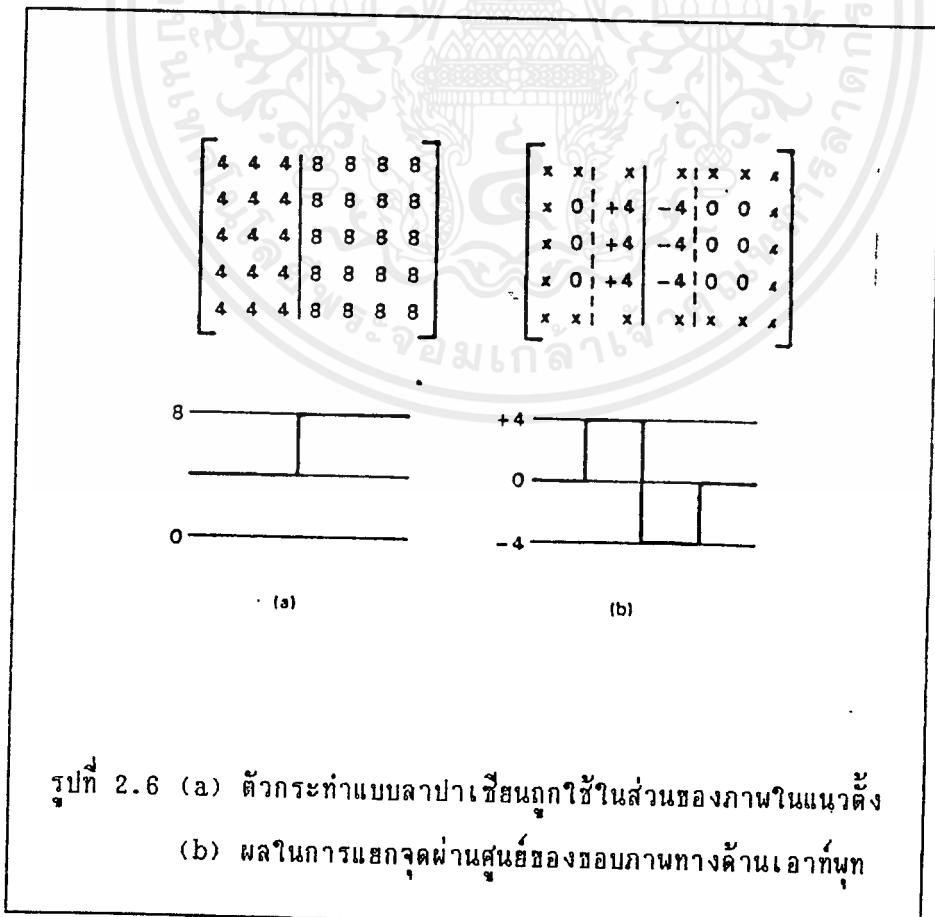
$$L(i, j) = b + d + f + h - 4e$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$L(i,j)$ สามารถลดรูปให้เป็นตัวที่ใช้กรอง ได้ดังนี้

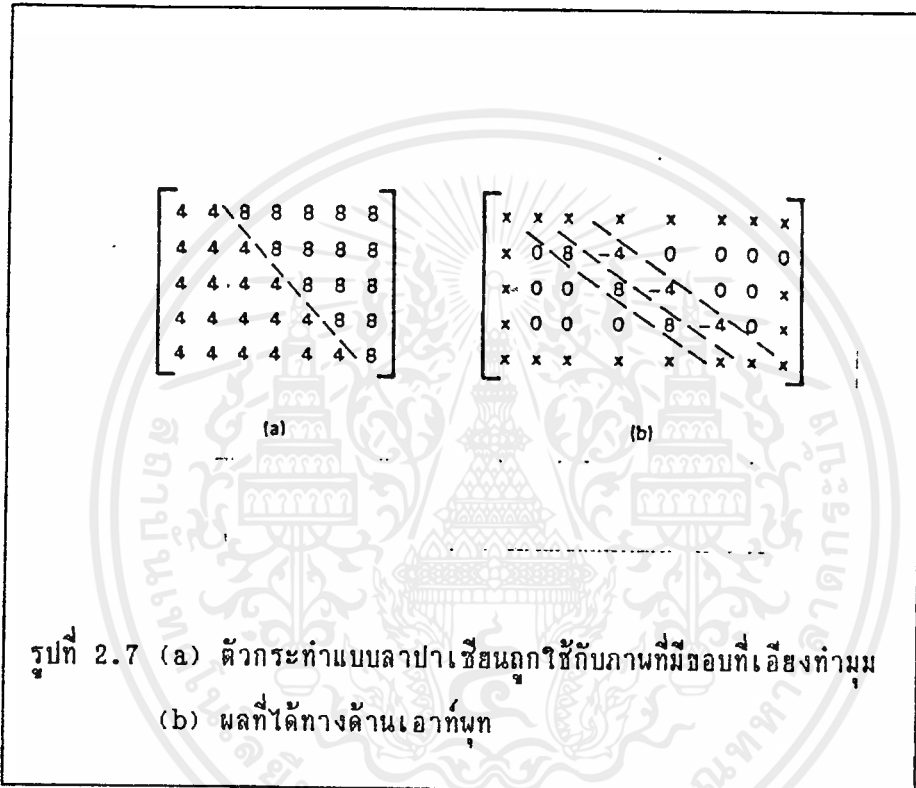
$$\begin{bmatrix} 0 & +1 & 0 \\ +1 & -4 & +1 \\ 0 & +1 & 0 \end{bmatrix}$$

สรุป ตัวกระทำแบบลาปลาเซียน จะคำนวณหาความแตกต่างระหว่างระดับสีเทาของจุดศูนย์กลางของจุดภาพ และค่าเฉลี่ยของระดับสีเทาของจุดภาพข้างเคียง 4 ตัว ในทิศทางแนวนอน และแนวตั้ง ตัวกระทำแบบลาปลาเซียน เป็นตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน เพราะว่าผลรวมของ ส.ป.ส. เป็น "0" และมันมีทั้ง ส.ป.ส. ที่มีค่าเป็นบวกและลบ การใช้งานของตัวกระทำแบบลาปลาเซียน กับแมททริกทางด้านอินพุท ของตัวอย่าง B ประกอบด้วยขอบภาพทางแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานของตัวกระทำแบบลาปลาเซียสกับข้อมูลภาพและขอบภาพที่มีมุม ดังรูปที่ 2.7 การแสดงของขอบภาพที่เป็นบวกที่แสดงในรูปที่ 2.3 มีผลในสัญญาณอิมพัลส์ทางด้านบวก ตามด้วยสัญญาณอิมพัลส์ทางด้านลบ เพราะตัวกระทำแบบลาปลาเซียส กำลังกระทำอันเนื่องกับผิว ขอบภาพจะถูกกำหนดตำแหน่งระหว่างสองฟังก์ชันอิมพัลส์ ตัดผ่านศูนย์ ดังนั้นตัวกระทำแบบลาปลาเซียสสามารถทำให้ขอบภาพดีขึ้นได้ และการตรวจจับการตัดผ่านศูนย์สามารถใช้กับตำแหน่งของขอบภาพที่มีฟังก์ชันอิมพัลส์ จาก 4 รูปแบบของขอบภาพดังแสดงในรูปที่ 2.8



ขอบภาพและเส้นในขอบภาพ สามารถทำงานได้ในทิศทางต่างๆ มันเป็นความต้องการอย่างสูง ซึ่งตัวกระทำที่เป็นไอโซโทรปิก ถ้ามันถูกใช้พัฒนาภาพที่มีจุดสนใจไม่ชัดเจนในภาพนั้น เพื่อที่จะให้เป็นไอโซโทรปิก ตัวกระทำจะต้องเกี่ยวข้องกับเฉพาะอนุพันธ์ที่มีลำดับเป็นเลขคู่ ผลของการคำนวณจากการใช้ตัวกระทำแบบไอโซโทรปิกกับภาพและการหมุน เอาก์พุทจะเป็นเอกลักษณ์ (identical) กับการคำนวณ เมื่ออินพุทถูกหมุนและเมื่อตัวกระทำถูกนำมาใช้

ตัวกระทำที่ใช้ในการพัฒนาขอบภาพโดยปกติเกี่ยวข้องกับผลต่างกับความเป็นเอกลักษณ์ของการเปลี่ยนแปลงความชันของค่ารวมกับค่าของจุดภาพ เหมือนกับบริเวณผิว อนุพันธ์อันดับที่ 2 อาจจะประมาณโดยความแตกต่างอันดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงแมททริก ซึ่งจะใช้สำหรับ $f_{i,j}$ คือ

row : $i = 1 \text{ ----> } M$ (y direction)

column : $j = 1 \text{ ----> } N$ (x direction)

แมททริก MN มี M แถว และ N หลัก

$$\begin{bmatrix} f_{1,1} & \dots & f_{1,n} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ f_{m,1} & \dots & f_{m,n} \end{bmatrix}$$

2.4.2 การหาขอบภาพโดยวิธีขั้นต่างของโรเบิร์ต

ตัวกระทำแบบขั้นต่างของโรเบิร์ต (ดังในรูปที่ 2.9) เป็นวิธีที่ง่ายกว่าตัวกระทำแบบลาปลาเซียส เพราะว่ามันกระทำบนพื้นที่ขนาด 2×2 ของจุดภาพของแต่ละจุด การใช้งานของข้อมูลจากขนาดพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ 3×3 ของตัวกระทำแบบลาปลาเซียส ซึ่งจะลดเวลาในการคำนวณลงและความสามารถของตัวกระทำแบบนี้ ใช้กับอนุพันธ์ในแนวทะแยง เพื่อประมาณค่าขั้นต่างที่เป็นจุดขนาดของตัวกระทำเท่ากับรากที่สองของผลรวมของผลต่างยกกำลังสอง มันสามารถประมาณโดยใช้สมการคำนวณแบบง่าย ๆ ของผลรวมของค่าสมบูรณ์ของแต่ละผลต่างในแนวทะแยง

$$\text{Magnitude operator} = (\Delta 1^2 + \Delta 2^2)^{1/2}$$

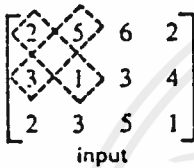
$$\text{Absolute value estimate} = |\Delta 1| + |\Delta 2|$$

where $\Delta 1 = p(i, j) - p(i+1, j+1)$ and $\Delta 2 = p(i+1, j) - p(i, j+1)$



$$\text{New } q(1,1) = |\Delta 1| + |\Delta 2|$$

where $\Delta 1 = (a-d)$ and $\Delta 2 = (b-c)$



$$\text{New } q(1,1) = (2-1) + (5-3) = |1| + |2| = 3$$

$$\begin{bmatrix} 3 & 7 & 3 & x \\ 1 & 4 & 3 & x \\ x & x & x & x \end{bmatrix}$$

outputs after
Robert's
Operator

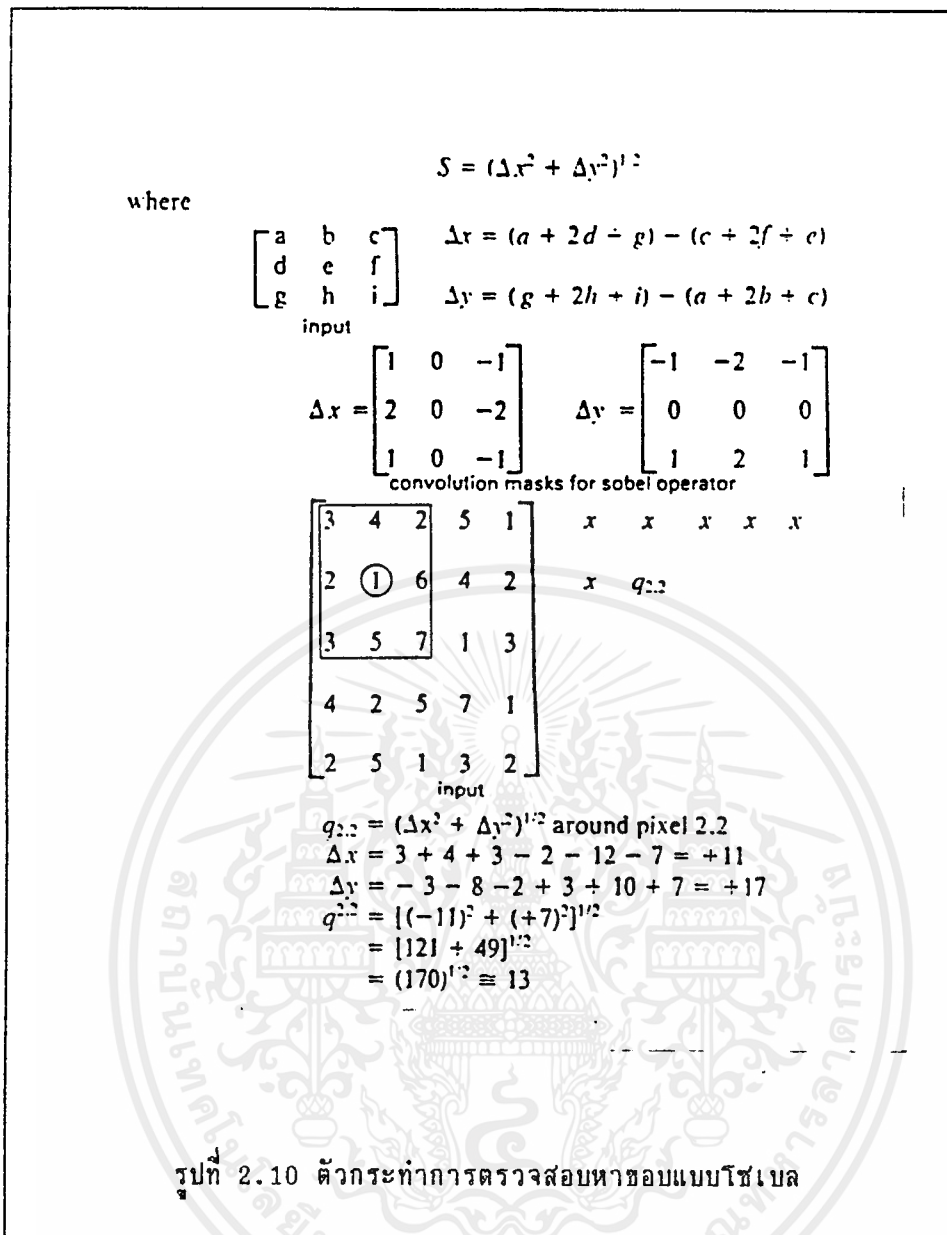
รูปที่ 2.9 ตัวกระทำแบบขึ้นต่างของโรเบิร์ต

2.4.3 การตรวจหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล

ตัวกระทำแบบโซเบล (ดังในรูปที่ 2.10) เป็นการคำนวณแบบไม่เป็นเชิงเส้นของขนาดขอบภาพที่เป็นจุด แต่มันจะไม่ใช้ค่าที่จุดของมันเองในการคำนวณค่าของจุดภาพ กำหนดให้

โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.4.4 ตัวกระทำแบบอื่นๆ

วิธีการนิยามแทนในส่วนที่กล่าวมาก่อนหน้านั้นเป็นแบบพื้นฐาน ซึ่งพบในแบบสำเร็จรูปของ ขบวนการมาตรฐานของโปรแกรมย่อย (software routines) ใช้กับระบบมองเห็นในทางตัวเลข ตัวกรองที่นำไปใช้ในการคอนโวลูชัน รูปแบบต่างๆ ดังแสดงไว้ให้ดูข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองที่นำไปใช้ในการคอนโวลูชันแบบต่างๆ

CONVOLUTION MASKS

1. Low pass filters
(coefficients positive and added to one)

| | |
|---|---|
| $\begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 1/16 & 1/8 & 1/16 \\ 1.8 & 1/4 & 1/8 \\ 1/16 & 1/8 & 1/16 \end{bmatrix}$ |
|---|---|

2. High pass filters
(coefficients added to zero)

| | |
|---|---|
| $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ |
|---|---|

3. High pass filter with DC Bias
(coefficients added to one)

| | |
|---|---|
| $\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ |
|---|---|

4. Gradient-directional
(coefficients added to zero)

| | | |
|--|---|--|
| $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$ N | $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$ NE | $\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ E |
|--|---|--|

5. Shift and difference filters (coefficients added to zero)

| | | |
|--|--|---|
| $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Vertical edges | $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Horizontal edges | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Horizontal and vertical edges |
|--|--|---|

6. Blurs

| | | |
|---|---|---|
| $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Horizontal | $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ Vertical | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ Diagonal |
|---|---|---|

7. Difference filters

| | |
|--|--|
| $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$ Vertical | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Horizontal |
|--|--|

8. Vertical differentiation filters
Take absolute value difference (7).

9. Horizontal differencing and vertical smoothing filters

| |
|--|
| $\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ |
|--|

10. Laplacian filters (coefficients added to zero)

| | |
|---|---|
| $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ |
|---|---|

11. Bright region expansion
Maximum of

| |
|---|
| $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ |
|---|

ตัวกรองที่นำไปใช้ในการคอนโวลูชันแบบต่างๆ (ต่อ)

