

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ฟัซซีมอร์โฟโลยีสำหรับการแบ่งแยกวัตถุในภาพเกรย์สเกล

FUZZY MORPHOLOGY FOR GREY-SCALE IMAGE SEGMENTATION



สาริต อินทจักร์  
SATHIT INTAJAG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ว.ศ.  
ศ. ๒๕๔๖  
๕๕๘

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-764-5

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 48388  
วัน, เดือน, ปี 24 มี.ค. 2546

.b.....  
.i.....

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FUZZY MORPHOLOGY FOR GREY-SCALE IMAGE SEGMENTATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KIKG MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ISBN 974-324-764-5

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2003**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามการนำออกหรือการตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ขออนุญาตในวงกว้างไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฟัซซีหมอร์โฟโลยีสำหรับการแบ่งแยกวัตถุในภาพเกรย์สเกล
นักศึกษา	นายสาริต อินทจักร์
รหัสประจำตัว	38621006
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ

### บทคัดย่อ

การเซ็กเมนต์ที่ยึดเอาวัตถุในภาพเป็นเงื่อนไขหลัก เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในอันดับต้นๆ ของงานทางด้านการประมวลผลภาพ ปัจจุบันเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการเซ็กเมนต์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่เทคนิคเหล่านั้นก็ยังไม่เพียงพอที่จะเซ็กเมนต์ข้อมูลสำคัญๆ ที่รวมอยู่ในพื้นที่เล็กๆ ของข้อมูลภาพ วิธีที่น่าเสนองจะแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ โดยใช้ตัวดำเนินการของฟัซซีหมอร์โฟโลยีคือ ตัวดำเนินการฟัซซีฮิตออร์มิสส์ (Fuzzy Hit-or-Miss) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ผนวกไว้ด้วยการผสมผสานเอาสารสนเทศของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียง (Spatial Information) ทำให้พื้นที่แต่ละที่ถูกแบ่งโดยตัวดำเนินการนี้จะมีความเป็นเนื้อเดียวกัน เทคนิคที่น่าเสนองจะเซ็กเมนต์โดยการวนซ้ำในส่วน of ตัวดำเนินการฟัซซีฮิตออร์มิสส์ และในการวนซ้ำแต่ละครั้งจะวัดคุณภาพของผลการเซ็กเมนต์ด้วยดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับห้าเปอร์เซ็นต์ วิธีที่น่าเสนองถูกนำไปทดสอบกับข้อมูลภาพหลายชนิด เช่น ภาพ Magnetic Resonance Imaging (MRI), Computed Tomography (CT) imaging (CT-scan) และภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้ จะมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการแบ่งแยกวัตถุที่เคยนำเสนอมาแล้ว

<b>Thesis Title</b>	Fuzzy Morphology for Grey-Scale Image Segmentation
<b>Student</b>	Mr. Sathit Intajag
<b>Student ID.</b>	38621006
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering (Electrical Engineering)
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2003
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Kitti Paithoonwatanakij

## ABSTRACT

Object-based segmentation is the first essential step for image processing applications. Recently, segmentation techniques have been developed, but not enough to preserve the significant information contained in the small regions of an image. The proposed method is to partition an image into homogeneous regions by using a fuzzy hit-or-miss operator with an inherent spatial transformation. The iterative segmentation technique is formulated as consequential processes of a fuzzy hit-or-miss operator for the segmentation of an image. Then, it follows by measuring the quality of the segmented regions with a homogeneity index at 5% of a significant level. Our method is unsupervised and uses few parameters, most of which can be calculated from input data. This comparative study indicates that the new iterative segmentation algorithm provides acceptable results seen in examples of synthetic, Magnetic Resonance Imaging (MRI), Computed Tomography (CT) imaging and satellite images, etc.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษา รวมทั้งได้รับตรวจสอบจาก รศ. ดร. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้กำเนิดข้าพเจ้า ผู้ให้ความเอื้อเฟื้อทางการศึกษา ให้การอบรมดูแลด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สาริต อินทจักร์



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
สารบัญ .....	III
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ .....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	4
บทที่ 2 การเซ็กเมนต์.....	5
2.1 หลักการเซ็กเมนต์.....	5
2.2 การเซ็กเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกล โดยหาค่าพิกัด .....	6
2.3 อัลกอริทึมที่น่าสนใจ .....	8
2.3.1 อัลกอริทึมของ Otsu .....	8
2.3.2 อัลกอริทึม Fuzzy c-Means .....	10
2.3.3 อัลกอริทึม BCFCM .....	11
2.4 วิธีการประเมินผลของการเซ็กเมนต์รูปภาพ .....	13
2.4.1 วิธี Empirical Goodness .....	14
2.4.2 วิธี Empirical Discrepancy .....	15
2.5 สรุป .....	16
บทที่ 3 ฟัซซีเซตและมอร์โฟโลยี .....	17
3.1 บทนำ .....	17
3.2 ฟัซซีเซต .....	18
3.3 ตัวแปรลิงกวิสติก .....	22
3.4 ลิงกวิสติกเฮดเจส .....	23
3.5 ฟัซซีลอจิก .....	24
3.6 ระบบการประมวลผลภาพด้วยฟัซซี .....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 มอร์โฟโลยี .....	27
3.8 ตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์โฟโลยี .....	28
3.9 คุณสมบัติของโคเลชันและอีโรชัน .....	35
3.10 เกรย์สเกลมอร์โฟโลยี .....	37
3.10.1 อัมบราฟังก์ชัน .....	37
<b>บทที่ 4 ฟิชชีมอร์โฟโลยี .....</b>	<b>43</b>
4.1 บทนำ .....	43
4.2 ข้อกำหนดพื้นฐานของฟิชชีมอร์โฟโลยี .....	44
4.3 คุณสมบัติเบื้องต้น .....	45
4.4 คุณสมบัติทางพีชคณิต .....	46
4.5 คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับฟิชชีเซต .....	48
4.6 การลดความซ้ำซ้อนของคุณสมบัติในฟิชชีเซต .....	48
4.7 ฟิชชีอินกูลชัน .....	50
4.8 ฟังก์ชันแลมดา .....	52
4.8.1 คุณสมบัติของฟังก์ชันแลมดา .....	53
4.9 ตัวดำเนินการพื้นฐานของฟิชชีมอร์โฟโลยี .....	54
4.10 ฟิชชีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ .....	64
4.11 ฟิชชีฮิสโตแกรม .....	67
4.12 สรุป .....	72
<b>บทที่ 5 การแบ่งแยกวัตถุในภาพเกรย์สเกลด้วยฟิชชีมอร์โฟโลยี .....</b>	<b>73</b>
5.1 บทนำ .....	73
5.2 อะแฉ้ฟติฟเทรสโสดิง .....	73
5.3 อะแฉ้ฟติฟเทรสโสดิงด้วยฟิชชีฮิสโตแกรม .....	74
5.4 ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน .....	76
5.5 การเชื่อมกันด้วยนิควนซ์แบบมีลำดับ .....	79
5.6 ขั้นตอนการเชื่อมกันภาพเกรย์สเกลด้วยฟิชชีมอร์โฟโลยี .....	80
5.6.1 ตัวแปรที่ใช้ในอัลกอริทึม .....	80
5.6.2 อัลกอริทึม .....	80

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.7 ผลการทดลอง .....	82
5.7.1 การเปรียบเทียบเชิงตัวเลข .....	83
5.7.2 ผลการเชื่อมเมตซ์ของภาพจริง .....	87
5.8 สรุปผลการทดลอง .....	94
บทที่ 6 สรุป .....	95
บรรณานุกรม .....	96
ภาคผนวก .....	99
ผลงานวิจัย .....	101
ประวัติผู้เขียน .....	102

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับตัวดำเนินการฟิชชันมอร์โฟโลยี .....	48
4.2. ความสอดคล้องกันของนิยามของฟังก์ชันคัชนี้กับคุณสมบัติของฟิชชันมอร์โฟโลยี .....	52
4.3 ผลของฟิชชันโรชันในสมการที่ (4.7) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4) .....	55
4.4 ผลของฟิชชันโรชันในสมการที่ (4.7) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6) .....	56
4.5 ผลของฟิชชันโรชันในสมการที่ (4.8) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4) .....	57
4.6 ผลของฟิชชันโรชัน โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6) .....	57
4.7 ผลของโอเพ็นนิง โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4) .....	58
4.8 ผลของโอเพ็นนิง โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6) .....	59
4.9 ผลของโคสซิง โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4) .....	59
4.10 ผลของโคสซิง โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6) .....	60
5.1 ผลการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ .....	86

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเทรตโฮลด์ภาพเกรย์สเกล .....	6
2.2 ปริภูมิของข้อมูลภาพขนาด $256 \times 256$ ที่มีค่าความเข้ม 256 ระดับ .....	7
2.3 วิธีการประเมินผลการเช็กเมนต์ .....	13
3.1 แนวคิดที่ใช้พัฒนาเกรย์สเกลมอร์โฟโลยี .....	17
3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ค่าความเป็นสมาชิกของขอบภาพ (ค) ค่าความเป็นสมาชิกของความเป็นเนื้อเดียวกัน (ง) ค่าความเป็นสมาชิก ของความเข้มของจุดภาพจากสมการที่ (3.3) (จ) ค่าความเป็นสมาชิกของความเข้ม ของจุดภาพจากสมการที่ (3.4) .....	20
3.3 ตัวแปรลิงกวิสติกของความเข้มของจุดภาพ .....	22
3.4 ลิงกวิสติกเฮดเจสที่ใช้ประมวลผลข้อมูลความเข้มของจุดภาพ (ก) ค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน $S$ ที่ประมวลผลด้วยฟังก์ชันปรับค่าความเข้ม คอนเซนต์เรชันและไคเลชัน (ข) ภาพต้นแบบ (ค) ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน $S$ (ง) คอนเซนต์เรชัน (จ) ไคเลชัน (ฉ) ฟังก์ชันปรับค่าความเข้ม .....	25
3.5 โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบการประมวลผลภาพด้วยฟัซซี .....	27
3.6 การดำเนินการไคเลชันบนเซตไบนารี .....	31
3.7 ผลของจุดเริ่มต้นในเซต $B$ ของการดำเนินการไคเลชันบนเซตไบนารี .....	31
3.8 ผลของการรวมสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ของรูปที่ 3.6 กับรูปที่ 3.7 เข้าด้วยกัน .....	32
3.9 (ก) เซต $A$ ภาพไบนารี และเซต $B$ แทนสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์, (ข) ทรานสเลชันของ $B$ .....	33
3.10 การดำเนินการอีโรชันโดยการทรานสเลชันเซต $B$ ด้วย $t$ .....	34
3.11 อีโรชันด้วยสมการที่ (3.21) โดยใช้เซต $A$ และ $B$ จากรูปที่ 3.9 .....	35
3.12 แนวคิดของทอพเซอร์เฟสโดย $A$ แทนเซตรูปภาพ และ $f(x, y)$ เป็นฟังก์ชันที่ฉายมาจาก $A$ ..	38
3.13 วิธีอัมบรา (ก) อินพุตที่จัดอยู่ในรูปแบบอัมบรา (ข) สตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ (ค) ไคเลชัน (ง) อีโรชัน .....	40
3.14 การประมวลผลด้วยอัมบราและทอพเซอร์เฟสของตัวดำเนินการไคเลชันและอีโรชัน .....	42
4.1 ฟังก์ชันแลมดาของสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) โดยแกนอนเป็นค่าความเข้มของจุดภาพ และแกนตั้งเป็นค่าความเป็นสมาชิก .....	53
4.2 ข้อมูลภาพที่ใช้เป็นตัวอย่าง .....	55
4.3 ข้อมูลภาพที่ถูกดึงออกมา .....	56

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ข้อมูลที่เป็นตัวอย่างของการประมวลผลด้วยพีชชีมอร์โฟโลยี .....	62
4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการ (4.3)-(4.6) .....	62
4.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีไคเลชันที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการ (4.3)-(4.6) .....	63
4.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีโอเพนนิ่งที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการ (4.3)-(4.6) .....	64
4.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีโคสซิงที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการ (4.3)-(4.6) .....	65
4.9 มอร์โฟโลยีคอลเกรเดียนของข้อมูลภาพเกรย์สเกล .....	66
4.10 สตรีกเจอร์ริงอีลิเมนต์ที่ใช้ในการแปลงพีชชีฮิตออร์มิสส์ .....	70
4.11 (ก) ผลของการแปลงพีชชีฮิตออร์มิสส์, (ข) ผลของการเทรสโพลด์รูป (ก) ด้วย 1, (ค) ข้อมูลภาพไบนารี และ (ง) ไบนารีฮิตออร์มิสส์ .....	70
4.12 ชุดของสตรีกเจอร์ริงอีลิเมนต์ที่ใช้ในการแปลงพีชชีฮิตออร์มิสส์ .....	71
5.1 สตรีกเจอร์ริงอีลิเมนต์ที่จะใช้ในการจำแนกวัตถุกับพื้นภาพ .....	74
5.2 ผลของการแปลงพีชชีฮิตออร์มิสส์ด้วยสตรีกเจอร์ริงอีลิเมนต์ในรูปที่ 5.1(ข) .....	75
5.3 การเชื่อมเม้นต์ชนิดวนซ้ำแบบมีลำดับชั้น โดยใช้ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน .....	78
5.4 อัลกอริทึมการเชื่อมเม้นต์ด้วยพีชชีฮิตออร์มิสส์ .....	82
5.5 (ก) ภาพต้นแบบที่สร้างขึ้น, (ข) ข้อมูลภาพอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (ค) ข้อมูลภาพที่ถูกเพิ่มสัญญาณรบกวนชนิดสเป็กเคิลเกิดด้วยค่าความแปรปรวน $\sigma_n^2 = 0.5$ .....	83
5.6 (ก) ผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมที่เรานำเสนอ, (ข) ภาพที่ถูกเชื่อมเม้นต์ด้วยวิธี Fuzzy c-Means, (ค) ภาพที่ถูกเชื่อมเม้นต์ด้วยวิธี BCFCM (ง) ภาพที่ถูกเชื่อมเม้นต์ด้วยวิธีของ Otsu .....	84
5.7 ภาพจาก Landsat TM ที่ครอบคลุมจังหวัดศรีสะเกษ, (ก) ภาพอินพุตขนาด $512 \times 512$ จุดภาพ, (ข) ผลลัพธ์ของการเชื่อมเม้นต์ทั้งสี่คลาสของวิธีที่นำเสนอ (ค) ผลลัพธ์ของการเชื่อมเม้นต์ ทั้งสี่คลาสของวิธี BCFCM (ง) ผลของวิธีที่นำเสนอของคลาสที่หนึ่งถึงสี่ (จากซ้ายไปขวา) และ (จ) ผลของวิธี BCFCM ของคลาสที่หนึ่งถึงสี่ (จากซ้ายไปขวา) .....	87
5.8 ภาพ SAR จาก JERS-1 ที่มีสัญญาณรบกวนชนิด speckle, (ก) ภาพอินพุตขนาด $256 \times 256$ จุดภาพ, (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเชื่อมเม้นต์ซึ่งประกอบด้วยห้าคลาส ที่แสดงไว้ในรูป (ง) โดยคลาสที่ 1-5 จะเรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ, (ค) ภาพผลลัพธ์ ของวิธี BCFCM ที่ประกอบด้วยห้าคลาสซึ่งแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) โดยคลาสที่ 1-5 จะเรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ .....	88

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ข้อมูลภาพ SAR จากดาวเทียม ERS-1/AMI ที่มีสัญญาณรบกวนชนิด speckle, (ก) ภาพอินพุตขนาด $256 \times 256$ จุดภาพ, (ข) ผลจากการเช็กเมนต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหกคลาส โดยคลาสที่ 1-6 อยู่ในรูป (ง) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ, (ค) ผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยหกคลาส โดยคลาสที่ 1-6 อยู่ในรูป (จ) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ .....	89
5.10 (ก) ภาพ MRI ฉายที่บริเวณช่องท้อง (ข) ผลจากการเช็กเมนต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันสี่คลาส โดยคลาสที่ 1-4 อยู่ในรูป (ง) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ, (ค) ผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส โดยคลาสที่ 1-4 อยู่ในรูป (จ) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ .....	89
5.11 (ก) เป็นภาพ MRI ที่ฉายบริเวณคอและไหล่, (ข) ผลการเช็กเมนต์ของวิธีที่นำเสนอ ซึ่งมีอยู่สามคลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ที่มีอยู่สามคลาสและแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) .....	91
5.12 (ก) ภาพ CT-scan ที่ฉายศีรษะเป็นภาพตัดขวาง, (ข) ผลการเช็กเมนต์ของวิธีที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วยสามคลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสามคลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) .....	92
5.13 (ก) ภาพลึงบานูลซึ่งเป็นข้อมูลความเข้มของแสง, (ข) ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์ที่ประกอบด้วยสี่คลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) .....	93
5.14 (ก) ภาพบ้านที่เป็นข้อมูลความเข้มของแสง (ข) ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์ด้วยวิธีที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) .....	94

# คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ

$U$	ยูเนียน
$\cap$	อินเตอร์เซกชัน
$/$	ดิฟเฟอเรนซ์ของเซต (Set Difference)
$\subseteq$	สับเซต
$\emptyset$	เซตว่าง
$\in$	เป็นสมาชิกของ
$\wedge$	ตัวดำเนินการเชื่อมนิพจน์ “และ (and)”
$\vee$	ตัวดำเนินการเชื่อมนิพจน์ “หรือ (or)”
$E^N$	ปริภูมิยูคลิดีียน $N$ มิติ
$\forall x$	ทุกๆ ค่าของตัวแปร $x$
$\exists x$	บางค่าของตัวแปร $x$
$T[A]$	ท็อบเซอรัฟเฟสของเซต $A$
$\Psi$	ฟังก์ชันการแปลงใดๆ ในเชิงพีชคณิต
$\lambda$	ฟังก์ชันแลมดดา
$\oplus$	ตัวดำเนินการไคเลชัน
$\ominus$	ตัวดำเนินการอีโรชัน
$\otimes$	ตัวดำเนินการฮิตออร์มีสส์
$\nabla$	เกรเดียนต์
$\sigma_n^2$	ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน
$U$	ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
AUMA	Absolute Ultimate Measure Accuracy
RUMA	Relative Ultimate Measure Accuracy
GU	Intra-Region Uniformity
GC	Inter-Region Contrast
MRI	Magnetic Resonance Imaging
CT	Computed Tomography
SAR	Synthetic Aperture Radar
BCFCM	Bias-Corrected Fuzzy $c$ -Means

# บทที่ 1

## บทนำ

การทำให้คอมพิวเตอร์มองเห็น (ในที่นี้เรียกว่า “คอมพิวเตอร์วิชัน: Computer Vision”) ประกอบขึ้นด้วยวิธีการและเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ หลายส่วนด้วยกัน เริ่มจากการใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพเข้ามาสู่ระบบ และต่อมาก็ต้องออกแบบขั้นตอนการทำงานสำหรับประมวลผลข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อแปลความหมายของข้อมูลภาพที่เก็บมา ซึ่งข้อมูลนี้อยู่ในรูปของความเข้มของแสงและจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของอะเรย์ ที่แต่ละหน่วยของอะเรย์ก็คือองค์ประกอบพื้นฐานที่เล็กที่สุดของภาพที่เรียกว่า “จุดภาพ (Pixel)” ข้อมูลภาพที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขและใช้แทนความเข้มของแสงนี้ จากแหล่งข้อมูลเบื้องต้นของการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถมองเห็นหรือรับรู้ข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในภาพได้ สำหรับงานทางด้านการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้หรือสามารถแปลความหมายของข้อมูลภาพได้นั้น อุปกรณ์นำข้อมูลเข้าสู่ระบบอาจจะจำเพาะในแต่ละระบบ หรืออาจจะมีคุณสมบัติทางความเข้มของแสงที่แตกต่างกันออกไป อย่างเช่นข้อมูลภาพอินฟราเรด (Infrared Imaging), ภาพเรดาร์ (Radar Imaging), ภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Imaging), ภาพอัลตราโซนิค (Ultrasonic Imaging), ภาพเอ็กซเรย์ (X-ray Imaging) เป็นต้น

ระบบของการทำให้คอมพิวเตอร์มองเห็นข้อมูลภาพที่เป็นเกรย์สเกล โดยทั่วไปข้อมูลภาพมักจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของภาพไบนารี เนื่องจากในภาพเกรย์สเกลมีข้อมูลซ้ำซ้อนกันมากเกินไป ทำให้การประมวลผลช้าและที่สำคัญคือความถูกต้องจะต่ำ เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนของการระบุหรือกำหนดเขตของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ ดังนั้นข้อมูลภาพที่ใช้ในระบบการทำให้คอมพิวเตอร์มองเห็นส่วนหนึ่งจะเป็นข้อมูลภาพไบนารี แต่เราจะทำอย่างไรถึงจะได้ข้อมูลภาพไบนารีที่สมบูรณ์ (คือวัตถุในภาพปรากฏเด่นชัด ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของวัตถุขาดหายไป) กระบวนการที่จะทำให้ได้ภาพไบนารีสมบูรณ์นั้นมีหลายลักษณะและมีความซับซ้อนแตกต่างกันไป วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันในการประมวลผลภาพคือการแบ่งแยกวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในภาพออกเป็นเขตย่อยๆ หรือที่เรียกว่า “การเช็กเมนต์หรือ Segmentation” ซึ่งมีเทคนิคที่ได้พัฒนากันมาหลายวิธีด้วยกัน เช่น การหาขอบของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ (Edge detection) การแบ่งข้อมูลโดยใช้ค่าพิกัด (Thresholding) การแบ่งข้อมูลโดยใช้เนื้อภาพ (Texture analysis) เป็นต้น

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประมวลผลข้อมูลภาพสามารถแบ่งออกได้เป็นสองระดับคือ (1) การประมวลผลภาพในระดับสูง (High Level Processing) มีจุดประสงค์เพื่อการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปของสัญลักษณ์ อย่างเช่นในขั้นตอนของการรู้จำตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียน (2) การประมวลผลภาพใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับพื้นฐาน (Low Level Processing) จะประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ดำเนินการเกี่ยวกับการดึงข้อมูลที่สำคัญจากข้อมูลภาพเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลภาพในระดับสูงต่อไป

กระบวนการประมวลผลขั้นแรกของระบบการทำให้คอมพิวเตอร์มองเห็นถูกเรียกว่า “เอตตีวิชัน (Early Vision)” ซึ่งเปรียบได้กับการประมวลผลภาพในระดับพื้นฐานของการประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing) [1, 2] การประมวลผลภาพในขั้นนี้จะกระทำกับข้อมูลที่เป็นจุดภาพโดยตรง เพื่อแปลงข้อมูลภาพเชิงตัวเลขให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม เช่นการแปลงให้อยู่ในรูปของ ขอบของวัตถุในภาพ (Object Boundary), เนื้อภาพ (Texture), พื้นที่ของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ (Regions) เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลภาพในระดับสูงต่อไป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ วิธีการแบ่งข้อมูลภาพเกรย์สเกลออกเป็นคลาสต่างๆ โดยใช้พีชชีมอร์โฟโลยี การแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นคลาสต่างๆ มีศัพท์เฉพาะที่ใช้เรียกกันในทางการประมวลผลภาพว่า “การเช็กเมนต์” ซึ่งการเช็กเมนต์เป็นการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยหรือเซตย่อย โดยคุณสมบัติของเซตย่อยจะถูกใช้เป็นเงื่อนไขหรือหลักการสำหรับจัดกลุ่ม ซึ่งหลักการดังกล่าวจะแบ่งข้อมูลภาพได้อย่างถูกต้อง ก็ต่อเมื่อได้มีการออกแบบเงื่อนไขให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเซตย่อยมากที่สุด ส่วนคำว่าคลาสที่ได้กล่าวถึงไว้ในตอนต้นก็คือเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการแบ่ง แต่ในกรณีของข้อมูลภาพที่อยู่ในรูปของค่าความเข้ม คลาสในกรณีนี้อาจจะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของวัตถุในภาพที่มีค่าความเข้มของจุดภาพที่เท่ากัน แต่ถ้าเราเพิ่มเงื่อนไขๆ ประกอบเข้าไปอย่างเหมาะสม เพื่อให้แต่ละคลาสมีความหมายมากขึ้น เช่น แต่ละคลาสเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุหรือถ้าทำให้กระบวนการแบ่งสามารถแทนวัตถุแต่ละชิ้นที่ปรากฏอยู่ในภาพได้ก็จะทำให้วิธีการเช็กเมนต์นั้นๆ มีประโยชน์อย่างมากสำหรับงานทางด้านการทำให้คอมพิวเตอร์มองเห็น

พีชชีมอร์โฟโลยีที่นำมาใช้เป็นวิธีการเช็กเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกลในที่นี้ จะใช้หลักการทางมอร์โฟโลยีเป็นพื้นฐาน โดยมีพีชชีลอจิกเป็นส่วนสนับสนุน เนื่องจากจุดเด่นของมอร์โฟโลยีคือเทคนิคทรานสเลชัน (Translation) เพื่อตรวจหาความสอดคล้องกัน (Fitting) แต่มีข้อด้อยในเรื่องการตัดสินใจเพื่อระบุระดับความสอดคล้องกัน ซึ่งพีชชีลอจิกจะมีจุดเด่นในเรื่องนี้ นอกจากนี้ทั้งพีชชีเซตและมอร์โฟโลยีต่างก็มีทฤษฎีที่เป็นแกนหลักร่วมกันอยู่นั่นก็คือ พีชคณิตของ Minkowski [3, 4] โดยเฉพาะมอร์โฟโลยีที่นำมาเอาตัวดำเนินการใน Minkowski มาพัฒนาเป็นตัวดำเนินการพื้นฐาน ส่วนพีชชีเซตก็สามารถประยุกต์กับตัวดำเนินการของ Minkowski ได้อย่างลงตัว [5] จึงทำให้พีชชีเซตและมอร์โฟโลยีสามารถรวมกันได้เหมาะสม และมีศักยภาพอย่างมากในการนำไปประมวลผลภาพ โดยเฉพาะการเช็กเมนต์ที่นำมา ตัวดำเนินการของพีชชีมอร์โฟโลยีมาช่วยทำให้คลาสต่างๆ แทนส่วนของวัตถุต่างๆ ในภาพได้อย่างมีความหมายต่อระบบการทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการมองเห็นมากขึ้น

หลักการที่ใช้ในการเช็กเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกลที่นำมาเสนอในที่นี้เป็นการเช็กเมนต์ข้อมูลภาพแบบอัตโนมัติ ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนคลาสไว้ก่อน อัลกอริทึมสามารถกำหนดขึ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เองจากเงื่อนไขความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของคลาสต่างๆ หรือ “Inhomogeneous” คือเมื่ออัลกอริทึมเช็คเมนต์จนกระทั่งทุกคลาสเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด (Homogeneity) อัลกอริทึมก็จะหยุดทำงาน ทำให้จำนวนคลาสที่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนวัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกันในข้อมูลภาพ ซึ่งอัลกอริทึมของการเช็คเมนต์ที่สามารถแบ่งส่วนของข้อมูลภาพได้เองเช่นนี้ สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของการเช็คเมนต์แบบไม่ต้องชี้นำ (Unsupervised segmentation)

วิธีการที่ใช้ในการเช็คเมนต์แบบอัตโนมัติที่จะนำเสนอคือ “อะแด็ปทีฟโลคอลเทรชโฮลดิ้ง (Adaptive local thresholding)” และ Homogeneity ในอัลกอริทึมที่ใช้เช็คเมนต์จะผสมผสานสองเทคนิคนี้เข้าด้วยกันและจะประมวลผลแบบวนซ้ำ (Iteration) เทคนิคอะแด็ปทีฟโลคอลเทรชโฮลดิ้งจะใช้ตัวดำเนินการฟิชเชอร์โฟลีย์ที่มีหน้าที่แบ่งแยกข้อมูลภาพในแต่ละพื้นที่ย่อยๆ ด้วยค่าพิคคเฉพาะที่ (Local thresholding) ซึ่งจะผันแปรตามข้อมูลภาพในแต่ละพื้นที่ย่อยๆ เมื่อการเช็คเมนต์ในขั้นตอนนี้สิ้นสุดลงก็จะได้เซตของข้อมูลภาพสองเซตด้วยกันคือ เซตของวัตถุกับเซตของพื้นภาพ (Background) และในการวนซ้ำเพื่อเช็คเมนต์ข้อมูลภาพในแต่ละรอบจะมีการตรวจวัดค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของแต่ละเซต ถ้าเซตใดยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็จะถูกส่งกลับไปให้อัลกอริทึมอะแด็ปทีฟโลคอลเทรชโฮลดิ้งใหม่อีกครั้งหนึ่ง

การเช็คเมนต์แบบวนซ้ำจะถูกดำเนินการจนกระทั่งทุกเซตมีความเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อทุกเซตเป็นเนื้อเดียวกันอัลกอริทึมก็จะหยุด และจำนวนเซตหรือจำนวนคลาสที่ได้คือจำนวนรอบของการวนซ้ำบวกกับอีกหนึ่งคลาสที่เป็นพื้นภาพ ทุกครั้งที่มีการวนซ้ำคลาสทั้งหมดที่ถูกเช็คเมนต์ไว้แล้วจะถูกนำค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันมาเปรียบเทียบ และจะเลือกเอาเซตที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันไปทำการเช็คเมนต์ใหม่ และทุกครั้งของการวนซ้ำก็จะตรวจสอบค่าดัชนีรวมของความเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งจะใช้ค่านี้เป็นเงื่อนไขในการหยุดการทำงานของอัลกอริทึม ดังนั้นเราต้องกำหนดเปอร์เซ็นต์ความเป็นเนื้อเดียวกันไว้ก่อน เพื่อไว้เปรียบเทียบกับค่าดัชนีรวม ซึ่งการเปรียบเทียบในกรณีนี้จะถูกดำเนินการโดยใช้การทดสอบสมมติฐาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วัตถุประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ต้องการแบ่งแยกวัตถุในภาพเกรย์สเกลให้แต่ละคลาสมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด จากวัตถุประสงค์หลักเมื่อนำมาสร้างเป็นกระบวนการก็จะมีอยู่สองส่วนคือ กระบวนการแบ่งแยกข้อมูลภาพ และกระบวนการวัดความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาส จากทั้งสองกระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์ย่อยของแต่ละกระบวนการดังนี้

### วัตถุประสงค์ของการแบ่งแยกข้อมูลภาพ

- เพื่อศึกษาการคุณสมบัติที่สามารถนำมอร์โฟโลยีกับฟิชเชอร์ลอจิกมารวมกันเป็นฟิชเชอร์โฟลีย์
- เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการแบ่งแยกวัตถุของฟิชเชอร์โฟลีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อสร้างตัวแบ่งแยกข้อมูลภาพ โดยตัวดำเนินการพีชคณิตมอร์โฟโลยีได้อย่างเหมาะสม  
วัตถุประสงค์ของการวัดความเป็นเนื้อเดียวกันของรีเจียน
- เพื่อศึกษาวิธีการประเมินผลของตัวแบ่งแยกข้อมูลภาพ
- ตั้งสมมติฐานและสร้างตัวทดสอบที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขการยอมรับสมมติฐาน

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาวิจัยไว้ว่า ในส่วนของ ทฤษฎีของ มอร์โฟโลยี พีชคณิตจิก และพีชคณิตมอร์โฟโลยี ได้ทำการศึกษาเพื่อนำมาใช้สร้างตัวดำเนินการแบ่งแยกวัตถุในข้อมูลภาพเกรย์สเกลที่มี 256 ระดับ โดยไม่ได้จำเพาะแหล่งที่มาของข้อมูล ซึ่งจากผลการทดลอง วิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ได้กับภาพถ่ายดาวเทียม, ภาพ MRI, ภาพ CT-scan และภาพทั่วไปที่ใช้ถือว่าเป็นภาพที่นิยมใช้กันในการทดสอบการแบ่งแยกข้อมูลภาพ



## บทที่ 2

### การเช็คเมนต์

#### 2.1 หลักการเช็คเมนต์

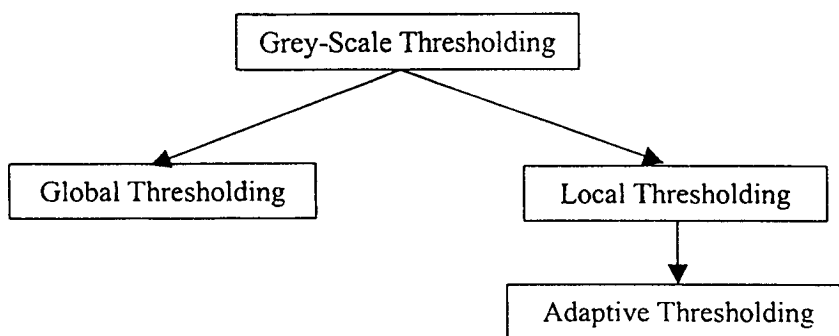
การเช็คเมนต์วัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ เป็นขั้นตอนที่สำคัญในลำดับต้นๆ ของการประมวลผลภาพในระดับต่ำ ที่สามารถนำผลลัพธ์ของการเช็คเมนต์ไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น เมื่อแยกวัตถุต่างๆ ออกจากกันแล้วก็นำไปทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักวัตถุเหล่านั้น ซึ่งมีชื่อเรียกในเชิงเทคนิคว่า “การรู้จักวัตถุ (Object Recognition) [6]” ส่วนในทางการแพทย์ก็จะนำผลของการเช็คเมนต์ไปช่วยในการวินิจฉัยโรค อย่างการวิเคราะห์เซลล์มะเร็ง [7], วิเคราะห์เนื้อเยื่อของปอด [8] และการทำงานของสมอง [9] เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำผลลัพธ์ของการเช็คเมนต์ของภาพถ่ายทางอากาศ (Airborne) หรือภาพถ่ายด้วยดาวเทียม (Satellite Images) [10] ไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในทางภูมิศาสตร์ สภาพแวดล้อม การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น

คุณภาพผลลัพธ์ของการเช็คเมนต์จะขึ้นอยู่กับเทคนิคที่นำมาใช้ในการแบ่งแยกวัตถุ เนื่องจาก การเช็คเมนต์เป็นกระบวนการของการแบ่ง (Partition) ข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ โดยพื้นที่แต่ละส่วนในภาพที่เชื่อมต่อกันจะไม่ซ้อนทับกัน และพื้นที่ในแต่ละส่วนจะต้องมีคุณสมบัติเหมือนกัน เช่นถ้าพิจารณาคุณสมบัติที่อยู่ในรูปของความเข้มของแสง พื้นที่ในแต่ละส่วนก็ต้องมีค่าความเข้มที่เท่ากันและเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสามารถเขียนการเช็คเมนต์รูปภาพเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

กำหนดให้  $F$  เป็นรูปภาพ และฟังก์ชัน  $P(\cdot)$  เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการแบ่งแยกจุดภาพออกเป็นส่วนๆ ดังนั้นการเช็คเมนต์ก็คือ การสร้างฟังก์ชัน  $P(\cdot)$  ให้สามารถแบ่งแยกรูปภาพ  $F$  ออกเป็นส่วนย่อยๆ ซึ่งถ้าพิจารณาในรูปของเซตก็คือการแบ่งเซต  $F$  ออกเป็นเซตย่อย (Subsets)  $(S_1, S_2, \dots, S_n)$  โดยที่

$$\bigcup_{i=1}^n S_i = F \quad \text{และ} \quad S_i \cap S_j = \emptyset; \quad \text{เมื่อ} \quad i \neq j \quad (2.1)$$

ฟังก์ชันที่ใช้ในการเช็คเมนต์  $P(S_i) = \text{TRUE}$  สำหรับทุกๆ เซตย่อย  $S_i$  และเมื่อไรที่ฟังก์ชันการเช็คเมนต์ได้รับข้อมูลที่เกิดจากเซตย่อยที่ซ้อนทับกันอยู่ เช่น  $P(S_i \cup S_j)$  ฟังก์ชันจะมีค่าเป็นเท็จ เนื่องจากการแบ่งแยกไม่สมบูรณ์ มีพื้นที่ของ  $S_i$  ในบริเวณที่ติดกันกับ  $S_j$  ซ้อนทับกันอยู่



รูปที่ 2.1 การเทรสโฮลด์ภาพเกรย์สเกล

## 2.2 การเช็กเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกลโดยหาค่าพิคัด (Grey-Scale Thresholding)

การหาค่าพิคัดหรือค่าเทรสโฮลด์ (Threshold) ของข้อมูลภาพเกรย์สเกล เป็นวิธีการเช็กเมนต์ชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน จากรูปที่ 2.1 การเช็กเมนต์โดยวิธีนี้มีเทคนิคที่นำมาใช้แยกวัตถุอยู่สองวิธีด้วยกันคือ

1. การหาค่าพิคัดโดยพิจารณาจากข้อมูลทั้งภาพโดยรวม เทคนิคนี้จะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า “โกลบอลเทรสโฮลด์ดิง (Global Thresholding)”
2. อีกวิธีหนึ่งเป็นการหาค่าพิคัดเพื่อแบ่งแยกข้อมูลโดยพิจารณาจากข้อมูลภาพเฉพาะที่ ซึ่งเทคนิคนี้จะมีชื่อเฉพาะว่า “โลคอลเทรสโฮลด์ดิง (Local Thresholding)”

วิธีโกลบอลเทรสโฮลด์ดิง จะหาค่าเทรสโฮลด์โดยอาศัยการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพเป็นหลัก เมื่อหาค่าเทรสโฮลด์ที่เหมาะสมกับข้อมูลภาพนั้นๆ ได้แล้ว ก็กำหนดค่าให้กับตัวแปร  $T$  ที่เป็นค่าเทรสโฮลด์ เมื่อนำค่าเทรสโฮลด์  $T$  ไปแบ่งแยกวัตถุที่อยู่ในภาพก็จะได้ส่วนที่เป็นวัตถุ (Object หรือ Foreground) เมื่อค่าจุดภาพมีค่าความเข้มมากกว่าหรือเท่ากับค่า  $T$  ส่วนค่าของจุดภาพที่มีค่าน้อยกว่าก็จะถูกกำหนดเป็นพื้นภาพ ดังนั้นผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์โดยวิธีนี้จะได้ภาพไบนารี ปัญหาที่สำคัญของวิธีนี้คือการหาค่า  $T$  ที่เหมาะสมกับแต่ละภาพได้อย่างไร

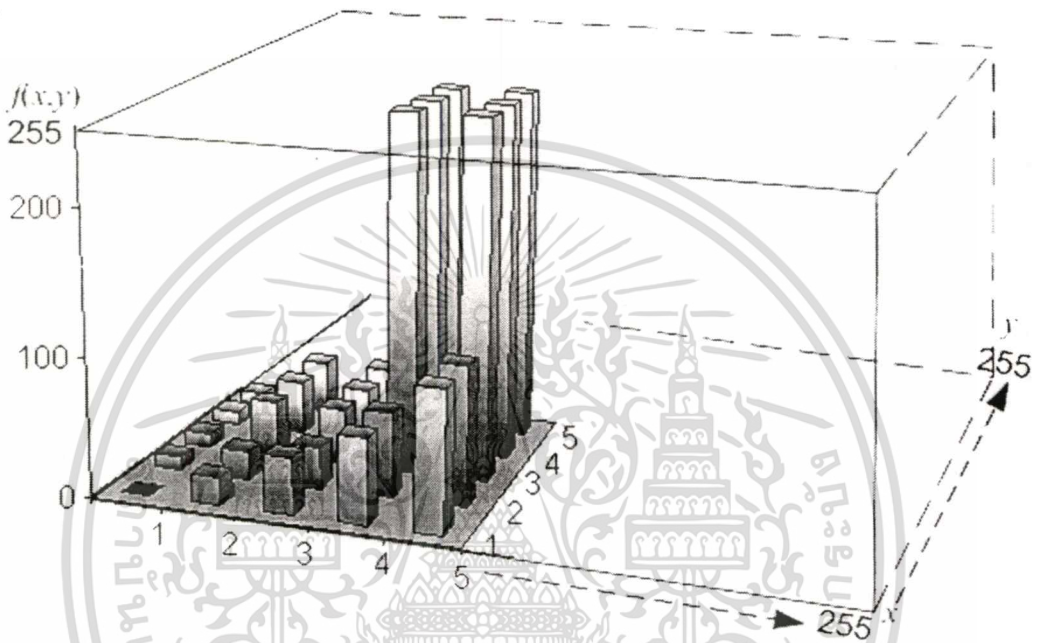
การเช็กเมนต์ภาพเกรย์สเกล เมื่อวัตถุและพื้นภาพมีการแจกแจงข้อมูลความเข้มของจุดภาพที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน การเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่เหมาะสมสามารถทำได้ง่ายและผลการเช็กเมนต์ภาพเกรย์สเกลด้วยวิธีนี้ให้ภาพไบนารีที่สมบูรณ์พอสมควร มีหลายวิธีที่ได้นำเสนอเทคนิคการเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่เหมาะสมบนพื้นฐานของสมมุติฐานนี้ ในเทคนิคของโกลบอลเทรสโฮลด์ดิงที่กำหนดค่าเทรสโฮลด์จากฮิสโตแกรมของรูปภาพ วิธีของ Otsu [11] และวิธีของ Kittle et al. [12] เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและนิยมนำใช้กันแพร่หลาย

วิธีที่นำเสนอโดย Otsu จะใช้สมมุติฐานที่สอดคล้องกับค่าต่ำสุดของค่าความผิดพลาดกำลังสองโดยเฉลี่ย (Average Mean Square Errors) ระหว่างพื้นที่ที่เป็นวัตถุกับพื้นภาพ ซึ่งสามารถ

พิจารณาสมมุติฐานนี้อีกนัยหนึ่งได้ว่า วิธีของ Otsu จะเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่ทำให้ความแปรปรวนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของภาพในพื้นที่แต่ละส่วนต่ำที่สุด หรือทำให้พื้นที่ที่แบ่งโดยสมมุติฐานนี้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด ส่วนวิธีของ Kittler et al. มีสมมุติฐานเบื้องต้นว่า ประชากรของจุดภาพในส่วนที่เป็นวัตถุ กับพื้นภาพ (Background) มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างเด่นชัด ภายใต้สมมุติฐานนี้พวกเขาจะใช้เกณฑ์ที่เหมาะสม โดยจะอาศัยพื้นฐานของอัตราความผิดพลาดโดยเฉลี่ยของการแบ่งแยกจุดภาพ ซึ่งจะกำหนดค่าเทรสโสตต์จากค่าความผิดพลาดโดยรวมที่มีค่าต่ำสุด



รูปที่ 2.2 ปริภูมิของข้อมูลภาพขนาด  $256 \times 256$  ที่มีค่าความเข้ม 256 ระดับ

อย่างไรก็ตามเทคนิคโกลบอลเทรสโสตต์ที่อาศัยเฉพาะข้อมูลจากฮิสโตแกรม ยังไม่สามารถรองรับการแจกแจงข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้ เนื่องจากการแจกแจงข้อมูลภาพมีรูปแบบที่ผันแปรได้มากมาย ทั้งตามความลึกและขนาดของภาพ ยิ่งความลึกของภาพมีมากจะทำให้ระดับความเข้มของจุดภาพก็จะมากตาม และถ้าขนาดของภาพใหญ่ขึ้นก็จะครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นทำให้วัตถุในภาพมากขึ้นและรูปแบบแจกแจงข้อมูลก็จะมากตามไปด้วย เราลองจินตนาการถึงปริภูมิสามมิติดังที่จำลองให้เห็นในรูปที่ 2.2 เมื่อเซตของเมตริกซ์  $F$  ใช้แทนปริภูมิรูปภาพที่มีขนาด  $256 \times 256$  จุดภาพ และมีระดับค่าความเข้มของจุดภาพ  $f(x, y)$  เท่ากับ 256 ( $f(x, y) = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ ) ระดับที่  $(x, y)$  แทนตำแหน่งของจุดภาพซึ่งสามารถเขียนแทนในรูปของสมการได้ว่า

$$F_{256 \times 256} = [f(x, y)]_{256 \times 256} \quad (2.2)$$

ดังนั้นการเช็กเมนต์ด้วยเทคนิคโกลบอลเทรสโสตต์จึงถูกพัฒนาร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เพื่อให้ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น เช่น การเทรสโสตต์ในสองมิติร่วมกันระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนค่าความเข้มที่เป็นข้อมูลดิบและค่าความเข้มที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้ว [13, 14] นอกจากนี้ในเทคนิคเหล่านี้ได้ผนวกเอาการวิเคราะห์ค่าเอนโทรปี (Entropy) รวมเข้าไปด้วย ก็จะใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเอนโทรปีเสริมเข้าไปหลังจากที่หาค่าโกลบอลเทรสโฮลด์  $T$  ได้แล้ว

การวิเคราะห์ค่าเอนโทรปีเพื่อเช็กเมนต์ข้อมูลภาพ มีการนำมาใช้ทั้งการเทรสโฮลด์ด้วยฮิสโตแกรมหนึ่งมิติและสองมิติ เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าเอนโทรปีจะทำให้ส่วนของภาพที่แบ่งได้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น [15] กว่า การใช้เพียงการวิเคราะห์จากฮิสโตแกรม และมีการประยุกต์เทคนิควิเคราะห์ค่าเอนโทรปีเข้ากับการวิเคราะห์ตำแหน่งของจุดภาพรวมเข้าไปด้วย ทำให้ความถูกต้องการเช็กเมนต์เพิ่มขึ้น [16-18] การนำการวิเคราะห์ค่าเอนโทรปีมาใช้ไม่ได้หยุดอยู่เพียงแค่นั้น แต่ยังพัฒนาขึ้นมาอีกขั้น โดยการนำวิเคราะห์ในปริภูมิของพีชชีเซต [19-21] ซึ่งก็ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการเช็กเมนต์ด้วยวิธีเหล่านี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การพัฒนาวิธีการเช็กเมนต์ด้วยเทคนิคโกลบอลเทรสโฮลด์ในระยะเวลาหลัง เริ่มมีการผสมผสานเอาสารสนเทศของจุดภาพบริเวณใกล้เคียง (Local Information) มาใช้มากขึ้นจนกระทั่งคาบเกี่ยวกับวิธีโกลบอลเทรสโฮลด์ จะเห็นว่าหลายวิธีที่กล่าวถึงมีการนำเอาจุดภาพมาพิจารณาร่วม และบางวิธีการไม่ได้แบ่งเฉพาะส่วนของพื้นภาพกับวัตถุ แต่มีการแบ่งส่วนของวัตถุมากกว่าหนึ่งคลาส ซึ่งวิธีการที่แบ่งส่วนของวัตถุมากกว่าหนึ่งคลาสจะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า “มัลติเทรสโฮลด์ (Multi-Thresholding)” [19, 22]

## 2.3 อัลกอริทึมที่น่าสนใจ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนออัลกอริทึมที่ถือว่าเป็นมาตรฐาน ที่ใช้ในการเทรสโฮลด์หรือใช้ในการเช็กเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกล ซึ่งในที่นี้จะนำมาอธิบายสองอัลกอริทึมคือ อัลกอริทึมของ Otsu [11] วิธี Fuzzy  $c$ -Means [49] และวิธีที่ใช้สารสนเทศของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงในการจัดการกับค่าความเข้มที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้พีชชีเซตคือ วิธีการแก้ไขค่าไบอัสใน Fuzzy  $c$ -Means (Bias-Corrected Fuzzy  $c$ -Means: BCFCM) [54]

### 2.3.1 อัลกอริทึมของ Otsu

อย่างที่ได้อธิบายไปแล้วว่า การหาค่าเทรสโฮลด์ของ Otsu เป็นวิธีโกลบอลเทรสโฮลด์ ที่ต้องใช้ข้อมูลจากฮิสโตแกรมของจุดภาพ เมื่อจุดภาพ  $f(x, y) \in [0, L]$  และให้  $g = 0, 1, 2, \dots, L$  เป็นค่าเกรย์สเกลที่ปรากฏอยู่ในข้อมูลภาพ ดังนั้นฮิสโตแกรมของค่าเกรย์สเกล  $g$  จะแทนด้วย  $h(g)$  ซึ่งเป็นจำนวนครั้งที่ค่า  $g$  ปรากฏอยู่ในข้อมูลภาพ ส่วนค่าความน่าจะเป็นที่  $g$  จะปรากฏอยู่ในภาพคือ

$$p(g) = \frac{h(g)}{N} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $N$  คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพหรือ  $N = \sum_{\forall g} h(g)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราต้องการแบ่งข้อมูลออกเป็น  $n$  คลาส ในที่นี้กำหนดให้  $n=2$  คือแทนคลาสของวัตถุที่อยู่ในภาพกับคลาสของพื้นภาพ และตัวแปร  $t$  เป็นค่าเทรสโพลด์ใดๆ ที่ใช้แยกข้อมูลสองคลาสนี้ออกจากกัน นั่นคือถ้ากำหนดให้  $S_1$  เป็นคลาสของพื้นภาพและ  $S_2$  เป็นคลาสของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ ดังนั้นแต่ละคลาสสามารถกำหนดได้โดย

$$S_1 = f(x, y) \leq t \text{ และ } S_2 = f(x, y) > t$$

Otsu ได้เสนอวิธีการหาค่า  $t$  ไว้ดังนี้

1.  $t = 1$

2. คำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ค่าความเข้ม  $g$  จะอยู่ใน  $S_1$  หรือ  $\omega_1(t)$  และ  $g \in S_2$  หรือ  $\omega_2(t)$  นั่นคือ

$$\omega_1(t) = \sum_{g=0}^t p(g)$$

$$\omega_2(t) = \sum_{g=t+1}^L p(g)$$

3. คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความเข้ม  $g$  ในแต่ละคลาส เมื่อ  $\bar{g}_1 \in S_1$  และ  $\bar{g}_2 \in S_2$

$$\bar{g}_1(t) = \sum_{g=0}^t gp(g)$$

$$\bar{g}_2(t) = \sum_{g=t+1}^L gp(g)$$

4. คำนวณค่าความแปรปรวนในคลาส  $S_1$  ซึ่งก็คือ  $\sigma_1^2$  และความแปรปรวนในคลาส  $S_2$  หรือ  $\sigma_2^2$

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{g=0}^t (g - \bar{g}_1(t))^2 p(g)$$

$$\sigma_2^2(t) = \sum_{g=t+1}^L (g - \bar{g}_2(t))^2 p(g)$$

5. คำนวณค่าเฉลี่ย ( $\bar{g}_T$ ) และค่าความแปรปรวน ( $\sigma_T^2$ ) ของข้อมูลทั้งภาพ นั่นคือ

$$\bar{g}_T = \sum_{\forall g} gp(g) = \sum_{j=1,2} \omega_j(t) \bar{g}_j(t)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{\forall g} (g - \bar{g}_T)^2 p(g) = \sigma_w^2(t) + \sigma_b^2(t)$$

เมื่อ  $\sigma_w^2(t) = \sum_{j=1,2} \omega_j(t) \sigma_j^2(t)$  เป็นค่าความแปรปรวนภายในคลาส

และ  $\sigma_b^2(t) = \sum_{j=1,2} \omega_j(t) (\bar{g}_j(t) - \bar{g}_T)^2$  ซึ่งเป็นค่าความแปรปรวนระหว่างคลาส

6. คำนวณ Cost function ( $\eta(t)$ ) ที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการเลือกค่า  $t$  นั่นคือเลือกค่าเทรสโพลด์  $t$  ที่ทำให้  $\eta(t)$  มีค่าสูงสุด โดยที่

$$\eta(t) = \frac{\sigma_b^2(t)}{\sigma_T}$$

7.  $t = t + 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กลับไปทำขั้นตอน 1-7 จะกระทั่ง  $t = L$  จึงหยุดแล้วใช้ค่า  $t$  ที่ทำให้  $\eta(t)$  มีค่าสูงสุดไปแยกข้อมูลภาพเป็นคลาส  $S_1$  และ  $S_2$

### 2.3.2 อัลกอริทึม Fuzzy c-Means

อัลกอริทึม Fuzzy c-Means ที่ใช้เซตของเมมเบอร์ข้อมูลออกเป็น  $n$  คลาส ในที่นี้กำหนดให้  $n=2$  ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับค่าความเป็นสมาชิกของคลาสของวัตถุ ( $\mu_1$ ) และคลาสของพื้นภาพ ( $\mu_2$ ) โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้:

$$\mu_i(g) \in [0,1],$$

$$0 < \sum_{g=0}^L \mu_i(g) < L,$$

$$\text{และ } \sum_{i=1}^2 \mu_i(g) = 1.0$$

ที่ดัชนีของคลาสที่  $i = 1, 2$ ; ค่าความเข้มของจุดภาพ  $g = \{lMin, lMin+1, lMin+2, \dots, L = lMax\}$ ; เมื่อกำหนดให้ค่าต่ำสุดเป็น  $jMin = \infty$ , และดัชนีของการวนในแต่ละรอบเป็น  $k = lMin$  โดยที่ค่า  $lMin$  และ  $lMax$  เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดของจุดภาพ

2. คำนวณค่าเฉลี่ยของคลาสของวัตถุ ( $\bar{x}_1$ ) และค่าเฉลี่ยของพื้นภาพ ( $\bar{x}_2$ ) โดย:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{g=0}^L h(g)g\mu_i(g)^\tau}{\sum_{g=0}^L h(g)\mu_i(g)^\tau}, \quad \tau = 1.5;$$

3. คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคลาสวัตถุ ( $\sigma_1$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นภาพ ( $\sigma_2$ ) โดย:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{g=0}^L h(g)(g - \bar{x}_i)^2 \mu_i(g)^\tau}{\sum_{g=0}^L h(g)\mu_i(g)^\tau}}$$

4. คำนวณค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละคลาสใหม่ดังนี้:

$$d(g, \bar{x}_i) = \frac{|g - \bar{x}_i|}{\sigma_i},$$

$$\mu_1(g) = \frac{1}{1 + (d(g, \bar{x}_1)/d(g, \bar{x}_2))^{2/(\tau-1)}},$$

$$\mu_2(g) = 1 - \mu_1(g).$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณ Objective function:

$$J = \sum_{i=1}^2 \sum_{g=Min}^L h(g) \mu_i(g)^r d(g, \bar{x}_i)^2,$$

if ( $J < jMin$ )

{

$$jMin = J;$$

$$\bar{y}_1 = \bar{x}_1;$$

$$\bar{y}_2 = \bar{x}_2;$$

}

6.  $k = k + 1$ , ถ้า  $k < L$  ให้กลับไปดำเนินการขั้นตอนที่ 2 - 6

7. คำนวณค่าเทรสโฮลด์  $t$  จากค่าเฉลี่ย  $\bar{y}_1$  และ  $\bar{y}_2$  ของขั้นตอนที่ 5 แล้วนำไปแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นสองคลาส

### 2.3.2 อัลกอริทึม BCFCM

อัลกอริทึม BCFCM [54] ได้ออกแบบมาสำหรับแก้ไขเทอมไบอัสของภาพ MRI ที่มีแบบจำลองดังนี้

$$Y_k = X_k G_k, \quad \forall k \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$$

ที่  $X_k$  และ  $Y_k$  เป็นค่าความเข้มของจุดภาพที่ตำแหน่ง  $k$  ที่เป็นข้อมูลจริงกับค่าสังเกตโดยลำดับ ส่วนค่า  $G_k$  เป็นค่าไบอัสหรือสัญญาณรบกวนที่อยู่ในรูปผลคูณที่จุดภาพที่  $k$  โดยที่  $k$  อยู่ในภาพขนาด  $N$  จุดภาพ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานของ BCFCM ดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นของคลาส  $\{v_i\}_{i=1}^C$  โดยที่  $C$  เป็นจำนวนคลาส และตามด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเทอมไบอัส  $\{\beta_k\}_{k=1}^N$  ซึ่งในที่นี้ Ahmed et al. [54] ได้แนะนำให้กำหนดค่าน้อยอย่างเช่น 0.01 เป็นต้น
2. คำนวณค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ปรับค่าความเป็นสมาชิก  $\mu_{ik}$  ดังสมการต่อไปนี้

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^C \left( \frac{D_{ik} + \frac{\alpha}{N_R} \gamma_i}{D_{jk} + \frac{\alpha}{N_R} \gamma_j} \right)^{1/(p-1)}}$$

โดยที่  $D_{ik} = \|y_k - \beta_k - v_i\|^2$  ส่วน  $\gamma_i = \sum_{y_r \in N_k} \|y_r - \beta_r - v_i\|^2$  ซึ่งในที่นี้

Ahmed et al. ได้กำหนด  $\alpha = 0.7$ ,  $p = 2$ ,  $N_R = 9$  และ  $N_k$  เป็นวินโดวขนาด  $3 \times 3$

3. คำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละคลาสโดย

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_{ik}^p (y_k - \beta_k) + \frac{\alpha}{N_R} \sum_{y_r \in N_k} (y_r - \beta_r)}{(1 + \alpha) \sum_{k=1}^N \mu_{ik}^p}$$

4. ประเมินเทอมของไบอัสด้วยสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_k = y_k - \frac{\sum_{i=1}^C \mu_{ik}^p v_i}{\sum_{i=1}^C \mu_{ik}^p}$$

5. จำนวนขั้นตอนที่ 2. ถึง 4. จนกระทั่งค่าเฉลี่ยของแต่ละคลาสมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก นั่นคือ  $\|V_{new} - V_{old}\| < \epsilon$  ซึ่งในอัลกอริทึมนี้ Ahmed et al. ได้กำหนดค่า  $\epsilon = 0.01$

จากอัลกอริทึมทั้งสามที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น จะเห็นว่ามีหลายขั้นตอนที่คล้ายกันอยู่ อย่างเช่นสองอัลกอริทึมแรกต่างใช้ข้อมูลจากฮิสโตแกรม แต่วิธีของ Otsu จะตรงที่ ไม่ต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรใดๆ (Arbitrary variables) ซึ่งต่างจาก Fuzzy  $c$ -Means ที่ต้องกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก<sup>1</sup> ซึ่งเป็นส่วนสำคัญและมีผลอย่างมากต่อผลลัพธ์ที่ได้ นอกจากนี้ Fuzzy  $c$ -Means ยังมีตัวแปรอื่นๆ อีกเช่นค่า  $\tau$  ที่เป็นเหมือนกันถึงกวิสติกเฮดจ์ (Linguistic Hedge<sup>2</sup>) และฟังก์ชันวัดระยะทาง  $d(g, \bar{x}_i)$  ถ้าเราเปลี่ยนฟังก์ชัน  $d(g, \bar{x}_i)$  ไปก็จะมีผลต่อ Object function ด้วยเช่นกัน ส่วนวิธี BCFCM ก็จะต้องกำหนดจำนวนคลาสถึงจะสามารถกำหนดค่าเฉลี่ยเริ่มต้นของแต่ละคลาสได้ แต่วิธีนี้จะไม่ต้องอาศัยฮิสโตแกรมจะเช็กเมนต์ข้อมูลภาพจากจุดภาพโดยตรง

ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่วิธีของ Otsu วิธี Fuzzy  $c$ -Means และ BCFCM มีปัญหาร่วมกันอยู่คือ เรื่องจำนวนคลาส หรือ  $n$  ควรมีค่าเท่าไรจึงจะเหมาะสมกับข้อมูลในแต่ละภาพ โดยทั่วไปค่านี้ผู้ใช้จะเป็นคนกำหนดว่าในแต่ละภาพจะต้องการแบ่งกี่คลาส

สำหรับในเรื่องของ Object function ทั้งวิธีของ Otsu และ Fuzzy  $c$ -Means ก็จะมีปัญหาคล้ายๆ กัน คือการพัฒนา Object function ที่ใช้แนวคิดหรือสมมติฐานเบื้องต้นต่างกัน อย่างที่ได้อธิบายในวิธีของ Otsu ไปบางส่วนแล้ว เช่นจากเดิมที่ Otsu ใช้ Uniform Distribution แล้ว Kittle et al. ใช้ Normal Distribution ก็จะทำให้ Object function แตกต่างออกไป นอกจากนี้ยังมี Maximum Likelihood [22] ที่ใช้ในการสร้าง Object function ได้อีกเช่นกัน ซึ่งในเรื่องนี้ก็จะมีส่วนคล้ายกับฟังก์ชัน  $d(g, \bar{x}_i)$  ในวิธี Fuzzy  $c$ -Means เมื่อแนวคิดของฟังก์ชัน  $d(g, \bar{x}_i)$  เปลี่ยนไปก็จะมีผลต่อไปที่ Object function ด้วยเช่นกัน ในเรื่องฟังก์ชัน  $d(g, \bar{x}_i)$  สามารถศึกษาในรายละเอียดบางส่วนได้ในเอกสารอ้างอิงที่ [49]

ส่วนวิธี BCFCM ค่า  $\alpha$  ที่อยู่ในสมการของการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกและสมการคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละคลาส ก็จะมีผลต่อการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งในที่ Ahmed et al. ได้แนะนำไว้ว่าถ้าสัญญาณรบกวนทำให้  $\alpha = 0.85$  ส่วนค่า  $p$  ในอัลกอริทึมนี้ก็มีความหมายเดียวกับค่า  $\tau$  ในวิธี Fuzzy  $c$ -Means

<sup>1</sup> ในเรื่องฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตจะอธิบายไว้ในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.2

<sup>2</sup> เอกสารนี้ใช้ Linguistic Hedge ซึ่งมีผลกับค่าความเป็นสมาชิก ส่วนแนวคิดในการกำหนดค่าได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.4 ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

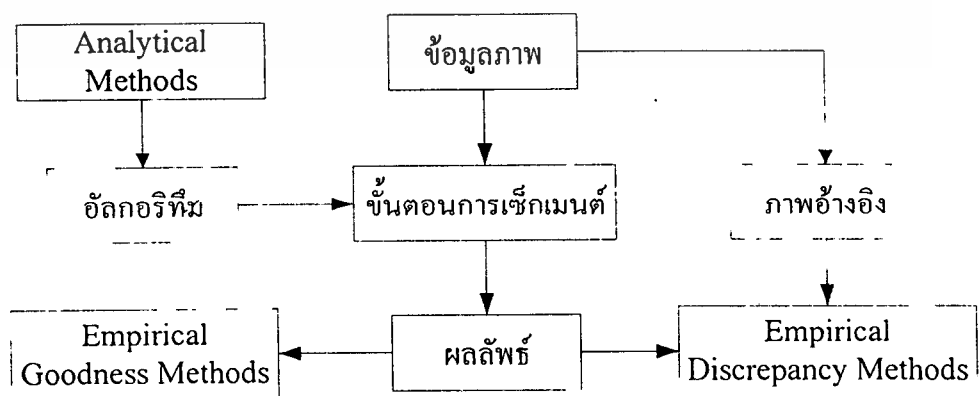
แต่ปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมานี้ยังมีเป้าหมายร่วมกันอยู่คือให้แต่ละคลาสที่แยกออกมาแล้วเป็นเนื้อเดียวกัน ถึงแม้ในอัลกอริทึมทั้งของ Otsu, Fuzzy  $c$ -Means และ BCFCM จะแตกต่างกัน แต่จริงๆ แล้วมีความหมายเดียวกัน เราลองไปพิจารณาขั้นตอนที่ 6 ของ Otsu กับขั้นตอนที่ 5 ของ Fuzzy  $c$ -Means และ BCFCM อีกครั้ง โดย Object function ของ Otsu ต้องการให้มี Contrast ระหว่างคลาสมากที่สุด ส่วนของ Fuzzy  $c$ -Means และ BCFCM ต้องการให้คลาสเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด ซึ่งในเรื่องนี้จะได้พิจารณากันอีกในหัวข้อต่อไป

## 2.4 วิธีการประเมินผลของการเซ็กเมนต์รูปภาพ

การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเซ็กเมนต์รูปภาพ มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาและการเลือกใช้วิธีการเซ็กเมนต์อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวิธีการเซ็กเมนต์โดยทั่วไปจะไม่ได้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้ได้กับข้อมูลภาพทุกชนิด นอกจากนี้วิธีการเซ็กเมนต์ในกลุ่มเดียวกันก็ยังมีความสามารถในการประมวลผลได้ไม่เท่ากัน และในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การวัดประสิทธิภาพมาช่วยในการออกแบบอัลกอริทึมด้วยเช่นกัน

จากรูปที่ 2.3 [47] วิธีการประเมินผลการเซ็กเมนต์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มหลักๆ ดังนี้

- วิธีการวิเคราะห์ (Analytical methods) การวิเคราะห์ในที่นี้จะดำเนินการในส่วนของการวิเคราะห์อัลกอริทึมของการเซ็กเมนต์ โดยจะพิจารณาความเป็นเหตุเป็นผลต่อกันของสมมติฐาน หลักการ และขั้นตอนของการเซ็กเมนต์
- การสังเกตจากผลลัพธ์ของวิธีการเซ็กเมนต์ (Empirical methods) วิธีนี้ต้องนำวิธีการเซ็กเมนต์ไปประมวลผลกับภาพทดสอบแล้วทำการวัดคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้ และในวิธีนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกสองวิธีด้วยกันคือ การวัดจากคุณภาพของผลลัพธ์ของการเซ็กเมนต์ว่าดีมาน้อยเพียงใด ซึ่งจะเรียกวินี้ว่า “Empirical Goodness” และอีกวิธีหนึ่งจะวัดความขัดแย้งของผลภาพที่ได้กับภาพอ้างอิง ซึ่งจะเรียกวินี้ว่า “Empirical Discrepancy”



รูปที่ 2.3 วิธีการประเมินผลการเซ็กเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการประเมินผลโดยการวิเคราะห์ มักจะไม่นิยมนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของวิธีการ เช็กเมนต์มากนัก เนื่องจากวิธีการเช็กเมนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ไม่ได้มีทฤษฎีพื้นฐานที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไป [36] และไม่ได้มีสูตรที่สามารถวิเคราะห์ได้ในทางคณิตศาสตร์ทุกวิธี สิ่งที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ก็คือสมมติฐาน และขั้นตอนการประมวลผล แล้วจึงไปดูที่ผลลัพธ์ว่าเป็นเหตุเป็นผลกันกับสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงไปขอก้าวในรายละเอียด ท่านที่สนใจสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิงที่ [47]

วิธีการวัดที่นำมาออกแบบอัลกอริทึมที่น่าเสนอในที่นี้คือ วิธี Empirical Goodness เหตุผลที่เลือกใช้วิธีนี้ก็เพราะว่า วิธี Empirical Goodness เป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้ภาพอ้างอิงในการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ความจริงการเลือกวิธีการวัดประสิทธิภาพนั้น จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับวิธีการเช็กเมนต์ด้วย อย่างวิธีที่น่าเสนอเป็นการเช็กเมนต์แบบไม่ต้องชี้หน้า และจำนวนคลาสมีมากกว่าหรือเท่ากับสอง ถ้าเราไปเลือกใช้วิธี Empirical Discrepancy ก็จะใช้งานไม่ได้จริง เนื่องจากวิธี Discrepancy จะต้องใช้ภาพอ้างอิง ในการใช้งานจริงเราไม่สามารถสร้างภาพอ้างอิงให้กับข้อมูลภาพทั้งหมดที่นำมาใช้ได้ ถึงสร้างได้ก็ยังไม่สมเหตุสมผลอยู่ดี เนื่องจากเมื่อเราสร้างภาพอ้างอิงขึ้นมาได้แล้วและถือว่าเป็นข้อมูลที่ถูกต้องด้วย แล้วจะไปทำการเช็กเมนต์อีกทำไม

อย่างไรก็ตามในเรื่องของประสิทธิภาพในการวัด วิธี Discrepancy จะเหนือกว่าวิธี Goodness เราลองมาพิจารณาวิธี Empirical ทั้งสองนี้ โดยพิจารณาจากสูตรที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแต่ละวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการประเมินวิธีการเช็กเมนต์ [46-47]

#### 2.4.1 วิธี Empirical Goodness

- การวัดความเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างริเจียน (Intra-Region Uniformity) ซึ่งมีสูตรในการวัดดังนี้

$$GU = \sum_i \sum_{(x,y) \in R_i} \left( f(x,y) - \frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y) \right)^2 \quad (2.4)$$

จากสมการนี้เทอม  $\frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y)$  คือค่าเฉลี่ยของริเจียนที่  $i$  หรือ  $R_i$  ดังนั้นตัวแปร  $A_i$  ก็คือจำนวนจุดภาพที่อยู่ใน  $R_i$  เมื่อนำสูตรนี้ไปวัดเพื่อประเมินวิธีการเช็กเมนต์ที่แบ่งภาพออกเป็น  $n$  ริเจียน ถ้าวิธีการเช็กเมนต์มีประสิทธิภาพดีก็จะแบ่งข้อมูลภาพได้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เทอมของค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าเฉลี่ยของประชากรที่ดี หรือถ้าพิจารณาในแง่ของสถิติ วิธีการเช็กเมนต์ก็คือตัวประมาณค่าเฉลี่ยของแต่ละคลาสนั่นเอง ดังนั้นเมื่อวิธีการเช็กเมนต์เป็นตัวประมาณค่าที่ดีแล้ว เทอมผลรวมของค่าความผิดพลาดกำลังสองหรือค่า  $GU$  ก็จะมีค่าต่ำ คำว่า “ $GU$  มีค่าต่ำ” ในที่นี้จะมีความต่ำสุดก็คือศูนย์ นั่นก็หมายความว่า วิธีการเช็กเมนต์สามารถแบ่งข้อมูลภาพได้ถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งใน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ได้ใช้แนวคิดนี้ในการสร้างดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นมาเป็นตัวสถิติทดสอบ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 และภาคผนวก

- การวัดความแตกต่างกันระหว่างริเจียน (Inter-Region Contrast) การวัดโดยวิธีนี้ Levine และ Nazif [52] เชื่อว่าถ้าวิธีการเช็กเมนต์มีประสิทธิภาพที่ดีแล้ว ย่อมทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างคลาส (GC) มีค่าสูง ซึ่งมีสูตรการวัดดังนี้

$$GC = \frac{|f_o - f_b|}{f_o + f_b} \quad (2.5)$$

เมื่อพิจารณาสูตรของ GC จะเห็นว่า ตัวแปร  $f_o$  ที่แทนค่าเฉลี่ยของคลาสของวัตถุ ส่วนตัวแปร  $f_b$  แทนค่าเฉลี่ยของคลาสที่เป็นพื้นภาพ เน้นอนว่าขนาดของความแตกต่างของทั้งสองคลาสหรือเทอม  $|f_o - f_b|$  ที่แสดงถึงความมีประสิทธิภาพของวิธีการเช็กเมนต์เมื่อเทียบกับ GU ย่อมมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน และที่สำคัญ GC ถูกออกแบบมาในยุคแรกๆ เพื่อใช้วัดวิธีการเช็กเมนต์ที่แบ่งข้อมูลออกเป็นสองคลาสหรือภาพไบนารี ถ้าพิจารณาจากสูตรแล้วจะเป็นว่า GC ไปพ้องกับแนวคิดการเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่ดีที่สุดของ Otsu ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว

#### 2.4.2 วิธี Empirical Discrepancy

ตัววัดประสิทธิภาพของวิธีการเช็กเมนต์ของ Discrepancy จะให้ความถูกต้องสูงกว่าวิธี Goodness เนื่องจากค่าเฉลี่ยของคลาสนั้นแตกต่างกัน คือค่าเฉลี่ยหรือตัวประมาณค่าเฉลี่ยของวิธี Discrepancy นั้นมีความถูกต้องอย่างแน่นอน เพราะค่านี้ได้จากภาพอ้างอิง และหลักการวัดประสิทธิภาพของ Discrepancy จะมีการตอบสนองต่อประสิทธิภาพของตัวเช็กเมนต์ได้ดีกว่า เพราะว่าวิธี Discrepancy จะนำคลาสที่ได้จากวิธีเช็กเมนต์มาเทียบกับภาพอ้างอิง เมื่อวิธีการเช็กเมนต์สามารถแบ่งคลาสของข้อมูลภาพได้ดี นั่นก็หมายความว่าวิธีการเช็กเมนต์นั้นสามารถเช็กเมนต์ได้เหมือนกับภาพอ้างอิง เราลองมาพิจารณาสูตรการวัดของ Discrepancy ที่ถือว่าเป็นตัวที่ให้ความถูกต้องสูงที่สุดที่ Zhang [47] ได้ทดสอบเอาไว้คือ

$$AUMA_f = |R_f - S_f| \quad (2.6)$$

จะเห็นว่า  $R_f$  คือข้อมูลภาพอ้างอิง ส่วน  $S_f$  ก็คือข้อมูลภาพที่ผ่านการเช็กเมนต์มาแล้ว ถ้าผลภาพเช็กเมนต์ของวิธีใดมีประสิทธิภาพดี  $AUMA_f$  (Absolute Ultimate Measurement Accuracy) ก็จะมีค่าต่ำ และค่าต่ำสุดก็คือ  $AUMA_f = 0$  ซึ่งหมายความว่าวิธีการเช็กเมนต์นั้นสามารถแบ่งข้อมูลภาพได้ถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์

จากวิธีการประเมินผลวิธีการเช็กเมนต์ที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น ได้กล่าวถึงการเลือกวิธีการวัดหรือการประเมินผลวิธีการเช็กเมนต์ให้เหมาะสม ซึ่งในที่นี้เราได้เลือกวิธีที่ถือว่าเหมาะสมที่สุดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของวิธีการเช็คเมนต์ที่นำเสนอ ซึ่งก็คือวิธี *GU* และ *AUMA<sub>f</sub>* ซึ่งได้กล่าวถึงส่วนที่ได้พัฒนาต่อไปไว้ในบทที่ 5

## 2.5 สรุป

สำหรับวิธีทำนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะอาศัยสารสนเทศจากจุดภาพบริเวณใกล้เคียงมาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าจุดภาพใดควรเป็นวัตถุและจุดภาพใดควรเป็นพื้นภาพ ซึ่งสารสนเทศจากจุดภาพบริเวณใกล้เคียงจะถูกประมวลผลด้วยตัวแบ่งแยกฟัซซีเมอร์โฟโลยี ซึ่งจะได้ศึกษากันในบทที่ 4 ส่วนในบทถัดไปจะอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานของฟัซซีเมอร์โฟโลยี ที่ประกอบไปด้วยทฤษฎีฟัซซีเซต และทฤษฎีเมอร์โฟโลยี ส่วนในบทที่ 5 จะกล่าวถึงการเช็คเมนต์และการประเมินผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

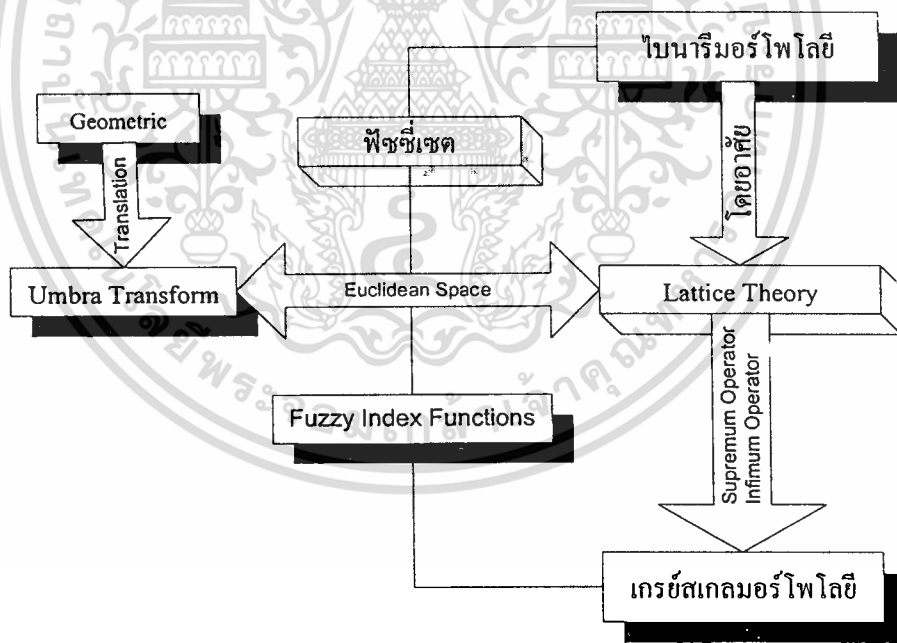
### บทที่ 3

## ฟัซซีและมอร์โฟโลยี

ในบทนี้จะอธิบายทฤษฎีพื้นฐานของฟัซซีมอร์โฟโลยี ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีฟัซซีเซต และทฤษฎีมอร์โฟโลยี การศึกษาและทำความเข้าใจในเรื่องเหล่านี้จะช่วยให้เรา เข้าใจคุณสมบัติและพฤติกรรมต่างๆ ของฟัซซีมอร์โฟโลยีได้ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวดำเนินการต่างๆ ของฟัซซีมอร์โฟโลยีให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 3.1 บทนำ

การนำคณิตศาสตร์เชิงมอร์โฟโลยีที่ใช้ประมวลผลภาพไบนารี มาพัฒนาเพื่อให้สามารถประมวลผลภาพเกรย์สเกลได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับที่ใช้กับภาพไบนารีนั้น ได้ใช้ทฤษฎีแลตทิซ (Lattice Theory) ที่มีตัวดำเนินการ Supremum ที่ใช้หาค่าขอบเขตบนน้อยที่สุด และตัวดำเนินการ Infimum ที่ใช้หาค่าขอบเขตล่างที่มากที่สุด มาเป็นตัวดำเนินการพื้นฐาน ซึ่งแนวทางที่ใช้พัฒนาได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แนวคิดที่ใช้พัฒนาเกรย์สเกลมอร์โฟโลยี

จากไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 แนวคิดในการพัฒนาเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีด้วยทฤษฎีแลตทิซ ได้ใช้การแปลงแบบอัมบรา (Umbra transformation) ในปริภูมิยูคลิดีียน (Euclidean Space) ซึ่งแนวทางในการพัฒนาตัวดำเนินการในภาพเกรย์ จะสอดคล้องกับทฤษฎีฟัซซีเซตที่อยู่ในปริภูมิยูคลิดีียน หรือถ้าพิจารณาอีกนัยหนึ่งก็เป็นการดำเนินการในคาร์ทีเซียนกริด (Cartesian Grid) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการดำเนินการของฟังก์ชันดัชนีของฟัซซี (Fuzzy Index Functions) ที่ใช้ในการวัดการเป็นสมาชิก

### 3.2 ฟัซซีเซต

ระบบฟัซซี (Fuzzy System) มีองค์ประกอบพื้นฐานอยู่สองส่วนคือ ฟัซซีเซตและตัวดำเนินการของฟัซซีเซต ส่วนตรรกะฟัซซีหรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขหรือใช้สร้างกฎให้กับระบบฟัซซีหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ “ฟัซซีลอจิก เป็นการนำฟัซซีเซตต่างๆ มาอนุมานด้วยตัวดำเนินการ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมกับเหตุการณ์มากที่สุด (ซึ่งอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) ที่อยู่ในรูปของคริปส์เซต (Crisp set)” จะเห็นว่าฟัซซีลอจิกเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์อีกอย่างหนึ่ง ที่ใช้หาเซตคำตอบที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมได้อย่างลงตัว โดยอาศัยหน่วยความรู้พื้นฐานเช่นเดียวกับระบบผู้เชี่ยวชาญมาช่วยในการอนุมานค่า

ในที่นี้เราจะใช้ฟัซซีลอจิกมาประมวลผลภาพ โดยกำหนดให้เซต  $F$  แทนรูปภาพเกรย์สเกลที่มีขนาด  $M \times N$  และมีระดับความเข้มของค่าเกรย์เท่ากับ  $L$  ระดับ และสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของฟัซซีเซตด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Functions) หรือ ฟังก์ชันคุณลักษณะ (Characteristic Functions) ที่อยู่ในรูปของค่าความเป็นสมาชิก  $\mu_f(x, y)$  ซึ่งแทนค่าความเข้มของจุดภาพ  $f(x, y)$  ที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  ค่าความเป็นสมาชิกจะมีค่าอยู่ในช่วงปิดศูนย์ถึงหนึ่งหรือ  $\mu_f(x, y) \in [0, 1]$  เมื่อค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง แสดงว่า  $f(x, y)$  เป็นสมาชิกของเซต  $F$  แต่ถ้าค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์แสดงว่า  $f(x, y)$  ไม่เป็นสมาชิกของเซต  $F$  ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง ก็จะมีค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซต  $F$  เพิ่มขึ้น ยิ่ง  $\mu_f(x, y)$  มีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากเท่าไรระดับความเป็นสมาชิกก็ยิ่งเพิ่มขึ้นเท่านั้น

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกให้กับฟัซซีเซต จะมีคุณสมบัติและรูปแบบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แสดงถึงความเป็นขอบภาพ<sup>1</sup> เซตของข้อมูลภาพจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของค่าความเป็นขอบภาพ  $\mu_e$  โดยสมการที่ (3.1) ส่วนค่าความเป็นสมาชิกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2(ข)

$$\mu_e = 1 - \left( 1 + \frac{1}{\text{Max}(G_i)} \sum_{i=0}^8 \|G_0 - G_i\| \right)^{-1} \quad (3.1)$$

ในสมการนี้เป็นการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของขอบภาพภายในกรอบขนาด  $3 \times 3$  โดยมี  $G_0$  เป็นจุดภาพที่อยู่ตรงกลาง ส่วน  $G_i$  เป็นจุดภาพที่ล้อมรอบ  $G_0$  ซึ่งมีอยู่แปดจุดภาพ

<sup>1</sup> เอกสารนี้เป็นขอบภาพ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะหมายถึงขอบของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าจากฟังก์ชัน  $Max(G_i)$  เป็นการหาค่าสูงสุดภายในกรอบ  $3 \times 3$  จะเห็นว่าค่าความเป็นสมาชิกของขอบภาพ  $\mu_e$  จะสัมพันธ์กับจุดภาพที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงด้วย ถ้าจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงมีค่าเท่ากัน บริเวณนั้นก็จะมีขอบภาพหรือค่าความเป็นสมาชิกของขอบภาพเท่ากับศูนย์กลางนั่นเอง ส่วนบริเวณใดค่าของจุดภาพไม่เท่ากันตรงจุดนั้นก็จะมีความเป็นสมาชิกของขอบภาพจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับว่าตรงจุดนั้นมีลักษณะความเป็นขอบภาพมากน้อยเพียงใด

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แสดงถึงความเป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละพื้นที่ของภาพ ก็จะมีฟังก์ชันดังสมการที่ (3.2) ส่วนค่าความเป็นสมาชิกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2(ค)

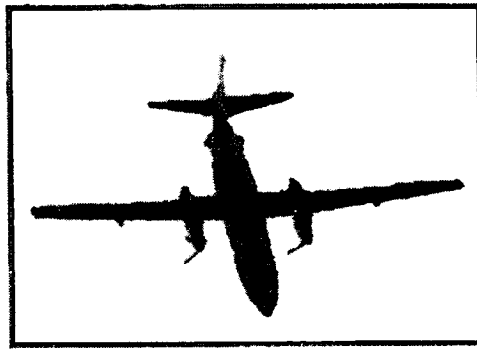
$$\mu_h = 1 - \frac{G^{lmax} - G^{lmin}}{G^{gmax} - G^{gmin}} \quad (3.2)$$

ค่าความเป็นสมาชิกของความเป็นเนื้อเดียวกันของจุดภาพ  $\mu_h$  จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มของจุดภาพ  $G^{gmax}$  ซึ่งจุดภาพที่มีค่าสูงสุด ส่วน  $G^{gmin}$  เป็นจุดภาพที่มีค่าต่ำสุดของข้อมูลในแต่ละภาพ ส่วน  $G^{lmax}$  และ  $G^{lmin}$  เป็นค่าสูงสุดและต่ำสุดภายในแต่ละพื้นที่ย่อยๆ ในภาพ เช่นภาพในกรอบขนาด  $3 \times 3$  หรือ  $5 \times 5$  เป็นต้น จะเห็นว่าค่าความเป็นสมาชิกของความเป็นเนื้อเดียวกัน ค่อนข้างตรงกันข้ามกับค่าความเป็นสมาชิกของความเข้มของขอบภาพ นั่นคือ ถ้าบริเวณใดมีความเป็นเนื้อเดียวกันหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือจุดภาพมีค่าความเข้มเท่ากัน ค่าความเป็นสมาชิกของความเป็นเนื้อเดียวกันก็จะมีค่าสูง ส่วนบริเวณใดที่มีค่าความเข้มของจุดภาพแตกต่างกันมาก  $\mu_h$  ก็จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แสดงถึงค่าความเข้มของจุดภาพนั้น สามารถกำหนดได้หลายรูปแบบด้วยกัน อย่างที่เห็นในสมการที่ (3.3) เป็นฟังก์ชันรูปตัว S ส่วนสมการที่ (3.4) ก็เป็นอีกฟังก์ชันหนึ่งซึ่งแสดงถึงค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพ เป็นต้น

$$\mu_f(x, y) = S(f(x, y), a, b, c)$$

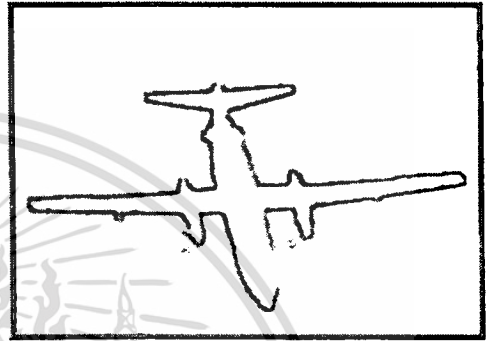
$$= \begin{cases} 0 & lMin \leq f(x, y) \leq a \\ 2 \times \left( \frac{f(x, y) - a}{c - a} \right)^2 & a < f(x, y) \leq b \\ 1 - 2 \times \left( \frac{f(x, y) - c}{c - a} \right)^2 & b < f(x, y) \leq c \\ 1 & c < f(x, y) \leq lMax \end{cases} \quad (3.3)$$



(ก)



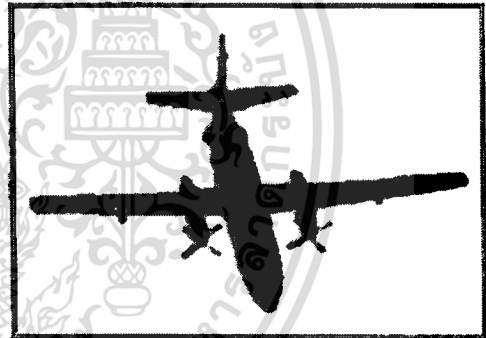
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ค่าความเป็นสมาชิกของขอบภาพ (ค) ค่าความเป็นสมาชิกของความเป็นเนื้อเดียวกัน (ง) ค่าความเป็นสมาชิกของความเข้มของจุดภาพจากสมการที่ (3.3) (จ) ค่าความเป็นสมาชิกของความเข้มของจุดภาพจากสมการที่ (3.4)

ค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพ  $\mu(x, y)$  จะแทนระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันจุดภาพ  $f(x, y)$  ที่เป็นความเข้มหรือระดับความสว่างของจุดภาพ ถ้าค่าความเข้มของจุดภาพ  $f(x, y)$  มีค่าใกล้ค่าความเข้มต่ำสุด  $I_{Min}$  ของข้อมูลภาพ ค่าความสมาชิก  $\mu(x, y)$  จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และในทางกลับกัน ถ้าค่าความเข้มของจุดภาพเข้าใกล้ค่าความเข้มสูงสุดของจุดภาพ  $I_{Max}$  ค่าความสมาชิก  $\mu(x, y)$  ก็จะมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ส่วนตัวแปร  $a, b$  และ  $c$  ของฟังก์ชัน สามารถกำหนดจากข้อมูลภาพ อย่างเช่น  $a = I_{Min}$ ,  $c = I_{Max}$  ส่วน  $b$  เป็นจุดที่ทำ

ให้ค่าความเป็นสมาชิก  $\mu_f(x, y) = 0.5$  หรือจุดครอสโอเวอร์ (Crossover point) ซึ่งจะได้ว่าค่า  $b = (a + c)/2$

$$\mu_f(x, y) = \left( 1 + \frac{G^{g^{\max}} - f(x, y)}{Fd} \right)^{-Fe} \quad (3.4)$$

ค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพ  $\mu_f(x, y)$  ในสมการ (3.4) ใช้ในการลดความคลุมเครือของข้อมูลภาพ โดย  $G^{g^{\max}}$  เป็นค่าความเข้มสูงสุดของข้อมูลภาพ ส่วนค่า  $Fd$  และ  $Fe$  เป็นค่าคงที่ ระดับค่าความเป็นสมาชิก  $\mu_f(x, y)$  มีคุณสมบัติคล้ายกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในสมการที่ (3.3)

จากรูปที่ 3.2 ได้แสดงค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต โดยใช้ภาพเครื่องบินที่แสดงไว้ในภาพ (ก) เป็นข้อมูลภาพที่ต้องการแปลงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูป (ข-จ) ในรูปที่ 3.2(ข) เป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่ใช้แทนเซตของความเป็นขอบภาพซึ่งคำนวณจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในสมการที่ (3.1) รูปที่ 3.2(ค) เป็นค่าความเป็นสมาชิกที่แทนฟัซซีเซตที่แสดงถึงความเข้มเดียวกันในจุดภาพ ซึ่งคำนวณจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในสมการที่ (3.2) รูปที่ 3.2(ง และ จ) เป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่ใช้แทนค่าความเข้มของจุดภาพ ในรูป (ง) เป็นค่าความเป็นสมาชิกที่คำนวณมาจากฟังก์ชัน S ในสมการที่ (3.3) โดยค่าความเข้มของจุดภาพสูงสุด  $IMax = 255$  ส่วนค่าต่ำสุด  $IMin = 0$  ค่าตัวแปร  $a = 30$ ,  $b = 115$ , และ  $c = 200$  ในรูป (จ) เป็นค่าความเป็นสมาชิกที่คำนวณจากสมการที่ (3.4) เมื่อ  $Fd = 127$  และ  $Fe = 2$  โดยค่าความเป็นสมาชิกในรูปที่ 3.2 นี้จะใช้สืบทอดค่าความเป็นสมาชิกที่เท่ากับศูนย์ (หรือไม่ได้เป็นสมาชิกของเซตนั้นๆ) ส่วนสีขาวมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง ส่วนค่าเกรย์ที่อยู่ระหว่าง 0 กับ 1 จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพิ่มขึ้น เมื่อระดับของสีเทาที่มีความสว่างมากขึ้น