12. Medium filter
(reduce camera
noise)

Fifth largest of

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

13. Enhance line
segment
(coefficients added
to zero)

$$\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

Vertical

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Horizontal

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

L-R Diagonal

14. Edge detector

Max(A) - (B)

where:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

15. Line detector

$q_{ij} = A - \text{Min}(\text{Min}(\text{Max}(\text{Max}(B))))$

where:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

16. Template matching
(Cross correlation)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

บทที่ 3

จุดเด่นของวัตถุและการจัดจำวัตถุ

3.1 การหาจุดเด่นของวัตถุ

จุดเด่นได้ถูกแนะนำจากสิ่งที่สังเกตได้จากระบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งบางจุดเด่นตลอดเส้นรอบรูปของวัตถุมีข้อมูลจำนวนมากมาบรรจบอยู่ และเพียงพอที่จะอธิบายคุณลักษณะรูปร่างของวัตถุนั้น แนวความคิดเกี่ยวกับการหาจุดเด่นนี้ได้นำมาใช้ในการรู้จำรูปร่างของวัตถุ, วิธีการประมาณการหมุนพื้นฐานและการเข้ารหัส เราจะอ้างถึงจุดเด่นเหล่านี้ของวัตถุ เป็นจุดที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ

ในระหว่างจุดเด่นหลายจุดที่อยู่ห่างกัน จุดซึ่งมีความโค้งสูงสุดตลอดเส้นรอบรูปของวัตถุคือลักษณะสำคัญซึ่งก็คือจุดเด่นนั่นเอง เส้นรอบรูปของวัตถุคือขอบเขตของวัตถุ เส้นรอบรูปเหล่านี้ ในกรณีที่เป็นแบบปกติจะแสดงวัตถุหนึ่งอัน อย่างไรก็ตามในฉากโดยทั่วไป เมื่อมีการขอมให้มีการปิดกันซ้อนทับกันของวัตถุ เส้นรอบรูปเหล่านี้ก็จะแสดงขอบเขตที่รวมกันของวัตถุหลายๆ อัน ในบทนี้จะพิจารณาถึงขอบเขตที่เป็นจุดที่มีความโค้งสูงสุด บนเส้นรอบรูปของวัตถุ

มีวิธีการรู้จำรูปร่างของวัตถุอยู่หลายวิธีที่ใช้ส่วนของเส้น ซึ่งได้มาจากการประมาณโดยวิธีโพลีกอนของเส้นรอบรูปของวัตถุ เช่นรูปร่างลักษณะ จุดยอดของการประมาณโดยวิธีโพลีกอน ใช้จุดซึ่งมีความโค้งสูงสุดตลอดเส้นรอบรูปของวัตถุจุดยอดเหล่านี้ เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดีแล้วก็คือจุดตัด เราจะเริ่มวิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการประมาณโดยวิธีโพลีกอน ที่ใช้กันมากซึ่งมีอยู่ 2 วิธีคือ

1. Ramer's algorithm และ
2. Split-and-merge algorithm

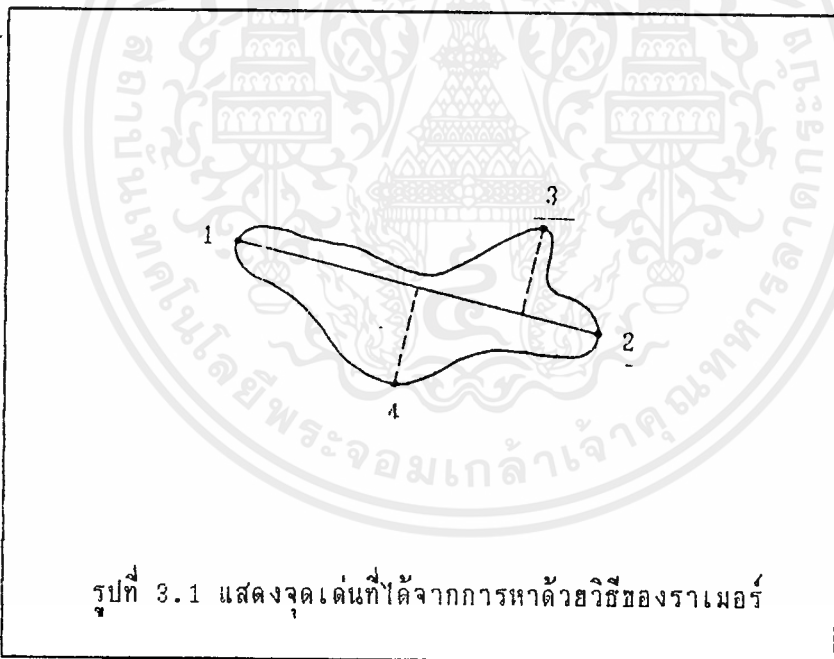
3.1.1 วิธีการประมาณแบบโพลีกอน

การประมาณแบบโพลีกอน เป็นการแสดงเส้นรอบรูปของวัตถุโดยใช้รูปหลายเหลี่ยม ซึ่งได้ถูกใช้เพื่อบีบย่อให้เป็นเส้น เพื่อแสดงรูปร่างของวัตถุสำหรับการรู้จำรูปร่างของวัตถุ ซึ่งมีอยู่หลายวิธี วิธีแรก ที่จะกล่าวถึงก็คือ Ramer's algorithm และวิธีที่สอง คือ Split-and-merge algorithm

วิธีโดยทั่วไปที่นำมาใช้ร่วมกับการประมาณโดยโพลีกอน ก็คือ การทดสอบโดยเส้นตั้งฉากซึ่งจะทำการตรวจสอบ ดูว่าระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันมากที่สุด ในระหว่างนี้จะมีจุดที่ห่างจากเส้นที่ลากจากจุดสองจุดนี้ อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเกินจากที่กำหนดไว้ก็จะทำการเช็ดไว้เป็นจุดตัดอันใหม่

วิธีของ Ramer's algorithm จะหาจุดตัดตลอดเส้นรอบรูปปิดหรือตลอดเส้นรอบรูปวงเปิดก็ได้ โดยการใช้การตรวจสอบโดยเส้นตั้งฉากตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ขอบที่ได้จากการประมาณโดยวิธีโพลีกอน สามารถทำได้โดยการลากเส้นตรงจากจุดตัดแต่ละจุดที่ตรวจสอบได้ ตามเส้นรอบรูปนิจารณารูปวัตถุที่มีเส้นรอบรูปปิด ราเมอร์ ได้แนะนำว่า จุดที่อยู่บนสุดทางด้านซ้ายมือของขอบภาพวัตถุและจุดที่อยู่ต่ำสุดทางด้านขวามือของขอบภาพวัตถุถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้น จุดทั้งสองนี้เป็น จุดอ้างอิงที่จะหาจุดตัดใหม่ตลอดเส้นรอบรูปต่อไป

เราจะอธิบายวิธีการของราเมอร์ โดยใช้ตัวอย่างตามรูปที่ 3.1 จุดตัด 2 จุด ที่ได้เป็นจุดเริ่มต้นคือจุดที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่บนสุดทางด้านซ้ายมือ และจุดที่ 2 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ล่างสุดทางด้านขวามือของเส้นรอบรูป และหาจุดตัดใหม่ทางด้านบนของเส้นแบ่งโดยลากจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 ซึ่งทดสอบจุดตัดใหม่ได้โดยการใช้การทดสอบเส้นตั้งฉากที่ลากจากเส้นแบ่งที่ลากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 ที่มีความยาวสูงสุด ก็จะได้จุดใหม่คือจุดที่ 3 และทางด้านล่างก็มีลักษณะเช่นเดียวกันคือ ทดสอบโดยใช้เส้นตั้งฉากจากเส้นแบ่งที่ลากจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 และนำเส้นที่ตั้งฉากที่ยาวที่สุดที่ลากไปทางขอบรูปทางด้านล่างก็จะได้จุดตัดใหม่ออกมาเป็นจุดที่ 4 ดังรูปข้างล่าง



วิธีการของราเมอร์ นั้น จะมีข้อเสียตรงที่ว่า ถ้ารูปวัตถุมีการพลิกหรือหันเหไปทางทิศทางอื่น หรือ สเกลของรูปวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้จุดเด่นที่ได้มีตำแหน่งไม่เหมือนกันในตอนแรก

วิธีการ Split-and-merge algorithm มีความยุ่งยากมากกว่าวิธีการของราเมอร์เล็กน้อย ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบของการทำจุดเด่นแบบสปลิตและเมิร์จ สำหรับวิธีที่จะนำมาใช้อ้างอิงคือวิธีของ Pavlidis and Horowitz ซึ่งอาศัยการสอดแทรก (interpolate) ส่วนของเส้นเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงตามจุดเด่นของวิธีโพลีกอนตามเส้นรอบรูป ซึ่งสามารถสรุปวิธีการของสปลิตและเมิร์ด ได้ ดังนี้

1. กำหนดจุดจำนวนน้อยๆ บนเส้นรอบรูปของวัตถุ ซึ่งจะถือว่าจุดที่กำหนดขึ้นนี้เป็นจุดตัดเริ่มต้น และลากเส้นตรงผ่านแต่ละจุดตลอดเส้นรอบรูป

2. สำหรับแต่ละจุดที่อยู่ติดกันให้ทำการทดสอบโดยการลากเส้นจากจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันนั้นเข้าด้วยกัน แล้วทำการตรวจสอบด้วยเส้นตั้งฉากกับเส้นขอบของรูปวัตถุ ถ้าเส้นตั้งฉากที่ทดสอบนั้น ได้รับความยาวมากเกินกว่าระดับที่ได้กำหนดไว้ให้ทำการกำหนดจุดที่ได้ที่ตำแหน่งนี้เป็นจุดตัดใหม่ซึ่งวิธีการนี้เราเรียกว่า วิธีการสปลิต (splitting) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิธี Split-and-merge algorithm

3. สำหรับแต่ละจุดที่อยู่ติดกัน 3 จุด โดยมีจุดที่จะทำการเปรียบเทียบอยู่ตรงกลาง ซึ่งเราได้กำหนดไว้ 3 จุด คือจุด A B และจุด C ทำการเปรียบเทียบกัน โดยลากเส้นตรงจากจุด A ไปยังจุด C และระหว่างจุด A กับจุด C นี้ ทำการตรวจสอบจุด B ซึ่งอยู่ตรงกลาง โดยการใช้เส้นตั้งฉากจากเส้นตรง AC ถ้าความยาวของเส้นตั้งฉากมีค่าที่กำหนดภายในระดับที่กำหนดไว้ ก็ทำการลบจุด B ออกจากขอบของวัตถุ ซึ่งวิธีการนี้เราเรียกว่าการเมิร์ด (Merging) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิธี Split-and-merge algorithm

4. ใช้วิธีในข้อ 2 และ 3 ทำการตรวจสอบโดยตลอดเส้นรอบรูปของวัตถุ จนกระทั่งเสร็จ ก็จะได้จุดเด่นออกมา ตามขอบภาพ

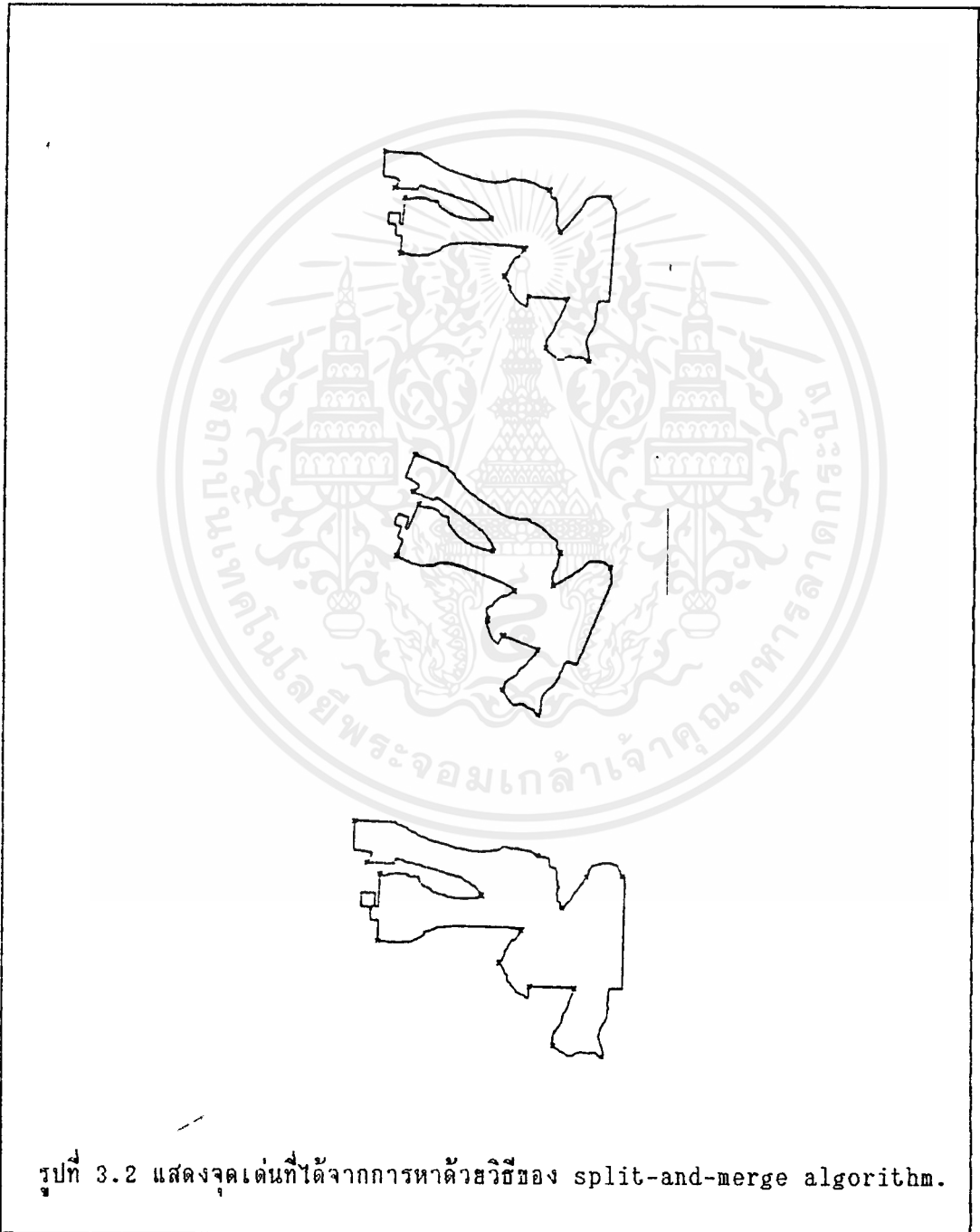
วิธีการของ Split-and-merge algorithm ก็มีข้อเสียเช่นเดียวกับ วิธีของ Ramer's algorithm กล่าวคือ ถ้ามีการพลิกรูปวัตถุหรือมีการเปลี่ยนสเกล จำนวนจุดเด่นที่ได้ อาจจะตำแหน่งไม่ตรงกัน และจำนวนจุดเด่นอาจจะไม่เท่ากันด้วย

ทั้งวิธีการของ Ramer's algorithm และ split-and-merge algorithm ค่อนข้างที่จะมีความไวต่อการเปลี่ยนสเกลหรือการพลิกหันเหของภาพวัตถุ จุดเริ่มต้นที่กำหนดขึ้นก็จะมีผลไปถึงจุดเด่นที่ได้ทั้งหมด ถ้าไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนสเกลหรือการพลิกหันเหของภาพวัตถุ จำนวนจุดเด่นที่ได้ ไม่ควรจะเปลี่ยนแปลง และตำแหน่งที่สัมพันธ์กับวัตถุไม่ควรจะเปลี่ยนแปลงมากด้วย จุดเด่นที่ได้จากวิธีที่กล่าวมาแล้วนี้ มีข้อเสีย คือมีการเปลี่ยนแปลงตามสเกลและการพลิกหันเหของภาพวัตถุ ดังนั้นจึงอาจได้จุดเด่นที่ไม่ต้องการ ยังมีวิธีที่จะหาจุดเด่นที่มีความเสถียรมากกว่า 2 วิธีแรกก็คือวิธีการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาค่าความโค้ง ดังที่กล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.2 วิธีการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาค่าความโค้ง

ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จุดเริ่มต้นที่แตกต่างกันของจุดเด่นซึ่งถูกใช้ในวิธีการประมาณด้วยโพลีกอนนั้นจะมีผลทำให้ได้มีความแตกต่างกัน จุดเริ่มต้นที่มีความสำคัญต่อวิธีการประมาณด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปไซ่ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีกอน จุดที่มีความโค้งมากที่สุดคือ จุดเด่นสำหรับการประมาณด้วยวิธีการประมาณแบบโพลีกอน ด้วยการหาความโค้ง ดังนั้นจุดที่มีความโค้งสูงสุดเหล่านี้จึงเป็นจุดเด่นที่ต้องการ เราจะสมมติให้จุดเด่นที่ได้จากความโค้งสูงสุดนี้ เป็นจุดตัดของการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาความโค้ง วิธีการของ split-and-merge จะถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขปรับปรุงจุดเด่นที่ได้ในตอนแรกเราเรียกวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ว่า วิธีการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาความโค้ง (curvature guided polygonal approximation)



ในระหว่างที่มีขอบของวัตถุที่แสดงแบบต่อเนื่องและการผิดพลาดทางด้านปริมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดจากการเฝ้าของขอบวัตถุ และความผิดพลาดจากความโค้งของขอบวัตถุ จะถูกนำมากล่าว การทำให้เรียบ (smoothing) มีความจำเป็นที่จะลดผลที่ผิดพลาดต่างๆ เหล่านี้ ได้มีการแสดงว่า ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian filter) คือการทำให้เรียบ (smoothing) ในทาง อุดมคติที่จะลดผลที่ผิดพลาดดังกล่าวมาแล้ว เราจะใช้วิธีการกรองแบบเกาส์เซียน ทำการกำจัดจุดตัด เริ่มต้นสำหรับการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาความโค้ง รูปโค้งของวัตถุตามแผ่นระนาบ สามารถที่จะแสดงพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$[x(t), y(t)] \in \mathbb{R}^2$$