การประมวลผลภาพด้วยฟัซซีเซต เซต F ของรูปภาพที่ถูกแปลงเป็นค่าความเป็นสมาชิกแล้ว จะถูกประมวลผลด้วยเคอร์เนล (Kernel) K ที่อยู่ในรูปของฟัซซีเซตเช่นกัน การประมวลผลในระดับพื้นฐานของฟัซซีเซต สามารถกำหนดได้จากตัวดำเนินการยูเนียน อินเตอร์เซกชัน ดิฟเฟอเรนซ์ (Difference) และคอมพลิเมนต์ สำหรับการประมวลผลแบบจุดของแต่ละตัวดำเนินการสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_{F \cup K}(x, y) = \max[\mu_F(x, y), \mu_K(x, y)], \quad (3.5)$$

$$\mu_{F \cap K}(x, y) = \min[\mu_F(x, y), \mu_K(x, y)], \quad (3.6)$$

$$\mu_{F \setminus K}(x, y) = \min[\mu_F(x, y), 1 - \mu_K(x, y)], \quad (3.7)$$

$$\mu_{F^c}(x, y) = 1 - \mu_F(x, y) \quad (3.8)$$

เมื่อ  $\forall (x, y) \in M \times N$

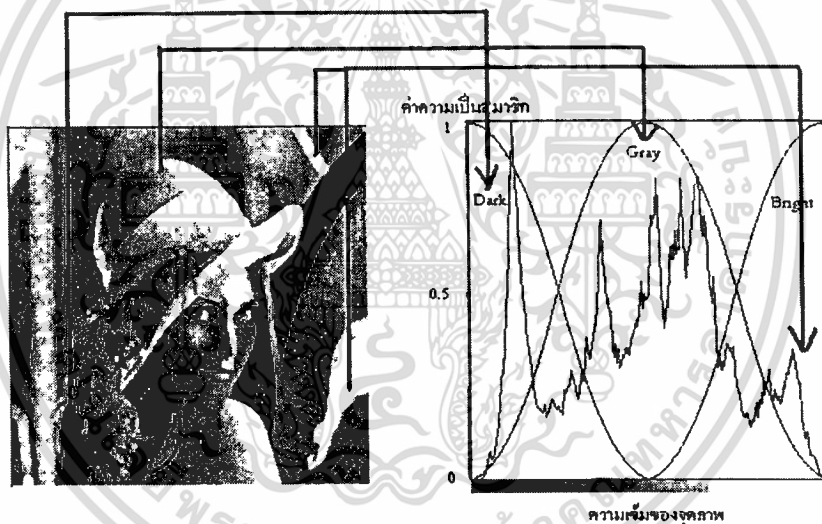
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวดำเนินการเหล่านี้ใช้ในการประมวลผลเพื่อตรวจสอบหรือค้นหาคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องการ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวถูกบรรจุไว้ในเคอร์เนล  $K$  และถ้าเราต้องการค้นหาคุณสมบัติที่ร่วมกันอยู่ทั้งในรูปภาพ  $F$  และใน  $K$  ก็จะค้นหาได้จากตัวดำเนินการฟัซซียูเนียน แต่ถ้าเราต้องการค้นหาคุณสมบัติที่เราต้องการก็สามารถทำได้โดยใช้ตัวดำเนินการฟัซซีอินเตอร์เซกชัน และถ้าต้องการพิจารณาคูสมบัติที่มีอยู่ในภาพ  $F$  ที่ไม่อยู่ใน  $K$  ก็สามารถใช้ตัวดำเนินการฟัซซีดิฟเฟอร์เรนซ์  $\mu_{F \setminus K} = \mu_{F \cap K^c}$  เมื่อ  $K^c$  คือคอมพลีเมนต์ของ  $K$

ในกรณีที่พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของสับเซต หรือเซตย่อย สามารถกล่าวได้ว่า

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_B = \max[\mu_A, \mu_B] \Leftrightarrow \mu_A = \min[\mu_A, \mu_B] \quad (3.9)$$

นั่นก็คือ ถ้าเซต  $A$  เป็นสับเซตของ  $B$  ก็ต่อเมื่อผลของยูเนียนระหว่างเซต  $A$  กับ  $B$  ได้ผลลัพธ์เป็น  $B$  และอินเตอร์เซกชันของเซต  $A$  กับ  $B$  เท่ากับ  $A$



รูปที่ 3.3 ตัวแปรลึงกวิสติกของค่าความเข้มของจุดภาพ

### 3.3 ตัวแปรลึงกวิสติก

ตัวแปรลึงกวิสติก (Linguistic Variables) ถือได้ว่ามีส่วนสำคัญอย่างมากในระบบฟัซซี ซึ่งแนวคิดในเรื่องนี้ถูกนำเสนอโดย Zadeh [29] เพื่อที่จะลดความซับซ้อนและทำให้นิยามต่างๆ ในฟัซซีเซตมีความกระชับชัดเจน ตัวแปรลึงกวิสติกถูกกำหนดขึ้นจากคำพูด หรืออาจจะอยู่ในรูปของประโยค (ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า “Linguistics”) ที่แสดงถึงการแปรค่า (Variable) ระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต เพื่ออธิบายความไม่ชัดเจนที่มีอยู่ในค่าระดับความเป็นสมาชิกภายในเซตนั้น

ตัวแปรлингวิสตติกสามารถกำหนดได้เป็นเซตที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete set) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก อย่างเช่นในกรณีของข้อมูลภาพที่กำหนดด้วยเซต  $F$  และมีจุดภาพที่เป็นสมาชิกของ  $F$  ( $f(x, y) \in F$ ) ระดับความเป็นสมาชิกของค่าความเข้มของจุดภาพ  $f(x, y)$  สามารถกำหนดเป็นความเป็นสมาชิกแบบแบ่งส่วนข้อมูลภาพออกเป็นกลุ่มๆ ตัวอย่างของตัวแปรлингวิสตติก ในกรณีของข้อมูลภาพ ที่มีความเข้มของจุดภาพเป็นตัวแปร เราสามารถจัดเป็นตัวแปรлингวิสตติกอย่างง่ายเป็นสามเทอม คือ “Dark” “Gray” และ “Bright” ซึ่งตัวแปรлингวิสตติกในแต่ละเทอมสามารถกำหนดค่าความเป็นสมาชิกได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกคือ  $\mu_{\text{Dark}}$ ,  $\mu_{\text{Gray}}$ , และ  $\mu_{\text{Bright}}$  ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ที่ใช้ฟังก์ชัน  $S$  ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิก

### 3.4 ส่วนขยายлингวิสตติก

เมื่อกำหนดตัวแปรлингวิสตติกขึ้นมาแล้ว เราต้องการจะเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละเทอม ก็สามารถทำได้โดยการใช้ส่วนขยายлингวิสตติก (Linguistic Hedges) ในขั้นตอนของлингวิสตติกเซต-เจสสามารถมาอธิบายเทียบเคียงกับการสร้างประโยคในภาษา อย่างในหัวข้อที่แล้วที่ได้ยกตัวอย่างเรื่องการกำหนดตัวแปรлингวิสตติกให้กับค่าความเข้มของจุดภาพ โดยแบ่งเป็นสามเทอมคือ “Dark” “Gray” และ “Bright” ซึ่งเหมือนกับการจัดกลุ่มของจุดภาพออกเป็นสามกลุ่มคือ กลุ่มที่มีค่าความเข้มต่ำหรือจากตัวแปร “Dark” แทนด้วยประโยค “จุดภาพที่มืด” กลุ่มที่สองเขียนเป็นประโยคได้เป็น “จุดภาพที่มีสีเทา” ซึ่งแทนเทอมตัวแปร “Gray” ส่วนกลุ่มสุดท้ายคือ “จุดภาพที่สว่าง” ที่แทนตัวแปร “Bright” เมื่อต้องการจะเปลี่ยนค่าในแต่ละเทอม ก็สามารถทำได้โดยการใช้лингวิสตติกเซต-เจส คือเพิ่มส่วนขยายในแต่ละประโยคเข้าไป จากตัวอย่างตัวแปรлингวิสตติกทั้งสามเทอมสามารถเพิ่มส่วนขยายได้ดังนี้

- จุดภาพที่มีมืดมาก ในตัวแปรนี้มีคำว่า “มาก” ที่ขยายเทอม “มืด”
- จุดภาพมีระดับความเป็นสีเทาค่อนมาก ส่วนในตัวแปรนี้มีคำว่า “ค่อนข้างมาก” ขยายเทอม “สีเทา”
- จุดภาพมีความสว่างน้อยลง ในตัวแปรนี้มีคำว่า “น้อยลง” ขยายเทอม “สว่าง” เป็นต้น

ในพีชคณิตค่าขยายข้างต้น คือคำว่า “มาก” “ค่อนข้างไปทางสว่าง” และ “ค่อนข้างไปทางน้อย” สามารถนำมาแทนในเชิงตัวเลขได้โดยไปลดหรือเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกผ่านทางฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งส่วนขยายлингวิสตติกที่สำคัญๆ และใช้กันบ่อยๆ มีอยู่สามตัวด้วยกันคือ

- Intensity modification:  $\mu^i(x) = \begin{cases} 2\mu^2(x) & \text{ถ้า } 0 \leq \mu(x) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu(x))^2 & \text{สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases}$
- Concentration:  $\mu^c(x) = \mu^2(x)$
- Dilation:  $\mu^d(x) = \sqrt{\mu(x)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างของค่าความเข้มของจุดภาพ คำขยาย “มาก” ของเทอม “มืด” สามารถแปลความหมายในเชิงตัวเลขได้ว่า ค่าระดับความเป็นสมาชิกในเทอมมืดจะต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงแปลความหมาย ของตัวขยาย “มาก” เป็นไคเลชัน (Dilation) ส่วนในประโยค “จุดภาพมีความสว่างน้อยลง” ของเทอม “Bright” เป็นการลดค่าระดับความเป็นสมาชิกของเทอม “Bright” ลงมา ดังนั้นจึงแปลความหมายของตัวขยาย “น้อยลง” เป็นคอนเซ็นเตรชัน (Concentration) และในประโยค “จุดภาพมีระดับความเป็นสีเทาอ่อนมาก” มีคำขยาย “ค่อนข้างมาก” ซึ่งเป็นการขยายระดับความเป็นสีเทาให้มีความเข้มข้นของความเป็นสมาชิกมากขึ้น ดังนั้นจึงแปลความหมายของตัวขยายนี้เป็นการปรับความเข้มข้นของความเป็นสมาชิก (Intensity modification) คือไปลดค่าระดับความเป็นสมาชิกของสีเทาที่น้อยกว่า 0.5 ให้ต่ำลงไปอีก ส่วนระดับความเป็นสมาชิกของสีเทาที่มากกว่า 0.5 ก็จะถูกเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกขึ้นไปอีก

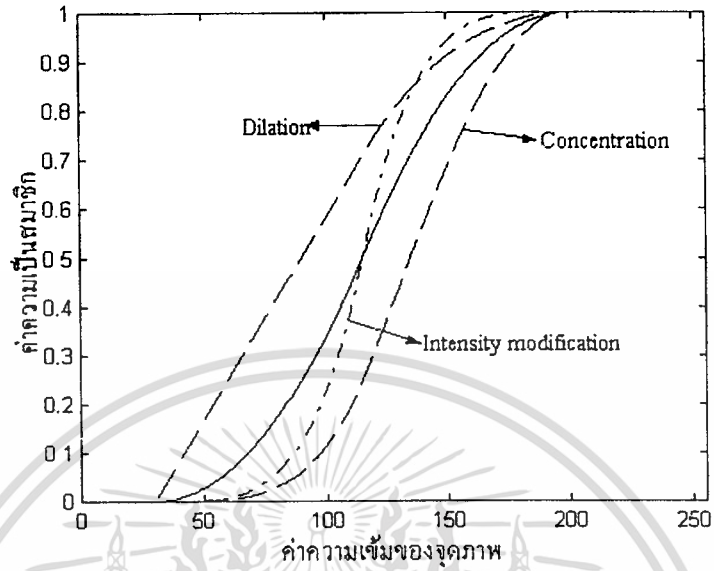
ในรูปที่ 3.4 ได้แสดงการนำส่วนขยายลึงกวิสติกไปในการประมวลผลข้อมูลค่าความเข้มของจุดภาพด้วยฟังก์ชัน  $S$  ที่ได้นำเสนอไว้ในสมการที่ (3.3) โดยกำหนดค่าตัวแปร  $a = 30$ ,  $b = 115$  และ  $c = 200$  ในรูป (ก) แสดงค่าความเป็นสมาชิกที่ถูกประมวลผลส่วนขยายลึงกวิสติกสามตัวด้วยกันคือ การปรับความเข้มข้นของความเป็นสมาชิก, คอนเซ็นเตรชัน และ ไคเลชัน ส่วนในรูป (ข) เป็นภาพของกะโหลกศีรษะที่มีค่าความเข้ม  $L = 256$  ระดับ มีค่า  $I_{Max} = 255$  และ  $I_{Min} = 0$  และมีขนาด  $182 \times 228$  จุดภาพ ส่วนในรูป (ค) เป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของค่าความเข้มของจุดภาพ รูป (ง) เป็นรูปที่ผ่านตัวคอนเซ็นเตรชัน จะเห็นว่าระดับค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพจะมีค่าลดลง ส่วนรูป (จ) เป็นรูปที่ผ่านตัวไคเลชัน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกของค่าความเข้ม ส่วนรูป (ฉ) เป็นการลดค่าในส่วนที่เป็นสีเทาให้น้อยลงด้วยตัวการปรับความเข้มข้นของความเป็นสมาชิก

### 3.5 ฟัชชีลอจิก

เมื่อได้ทำความเข้าใจถึงแนวคิดของตัวแปรและส่วนขยายลึงกวิสติก ที่ใช้ในการแบ่งเทอมของตัวแปรระบบ (System Variables) เพื่อให้สามารถจัดการกับปัญหาได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเราสามารถเข้าไปจัดความสัมพันธ์ระหว่างเทอมต่างๆ ให้มีความกะทัดรัดขึ้น เช่นเดียวกับการสร้างประโยคในทางภาษา ที่เราสามารถยุบรวมหรือเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ใจความที่กระชับขึ้น

ฟัชชีลอจิกได้ขยายแนวความคิดเดิมของตรรกะบูลีน (Boolean logic) โดยอาศัยตัวแปรลึงกวิสติก ความจริงฟัชชีลอจิกถูกออกแบบมาเพื่อประมวลผลค่า ตรรกะบูลีนใช้ตัวดำเนินการบูลีนคือ AND ( $\wedge$ ), OR ( $\vee$ ), NOT ( $\neg$ ) ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเซตต่างๆ ที่เป็นไบนารี และผลลัพธ์ที่ได้ก็อยู่ในรูปไบนารีเช่นกัน ถ้าเราต้องการขยายไบนารีลอจิกไปสู่ฟัชชีลอจิก โดยใช้ตัวแปรลึงกวิสติก ก็จำเป็นจะต้องมากำหนดตัวดำเนินการพื้นฐานทางตรรกะใหม่ ในฟัชชีลอจิกตัว

ดำเนินการบวกลบจะถูกแทนที่ด้วยการดำเนินการต่างๆ ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก อย่างที่ได้อธิบายไว้แล้วในสมการที่ (3.5-3.9)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3.4 ถึงวิสตติกเขตเจสที่ใช้ประมวลผลข้อมูลความเข้มของจุดภาพ (ก) ค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน  $S$  ที่ประมวลผลด้วยฟังก์ชันปรับค่าความเข้ม คอนเซ้นเตรชันและไคเลชัน (ข) ภาพต้นแบบ (ค) ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน  $S$  (ง) คอนเซ้นเตรชัน (จ) ไคเลชัน (ฉ) ฟังก์ชันปรับค่าความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ระบบการประมวลผลภาพด้วยฟัซซี

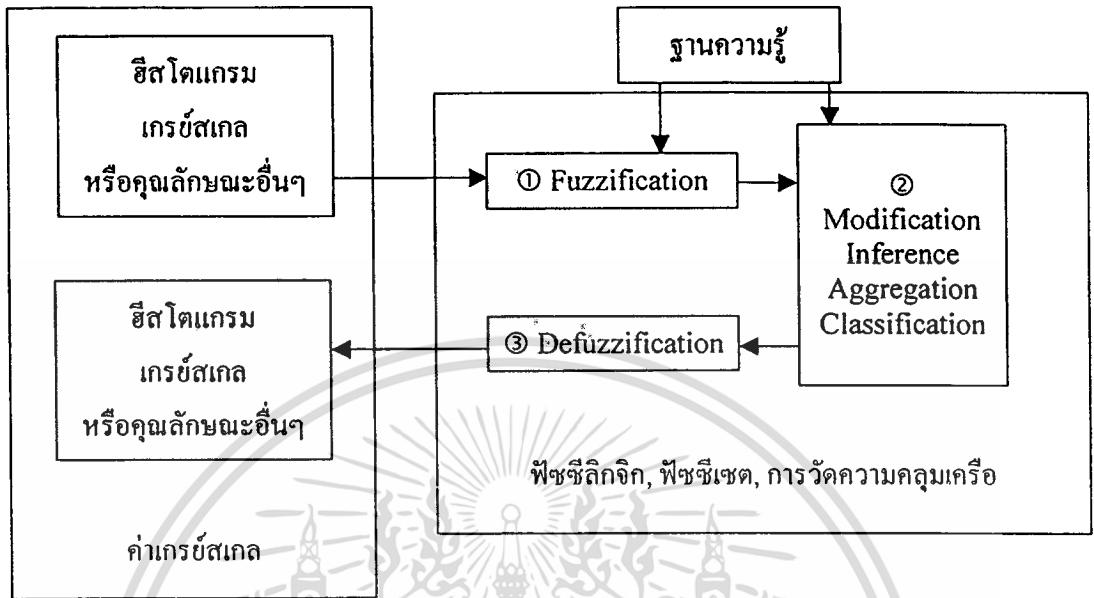
การประมวลผลภาพด้วยฟัซซีมีอยู่สามขั้นตอนด้วยกันคือ ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification), การประมวลผลด้วยตัวดำเนินการฟัซซีที่เหมาะสมกับค่าความเป็นสมาชิก และ ดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) ในรูปที่ 3.5 ได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของทั้งสามขั้นตอนนี้ การประมวลผลรูปภาพด้วยฟัซซีจะแตกต่างจากการประมวลผลภาพด้วยวิธีอื่นคือ ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประมวลผล ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของฮิสโตแกรม ระดับความเข้มของจุดภาพ หรือข้อมูลที่สำคัญอื่นๆ จะถูกประมวลผลในปริภูมิของค่าความเป็นสมาชิก ซึ่งการประมวลผลสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น ฟัซซีลอจิก, ฟัซซีเซต และการวัดค่าความคลุมเครือ เพื่อเปลี่ยนแปลงหรือรวมค่าความเป็นสมาชิกเข้าด้วยกัน ตามความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้งาน อย่างเช่นในการแบ่งแยกข้อมูล หรือทำการตัดสินใจโดยการอนุมานค่าด้วยฟัซซี หลังจากที่ประมวลผลเสร็จแล้ว ค่าความเป็นสมาชิกค่าใหม่ที่ได้จากการประมวลผลจะถูกแปลงกลับไปให้อยู่ในรูปของค่าเกรย์สเกลอย่างเดิม เพื่อสร้างเป็นฮิสโตแกรมอันใหม่ขึ้นมา หรืออาจจะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าเกรย์สเกล หรือแบ่งแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ เป็นต้น

จากทั้งสามขั้นตอนของการประมวลผลภาพด้วยฟัซซี จะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

- ฟัซซีฟิเคชัน เป็นขั้นตอนของการแปลงข้อมูล จากค่าเกรย์ที่อยู่ในปริภูมิของจำนวนเต็ม ไปเป็นค่าความเป็นสมาชิกที่อยู่ในปริภูมิของเลขจำนวนจริงที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังในสมการที่ (3.1–3.4) ซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้
- ส่วนในขั้นตอนที่สอง เป็นการนำค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละเซตมาประมวลผล โดยการเลือกตัวดำเนินการตามความเหมาะสมของแต่ละงาน อย่างที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อส่วนขยายถึงกวิสติก หรืออาจจะใช้การประมวลผลในรูปแบบอื่นๆ ตามความเหมาะสม อย่างเช่น การอนุมาน (Inference) ค่าด้วยฟัซซีลอจิก [29] การวัดค่าความคลุมเครือ (Fuzziness) ในฟัซซีเซต เพื่อใช้ในการแบ่งแยกข้อมูลภาพ [40] เป็นต้น
- ดีฟัซซีฟิเคชัน เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลด้วยฟัซซี ในขั้นตอนนี้ดำเนินการสวนทางกับฟัซซีฟิเคชัน ของขั้นตอนแรก คือ ดีฟัซซีฟิเคชันจะแปลงค่าความเป็นสมาชิกกลับมาเป็นค่าเกรย์สเกลเช่นเดิม หรืออาจจะแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบอื่นๆ ตามความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้งานซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การหาค่ากลางถ่วงน้ำหนัก (Center of area), การหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (Mean of Maximum) และยังมีวิธีอื่นๆ อีกหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสองขั้นตอนแรกด้วยว่าดำเนินการมาอย่างไร เช่น Pal et al. [40] ใช้การแปลงกลับสมการที่ใช้ฟัซซีฟิเคชัน และในการนำไปใช้ในบางงาน ขั้นตอนดี-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟuzzyพีเคชั่นอาจไม่ต้องมี เนื่องจากสามารถนำค่าความเป็นสมาชิกไปใช้งานได้เลย ส่วนใหญ่ในกรณีที่ไม่มิตีฟuzzyพีเคชั่น จะใช้การประมวลผลแบบฟuzzyไปคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก [41]



รูปที่ 3.5 โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบการประมวลผลภาพด้วยฟuzzy

สำหรับฟuzzyเซตที่ได้นำเสนอไปแล้วนี้ เพียงพอที่จะเป็นพื้นฐานสำหรับที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลภาพ และเป็นพื้นฐานของ ฟuzzyมอร์โฟโลยี ที่จะได้นำเสนอในบทต่อไป

### 3.7 มอร์โฟโลยี

สำหรับความหมายโดยทั่วไปของ “มอร์โฟโลยี (Morphology)” คือ รูปแบบหรือโครงสร้างของวัตถุ หรือการจัดลำดับความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของวัตถุ มอร์โฟโลยีสัมพันธ์กับรูปร่าง (Shape) และในการประมวลผลภาพเชิงตัวเลข รูปร่างของวัตถุในภาพถูกกำกับด้วยตัวเลข เมื่อเรานำมอร์โฟโลยีมาใช้ประมวลผลภาพเชิงตัวเลข จึงเป็นการวิเคราะห์รูปร่างของวัตถุที่เราสนใจ

นอกจากนี้คำว่า “มอร์โฟโลยี” ยังมีการนำไปใช้กับศาสตร์แขนงอื่นๆ อีกเช่น ในทางภาษาศาสตร์และชีววิทยา ในทางภาษาศาสตร์ มอร์โฟโลยี จะศึกษาถึงโครงสร้างของคำต่างๆ ที่นำมาประกอบกันเป็นประโยค ส่วนในทางชีววิทยา มอร์โฟโลยี จะเกี่ยวข้องกับรูปร่างของอวัยวะ หรือส่วนประกอบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น รูปร่างของใบไม้สามารถใช้อธิบายชื่อของพืชได้ และรูปร่างโคโลนีของแบคทีเรียสามารถใช้ในการจำแนกชนิดของมันได้ จะเห็นว่ามอร์โฟโลยีในทางชีววิทยา เป็นการแบ่งแยกโดยอาศัยรูปร่าง (เช่น วงรี วงกลม ลายเส้น เป็นต้น), ชนิดและระดับของความผิดปกติ (เช่น ความเว้า ผิวเรียบหรือไม่เรียบ เป็นต้น) และโครงสร้างภายใน (เช่น รูปร่างลักษณะที่เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง เป็นต้น) ของส่วนประกอบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำมอร์โฟโลยีมาใช้ในทางคณิตศาสตร์ หรือ Mathematical Morphology (MM) จะใช้ทฤษฎีเซตมาเป็นพื้นฐานในการศึกษาโครงร่างของวัตถุ โดยมีทฤษฎีทางเรขาคณิตเป็นส่วนเสริม เมื่อนำ MM มาใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัล งานส่วนใหญ่ที่ใช้ MM คือการกรองข้อมูลภาพ และการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต โดยมี Minkowski และ Hadwiger ได้พัฒนาและนำมาใช้ในยุคเริ่มต้น ซึ่งจะเน้นไปในทางทฤษฎีการวัดทางเรขาคณิตและ Integral Geometry ต่อมา Matheron และ Serra ได้นำ MM ไปศึกษาโครงสร้างของแร่ Ecole ในเมือง Fontainebleau ประเทศฝรั่งเศส พวกเขาไม่เพียงแต่พัฒนาสูตรขึ้นมาใหม่ตามแนวคิดของการแปลงรูปภาพในเชิงมอร์โฟโลยี แต่พวกเขายังได้สร้างระบบการวิเคราะห์เนื้อภาพ (Texture Analysis) ต่อมา Sternberg ได้นำ MM มาศึกษาในและพัฒนาแนวคิดขึ้นมาใหม่ในแนวของทฤษฎีทางพีชคณิต เพื่อใช้ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลภาพดิจิทัล ซึ่งท่านที่สนใจในเรื่องแนวคิดและการพัฒนา MM ตั้งแต่อายุเริ่มต้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือทั้งสองเล่มของ Serra ในเอกสารอ้างอิง [4] และ [42]

การนำ MM มาใช้ประมวลผลภาพในยุคเริ่มต้น เป็นการนำมาใช้อธิบายการประมวลผลภาพไบนารีในเชิงบูลีน ต่อมา Sternberg และ Serra ได้พัฒนาแนวคิดเพื่อให้ครอบคลุมการประมวลผลภาพเกรย์สเกลด้วย โดยใช้แนวคิดที่ขาดต่อการนำมาใช้งานที่เรียกว่า “อัมบรา” ที่อยู่ในรูปของฟังก์ชัน ซึ่งเมื่อนำฟังก์ชันนี้มาใช้กำหนดตัวดำเนินการพื้นฐานของ MM คือ ตัวดำเนินการ ไคเลชัน (Dilation) และอีโรชัน (Erosion) ก็ปรากฏว่า ไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดี (Divergence) ซึ่งต่อมา Sternberg ได้พิจารณาตัวดำเนินการกับภาพเกรย์สเกลโดยใช้แนวคิดเดิมกับภาพไบนารี คือกลับมาใช้ Minkowski ซึ่งเป็นแนวคิดเดียวกันกับที่ Serra ได้เขียนไว้ในหนังสือ MM [4] ของเขา

### 3.8 ตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์โฟโลยี

ทฤษฎีเซต เป็นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในมอร์โฟโลยีสำหรับการประมวลผลภาพเซตที่นำมาใช้ในมอร์โฟโลยีจะใช้แทนกลุ่มของรูปร่างของวัตถุ ไม่ว่าจะเป็นภาพไบนารีหรือภาพเกรย์สเกล เซตของกลุ่มจุดภาพที่มีสีค่าในข้อมูลภาพไบนารีจะแทนรูปร่างของวัตถุในภาพ ส่วนในภาพเกรย์สเกลเซตจะใช้แทนกลุ่มระดับความเข้มของจุดภาพ

เซตที่ใช้ในมอร์โฟโลยี ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ เป็นเซตที่อยู่ในปริภูมิยูคลิดีียน (Euclidean Space) ภาพไบนารีจัดเป็นเซตที่อยู่ในปริภูมิยูคลิดีียนสองมิติ โดยจะถือว่ากลุ่มจุดสีค่าในภาพจะแทนพื้นที่ของวัตถุแต่ละชิ้นในภาพไบนารี ส่วนเซตต่างๆ ที่อยู่ในปริภูมิสามมิติอาจจะใช้แทนภาพไบนารีที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรืออาจจะใช้แทนข้อมูลภาพเกรย์สเกล และเซตที่อยู่ในปริภูมิยูคลิดีียนที่มีมิติมากกว่านี้ ก็จะใช้แทนข้อมูลที่มีรายละเอียดเพิ่มมากขึ้น เช่น ภาพสี หรือข้อมูลภาพสีที่มีหลายช่วงคลื่น อย่างภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเรากำหนดให้  $E$  เป็นเซตใดๆ ในปริภูมิยูคลิดีเดียนที่มี  $N$  มิติ ดังนั้นการแทนข้อมูลภาพชนิดต่างๆ ในปริภูมินี้สามารถเขียนแทนได้โดย  $E^N$  ทำให้ตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์โฟโลยีซึ่งมีอยู่สองตัวคือไคเลชันและอีโรชัน ซึ่งเป็นการกำหนดในเชิงพีชคณิตที่อาศัยเซตใน  $E^N$  ในการสร้างตัวดำเนินการ โดยตัวดำเนินการพื้นฐานทั้งสองตัวนี้ สามารถนำไปประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพไบนารี การหาโครงร่างของวัตถุในภาพ เป็นต้น

- ไคเลชัน

สิ่งที่ได้เกริ่นนำเอาไว้แล้วว่า มอร์โฟโลยีตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีเซต เพื่อให้การศึกษาในเรื่องนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ก็จะขอกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ดำเนินการทางเซต เฉพาะในส่วนที่นำมาใช้กำหนดตัวดำเนินการมอร์โฟโลยี การดำเนินการอย่างแรกที่มีส่วนสำคัญอย่างมากในมอร์โฟโลยีคือ “ทรานสเลชัน (Translation)” หรือการย้ายจุดของเซต ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$A_t = \{c | c = a + t, a \in A\} \quad (3.10)$$

เมื่อกำหนดให้  $A$  เป็นเซตใดๆ ที่อยู่ใน  $E^N$  ส่วนจุด  $t$  ใดๆ ก็อยู่ในปริภูมิเดียวกับ  $A$  เช่นกัน ตัวอย่างของการย้ายจุดใน  $A$  ไปเป็นระยะทาง  $t$  เช่นกำหนดให้  $A \in E^2$  และจุด  $t = (3,2)$  ดังนั้น  $A_{(3,2)}$  จึงเป็นการย้ายทุกจุดที่อยู่ใน  $A$  ไปเป็นระยะทางเท่ากับ 3 ตามแนวนอน และย้ายทุกจุดไปตามแนวตั้งเท่ากับ 2 อย่างเช่นถ้าจุดแรกของ  $A$  อยู่ที่  $(1,0)$  ดังนั้นจุดนี้จะถูกย้ายไปอยู่ที่  $(1,0) + (3,2) = (4,2)$  และจุดอื่นๆ ก็จะถูกดำเนินการในลักษณะเดียวกัน ซึ่งเราจะได้เห็นในตัวดำเนินการไคเลชันที่จะกล่าวถึงต่อไป

ตัวดำเนินการทางเซตอีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก ในการกำหนดตัวดำเนินการอีโรชันคือ “รีฟเลกชัน (Reflection)” ซึ่งกำหนดได้โดย

$$-A = \{c | c = -a, a \in A\} \quad (3.11)$$

ซึ่งเป็นการหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 180 องศา โดยในทางมอร์โฟโลยีจะถือว่า  $-A$  เป็นการหาค่าคอมพลีเมนต์ของเซต  $A$  ในอีกรูปแบบหนึ่งทีนอกเหนือไปจากการหาค่าคอมพลีเมนต์ของเซตในแบบทั่วไปคือ  $A^c = \{a \in E^N | a \notin A\}$  ซึ่งถือว่าเป็นการหาค่าคอมพลีเมนต์ในทางตรรกศาสตร์ ส่วน  $-A$  เป็นการดำเนินการในเชิงเรขาคณิต [42]

อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของเซต  $A$  และ  $B$  ผลลัพธ์ที่ได้เป็นเซตของสมาชิกที่ร่วมกันอยู่ทั้งในเซต  $A$  และ (and,  $\wedge$ )  $B$  ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$A \cap B = \{c | (c \in A) \wedge (c \in B)\} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยูเนียน (Union) ของเซต  $A$  และ  $B$  ผลลัพธ์ที่ได้เป็นเซตของสมาชิกที่อยู่ใน  $A$  หรือ (or,  $\vee$ ) อยู่ใน  $B$  หรืออาจจะอยู่ที่ทั้งใน  $A$  และใน  $B$  ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$A \cup B = \{c | (c \in A) \vee (c \in B)\} \quad (3.13)$$

และตัวดำเนินการสุดท้ายที่จะกล่าวถึงคือ “ดิฟเฟอเรนซ์ (Difference)” ซึ่งเป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างเซต และสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$A - B = \{c | (c \in A) \wedge (c \notin B)\} \quad (3.14)$$

ในสมการนี้เป็นการหาความแตกต่างของเซต  $A$  กับ  $B$  หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ การหาอินเตอร์เซกชันของ  $A$  กับ  $B^c$  ( $A \cap B^c$ )

โคเลชันที่ใช้ประมวลผลข้อมูลที่เป็นไบนารี ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Minkowski [42] แต่ในการนำเสนอครั้งนั้นจะเรียกว่า “Minkowski Addition” หรือการบวกแบบ Minkowski ซึ่งสามารถกำหนดในรูปของสมการ [43] ได้ดังนี้

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (3.15)$$

เมื่อสัญลักษณ์  $\oplus$  ใช้แทนตัวดำเนินการโคเลชัน และโคเลชันของเซต  $A$  ด้วยเซต  $B$  เป็นการหาการยูเนียนของทรานสเลชันด้วยจุด  $b$  ซึ่งเป็นสมาชิกของ  $B$  ในกรณีนี้เราจะพิจารณาเซต  $A$  เป็นรูปภาพที่จะนำมาประมวลผลด้วยเซต  $B$  โดยที่เซต  $B$  จะมีรูปร่างเฉพาะตามแบบของการนำไปใช้งาน ซึ่งในทางมอร์โฟโลยีเซตที่นำไปประมวลผลรูปภาพจะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า “สตรักเจอร์อิเลเมนต์ (Structuring Element)”

ในการอธิบายแนวความคิดของโคเลชันจะกำหนดให้  $A, B \in E^2$  ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าสมาชิกของเซต  $A = \{(0,1), (1,1), (2,1), (2,2), (3,0)\}$  ส่วนสมาชิกของเซต  $B = \{(0,0), (0,1)\}$  ถ้าให้  $C$  เป็นเซตของผลลัพธ์ที่ได้จากโคเลชันนั้นคือ  $C = A \oplus B$  เมื่อคำนวณตามสมการที่ (3.15) เราสามารถเขียนการประมวลผลในตัวอย่างนี้ได้ใหม่ว่า

$$A \oplus B = A_{(0,0)} \cup A_{(0,1)} \quad (3.16)$$

ซึ่งก็คือ

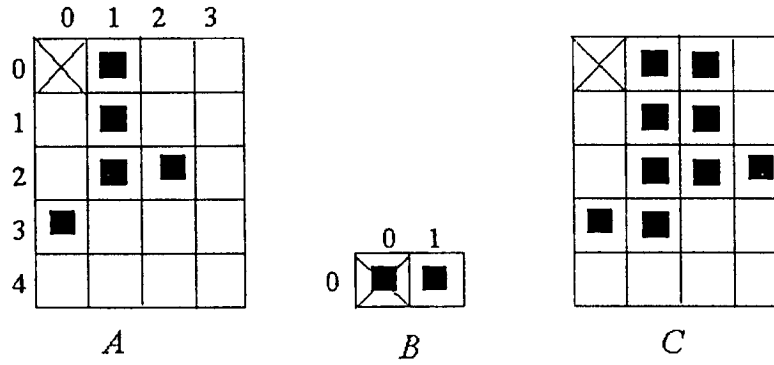
$$\begin{aligned} A_{(0,0)} &= \{(0,1), (1,1), (2,1), (2,2), (3,0)\} + \{(0,0)\} \\ &= \{(0,1), (1,1), (2,1), (2,2), (3,0)\} \end{aligned}$$

ส่วน

$$\begin{aligned} A_{(0,1)} &= \{(0,1), (1,1), (2,1), (2,2), (3,0)\} + \{(0,1)\} \\ &= \{(0,2), (1,2), (2,2), (2,3), (3,1)\} \end{aligned}$$

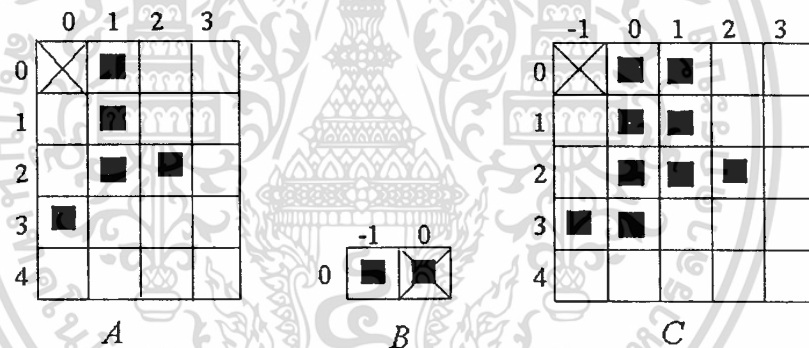
เมื่อนำทั้งสองส่วนมายูเนียนกัน ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ  $C$  อย่างที่เห็นในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



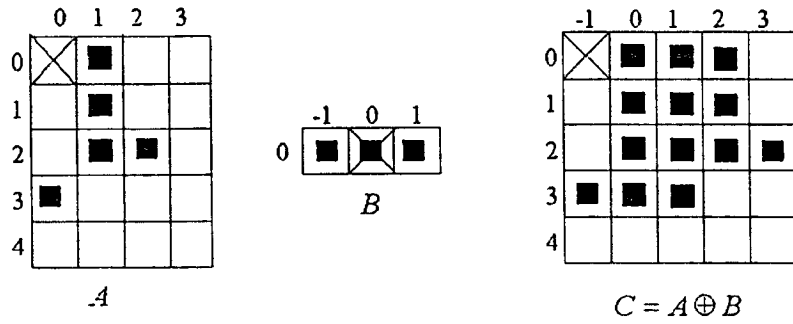
รูปที่ 3.6 การดำเนินการโคเลชันบนเซตไบนารี

ภาพบาทในรูปที่ 3.6 หมายถึงจุดเริ่มต้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อจุดเริ่มต้นของ  $B$  เปลี่ยนไปอย่างเช่น ถ้าจุดเริ่มต้นของ  $B$  เปลี่ยนจากจุดทางซ้ายมาเป็นจุดทางขวา จุด  $(0,0)$  ที่อยู่ทางซ้ายก็จะอยู่ที่ตำแหน่ง  $(0, -1)$  ( $B = \{(0,-1), (0,0)\}$ ) ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเปลี่ยนไป ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.7 คือจุดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากโคเลชันจะมาปรากฏอยู่ทางซ้ายของจุดเดิมของเซต  $A$



รูปที่ 3.7 ผลของจุดเริ่มต้นในเซต  $B$  ของการดำเนินการโคเลชันบนเซตไบนารี

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างกันของรูปที่ 3.6 กับรูปที่ 3.7 ก็จะพบกับคำถามที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ “เราควรจะกำหนดรูปแบบของสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์อย่างไร” เนื่องจากในรูปที่ 3.6 จุดภาพที่เพิ่มขึ้นจะปรากฏอยู่ทางขวามือของรูปเดิม ( $A$ ) ถ้าเราต้องการให้จุดที่เพิ่มขึ้นอยู่ทางซ้าย ก็เพียงแค่เปลี่ยนจุดเริ่มต้นของสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์  $B$  ให้มาอยู่อีกด้านหนึ่ง ข้อสังเกตที่น่าสนใจและมีความสำคัญอีกข้อหนึ่งต่อการประมวลผลภาพด้วยมอร์โฟโลยีคือ การแยกส่วนรูปร่างของสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ (Structuring Element Decomposition [44]) ถ้าเราสังเกตให้ดีก็จะพบว่าถ้าเราเขียนสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ของรูปที่ 3.6 กับรูปที่ 3.7 เข้าด้วยกันคือ  $B = \{(0,-1), (0,0), (0,1)\}$  แล้วนำไปโคเลชันกับเซต  $A$  ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือเซต  $C$  ของรูปที่ 3.6 กับรูปที่ 3.7 มาเขียนกันนั่นเอง (ดูรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 ผลของการรวมสตรักเจอร์จริงอีลีเมนต์ของรูปที่ 3.6 กับรูปที่ 3.7 เข้าด้วยกัน

- อีโรชัน

อีโรชันเป็นตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์ฟอโลยีอีกตัวหนึ่งที่คู่กับไคเลชัน หรือสามารถกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า “อีโรชันกับไคเลชันมีคุณสมบัติเป็น Duality กัน” เนื่องจากไคเลชันก็คือ Minkowski Addition ส่วนอีโรชันก็มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับ Minkowski Subtraction [36] ถ้าเราพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของผลลัพธ์ ก็จะพบว่าไคเลชันใช้ในการเพิ่ม, ขยาย, หรือเติมข้อมูล อย่างในกรณีของภาพไบนารีไคเลชันก็จะเพิ่มขนาดของวัตถุในชั้นรอบนอก ส่วนจะเพิ่มมากน้อยขนาดไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับสตรักเจอร์อีลีเมนต์ ส่วนผลของอีโรชันจะเป็นไปในทางตรงกันข้าม อย่างในกรณีของภาพไบนารีอีโรชัน จะทำการลบข้อมูลชั้นนอกสุดของวัตถุออก

Minkowski subtraction หรือการลบกันแบบของ Minkowski ซึ่งสามารถกำหนดไว้ดังนี้

$$(A \ominus B)_{(i,j)} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } (-B)_{(i,j)} \cup A = A \\ 0, & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.17)$$

เมื่อ  $A, B \in E^N$  และ  $-B = \{(-i, -j); (i, j) \in B\}$  ก็คืออีร์เฟลทชันของ  $B$  ดังที่ได้กำหนดไว้ในสมการที่ (3.11)

ความจริงอย่างหนึ่งของตัวดำเนินการอีโรชันของเซต  $A$  โดยสตรักเจอร์อีลีเมนต์  $B$  จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการลบแบบ Minkowski ของเซต  $-B$  ซึ่งสามารถเขียนสมการที่ (3.18) เสียใหม่ให้อยู่ในรูปของอีโรชันได้ดังนี้

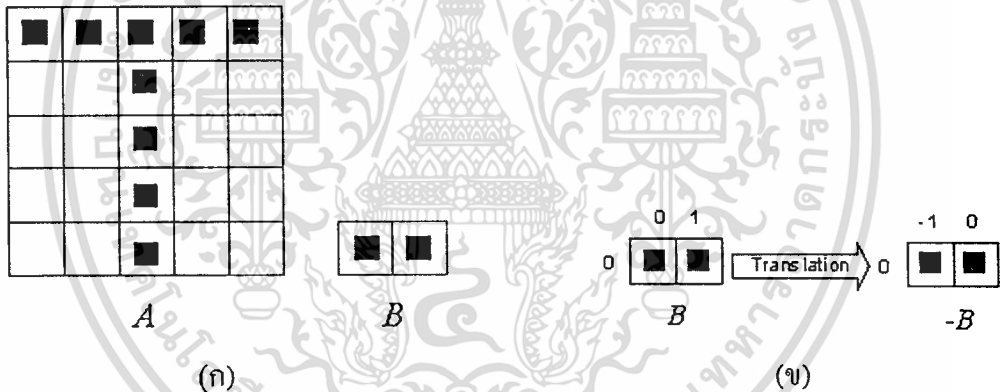
$$(A \ominus (-B))_{(i,j)} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } (B)_{(i,j)} \cup A = A \\ 0, & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.18)$$

ในการประมวลผลภาพด้วยอีโรชันเซต  $B$  ย่อมมีขนาดเล็กกว่าเซต  $A$  ดังนั้นเราต้องใช้วิธีการเลื่อนตำแหน่งของ  $B$  ไปบนเซต  $A$  หรือ ทรานสเลชันอย่างที่ได้กำหนดไว้ในสมการที่ (3.10) ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้วิธีการไปดึงข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ที่มีขนาดเท่ากับเซต  $B$  มาประมวลผล ถ้าให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_i \in A$  เป็นข้อมูลที่ดึงมาประมวลผลกับเซต  $B$  ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการที่ (3.18) เสียใหม่จะได้ว่า

$$(A \ominus (-B))_{(i,j)} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } (B)_{(i,j)} \cup a_i = a_i \\ 0, & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.19)$$

คูตัวอย่างการประมวลผลภาพไบนารีด้วยตัวดำเนินการอีโรชันในรูปที่ 3.10 โดยมีรูปที่ 3.9 เป็นเซตที่นำไปใช้ประมวลผล ให้  $A$  เป็นเซตของรูปภาพไบนารี ส่วน  $B$  เป็นเซตของสตรักเจอร์อิเลเมนต์ข้อมูลในรูปนี้เราจะใช้รูปสี่เหลี่ยมสีดำแทนจุดภาพที่เรียงต่อกันเป็นวัตถุ อย่างในรูปที่ 3.9(ก) จุดภาพของวัตถุในเซต  $A$  เรียงต่อกันเป็นรูปตัว T ส่วนสตรักเจอร์อิเลเมนต์ในเซต  $B$  จะมีจุดสีดำเรียงต่อกันในแนวนอนสองจุด เมื่อเรานำไปหาค่า  $-B$  ก่อนที่จะนำไปใช้ในอีโรชัน จะมีรูปร่างไม่แตกต่างจากเดิม คือจุดภาพยังคงเรียงตัวในแนวนอนเหมือนเดิม แต่จะแตกต่างกันตรงที่ตำแหน่งของจุดภาพจะเปลี่ยนไป อย่างที่เห็นในรูปที่ 3.9(ข) เมื่อกำหนดให้  $B$  มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่  $(0,0)$   $-B$  ก็จะมีตำแหน่งแรกเปลี่ยนไปเป็น  $(0,-1)$



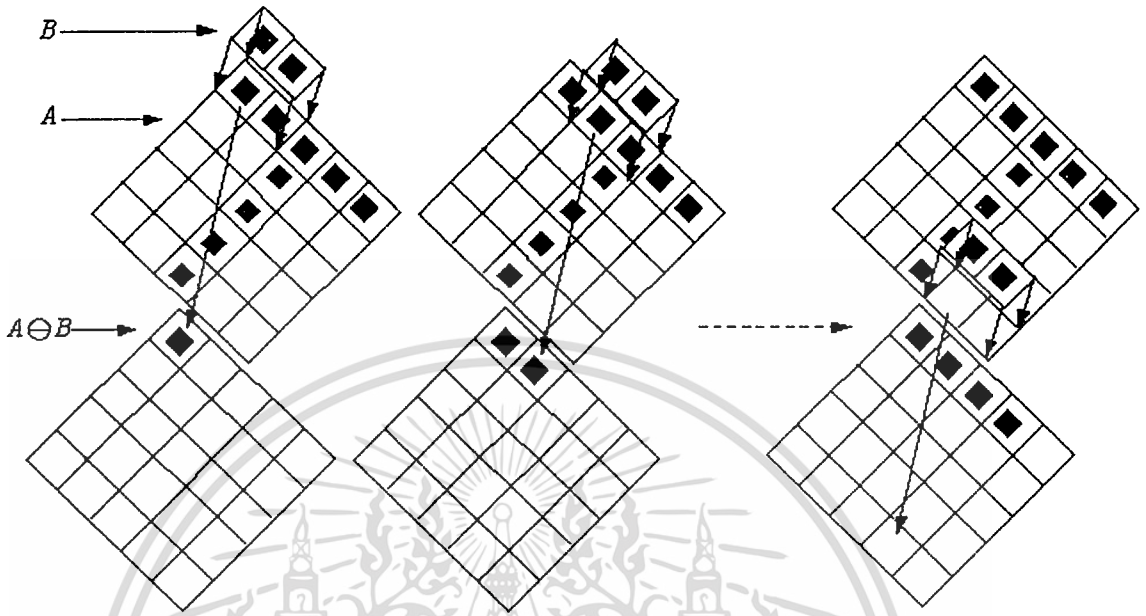
รูปที่ 3.9 (ก) เซต  $A$  ภาพไบนารี และเซต  $B$  แทนสตรักเจอร์อิเลเมนต์, (ข) ทรานสเลชันของ  $B$