เมื่อ t คือส่วนของความยาวตลอดเส้นรูปโค้ง การทำให้เรียบด้วยวิธีของเกาส์เซียน มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการคอนโวลูชัน กับ $x(t)$ และ $y(t)$ ตามลำดับกับตัวกรองแบบเกาส์-เซียน ขนาด 1 มิติ

สำหรับสมการของตัวกรองแบบเกาส์เซียน คือ

$$h(t, w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} w} \exp \left[-\frac{0.5(t)^2}{(w)^2} \right]$$

เมื่อ w คือ ความกว้างของตัวกรอง

ดังนั้นเมื่อนำตัวกรองแบบเกาส์เซียน มากระทำการคอนโวลูชัน กับ $x(t)$ และ $y(t)$ ก็จะได้สมการดังนี้

$$x(t, w) = x(t) * h(t, w)$$

$$y(t, w) = y(t) * h(t, w)$$

เมื่อ $*$ คือการกระทำคอนโวลูชัน

$$\text{ซึ่ง } X(t, w) = x(t) * h(t, w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} w} \int x(t) e^{-(t-\tau)^2/2w^2} d\tau$$

$$\text{และ } Y(t, w) = y(t) * h(t, w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} w} \int y(t) e^{-(t-\tau)^2/2w^2} d\tau$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความโค้ง สามารถหาได้จากสมการ

$$K(t, w) = \frac{XY - YX}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

$$\text{โดย } X = \frac{dx}{dt}, \quad X = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$Y = \frac{dy}{dt}, \quad Y = \frac{d^2y}{dt^2}$$

เราสามารถที่จะประมาณค่าการดิฟเฟอเรนเชียล ได้ดังนี้

$$X = x(t+1) - x(t-1)$$

$$X = x(t+1) + x(t-1) - 2x(t)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$Y = y(t+1) - y(t-1)$$

$$Y = y(t+1) + y(t-1) - 2y(t)$$

$$\text{จาก } h(t, w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi w}} e^{-0.5 \left[\frac{t}{w} \right]^2}$$

เมื่อนำมาหาค่าดิฟเฟอเรนเชียลลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2 จะได้

$$h'(t, w) = \frac{-t}{\sqrt{2\pi w^3}} e^{-0.5 \left[\frac{t}{w} \right]^2}$$

$$\text{และ } h''(t, w) = \left[\frac{t^2}{w^2} - 1 \right] \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi w^2}} \right] e^{-0.5 \left[\frac{t}{w} \right]^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาค่า X', X'', Y' และ Y'' ได้จาก

$$X'(t, w) = x(t) * h'(t, w)$$

$$X''(t, w) = x(t) * h''(t, w)$$

$$Y'(t, w) = x(t) * h'(t, w)$$

$$Y''(t, w) = x(t) * h''(t, w)$$

เมื่อ * คือการกระทำคอนโวลูชัน

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ ของ h' และ h'' ที่ $w = 5$ และมี $step = 0.1$

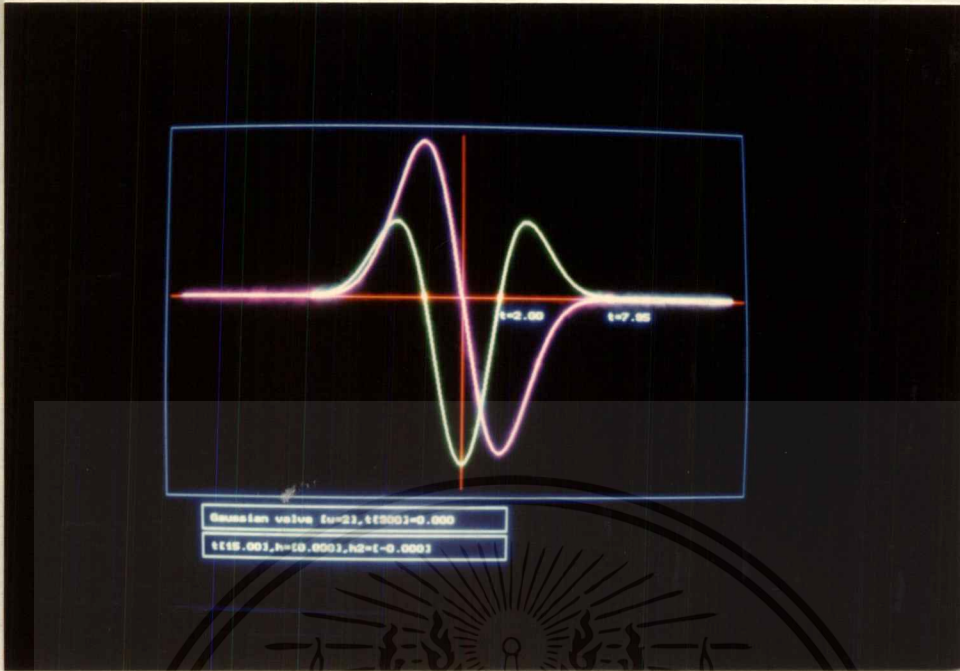
| ลำดับที่ | h' | h'' |
|----------|---------|---------|
| -20 | 0.300 | -0.803 |
| -19 | 0.621 | -1.570 |
| -18 | 1.234 | -2.927 |
| -17 | 2.346 | -5.205 |
| -16 | 4.272 | -8.812 |
| -15 | 7.446 | -14.182 |
| -14 | 12.411 | -21.657 |
| -13 | 19.777 | -31.295 |
| -12 | 30.098 | -42.638 |
| -11 | 43.705 | -54.489 |
| -10 | 60.470 | -64.789 |
| -9 | 79.582 | -70.739 |
| -8 | 99.385 | -69.215 |
| -7 | 117.386 | -57.495 |
| -6 | 130.493 | -34.177 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

| ลำดับที่ | h' | h'' |
|----------|----------|----------|
| -5 | 135.504 | 0 |
| -4 | 129.782 | 41.716 |
| -3 | 111.936 | 85.305 |
| -2 | 82.493 | 123.739 |
| -1 | 43.797 | 150.150 |
| 0 | 0.000 | 159.481 |
| 1 | -43.797 | -150.150 |
| 2 | -82.493 | -123.739 |
| 3 | -111.963 | -85.305 |
| 4 | -129.782 | -41.716 |
| 5 | -135.504 | 0.000 |
| 6 | -130.493 | 34.177 |
| 7 | -117.386 | 57.495 |
| 8 | -99.385 | 69.215 |
| 9 | -79.582 | 70.739 |
| 10 | -60.470 | 64.789 |
| 11 | -43.705 | 54.489 |
| 12 | -30.098 | 42.639 |
| 13 | -19.777 | 31.295 |
| 14 | -12.411 | 21.657 |
| 15 | -7.446 | 14.182 |
| 16 | -4.272 | 8.812 |
| 17 | -2.346 | 5.205 |
| 18 | -1.234 | 2.927 |
| 19 | -0.621 | 1.570 |
| 20 | -0.300 | 0.803 |

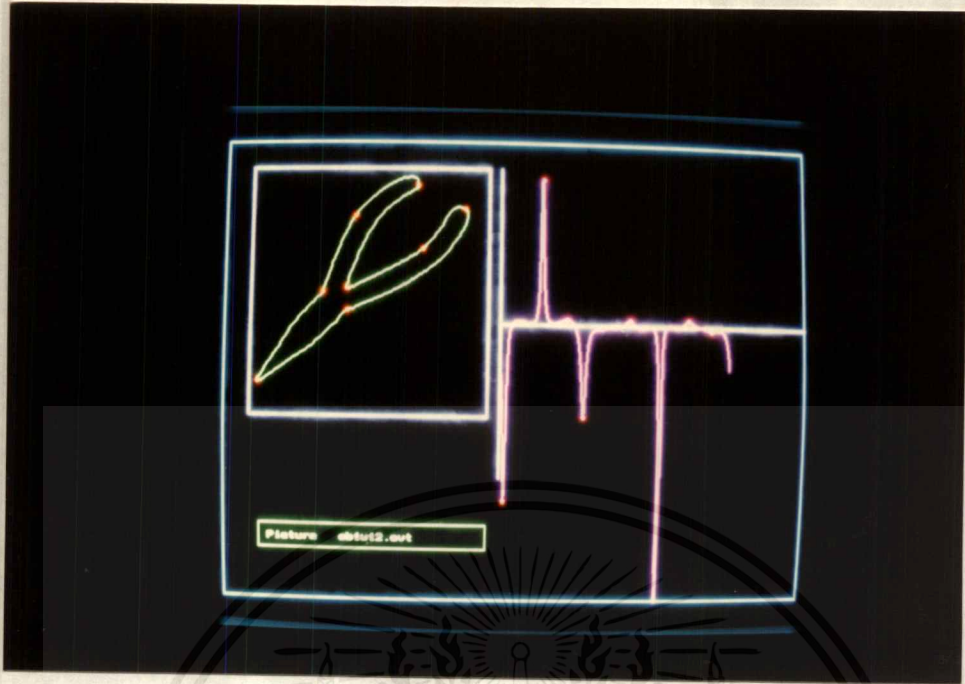
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



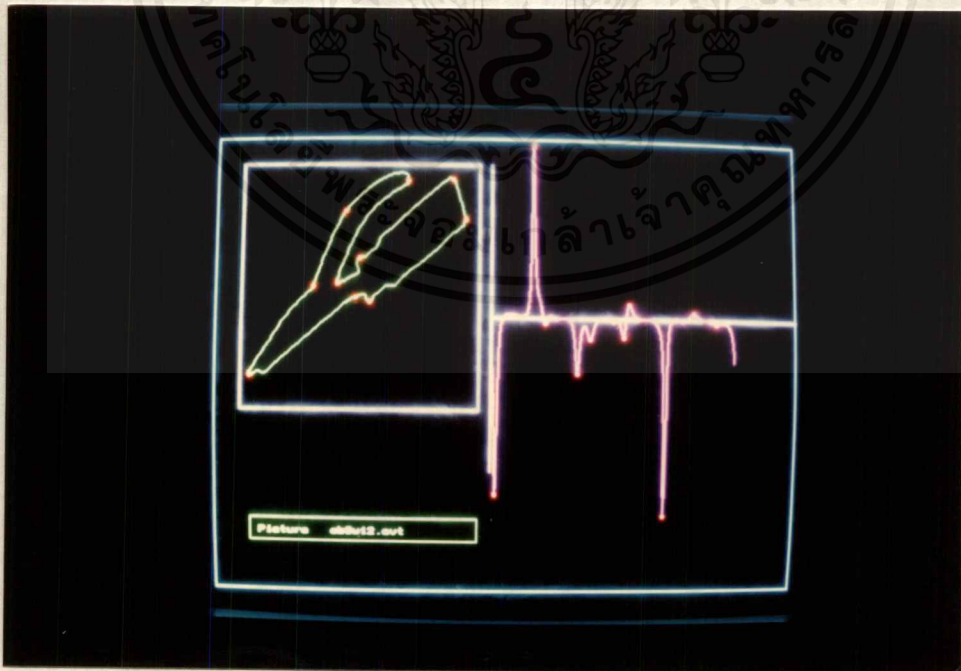
รูปที่ 3.3 แสดงตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่คutoff เฟรเควนซีของลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2

เมื่อเราได้ค่า X', X'', Y' และ Y'' เราก็นำไปแทนในสูตรความโค้ง เพื่อหาค่า K ก็จะได้ค่า K ออกมาตามจุดต่างๆ ของขอบภาพ จากนั้นก็จะทำการหาค่าความโค้งที่มีค่าสูงสุดทางด้านบวกและค่าความโค้งสูงสุดทางด้านลบ หลังจากนั้น เราก็จะทำการเขียนจุดที่มีความโค้งสูงสุดลงบนขอบของภาพวัตถุ ก็จะได้ภาพออกมา ดังรูปที่ 3.4

และในภาพที่มีวัตถุหลายๆ ชิ้นเราก็สามารถหาจุดเด่นออกมาได้เช่นเดียวกันตามวิธีการประมาณแบบโพลีกอนด้วยการหาค่าความโค้ง ดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แสดงจุดที่มความโค้งสูงสุดของคัมปากยาว ที่ใช้ค่า $\mu = 8$



รูปที่ 3.5 แสดงจุดเด่นบนขอบภาพของวัตถุรูปคัมปากยาวและไซควง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจดจำวัตถุ

จากค่าความโค้ง $[k(t)]$ ที่ได้และค่าตำแหน่ง (x, y) ของแต่ละจุด ในภาพฐานข้อมูลและภาพที่ถูกปิดบัง เราจะนำค่าความโค้งของภาพฐานข้อมูลและค่าความโค้งของภาพวัตถุที่ถูกปิดบังมาตรวจสอบ เพื่อการจดจำวัตถุ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ค่าความโค้งของภาพวัตถุรูปเดียวกันของภาพฐานข้อมูลกับภาพที่ถูกปิดบังที่ได้ควรจะมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติค่าความโค้งอาจจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งเราจะกำหนดค่าความแตกต่างของค่าความโค้งไว้ให้มีค่าไม่เกิน ± 25 จึงจะถือว่าเป็นค่าความโค้งอันเดียวกัน

2. ทำการตรวจสอบค่าความโค้งของภาพฐานข้อมูลกับภาพที่ถูกปิดบัง โดยการทดสอบค่าความโค้งที่ละ 3 จุด ที่อยู่ติดกัน เช่น จุดที่ 1 ของภาพฐานข้อมูล มีค่าความโค้ง $[k(t)]$ เท่ากับ -184.326 และจุดที่ 1 ของภาพที่ถูกปิดบังมีค่าความโค้ง $[k(t)]$ เท่ากับ -237.765 เมื่อนำมาลบกันได้ค่าเกิน ± 25 แสดงว่าไม่ใช่จุดเดียวกัน ทำการตรวจสอบกับจุดอื่นๆ ต่อไป คือค่าความโค้งของจุดที่ 1 ของภาพฐานข้อมูลกับจุดที่ 2 ของภาพที่ถูกปิดบัง แล้วตรวจสอบค่าความโค้งว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ ก็ทำการตรวจสอบจุดที่ 1 ของภาพฐานข้อมูล กับจุดที่ 3 ของภาพที่ถูกปิดบัง และทำการตรวจสอบไปเรื่อยๆ จนตลอดเส้นขอบภาพ จนกว่าจะเจอค่าความโค้งค่าเดียวกันหรือค่าความโค้งที่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้

3. เมื่อพบค่าความโค้งของภาพฐานข้อมูลกับภาพที่ถูกปิดบังที่มีค่าตรงกันหรือมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้ว เราก็จะทำการตรวจสอบจุดที่ 2 ของภาพฐานข้อมูลกับจุดต่อไปของภาพที่ถูกปิดบัง ถ้ามองว่า ค่าความโค้งของจุดที่ 2 ของภาพฐานข้อมูลกับจุดต่อไปของภาพที่ถูกปิดบัง มีค่าตรงกันอีก เราก็จะทำการตรวจสอบจุดที่ 3 ของภาพฐานข้อมูลกับจุดต่อไปของภาพที่ถูกปิดบังอีก เราจะถือว่า มีวัตถุของภาพฐานข้อมูลอันนี้ อยู่ในภาพที่ถูกปิดบัง

4. เมื่อเราตรวจสอบเจอว่ามีวัตถุของภาพฐานข้อมูล บรรลุอยู่ในภาพที่ถูกปิดบัง เราก็จะนำภาพวัตถุที่บรรลุอยู่ในฐานข้อมูล ไปย้ายตำแหน่งและทำการหมุนภาพให้มีตำแหน่งตรงกันภาพที่ถูกปิดบัง เพื่อที่จะนำภาพวัตถุฐานข้อมูลนี้ไปซ้อนทับกันกับภาพที่ถูกปิดบัง เพื่อแสดงส่วนที่ถูกปิดบังของภาพในฉาก ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

ซึ่งเราจะกำหนดไว้ว่า จุด $[k(t)]$ จุดแรกของภาพที่ถูกปิดบัง คือตำแหน่ง x_a, y_a

จุด $[k(t)]$ จุดที่สองของภาพที่ถูกปิดบังคือตำแหน่ง x_b, y_b

จุด $[k(t)]$ จุดแรกของภาพฐานข้อมูล คือตำแหน่ง x_1, y_1

จุด $[k(t)]$ จุดที่สองของภาพฐานข้อมูลคือตำแหน่ง x_2, y_2

5. ถ้าหากว่าจุดแรกที่ตรวจสอบมีค่าความโค้งแตกต่างกันไม่เกิน ± 25 แต่จุดที่สองมีค่า

ความโค้งแตกต่างกันเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ให้ทำการตรวจสอบใหม่ ตามขั้นตอนข้อที่ 2 - 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| จุดที่ | ภาพฐานข้อมูล | | | ภาพที่ถูกบิดง | | |
|--------|--------------|-----|-------------|---------------|-----|-------------|
| | ตำแหน่ง | | ค่าความโค้ง | ตำแหน่ง | | ค่าความโค้ง |
| | x | y | k(t) | x | y | k(t) |
| 1 | 209 | 47 | -184.216 | 158 | 39 | -237.765 |
| 2 | 134 | 154 | 150.885 | 151 | 70 | 15.592 |
| 3 | 215 | 114 | 5.534 | 197 | 148 | 8.469 |
| 4 | 260 | 72 | -95.202 | 263 | 221 | -376.230 |
| 5 | 135 | 177 | 5.524 | 165 | 160 | 4.888 |
| 6 | 38 | 251 | -399.899 | 118 | 150 | 151.588 |
| 7 | 108 | 158 | 6.909 | 131 | 161 | -30.363 |
| 8 | 142 | 80 | -4.077 | 119 | 198 | -4.287 |
| 9 | - | - | - | 90 | 268 | -27.648 |
| 10 | - | - | - | 41 | 261 | -47.809 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การแปลงส่วนที่ถุกปิดบัง

4.1 การแปลงส่วนที่ถุกปิดบัง

เราจะสามารถแปลงส่วนที่ถุกปิดบังได้นั้น เราจะต้องย้ายภาพและหมุนภาพของภาพฐานข้อมูล เพื่อให้ได้ตำแหน่งของภาพฐานข้อมูลตรงกับตำแหน่งของภาพที่ต้องการแปลงส่วนที่ถุกปิดบัง เมื่อตำแหน่งตรงกันแล้ว เราจะนำภาพฐานข้อมูลมาซ้อนบนภาพที่ต้องการแปลงส่วนที่ถุกปิดบัง

4.1.1 การย้ายภาพ

การย้ายภาพเป็นการเลื่อนตำแหน่งของภาพทั้งภาพไปยังตำแหน่งอื่นๆ เป็นระยะทางเท่ากันทั้งหมด โดยขนาดของภาพไม่เปลี่ยนแปลงและไม่ทำให้ภาพเอียงไปจากแนวเดิม การย้ายนี้ทำได้โดยการบวกจุดทุกๆ จุดของภาพด้วยระยะทางที่ต้องการให้ภาพเลื่อนไป

ก่อนที่เราจะแปลงส่วนที่ถุกปิดบังได้นั้น เราจะต้องย้ายภาพฐานข้อมูลและต้องมีตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งตรงกับตำแหน่งเดียวกันกับภาพที่ถุกปิดบัง จากรูปคือตำแหน่ง (x_1, y_1) จะต้องย้ายไปเป็น (x_1', y_1') เพื่อให้ตำแหน่งตรงกับ (x_a, y_a) ดังรูปที่ 4.1 (ซึ่ง (x_1, y_1) และ (x_a, y_a) เป็นจุดที่แมชชีนจุดแรกนั้นคือมีค่าความโค้งเท่ากัน)

ซึ่งเราจะได้ระยะทางของตำแหน่ง (x_1, y_1) ดังนี้

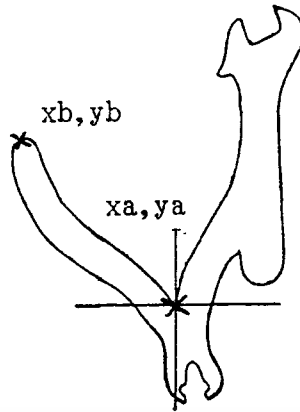
$$x_1' = (x_a - x_1) + x_1$$

$$y_1' = (y_a - y_1) + y_1$$

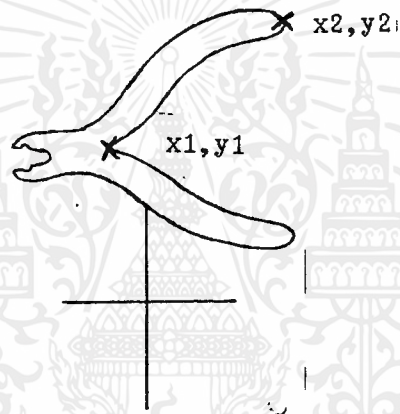
ในทางปฏิบัติจริงๆ นั้น เราจะต้องย้ายทุกๆ จุดที่ใช้สำหรับนิยามภาพจึงจะสามารถย้ายภาพทั้งหมดไปยังจุดที่ต้องการได้ดังนี้

$$x' = (x_a - x_1) + x$$

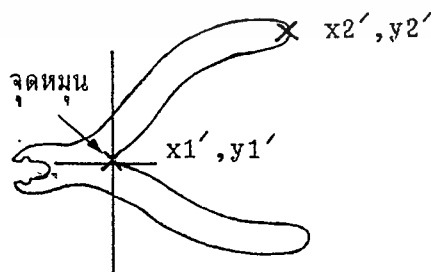
$$y' = (y_a - y_1) + y$$



ภาพที่ถูกปิดบัง



ภาพฐานข้อมูล



ย้ายตำแหน่งของภาพฐานข้อมูล

รูปที่ 4.1 แสดงการย้ายภาพฐานข้อมูลให้มีจุดหมุนตรงตำแหน่งกันกับภาพในฉาก

4.1.2 การหมุนภาพ

การหมุนภาพนี้จะต้องกำหนดว่าจุดใดเป็นจุดหมุนก่อนเสมอ จากรูปมีตำแหน่ง (x_1, y_1) เป็นจุดหมุน หลังจากที่ถูกหมุนไปแล้ว ระยะห่างระหว่างจุดหมุนกับภาพจะยังคงมีค่าเท่าเดิม รูปร่างลักษณะของภาพก็ยังคงเดิม แต่ภาพจะมีการจัดวางที่ต่างไปจากเดิมอันเนื่องมาจากการหมุนนั่นเอง ซึ่งเราสามารถจะหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาก็ได้

วิธีการหมุนภาพมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ย้ายจุดหมุน (x_1, y_1) ไปยังจุดกำเนิด (ตำแหน่ง $(0,0)$ ของจอภาพ) เมื่อย้ายแล้วทุกจุด (x', y') ที่ใช้นิยามภาพก็จะถูกย้ายไปยังจุดใหม่ (x'', y'') ด้วยโดยที่

$$x'' = x - x_1$$

$$y'' = y - y_1$$

ในตอนนี้จุดหมุนก็จะถูกย้ายไปยังจุดกำเนิด $(0,0)$

2. จัดการหมุนภาพรอบจุดกำเนิด นั่นคือจุด (x'', y'') ถูกย้ายไปเป็นมุม θ ได้จุดใหม่เป็น (x''', y''') โดยที่

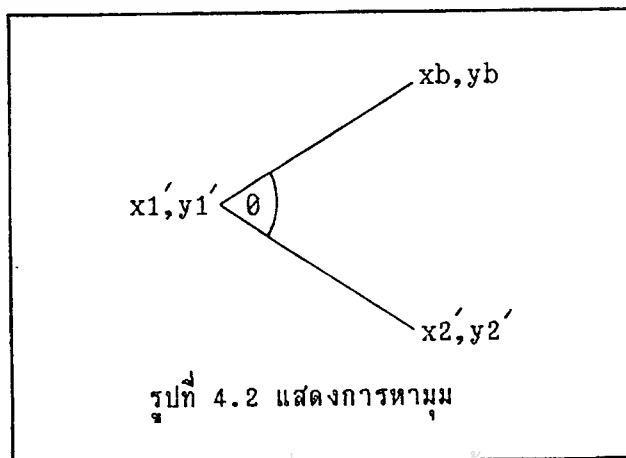
$$x''' = (x'' \cos(\theta)) - (y'' \sin(\theta))$$

$$y''' = (y'' \cos(\theta)) + (x'' \sin(\theta))$$

ซึ่ง θ เป็นมุมที่หาได้จากจุดที่มีค่าความโค้งเท่ากัน เป็นจุดที่สองของภาพฐานข้อมูลที่ทำกรย้ายภาพแล้วกับภาพที่ถูกปิดบัง ดังรูปที่ 4.2 นั่นคือจุด (x_2', y_2') กับ (x_b, y_b) ซึ่งมีจุด (x_1', y_1') เป็นจุดหมุน

ในการหา θ เราจะใช้วิธีแบบ dot product ซึ่งมีสูตรดังต่อไปนี้

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}$$



ดังนั้น

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}$$

ซึ่ง

$$\vec{A} = (x_a - x_2') \vec{a}_x + (y_a - y_2') \vec{a}_y$$

$$\vec{B} = (x_a - x_b) \vec{a}_x + (y_a - y_b) \vec{a}_y$$

$$|\vec{A}| = \sqrt{(x_a - x_2')^2 + (y_a - y_2')^2}$$

$$|\vec{B}| = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$$

เพราะฉะนั้น

$$\theta = \cos^{-1} \frac{(x_a - x_2')(x_a - x_b) + (y_a - y_2')(y_a - y_b)}{\sqrt{(x_a - x_2')^2 + (y_a - y_2')^2} \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}}$$

3. ย้ายจุดหมุนจากจุดกำเนิด $(0,0)$ กลับไปยังจุดเดิม (x_1', y_1') ดังนั้นจุด (x'', y'')

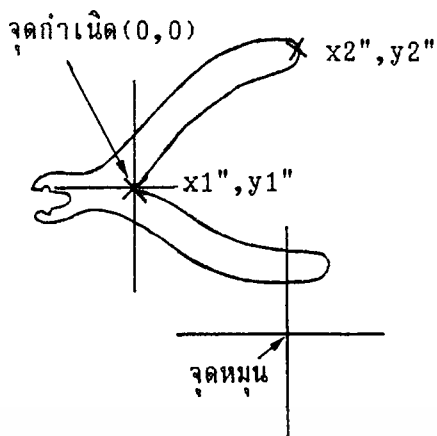
ก็จะถูกย้ายไปยังจุด (x^*, y^*) ดังรูปที่ 4.3

โดยที่

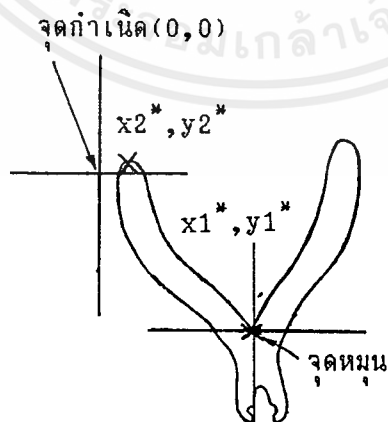
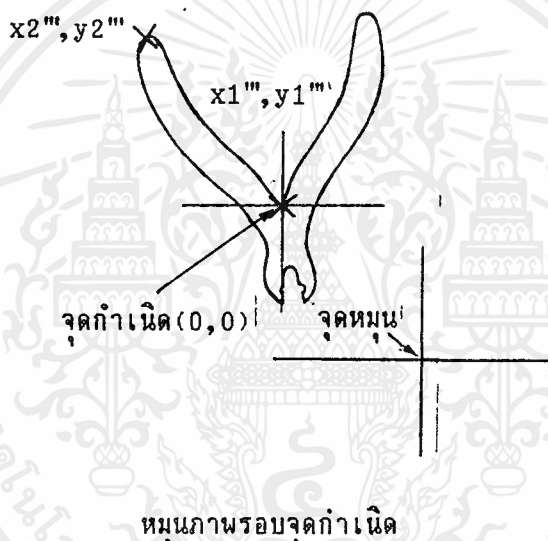
$$x^* = x + x_1'$$

$$y^* = y + y_1'$$

เมื่อได้ตำแหน่ง (x, y) ใหม่จนครบทุกจุดภาพแล้ว จะได้ภาพฐานข้อมูลที่มีตำแหน่งและการวางรูปมีลักษณะเหมือนและตรงกับภาพที่ถูกบิดเบือน ดังนั้นเราจะนำภาพฐานข้อมูลไปซ้อนยังส่วนที่ถูกบิดเบือนก็จะสามารถแสดงส่วนที่ถูกบิดเบือนออกมาให้เห็นได้ ดังรูปที่ 4.4

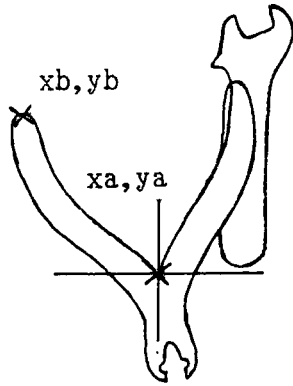


ย้ายจุดหมุนไปยังจุดกำเนิดของภาพฐานข้อมูล



ย้ายภาพจากจุดกำเนิดกลับมายังจุดหมุน

รูปที่ 4.3 แสดงการหมุนภาพฐานข้อมูลให้มีตำแหน่งตรงกันกับภาพในฉาก



ภาพฐานข้อมูลที่หมุนได้ตรงตำแหน่งกับภาพในฉาก

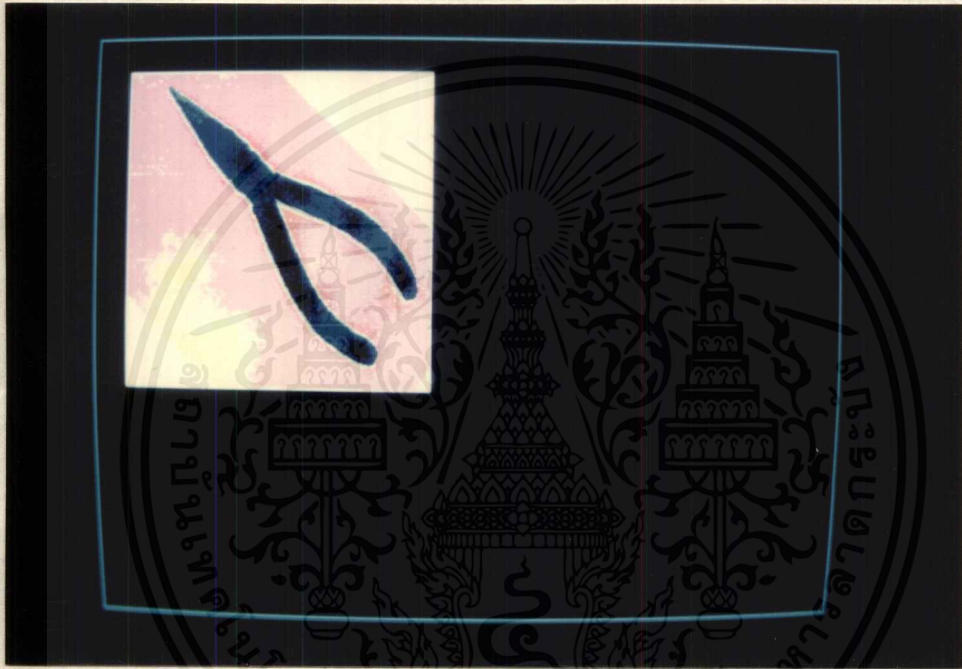
รูปที่ 4.4 แสดงส่วนที่ถูกปิดบังของภาพที่อยู่ในฉาก โดยการนำภาพฐานข้อมูลที่หมุนได้มาซ้อนทับกับภาพในฉาก

บทที่ 5

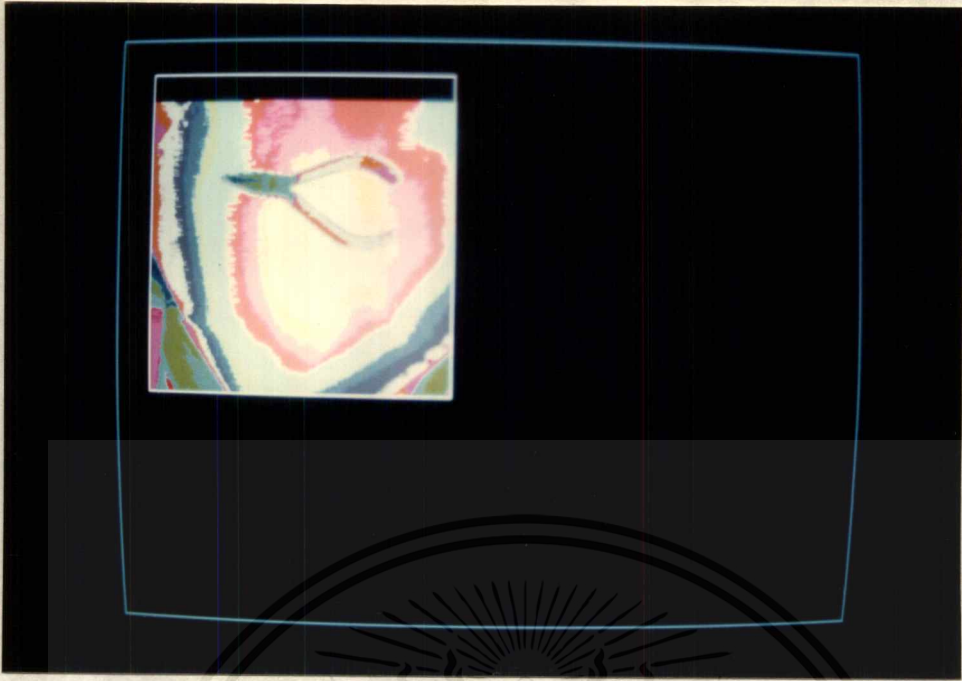
ลำดับชั้นและผลการทดลอง

5.1 ลำดับชั้นและผลการทดลอง

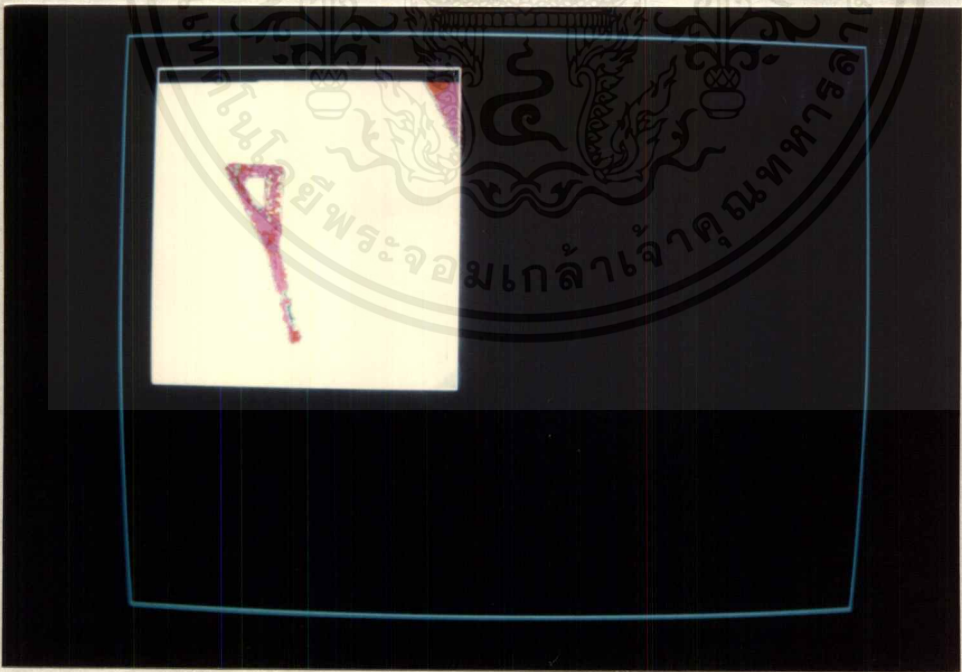
1. ทำการถ่ายภาพมาจากกล้องวิดีโอหรือจากเครื่องสแกนเนอร์ ของรูปวัตถุแบบต่างๆ เช่น คีมปากขาวตัวใหญ่ คีมปากขาวตัวเล็ก คีมตัด ไขควง ลูกกุกญแจ และประแจปากตาว เป็นต้น นำไปเก็บไว้เป็นภาพต้นแบบ ดังรูปที่ 5.1 - 5.3