การประมวลผลของตัวดำเนินการอีโรชันโดยการทรานสเลชันเซต  $B$  ด้วย  $t$  ในรูปที่ 3.10 ได้ดำเนินการตามสมการที่ (3.20) คือ  $a_0$  ในตำแหน่งแรกของรูปภาพ ให้มีขนาดเดียวกับ  $B$  แล้วนำมาเขียนทับกับ  $B$  ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ยังคงเท่ากับ  $a_0$  ผลการดำเนินการอีโรชันในตำแหน่งนี้ก็จะมามีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลื่อนตำแหน่งการดึงข้อมูลจาก  $A$  ไปเรื่อยๆ ไปจนครบทุกจุดของ  $A$  ก็จะได้ผลของอีโรชัน ถ้าสังเกตในคอลัมน์สุดท้ายของรูปที่ 3.10 คือที่  $a_{20} = \{0, 0\}$  แต่ผลการเขียน  $B \cup a_{20} = \{1, 1\}$  ซึ่งไม่เท่ากับ  $a_{20}$  ดังนั้นผลลัพธ์ของอีโรชันที่ตำแหน่งนี้จึงเท่ากับ 0

จากสมการที่ (3.18) และ (3.19) จะเห็นว่าเงื่อนไขที่เราสนใจคือ เงื่อนไขที่ทำให้ผลของอีโรชันเป็นจริง (True) หรือมีค่าเท่ากับ 1 นั่นคือ  $B_x \cup A = A$  เมื่อ  $x \in A$  ซึ่งถ้าพิจารณาอีกนัยหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามทฤษฎีเซตก็คือ  $B_x \subseteq A$  ซึ่งถ้าเงื่อนไขเป็นจริงอีโรชันก็จะมีผลลัพธ์เท่ากับ 1 ดังนั้น อีโรชันสามารถจะเขียนเป็นสมการได้ในอีกรูปแบบหนึ่งเป็น



รูปที่ 3.10 การดำเนินการอีโรชันโดยการทรานสเลชันเซต  $B$  ด้วย  $t$

$$A \ominus B = \{x \in E^N \mid B_x \subseteq A\} \quad (3.20)$$

ในสมการที่ (3.20) สามารถอธิบายได้อีกนัยหนึ่งคือ “อีโรชันของ  $A$  โดย  $B$  เป็นเซตของทุกๆ จุดภาพ  $x$  ที่สตรัคเจอร์อีลิเมนต์  $B$  ถูกเลื่อนตำแหน่งจุดภาพด้วย  $x$  จะต้องสอดคล้องกับ  $A$  ณ จุดภาพนั้นๆ” ขอให้กลับไปดูตัวอย่างจากรูปที่ 3.10 กันอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในกรณีนี้

$$A = \{(0,0), (0,1), (0,2), (0,3), (0,4), (1,2), (2,2), (3,2), (4,2)\}, \text{ และ}$$

$$B = \{(0,0), (0,1)\}$$

ดังนั้น  $A \ominus B$  ตามสมการที่ (3.20) เป็นการเอาสมาชิกของ  $x \in A$  ในแต่ละจุดมาทรานสเลชันด้วยเซต  $B$  ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$B_{(0,0)} = \{(0,0), (0,1)\}$$

$$B_{(0,2)} = \{(0,2), (0,3)\}$$

$$B_{(0,4)} = \{(0,4), (0,5)\}$$

$$B_{(2,2)} = \{(2,2), (2,3)\}$$

$$B_{(4,2)} = \{(4,2), (4,3)\}$$

$$B_{(0,1)} = \{(0,1), (0,2)\}$$

$$B_{(0,3)} = \{(0,3), (0,4)\}$$

$$B_{(1,2)} = \{(1,2), (1,3)\}$$

$$B_{(3,2)} = \{(3,2), (3,3)\}$$

หลังจากที่ทรานสเลชันเซต  $B$  ด้วย  $x \in A$  ไปแล้ว ต่อไปก็มาตรวจสอบว่า  $B_x$  ที่จุดใดบ้างที่เป็นสับเซตของ  $A$  ซึ่งจะพบว่า

$$B_{(0,0)} = \{1, 1\} \text{ ซึ่งเป็นสับเซตของ } a_0 = \{1, 1\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$B_{(0,1)} = \{1, 1\}$  ซึ่งเป็นสับเซตของ  $a_1 = \{1, 1\}$

$B_{(0,2)} = \{1, 1\}$  ซึ่งเป็นสับเซตของ  $a_2 = \{1, 1\}$

$B_{(0,3)} = \{1, 1\}$  ซึ่งเป็นสับเซตของ  $a_3 = \{1, 1\}$

$B_{(0,4)} = \{1, 1\}$  ไม่เป็นสับเซตของ  $a_4 = \{1, 0\}$

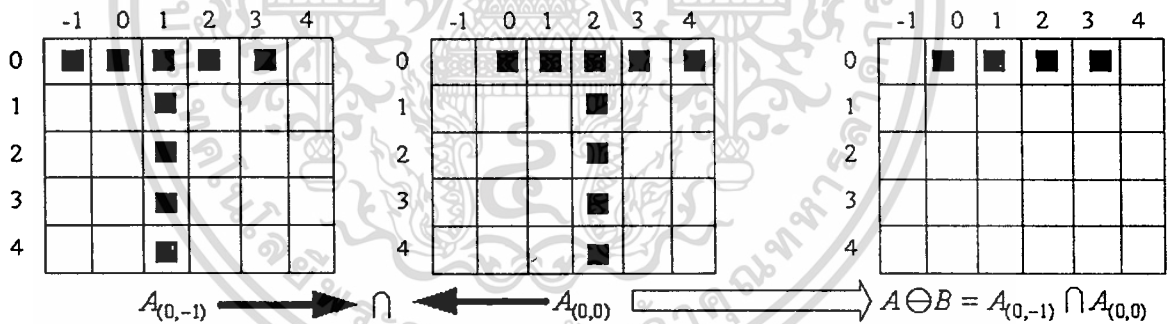
และจุดที่เหลือก็ไม่เป็นสับเซตของ  $a_i$  อย่างเช่น  $B_{(1,2)} = \{1, 1\}$  ไม่เป็นสับเซตของ  $a_5 = \{1, 0\}$  ...  $B_{(4,2)} = \{1, 1\}$  ไม่เป็นสับเซตของ  $a_8 = \{1, 0\}$  ดังนั้นผลลัพธ์ของ

$$A \ominus B = \{(0,0), (0,1), (0,2), (0,3)\}$$

การดำเนินการอีโรชันในสมการที่ (3.20) สามารถพัฒนาให้เข้าใจได้ง่ายและสอดคล้องกับคุณสมบัติ Duality กับตัวดำเนินการไคเลชันได้ดังสมการต่อไปนี้

$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} A_{-b} \tag{3.21}$$

จะเห็นว่ารูปแบบของสมการที่ (3.21) สามารถเขียนอยู่ในรูปของอินเตอร์เซกชันของ  $A$  ที่ถูกทรานสเลชันด้วยรีเฟลกชันของจุดต่างๆ ใน  $B$  ซึ่งมีรูปแบบที่สอดคล้องกับคุณสมบัติ Duality ของตัวดำเนินการไคเลชัน ที่เขียนในเทอมของยูเนียนดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (3.15) และสำหรับการประมวลผลตามสมการที่ (3.21) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 อีโรชันตามสมการที่ (3.21) โดยใช้เซต A และ B จากรูปที่ 3.9

### 3.9 คุณสมบัติของไคเลชันและอีโรชัน

การที่เราทราบคุณสมบัติของสิ่งต่างๆ ทำให้สามารถจัดการกับสิ่งเหล่านั้นได้อย่างถูกต้อง เช่นเดียวกับตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์โฟโลยี เมื่อเราทราบคุณสมบัติของมัน จะทำให้เราสามารถคาดเดาพฤติกรรมและผลลัพธ์ที่จะได้จากการประมวลผล สิ่งเหล่านี้ช่วยเราได้อย่างมากในเรื่องการเลือกใช้ตัวดำเนินการได้อย่างเหมาะสม เมื่อเราใช้วิธีการของมอร์โฟโลยีมาแก้ปัญหการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

ในกรณีที่เรากำหนดสตรักเจอร์อิงอิทีเมนต์  $B$  ขึ้นมาเซตหนึ่ง และนำไปใช้ในตัวดำเนินการไคเลชันและอีโรชัน ที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับ Minkowski Addition และ Minkowski Subtraction ตามลำดับ เพื่อให้คุณสมบัติที่จะกล่าวถึงสอดคล้องทั้งมอร์โฟโลยีและ Minkowski เราจำเป็นต้องเพิ่มข้อกำหนดเข้าไปในตัวดำเนินการอีโรชันของเซต  $A$  โดยเซต  $B$  เพื่อให้สอดคล้องกับ Minkowski Subtraction ของเซต  $A$  โดยเซต  $-B$  และตัวดำเนินการพื้นฐานของมอร์โฟโลยี ทั้งไคเลชันและอีโรชัน สามารถพิจารณาเป็นฟังก์ชันที่มีการส่งค่า (Mapping) จาก  $E^N \rightarrow E^N$  ซึ่งการส่งค่าของฟังก์ชัน Dilation และ Erosion จะมีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- คอมมิวนิเคชัน (Communication) คุณสมบัติข้อนี้จะเป็นจริงเฉพาะในไคเลชันเท่านั้น นั่นคือ

$$A \oplus B = B \oplus A$$

- Duality คุณสมบัติ Duality ของไคเลชันกับอีโรชัน เป็นเหมือนส่วนกลับของกันและกัน ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

$$A \oplus B = (A^c \ominus (-B))^c \quad \text{หรือ} \quad A \oplus (-B) = (A^c \ominus B)^c$$

$$A \ominus B = (A^c \oplus (-B))^c \quad \text{หรือ} \quad A \ominus (-B) = (A^c \oplus B)^c$$

จากคุณสมบัติ Duality ทำให้ทราบความจริงอย่างหนึ่งคือไคเลชันและอีโรชัน จะประมวลผลวัตถุกับสีพื้น อย่างไม่สมมาตรกัน

- Translation Invariant คือเราจะทราบสเลชันก่อนหรือหลังจากไคเลชันหรืออีโรชัน ก็ยังคงทำให้ผลลัพธ์เท่าเดิม นั่นคือ

$$A \oplus B_t = (A \oplus B)_t$$

$$A \ominus B_{-t} = (A \ominus B)_{-t}$$

จากคุณสมบัติ Translation Invariant ทำให้เกิดคุณสมบัติข้ออื่นๆ ตามมา คือ

- Increasing นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } A_1 \subseteq A_2 &\Rightarrow ((A_1 \oplus B) \subseteq (A_2 \oplus B)) \text{ และ} \\ &\Rightarrow ((A_1 \ominus B) \subseteq (A_2 \ominus B)) \end{aligned}$$

- ส่วนอีโรชันจะมีคุณสมบัติ Anti-extensive นั่นคือ

$$A \ominus B \subseteq A$$

- และส่วนไคเลชันจะมีคุณสมบัติ Extensive นั่นคือ

$$A \oplus B \supseteq A$$

สิ่งที่ได้ศึกษาไปในหัวข้อนี้คือตัวดำเนินการพื้นฐานอีโรชันและไคเลชัน ของไบนารีมอร์โฟโลยี นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของตัวดำเนินการ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานอย่างดี ในการทำความเข้าใจ เกรย์สเกลมอร์โฟโลยีที่จะศึกษากันในหัวข้อถัดไป

### 3.10 เกอรัยส์เกลมอร์โฟโลยี

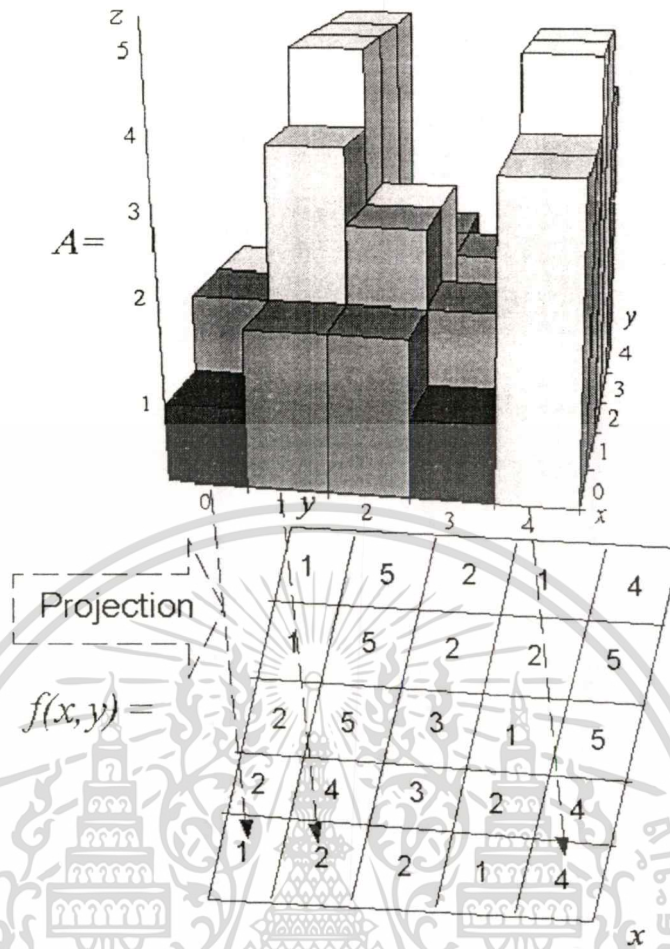
ในหัวข้อนี้จะศึกษาพัฒนาการของมอร์โฟโลยี จะเห็นว่าในยุคแรกของมอร์โฟโลยี ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับข้อมูลที่เป็นไบนารี และเมื่อต้องการนำมอร์โฟโลยีมาใช้กับภาพเกรย์สเกล ที่มีมิติของข้อมูลมากกว่าก็จำเป็นต้องพัฒนาวิธีการขึ้นมารองรับ ซึ่งการพัฒนาในยุคแรกที่มีทฤษฎีเซตของไบนารีเป็นพื้นฐาน ก็ต้องจำลองข้อมูลของภาพเกรย์ในลักษณะของไบนารี และต่อมาเมื่อเปลี่ยนจากเซตของไบนารีเป็นพีชชี รูปแบบการเข้ารหัสข้อมูลก็จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพัฒนาการต่างๆ เหล่านี้เราจะได้นำมาอธิบายกันในหัวข้อต่อไป

เพื่อขยายแนวความคิดของไบนารีมอร์โฟโลยีไปสู่ภาพเกรย์สเกล โดยคงคุณสมบัติของไบนารีมอร์โฟโลยีเอาไว้เช่นเดิม จึงได้มีการพัฒนาวิธีการต่างๆ ขึ้นมาหลายวิธีด้วยกัน และในที่นี้ได้นำเสนอแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญของเกรย์สเกลมอร์โฟโลยี ซึ่งประกอบด้วยอัมบรา (Umbra) [36], เทรสโฮลด์ดีคอมโพสิชัน (Threshold Decomposition) [25], คอมพลีตแลตทิซ (Complete Lattice) [45] และ ตรรกะพีชชี [23, 24] ซึ่งวิธีเหล่านี้ส่วนหนึ่งจะพัฒนามาจากอัมบราอย่างเช่น เทรสโฮลด์ดี-คอมโพสิชันและคณิตศาสตร์เชิงพีชชีซอฟต์มอร์โฟโลยี (Fuzzy soft mathematical morpho-logy) [48] สำหรับคอมพลีตแลตทิซและพีชชีอินคลูชัน [23, 26, 28] จะมีพื้นฐานมาจากพีชคณิต Minkowski [5] โดยในแต่ละวิธีจะได้อธิบายในรายละเอียดกันต่อไป

#### 3.10.1 อัมบรา

อัมบราเป็นเทคนิคแรกที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้กับภาพเกรย์สเกลอย่างได้ผล [4] โดยเทคนิคนี้จะสัมพันธ์กับวิธีการหาพื้นผิวบนสุด (Top Surface) เพื่อใช้สร้างตัวดำเนินการพื้นฐานให้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับไบนารีมอร์โฟโลยี

ก่อนที่จะศึกษาวิธีอัมบราก็ เราจะมาพิจารณาทฤษฎีที่สัมพันธ์กันก่อนคือ พื้นผิวบนสุด ซึ่งทฤษฎีนี้จะแสดงให้เห็นถึงแนวคิดพื้นฐานของอัมบราได้เป็นอย่างดี ถ้าเรากำหนด  $A$  เป็นเซตใดๆ ที่อยู่ในปริภูมิยูคลีเดียน  $N$  มิติ ในกรณีนี้เราต้องการให้  $A$  แทนเซตของรูปภาพเกรย์สเกล ซึ่งมักจะอธิบายข้อมูลชนิดนี้ในรูปของฟังก์ชัน  $f$  และเป็นที่ยอมรับกันดีอยู่แล้วว่าฟังก์ชันนี้ใช้มิติ  $N-1$  ในการระบุพิกัดของจุดภาพในสเปเชียลโดเมน (Spatial Domain) และข้อมูลหรือค่าของจุดภาพจะใช้อีกมิติหนึ่ง ซึ่งในภาพเกรย์สเกลข้อมูลจะถูกแทนในระนาบสามมิติ ( $N=3$ ) โดยสองมิติแรก ( $N-1=2$ ) จะใช้แทนตำแหน่งของจุดภาพตามแนวแกนนอน ( $x$ ) และในแนวตั้ง ( $y$ ) ส่วนค่าของจุดภาพจะอยู่บนแกนของความลึก ( $z$ ) และในระนาบของความลึกนี้เองที่ใช้แทนพื้นผิวของรูปภาพ ซึ่งแนวความคิดพื้นผิวบนสุดของเซต  $A$  จะเป็นฟังก์ชันที่ฉายภาพ (Projection) ของรูปภาพลงบนระนาบที่ใช้ระบุตำแหน่ง  $(x, y)$  สำหรับแต่ละจุดภาพในเซต  $A$  จะมีค่าจุดภาพ  $z$  ใดๆ มีค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ที่  $(x, y, z)$  อยู่ในเซต  $A$



รูปที่ 3.12 แนวคิดของพื้นผิวบนสุดโดย  $A$  แทนเซตรูปภาพ และ  $f(x, y)$  เป็นฟังก์ชันที่ฉายมาจาก  $A$

ในรูปที่ 3.12 เซต  $A$  แสดงเป็นรูปภาพแท่ง ที่แต่ละแท่งอยู่ในรูปแบบของลูกบาศก์ที่ใช้แทนจุดภาพในแต่ละจุด เซต  $A$  อยู่ในปริภูมิสามมิติ มีระนาบ  $x, y$  เป็นฐานของกราฟแต่ละแท่ง และตามแนวแกนของความลึก  $z$  แทนค่าความเข้มของจุดภาพซึ่งในรูปนี้  $z \in [1, 5]$  และเซต

$$A = \{(0,0,1), (0,1,2), (0,2,2), \dots, (4,4,4)\}$$

เมื่อเราฉายภาพจากเซต  $A$  ตามแนวความคิดของพื้นผิวบนสุด ก็จะได้ฟังก์ชันพื้นผิว  $f(x, y)$  ที่อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ซึ่งในรูปที่ 3.12  $f(x, y)$  มีขนาด  $5 \times 5$  และลูกศรที่เป็นเส้นประชี้จากเซต  $A$  ลงมายัง  $f(x, y)$  แทนการฉายภาพจากเซต  $A$  ไปยัง  $f(x, y)$  (ในรูปที่ 3.12 ได้วาดลูกศรไว้เพียงบางส่วนซึ่งที่จริงแล้ว ต้องฉายมาที่สมาชิกทุกตัวของ  $f(x, y)$ ) ดังนั้นพื้นผิวบนสุดในสมการที่ (3.22)  $T[A](0,0) = 1, T[A](0,1) = 2, \dots, T[A](4,4) = 4$

เมื่อกำหนดให้ข้อมูลภาพอยู่ในปริภูมิยูคลิดเบียน เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ในปริภูมินี้ด้วยแนวคิดของ Supremum สำหรับในกรณีที่  $A$  เป็นเซตที่ต่อเนื่อง ส่วนในกรณีที่  $A$  เป็นเซตที่ไม่ต่อเนื่อง เราสามารถใช้ Maximum หรือฟังก์ชัน Max ในการแสดงความสัมพันธ์ และเนื่องจาก  $A$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นข้อมูลภาพเกรย์สเกลซึ่งมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นเราจึงใช้ฟังก์ชัน Max จากข้อกำหนดต่างๆ ที่ได้นำเสนอไปแล้วนี้ ทำให้เราสามารถกำหนดพื้นผิวบนสุดได้ดังนี้

ให้  $A \subseteq E^N$  และ  $F = \{(x, y) \in E^{N-1} | \exists z \in E, (x, y, z) \in A\}$  พื้นผิวบนสุดของเซต  $A$  ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์  $T[A]$  ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์จาก  $F$  ไปยัง  $E$  สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$T[A](x, y) = \text{Max}\{z | (x, y, z) \in A\} \quad (3.22)$$

จากคำจำกัดความของพื้นผิวบนสุดของเซต  $A$  ใดๆ ที่เป็นสับเซตของปริภูมิยูคลิเดียนที่มี  $N$  มิติสามารถพิจารณาได้อีกกรณีหนึ่งว่า เซต  $A$  เป็นอัมบราด้วยเงื่อนไขต่างๆ ในนิพจน์ดังต่อไปนี้

$$\{A \subseteq E^{N-1} \times E \text{ เป็นอัมบรา}\} \Leftrightarrow \{(x, y, z) \in A\} \Rightarrow \{(x, y, t) \in A; \forall t \leq z\}$$

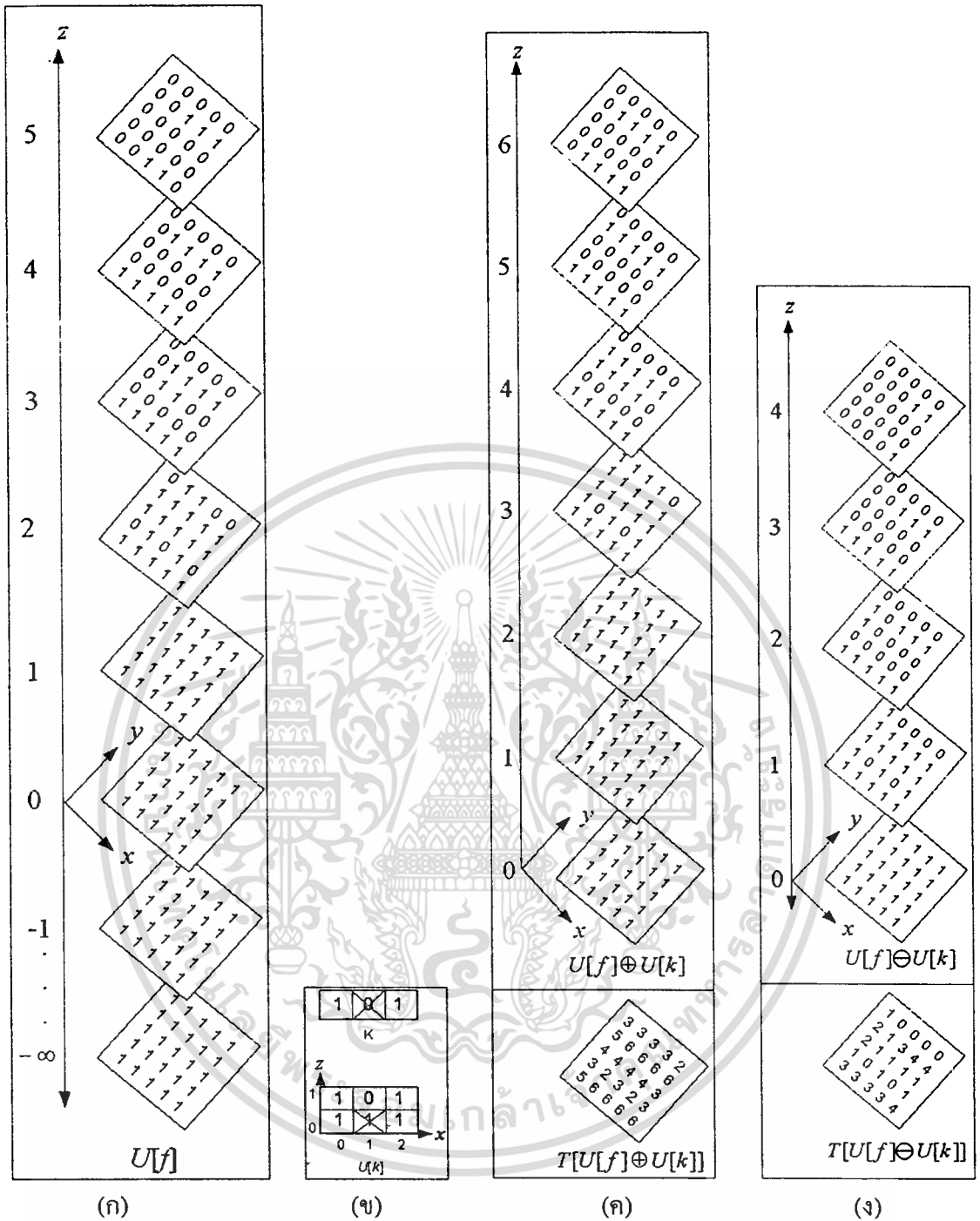
สำหรับฟังก์ชัน  $f$  ใดๆ ที่กำหนดขึ้นในสับเซต  $F$  ของปริภูมิยูคลิเดียนที่มี  $N-1$  มิติ Umbra ของ  $f$  จะเป็นเซตที่ประกอบไปด้วยพื้นผิว  $f$  และทุกส่วนที่ถูกปกคลุมด้วยพื้นผิวนี้นี้ ดังนั้นถ้ากำหนดให้  $F \subseteq E^{N-1}$  และ  $f: F \rightarrow E$  สามารถกล่าวได้ว่าอัมบราของฟังก์ชัน  $f$  ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์  $U[f]$  เมื่อ  $U[f] \subseteq F \times E$  สามารถกำหนดได้โดย

$$U[f] = \{(x, y, z) \in F \times E | z \leq f(x, y)\} \quad (3.23)$$

เมื่อ  $f(x, y)$  เป็นฟังก์ชันที่แทนค่าของจุดภาพที่อยู่ตำแหน่ง  $(x, y)$

ในรูปที่ 3.13 ได้แสดงอัมบราของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ที่มีขนาด 25 จุดภาพ ( $5 \times 5$ ) ซึ่งในที่นี้ได้ใช้  $f(x, y)$  จากตัวอย่างของ Top Surface ในรูปที่ 3.12 จากรูปที่ 3.13(ก) จะเห็นว่า  $U[f]$  รวมเอาพื้นผิวบนสุด:  $f(x, y)$  และส่วนที่อยู่ภายใต้การปกคลุมของพื้นผิว  $f(x, y)$  ทั้งหมด จะเห็นว่า  $U[f]$  ได้รวมเอากรณีที่  $z$  มีค่าเป็นลบด้วย แต่ในกรณีของภาพเกรย์สเกล  $z < 0$  จะมีค่าเป็นหนึ่งทั้งหมด ดังนั้นในกรณีทั่วไปก็จะแสดงไว้เฉพาะกรณีที่  $z \geq 0$  เท่านั้น

จากรูปที่ 3.13(ก) ได้แสดงค่า  $f(x, y)$  เฉพาะที่ค่า  $z$  ที่มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม โดยได้ตัดให้เห็นในแต่ละชั้นของค่า  $z$  ส่วนค่าในแต่ละช่องของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ที่มีค่าเป็น 1 แสดงว่าที่จุดภาพนั้นเป็นส่วนหนึ่งของ  $U[f]$  และในแต่ละชั้นของ  $f(x, y)$  จะเป็นเหมือนกับภาพไบนารีอย่างในกรณีที่  $z = 4$  จะได้ค่าอัมบราในชั้นนี้ดังนี้



รูปที่ 3.13 วิธีอัมบรา (ก) อินพุตที่จัดอยู่ในรูปแบบอัมบรา (ข) สตริงเจริงอีลิเมนต์ (ค) โคลเลชัน (ง) อีโรชัน

$$U[f](z=4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในช่องที่มีค่าเป็น 1 ก็คือช่องที่  $f(x, y) \geq 4$  ส่วนค่า  $f(x, y) < 4$  จะมีค่าเป็น 0 หรือไม่อยู่ในเงื่อนไขของอัมบรานั้นเอง

ในรูปที่ 3.13(ข) ได้แสดงอัมบราของสตริกเจอร์ริงอีลีเมนต์ของเซต  $K$  เมื่อทั้งเซต  $A$  และ  $K$  ถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลไบนารีแล้ว ก็สามารถจะประมวลผลด้วยตัวดำเนินการไบนารีไคเลชันและอีโรชัน (ซึ่งได้กำหนดไว้ในสมการที่ (3.15) และ (3.16) ของหัวข้อก่อนหน้านี้) กับอัมบราในแต่ละชั้น แต่รูปแบบการประมวลผลจะแตกต่างจากเดิม ก็จะต้องเพิ่มมิติของความลึกเข้าไป และผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลได้แสดงไว้ในรูป (ค) และ (ง)

จากรูปที่ 3.13(ค) และ (ง) เราได้เห็นแนวคิดและกระบวนการสร้างตัวดำเนินการพื้นฐานมอร์โฟโลยีที่ใช้กับข้อมูลภาพเกรย์สเกล แนวคิดที่ใช้ในการกำหนดตัวดำเนินการเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีในที่นี้จะใช้พื้นผิวบนสุดร่วมกับอัมบรา ทำให้เราสามารถสร้างตัวดำเนินการไคเลชันและอีโรชันขึ้นมาได้ดังข้อกำหนดต่อไปนี้

กำหนดให้เซต  $F$  และ  $K$  อยู่ในปริภูมิยูคลิดีียนที่มีมิติ  $N-1$  นอกจากนี้กำหนดให้  $f$  เป็นฟังก์ชันที่ทอดค่าจากเซต  $F$  ไปยังเซต  $E$  ส่วนฟังก์ชัน  $k$  ทอดค่าจากเซต  $K$  ไปยังเซต  $E$  เช่นกัน ดังนั้น Dilation ของฟังก์ชัน  $f$  โดย  $k$  ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์  $f \oplus k$  แทน และ  $f \oplus k$  ในที่นี้ก็คือการทอดค่าจากเซต  $F \oplus K$  ไปยังเซต  $E$  ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการไคเลชันได้ดังนี้

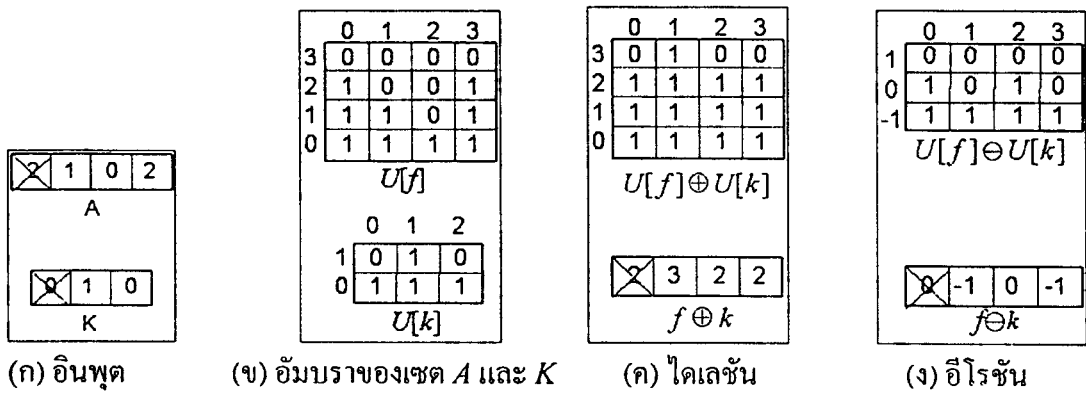
$$f \oplus k = T\{U[f] \oplus U[k]\} \quad (3.24)$$

ส่วนอีโรชันของฟังก์ชัน  $f$  โดย  $k$  ก็สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$f \ominus k = T\{U[f] \ominus U[k]\} \quad (3.25)$$

ตัวดำเนินการเกรย์สเกลมอร์โฟโลยี ที่ได้แสดงตัวอย่างการประมวลผลในรูปที่ 3.13 นั้น ดูค่อนข้างยากต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากกระบวนการประมวลผลมีความซับซ้อนที่ต้องกระทำในปริภูมิสามมิติ แต่ในรูปนี้ก็สามารถใช้แสดงแนวคิดรวบยอดทั้งหมดในการสร้างตัวดำเนินการอัมบราได้เป็นอย่างดี

ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.14 ที่ใช้ข้อมูลเพียงสองมิติ ( $y = 0$ ) จะช่วยทำให้มองเห็นภาพทั้งหมดของอัมบราได้ง่ายขึ้น จะเห็นว่าในไคเลชันก็จะยกเอาสตริกเจอร์ริงอีลีเมนต์ที่อยู่ในรูปของอัมบรา ( $U[k]$ ) ไปประมวลผลแบบไบนารีกับฟังก์ชัน Umbra ของรูปภาพ ( $U[f]$ ) ก็จะได้ผลการไคเลชัน ( $U[f] \oplus U[k]$ ) ดังรูป (ค) หลังจากนั้นก็ใช้ฟังก์ชันพื้นผิวบนสุด ก็จะได้ผลลัพธ์ของเกรย์สเกลไคเลชัน ( $f \oplus k$ ) ส่วนเกรย์สเกลอีโรชันก็ประมวลผลในลักษณะเดียวกับไคเลชัน ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูป (ง)



รูปที่ 3.14 การประมวลผลด้วยอัมบราและพื้นผิวบนสุด ของตัวดำเนินการไดเลชันและอีโรชัน

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทนำของเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีว่าอัมบรา เป็นแนวคิดพื้นฐานที่มีการพัฒนาต่อไปอีกหลายวิธีเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน อย่างวิธีเทรสโพลด์ดีคอมโพสิชันที่ Shih และ Mitchell [25] ได้พัฒนาเพื่อให้เหมาะกับการนำไปสร้างเป็นฮาร์ดแวร์ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพื้นฐานยังคงเหมือนกับอัมบรา

ส่วนเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีที่สร้างตัวดำเนินการจากคอมพลิเมนต์ที่ซ [45] และตรรกะพีชคณิต [23, 24] จะมีส่วนที่สัมพันธ์กันอยู่ซึ่งจะได้อธิบายในบทต่อไป

## บทที่ 4

# ฟัซซีมอร์โฟโลยี

### 4.1 บทนำ

อินพุต/เอาต์พุตของฟัซซีมอร์โฟโลยีจะอยู่ในฟัซซีโดเมน ตัวดำเนินการฟัซซีที่จะนำเสนอในที่นี้จะอาศัยฟัซซีอินคลูชัน (Fuzzy Inclusion) เป็นตัวตรวจหาความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูลภาพกับสตรีกเจอร์อิงอีลีเมนต์อย่างในตัวดำเนินการอีโรชันที่มีคุณสมบัติแวงของการตรวจหาความสัมพันธ์กันในการทำงานนี้ Sinha et al. [23] ได้ใช้คุณสมบัติของความสอดคล้องกันมาสร้างเป็นตัวดำเนินการฟัซซีมอร์โฟโลยี และเป็นที่น่าสังเกตว่า แม้ว่าการพัฒนาจะเจาะจงไปที่เรื่องฟัซซีมอร์โฟโลยี แต่ฟัซซีอินคลูชันที่สร้างขึ้นมาในรูปของฟังก์ชันคั่นนี้เป็นตัวที่ใช้จัดการกับความคลุมเครือ และสามารถพัฒนาต่อไปสู่ฟัซซีมอร์โฟโลยีในรูปแบบอื่นๆ ที่ปรากฏเด่นชัดที่สุดก็คือ ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของฟัซซีมอร์โฟโลยีที่พัฒนาไปสู่ฟัซซีพีเคชันของสับเซต

ในที่นี้จะแทนข้อมูลภาพไบนารีด้วยเซต  $A$  ซึ่งจะจำลองไว้ในรูปของสับเซตใน Cartesian Grid หรือระนาบ  $X Y$  ในปริภูมิยูคลิดियน จากกรณีนี้ถ้าเราจำลองฟัซซีเซต  $A$  ขึ้นมาแทนข้อมูลภาพไบนารีในลักษณะเดียวกันกับ  $A$  แต่โดเมนของ  $A$  จะอยู่ใน  $U$  ถ้าเราพิจารณาให้เซตไบนารี  $A$  เป็นเซตในอุดมคติและใช้  $A$  เป็นเซตแสดงความสัมพันธ์ในเชิงฟัซซี และมีระดับความสัมพันธ์เป็น  $\mu_A(v)$  แทนระดับความเป็นสมาชิกของประพจน์ “จุดภาพ  $v$  เป็นสมาชิกของรูปภาพไบนารี  $A$ ” ในกรณีที่เราแปลความหมายทางทฤษฎีฟัซซีเซตของค่าระดับความเป็นสมาชิก ค่าความเป็นสมาชิกของ  $A$  จะแทนความไม่แน่นอนที่อธิบายระดับความเป็นสมาชิกของ  $A$  ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์อย่างในภาพไบนารีในอุดมคติของ  $A$  เนื่องจากจุดประสงค์ของเราคือ การประมวลผลภาพด้วยมอร์โฟโลยีโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต และจะแสดงให้เห็นว่าระหว่างมอร์โฟโลยีกับฟัซซีเซตมีความเหมือนและความต่างกันมากน้อยเพียงใด อันที่จริงแล้วทั้งฟัซซีและมอร์โฟโลยีใช้แนวคิดร่วมกันอยู่คือแนวคิดของพีชคณิต Minkowski

ฟัซซีมอร์โฟโลยีมีการแปลงข้อมูลให้อยู่ในปริภูมิฟัซซี ด้วยกระบวนการฟัซซีพีเคชันที่ไม่ได้กระทำกับเฉพาะอินพุตเท่านั้นแต่จะรวมไปถึงสตรีกเจอร์อิงอีลีเมนต์ด้วย เพื่อจะควบคุมให้การดำเนินการทุกอย่างอยู่ในปริภูมิฟัซซีหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งตามหลักทางพีชคณิตคือ “ต้องทำให้อยู่ในปริภูมิย่อยหรือ Subspace” ตัวอย่างของเรื่องนี้ได้เห็นมาแล้วจากเรื่องเกรย์สเกลในหัวข้อก่อนหน้านี้ เนื่องจากปริภูมิย่อยที่กำหนดขึ้นมาคือปริภูมิย่อยของค่าเกรย์สเกลที่มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่รวมศูนย์เข้าไปด้วย เช่นภาพเกรย์สเกลที่เป็นแปดบิต เซตเอกภพสัมพัทธ์จะเป็นเลขจำนวนเต็มบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่ในช่วง  $[0, 255]$  แต่เมื่อนำข้อมูลภาพเกรย์ไปประมวลผลด้วยตัวดำเนินการมอร์โฟโลยีทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่อยู่ในเซตเอกภพสัมพัทธ์ คือผลของโคเลชันมีค่าที่อาจจะเกิน 255 ส่วน อิโรชันค่าที่ได้บางส่วนจะมีค่าเป็นลบ ในพีชซีมอร์โฟโลยีก็เช่นกัน Bloch et al. [3] ได้แนะนำเสนอเรื่องนี้เอาไว้

## 4.2 ข้อกำหนดพื้นฐานของพีชซีมอร์โฟโลยี

ขอกล่าว้อีกครั้งหนึ่งว่า พีชซีมอร์โฟโลยีที่นำเสนอในที่นี้เป็นเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีที่ต้องการสร้างตัวดำเนินการเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีโดยใช้ทฤษฎีพีชซีเซตเข้ามาเป็นเครื่องมือแทนที่จะใช้ปริภูมิของเซตธรรมดา แต่สิ่งที่ต้องคงไว้คือคุณสมบัติความเป็นมอร์โฟโลยี การสร้างหรือออกแบบพีชซีมอร์โฟโลยีมีลำดับในเชิงตรรกะอยู่สามขั้นตอนนี้ด้วยกันคือ

- การกำหนดสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งก็คือตัวเงื่อนไขต่างๆ ในปริภูมิ
- นำหลักหรือเงื่อนไขเบื้องต้นพิจารณาถึงความสอดคล้องต้องกัน
- สร้างตัวดำเนินการพื้นฐานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และต้องพยายามควบคุมสิ่งต่างๆ ให้เป็นไปตามเงื่อนไขมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

จากขั้นตอนการสร้างพีชซีมอร์โฟโลยีในข้อแรก เราจะต้องกำหนดขึ้นมาว่าจะให้ได้ผลลัพธ์เป็นอย่างไรหลังจากการประมวลผลด้วยพีชซีมอร์โฟโลยี เราได้เห็นจากเอกสารอ้างอิง [3, 23, 24, 28, 35] แล้วว่ามอร์โฟโลยีสามารถทำสิ่งต่างๆ ได้มากมาย ตั้งแต่การประมวลผลภาพในระดับล่างจนกระทั่งถึงการประมวลผลภาพในระดับสูง แต่เราต้องไม่ลืมว่ามอร์โฟโลยีในเชิงคณิตศาสตร์ ได้ถูกออกแบบไว้บนพื้นฐานของพีชคณิต ดังนั้นคุณสมบัติเบื้องต้นของมอร์โฟโลยีคือการย่อ ขยาย และกรองสัญญาณของข้อมูลภาพ อย่างการขยายในทางคณิตศาสตร์ก็คือคุณสมบัติ Extensivity การย่อก็คือ Anti-extensivity สำหรับการกรองสัญญาณนั้นในทางคณิตศาสตร์จะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น Increasing, Idempotence และรวมเอา Extensivity กับ Anti-extensivity เข้าไปด้วยเช่นกัน [4]

คุณสมบัติต่างๆ ที่จะนำเสนอไปแล้วนั้น ต่างก็เป็นคุณสมบัติที่มาจากไบนารีมอร์โฟโลยีที่กำหนดขึ้นมาในยุคแรก แต่เราก็ต้องหาจุดที่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับพีชซีเซตให้ได้ด้วย โดยคุณสมบัติที่กล่าวถึงจะเน้นหนักไปที่คุณสมบัติของตัวดำเนินการพื้นฐาน ส่วนตัวดำเนินการอื่นๆ ที่สร้างจากตัวดำเนินการพื้นฐานอย่างเช่น โอเพ่นิง(Opening) โคลซิง(Closing) หรือ ฮิตออร์มิสส์ (Hit-or-Miss) ก็จะมีคุณสมบัติบางอย่างเพิ่มเติมเข้ามา ดังนั้นคุณสมบัติของมอร์โฟโลยีที่จะนำเสนอได้แยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นคุณสมบัติเบื้องต้นซึ่งมีอยู่สี่อย่าง และคุณสมบัติที่เหลือจะเป็นคุณสมบัติทางพีชคณิต ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีบางส่วนที่มีความซ้ำซ้อนกันอยู่ซึ่งจะได้พิจารณากันต่อไป

### 4.3 คุณสมบัติเบื้องต้น

คุณสมบัติเบื้องต้นของมอร์ฟอโลยีในที่นี้จะแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงกับพีชคณิต เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการสร้างตัวดำเนินการพีชคณิตมอร์ฟอโลยี ซึ่งมีอยู่สี่ข้อด้วยกันคือ

1. Translation Invariance การแปลงของฟังก์ชัน  $\Psi$  ในพีชคณิตจะมีคุณสมบัติ Translation Invariance ก็ต่อเมื่อ

$$\forall \mu \in M, \forall t \in S \Rightarrow \Psi(\mu + t) = [\Psi(\mu)] + t$$

เมื่อ  $\mu + t$  เป็นพีชคณิตที่ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก  $\mu$  ถูกเลื่อนตำแหน่งไปที่จุด  $t$  ซึ่งก็คือ

$$\forall x \in S \Rightarrow \{(\mu + t)(x) = \mu(x + t)\}$$

จะไม่ผันแปรตามจุดกำเนิดของปริภูมิ  $S$

2. Homotheties พีชคณิตมอร์ฟอโลยีจะต้องสอดคล้องกับคุณสมบัติ Homotheties นั่นก็คือการแปลงด้วยฟังก์ชัน  $\Psi$  ในพีชคณิตจะเป็นไปตามหลักการนี้ก็คือเมื่อ

$$\forall \mu \in M, \forall \lambda \in (0,1] \Rightarrow (\Psi(\lambda\mu) = \lambda\Psi(\mu))$$

คุณสมบัติข้อนี้จะช่วยยืนยันว่าการแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะไม่ขึ้นอยู่กับสเกล  $\lambda$  ซึ่งในกรณีของพีชคณิตตัวแปรสเกล  $\lambda$  จะมีค่ามากกว่าศูนย์แต่จะไม่เกินหนึ่ง ที่กำหนดค่าสเกลให้อยู่ในช่วงนี้เพราะถ้าสเกลมีค่าเท่ากับศูนย์ผลการแปลงจะไม่อยู่ในปริภูมิของพีชคณิต เนื่องจากผลลัพธ์จากการแปลงจะมีค่าเท่ากับศูนย์

3. Local Information คุณสมบัติข้อนี้จะจริงก็ต่อเมื่อสารสนเทศหรือ Information ต่างๆ ของค่าความเป็นสมาชิก  $\mu$  ในวินโดว์  $Z^1$  จะต้องมีความสัมพันธ์ Sufficiency คือการดำเนินการใดๆ ในปริภูมินี้จะต้องรวบรวมเอาคุณลักษณะของสารสนเทศภายในวินโดว์ไว้ให้ได้มากที่สุด

4. Semi-continuity ปฏิบัติการ  $\Psi$  ที่เป็นคุณสมบัติ Increasing อยู่ในปริภูมิพีชคณิตจะมีขีดจำกัดบนเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Upper semi-continuous) ก็ต่อเมื่อ “มีอนุกรมจำนวน  $N (\mu_i)_{i \in N}$  ที่มีคุณลักษณะแบบ Decreasing ใดๆ อย่างเช่น  $\lim_{i \rightarrow \infty} \mu_i = \mu$ ” แล้ว “มีอนุกรม  $(\Psi(\mu_i))_{i \in N}$  ที่มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและลู่เข้าสู่ลิมิต  $\Psi(\mu)$ ” ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้

$$\overline{\lim_{i \rightarrow \infty} \Psi(\mu_i)} \subset \Psi(\mu)$$

เมื่อ  $\overline{\lim_{i \rightarrow \infty} \Psi(\mu_i)}$  เป็นขอบเขตบนของอนุกรม  $\Psi(\mu_i)$  เช่นการยูเนียนของจุดต่างๆ ที่อยู่ใกล้ๆ กัน

ส่วนขอบเขตล่างที่เป็นแบบกึ่งต่อเนื่องก็ถูกกำหนดโดยวิธีเดียวกัน และจะสัมพันธ์กับขีดจำกัดล่างของอนุกรม  $\Psi(\mu_i)$  และตัวปฏิบัติการต่างๆ ในปริภูมินี้จะต่อเนื่องก็ต่อเมื่อปริภูมิมีทั้งขีดจำกัดบนแบบกึ่งต่อเนื่องและขีดจำกัดล่างแบบกึ่งต่อเนื่อง

<sup>1</sup> โดยจะพิจารณา  $Z$  เป็นปริภูมิย่อย ซึ่งในทางการประมวลผลภาพ วินโดว์จะติกรอบแล้วเขาไปวางลงบนข้อมูลเอกสารถ่าย และดึงข้อมูลส่วนนั้นมาประมวลผล ซึ่งถ้าพิจารณาตามหลักสถิติแล้ววินโดว์เป็นวิธีการสุ่มตัวอย่างวิธีหนึ่ง ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติข้อนี้จะช่วยกำกับการแปลงในรูปแบบต่างๆ ให้มีความคงเส้นคงวา ในทฤษฎีเซตคุณสมบัติข้อนี้จะเกี่ยวข้องกับโทโพโลยีของตัวดำเนินการฮิตอร์มิสส์ ที่มีการปรับปรุงและนำมาใช้ในมอร์โฟโลยี ในทางปฏิบัติคุณสมบัติข้อนี้มักถูกตัดออกไปเนื่องจากปริภูมิที่ใช้เป็นปริภูมิที่ไม่ต่อเนื่อง

#### 4.4 คุณสมบัติทางพีชคณิต

คุณสมบัติทางพีชคณิตของมอร์โฟโลยี ที่นำไปประยุกต์กับงานต่างๆ ซึ่งมีอยู่แปดข้อด้วยกัน และจะใช้หมายเลขหัวข้อต่อจากคุณสมบัติเบื้องต้นเพื่อความสะดวกในการอ้างอิง ดังนั้นคุณสมบัติในส่วนนี้จะเริ่มจากข้อ 5 ถึงข้อ 12

5. Duality คุณสมบัติในข้อนี้เทียบได้กับการคอมพลิเมนต์ของเซตหรือฟังก์ชัน นั่นคือการแปลงเซตหรือฟังก์ชันด้วยตัวดำเนินการ  $\Psi$  ที่กำหนดให้ หรือการดำเนินการหาคอมพลิเมนต์เซตด้วยคู่ของตัวดำเนินการ  $\Phi$  เพื่อหาส่วนเติมเต็มให้กับอีกเซตหนึ่งที่สมมูลกัน เช่น  $\Psi(\mu) = (\Phi(\mu^c))^c$  Duality ในมอร์โฟโลยีจะมีตัวดำเนินการที่เป็นส่วนเติมเต็มของมันคือไคเลชันกับอีโรชัน และระหว่างโอเพ็นนิงกับโคลซิง

6. Increasing ตัวดำเนินการ  $\Psi$  จะมีคุณสมบัติ Increasing ก็ต่อเมื่อ

$$\forall (\mu, \mu') \in M^2, \mu \leq \mu' \Rightarrow \Psi(\mu) \leq \Psi(\mu')$$

ที่เครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ " $\leq$ " แทนการอินคลูชันในพีชชีเซต ตัวดำเนินการไคเลชันและโคลซิง จะมีคุณสมบัตินี้ด้วยเช่นกันเมื่อเทียบกับเซตของข้อมูลกับเซตของสตรัคเจอร์จีโอเมตริก ในขณะที่ตัวดำเนินการอีโรชันกับโอเพ็นนิงก็มีคุณสมบัตินี้เช่นกันเมื่อเทียบกับเซตของข้อมูล แต่ถ้าเทียบกับเซตสตรัคเจอร์จีโอเมตริกแล้ว อีโรชันกับโอเพ็นนิงจะตรงกันข้ามกับคุณสมบัตินี้คือ จะมีคุณสมบัติเป็น Decreasing เมื่อเทียบกับสตรัคเจอร์จีโอเมตริก

7. Extensivity กับ Anti-Extensivity ตัวปฏิบัติการ  $\Psi$  จะมีคุณสมบัติ Extensivity ก็ต่อเมื่อ

$$\forall \mu \in M, \Psi(\mu) \geq \mu$$

และในทางตรงกันข้ามตัวปฏิบัติการ  $\Psi$  จะมีคุณสมบัติ Anti-extensivity ก็ต่อเมื่อ

$$\forall \mu \in M, \Psi(\mu) < \mu$$

ตัวดำเนินการพื้นฐานมอร์โฟโลยีที่มีคุณสมบัติ Anti-extensivity คืออีโรชันและตัวดำเนินการประกอบอีกตัวหนึ่งคือโอเพ็นนิง ส่วนตัวดำเนินการไคเลชันกับโคลซิงจะมีคุณสมบัติ Extensivity ในกรณีของไบนารีมอร์โฟโลยีคุณสมบัติในข้อนี้ก็จะเป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว แต่ในพีชชีมอร์โฟโลยีจะต้องเพิ่มเงื่อนไขการกำหนดสตรัคเจอร์จีโอเมตริกเข้าไป เพื่อให้ไคเลชันและอีโรชันเป็นไปตามคุณสมบัติในข้อนี้ เช่นสตรัคเจอร์จีโอเมตริกที่เป็นไบนารี จะต้องมียุคเริ่มต้นที่ 0 เป็นต้น

8. Idempotence สำหรับคุณสมบัติ Idempotence เราจะต้องตรวจสอบตัวดำเนินการ  $\Psi$  ที่ใช้ใน

การแปลงว่ามีคุณสมบัติต่อไปนี้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\forall \mu \in M, \Psi(\Psi(\mu)) = \Psi(\mu)$$

ตัวดำเนินการมอร์โฟโลยีโอเพ่นนิ่งที่เกิดจากตัวดำเนินการอีโรชัน ( $E_v(\mu)$  เมื่อ  $v$  เป็นสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ที่สมมาตรที่จุดกำเนิด) และนำผลของอีโรชันไปโคเลชันอีกครั้งหนึ่ง ( $D_v(E_v(\mu))$ ) ผลของโอเพ่นนิ่งที่ได้จะมีคุณสมบัติ Idempotence เช่นเดียวกับโอเพ่นนิ่งในทางพีชคณิตที่มีคุณสมบัติ Anti-extensivity และ Increasing เพิ่มเข้าไปด้วย ส่วนตัวดำเนินการโคสซิงที่สร้างขึ้นจากตัวดำเนินการโคเลชัน และตามด้วยตัวดำเนินการอีโรชัน ดังนั้นตัวดำเนินการโคสซิง ( $E_v(D_v(\mu))$ ) ก็มีคุณสมบัตินี้เช่นกัน แต่เมื่อเทียบกับคุณสมบัติ Idempotence เดิมของพีชคณิตก็จะมีคุณสมบัติต่างกัน คุณสมบัติประกอบคือ โคสซิงจะมี Extensivity กับ Increasing

9. Pseudo-commutativity ของตัวดำเนินการโคเลชันเป็นการตรวจสอบว่าเซตของข้อมูล  $A$  กับเซต  $B$  ที่เป็นสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์สามารถสลับที่กันได้หรือไม่ ถ้าสามารถสลับที่กันได้ดังสมการต่อไปนี้จะมีความสัมพันธ์ Pseudo-Commutativity หรือคุณสมบัติการสลับที่นั่นคือ

$$D_B(A) = D_A(\overline{B}) = \overline{D_A(B)}$$

ในกรณีที่เซต  $A$  กับ  $B$  สมมาตร Pseudo-commutativity ก็จะกลายเป็น Commutativity สำหรับตัวดำเนินการอีโรชันจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$E_B(A) = \overline{E_A(B^c)}$$

10. คุณสมบัติความสอดคล้อง (Fitting Characterization) คุณสมบัติในข้อนี้ของพีชชีมอร์โฟโลยีค่อนข้างจะเจงไปที่ตัวดำเนินการอีโรชัน ซึ่งความสอดคล้องกันในที่นี้หมายถึง การหาตัวดำเนินการพีชชีมอร์โฟโลยีที่มีคุณสมบัติความสอดคล้องกันเช่นเดียวกับไบนารีอีโรชัน นั่นคือ

$$a \in E_B(A) \Leftrightarrow B_a \subset A$$

ที่  $B_a$  ก็คือสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์เซต  $B$  ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่ง  $a$

11. คุณสมบัติที่สอดคล้องกับยูเนียนและอินเตอร์เซกชันสำหรับข้อมูลที่เป็นไบนารี ส่วนข้อมูลภาพที่เป็นเกรย์สเกลก็จะสอดคล้องกับฟังก์ชัน Max และ Min คุณสมบัติความสอดคล้องกับตัวดำเนินการหรือฟังก์ชันเหล่านี้ จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่อยู่ในรูปของสมการหรืออสมการดังต่อไปนี้

$$11.1 \quad D_v(\mu \cup \mu') = D_v(\mu) \cup D_v(\mu')$$

$$11.2 \quad D_{v \cup v'}(\mu) = D_v(\mu) \cup D_{v'}(\mu')$$

$$11.3 \quad D_v(\mu \cap \mu') \leq D_v(\mu) \cap D_v(\mu')$$

$$11.4 \quad D_{v \cap v'}(\mu) \leq D_v(\mu) \cap D_{v'}(\mu')$$

$$11.5 \quad E_v(\mu \cup \mu') \geq E_v(\mu) \cup E_v(\mu')$$

$$11.6 \quad E_{v \cup v'}(\mu) \geq E_v(\mu) \cap E_{v'}(\mu')$$

$$11.7 \quad E_v(\mu \cap \mu') = E_v(\mu) \cap E_v(\mu')$$

$$11.8 \quad E_{v \cap v'}(\mu) \geq E_v(\mu) \cup E_{v'}(\mu')$$

12. การวนซ้ำและการรวม (Iteration and Combination) ตัวดำเนินการมอร์โฟโลยีตัวอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตัวดำเนินการพื้นฐาน มักจะสร้างจากการนำตัวดำเนินการพื้นฐานมารวมกัน หรือเกิดจากการนำตัวดำเนินการมาประมวลผลซ้ำๆ เช่นการประมวลผลของตัวดำเนินการไคเลชันด้วยสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ สามารถนำมาประมวลผลซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เช่นเดิม โดยแบ่งแยกสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ออกเป็นเซตย่อย หรือที่เรียกว่า “Structuring Element Decomposition” ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการประมวลผลแบบขนาน สังกศจากคุณสมบัติย่อยต่อไปนี้

$$12.1 D_{B'}(D_B(f)) = D_{B \oplus B'}(f)$$

$$12.2 E_{B'}(E_B(f)) = E_{B \oplus B'}(f)$$

โดยสัญลักษณ์  $\oplus$  ใช้แทนตัวดำเนินการบวกแบบ Minkowski

$$12.3 D_{B'}(E_B(f)) \leq (<) E_{B'}(D_B(f))$$

#### 4.5 คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับพีชชีเซต

จุดประสงค์ของการขยายแนวความคิดเดิมที่มอร์โฟโลยีตั้งอยู่บนพื้นฐานของเซตธรรมดา โดยเปลี่ยนมาเป็นพีชชีเซต จำเป็นต้องเพิ่มเงื่อนไขหรือคุณสมบัติอื่นๆ เสริมเข้าไปเพื่อให้พีชชีมอร์โฟโลยีมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับมอร์โฟโลยีเดิม ซึ่งคุณสมบัติที่เสริมเข้าไปมีอีกสองข้อดังนี้

13. ความเข้ากันได้กับไบนารีและเกรย์สเกลมอร์โฟโลยี ซึ่งโดยทั่วไปพีชชีมอร์โฟโลยีที่สร้างขึ้น มาจะมีคุณสมบัติที่พิเศษไปกว่ามอร์โฟโลยีเดิม แต่มีอยู่บางกรณีที่ทำให้พีชชีมอร์โฟโลยีมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับมอร์โฟโลยีเดิม โดยถือว่ามอร์โฟโลยีเดิมเป็นกรณีพิเศษหรือกรณีเฉพาะของพีชชีเซต ซึ่งในกรณีนี้ถ้ามี  $\Psi_v(\mu)$  เป็นฟังก์ชันที่ดำเนินการทางมอร์โฟโลยีบนปริภูมิของ  $\mu$  ด้วยสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์  $v$  และมี  $\tilde{\Psi}$  ที่เป็นการดำเนินการเหมือนกันกับ  $\Psi_v(\mu)$  เพียงแต่  $\tilde{\Psi}$  เป็นการดำเนินการในมอร์โฟโลยีเดิม ดังนั้นความเข้ากันได้ในที่นี้คือ ถ้า  $v$  เป็นไบนารีแล้ว ความเข้ากันได้กับมอร์โฟโลยีเดิมคือ

$$\Psi_v(\mu) = \tilde{\Psi}_v(\mu)$$

เมื่อ  $\Psi_v(\mu)$  แทนตัวดำเนินการสี่ตัวคือ อิโรชัน ไคเลชัน โอเพ่นนิง และ โคลซิง

14. ความสัมพันธ์กับ  $\alpha$ -cut [24] โดย  $\alpha$ -cut ในที่นี้ถ้าเทียบกับมอร์โฟโลยีเดิมก็คือ Threshold Decomposition [25] ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการให้พีชชีมอร์โฟโลยีเป็นสแต็ก (Stack) ของเซตไบนารี [2,4] โดยค่า  $\alpha \in [0,1]$

#### 4.6 การลดความซ้ำซ้อนของคุณสมบัติต่างๆ

เพื่อสร้างตัวดำเนินการพื้นฐานของพีชชีมอร์โฟโลยีให้มีความกระชับ จำเป็นต้องลดความซ้ำซ้อนของเงื่อนไขหรือเอาคุณสมบัติที่ไม่จำเป็นออกไป เนื่องจากคุณสมบัติของตัวดำเนินการมอร์-

โฟลยีรวมถึงฟิชซิมอร์โฟลยีมีถึง 14 ข้อ และมีบางส่วนที่ซ้ำซ้อนกันอยู่ซึ่งจะได้พิจารณากันใน แต่ละคุณสมบัติดังนี้

คุณสมบัติที่ 11 คือความเข้ากันได้กับยูเนียนและอินเตอร์เซกชัน ในคุณสมบัติข้อนี้เราสามารถเอาออกไปได้ถ้าสามารถพิสูจน์ได้ว่าตัวดำเนินการนั้นๆ เป็นไปตามคุณสมบัติข้อที่ 5 หรือ Duality ส่วนคุณสมบัติในข้อที่ 9 ก็มีบางส่วนที่ซ้ำซ้อนอยู่กับคุณสมบัติที่ 11 และคุณสมบัติในข้อที่ 9 เองที่สัมพันธ์กับอีโรชัน ซึ่งสามารถอนุมานได้จากโคเลชันตามคุณสมบัติในข้อที่ 5 สำหรับคุณสมบัติในข้อที่ 13 ที่กล่าวถึงความเข้ากันได้กับไบนารีและเกรย์สเกลมอร์โฟลยีก็มีความจำเป็นกับตัวดำเนินการโคเลชันเท่านั้น ซึ่งก็เพียงพอที่จะอนุมานต่อไปยังตัวดำเนินการตัวอื่นๆ ว่ามีคุณสมบัติในข้อนี้เรียบร้อยแล้ว คุณสมบัติที่จำเป็นและมีความเพียงพอต่อการสร้างตัวดำเนินการฟิชซิมอร์โฟลยีได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 4.1 [3]

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับตัวดำเนินการฟิชซิมอร์โฟลยี

คุณสมบัติ	ความจำเป็นสำหรับตัวดำเนินการ
1. Translation	โคเลชัน
2. Homotheties	โคเลชันและอีโรชัน
3. Local Knowledge	โคเลชัน
4. Continuity	โคเลชัน
5. Duality	ระหว่างโคเลชันกับอีโรชัน
6. Increasing	โคเลชัน
7. Extensivity	โคเลชันกับโคสซิง
8. Idempotence	ไม่จำเป็น
9. Pseudo-commutativity	โคเลชัน
10. Fitting characterization	อีโรชันกับโอเพ็นนิง
11. ความเข้ากันได้กับยูเนียนและอินเตอร์เซกชัน	โคเลชัน โดยเฉพาะข้อที่ 11.1 และ 11.3
12. การวนซ้ำและการรวม	ข้อที่ 12.1 และ 12.3
13. ความเข้ากันได้กับมอร์โฟลยีเดิม	โคเลชัน
14. ความสัมพันธ์กับ $\alpha - Cuts$	ไม่จำเป็น

จากตารางที่ 4.1 เราจะเห็นว่าคุณสมบัติหลายข้อไม่จำเป็นต้องมี และถ้าเราตีกรอบให้แคบเข้ามาอีกก็จะเห็นว่าสามารถลดคุณสมบัติเหล่านี้ลงไปได้อีก เช่น ในที่นี้เรานำมอร์โฟลยีมาใช้กับการประมวลผลภาพดิจิทัลซึ่งข้อมูลเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นในคุณสมบัติหลักข้อที่ 4 เราก็สามารถตัดคุณสมบัติข้อนี้ไปได้เลย และในกรณีของฟิชซิมอร์โฟลยีที่ค่าต่างๆ อยู่ในปริภูมิฟิชซิมอร์โฟลยี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นคุณสมบัติในข้อที่ 2 หรือความเข้ากันได้กับ Homotheties จะถูกลดบทบาทลงไป เนื่องจากค่าต่างๆ ที่ถูกสเกลในปริภูมินี้ยังคงเป็นไปตามเงื่อนไข

สำหรับคุณสมบัติในข้อที่ 10 ถือว่าเป็นเงื่อนไขพื้นฐานที่มีอยู่ในไบนารีและเกรย์สเกลมอร์โฟโลยีอยู่แล้ว โดยเฉพาะในตัวดำเนินการอีโรชันและโอเพนนิ่งที่สร้างขึ้นมาจากเงื่อนไขของเซตอินทูลชัน และในพีชชีมอร์โฟโลยีของ Sinha et al. [23] ได้ใช้คุณสมบัติความสอดคล้องกันเป็นพื้นฐานที่ใช้สร้างตัวดำเนินการอีโรชัน และจากอีโรชันก็ใช้คุณสมบัติ Duality สร้างโคเลชันขึ้นมา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ได้ใช้พีชชีมอร์โฟโลยีที่มีพื้นฐานจากเซตอินทูลชันหรือความเป็นสับเซตมาสร้างตัวดำเนินการพีชชีมอร์โฟโลยีเช่นกัน

#### 4.7 พีชชีอินทูลชัน

พีชชีอินทูลชันเป็นเครื่องมือสำคัญที่ Sinha et al. [23, 26] ได้ใช้สร้างตัวดำเนินการอีโรชันตามที่ Matheron ได้เคยใช้คุณสมบัติความสอดคล้องกันมาสร้างตัวดำเนินการอีโรชันในไบนารีมอร์โฟโลยี อันที่จริงคำว่าอินทูลชันหมายถึงการเป็นส่วนหนึ่งของสิ่งที่ใหญ่กว่า แต่ในพีชชีอินทูลชันจะใช้ในการวัดความเป็นส่วนหนึ่งของเซต เช่นต้องการวัดว่าเซต  $A$  เป็นส่วนหนึ่งของเซต  $B$  ซึ่งในทางทฤษฎีเซตก็คือการวัดว่า  $A$  เป็นสับเซตของ  $B$  หรือไม่นั่นเอง ซึ่งถ้า  $A$  เป็นสับเซตของ  $B$  ก็แสดงว่าเซต  $A$  เป็นส่วนหนึ่งของ  $B$  หรือ  $A$  สอดคล้องกับ  $B$  หรือ “ $A$  fits inside  $B$  to a certain degree” ซึ่งก็ตรงกับคุณสมบัติข้อที่ 10 ที่เป็นคุณสมบัติทางพีชคณิตของมอร์โฟโลยี

พีชชีอินทูลชันในกรณีที่มีพีชชีเซต  $A$  กับ  $B$  ฟังก์ชันที่ใช้วัดความสอดคล้องกันหรือ “ $A \subset B$ ” ถูกกำหนดเป็นฟังก์ชันดัชนี (Index function:  $I(A,B)$ ) ที่ใช้ในการวัดว่าเซต  $A$  เป็นสับเซตของ  $B$  มากน้อยขนาดไหนแล้วส่งค่าระดับความสอดคล้องกันไปยังปริภูมิของพีชชีนั้นคือ

$$I(A,B) : [0,1]^A \times [0,1]^B \rightarrow [0,1]$$

ความจริงฟังก์ชันดัชนี  $I$  ที่ใช้วัดอินทูลชันของเซต เป็นการวัดย่านของความเป็นสับเซตในพีชชีเซตนั่นเอง [27] ที่ผ่านมารวมักจะได้ยินคำว่า “การวัดความเหมือนกันหรือ Measure of Similarity” ซึ่งเป็นการวัดระยะทาง (Distance) แต่ในที่นี้เราจะใช้ฟังก์ชันดัชนีเป็นตัววัดย่านของความเป็นสับเซตกันในพีชชีเซต ซึ่ง Sinha et al [26] ได้กำหนดนิยามไว้ดังนี้

1.  $I(A,B) = 1 \Leftrightarrow A \subseteq B$
2.  $I(A,B) = 0 \Leftrightarrow \{x : \mu_A(x) = 1 \wedge \mu_B(x) = 0\} \neq \emptyset$
3.  $B \subseteq C \Rightarrow I(A,B) \leq I(A,C)$
4.  $I(-A,-B) = I(A,B)$ ; และ  $\forall x \in U, I(A,B) = I(T(A,x), T(B,x))$
5.  $I(A,B) = I(B^c, A^c)$
6.  $I(B \cup C, A) = \min(I(B,A), I(C,A))$
7.  $I(A, B \cup C) \geq \max(I(A,B), I(A,C))$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีอีก 3 นิยามที่สามารถอนุมานจากนิยาม 5 กับนิยามที่ 3, 6 และ 7 นั่นคือ

8.  $B \subseteq C \Rightarrow I(C, A) \leq I(B, A)$
9.  $I(A, B \cap C) = \min(I(A, B), I(A, C))$
10.  $I(A \cap B, C) \geq \max(I(A, C), I(B, C))$

จากนิยามของฟังก์ชันดัชนีทั้ง 10 ข้อ เมื่อนำมาเทียบกับคุณสมบัติของมอร์ฟอโลยีทั้ง 14 ข้อ จะเห็นความสอดคล้องกันของนิยามของฟังก์ชันดัชนีกับคุณสมบัติของมอร์ฟอโลยีดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่านิยามของฟังก์ชันดัชนีไม่ได้สอดคล้องกับคุณสมบัติของฟัชซีมอร์ฟอโลยีทุกข้อ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ คุณสมบัติความสอดคล้องในข้อที่ 10 ที่มีอยู่แล้วในฟังก์ชันดัชนีและ Duality ของคุณสมบัติของข้อ 5 ไม่มีเนื่องจากตัวดำเนินการโคเลชันถูกสร้างขึ้นมาจากคุณสมบัติ Duality อยู่แล้ว ดังนั้นคุณสมบัติฟัชซีมอร์ฟอโลยีที่สร้างจากฟังก์ชันดัชนีจะมีคุณสมบัติข้อที่ 1, 5, 6, 9, 10, 11 และ 13 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เพียงพอของฟัชซีมอร์ฟอโลยี [3, 28]

ตารางที่ 4.2. ความสอดคล้องกันของนิยามของฟังก์ชันดัชนีกับคุณสมบัติของฟัชซีมอร์ฟอโลยี

นิยามของฟังก์ชันดัชนี	คุณสมบัติของฟัชซีมอร์ฟอโลยีที่ตรงกับ $I(A, B)$
นิยามข้อที่ 1 สำหรับ $A$ เป็นไบนารี	13. ความเข้ากันได้กับมอร์ฟอโลยีเดิม
นิยามข้อที่ 2 สำหรับ $A$ เป็นไบนารี	13. ความเข้ากันได้กับมอร์ฟอโลยีเดิม
นิยามข้อที่ 3	6. เฉพาะกรณี Increasing ของอีโรชันเมื่อเทียบกับ $B$
นิยามข้อที่ 4	1. Translation invariance
นิยามข้อที่ 5	9. Pseudo-commutativity
นิยามข้อที่ 6	11.6
นิยามข้อที่ 7	11.5
นิยามข้อที่ 8	6. เฉพาะกรณี Decreasing ของอีโรชันเมื่อเทียบกับ $A^c$
นิยามข้อที่ 9	11.7
นิยามข้อที่ 10	11.8

ฟังก์ชันดัชนีที่ทำให้นิยามทั้ง 10 ข้อข้างต้นเป็นจริงคือ

$$I(A, B) = \inf_{x \in U} \min(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(x)) \quad (4.1)$$

ในสมการที่ (4.1) เป็นฟังก์ชันดัชนีที่ใช้เป็นพื้นฐานอยู่ในทฤษฎีฟัชซีเซต [27] การพิสูจน์ว่าฟังก์ชันนี้สอดคล้องกับนิยามทุกข้อได้พิสูจน์ไว้โดย Sinha et al. [23] ดังนั้นตัวดำเนินการต่างๆ ของฟัชซีมอร์ฟอโลยีที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้ ก็จะมีคุณสมบัติของฟัชซีมอร์ฟอโลยีโดยนิยามของฟังก์ชันดัชนี

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อที่จะพิจารณากันต่อไปหลังจากที่ฟังก์ชันดัชนีสอดคล้องกับนิยามที่จำเป็นใน 7 ข้อแรกก็คือ การใช้ฟังก์ชันดัชนีสร้างตัวดำเนินการพื้นฐานของฟัชซิมอร์โพลีอิมี่ขึ้นมา แต่ยังมีอีกเงื่อนไขหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ ต้องไม่ลืมว่าฟัชซิมอร์โพลีอิมี่อยู่ในปริภูมิฟัชซิมี่ที่มีความไม่แน่นอนอยู่เป็นทุนเดิม ซึ่งในอดีตที่ Zadeh ได้คิดเรื่องที่เกิดขึ้นมา เขาก็ได้คิดวิธีที่จะจัดการความไม่แน่นอนเหล่านี้ไว้แล้ว นั่นคือ “ลึงกวิสติกเซตเจส [29]” ซึ่งถือเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่ใช้ลดความไม่แน่นอนโดยเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม ดังนั้นความไม่แน่นอนในข้อมูลจะถูกจัดการด้วยระดับความไม่แน่นอนในตัวข้อมูลเอง นั่นคือถ้าระดับไม่แน่นอนมีมากกระบวนการในลึงกวิสติกเซตเจส ก็จะถูกเตรียมขึ้นมาให้เหมาะสม เพื่อลดความไม่แน่นอนให้ได้มากที่สุด ซึ่งในฟัชซิมอร์โพลีอิมี่เช่นกันจะมีลึงกวิสติกเซตเจสที่จะจัดการกับความไม่แน่นอน ซึ่งอยู่ในรูปฟังก์ชันแลมดา หรือ “ $\lambda$ -Functions”

#### 4.8 ฟังก์ชันแลมดา

ในตัวดำเนินการฟัชซิมอร์โพลีอิมี่ ฟังก์ชันแลมดาจะถูกฝังเอาไว้ในฟังก์ชันดัชนี ให้ฟังก์ชันแลมดาเหล่านี้คอยทำหน้าที่ลดความไม่แน่นอนอยู่เรื่อยๆ และฟังก์ชันดัชนีที่ผนวกฟังก์ชันแลมดาไว้จะมีรูปแบบดังนี้

$$I(B, A) = \inf_{x \in U} \min(1, \lambda(\mu_A(x)) + \lambda(1 - \mu_B(x))) \quad (4.2)$$

โดยฟังก์ชันแลมดาจะส่งค่า  $\lambda: [0,1] \rightarrow [0,1]$  ส่วนฟังก์ชันดัชนีในสมการที่ (4.2) ถูกเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดการเป็นสับเซต โดยการลดความไม่แน่นอนซึ่งการทำให้ฟังก์ชันแลมดา คล้อยตามเงื่อนไขการวัดย่านความเป็นสับเซตตามนิยามทั้ง 7 ข้อนั้น จำเป็นจะต้องควบคุมฟังก์ชันแลมดาด้วยคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ฟังก์ชันแลมดาจะต้องมีค่าเป็น Non-increasing
2.  $\lambda(0) = 1$
3. สมการ  $\lambda(x) = 0$  จะต้องมีเพียงคำตอบเดียว
4.  $\forall \alpha \in [0.5, 1]$  สมการที่ทำให้  $\lambda(x) = \alpha$  จะต้องมีเพียงคำตอบเดียว
5.  $\forall x, \lambda(x) + \lambda(1-x) \geq 1$

จากคุณสมบัติของฟังก์ชันแลมดาทั้ง 5 ข้อสามารถกำหนดฟังก์ชันให้สอดคล้องได้จำนวนมากในที่นี่ได้นำมาแสดงเฉพาะฟังก์ชันที่น่าสนใจ และสามารถนำไปใช้งานได้จริงซึ่งมีอยู่ 4 ฟังก์ชันดังนี้

$$\lambda_n(x) = 1 - x^n, \quad n \geq 1 \quad (4.3)$$

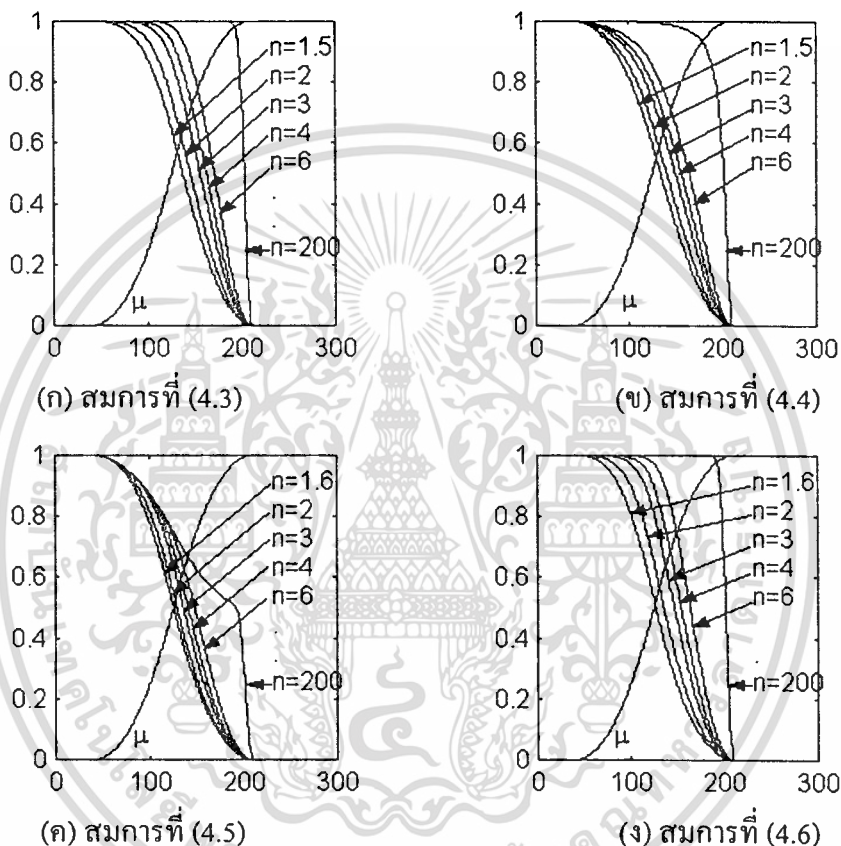
$$\lambda_n(x) = \frac{1-x}{1+(1/n-1)x}, \quad n \geq 1 \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_n(x) = \frac{1}{1+x^n} - \frac{x}{2}, \quad n \geq \frac{\ln(3)}{\ln(2)} \quad (4.5)$$

$$\lambda_n(x) = \frac{e^{1-x^n} - 1}{e-1}, \quad n \geq \frac{\ln(-\ln((e+1)/2e))}{\ln(1/2)} \quad (4.6)$$

ในสมการที่ (4.3) และ (4.4) เป็นฟังก์ชันลิงกวิสติกเฮดเจส ที่ใช้ในการลดค่าความไม่แน่นอนในชุดแรก [27, 29] ซึ่งในสมการที่ (4.4) เรารู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งคือ  $\lambda$ -complementation ของ Sugeno



รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันแลมดาของสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) โดยแกนนอนเป็นค่าความเข้มของจุดภาพและแกนตั้งเป็นค่าความเป็นสมาชิก

#### 4.8.1 คุณสมบัติของฟังก์ชันแลมดา

การกำหนดฟังก์ชันแลมดาให้สอดคล้องกับนิยามของฟังก์ชันดัชนีสามารถสร้างได้มากมายหลายฟังก์ชัน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาตามมาคือ จะเลือกใช้ฟังก์ชันไหนถึงจะเหมาะสม เนื่องจากคุณสมบัติโดยรวมของฟังก์ชันแลมดา คือ ใช้จัดการกับค่าความเป็นสมาชิก แต่ในทางปฏิบัติแต่ละฟังก์ชันจะมีผลต่อค่าความไม่แน่นอนต่างกัน และถ้าสังเกตจากแต่ละฟังก์ชันก็จะเห็นว่าความซับซ้อนในการคำนวณแตกต่างกันด้วย ในรูปที่ 4.1 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการใช้ฟังก์ชันแลมดา ที่เปลี่ยนค่าความเป็นสมาชิก (แกนแนวตั้ง) ของค่าความเข้มของจุดภาพ (แกนนอน) จากสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ (4.2) เราทราบว่าตัวแปรที่ป้อนให้กับฟังก์ชันแลมดา คือค่าระดับความเป็นสมาชิก ส่วนตัวแปรในฟังก์ชันคือค่า  $n$  ซึ่งบทบาทที่สำคัญของมันก็คือใช้ปรับระดับค่าความเป็นสมาชิก อย่างที่เห็นในรูปที่ 4.1 ค่า  $n$  ต่างกันจะทำให้ฟังก์ชันแลมดา เปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสมาชิกเดิม ( $\mu$ ) ให้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์หรือหนึ่งมากขึ้น

เมื่อเราพิจารณาสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) เทียบกับคุณสมบัติทั้ง 5 ข้อของฟังก์ชันแลมดา ก็จะพบว่าสมการเหล่านี้สอดคล้องกับคุณสมบัติทั้งหมด ตัวอย่างง่ายๆ ที่จะตรวจสอบคุณสมบัติเหล่านี้คือ ให้พิจารณาค่าความเป็นสมาชิก  $\mu$  ตามแกนในแนวตั้งฟังก์ชันแลมดาจะให้ค่าผลลัพธ์เป็น Non-increasing ซึ่งจะเห็นได้ชัดในช่วงที่ค่าความสมาชิกมีความไม่แน่นอนสูง ( $\mu \rightarrow 0.5$  หรือ  $\mu$  อยู่ในช่วง Fuzzy region) ในหัวข้อนี้จะขอเสนอในส่วนที่ฟังก์ชันแลมดา เข้าไปเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสมาชิก โดยต้องการจะชี้ให้เห็นว่าฟังก์ชันนี้เข้าไปดำเนินการอย่างไรกับค่าความเป็นสมาชิก และจุดมุ่งหมายที่แท้จริงของเราอยู่ที่การใช้ฟังก์ชันแลมดา และฟังก์ชันดัชนีมาสร้างเป็นตัวดำเนินการพื้นฐานของฟัชชันมอร์โฟโลยี

#### 4.9 ตัวดำเนินการพื้นฐานของฟัชชันมอร์โฟโลยี

Sinha et al. [23] ได้ทำการศึกษาฟัชชันอินคลูชันและได้นำฟังก์ชันดัชนีมาสร้างตัวดำเนินการมอร์โฟโลยี ที่บัญญัติไว้ในชื่อของ “Fuzzy mathematical morphology” หรือที่เราเรียกกันสั้นๆ ในที่นี้ว่า “ฟัชชันมอร์โฟโลยี” จะใช้คุณสมบัติของฟัชชันมอร์โฟโลยีในข้อที่ 10 ซึ่งก็คือ Fitting characteristic มาสร้างเป็นตัวดำเนินการอีโรชัน โดยใช้ฟังก์ชันดัชนี  $I(A,B)$  เป็นตัววัดย่านความเป็นสับเซตหรือ “ $A \subset B$ ” เมื่อ  $A, B \subset U$  ซึ่งในที่นี้จะถือว่า Power set ของ  $U$  หรือ  $F(U)$  ก็คือเซต  $A$  และ  $B$  ที่ต่างก็เป็นฟัชชันเซต ดังนั้นเราสามารถกำหนดตัวดำเนินการอีโรชันและไดเลชัน ได้ดังนี้

$$E(A, B) = \mu_{E(A, B)}(x) = I(T(B; x), A) \quad (4.7)$$

โดยที่  $T(B; x)$  เป็นทรานสเลชันของเซต  $B$  ไปบนภาพด้วยระยะทาง  $x$  และแต่ละตำแหน่งของ  $x$  ที่ทรานสเลชันไปก็จะวัดย่านความเป็นสับเซต

จากคุณสมบัติ Duality ของมอร์โฟโลยีก็สามารถกำหนดตัวดำเนินการไดเลชันได้ดังนี้

$$D(A, B) = E(A^c, -B)^c \quad (4.8)$$

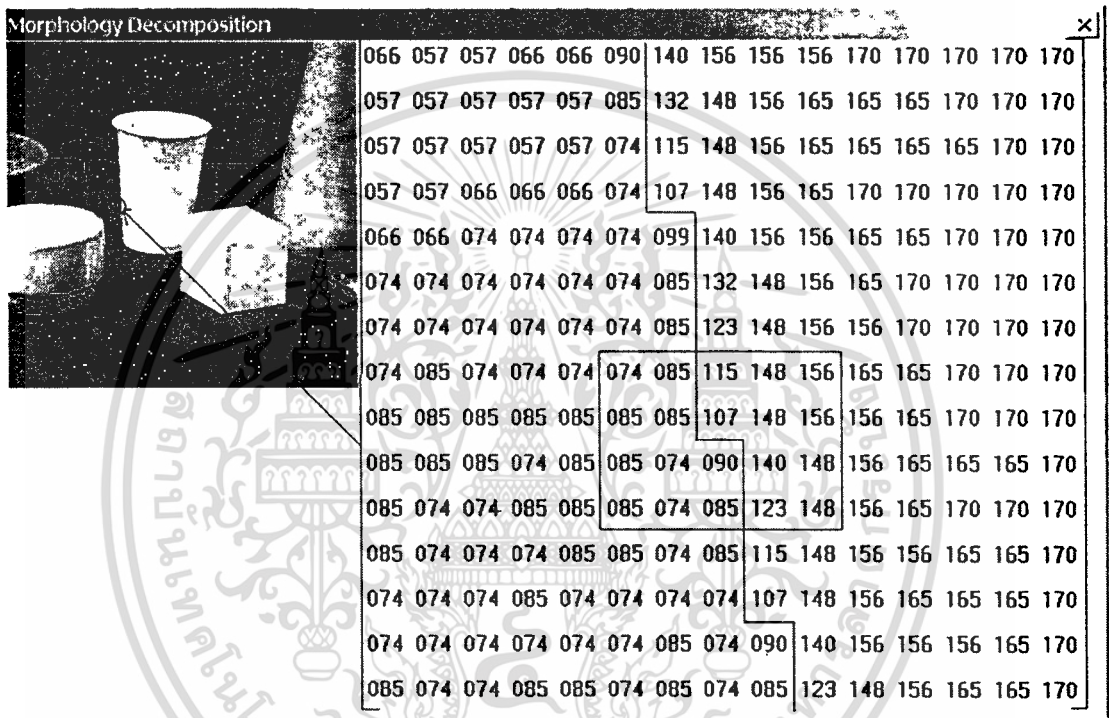
โดยสตรักเจอร์อิงอิทีเมนต์- $B$  เป็นการหาค่ารีแฟล็กชันของเซต  $B$  ซึ่งในกรณีที่  $B$  เป็นฟัชชันเซตแล้ว  $-B: \mu_{-B}(x) = \mu_B(-x)$  ส่วนตัวดำเนินการที่พัฒนาต่อมาจากตัวดำเนินการพื้นฐานไดเลชัน และอีโรชันคือโอเพนนิ่ง ( $O(A, B)$ ) และโคลสซิง ( $C(A, B)$ ) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$O(A, B) = D(E(A, B), B) \quad (4.9)$$

$$C(A, B) = E(D(A, -B), -B) \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวดำเนินการพีชคณิตพอลิโพลีที่ได้กำหนดไว้จากสมการที่ (4.7) ถึง (4.10) ต่างก็สร้างมาจากฟังก์ชันดัชนี ต่อไปเราจะมาดูตัวอย่างการทำงานของตัวดำเนินการพีชคณิตพอลิโพลี ตัวอย่างที่นำมาแสดงเป็นการดึงข้อมูลบางส่วนมาจากรูปภาพดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ซึ่งข้อมูลที่ดึงออกมาแสดงเป็นตัวอย่างจะเป็นข้อมูลภาพเกรย์สเกลขนาด  $4 \times 5$  หรือ 20 จุดภาพ การดึงข้อมูลออกมาประมวลผลเช่นนี้จะทำให้เราได้เห็นคุณสมบัติต่างๆ ควบคู่ไปกับได้ตรวจสอบนิยามของฟังก์ชันดัชนีของตัวดำเนินการพีชคณิตพอลิโพลีไปแบบเบ็ดเสร็จ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เข้าใจและสามารถแปลความหมายของตัวดำเนินการพีชคณิตพอลิโพลีที่มีต่อข้อมูลภาพได้อีกด้วย



รูปที่ 4.2 ข้อมูลภาพที่ใช้เป็นตัวอย่าง

74	74	85	123	148	156	156	0.08	0.08	0.1401	0.4767	0.734	0.7982	0.7982
74	74	85	115	148	156	165	0.08	0.08	0.1401	0.3893	0.734	0.7982	0.8599
85	85	85	107	148	156	156	0.1401	0.1401	0.1401	0.3107	0.734	0.7982	0.7982
85	85	74	90	140	148	156	0.1401	0.1401	0.08	0.173	0.6609	0.734	0.7982
85	85	74	85	123	148	156	0.1401	0.1401	0.08	0.1401	0.4767	0.734	0.7982
85	85	74	85	115	148	156	0.1401	0.1401	0.08	0.1401	0.3893	0.734	0.7982

(ก) จุดภาพเกรย์สเกล

(ข) ค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพ

รูปที่ 4.3 ข้อมูลภาพที่ถูกดึงออกมา

ข้อมูลภาพที่นำมาแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ประกอบด้วยวัตถุต่างๆ และพื้นภาพ (Background) ในตัวอย่างที่นำมาแสดงจะมีข้อมูลทั้งสองส่วนนี้อยู่คือ พื้นภาพและสิ่งที่เราสนใจคือวัตถุ ในรูปที่ 4.2 กรอบสี่ดำที่ล้อมข้อมูลจำนวน 20 จุดภาพที่จะนำมาประมวลผลแสดงเป็นตัวอย่าง ส่วนของพื้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพจะมีค่าที่ต่ำกว่าส่วนที่เป็นวัตถุ ในการประมวลผลเราต้องดึงเอาข้อมูลที่อยู่นอกกรอบไปด้วย เพื่อใช้เติมในกรณีที่ประมวลผลกับจุดภาพที่อยู่บริเวณขอบของกรอบ ส่วนในกรณีที่ประมวลผลกับภาพจริงเราก็จะต้องมีวิธีเตรียมข้อมูลให้รองรับในส่วนนี้เช่นกัน เช่นอาจจะเติมศูนย์หรือหนึ่งเข้าไป

$$\begin{bmatrix} 0.08 & 0.1401 & 0.3893 & 0.734 & 0.7982 \\ 0.1401 & 0.1401 & 0.3107 & 0.734 & 0.7982 \\ 0.1401 & 0.08 & 0.173 & 0.6609 & 0.734 \\ 0.1401 & 0.08 & 0.1401 & 0.4767 & 0.734 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0.04 & 0.96 & 0.04 \\ 0.96 & 0.96 & 0.96 \\ 0.04 & 0.96 & 0.04 \end{bmatrix}$$