รูปที่ 5.1 แสดงภาพวัตถุต้นแบบรูปคีมปากขาวตัวใหญ่ที่ถ่ายจากสแกนเนอร์



รูปที่ 5.2 แสดงภาพวัตถุต้นแบบรูปคัมปากขาวตัวเล็กที่ถ่ายจากกล้องวิดีโอ



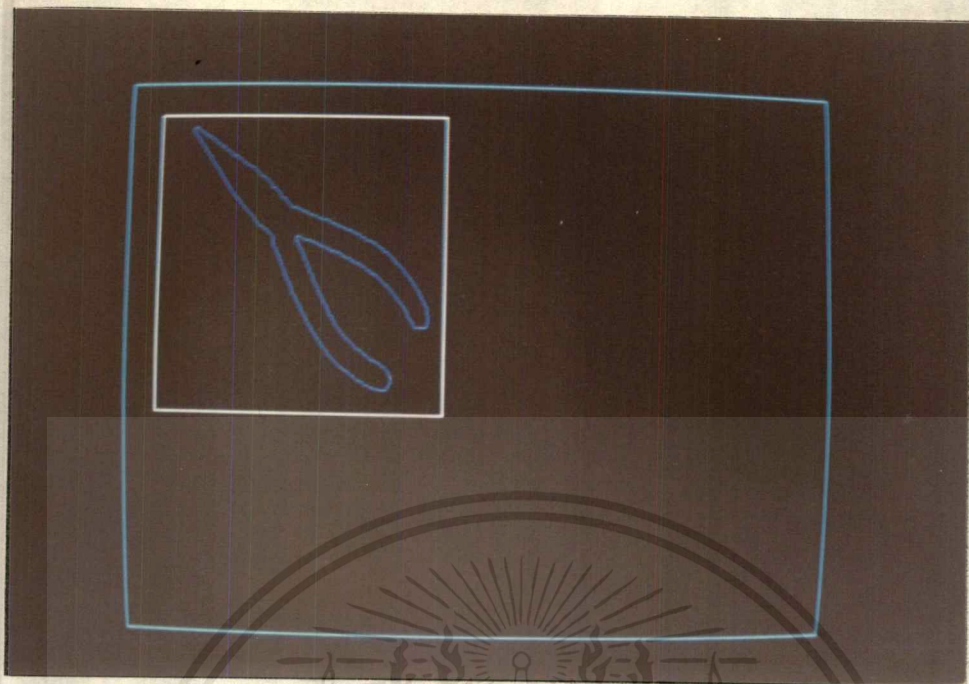
รูปที่ 5.3 แสดงภาพวัตถุต้นแบบรูปปลุกญแจที่ถ่ายจากกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

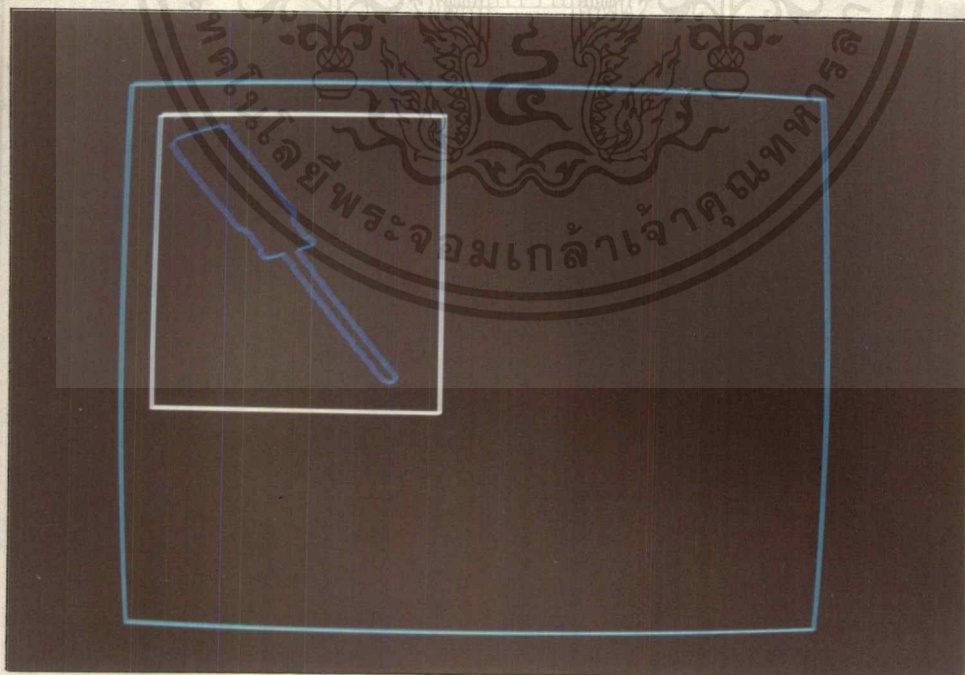


รูปที่ 5.4 แสดงภาพวิดีโอต้นแบบรูปวีดิทัศน์การวางซ้อนทับกันจากสแกนเนอร์

2. ทำการถ่ายภาพวีดิทัศน์การวางซ้อนทับกัน ในลักษณะต่างๆ ตามที่ต้องการ จากการทดลองได้ใช้คีมปากยาว ไขควงและประแจปากตาย วางซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 5.4
3. จากข้อมูลของภาพต้นแบบ และภาพวีดิทัศน์การวางซ้อนทับกัน นำมาหาขอบภาพ แล้วเก็บไว้เป็นข้อมูลของขอบภาพ ซึ่งจากการทดลองได้ภาพของขอบภาพ ดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6



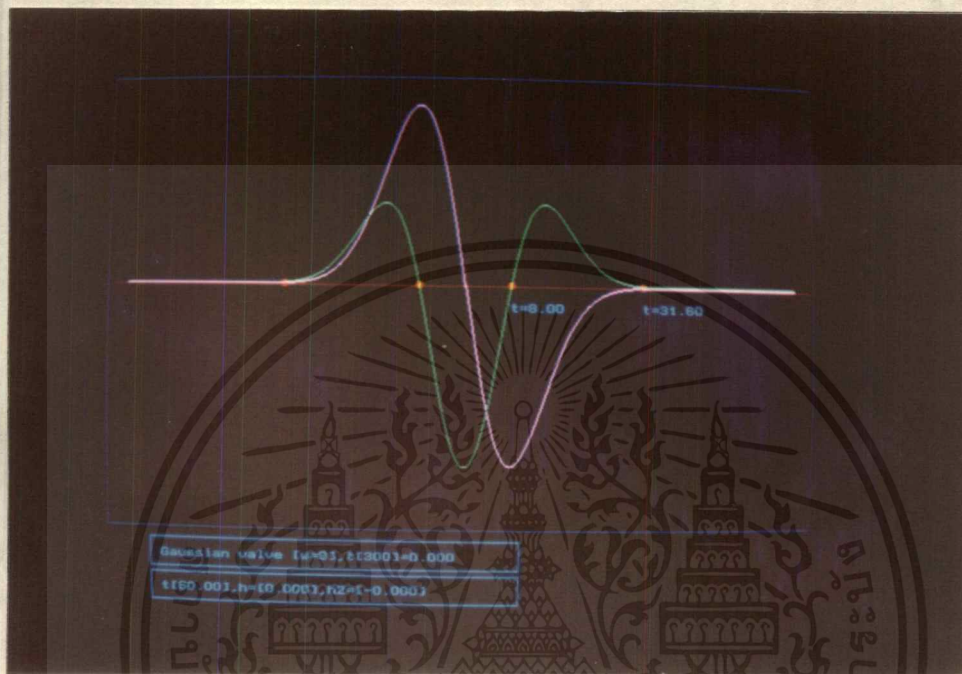
รูปที่ 5.5 แสดงขอบภาพของคีมปากยาวตัวใหญ่



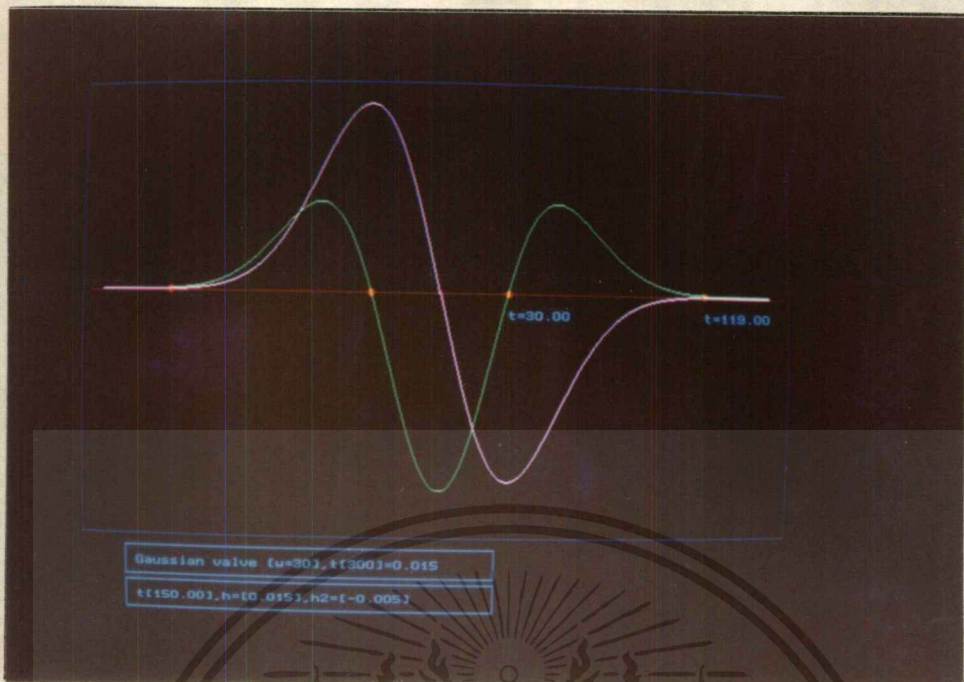
รูปที่ 5.6 แสดงขอบภาพของไซควง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อได้ขอบภาพของวัตถุรูปคัมปัสและไซควงแล้ว ก็นำมาหาค่าความโค้งของ
 ขอบภาพโดยใช้วิธีการประมาณแบบโพลีگونด้วยการหาค่าความโค้ง ซึ่งจากการทดลองได้ใช้ค่า
 ψ ที่ต่างๆ ของตัวกรองแบบเกาส์เซียน ดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8

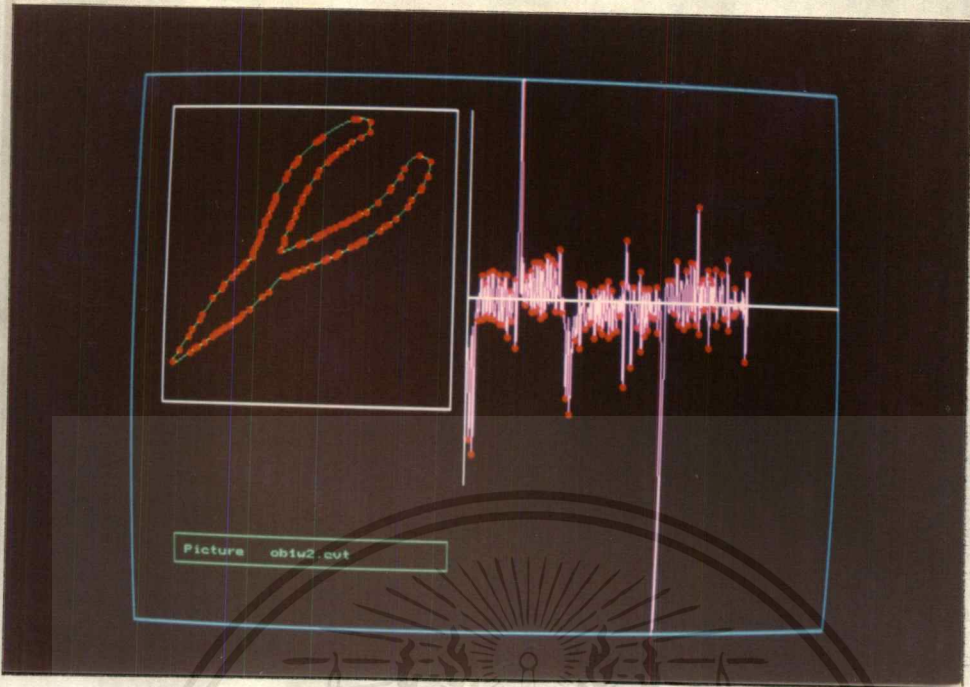


รูปที่ 5.7 แสดงรูป curve ของตัวกรองแบบเกาส์เซียน ที่ $\psi = 8$

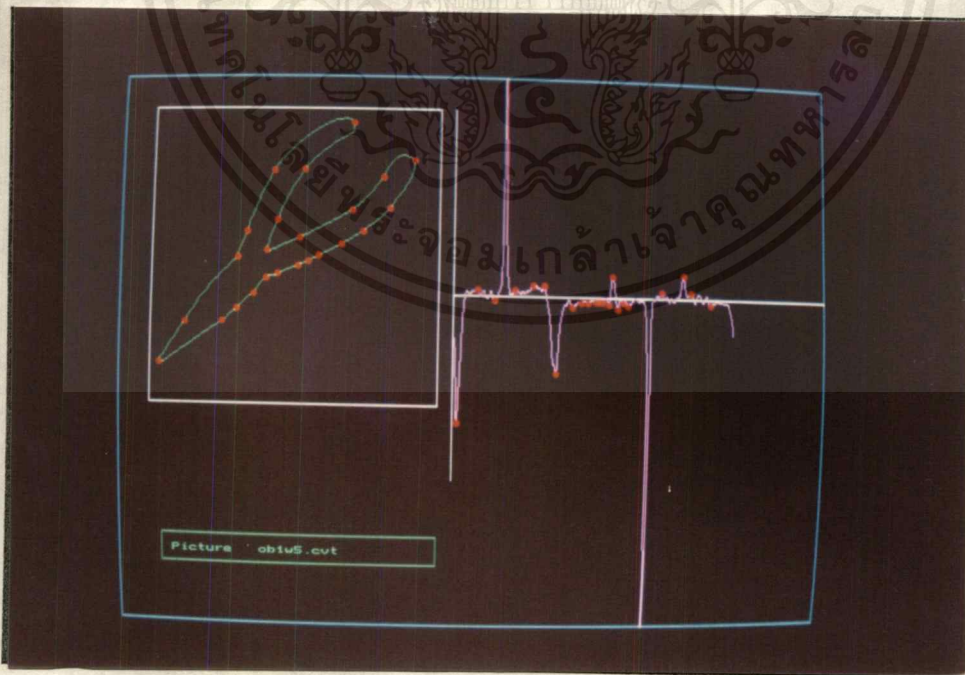


รูปที่ 5.8 แสดงรูป curve ของตัวกรองแบบเกาส์ใช้ชนที่ $w = 30$

5. จากการทดลอง ถ้าใช้ค่า w ค่าน้อยๆ จะทำให้ได้จำนวนจุดเด่นของวัตถุตามขอบภาพของวัตถุ มีจำนวนมาก และถ้าใช้ค่า w ค่ามากขึ้นจะทำให้ได้จำนวนจุดเด่นของวัตถุตามขอบภาพของวัตถุ มีจำนวนน้อยลง ดังรูปที่ 5.9 - 5.23