(ก) ค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพ

(ข) สตริกเจอร์ริงอีลีเมนต์

รูปที่ 4.4 ข้อมูลที่เป็นตัวอย่างของการประมวลผลด้วยฟัซซีเมอร์โฟโลยี

ตารางที่ 4.3 ผลของฟัซซีอีโรชันในสมการที่ (4.7) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4)

n	สมการที่ (4.3)					สมการที่ (4.4)				
1	0.1200	0.1200	0.1801	0.4293	0.7740	0.1200	0.1200	0.1801	0.4293	0.7740
	0.1200	0.1200	0.1801	0.3507	0.7740	0.1200	0.1200	0.1801	0.3507	0.7740
	0.1200	0.1200	0.1200	0.2130	0.7009	0.1200	0.1200	0.1200	0.2130	0.7009
	0.1200	0.1200	0.1200	0.1801	0.5167	0.1200	0.1200	0.1200	0.1801	0.5167
1.5	0.1770	0.1770	0.2620	0.5822	0.9222	0.1742	0.1742	0.2552	0.5476	0.8642
	0.1770	0.1770	0.2620	0.4871	0.9222	0.1742	0.1742	0.2552	0.4622	0.8642
	0.1770	0.1770	0.1770	0.3073	0.8619	0.1742	0.1742	0.1742	0.2977	0.8039
	0.1770	0.1770	0.1770	0.2620	0.6808	0.1742	0.1742	0.1742	0.2552	0.6362
2	0.2320	0.2320	0.3390	0.7054	1.0000	0.2251	0.2251	0.3227	0.6373	0.9235
	0.2320	0.2320	0.3390	0.6033	1.0000	0.2251	0.2251	0.3227	0.5510	0.9235
	0.2320	0.2320	0.2320	0.3945	0.9634	0.2251	0.2251	0.2251	0.3719	0.8728
	0.2320	0.2320	0.2320	0.3390	0.8046	0.2251	0.2251	0.2251	0.3227	0.7226
5	0.5255	0.5255	0.7145	1.0000	1.0000	0.4754	0.4754	0.6213	0.9336	1.0000
	0.5255	0.5255	0.7145	1.0000	1.0000	0.4754	0.4754	0.6213	0.8651	1.0000
	0.5255	0.5255	0.5255	0.7978	1.0000	0.4754	0.4754	0.4754	0.6836	1.0000
	0.5255	0.5255	0.5255	0.7145	1.0000	0.4754	0.4754	0.4754	0.6213	0.9924
9	0.8353	0.8353	1.0000	1.0000	1.0000	0.7118	0.7118	0.8673	1.0000	1.0000
	0.8353	0.8353	1.0000	1.0000	1.0000	0.7118	0.7118	0.8673	1.0000	1.0000
	0.8353	0.8353	0.8353	1.0000	1.0000	0.7118	0.7118	0.7118	0.9258	1.0000
	0.8353	0.8353	0.8353	1.0000	1.0000	0.7118	0.7118	0.7118	0.8673	1.0000
13	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8820	0.8820	1.0000	1.0000	1.0000
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8820	0.8820	1.0000	1.0000	1.0000
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8820	0.8820	0.8820	1.0000	1.0000
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8820	0.8820	0.8820	1.0000	1.0000

ในรูปที่ 4.3(ก) เป็นข้อมูลภาพเกรย์สเกลที่ตัดออกมาแล้ว โดยดึงข้อมูลที่อยู่นอกกรอบมาด้วย ส่วนในรูป 4.3(ข) เป็นข้อมูลที่ผ่านการแปลงให้อยู่ในรูปของฟัซซีเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แสดงถึงค่าความเข้มของจุดภาพมาแปลง การประมวลผลที่นำมาแสดงเป็นตัวอย่างจะใช้สตริกเจอร์ริงอีลีเมนต์ขนาด 3x3 ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4(ข) ส่วนรูปที่ 4.4(ก) เป็นข้อมูลภาพขนาด 4x5 จุดภาพ ซึ่งข้อมูลในรูปนี้จะใช้ในการแสดงผลของตัวดำเนินการฟัซซีเมอร์โฟโลยีควบคู่ไปกับการเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ค่า  $n$  ของฟังก์ชันแลมดาในสมการที่ (4.3-4.6) และผลของการดำเนินการต่างๆ เหล่านี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3-4.10 ส่วนผลลัพธ์ของการดำเนินการกับข้อมูลทั้งภาพได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5-4.8

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 เป็นผลของตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันในสมการที่ (4.7) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) และในแต่ละฟังก์ชันได้แสดงให้เห็นถึงผลของการใช้ตัวแปร  $n$  ในฟังก์ชันแลมดาที่มีค่าต่างๆ กันซึ่งปรากฏอยู่ในคอลัมน์แรกของตาราง ส่วนคอลัมน์ที่สองและสามของตารางเป็นผลลัพธ์ของตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการที่ (4.3) และ (4.4) โดยลำดับ (เช่นเดียวกับกับตารางที่ 4.4 เพียงแต่คอลัมน์ที่สองและสามเป็นผลของพีชชีอีโรชันที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการที่ (4.5) และ (4.6) โดยลำดับ) ส่วนในตารางที่ 4.4 ที่คอลัมน์แรกค่าตัวแปร  $n$  ในฟังก์ชันแลมดาที่ (4.5) กับ (4.6) มีค่าต่างกัน ดังนั้นจึงใช้เครื่องหมาย “/” คั่นเอาไว้ คือส่วนที่อยู่ก่อนเครื่องหมายเป็นของสมการที่ (4.5) ส่วนที่อยู่หลังเครื่องหมายจะเป็นของสมการที่ (4.6) ซึ่งในตารางที่ 4.3-4.10 ที่แสดงผลของตัวดำเนินการพีชชีอีโรฟโพลีจะมีรูปแบบเช่นเดียวกับตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของพีชชีอีโรชันในสมการที่ (4.7) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6)

$n$	สมการที่ (4.5)					สมการที่ (4.6)				
1.585	0.1092	0.1092	0.1657	0.4168	0.7940	0.1010	0.1010	0.1554	0.4095	0.8039
/	0.1092	0.1092	0.1657	0.3348	0.7940	0.1010	0.1010	0.1554	0.3247	0.8039
1.40	0.1092	0.1092	0.1092	0.1974	0.7140	0.1010	0.1010	0.1010	0.1863	0.7208
	0.1092	0.1092	0.1092	0.1657	0.5107	0.1010	0.1010	0.1010	0.1554	0.5076
2	0.1220	0.1220	0.1854	0.4634	0.8413	0.1441	0.1441	0.2207	0.5550	0.9394
	0.1220	0.1220	0.1854	0.3737	0.8413	0.1441	0.1441	0.2207	0.4492	0.9394
	0.1220	0.1220	0.1220	0.2207	0.7677	0.1441	0.1441	0.1441	0.2638	0.8756
	0.1220	0.1220	0.1220	0.1854	0.5638	0.1441	0.1441	0.1441	0.2207	0.6685
5	0.2136	0.2136	0.3211	0.6872	0.9365	0.3544	0.3544	0.5246	0.9892	1.0000
	0.2136	0.2136	0.3211	0.5915	0.9365	0.3544	0.3544	0.5246	0.8900	1.0000
	0.2136	0.2136	0.2136	0.3784	0.8968	0.3544	0.3544	0.3544	0.6105	1.0000
	0.2136	0.2136	0.2136	0.3211	0.7714	0.3544	0.3544	0.3544	0.5246	1.0000
9	0.3301	0.3301	0.4764	0.7938	0.9778	0.6141	0.6141	0.8509	1.0000	1.0000
	0.3301	0.3301	0.4764	0.7322	0.9778	0.6141	0.6141	0.8509	1.0000	1.0000
	0.3301	0.3301	0.3301	0.5441	0.9412	0.6141	0.6141	0.6141	0.9476	1.0000
	0.3301	0.3301	0.3301	0.4764	0.8462	0.6141	0.6141	0.6141	0.8509	1.0000
13	0.4369	0.4369	0.5965	0.8427	1.0000	0.8425	0.8425	1.0000	1.0000	1.0000
	0.4369	0.4369	0.5965	0.7971	1.0000	0.8425	0.8425	1.0000	1.0000	1.0000
	0.4369	0.4369	0.4369	0.6581	0.9801	0.8425	0.8425	0.8425	1.0000	1.0000
	0.4369	0.4369	0.4369	0.5965	0.8878	0.8425	0.8425	0.8425	1.0000	1.0000
57	0.9625	0.9625	1.0000	1.0000	1.0000	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
/	0.9625	0.9625	1.0000	1.0000	1.0000	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
17	0.9625	0.9625	0.9625	1.0000	1.0000	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.9625	0.9625	0.9625	1.0000	1.0000	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าผลของค่าตัวแปร  $n$  ในแต่ละสมการจะช่วยปรับค่าความเป็นสมาชิกของเกรย์สเกลให้มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นภาพกับวัตถุ แต่ค่าของตัวแปร  $n$  จะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานอย่างใดอย่างหนึ่งที่ช่วงของค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้นของแต่ละฟังก์ชันแลมดา อย่างในสมการที่ (4.3) ค่าตัวแปร  $n$  ที่สามารถทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างพื้นภาพกับวัตถุได้มากที่สุดคือ  $n=9$  และ  $n=13$  สำหรับสมการที่ (4.4) ส่วนสมการที่ (4.5) และ (4.6) ค่าตัวแปร  $n$  ที่สามารถทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างพื้นภาพกับวัตถุได้มากที่สุดคือ  $n=57$  และ  $n=13$  ตามลำดับ จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 เราสามารถสังเกตได้อย่างหนึ่งว่า ฟังก์ชันแลมดาในแต่ละสมการมีการตอบสนองต่อตัวแปร  $n$  ที่ค่าแตกต่างกัน ในบางสมการมีการตอบสนองช้าอย่างในสมการที่ (4.5) ส่วนในบางสมการมีผลตอบสนองเร็วเช่นสมการที่ (4.3) และ (4.6)

นอกจากตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันจะปรับค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่มข้อมูลให้มีความเด่นชัดขึ้นแล้ว มันยังเพิ่มระดับความเป็นสมาชิกของจุดภาพให้ด้วย จะเห็นว่าเมื่อตัวแปร  $n$  มีค่าเพิ่มขึ้นค่าระดับความเป็นสมาชิกก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อตัวแปร  $n$  มีค่ามากเกินไปพีชชีอีโรชันก็จะไม่สามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้อีกต่อไป

ตารางที่ 4.5 ผลของพีชชีไคเลชันในสมการที่ (4.8) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$n$	สมการที่ (4.3)					สมการที่ (4.4)				
1	0.1001	0.3493	0.6940	0.7582	0.8199	0.1001	0.3493	0.6940	0.7582	0.8199
	0.1001	0.2707	0.6940	0.7582	0.7582	0.1001	0.2707	0.6940	0.7582	0.7582
	0.1001	0.1330	0.6209	0.6940	0.7582	0.1001	0.1330	0.6209	0.6940	0.7582
	0.1001	0.1001	0.4367	0.6940	0.7582	0.1001	0.1001	0.4367	0.6940	0.7582
1.5	0.0	0.1835	0.5694	0.6537	0.7380	0.0392	0.2394	0.5890	0.6662	0.7448
	0.0	0.1138	0.5694	0.6537	0.6537	0.0392	0.1722	0.5890	0.6662	0.6662
	0.0	0.0126	0.4779	0.5694	0.6537	0.0392	0.0636	0.5063	0.5890	0.6662
	0.0	0.0	0.2697	0.5694	0.6537	0.0392	0.0392	0.3190	0.5890	0.6662
2	0.0	0.0732	0.4604	0.5587	0.6610	0.0	0.1648	0.5029	0.5872	0.6773
	0.0	0.0181	0.4604	0.5587	0.5587	0.0	0.1070	0.5029	0.5872	0.5872
	0.0	0.0	0.3584	0.4604	0.5587	0.0	0.0178	0.4166	0.5029	0.5872
	0.0	0.0	0.1488	0.4604	0.5587	0.0	0.0	0.2360	0.5029	0.5872
5	0.0	0.0	0.0284	0.1394	0.2855	0.0	0.0	0.1832	0.2693	0.3787
	0.0	0.0	0.0284	0.1394	0.1394	0.0	0.0	0.1832	0.2693	0.2693
	0.0	0.0	0.0	0.0284	0.1394	0.0	0.0	0.1081	0.1832	0.2693
	0.0	0.0	0.0	0.0284	0.1394	0.0	0.0	0.0	0.1832	0.2693
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0326	0.1327
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0326	0.0326
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0326
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0326
13	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	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	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4.5 และ 4.6 เป็นผลของตัวดำเนินการพีชชีไคเลชันในสมการที่ (4.8) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) ตัวแปร  $n$  ในสมการเหล่านี้ก็มีพฤติกรรมเช่นเดียวกับผลของตัวดำเนินการพีชชีอีโรชัน ที่คอยควบคุมการตอบสนองของฟังก์ชันแลมดา แต่การตอบสนองใน

ตัวดำเนินการพีชชีโด้เลขชั้นจะส่วนทางกับตัวดำเนินการพีชชีโอโรชั้นคือ มันจะค่อยๆ ลดค่าระดับความเป็นสมาชิกของค่าความเป็นเกรย์สเกลลงจนถึงค่าของสีค่าเมื่อตัวแปร  $n$  มีค่าเพิ่มมากขึ้น และในแต่ละสมการของฟังก์ชันแลมดา ก็จะมีผลตอบสนองต่อตัวดำเนินการซ้ำเร็วแตกต่างกัน ซึ่งสังเกตได้จากคอลัมน์ที่สองและสามของตาราง ดังเช่นในสมการที่ (4.3) เมื่อตัวแปร  $n=5$  จะทำให้สามารถแยกส่วนที่เป็นพื้นภาพกับวัตถุได้ดีที่สุด ส่วนในสมการที่ (4.5) และ (4.6) ตัวแปร  $n=36$  และ  $n=7$  โดยลำดับ ส่วนสมการที่ (4.4) นั้น ไม่สามารถแยกพื้นภาพกับวัตถุได้อย่างชัดเจนที่  $n=5$

ตารางที่ 4.6 ผลของพีชชีโด้เลขชั้น โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6)

$n$	สมการที่ (4.5)					สมการที่ (4.6)				
1.585	0.0764	0.3416	0.7107	0.7746	0.8343	0.0646	0.3374	0.7217	0.7859	0.8446
/	0.0764	0.2547	0.7107	0.7746	0.7746	0.0646	0.2466	0.7217	0.7859	0.7859
1.40	0.0764	0.1087	0.6358	0.7107	0.7746	0.0646	0.0968	0.6451	0.7217	0.7859
	0.0764	0.0764	0.4383	0.7107	0.7746	0.0646	0.0646	0.4389	0.7217	0.7859
2	0.0489	0.2859	0.6767	0.7479	0.8146	0.0	0.1750	0.6115	0.6979	0.7793
	0.0489	0.2030	0.6767	0.7479	0.7479	0.0	0.0981	0.6115	0.6979	0.6979
	0.0489	0.0752	0.5941	0.6767	0.7479	0.0	0.0	0.5124	0.6115	0.6979
	0.0489	0.0489	0.3831	0.6767	0.7479	0.0	0.0	0.2741	0.6115	0.6979
5	0.0	0.1327	0.4718	0.5730	0.6789	0.0	0.0	0.1855	0.3198	0.4754
	0.0	0.0874	0.4718	0.5730	0.5730	0.0	0.0	0.1855	0.3198	0.3198
	0.0	0.0158	0.3716	0.4718	0.5730	0.0	0.0	0.0694	0.1855	0.3198
	0.0	0.0	0.1915	0.4718	0.5730	0.0	0.0	0.0	0.1855	0.3198
9	0.0	0.0840	0.3144	0.4045	0.5236	0.0	0.0	0.0073	0.1309	0.3003
/	0.0	0.0445	0.3144	0.4045	0.4045	0.0	0.0	0.0073	0.1309	0.1309
7	0.0	0.0	0.2431	0.3144	0.4045	0.0	0.0	0.0	0.0073	0.1309
	0.0	0.0	0.1288	0.3144	0.4045	0.0	0.0	0.0	0.0073	0.1309
13	0.0	0.0450	0.2350	0.3001	0.4035	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
/	0.0	0.0057	0.2350	0.3001	0.3001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.1854	0.2350	0.3001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0888	0.2350	0.3001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36	0.0	0.0	0.0340	0.0664	0.1013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
/	0.0	0.0	0.0340	0.0664	0.0664	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0340	0.0664	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0340	0.0664	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงผลของตัวดำเนินการพีชชีโอเฟ้นนิงในสมการที่ (4.9) โดยใช้สมการที่ (4.3) ถึง (4.6) ที่ตัวแปร  $n$  ในฟังก์ชันแลมดาของสมการเหล่านี้จะปรับค่าความเป็นสมาชิกของค่าความเข้มของจุดภาพของแต่ละกลุ่มข้อมูลให้เป็นเนื้อเดียวกัน และทำให้ค่าแตกต่างกันอย่างเด่นชัดกับข้อมูลในกลุ่มอื่นๆ อย่างเช่นเมื่อ  $n=1.5$  ของสมการที่ (4.3) ในตารางที่ 4.7 แต่เมื่อ  $n$  มีค่ามากขึ้นฟังก์ชันดัชนีก็จะไม่สามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละกลุ่มได้อีก จึงทำให้พื้นภาพกับวัตถุมีค่าเท่ากัน อย่างในตารางที่ 4.7 เมื่อตัวแปร  $n$  ของสมการที่ (4.3) เท่ากับ 13 ค่าความเป็นสมาชิกของพื้นภาพและวัตถุเท่ากันคือจะเท่ากับ 0.5882 ส่วนสมการที่ (4.4)  $n=17$  จะทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของพื้นภาพและวัตถุเท่ากันคือจะเท่ากับ 0.5854

ตารางที่ 4.7 ผลของโอเพ่นนิง โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.3) และ (4.4)

n	สมการที่ (4.3)					สมการที่ (4.4)				
1	0.0800	0.1401	0.3893	0.7340	0.7340	0.0800	0.1401	0.3893	0.7340	0.7340
	0.0800	0.1401	0.3107	0.7340	0.7340	0.0800	0.1401	0.3107	0.7340	0.7340
	0.0800	0.0800	0.1730	0.6609	0.7340	0.0800	0.0800	0.1730	0.6609	0.7340
	0.0800	0.0800	0.1401	0.4767	0.6609	0.0800	0.0800	0.1401	0.4767	0.6609
1.5	0.0150	0.0747	0.3848	0.8262	0.8262	0.0645	0.1271	0.3878	0.7505	0.7505
	0.0150	0.0747	0.2806	0.8262	0.8262	0.0645	0.1271	0.3054	0.7505	0.7505
	0.0150	0.0150	0.1110	0.7408	0.8262	0.0645	0.0645	0.1615	0.6734	0.7505
	0.0150	0.0150	0.0747	0.5024	0.7408	0.0645	0.0645	0.1271	0.4795	0.6734
2	0.0	0.0365	0.4193	0.9216	0.9216	0.0499	0.1155	0.3908	0.7810	0.7810
	0.0	0.0365	0.2855	0.9216	0.9216	0.0499	0.1155	0.3034	0.7810	0.7810
	0.0	0.0	0.0772	0.8498	0.9216	0.0499	0.0499	0.1515	0.6973	0.7810
	0.0	0.0	0.0365	0.5689	0.8498	0.0499	0.0499	0.1155	0.4887	0.6973
5	0.0	0.0016	0.8154	0.8154	0.8154	0.0	0.0747	0.5653	0.8276	0.8276
	0.0	0.0016	0.8154	0.8154	0.8154	0.0	0.0747	0.3894	0.8276	0.8276
	0.0	0.0	0.1386	0.8154	0.8154	0.0	0.0	0.1294	0.8276	0.8276
	0.0	0.0	0.0016	0.8154	0.8154	0.0	0.0	0.0747	0.7906	0.8276
9	0.0	0.6925	0.6925	0.6925	0.6925	0.0	0.1479	0.7273	0.7273	0.7273
	0.0	0.6925	0.6925	0.6925	0.6925	0.0	0.1479	0.7273	0.7273	0.7273
	0.0	0.0000	0.6925	0.6925	0.6925	0.0	0.0	0.3083	0.7273	0.7273
	0.0	0.0	0.6925	0.6925	0.6925	0.0	0.0	0.1479	0.7273	0.7273
13 / 17	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854
	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854
	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854
	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5882	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854	0.5854

ตารางที่ 4.8 ผลของโอเพ่นนิง โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมการที่ (4.5) และ (4.6)

n	สมการที่ (4.5)					สมการที่ (4.6)				
1.585 / 1.40	0.0474	0.1015	0.3722	0.7704	0.7704	0.0294	0.0793	0.3608	0.7915	0.7915
	0.0474	0.1015	0.2813	0.7704	0.7704	0.0294	0.0793	0.2626	0.7915	0.7915
	0.0474	0.0474	0.1335	0.6904	0.7704	0.0294	0.0294	0.1103	0.7082	0.7915
	0.0474	0.0474	0.1015	0.4756	0.6904	0.0294	0.0294	0.0793	0.4744	0.7082
2	0.0353	0.0855	0.3681	0.7947	0.7947	0.0	0.0277	0.3719	0.8800	0.8800
	0.0353	0.0855	0.2689	0.7947	0.7947	0.0	0.0277	0.2416	0.8800	0.8800
	0.0353	0.0353	0.1164	0.7143	0.7947	0.0	0.0	0.0589	0.7996	0.8800
	0.0353	0.0353	0.0855	0.4827	0.7143	0.0	0.0	0.0277	0.5227	0.7996
5	0.0364	0.0931	0.4056	0.8162	0.8162	0.0	0.0	0.8503	0.8820	0.8820
	0.0364	0.0931	0.2925	0.8162	0.8162	0.0	0.0	0.5590	0.8820	0.8820
	0.0364	0.0364	0.1261	0.7447	0.8162	0.0	0.0	0.0106	0.8820	0.8820
	0.0364	0.0364	0.0931	0.5295	0.7447	0.0	0.0	0.0	0.8820	0.8820
9	0.0543	0.1286	0.3973	0.8278	0.8278	0.0	0.1204	0.7905	0.7905	0.7905
	0.0543	0.1286	0.3124	0.8278	0.8278	0.0	0.1204	0.7905	0.7905	0.7905
	0.0543	0.0543	0.1654	0.7268	0.8278	0.0	0.0	0.5183	0.7905	0.7905
	0.0543	0.0543	0.1286	0.4943	0.7268	0.0	0.0	0.1204	0.7905	0.7905
13	0.0688	0.1498	0.3692	0.8504	0.8504	0.0	0.7035	0.7035	0.7035	0.7035
	0.0688	0.1498	0.2988	0.8504	0.8504	0.0	0.7035	0.7035	0.7035	0.7035
	0.0688	0.0688	0.1837	0.7754	0.8504	0.0	0.0	0.7035	0.7035	0.7035
	0.0688	0.0688	0.1498	0.4697	0.7754	0.0	0.0	0.7035	0.7035	0.7035
69 / 17	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221
	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221
	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221
	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.5364	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221	0.6221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลของ โคสซิง โดยใช้ฟังก์ชันแกมมาสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$n$	สมการที่ (4.3)					สมการที่ (4.4)				
1	0.1401	0.1401	0.3893	0.7340	0.7982	0.1401	0.1401	0.3893	0.7340	0.7982
	0.1401	0.1401	0.3107	0.7340	0.7982	0.1401	0.1401	0.3107	0.7340	0.7982
	0.1401	0.1401	0.1730	0.6609	0.7340	0.1401	0.1401	0.1730	0.6609	0.7340
	0.1401	0.1401	0.1401	0.4767	0.7340	0.1401	0.1401	0.1401	0.4767	0.7340
1.5	0.0594	0.0594	0.3216	0.7769	0.8556	0.1164	0.1164	0.3795	0.7413	0.8084
	0.0594	0.0594	0.2251	0.7769	0.8556	0.1164	0.1164	0.2967	0.7413	0.8084
	0.0594	0.0594	0.0782	0.6821	0.7769	0.1164	0.1164	0.1512	0.6648	0.7413
	0.0594	0.0594	0.0594	0.4353	0.7769	0.1164	0.1164	0.1164	0.4715	0.7413
2	0.0784	0.0784	0.2194	0.7872	0.8837	0.0769	0.0769	0.3599	0.7461	0.8169
	0.0784	0.0784	0.1143	0.7872	0.8837	0.0769	0.0769	0.2702	0.7461	0.8169
	0.0784	0.0784	0.0784	0.6667	0.7872	0.0769	0.0769	0.1118	0.6651	0.7461
	0.0784	0.0784	0.0784	0.3539	0.7872	0.0769	0.0769	0.0769	0.4588	0.7461
5	0.1846	0.1846	0.1846	0.3189	0.7125	0.1724	0.1724	0.1724	0.7010	0.8206
	0.1846	0.1846	0.1846	0.3189	0.7125	0.1724	0.1724	0.1724	0.7010	0.8206
	0.1846	0.1846	0.1846	0.1846	0.3189	0.1724	0.1724	0.1724	0.5496	0.7010
	0.1846	0.1846	0.1846	0.1846	0.3189	0.1724	0.1724	0.1724	0.1724	0.7010
9	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.5053
	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.5053
	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727
	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.3075	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727
13	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514
	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514
	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514
	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.4118	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514	0.3514

ตารางที่ 4.10 ผลของ โคสซิง โดยใช้ฟังก์ชันแกมมาสมการที่ (4.5) และ (4.6)

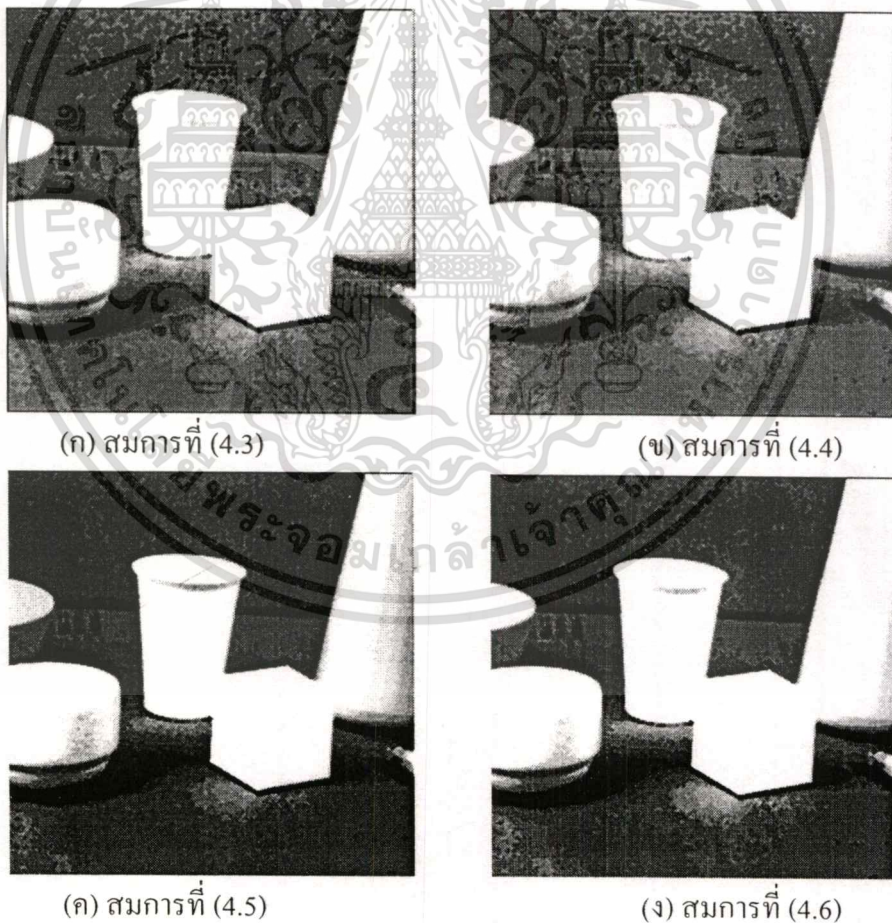
$n$	สมการที่ (4.5)					สมการที่ (4.6)				
1.585	0.1058	0.1058	0.3668	0.7687	0.8373	0.0876	0.0876	0.3531	0.7901	0.8606
	0.1058	0.1058	0.2780	0.7687	0.8373	0.0876	0.0876	0.2586	0.7901	0.8606
1.40	0.1058	0.1058	0.1360	0.6862	0.7687	0.0876	0.0876	0.1159	0.7025	0.7901
	0.1058	0.1058	0.1058	0.4691	0.7687	0.0876	0.0876	0.0876	0.4647	0.7901
2	0.0899	0.0899	0.3456	0.7841	0.8546	0.0475	0.0475	0.2665	0.8258	0.9095
	0.0899	0.0899	0.2534	0.7841	0.8546	0.0475	0.0475	0.1669	0.8258	0.9095
	0.0899	0.0899	0.1170	0.6959	0.7841	0.0475	0.0475	0.0475	0.7127	0.8258
	0.0899	0.0899	0.0899	0.4563	0.7841	0.0475	0.0475	0.0475	0.3995	0.8258
5	0.0709	0.0709	0.3079	0.7672	0.8433	0.1180	0.1180	0.1180	0.6415	0.9037
	0.0709	0.0709	0.2269	0.7672	0.8433	0.1180	0.1180	0.1180	0.6415	0.9037
	0.0709	0.0709	0.0987	0.6674	0.7672	0.1180	0.1180	0.1180	0.3232	0.6415
	0.0709	0.0709	0.0709	0.4099	0.7672	0.1180	0.1180	0.1180	0.1180	0.6415
9	0.1108	0.1108	0.3407	0.7357	0.8038	0.1642	0.1642	0.1642	0.1942	0.6699
	0.1108	0.1108	0.2342	0.7357	0.8038	0.1642	0.1642	0.1642	0.1942	0.6699
	0.1108	0.1108	0.1108	0.6570	0.7357	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1942
	0.1108	0.1108	0.1108	0.4509	0.7357	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1942
13	0.1496	0.1496	0.3175	0.7373	0.7901	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095
	0.1496	0.1496	0.1711	0.7373	0.7901	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095
	0.1496	0.1496	0.1496	0.6773	0.7373	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095
	0.1496	0.1496	0.1496	0.4641	0.7373	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095	0.2095
36	0.3330	0.3330	0.3330	0.6266	0.7885	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779
	0.3330	0.3330	0.3330	0.6266	0.7885	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779
	0.3330	0.3330	0.3330	0.3330	0.6266	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779
	0.3330	0.3330	0.3330	0.3330	0.6266	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779	0.3779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของประเทศไทย โดยผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์สงวนลิขสิทธิ์

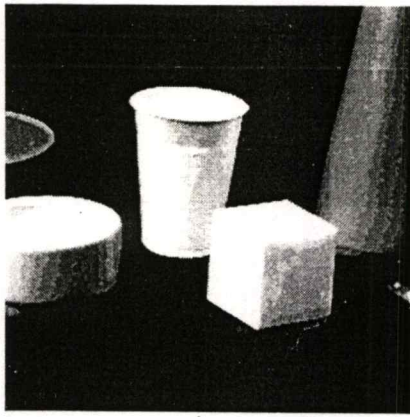
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตารางที่ 4.9 และ 4.10 ได้แสดงผลของตัวดำเนินการพีชชีโคสซิงในสมการที่ (4.10) โดยใช้ฟังก์ชันแลมดาสมาการที่ (4.3) ถึง (4.6) สำหรับตัวแปร  $n$  ในสมการเหล่านี้จะตอบสนองต่อค่าความเป็นสมาชิกของสัญญาณภาพ โดยการปรับค่าความเป็นสมาชิกที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันให้มีค่าเท่ากัน แต่ถ้าค่าตัวแปร  $n$  เพิ่มมากเกินไปฟังก์ชันแลมดา ก็ไม่สามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละกลุ่มได้ จนทำให้ค่าของสัญญาณภาพเท่ากันทั้งหมด ซึ่งจะเหมือนกันกับกรณีของพีชชีโอเพนนิ่งในตารางที่ 4.7 และ 4.8

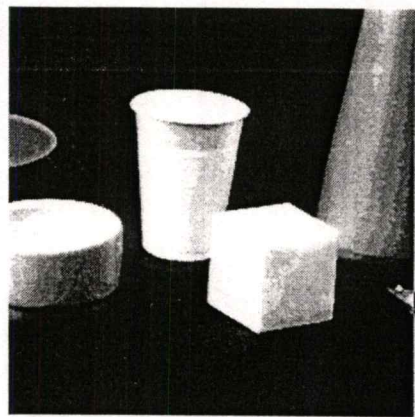
เมื่อได้พิจารณาพฤติกรรมของการตอบสนองต่อสัญญาณภาพของตัวดำเนินการพีชชีมอร์โฟโลยีในระดับที่เป็นตัวเลขไปแล้ว ต่อไปจะดูผลโดยรวมของทั้งภาพของตัวดำเนินการแต่ละตัวพร้อมกับฟังก์ชันแลมดาของสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) ซึ่งผลของการประมวลผลภาพโดยตัวดำเนินการพีชชีมอร์โฟโลยีที่น่าเสนอในรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 ได้แสดงเฉพาะที่ค่าตัวแปร  $n=2$  ทุกตัวดำเนินการและทุกสมการในฟังก์ชันแลมดาเพื่อจะได้สังเกตความแตกต่างของคุณสมบัติต่างๆ ของทั้งตัวดำเนินการและฟังก์ชันแลมดา



รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการ (4.3)-(4.6)



(ก) สมการที่ (4.3)



(ข) สมการที่ (4.4)



(ค) สมการที่ (4.5)



(ง) สมการที่ (4.6)

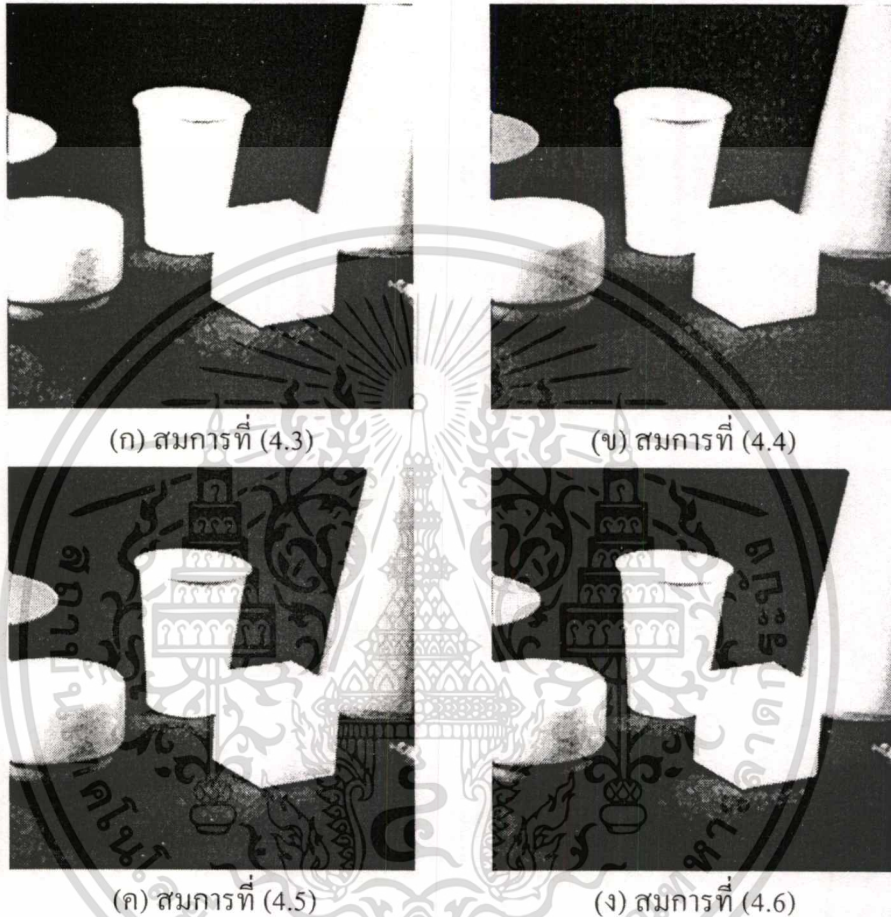
รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีโคเลชันที่ใช้ฟังก์ชันแกลมาในสมการ (4.3)-(4.6)

รูปที่ 4.5 เป็นผลของตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันในสมการที่ (4.7) ที่ใช้ข้อมูลภาพในรูปที่ 4.2 และใช้สตรักเจอร์อีลีเมนต์ในรูปที่ 4.4(ข) เราจะเห็นว่าตัวดำเนินการนี้จะเน้นส่วนของวัตถุที่อยู่ในภาพให้เด่นขึ้นมา แต่ส่วนของพื้นภาพก็ยังคงอยู่เช่นเดิม เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.6 ที่เป็นผลของตัวดำเนินการพีชชีโคเลชัน ตัวดำเนินการนี้จะเน้นวัตถุให้เด่นชัดเช่นกัน แต่มันจะเพิ่มความเป็นสมาธิของพื้นภาพมากกว่าส่วนที่เป็นวัตถุ

ส่วนรูปที่ 4.7 และ 4.8 เป็นผลของตัวดำเนินการพีชชีโอเพ่นนิ่งและพีชชีโคสซิงโดยลำดับ ถ้าเราสังเกตดีๆ จะเห็นว่าสองตัวดำเนินการนี้จะแตกต่างจากสองตัวดำเนินการแรก คือทั้งตัวดำเนินการพีชชีโอเพ่นนิ่งและพีชชีโคสซิงมันจะเกลี่ยเนื้อหาภาพให้เรียบมากกว่าตัวดำเนินการพีชชีอีโรชันและโคเลชัน ดังนั้นจึงนิยมใช้ตัวดำเนินการ โคสซิงและ โอเพ่นนิ่งในการเกลี่ยภาพให้เรียบและกำจัดสัญญาณรบกวน

การศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ของตัวดำเนินการพื้นฐาน ก็เพื่อให้เข้าใจคุณสมบัติของแต่ละตัวดำเนินการทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม ในหัวข้อต่อไปเราจะพิจารณาตัวดำเนินการอื่นๆ กัน ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้ล้วนพัฒนามาจากตัวดำเนินการพื้นฐานโคเลชันและอีโรชัน อย่างตัวดำเนินการที่พิจารณากันมาก่อนหน้านี้คือ ตัวดำเนินการ โอเพ่นนิ่งและ โคสซิง อีกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองหัวข้อต่อไปจะมาทำความเข้าใจกับตัวดำเนินการสำหรับตรวจหาวัตถุในภาพอีกสองตัวคือ ตัวดำเนินการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงบริเวณขอบของวัตถุในภาพหรือที่เรียกว่า “ฟัซซีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ (Fuzzy Morphological Gradient)” กับตัวดำเนินการตรวจหาความเข้ากันได้ของเนื้อภาพ (Texture) หรือที่เรียกว่า “ฟัซซีฮิตออร์มิสส์ (Fuzzy Hit-or-Miss)”



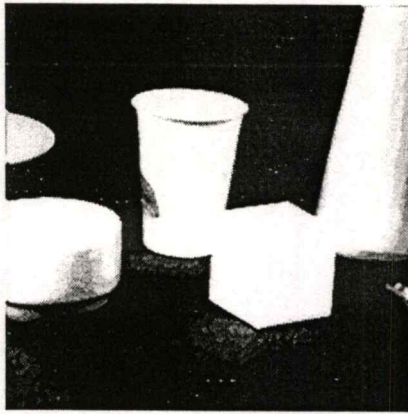
รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการฟัซซีฮิตออร์มิสส์ที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาคาในสมการ (4.3)-(4.6)

#### 4.10 ฟัซซีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์<sup>2</sup>

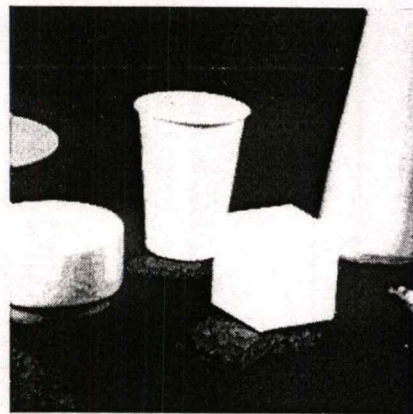
จากคุณสมบัติทางฟัซซีคณิตศาสตร์ที่หาคือ Increasing และข้อที่เจ็ดคือ Extensivity กับ Anti-Extensivity ทำให้ตัวดำเนินการพื้นฐาน ไคเลชันและอีโรชัน มีคุณสมบัติของการประมาณค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูล (Upper and Lower Approximation [30]) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$f \ominus k(x, y) \subset f(x, y) \subset f \oplus k(x, y) \quad (4.11)$$

<sup>2</sup> สำหรับฟัซซีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ที่จะกล่าวถึงในตอนแรกนี้จะอธิบายคุณสมบัติต่างๆ ไปที่มีอยู่ในมอร์โฟโลยีคอลเกรเดียนต์ ส่วนคุณสมบัติเฉพาะของที่ผนวกเข้ากับฟัซซีจะได้อธิบายในตอนหลังในหัวข้อนี้เช่นกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เฉพาะงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ในพื้นที่อื่นหรือเผยแพร่เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สมการที่ (4.3)



(ข) สมการที่ (4.4)



(ค) สมการที่ (4.5)



(ง) สมการที่ (4.6)

รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการพีชชีโคสซิงที่ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการ (4.3)-(4.6)

ถ้าเซต  $k$  ถูกออกแบบให้เพิ่มค่าความเป็นขอบของวัตถุในภาพ ดังนั้นค่าความแตกต่างระหว่างไคเลชันกับอีโรชันก็คือค่าความเป็นขอบของวัตถุในภาพ และแบบจำลองของการหาค่าความแตกต่างของกรณีนี้ด้วยมอร์โฟโลยีจะถือว่าเป็นตัวดำเนินการอีกตัวหนึ่งที่เรียกว่า “มอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ [31]” ซึ่งจะแทนด้วยสัญลักษณ์  $\nabla f(x, y)$  ที่สามารถกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

$$\nabla f(x, y) = (f \oplus k(x, y)) \setminus (f \ominus k(x, y)) \quad (4.12)$$

สำหรับมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ในรูปแบบอื่นๆ ที่กำหนดจากคุณสมบัติทางพีชคณิต Anti-Extensivity คือตัวดำเนินการอีโรชันเกรเดียนต์ ( $\nabla f \ominus k$ ) และที่กำหนดจากคุณสมบัติ Extensivity คือตัวดำเนินการไคเลชันเกรเดียนต์ ( $\nabla f \oplus k$ ) [4, 32] ซึ่งทั้งสองตัวดำเนินการสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\nabla f \ominus k(x, y) = f(x, y) - f \ominus k(x, y) \quad (4.13)$$

$$\nabla f \oplus k(x, y) = f \oplus k(x, y) - f(x, y) \quad (4.14)$$

ขอบของวัตถุที่ได้จากสมการที่ (4.12) ถึง (4.14) จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังที่เห็นจากรูปที่ 4.9 ในรูปนี้ได้แสดงผลของขอบภาพที่ประมวลผลด้วยมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ธรรมดา ซึ่งคุณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นอกจากมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ในรูปแบบทั่วไปที่ได้นำเสนอไว้ในสมการที่ (4.12) ถึง (4.14) แล้ว ยังมีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ในรูปแบบอื่นๆ อีก ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ได้ขอบภาพที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการเกลี่ยสัญญาณให้เรียบพร้อมกันกับการคำนวณค่ามอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ (Blurred Image Morphological Gradients) ของ Lee et al. [33] และมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์แบบหลายระดับ (Multiscale Morphological Gradients) ของ Chanda et al. [34]

ตัวดำเนินการฟัซซีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ สร้างขึ้นมาจากคุณสมบัติการประมาณค่าสูงสุดและต่ำสุด เช่นเดียวกับตัวดำเนินการมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์ในรูปแบบทั่วไป จากสมการที่ (4.12) เมื่อเขียนให้อยู่ในรูปของฟัซซีมอร์โฟโลจิคอลเกรเดียนต์สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_{\nabla f}(x, y) = \mu_{f \ominus k}(x, y) \setminus \mu_{f \oplus k}(x, y) \quad (4.15)$$

ในสมการที่ (4.15) บางกรณีของฟัซซีมอร์โฟโลยีเกรเดียนต์จะมีค่าไม่อยู่ในปริภูมิของฟัซซี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ  $\mu_{\nabla f}(x, y)$  ไม่เป็นสมาชิกของปริภูมิย่อยของฟัซซีเซต เนื่องจากในบางค่าของ  $\mu_{\nabla f}(x, y)$  เป็นค่าที่ติดลบ เพราะมีบางกรณีที่ฟัซซีอีโรชันมีค่ามากกว่าฟัซซีไดเลชันดังที่เราได้พิจารณากันมาแล้วในตารางที่ 4.3 ถึง 4.6 ทั้งนี้เพราะค่าที่เราเห็นในตารางเหล่านั้นเป็นค่าที่บอกถึงระดับความสอดคล้องกันระหว่างระดับค่าความเข้มของจุดภาพกับสตรีกเจอร์ริงอิทีเมนต์ถ้าเราต้องการให้สมการที่ (4.15) มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับสมการที่ (4.12) ก็ต้องแปลงค่าของไดเลชันและอีโรชันให้อยู่ในรูปของค่าความเข้มก่อนแล้วจึงนำมาหาค่าเกรเดียนต์ แต่กระบวนการแปลงหรือดีฟัซซีฟิเคชันนั้นมีความซับซ้อนพอสมควร และในกรณีนี้ค่าที่เรานำมาหาค่าดิฟเฟอเรนซ์ก็อยู่ในรูปแบบเดียวกัน ดังนั้น Sinha et al. [35] จึงได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่าให้นำทอมของฟัซซีอีโรชันไปอินเตอร์เซกชันกับค่าความเป็นสมาชิกก่อนที่จะหาค่าเกรเดียนต์ ก็จะสามารถแก้ปัญหานี้ได้ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_{\nabla f}(x, y) = \mu_{f \ominus k}(x, y) \setminus (\mu_f(x, y) \cap \mu_{f \oplus k}(x, y)) \quad (4.16)$$

ส่วนฟัซซีอีโรชันเกรเดียนต์ที่ใช้คุณสมบัติ Anti-Extensivity เป็นตัวกำหนด และฟัซซีไดเลชันเกรเดียนต์ที่ใช้คุณสมบัติ Extensivity เช่นเดียวกับสมการที่ (4.13) และ (4.14) โดยลำดับ ก็สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_{\nabla f \ominus k}(x, y) = \mu_f(x, y) - \mu_{f \oplus k}(x, y) \quad (4.17)$$

$$\mu_{\nabla f \oplus k}(x, y) = \mu_{f \ominus k}(x, y) - \mu_f(x, y) \quad (4.18)$$

## 4.12 ฟัซซีอิตออร์มิสส์

อิตออร์มิสส์เป็นตัวดำเนินการของมอร์โฟโลยีที่ใช้เป็นตัววิเคราะห์เนื้อหาของ [4] ตัวดำเนินการนี้จะวิเคราะห์ข้อมูลภาพในจุดต่างๆ โดยใช้จุดภาพบริเวณใกล้เคียงมาพิจารณาร่วม โดยทั่วไปอิตออร์มิสส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดำเนินงานของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออร์มิสส์จะใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตว่ามีปรากฏอยู่ในรูปภาพหรือไม่ เช่นจุดต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นมุมของวัตถุ หรือจุดที่เป็นขอบของวัตถุ ซึ่งการใช้ฮิตออร์มิสส์ในงานต่างๆ ที่ได้รับการเผยแพร่มาแล้วเช่น Template matching, Skeleton identification, Shape detection [36, 37] การหาขอบภาพ [38] และการเช็คเมนต์ข้อมูลภาพ [39] เป็นต้น

การแปลงข้อมูลภาพด้วยฮิตออร์มิสส์ [4] สตริกเจอร์ริงอีลีเมนต์  $k$  จะถูกแบ่งออกเป็นสองเซต เซตแรกใช้สำหรับตรวจหาจุดโครงสร้างภายในของวัตถุและจะเรียกเซตนี้ว่า “Hit” ซึ่งจะแทนด้วย  $k_1$  ส่วนเซตที่สองใช้สำหรับตรวจหาจุดที่เป็นโครงสร้างภายนอกของวัตถุและจะเรียกเซตนี้ว่า “Miss” ซึ่งจะแทนด้วยเซต  $k_2$  การแปลงฮิตออร์มิสส์ถูกนำไปใช้ในข้อมูลภาพไบนารีสำหรับตรวจหาโครงร่างของจุดภาพที่ประกอบขึ้นเป็นรูปของวัตถุ อย่างเช่นรอยต่อของส่วนที่เป็นพื้นภาพกับวัตถุเพื่อหาโครงร่างของวัตถุ (Skeleton) โดยการทำให้วัตถุให้บางลง (Thinning)

จากคำจำกัดความของการแปลงฮิตออร์มิสส์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพไบนารี  $A$  ด้วยเซตของสตริกเจอร์ริงอีลีเมนต์  $k$  ที่ถูกแบ่งออกเป็นสองเซต  $k = \{k_1, k_2\}$  และมีคุณสมบัติดังนี้

- $k = k_1 \cup k_2$
- $k_1 \cap k_2 = \Phi$

และผลที่ได้จากการแปลงเป็นจุดภาพ  $a$  ก็ต่อเมื่อ  $k_1$  ที่จุด  $a$  เป็นสับเซตของ  $A$  และ  $k_2$  ที่จุด  $a$  เป็นสับเซตของ  $A^c$  ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A \otimes k = \{a | (k_1)_a \subseteq A, (k_2)_a \subseteq A^c\} \quad (4.19)$$

จากคุณสมบัติของความสอดคล้องกันของมอร์โฟโลยี เราสามารถแทนการเป็นสับเซตกันได้ด้วยตัวดำเนินการอีโรชัน ดังนั้นในสมการที่ (4.19) สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่งคือ

$$A \otimes k = A \ominus k_1 \cap A^c \ominus k_2 \quad (4.20)$$

ในสมการที่ (4.20) เป็นการตรวจสอบความสอดคล้องกันในส่วนที่เป็นพื้นภาพและวัตถุ ถ้าทั้งสองส่วนสอดคล้องกันค่าของ  $A \otimes k$  ก็จะเท่ากับหนึ่งแต่ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ค่าก็จะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเมื่อนำการแปลงฮิตออร์มิสส์มาใช้กับภาพเกรย์สเกลก็ต้องมาตีความกันใหม่ เพราะจะทำให้เซต  $k$  มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับไบนารีมอร์โฟโลยีก็เป็นการจำกัดการนำไปใช้งานมากเกินไป และเมื่อต้องการนำการแปลงฮิตออร์มิสส์มาใช้กับภาพเกรย์สเกล ก็ต้องมีการปรับวิธีการให้เหมาะสมเพื่อให้การแปลงคงความหมายเดิมเอาไว้ เราลองมาพิจารณาการแปลงต่อไปนี้

$$A \otimes k = c(A \ominus k_1, A^c \ominus k_2) \quad (4.21)$$

ในสมการที่ (4.21) กำหนดให้  $A$  เป็นเซตของข้อมูลภาพเกรย์สเกล ส่วน  $c$  เป็นฟังก์ชันที่เข้าไปแทนตัวดำเนินการอินเตอร์เซกชัน เพื่อกำหนดระดับความสอดคล้องกันทั้งในส่วนของวัตถุและพื้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นบนอินเทอร์เน็ต ไม่ว่าจะโดยวิธีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพ ถ้าทั้งสองส่วนมีเปอร์เซ็นต์การสอดรับกันในระดับสูง ฟังก์ชัน  $c$  ก็ต้องแปลความหมายเช่นเดียวกับอินเตอร์เซกชันนั่นคือ

“ถ้า  $A \ominus k_1$  มีระดับความสอดรับกันสูงและ  $A^c \ominus k_2$  มีระดับความสอดรับกันสูง  $A \otimes k \rightarrow 1$ ” ส่วนในทางกลับกัน  $A \otimes k \rightarrow 0$

จากการแปลความหมายของการแปลงฮิตออร์มิสที่ใช้กับภาพเกรย์สเกลข้างต้นสตรักเจอร์ริงอี-ลิเมนต์เซต  $k = k_1 \cup k_2$  จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากไบนารีเมอร์โฟโลยีนั่นคือ  $k_1 \cap k_2$  จะไม่เท่ากับเซตว่างในทุกกรณี แต่ถ้าเราสามารถออกแบบสตรักเจอร์ริงอีลิเมนต์ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไบนารีเมอร์โฟโลยีมากเท่าไร ก็จะส่งผลในการแปลงฮิตออร์มิสที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพได้ดีขึ้นโดยลำดับเช่นกันนั่นคือ

$$(c(k_1, k_2) \rightarrow 0) \Leftrightarrow ((A \otimes k \rightarrow 1) \text{ or } (A \otimes k \rightarrow 0))$$

การแปลงฮิตออร์มิสที่ใช้กับภาพเกรย์สเกลข้างต้น จะมีความซับซ้อนในเรื่องของการแปลความหมายพอสมควร ถ้าเราลองมาพิจารณาการแปลงกันได้อีกกรณีหนึ่งคือ แทนที่จะเป็นปริภูมิของค่าเกรย์สเกลก็มาประมวลผลกันในปริภูมิฟัซซี ก็จะทำให้การแปลความมีความกระชับขึ้นและมีความหมายใกล้เคียงกับไบนารีเมอร์โฟโลยีมากขึ้น และที่สำคัญคือเราสามารถนำสมการที่ (4.20) กลับมาใช้ได้ภายใต้เงื่อนไขของไบนารีเมอร์โฟโลยีถึงจะไม่ตรงกับไบนารีในทุกกรณี แต่ก็มากกว่าการประมวลผลในปริภูมิของค่าเกรย์สเกล

เราลองมาพิจารณากรณีง่าย ๆ กันคือ ในไบนารีเมอร์โฟโลยีถ้าเราให้เซต  $A$  แทนเซตของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ  $A$  ก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกเป็นศูนย์กับหนึ่งหรือ  $\mu_A(x, y) = \{0, 1\}$  โดยที่ค่าความเป็นสมาชิกที่จุดภาพ  $(x, y)$  เท่ากับศูนย์ ( $\mu_A(x, y) = 0$ ) แสดงว่าที่จุดภาพนั้นไม่ใช่วัตถุแต่เป็นพื้นภาพและในทางตรงกันข้าม  $\mu_A(x, y) = 1$  ก็แสดงว่าจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  นั้นๆ เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุ ซึ่งถ้าเรามาเปรียบเทียบกับกรณีของฟัซซีเมอร์โฟโลยีก็จะสอดคล้องกันนั่นคือ กำหนดให้เซต  $A$  แทนเซตของข้อมูลภาพ วัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพก็จะถูกแทนด้วยระดับค่าความเป็นสมาชิกที่อยู่ในช่วงปิดของเลขจำนวนจริงศูนย์ถึงหนึ่งหรือ  $\mu_A(x, y) = [0, 1]$  ขึ้นอยู่กับว่าจุดภาพนั้นมีค่าความเป็นสมาชิกต่อวัตถุแต่ละชิ้นที่ปรากฏอยู่ในภาพมากน้อยขนาดไหน ถ้าจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุอย่างแน่นอนค่า  $\mu_A(x, y) = 1$  แต่ถ้าจุดภาพนี้ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุอย่างแน่นอนค่า  $\mu_A(x, y) = 0$  และถ้ายังมีความคลุมเครืออยู่คือไม่แน่ใจว่าจุดภาพนี้เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุหรือไม่ระดับความเป็นสมาชิกก็จะลดหลั่นกันลงมาตามระดับความคลุมเครือ ถ้าระดับความคลุมเครือมากค่าความเป็นสมาชิกก็จะน้อย และในทางตรงกันข้ามถ้าระดับความคลุมเครือน้อยค่าความเป็นสมาชิกก็จะมาก

เราได้ศึกษาคุณสมบัติของฟัซซีเมอร์โฟโลยีมาแล้วว่า หลักการที่ใช้สร้างตัวดำเนินการพื้นฐานขึ้นมาคือ “การวัดระดับความสอดรับกัน” ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับตัวดำเนินการพื้นฐาน

มอร์โฟโลยี ดังนั้นการแปลงฟัซซีออร์มิสส์ในสมการที่ (4.19) และ (4.20) สามารถเขียนเป็นสมการของฟัซซีออร์มิสส์ได้ดังนี้

$$\mu_{f \circ (k_1, k_2)} = \mu_{f \circ k_1} \cap \mu_{f \circ k_2} \tag{4.22}$$

จากสมการที่ (4.22) การแปลงฟัซซีออร์มิสส์จะตรวจหาระดับความสอดคล้องกันกับโครงสร้างภายในของวัตถุด้วยเทอม  $\mu_{f \circ k_1}$  และจะตรวจหาระดับความสอดคล้องกันกับโครงสร้างภายนอกของวัตถุด้วยตัวเทอม  $\mu_{f \circ k_2}$  เมื่อโครงสร้างของวัตถุทั้งสองส่วนเหมือนกันกับโครงสร้างที่กำลังตรวจหา  $(k_1, k_2)$  ระดับความเป็นสมาชิกของการแปลงฟัซซีออร์มิสส์ก็จะมีค่าสูง ( $\mu_{f \circ (k_1, k_2)} \rightarrow 1$ ) แต่ถ้ามีความสอดคล้องกันแค่ส่วนใดส่วนหนึ่งหรือไม่สอดคล้องกันทั้งสองส่วน  $\mu_{f \circ (k_1, k_2)} \rightarrow 0$  จะเห็นว่าคุณสมบัติของฟัซซีออร์มิสส์สอดคล้องกันกับไบนารีมอร์โฟโลยีทุกอย่าง ยกเว้นคุณสมบัติของสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ที่  $k_1 \cap k_2 \neq \Phi$

ตัวอย่างของการแปลงฟัซซีออร์มิสส์ที่นำมาอธิบายในที่นี้ จะใช้ส่วนข้อมูลภาพจากรูปที่ 4.2 และค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลภาพในรูปที่ 4.4(ก) ในส่วนของสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์จะกำหนดขึ้นมาใหม่ ซึ่งเซต  $k_1$  และ  $k_2$  ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 และผลลัพธ์ของการแปลงฟัซซีออร์มิสส์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11

0	0.5	1
0	0.5	1
0	0.5	1

$k_1$

1	0.5	0
1	0.5	0
1	0.5	0

$k_2$

รูปที่ 4.10 สตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ที่ใช้ในการแปลงฟัซซีออร์มิสส์

0.6863	0.9622	1.0000	0.9990	0.9298
0.4426	0.7801	1.0000	0.9999	0.9298
0.4426	0.6863	0.9976	1.0000	0.9298
0.4426	0.6863	0.9886	1.0000	0.9750

(ก)

0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	1	0

(ข)

0	0	1	1	1
0	0	1	1	1
0	0	0	1	1
0	0	0	1	1

(ค)

0	1	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0

(ง)

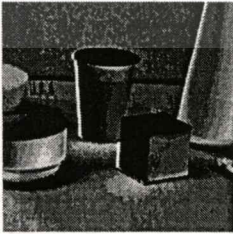
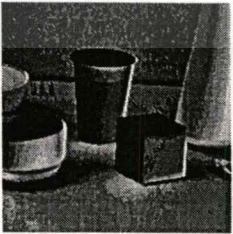
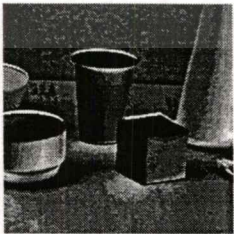
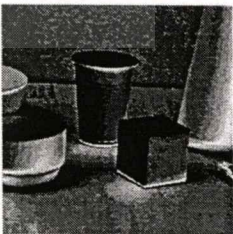
รูปที่ 4.11 (ก) ผลของการแปลงฟัซซีออร์มิสส์, (ข) ผลของการเทรสโฮลด์รูป

(ก) ด้วย 1, (ค) ข้อมูลภาพไบนารี และ (ง) ไบนารีอิตออร์มิสส์

ผลของการแปลงฟัซซีออร์มิสส์ในรูปที่ 4.11(ก) ได้จากการใช้  $\lambda$ -Function ของสมการที่ (4.6) ที่ค่าพารามิเตอร์  $n=10$  ส่วนเซต  $k_1$  และ  $k_2$  ในรูปที่ 4.10 ใช้ในการตรวจหาขอบของวัตถุที่สอดคล้องกันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขงต้นในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับกับโครงสร้างทั้งด้านในและด้านนอกตามลำดับ ซึ่งได้ผลของระดับความสอดคล้องกันได้ที่เห็นในรูปที่ 4.11(ก) จะเห็นว่าค่าที่เป็นของก็จะเท่ากับ 1.0 ส่วนค่าที่มีความสอดคล้องลดหลั่นกันลงมาก็จะมีระดับความสอดคล้องต่ำลงมา เมื่อเรากำหนดค่าเทรสโฮลด์เท่ากับหนึ่งก็จะได้ผลของการแปลงดังรูปที่ 4.11(ข) ส่วนภาพไบนารีในรูป (ค) ได้มาจากการเทรสโฮลด์ข้อมูลภาพของรูปที่ 4.4(ก) ด้วยค่า 0.3 เพื่อใช้ในการแปลงไบนารีฮิสโตแกรมและสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ที่ได้มาจากรูปที่ 4.10 โดยการเทรสโฮลด์  $k_1$  ด้วย 0.4 และ  $k_2$  ด้วย 0.6 ส่วนสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ที่ได้จะเป็นไบนารีซึ่งมีคุณสมบัติของการแปลงแบบไบนารีฮิสโตแกรมสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ทุกประการ สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงไบนารีฮิสโตแกรมได้แสดงไว้ในรูป (ง) เมื่อเปรียบเทียบผลจากการแปลงฮิสโตแกรมระหว่างวิธีไบนารีกับพีชชีจะเห็นว่าผลการแปลงของพีชชีฮิสโตแกรมมีความสอดคล้องกับข้อมูลจริงมากกว่าวิธีที่ได้จากไบนารี

จากการทดลองพบว่าส่วนที่ยากที่สุดของการแปลงข้อมูลภาพแบบฮิสโตแกรมคือ การออกแบบสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์หรือการแยกสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ (Structuring Element Decomposition) และการออกแบบไบนารีสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ จะยากกว่าสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ที่เป็นพีชชีเซต เนื่องจากในพีชชีเซต ส่วนที่ไม่สอดคล้องกับโครงสร้างของวัตถุทั้งหมดจะพิจารณาเป็นค่าความคลุมเครือไป ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นกว่าไบนารีที่มีความจำกัดในเรื่องนี้

	ก	ข	ค	ง
$k_1$	$\begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
$k_2$	$\begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
				

รูปที่ 4.12 ชุดของสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ที่ใช้ในการแปลงพีชชีฮิสโตแกรม

การแปลงพีชชีฮิสโตแกรมที่ใช้กับข้อมูลภาพเกรย์สเกลในรูปที่ 4.12 ได้แสดงให้เห็นรูปแบบต่างๆ ของสตรักเจอร์อิงอีลีเมนต์ในแต่ละคู่ที่มีผลต่อการแปลง ในคอลัมน์ (ก) เป็นการตรวจหาขอบเอกสารเป็นเอกสารทั้งสองส่วนแล้วหรือการเชิงในฟังก์ชันที่มองเห็น เมื่ออยู่ใต้เห็นไปเชิงจะเขียนต้นการที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านซ้ายของวัตถุในแนวตั้ง ที่เราเห็นแถบสีขาวทางด้านซ้ายของวัตถุนั้นคือขอบที่สตรักเจอร์-อิธิเมนต์ ในคอลัมน์นี้สามารถตรวจหาได้ คอลัมน์ (ข) เป็นการตรวจหาขอบของวัตถุที่อยู่ทางด้านขวา คอลัมน์ (ค) เป็นการตรวจหาขอบของวัตถุที่ปรากฏอยู่ด้านบน ส่วนคอลัมน์ (ง) เป็นการตรวจหาขอบของวัตถุที่ปรากฏอยู่ด้านล่าง ผลของการแปลงในแต่ละชุดของสตรักเจอร์อิธิเมนต์ที่แสดงไว้ในรูปนี้ยังไม่สมบูรณ์ร้อยเปอร์เซ็นต์ ถ้าจะให้ได้ขอบทุกด้านที่สมบูรณ์ก็ต้องเพิ่มชุดของสตรักเจอร์อิธิเมนต์ ในส่วนที่เป็นมุมในด้านต่างๆ เข้าไป

#### 4.12 สรุป

ทฤษฎีต่างๆ ที่ได้นำเสนอไว้แล้วในบทนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่นำไปใช้ในการเช็กเมนต์วัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพที่จะได้นำเสนอในบทต่อไป



## การแบ่งแยกวัตถุในภาพเกรย์สเกลด้วยฟัซซีเมอร์โฟโลยี

### 5.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการแบ่งแยกวัตถุในภาพเกรย์สเกลด้วยฟัซซีเมอร์โฟโลยี โดยการแบ่งแยกวัตถุหรือการเช็กเมนต์ในที่นี้จะเป็วิธีอะแด็ปทีฟเทอร์สโฮลดิ้ง (Adaptive thresholding) ที่ใช้ข้อมูลจากจุดภาพบริเวณใกล้เคียงมาช่วยในการกำหนดค่าเทอร์สโฮลด์ที่จะผันแปรไปตามการแจกแจงของข้อมูลจุดภาพใน spatial domain ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจทั้งหมดต่างอนุมานจากฟัซซีอิเตอร์มิสต์แบบจำลองของการเช็กเมนต์ที่นำเสนอในที่นี้เป็นชนิดวนซ้ำแบบมีลำดับชั้น (Hierarchical iterations) ซึ่งในแบบจำลองนี้จะถูกแทนด้วยไบนารีทรี โดยมีส่วนของลีฟโนด (Leaf nodes) แทนคลาสของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ นอกจากนี้แบบจำลองที่นำเสนอผู้ใช้ไม่ต้องกำหนดจำนวนคลาสไว้ล่วงหน้า เนื่องจากอัลกอริทึมสามารถกำหนดได้เอง จากการวิเคราะห์ความเป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละคลาส และจำนวนคลาสของแต่ละรูปก็คือจำนวนลีฟโนดของไบนารีทรีนั่นเอง สำหรับผลการทดลองที่ได้แนะนำจะมีการประเมินผลทั้งการวัดด้วยตัวเลขและการประเมินด้วยสายตา วิธีที่นำเสนอถูกนำไปทดสอบกับข้อมูลภาพจำนวนมาก เช่น ภาพ MRI, CT-scan และภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการแบ่งแยกวัตถุที่เขยนำเสนอมาแล้ว

### 5.2 อะแด็ปทีฟเทอร์สโฮลดิ้ง

ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่าอะแด็ปทีฟเทอร์สโฮลดิ้งมีวิวัฒนาการมาจากโกลบอลเทอร์สโฮลดิ้งที่มีการกำหนดค่าเทอร์สโฮลด์ที่เหมาะสมให้กับแต่ละภาพเพียงค่าเดียว แล้วใช้แบ่งข้อมูลภาพออกเป็นสองคลาส แต่ถ้าวัตถุที่อยู่ในภาพมีหลายชนิดและแต่ละชนิดมีค่าความเข้มต่างกัน วิธีโกลบอลเทอร์สโฮลดิ้งก็จะไม่เพียงพอที่จะใช้เช็กเมนต์ข้อมูลภาพ ซึ่งทำให้ต้องพัฒนาต่อไปอีกคือ วิธีโลคอลเทอร์สโฮลดิ้งที่เช็กเมนต์วัตถุในภาพโดยอาศัยข้อมูลจากจุดภาพบริเวณใกล้เคียงมาวิเคราะห์ เพื่อที่จะระบุว่าจุดภาพนั้นควรอยู่ในคลาสใด ซึ่งในวิธีนี้เริ่มใช้ spatial information โดยจะวิเคราะห์การเชื่อมต่อกันของจุดภาพบริเวณใกล้เคียงจึงทำให้คลาสต่างๆ ที่กำหนดด้วยวิธีโลคอลเทอร์สโฮลดิ้งมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และจากวิธีนี้เองเมื่อจุดภาพแต่ละจุดถูกเทอร์สโฮลด์ด้วยค่าที่แตกต่างกัน ทำให้เรียกโลคอลเทอร์สโฮลดิ้งเป็นอีกชื่อหนึ่งคือ อะแด็ปทีฟเทอร์สโฮลดิ้ง

การเช็กเมนต์ด้วยฟัซซีเมอร์โฟโลยีที่นำเสนอในที่นี้ เป็นการเช็กเมนต์แบบอะแด็ปทีฟ (Adaptive) เนื่องจากกระบวนการที่ใช้เช็กเมนต์คือ การแปลงฟัซซีอิเตอร์มิสต์ และบทที่แล้วเราได้ศึกษามาแล้วว่ากระบวนการนี้มีคุณสมบัติอย่างไรและสามารถนำมาประมวลผลภาพเกรย์สเกลได้

ด้วยวิธีใด คุณสมบัติที่สำคัญที่ทำให้เรานำพีชคณิตออร์มิสมาใช้คือ “การตรวจหาความสัมพันธ์ทั้งภายในและภายนอกของวัตถุด้วยเซตของสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์” ซึ่งหัวใจของกระบวนการนี้อยู่ที่การออกแบบสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์ว่าจะให้สอดคล้องกับส่วนใดของวัตถุในภาพ ซึ่งในบทที่แล้วได้แสดงให้เห็นว่า ถ้าต้องการตรวจหาขอบของวัตถุควรรออกแบบสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์อย่างไร ซึ่งในบทนี้เราจะศึกษากันอย่างละเอียดว่าจะสามารถออกแบบสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์อย่างไร จึงสามารถใช้เซ็กเมนต์วัตถุที่อยู่ในภาพได้ถูกต้องเหมาะสม

### 5.3 อะแด็ปทีฟเทอร์สโสดึงด้วยพีชคณิตออร์มิส

พีชคณิตออร์มิสมีคุณสมบัติของ Spatial information ผวนกอยู่ในตัวดำเนินการเรียบร้อยแล้ว เนื่องจาก spatial information ซึ่งในที่นี้ก็คือการนำเอาลักษณะการเชื่อมต่อของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงมาช่วยในการตัดสินใจว่าที่จุดภาพนั้นๆ เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุหรือว่าจะเป็นส่วนหนึ่งของพื้นภาพ ซึ่งคุณสมบัติการเชื่อมต่ออันนี้จะถูกบรรจุเอาไว้ในสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์เรียบร้อยแล้ว ที่นี้ขึ้นอยู่กับว่าเราจะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของการเชื่อมต่ออย่างไร จึงจะทำให้การตัดสินใจเลือกคลาสให้กับจุดภาพมีความถูกต้องหรือมีความเหมาะสมมากที่สุด

รูปแบบของสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์ที่ได้ทดลองและได้ผลดีพอสมควรคือ ใช้จุดภาพรอบข้างถึงจุดตั้งแสดงในรูปที่ 5.1(ก) แต่สตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์ที่ใช้ประมวลผลกับจุดภาพจริงๆ จะถูกคำนวณใหม่จากแต่ละส่วนของวัตถุ ( $m(x, y)$ ) กับพื้นภาพ ( $l(x, y)$ ) ดังที่แสดงไว้ในรูป (ข) ซึ่งในรูปที่มีค่า  $l(x, y)$  และ  $m(x, y)$  แทนค่าต่ำสุดและสูงสุดของวินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  ตามลำดับ โดยค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่ง  $(x, y)$  ที่เราเลื่อนไป จากการออกแบบสตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์โดยวิธีนี้ทำให้เราสามารถแยกส่วนของพื้นภาพออกจากวัตถุได้อย่างชัดเจน เพราะส่วนของพื้นภาพจะถูกแปลงให้มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง สำหรับค่าความเป็นสมาชิกในส่วนที่เป็นวัตถุก็จะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง และผลของการแปลงด้วยพีชคณิตออร์มิสได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2

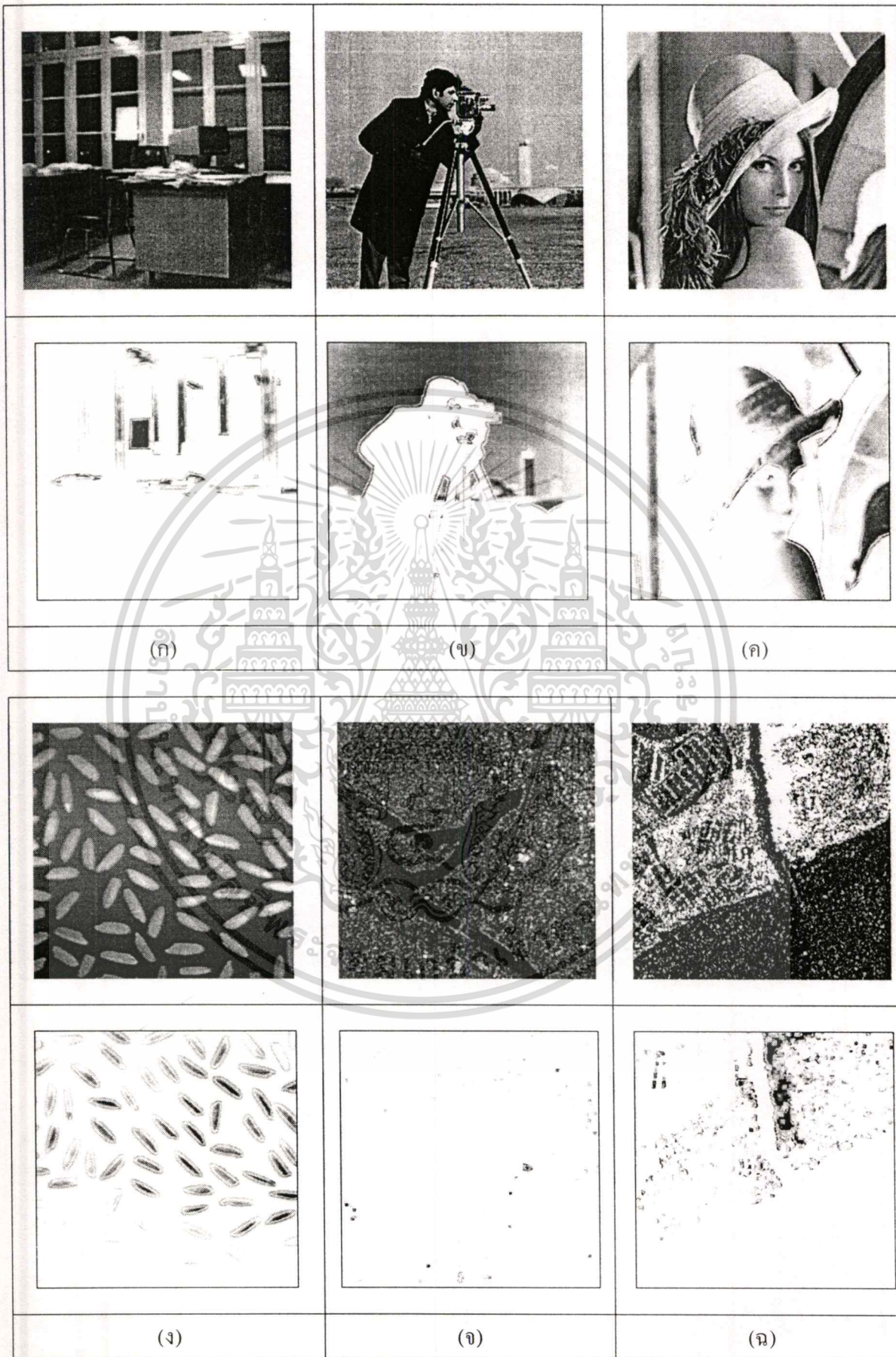
$$k_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad k_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(ก)

$$l(x, y)k_1 = \begin{bmatrix} 0 & l(x, y) & 0 \\ l(x, y) & l(x, y) & l(x, y) \\ 0 & l(x, y) & 0 \end{bmatrix} \quad m(x, y)k_2 = \begin{bmatrix} m(x, y) & 0 & m(x, y) \\ 0 & m(x, y) & 0 \\ m(x, y) & 0 & m(x, y) \end{bmatrix}$$

(ข)

รูปที่ 5.1 สตรักเจอร์อิงอีลิเมนต์ที่จะในการจำแนกวัตถุกับพื้นภาพ



รูปที่ 5.2 ผลของการแปลงพีชคณิตออร์มิสต์ด้วยสตรักเจอร์ริงอีทีเมนต์ในรูปที่ 5.1(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 เป็นส่วนหนึ่งของผลการทดลองที่ใช้ภาพเกรย์สเกลทุกรูป เพื่อแสดงให้เห็นว่าฟิซซี-ฮิตออร์มิสส์ที่ใช้สตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ในรูปที่ 5.1(ข) สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นภาพได้อย่างไร การกำหนดสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ในกรณีนี้ ทำให้ส่วนของพื้นภาพถูกฟิซซีฮิตออร์มิสส์แปลงค่าให้เป็นสีขาว ซึ่งทำให้เราสามารถจำแนกส่วนที่เป็นพื้นภาพออกจากวัตถุได้โดยง่าย

จากการทดลองที่ใช้ฟิซซีฮิตออร์มิสส์กับสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ในรูปแบบอื่นๆ พบว่าไม่สามารถแยกวัตถุจากพื้นภาพได้ดีดังเช่นสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ในรูปที่ 5.1(ข) เช่นเมื่อใช้สตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์รูปพื้นวงกลมหรือรูปดิสก์ (Disk) จะทำให้ฟิซซีฮิตออร์มิสส์แยกได้ดีเฉพาะวัตถุที่เป็นรูปโค้ง หรือการใช้โครงสร้างสตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ในรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดหรือ “Diamond” ก็จะทำให้ฟิซซีฮิตออร์มิสส์แยกวัตถุได้ดีเฉพาะรูปเหลี่ยม ส่วนการใช้สตรักเจอร์ริงอีลีเมนต์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะทำให้คุณภาพของวัตถุมีตำแหน่งที่ผิดเพี้ยนไปจากเดิมมาก เมื่อทดสอบผลการวัดแบบ Discrepancy

เมื่อสามารถหาคุณสมบัติที่เหมาะสม เพื่อจำแนกคลาสของวัตถุกับพื้นภาพได้อย่างเหมาะสมแล้ว และวิธีที่นำเสนออีกเป็นการจำแนกโดยใช้สารสนเทศของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียง มาเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับจำแนก ซึ่งในรูปที่ 5.2 เราได้ใช้ฟังก์ชันแลมดาในสมการที่ (4.3) ของบทที่ 4 ที่ค่าตัวแปร  $n=1.25$  และดังที่ทราบกันมาแล้วว่าฟังก์ชันแลมดาในแต่ละสมการมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามค่าของตัวแปร  $n$  ซึ่งจะแสดงถึงการเลือกค่า  $n$  ในแต่ละสมการไว้ในส่วนของอัลกอริทึมการเช็กเมนต์และผลการทดลอง ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นแต่เพียงว่าการแปลงฟิซซีฮิตออร์มิสส์สามารถจำแนกคลาสของวัตถุและพื้นภาพได้อย่างไร และในขั้นคอนต่อไปก็จะเป็นการวัดความเป็นเนื้อเดียวกันของแต่ละคลาส เมื่อคลาสใดยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็จะถูกฟิซซีฮิตออร์มิสส์แบ่งออกเป็นสองส่วนอีกครั้งหนึ่ง ตามกลไกของการวนซ้ำแบบมีลำดับชั้น

#### 5.4 ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน

การแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นสองคลาสโดยฟิซซีฮิตออร์มิสส์ สองคลาสแรกที่ถูกแบ่งออกมาแต่ละคลาสจะไม่ได้แบ่งส่วนของวัตถุได้ถูกต้องเสมอไป คือถ้าในข้อมูลภาพมีวัตถุอยู่หลายชิ้นและแต่ละชิ้นมีระดับความเข้มของจุดภาพที่แตกต่างกัน จะทำให้สองคลาสแรกที่ได้ยังไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือแต่ละคลาสอาจจะสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก เพราะยังมีวัตถุที่สามารถแยกออกจากกันได้อีก

หลักเกณฑ์ที่จะใช้วัดว่าคลาสใดสมควรถูกแบ่งอีกหรือไม่คือ ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาส (Homogeneity index) [46, 47] ที่กำหนดขึ้นมาจากการรวมค่าความเป็นเนื้อเดียวกันภายในคลาส โดยที่ค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาสสามารถคำนวณได้จากค่าความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเป็นสมาชิกของจุดภาพต่อคลาสนั้น สำหรับข้อมูลภาพเกรย์สเกล  $f(x, y)$  ที่มีความเป็น

สมาชิกต่อคลาสที่  $i$  ( $R_i$ ) และมีพื้นที่ทั้งหมดของคลาสนี้เท่ากับ  $A_i$  ดังนั้นค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน ( $U$ ) สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$U = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{(x,y) \in R_i} \left( f(x,y) - \frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y) \right)^2}{C} \quad (5.1)$$

ในสมการที่ (5.1) นี้จะมีจำนวนคลาสน้อย  $n$  คลาส ส่วน  $C$  เป็นค่าคงที่ แต่ในที่นี้จะกำหนดให้เป็นค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (Sum Square Error) ของข้อมูลภาพอินพุต สำหรับเทอม  $\frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y)$  เป็นค่าคาดหวังของคลาสที่  $i$  ถ้าแต่ละคลาสที่ถูกเช็คเมนต์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน เทอมค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสองในแต่ละคลาสหรือ

$$\sum_{(x,y) \in R_i} \left( f(x,y) - \frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y) \right)^2$$

จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้ผลรวมของค่านี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์เช่นกัน เมื่อผลรวมของค่าความผิดพลาดกำลังสองของทุกคลาสถูกหารด้วย  $C$  ซึ่งมีค่ามาก ทำให้เทอม

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{(x,y) \in R_i} \left( f(x,y) - \frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y) \right)^2}{C}$$

เข้าใกล้ศูนย์ จึงทำให้ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันเข้าใกล้หนึ่ง เมื่อทุกคลาสที่ถูกเช็คเมนต์เป็นเนื้อเดียวกัน

ในกรณีที่มีคลาสไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ค่าความผิดพลาดกำลังสองของคลาสนั้นจะมีค่ามาก จึงส่งผลให้  $U$  มีค่าต่ำ ยังมีหลายคลาสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันค่า  $U$  ก็จะยิ่งน้อยกว่าหนึ่งมากๆ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้นลองพิจารณารูปที่ 5.3 ข้อมูลภาพถูกแบ่งเป็นสองคลาสด้วยพีช-ซีอีตออร์มิสส์ (ข้อมูลภาพจากรูปที่ 5.2(ฉ) และค่า  $C$  ที่เป็นตัวหารของสมการที่ (5.1) ของภาพนี้คือ 342,654,390.14) ในการเช็คเมนต์ครั้งแรก ซึ่งได้ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U=0.788$  และการเช็คเมนต์ในครั้งที่หนึ่งนี้ ปรากฏว่าคลาสที่สองมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าคลาสที่หนึ่ง (คลาสทางซ้าย) จึงต้องส่งคลาสที่สองไปเช็คเมนต์ครั้งที่ 2 ซึ่งทำให้คลาสทั้งหมดมี 3 คลาสคือ คลาสที่หนึ่ง ส่วนคลาสที่สองถูกแตกออกเป็นสองคลาส และจากทั้งสามคลาสนี้ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันคือ  $U=0.877$  ซึ่งจะเห็นว่าทั้งสามคลาสนี้ค่าความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น แต่เมื่อเทียบกันในสามคลาสนี้ปรากฏว่าคลาสที่หนึ่งมีค่าความไม่เป็นเนื้อเดียวกันสูงที่สุด ดังนั้นคลาสที่หนึ่งจึงถูกเช็คเมนต์อีกครั้งหนึ่ง ทำให้คลาสนี้ถูกแบ่งออกเป็นสองคลาส และทำให้จำนวนคลาสนี้ทั้งหมดคือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$n=4$  และมีค่า  $U=0.933$  ซึ่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากยิ่งขึ้นหรือมีความเป็นเนื้อเดียวกันภายในคลาสมากยิ่งขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 5.3 การเซ็กเมนต์ชนิดคว้นซ้ำแบบมีลำดับชั้นโดยใช้ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน

จะเห็นว่าข้อมูลภาพ โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยหน่วยที่เล็กที่สุดคือ จุดภาพ และจุดภาพที่มีคุณสมบัติเหมือนกันอยู่ในตำแหน่งที่ติดกันหลายๆ จุดภาพก็จะประกอบขึ้นเป็นริเจียน ในริเจียนหนึ่งอาจจะเป็นส่วนประกอบของวัตถุชิ้นหนึ่งหรือริเจียนนั้นๆ จะเป็นวัตถุชิ้นหนึ่งในภาพก็ได้ ที่นี้เราได้ใช้เงื่อนไขของกลุ่มจุดภาพที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในการกำหนดเป็นริเจียนขึ้นมา และคุณสมบัติที่นำมาใช้ในที่นี้คือคุณสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.3 และสมการที่ (5.1) เมื่อมีหลักเกณฑ์สำหรับแบ่งริเจียนต่างๆ ของข้อมูลภาพแล้ว ต่อไปจะมาศึกษาขั้นตอนในเรื่องของการเซ็กเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกล ที่ผู้ใช้ไม่ต้องกำหนดจำนวนคลาสรหัสหรือ “Unsupervised segmentation” ในรูปแบบของการเซ็กเมนต์ชนิดคว้นซ้ำแบบมีลำดับ

## 5.5 การเช็กเมนต์ชนิดวนซ้ำแบบมีลำดับ

แนวคิดของการเช็กเมนต์ชนิดวนซ้ำแบบมีลำดับ ได้พิจารณาไปบางส่วนแล้วในรูปที่ 5.3 ซึ่งในการเช็กเมนต์ด้วยพีชชีอิเตอร์มิสส์ในแต่ละรอบจะแบ่งคลาสที่ถูกเช็กเมนต์ออกเป็นสองส่วน ถ้ากำหนดให้  $k$  เป็นจำนวนครั้งของการเช็กเมนต์ ดังนั้นจำนวนคลาสที่ได้จากอัลกอริทึมคือ  $n=k+1$  จากรูปที่ 5.3 ที่มีการเช็กเมนต์ไปจำนวนสามครั้ง ( $k=3$ ) ด้วยกัน ทำให้จำนวนคลาสที่ได้คือ  $n=3+1=4$  คลาส สำหรับอัลกอริทึมที่นำเสนอจะเห็นว่าผู้ใช้ไม่ต้องกำหนดจำนวนคลาสไว้ล่วงหน้า อัลกอริทึมจะเป็นตัวกำหนดขึ้นมาเองโดยเทียบจากคุณสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกันของรีเจียน

จากสมการที่ (5.1) เราจะเห็นว่าค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันของรีเจียนมีค่าสูงสุดเท่ากับหนึ่ง ซึ่งถ้าเราตั้งสมมุติฐานหลัก (Null hypothesis) เอาไว้ว่า  $H_0: U = 1$  ซึ่งเป็นการทดสอบสมมุติฐานแบบด้านเดียว โดยตั้งระดับนัยสำคัญ (Significant level:  $\alpha$ ) ไว้เท่ากับ 5% และอัลกอริทึมจะหยุดเช็กเมนต์เมื่อสมมุติฐานหลักเป็นจริงคือ  $U = 1$  แต่ถ้ายังไม่ยอมรับสมมุติฐานหลักคือ เงื่อนไขในสมมุติฐานรอง (Alternative hypothesis) ยังคงเป็นจริงอยู่คือ  $H_1: U < 1$  อัลกอริทึมก็จะต้องทำการเช็กเมนต์ต่อไป

การทดสอบสมมุติฐานของดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันข้างต้น เราจำเป็นจะต้องพัฒนาตัวสถิติทดสอบ (Test statistics) ขึ้นมา สำหรับแนวคิดของการพัฒนาตัวสถิติทดสอบของการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละคลาสคือตัวสถิติทดสอบ  $\chi^2_{n-1}$  ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าค่าความเป็นเนื้อเดียวกันจะอยู่ในรูปของค่าความแปรปรวน ในที่นี้  $n$  จะเป็นจำนวนคลาส ดังนั้นถ้ากำหนดให้คลาสที่  $i$  มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $S_i^2$  สมมุติฐานหลักก็จะอยู่ในรูป

$$H_0: S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = \dots = S_n^2 = \sigma^2$$

นั่นคือการทดสอบค่าความแปรปรวนในแต่ละคลาสว่าเท่ากันทั้งหมดและเท่ากับ  $\sigma^2$  หรือไม่ ซึ่งในการทดสอบค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของรีเจียนในที่นี้คือ ค่าความแปรปรวนของทุกรีเจียนเท่ากับศูนย์หรือ  $\sigma^2 = 0$  ซึ่งจะทำให้ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U = 1$  ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว

ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเช็กเมนต์ชนิดวนซ้ำแบบมีลำดับได้ถูกเก็บไว้ในไบนารีทรี เนื่องจากลักษณะการเช็กเมนต์ข้อมูลภาพของพีชชีอิเตอร์มิสส์ในแต่ละครั้ง จะแบ่งข้อมูลออกเป็นสองคลาส (ดูรูปที่ 5.3 ประกอบ) ดังนั้นโครงสร้างข้อมูลที่เหมาะสมกับอัลกอริทึมนี้คือไบนารีทรี นอกจากนี้ไบนารีทรียังมีความสำคัญต่อการเช็กเมนต์แบบแบ่งทีละสองคลาสอีกอย่างหนึ่งคือ ลีฟโหนดของไบนารีทรีจะแทนคลาสที่อัลกอริทึมการเช็กเมนต์แบ่งแยกได้ ซึ่งถ้านับจำนวนลีฟโหนดหลังจากที่อัลกอริทึมแบ่งข้อมูลภาพเสร็จแล้ว จำนวนลีฟโหนดจะเท่ากับจำนวนคลาส  $n=k+1$  ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

## 5.6 ขั้นตอนการเช็คเมนต์ภาพเกรย์สเกลด้วยพีชซีมอร์โฟโลยี

จากเทคนิคต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ขั้นตอนการเช็คเมนต์ที่นำเสนอมีอยู่สองส่วนด้วยกันคือ ขั้นตอนการเช็คเมนต์และขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน ในขั้นตอนของการเช็คเมนต์ตัวดำเนินการพีชซีมอร์มอสจะทำหน้าที่แบ่งข้อมูลภาพเกรย์สเกลออกเป็นสองส่วน เมื่อข้อมูลภาพถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนแล้ว ก็จะนำข้อมูลภาพแต่ละส่วนมาทดสอบความเป็นเนื้อกันของคลาสด้วยค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าสมมติฐานหลักยังถูกปฏิเสธอยู่ก็แสดงว่ามีคลาสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและคลาสที่ยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็จะถูกส่งไปเช็คเมนต์ในขั้นตอนแรกอีกครั้ง อัลกอริทึมก็จะดำเนินการเช็คเมนต์แบบวนซ้ำอยู่จนกระทั่งไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก หรือยอมรับว่าคลาสที่เช็คเมนต์แล้วมีความเป็นเนื้อเดียวกันด้วยระดับนัยสำคัญห่าเปอร์เซ็นต์

### 5.6.1 ตัวแปรที่ใช้ในอัลกอริทึม

ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมจะมีการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่ก็ต้องกำหนดค่าตัวแปรพื้นฐานให้กับอัลกอริทึม ตัวแปรที่เราต้องกำหนดให้กับอัลกอริทึมในที่นี้คือ ค่าระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาส และตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่ต้องกำหนดคือค่า  $n$  ของฟังก์ชันแลมดา สำหรับค่าตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้ในอัลกอริทึมจะมีการคำนวณและปรับค่าตัวเองอย่างอัตโนมัติตามการแจกแจงของข้อมูลภาพที่ป้อนเข้ามา ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลภาพเป็นพีชซีเซต และตัวแปรที่ใช้ในสตรัคเจอร์อิงอีลีเมนต์ ดังที่ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 5.1

### 5.6.2 อัลกอริทึม

รูปที่ 5.4 ได้แสดงขั้นตอนการการเช็คเมนต์ข้อมูลภาพเกรย์สเกลที่ได้นำเสนอ อัลกอริทึมการเช็คเมนต์ชนิดวนซ้ำแบบลำดับชั้นในรูปนี้จะแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น  $i$  คลาส สำหรับขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดได้อธิบายบล็อกต่างๆ ของอัลกอริทึม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 1. การกำหนดค่าเริ่มต้นในกับอัลกอริทึม