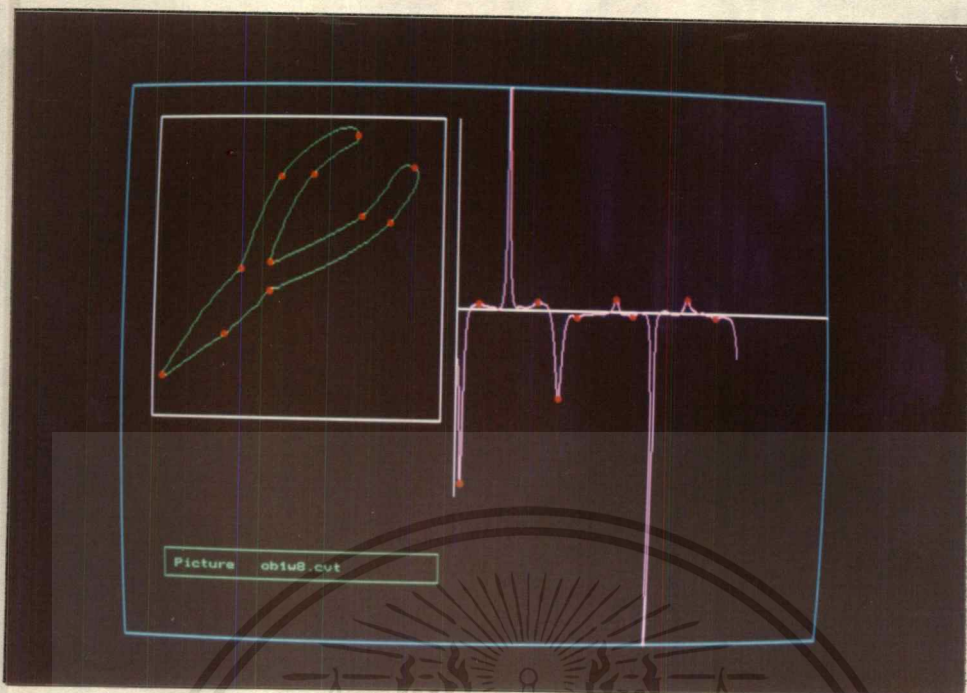


รูปที่ 5.9 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากยาวตัวใหญ่ ที่ใช้ค่า $w = 2$

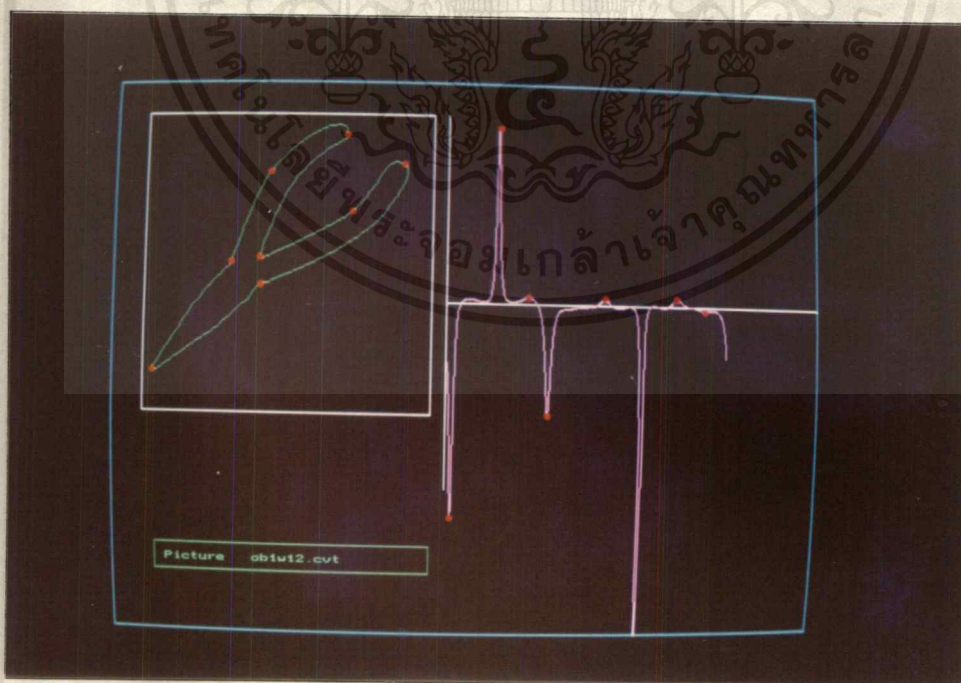


รูปที่ 5.10 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากยาวตัวใหญ่ ที่ใช้ค่า $w = 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

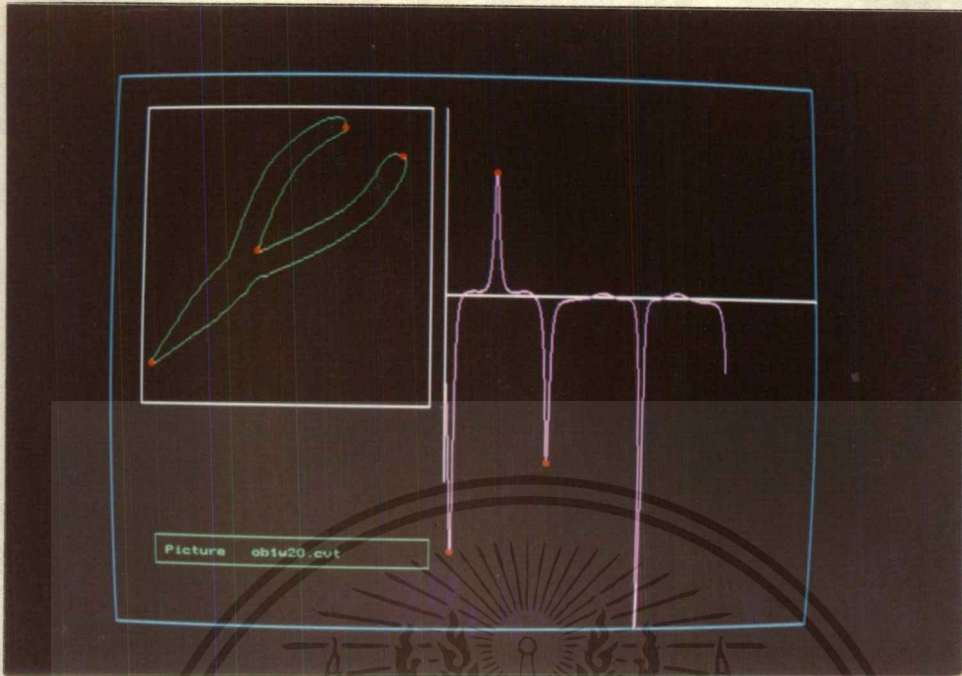


รูปที่ 5.11 แสดงจุดเด่นของวิถีรูปคีมปากยาวตัวใหญ่ ที่ใช้ค่า $w = 8$

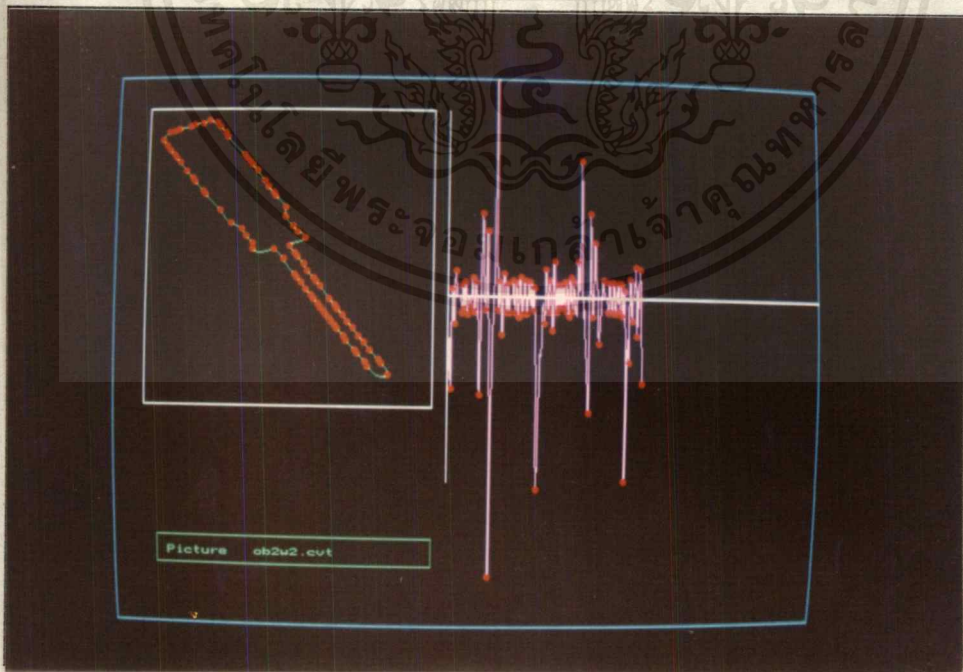


รูปที่ 5.12 แสดงจุดเด่นของวิถีรูปคีมปากยาวตัวใหญ่ ที่ใช้ค่า $w = 12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

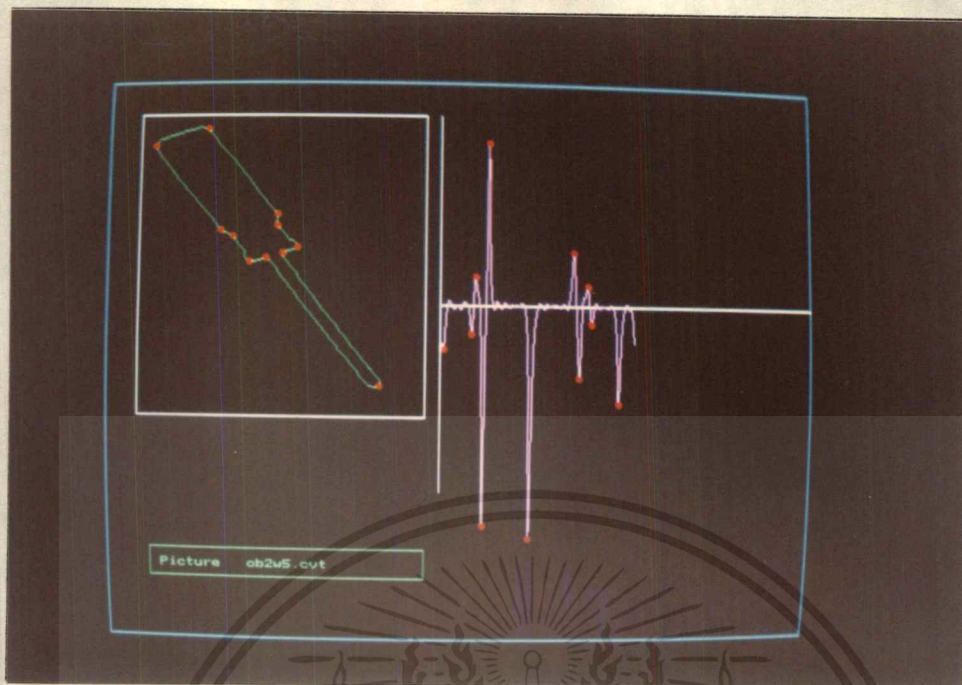


รูปที่ 5.13 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคิมปากยาวตัวใหญ่ ที่ใช้ค่า $w = 20$

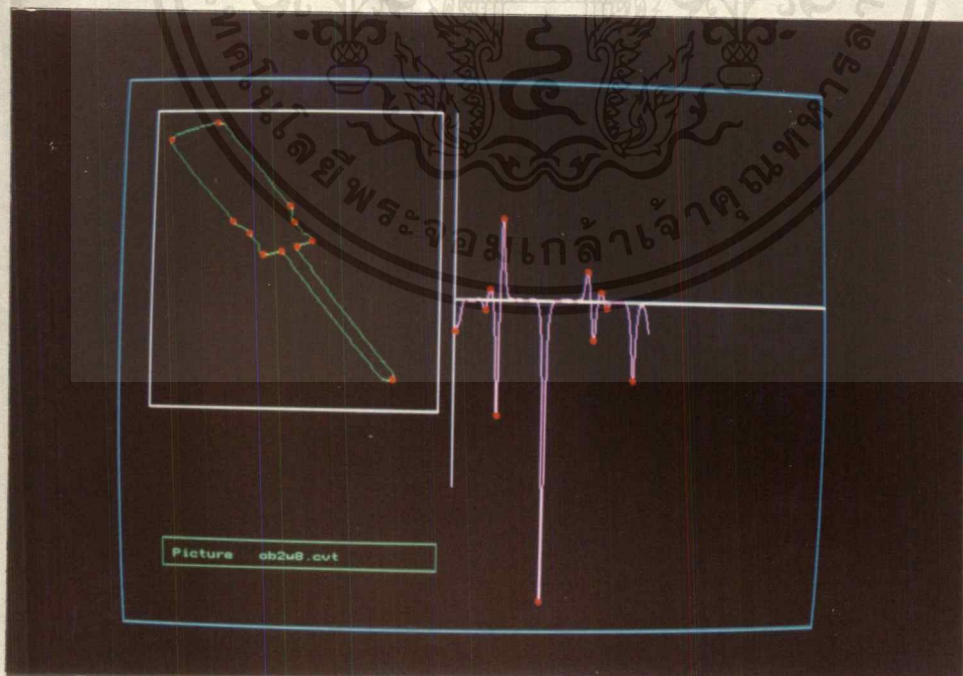


รูปที่ 5.14 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปไขควง ที่ใช้ค่า $w = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

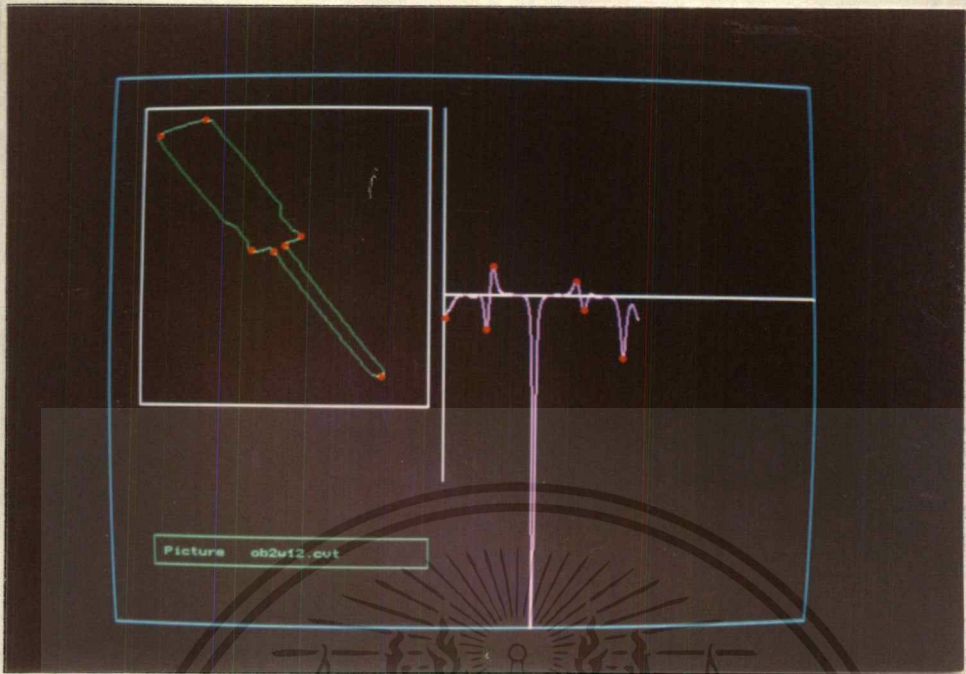


รูปที่ 5.15 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปห้าดวง ที่ใช้ค่า $w = 5$

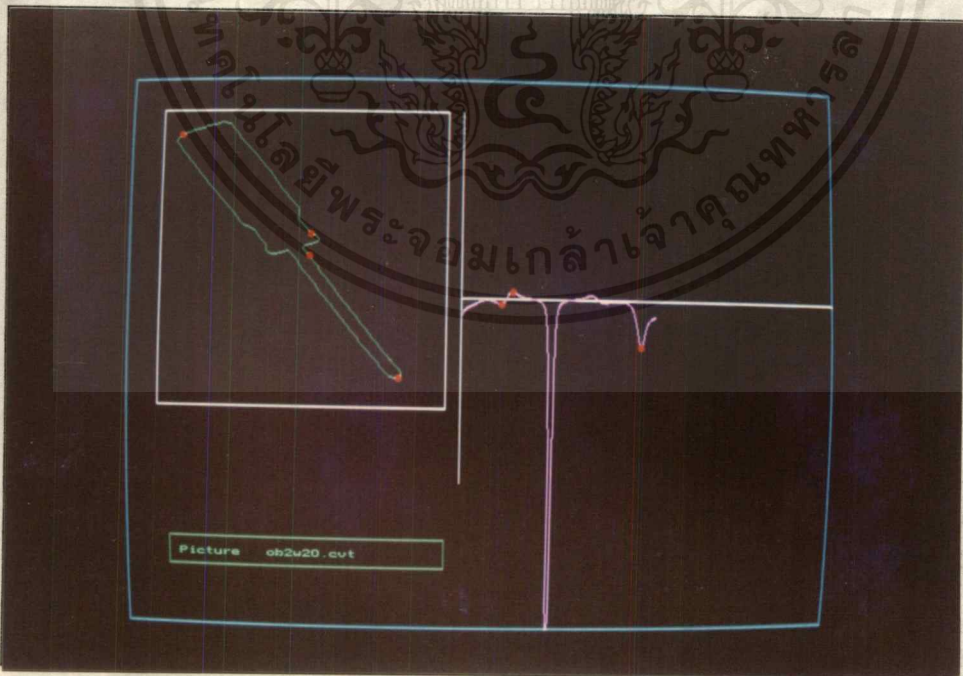


รูปที่ 5.16 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปแปดดวง ที่ใช้ค่า $w = 8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

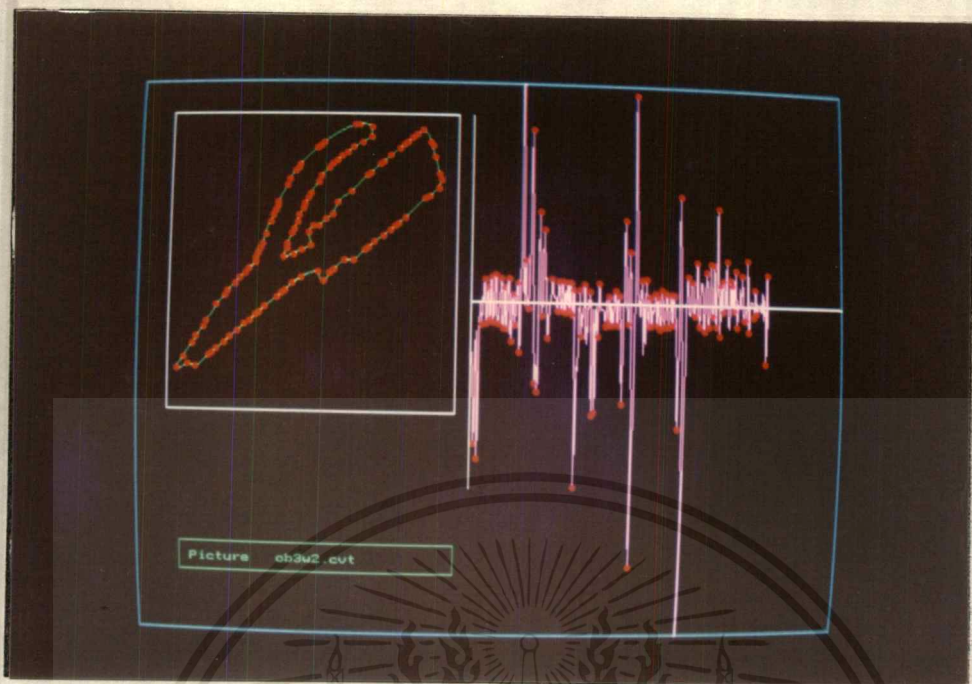


รูปที่ 5.17 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปไขควง ที่ใช้ค่า $w = 12$

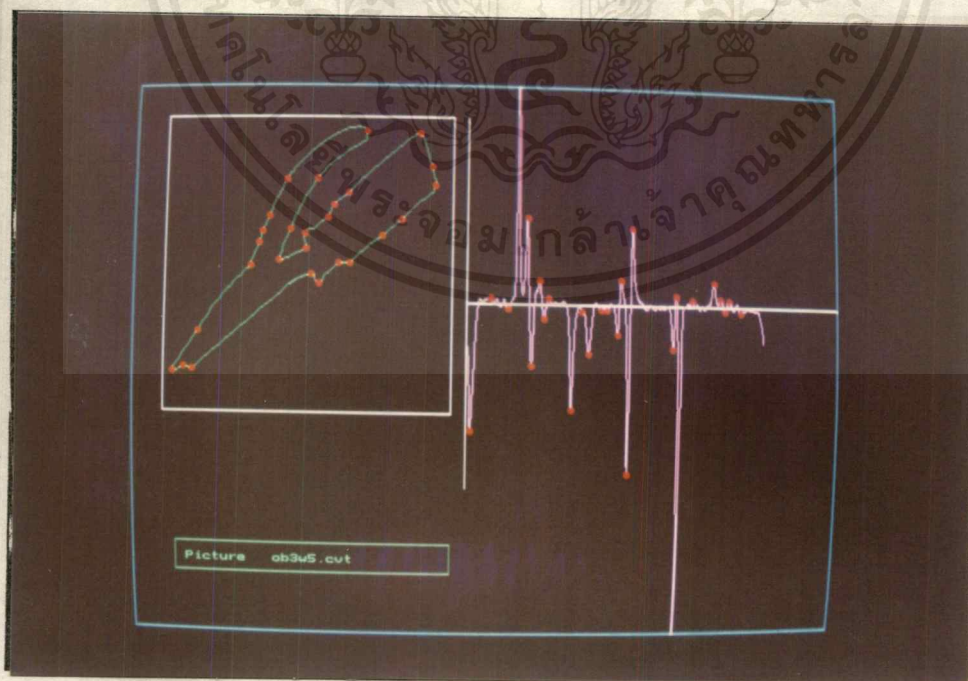


รูปที่ 5.18 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปไขควง ที่ใช้ค่า $w = 20$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

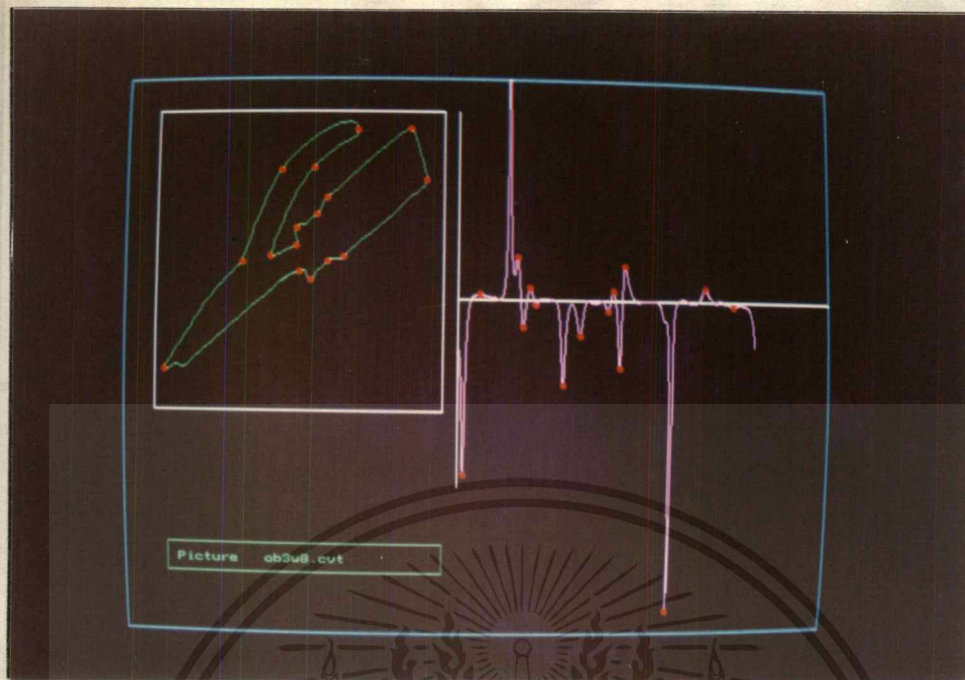


รูปที่ 5.19 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากยาวและไซควงที่วางซ้อนกัน ที่ใช้ค่า $w = 2$

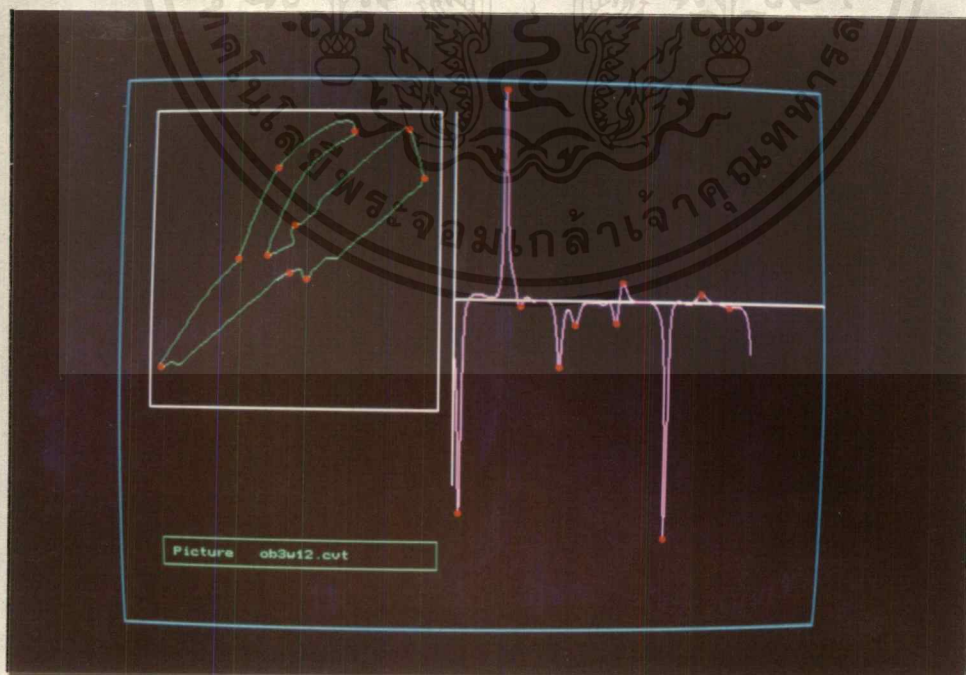


รูปที่ 5.20 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากยาวและไซควงที่วางซ้อนกัน ที่ใช้ค่า $w = 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

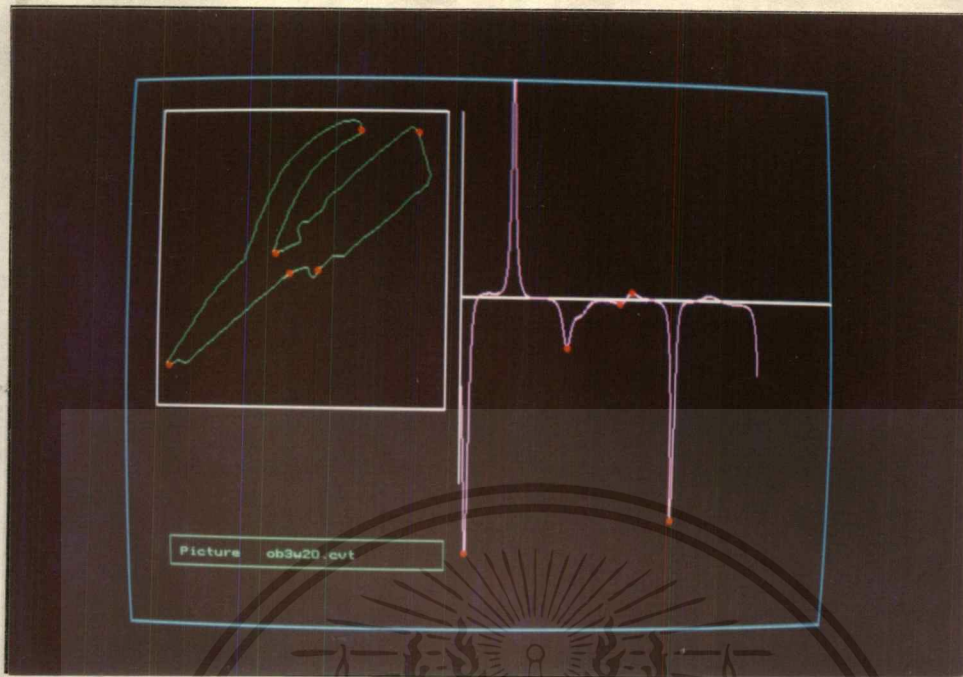


รูปที่ 5.21 แสดงจุดเด่นของวัฏธรูปคัมปากขาวและไซควงที่วางซ้อนกัน ที่ใช้ค่า $w = 8$



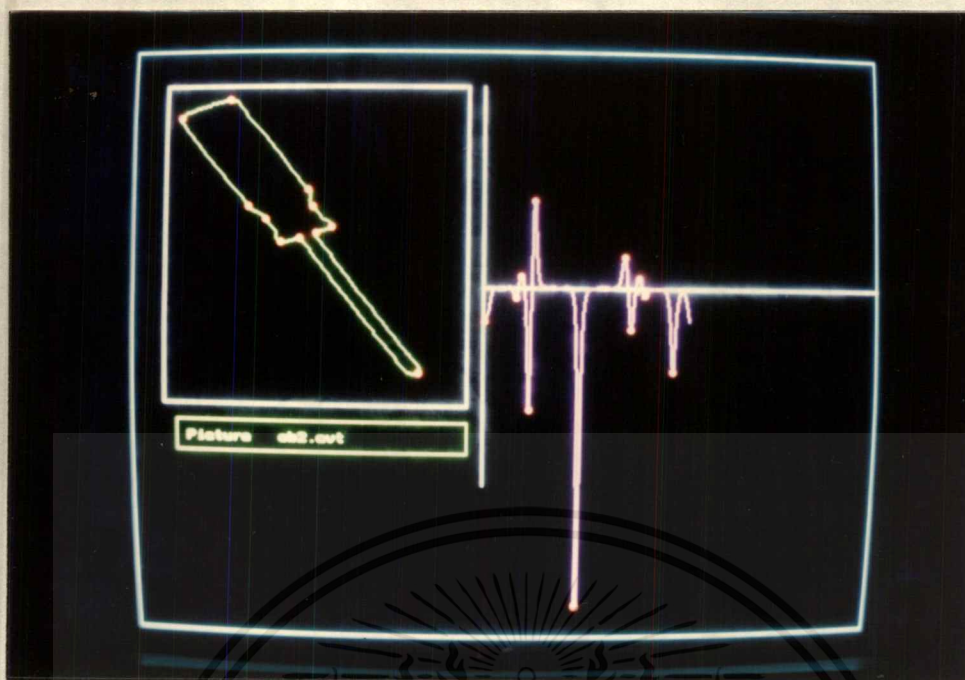
รูปที่ 5.22 แสดงจุดเด่นของวัฏธรูปคัมปากขาวและไซควงที่วางซ้อนกัน ที่ใช้ค่า $w = 12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

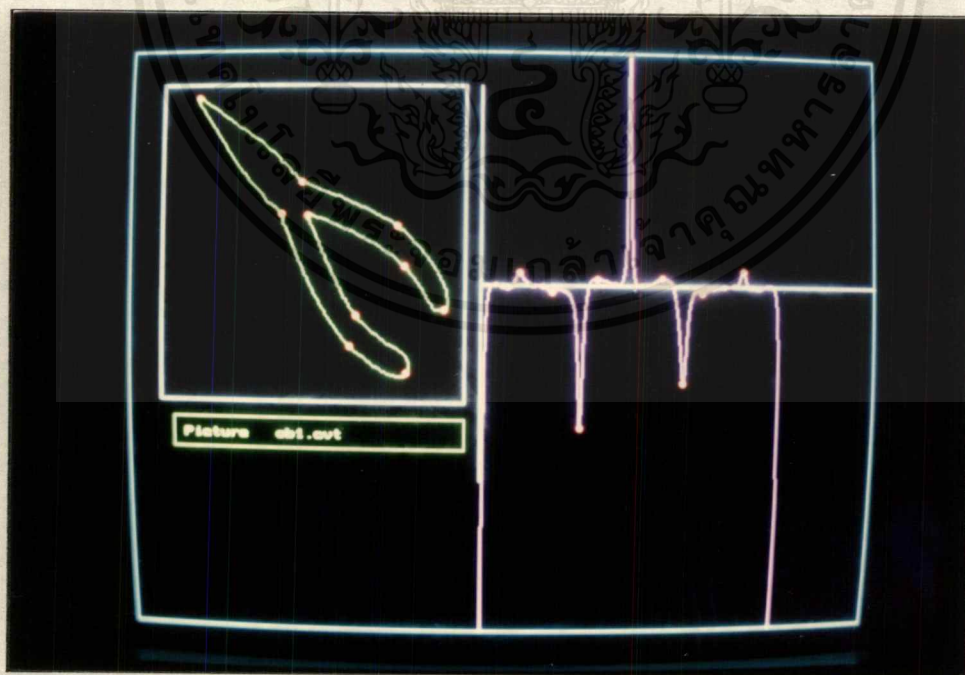


รูปที่ 5.23 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากขาวและไซควงทว้างซ้อนกัน ที่ใช้ค่า $w = 20$

6. จากการทดลองในข้อ 5. เราต้องเลือกค่า w ที่ค่าใดๆ ที่ทำให้ได้จุดเด่นออกมาอย่างพอเหมาะ ซึ่งจากการทดลองเราได้ใช้ค่า $w = 8$ จะทำให้ได้จุดเด่นออกมาอย่างพอดี ของภาพต้นแบบ ที่จะนำไปทำการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ดังในรูปที่ 5.24 - 5.31



รูปที่ 5.24 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปไขควง ที่ใช้ค่า $w = 8$

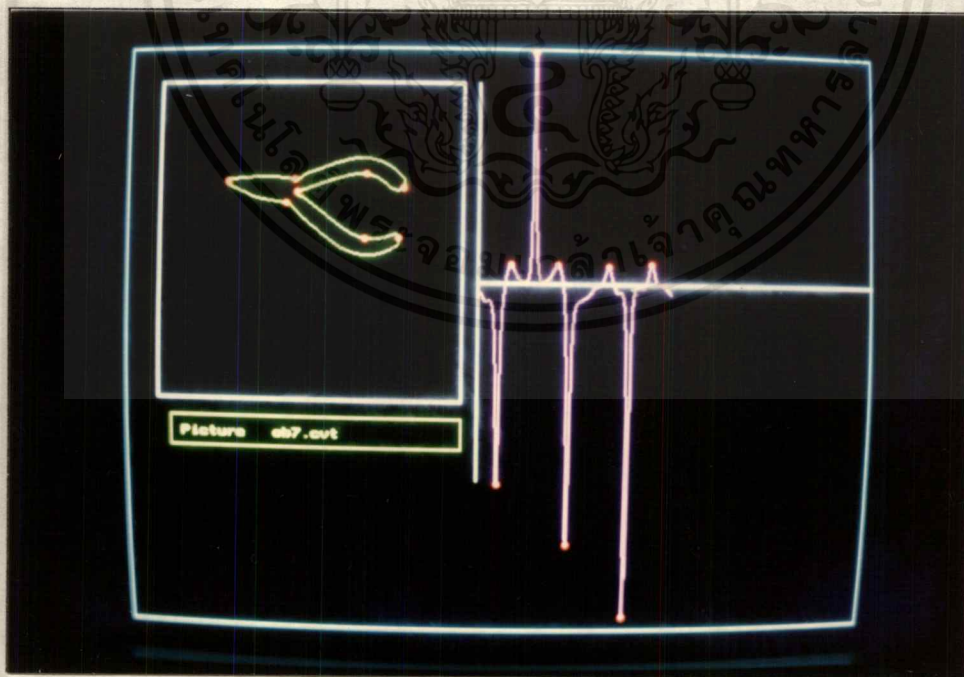


รูปที่ 5.25 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากขาวตัวใหญ่ ที่ใช้ค่า $w = 8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากขาวขนาดกลาง ที่ใช้ค่า $w = 8$

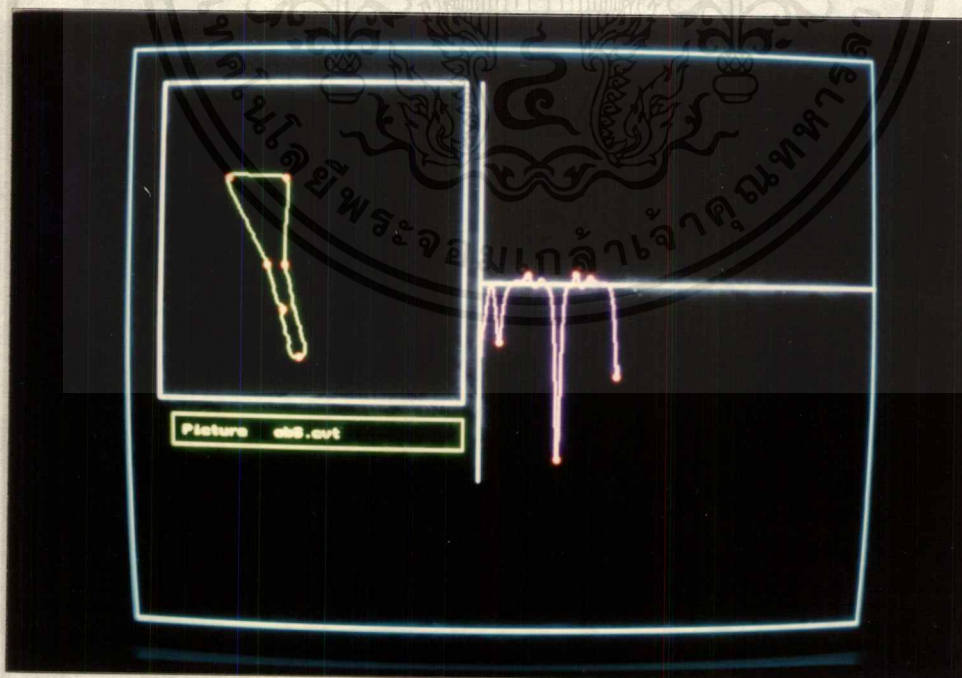


รูปที่ 5.27 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากขาวตัวเล็ก ที่ใช้ค่า $w = 8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

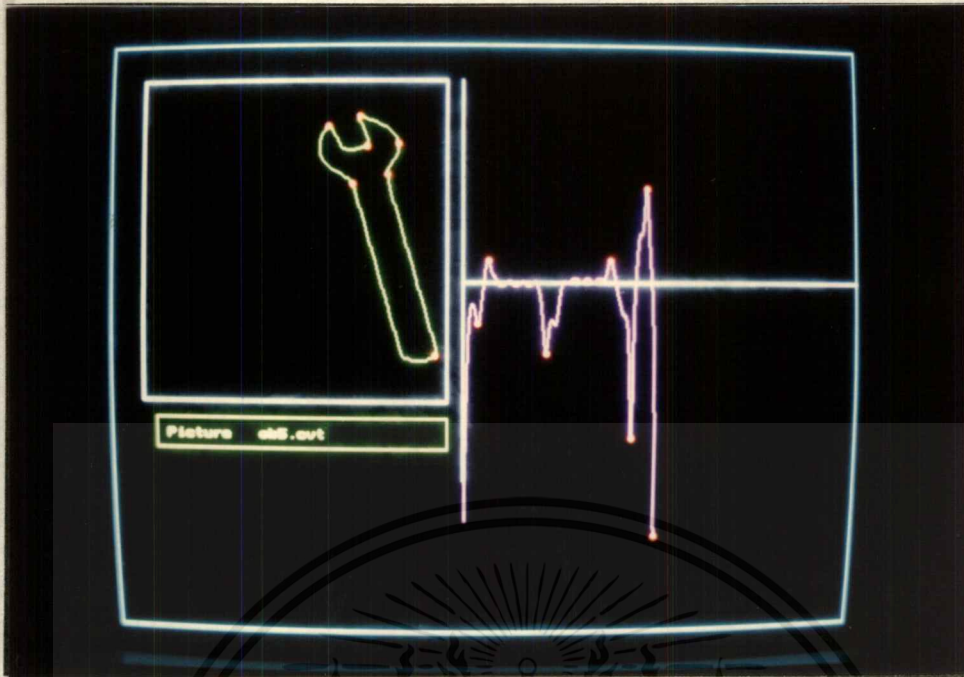


รูปที่ 5.28 แสดงจุดเด่นของวัตรรูปคิมตัด ที่ใช้ค่า $w = 8$



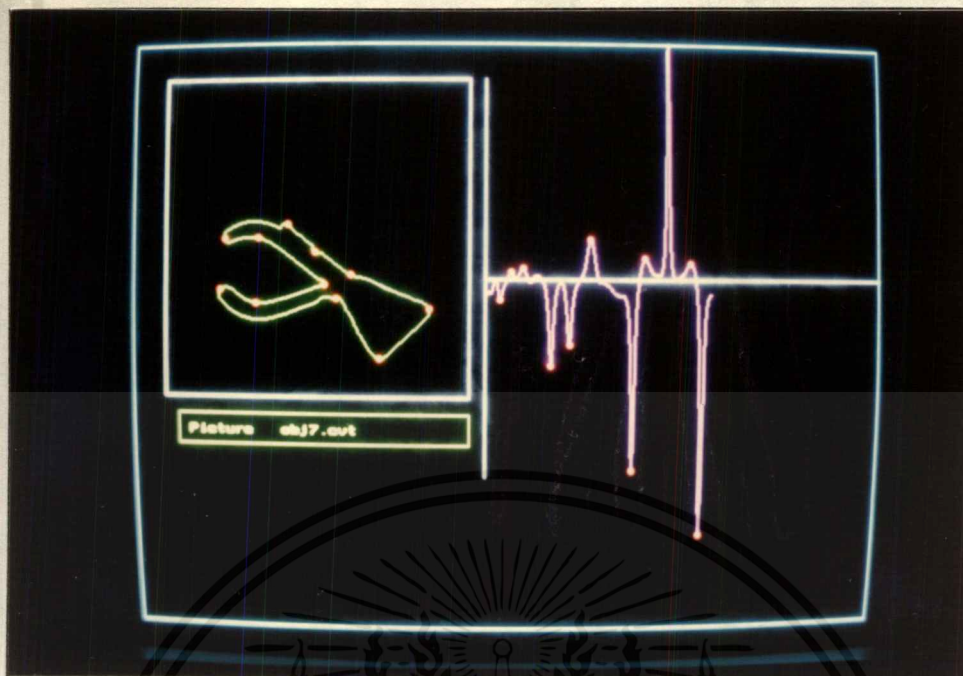
รูปที่ 5.29 แสดงจุดเด่นของวัตรรูปปลุกกุญแจ ที่ใช้ค่า $w = 8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปประแจปากตาย ที่ใช้ค่า $\psi = 8$

7. ในทำนองเดียวกัน ภาพวัตถุที่มีการวางซ้อนทับกันหลังจากที่ผ่านการหาขอบภาพแล้ว นำมาหาจุดเด่น โดยใช้ค่า $\psi = 8$ ก็จะได้จุดเด่นออกมา ดังรูปที่ 5.31 - 5.33



รูปที่ 5.31 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากขาวตัวเล็กและล็กกฏแฉทวางซ้อนทับกัน



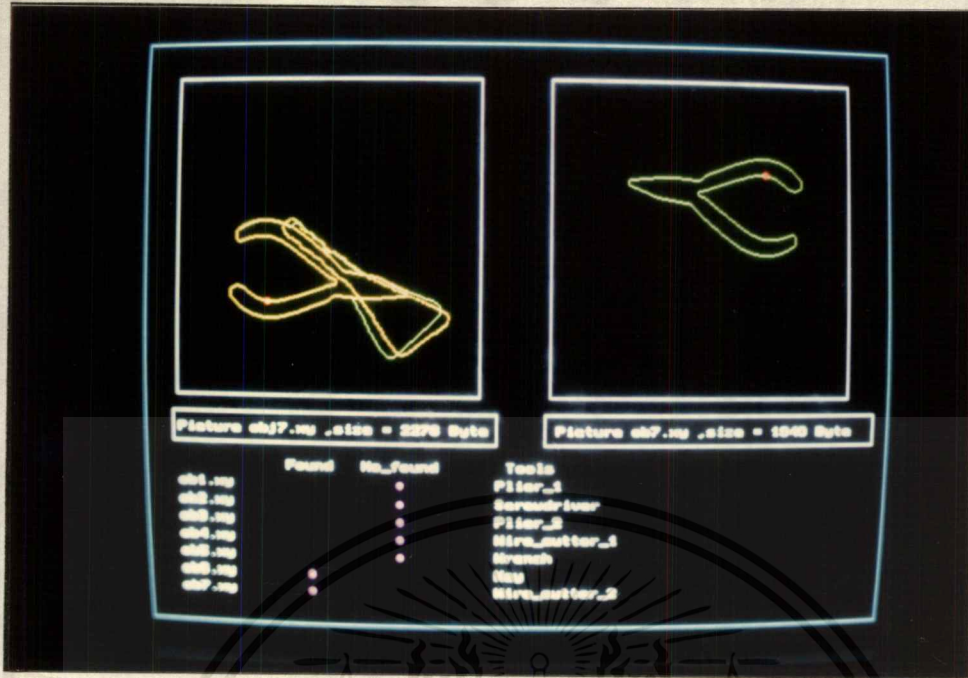
รูปที่ 5.32 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปคีมปากขาวขนาดกลางและคีมตัดวางซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

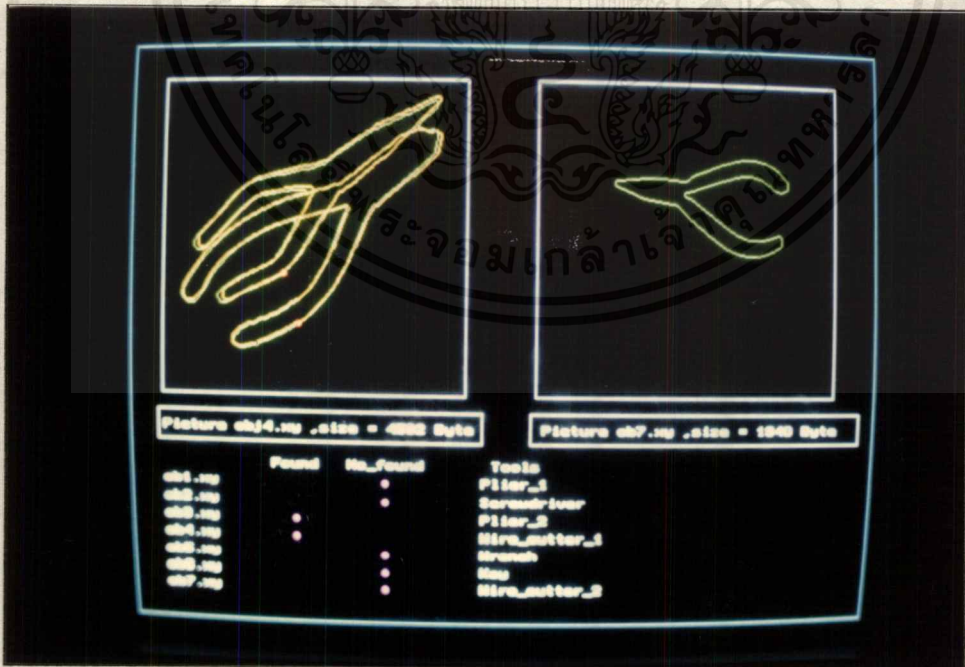


รูปที่ 5.33 แสดงจุดเด่นของวัตถุรูปไขควง คมปากยาวและประแจปากตาวางซ้อนทับกัน

8. ในขั้นตอนสุดท้ายคือการแสดงส่วนที่ถูกปิดบังออกมาให้เห็น เราได้ใช้วิธีการย้ายภาพ และการหมุนภาพ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 มาใช้ในส่วนนี้ และสามารถแสดงส่วนที่ถูกปิดบังออกมาให้เห็นได้ ดังรูปที่ 5.34 - 5.36

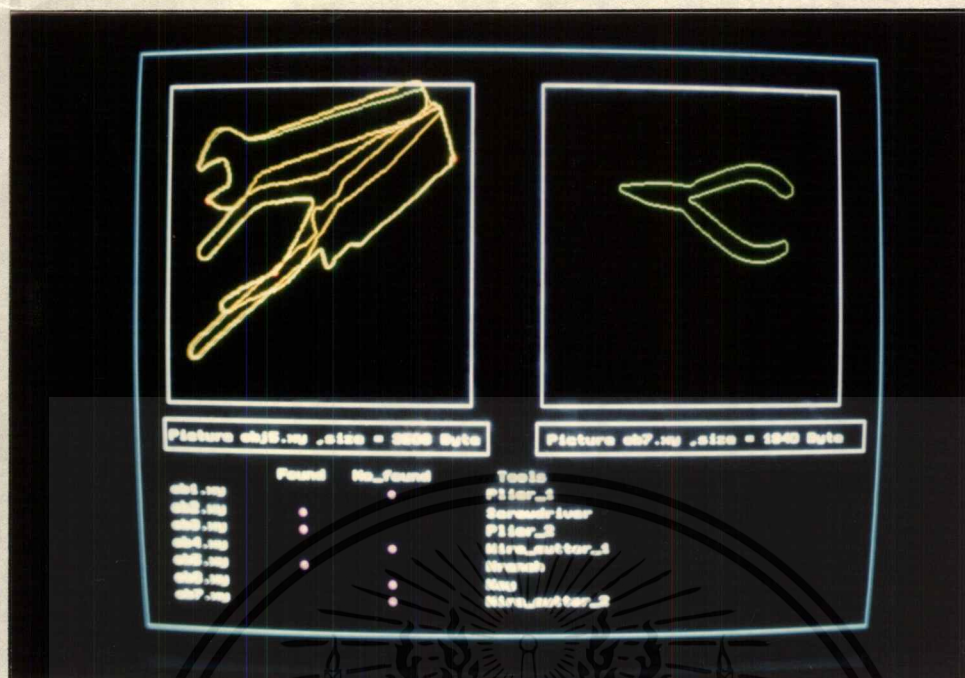


รูปที่ 5.34 แสดงส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุรูปคีมปากยาวตัวเล็กกับลูกกุญแจที่วางซ้อนทับกัน



รูปที่ 5.35 แสดงส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุรูปคีมปากยาวขนาดกลางและคีมตัดที่วางซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.36 แสดงส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุรูปไขควง คีมปากขาวและประแจปากตาสี่ทิวางซ้อนทับกัน

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เราพบว่า การหาจุดเด่นโดยการใช้วิธีการประมวลแบบโพลี곤ด้วยการหาค่าความโค้ง โดยการใช้ค่า $w = 8$ ให้ผลออกมาตามที่ต้องการคือ เราสามารถหาจุดเด่นของภาพวัตถุรูปแบบต่างๆ และสามารถแสดงส่วนที่ถูกปิดบังของวัตถุในฉากออกมาให้เห็นได้

5.3 ปัญหาในการทดลอง

1. ในการถ่ายภาพวัตถุโดยการใช้อ็องวิดีโอ การวางตำแหน่งของกล้องและวัตถุที่จะทำการถ่าย จะมีผลกับจุดเด่นที่ได้ของภาพวัตถุขึ้นเดียวกันอาจจะได้จุดเด่นออกมาโดยที่ตำแหน่งของจุดเด่นมีตำแหน่งต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะมุมมองของกล้องกับวัตถุผิดไปเวลาเราเคลื่อนย้ายวัตถุที่จะทำการถ่าย ในตำแหน่งต่างๆ
2. เวลาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมมีน้อย เพราะต้องใช้เวลาส่วนใหญ่ไปศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมอยู่เสมอ
3. ในบางครั้งต้องเสียเวลาในการเขียนโปรแกรมแบบลองผิดลองถูก จากข้อมูลที่ได้มาแบบไม่กระจ่าง
4. อุปกรณ์ในการทดลองมีการชำรุด เช่น แผ่นการ์ดวงจรเก็บภาพ ต้องเสียเวลาในการซ่อม ทำให้การทดลองล่าช้า



ภคิกรรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ เกษตร์ ศิริสันตสิมฤทธ์ ที่ได้ให้โอกาสและคำปรึกษาในการทำโครงการวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบพระคุณหลายๆ ท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้โครงการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลงด้วยดี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้บริการยืมหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงการวิจัยชิ้นนี้ คุณความดีทั้งหลายขอมอบให้แก่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือมา ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Farzin Mokhtarian and Alan Mackworth ,IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence,Vol. PAMI-8,No.1, January 1986.
2. Louis J. Galbiati, Machine vision and digital image processing fundamentals.
3. Mark W. Koch and Rangasami L. Kashyap ,IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence,Vol. PAMI-9,No.4, July 1987.
4. Nirwan Ansari and Edward J. Delp ,Pattern recognition,Vol.24 No.5,p 441-454,1991.
5. Soo-Chang Pei and Chao-Nan Lin ,Pattern recognition,Vol.25, No.11,p 1307-1314,1992.
6. William K. Pratt ,Digital image processing,John wiley & son.