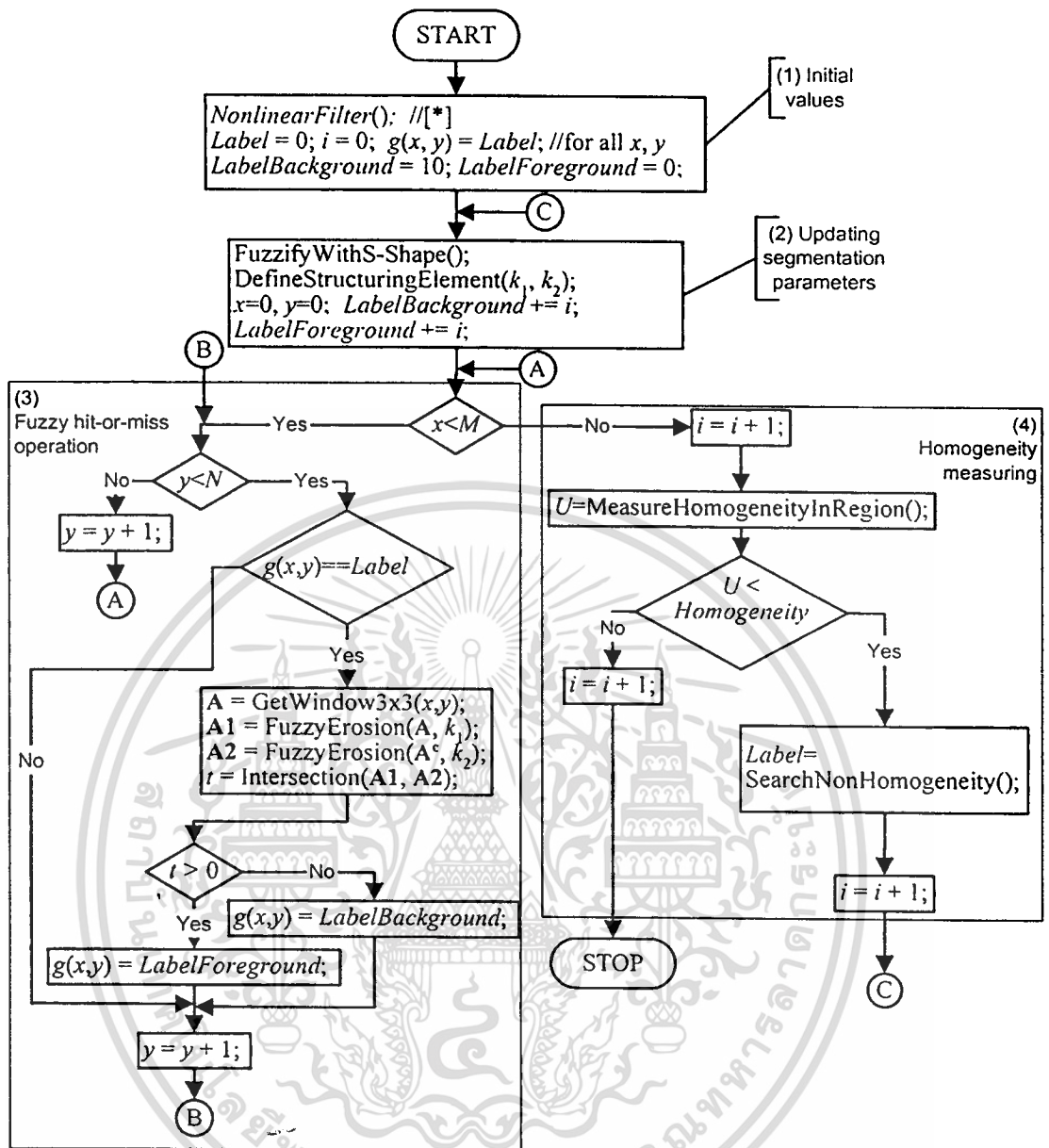
1.1. การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชัน *NonlinearFilter*( ) [53] ซึ่งตัวแปรต่างๆ ของฟังก์ชัน *NonlinearFilter*( ) ประกอบด้วยขนาดของวินโดว์คือ  $N=3$  ขนาดของวินโดว์เกรเดียนต์  $tau = 1.5$  ส่วนตัวแปรที่ใช้จัดการกับการกระจายของสัญญาณรบกวนคือ  $sigma$  และ  $mu$  จะถูกคำนวณจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยโดยลำดับ

1.2.  $Label=0$ ,  $g(x,y) = Label$  เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร  $Label$  เพื่อไว้เก็บจุดภาพที่ถูกแบ่งแยกไว้ใน  $g(x,y)$

1.3.  $LabelBackground = 10$ ,  $LabelForeground = 0$  เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ใช้แทนส่วนของวัตถุกับพื้นภาพ

- 1.4. *Homogeneity* = 0.95 เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบความเป็นเนื้อเดียวกันของการทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 5%
2. ปรับค่าตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งแยกข้อมูลภาพ
  - 2.1. กำหนดค่าความเป็นสมาชิกด้วยฟังก์ชัน  $S$  ในสมการที่ (3.3)
  - 2.2. กำหนดศตวรรษจริงอีลิเมนต์  $k_1$  และ  $k_2$  ตามรูปที่ 5.1x และกำหนดค่าตัวแปร  $n$  ของฟังก์ชันแลมดาเท่ากับ 2.75
  - 2.3. เพิ่มค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดส่วนของวัตถุกับพื้นภาพ  
 $LabelBackground=LabelBackground+1$ ,  $LabelForeground=LabelForeground+1$
3. การดำเนินการของตัวดำเนินการฟัซซีฮิตออร์มิสส์
  - 3.1. ฟัซซีฮิตออร์มิสส์จะแปลงค่าของข้อมูลเป็นเซตของวัตถุและพื้นภาพ โดยตรวจสอบจากตัวแปร  $g(x,y)$  กับ  $Label$  ซึ่งถ้าเงื่อนไขเป็นจริงก็จะใช้ตัวดำเนินการฟัซซีฮิตออร์มิสส์ในสมการที่ (4.22) ในการแปลงข้อมูล
  - 3.2. ถ้าผลการแปลงที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์ ตัวแปร  $g(x,y)$  ก็จะถูกกำหนดให้เป็น  $LabelForeground$  ส่วนในกรณีอื่นๆ ก็จะถูกกำหนดให้เป็น  $LabelBackground$
4. การวัดความเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนที่เป็นวัตถุกับพื้นภาพ
  - 4.1. กำหนดค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U$  ของคลาสที่ถูกแบ่งแยกออกมาได้จากครั้งที่  $i$  ด้วยสมการที่ 5.1
  - 4.2. ทดสอบสมมติฐานโดยเทียบตัวแปร  $U$  กับ *Homogeneity*
  - 4.3. ถ้าสมมติฐานไม่ถูกยอมรับก็จะค้นหาว่าคลาสต่างๆ ทั้งหมดที่ถูกแบ่งไว้แล้ว มีคลาสใดไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด ก็จะส่งคลาสนั้นไปแบ่งแยกต่อในขั้นตอนที่ 2 และ 3
  - 4.4. ถ้าสมมติฐานไม่ถูกปฏิเสธ แสดงว่าทุกคลาสเป็นเนื้อเดียวกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับห้าเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการเช็กเมนต์ที่นำเสนอได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการเช็กเมนต์ด้วยฟัซซีฮิตออร์มิส และส่วนที่สองเป็นการคำนวณค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบว่าคลาสใดควรจะถูกแบ่งอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งอัลกอริทึมจะประมวลผลแบบวนซ้ำจนกระทั่งค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U$  มีค่าสูงกว่าค่าสถิติทดสอบ *Homogeneity* ที่ตั้งไว้ว่า  $H_0: U = 1$  ที่ระดับนัยสำคัญห้าเปอร์เซ็นต์ดังที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น สำหรับหัวข้อต่อไปจะได้แสดงผลการทดลองที่ได้จากการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมนี้



รูปที่ 5.4 อัลกอริทึมการเช็กเมนต์ด้วยฟัซซีฮิตออร์มิสส์และดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน

## 5.7 ผลการทดลอง

ในการทดลองจะทำการประเมินผลทั้งโดยการวัดประสิทธิภาพในเชิงตัวเลขและการประเมินผลด้วยสายตา ในการประเมินผลเชิงตัวเลขเราจะใช้วิธีการวัดสองแบบด้วยกันคือ ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งไม่ใช่ข้อมูลอ้างอิง (Ground truth) ในการเปรียบเทียบ ส่วนตัววัดอีกวิธีหนึ่งต้องอาศัยข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบการจำแนกข้อมูลภาพไปไว้ในคลาสที่ผิด ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องสร้างข้อมูลอ้างอิงขึ้นมา สำหรับข้อมูลภาพที่นำมาเช็กเมนต์ส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ภาพ MRI, CT-scan และอีกส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลภาพเกรย์สเกลแบบทั่วไป ซึ่งการแสดงผลการทดลองในส่วนนี้ จะเป็นการประเมินผลจากการวัดด้วยค่าดัชนีความเอกสารถือเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

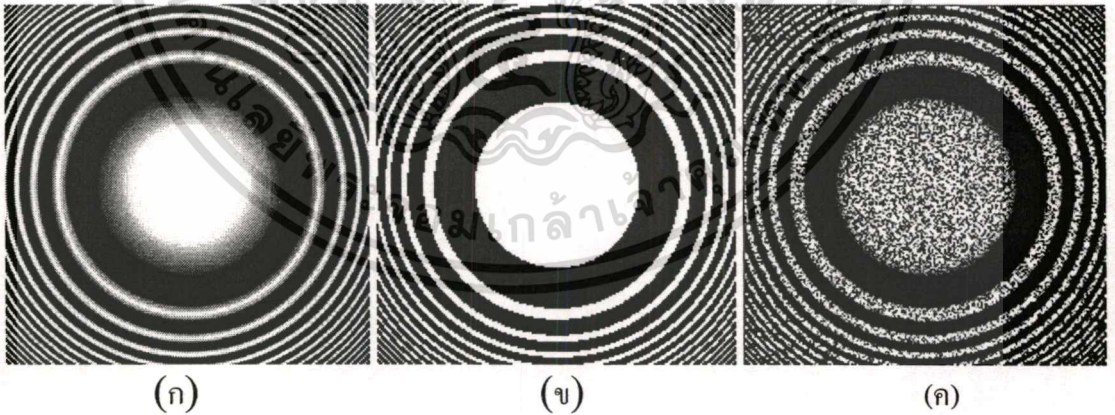
เนื้อเดียวกันประกอบกับการประเมินผลด้วยสายตา ส่วนข้อมูลภาพที่สร้างขึ้นมาจะวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ใช้เช็คเมนต์ว่าวิธีใดสามารถเช็คเมนต์ได้ถูกต้องมากกว่ากัน

### 5.7.1 การเปรียบเทียบเชิงตัวเลข

สำหรับการเปรียบเทียบเชิงตัวเลขที่จะพิจารณากันในหัวข้อนี้ จะเน้นไปที่การวัดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของอัลกอริทึมเช็คเมนต์ ตัววัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในกรณีนี้คือ การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมเช็คเมนต์กับข้อมูลอ้างอิง (Relative Ultimate Measurement Accuracy: *RUMA*) [47] ซึ่งเป็นการวัดความถูกต้องผลของการเช็คเมนต์ว่ามีอัตราส่วนของความผิดพลาดที่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

$$RUMA = \frac{|R_f - S_f|}{R_f} \times 100\%$$

ที่  $R_f$  คือข้อมูลอ้างอิงที่ถือว่าเป็นภาพที่เช็คเมนต์ได้ถูกต้อง ส่วน  $S_f$  เป็นข้อมูลภาพผลลัพธ์ที่ผ่านอัลกอริทึมการเช็คเมนต์มาแล้ว ค่า *RUMA* ที่แสดงถึงความถูกต้องของผลลัพธ์จากการเช็คเมนต์ ถ้า *RUMA* มีค่าต่ำแสดงว่าอัลกอริทึมการเช็คเมนต์สามารถแบ่งคลาสของข้อมูลได้ถูกต้อง นั่นย่อหมายถึงอัลกอริทึมที่ใช้เช็คเมนต์มีประสิทธิภาพในการเช็คเมนต์ที่ดี ส่วนตัววัดประสิทธิภาพอีกตัวก็คือดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $v$  ซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้



รูปที่ 5.5 (ก) ภาพต้นแบบที่สร้างขึ้น, (ข) ข้อมูลภาพอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบ, (ค) ข้อมูลภาพที่ถูกเพิ่มสัญญาณรบกวนชนิด Speckle noise ด้วยค่าความแปรปรวน  $\sigma_n^2 = 0.5$

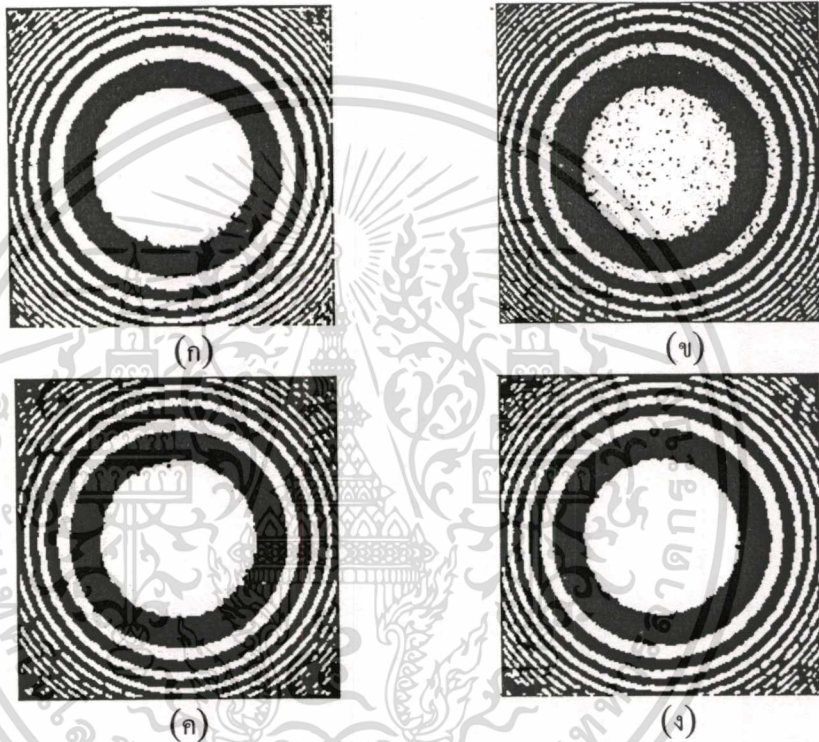
ข้อมูลภาพที่นำมาใช้ทดสอบสำหรับการประเมินผลด้วยตัวเลขในหัวข้อนี้ เป็นข้อมูลภาพที่เราสร้างขึ้นมา เนื่องจากข้อมูลภาพที่สร้างขึ้นมาสามารถสร้างข้อมูลอ้างอิง  $R_f$  ได้สมบูรณ์มากที่สุด ถ้าใช้ข้อมูลภาพจริงเราไม่สามารถสร้างข้อมูลอ้างอิงที่แท้จริงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบได้ ดังที่

กล่าวไว้แล้วว่าการทดสอบส่วนหนึ่งจะใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีสัญญาณรบกวนชนิดตัวคูณและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราได้จำลองสัญญาณรบกวนนี้ในรูปของ Speckle noise ที่มีอยู่ในภาพถ่ายดาวเทียมชนิด SAR สำหรับแบบจำลองของ Speckle noise ที่ใช้คือ จะให้สัญญาณรบกวนมีการแจกแจงแบบเกาส์เซียนที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับหนึ่งส่วนค่าความแปรปรวน  $\sigma^2$  จะถูกนำไปคูณกับข้อมูลภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน เพื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป

สำหรับข้อมูลภาพที่ใช้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5(ก) ซึ่งเป็นภาพที่ปราศจากสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้นจากสมการ

$$f(x, y) = \sin(1.25 \times 10^{-8}(i^4 + 2i^2j^2 + j^4))$$



รูปที่ 5.6 (ก) ผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมที่เรานำเสนอ, (ข) ภาพที่ถูกเพิ่มสัญญาณรบกวนด้วยวิธี Fuzzy c-Means, (ค) ภาพที่ถูกเพิ่มสัญญาณรบกวนด้วยวิธี BCFCM (ง) ภาพที่ถูกเพิ่มสัญญาณรบกวนด้วยวิธีของ Otsu

ที่  $i$  ถูกกำหนดไว้ในช่วง  $-200, \dots, 200$  ส่วน  $j$  ก็กำหนดไว้ในช่วง  $-200, \dots, 200$  เช่นกัน สำหรับตำแหน่งของจุดภาพ  $x$  และ  $y$  ถูกคำนวณโดย  $x = (i+200)/2$  และ  $y = (j+200)/2$ , ตามลำดับ ดังนั้นรูปที่สร้างขึ้นจะมีขนาด  $200 \times 200$  จุดภาพและแต่ละจุดภาพมีขนาด 8 บิต ในรูปที่ 5.5(ข) เป็นภาพที่ใช้อ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบหรือข้อมูลภาพ  $R_f$  ที่ถูกเทรซโซลด์ด้วยค่า 128 ผลการเปรียบเทียบเชิงตัวเลขของข้อมูลภาพในรูปที่ 5.5 ระหว่างวิธีการเพิ่มสัญญาณรบกวนด้วยวิธีซิติเตอร์มีสกับวิธีของ Fuzzy c-Means [49] BCFCM [54] และ Otsu [11] โดยวิธี Fuzzy c-Means และวิธีของ Otsu จะอาศัยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยฮิสโตแกรมของทั้งภาพ ซึ่งเป็นวิธีโกลบอลเท

เรซโซลคิง ส่วนวิธี BCFCM จะใช้ข้อสารสนเทศของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงซึ่งในที่นี้คือใน

ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  และผลการเปรียบเทียบถูกนำเสนอไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งผลการเปรียบเทียบในตารางนี้ได้มีการเตรียมข้อมูลภาพด้วยเงื่อนไขเดียวกัน คือวิธีการเช็คเมนต์ของ Otsu, Fuzzy  $c$ -Means และ BCFCM ต่างก็ใช้ตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกับที่ใช้ในอัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งคอลัมน์แรกของตารางที่ 5.1 คือค่าความแปรปรวนของ Speckle noise ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 0.8 ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้จะถูกเพิ่มเข้าไปในรูปที่ 5.5(ก) และผลของการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5(ค) ส่วนรูปที่ 5.6(ก-ง) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการเช็คเมนต์ด้วยวิธีที่นำเสนอ, Fuzzy  $c$ -Means, BCFCM และวิธีของ Otsu ตามลำดับ

จากตารางที่ 5.1 ที่ได้ทำแถบสีเทาไว้ที่แถวที่ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.5 ซึ่งในคอลัมน์ที่ 2 เป็นปริมาณของสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเข้าไปที่วัดเป็นอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนที่แกว่งอยู่ในช่วงสูงสุด (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR) และที่ค่าความแปรปรวน  $\sigma_n^2 = 0.5$  ค่า PSNR = 37.182456 dB วิธีที่นำเสนอจะมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U = 0.880392$  และค่า RUMA = 21.227103 % สำหรับวิธี Fuzzy  $c$ -Means จะมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U = 0.881464$  และค่า RUMA = 40.793560% ส่วนวิธี BCFCM จะมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U = 0.795615$  และค่า RUMA = 25.087152% และวิธีของ Otsu จะมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U = 0.771421$  และค่า RUMA = 26.430880 % ซึ่งในแถวนี้จะเห็นว่าค่าดัชนีทั้ง  $U$  และ RUMA ต่างแสดงว่าวิธีที่นำเสนอสามารถเช็คเมนต์ได้ดีกว่า ส่วนความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่ระดับอื่นๆ ก็เช่นกัน โดยรวมแล้ววิธีที่นำเสนอและวิธี BCFCM ซึ่งจะอิงกับการเช็คเมนต์แบบโลคอล จะสามารถเช็คเมนต์ได้ดีกว่าการเช็คเมนต์แบบโกลบอลอย่างวิธีของ Otsu และ Fuzzy  $c$ -Means

สำหรับวิธีที่นำเสนอและวิธี BCFCM ต่างก็เป็นวิธีที่ใช้สารสนเทศจากจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงเช่นกัน จะเห็นว่าในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีน้อยวิธีที่นำเสนอจะมีความถูกต้องมากกว่าวิธี BCFCM เนื่องจากวิธี BCFCM ได้ตั้งค่าตัวแปรที่มีผลต่อสัญญาณรบกวนเป็นค่าคงที่คือ ค่า  $\alpha = 0.7$  (ดูบทที่ 2 และ [54]) ในกรณีที่สัญญาณรบกวนมากขึ้นจะเห็นว่าค่า RUMA มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดต่างกันไม่มากนัก

ผลจากการเปรียบเทียบเชิงตัวเลขของตารางที่ 5.1 จะช่วยสนับสนุนตัวสถิติทดสอบที่นำเสนอว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่า RUMA นั่นคือถ้าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของค่า RUMA มีค่าน้อยหรืออัลกอริทึมสามารถเช็คเมนต์ได้ดี ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันก็จะมีค่าสูง และเมื่อค่า RUMA แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่สูงขึ้น ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันก็จะมีค่าต่ำลง ดังนั้นเราจึงใช้ค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันแสดงถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาสที่ใช้กับข้อมูลภาพจริง ซึ่งได้แสดงค่าดัชนีนี้ไว้ด้วยในหัวข้อถัดไปของการแสดงผลการทดลองกับภาพจริง

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ

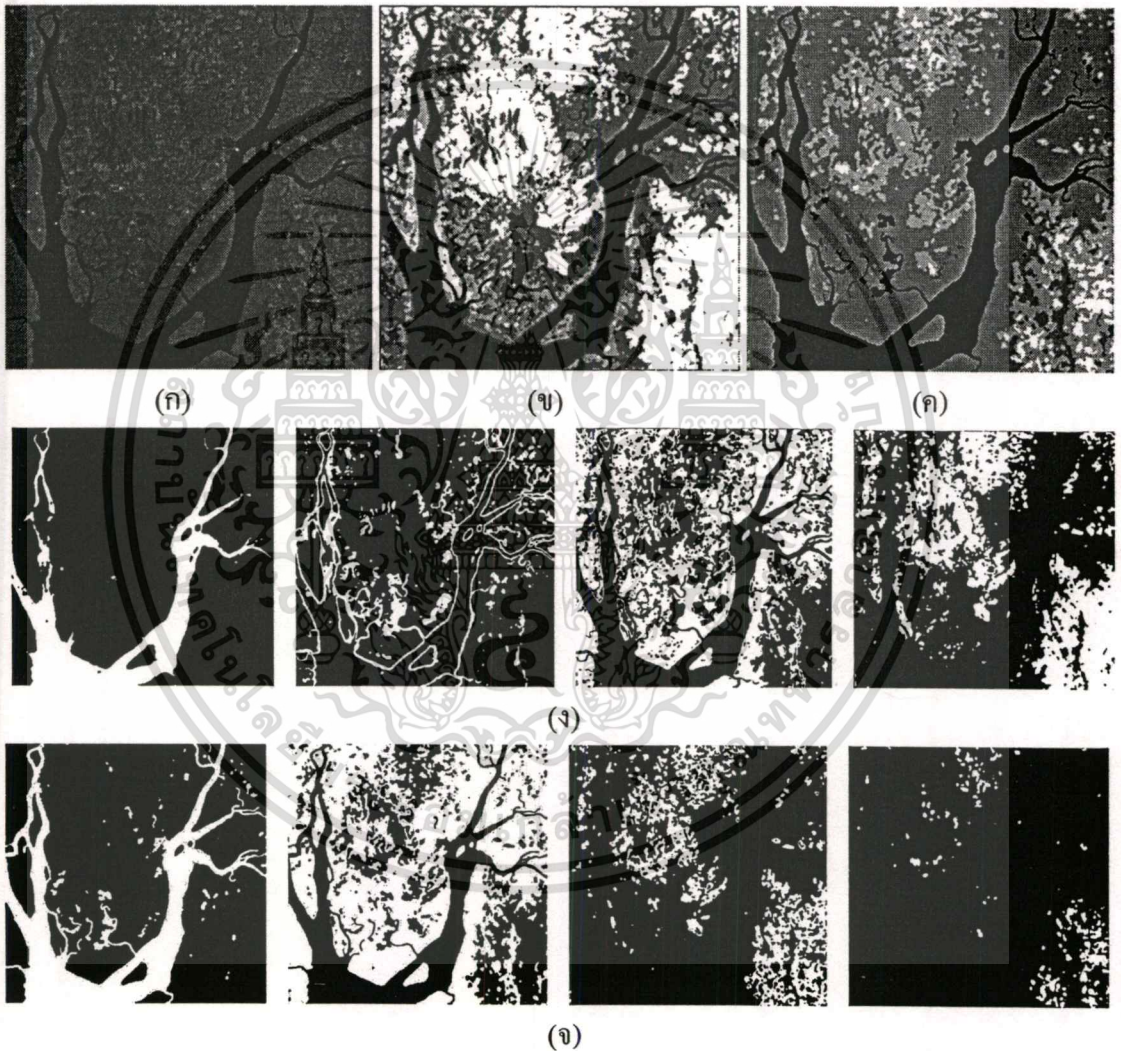
$\sigma^2$	PSNR (dB)	Fuzzy Hit-or-Miss		Fuzzy c-Means		BCFCM		Otsu	
		U	RUMA (%)	U	RUMA (%)	U	RUMA (%)	U	RUMA (%)
0.0	$\infty$	0.885997	0.836661	0.885997	5.374913	0.875309	13.779553	0.882442	9.925841
0.1	30.98	0.844731	13.266147	0.844612	14.654244	0.794623	21.816568	0.776924	22.412372
0.2	33.82	0.843988	18.405375	0.844823	28.300691	0.797031	23.445522	0.778744	23.172973
0.3	35.56	0.860658	20.390442	0.861172	35.241174	0.798206	22.627876	0.777536	23.420426
0.4	36.50	0.873450	20.872156	0.872062	38.359637	0.797558	32.920898	0.772979	25.435761
0.5	37.18	0.880392	21.227103	0.881464	40.793560	0.795615	25.087152	0.771421	26.430880
0.6	37.87	0.887233	22.027191	0.887947	41.427394	0.790496	24.662483	0.772111	27.939405
0.7	38.03	0.895339	22.760181	0.894759	44.140204	0.792536	25.188566	0.767943	27.730240
0.8	38.12	0.899573	24.370120	0.897010	46.339608	0.791073	26.652722	0.768633	29.688787

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.7.2 ผลการเช็กเมนต์ของภาพจริง

ในการทดลองกับภาพจริงจะเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธี BCFCM ในการเปรียบเทียบข้อมูลภาพที่ป้อนให้กับวิธี BCFCM จะถูกประมวลผลด้วยตัวกรองสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยเงื่อนไขเดียวกับที่ใช้ในวิธีที่นำเสนอ เนื่องจากวิธี BCFCM ผู้ใช้จะต้องกำหนดจำนวนคลาสให้กับอัลกอริทึม ดังนั้นในการทดลองนี้จะกำหนดจำนวนคลาสให้เท่ากับจำนวนคลาสของวิธีที่นำเสนอ ส่วนค่าเฉลี่ยเริ่มต้นของแต่ละคลาสจะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของแต่ละคลาสของวิธีที่นำเสนอเช่นกัน

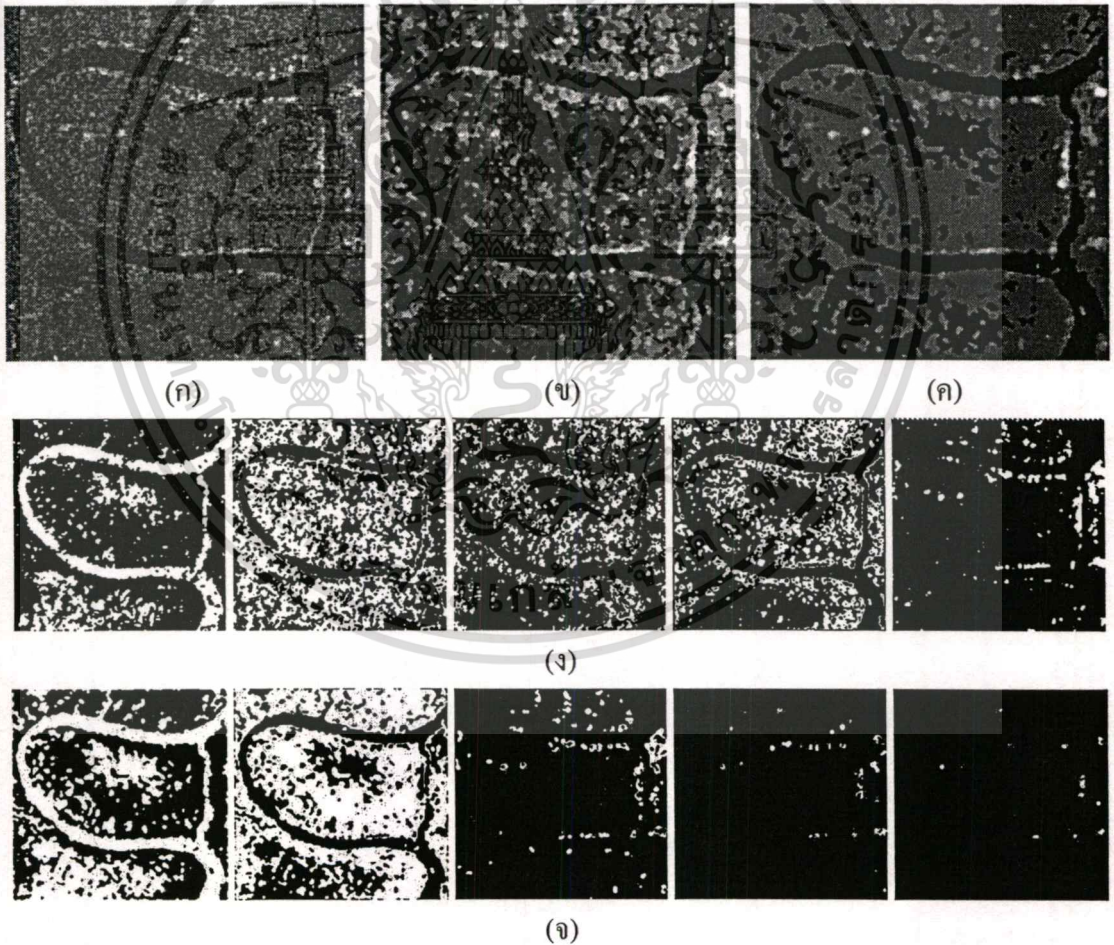


รูปที่ 5.7 ภาพจาก Landsat TM ที่ครอบคลุมจังหวัดตรัง, (ก) ภาพอินพุตขนาด  $512 \times 512$  จุดภาพ, (ข) ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์ทั้งสี่คลาสของวิธีที่นำเสนอ (ค) ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์ทั้งสี่คลาสของวิธี BCFCM (ง) ผลของวิธีที่นำเสนอของคลาสที่หนึ่งถึงสี่ (จากซ้ายไปขวา) และ (จ) ผลของวิธี BCFCM ของคลาสที่หนึ่งถึงสี่ (จากซ้ายไปขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

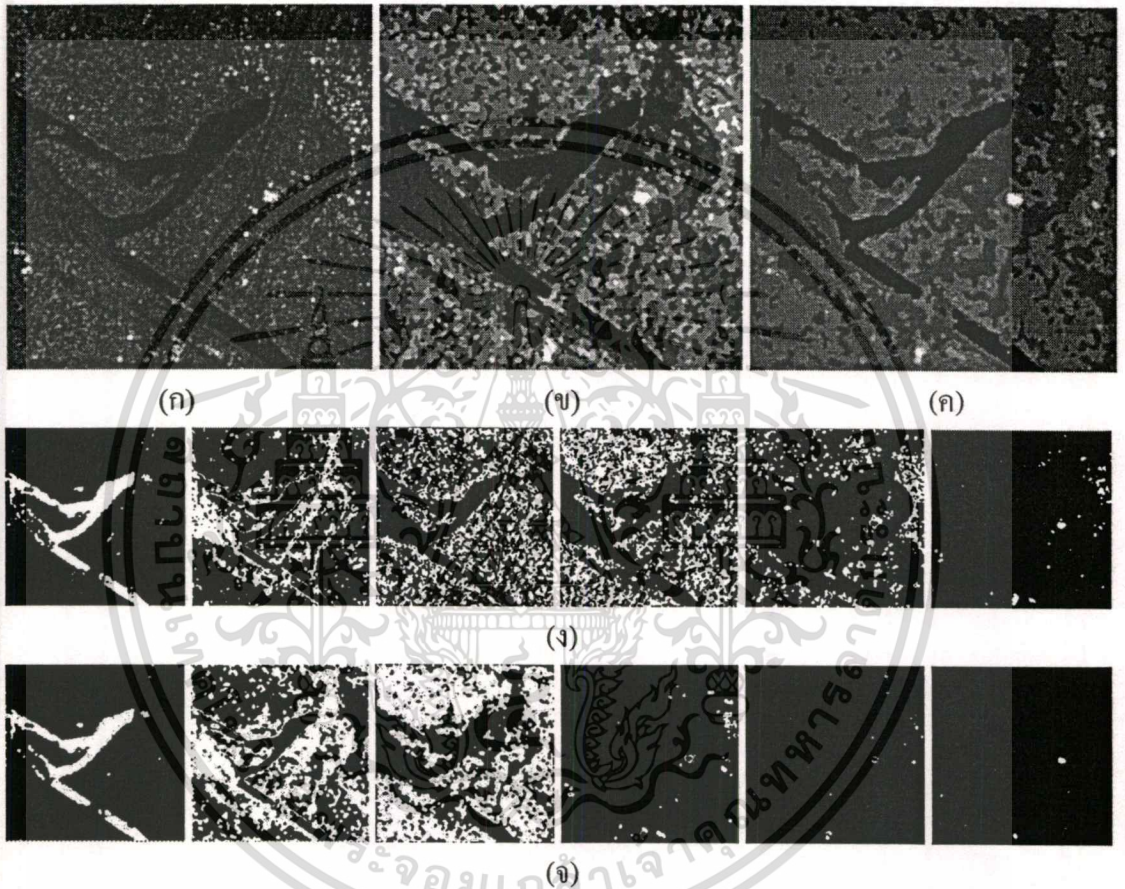
การทดลองในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลภาพจากหลายแหล่งข้อมูลคือ จากดาวเทียม จากกระบวนการ MRI, CT-scan และข้อมูลภาพโดยทั่วไปที่อยู่ในรูปของค่าความเข้มของแสง โดยในส่วนแรกจะทดลองกับภาพถ่ายจากดาวเทียมสามดวงด้วยกันคือ Landsat thematic mapper (TM), ERS-1/AMI และ JERS-1 ซึ่งดาวเทียมทั้งสามดวงจะมีคุณสมบัติของข้อมูลภาพที่ต่างกัน

ในรูปที่ 5.7(ก) เป็นข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat TM แบนที่ 4 ที่มีความถี่อยู่ในย่าน 0.7-0.9  $\mu\text{m}$  (Near-infrared) และแต่ละจุดภาพของรูปนี้จะครอบคลุมพื้นที่ 30 ตารางเมตร ข้อมูลภาพในรูปนี้เป็นพื้นที่ทางภาคใต้ที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดตรัง ข้อมูลภาพนี้ถ่ายเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2537 ในรูปประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นพื้นน้ำ ที่ราบลุ่มที่มีน้ำขังหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ ป่าไม้และภูเขา ในรูปที่ 5.7(ข) เป็นผลของการเช็กเมนต์ด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาสด้วยกัน โดยที่แต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.7(ง) สำหรับค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันของรูปนี้คือ  $U=0.9542$  ส่วนรูป (ค) และ (จ) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี BCFCM โดยมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธีนี้คือ  $U=0.8858$



รูปที่ 5.8 ภาพ SAR จาก JERS-1 ที่มีสัญญาณรบกวนชนิด speckle, (ก) ภาพอินพุตขนาด 256x256 จุดภาพ, (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเช็กเมนต์ซึ่งประกอบด้วยห้าคลาสที่แสดงไว้ในรูป (ง) โดยคลาสที่ 1-5 จะเรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ, (ค) ภาพผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ที่ประกอบด้วยห้าเอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์คลาสซึ่งแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) โดยคลาสที่ 1-5 จะเรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

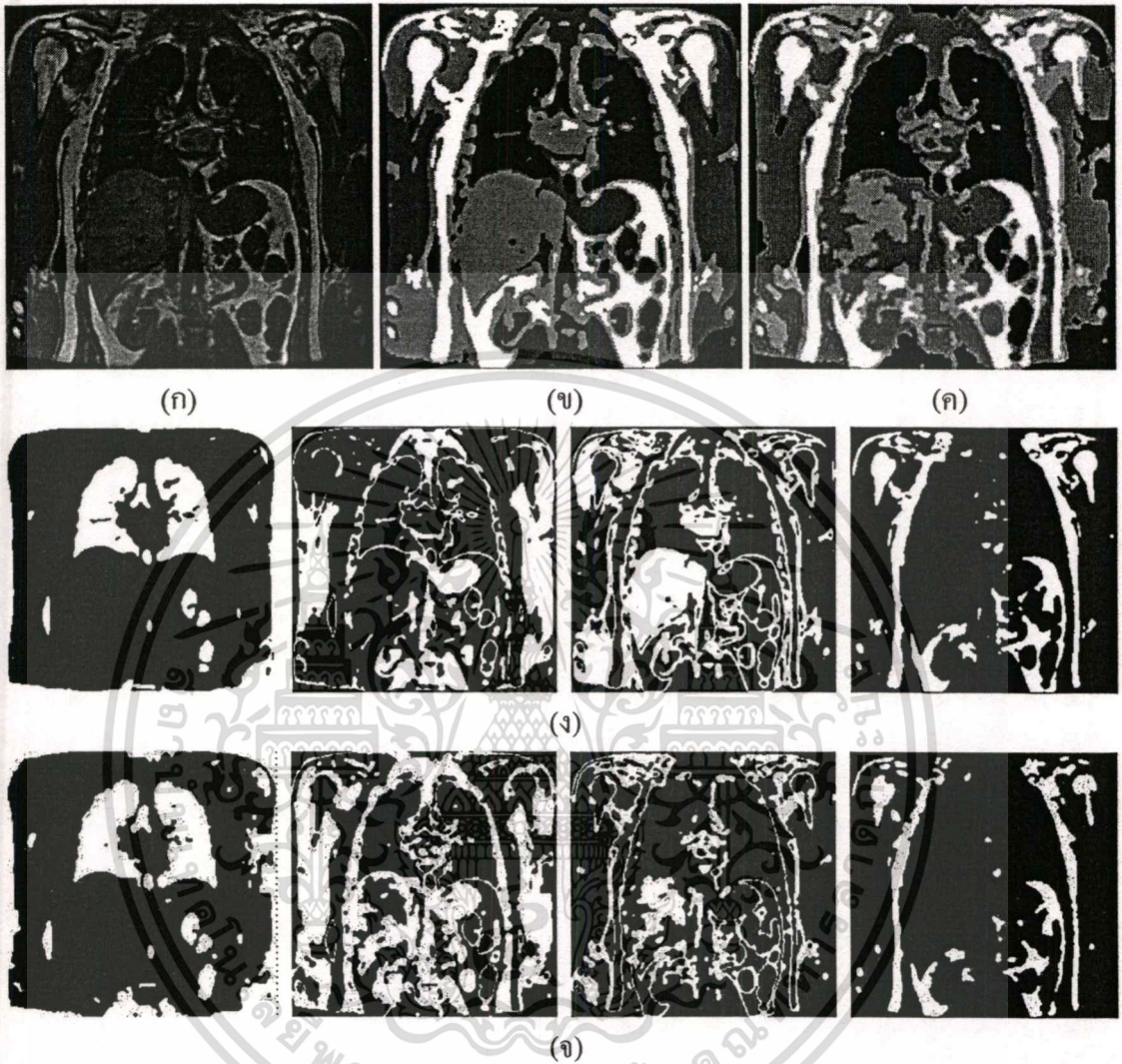
ในรูปที่ 5.8(ก) เป็นภาพ SAR ที่มีสัญญาณรบกวนชนิด Speckle อยู่ ข้อมูลภาพในรูปนี้ถ่ายมาจาก ดาวเทียม JERS-1 ที่แต่ละจุดภาพครอบคลุม 12.5 ตารางเมตร ซึ่งปกคลุมบางส่วนของ กรุงเทพมหานคร ถ่ายเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2535 ในรูปที่ 5.8(ข) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการเช็กเมนต์ ที่มีค่าความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U=0.9529$  ซึ่งประกอบด้วยห้าคลาสดังที่แสดงไว้ในรูป (ง) ส่วนรูป (ค) เป็นผลของวิธี BCFCM ที่มีค่าความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U=0.7946$  ซึ่งในรูป (ค) นี้จะประกอบด้วยห้าคลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) เมื่อคลาสที่ 1-5 จะเรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ



รูปที่ 5.9 ข้อมูลภาพ SAR จากดาวเทียม ERS-1/AMI ที่มีสัญญาณรบกวนชนิด speckle, (ก) ภาพอินพุตขนาด  $256 \times 256$  จุดภาพ, (ข) ผลจากการเช็กเมนต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอซึ่งมีอยู่ด้วยกันหกคลาส โดยคลาสที่ 1-6 อยู่ในรูป (ง) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ, (ค) ผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยหกคลาส โดยคลาสที่ 1-6 อยู่ในรูป (จ) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ

ผลการทดลองในรูปที่ 5.9 ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ERS-1/AMI ข้อมูลภาพนี้ได้ถ่ายที่ จังหวัดกาญจนบุรีเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2534 สำหรับดาวเทียมดวงนี้แต่ละจุดภาพจะครอบคลุม พื้นที่ 12.5 ตารางเมตร ผลที่ได้จากการเช็กเมนต์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9(ข) ซึ่งประกอบด้วยหก คลาสด้วยกัน โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง) และค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของการเช็กเมนต์ รูปนี้คือ  $U=0.9529$  สำหรับผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ได้แสดงไว้ในรูป (ค) ซึ่งประกอบด้วยหก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาสและแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) โดยที่ค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธี BCFCM ของภาพนี้คือ  $U=0.8377$

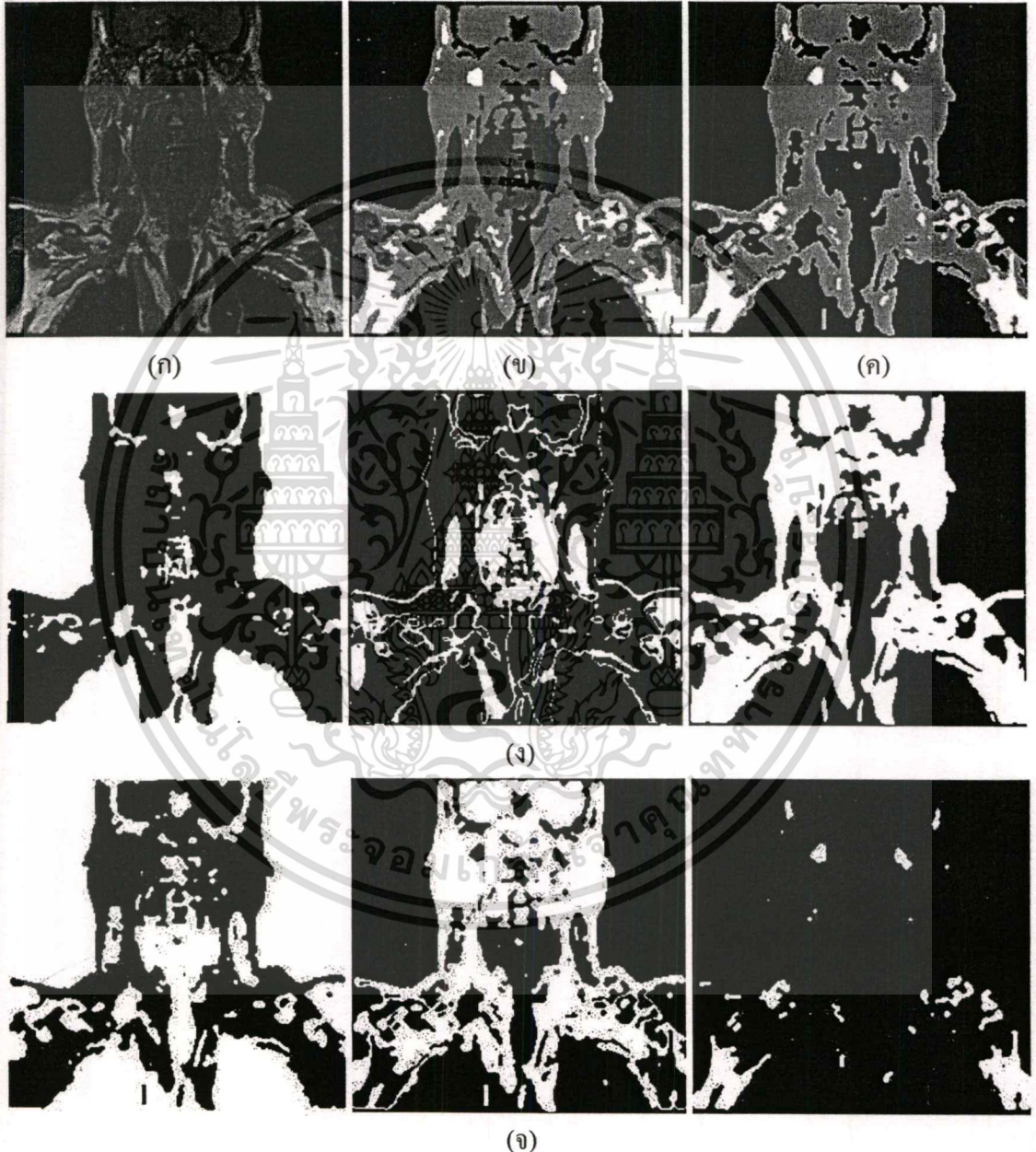


รูปที่ 5.10 (ก) ภาพ MRI ฉายที่บริเวณช่องท้อง (ข) ผลจากการเซ็กเมนต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอซึ่งมีอยู่ด้วยกันสี่คลาสโดยคลาสที่ 1-4 อยู่ในรูป (ง) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ, (ค) ผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส โดยคลาสที่ 1-4 อยู่ในรูป (จ) เรียงจากซ้ายไปขวาโดยลำดับ

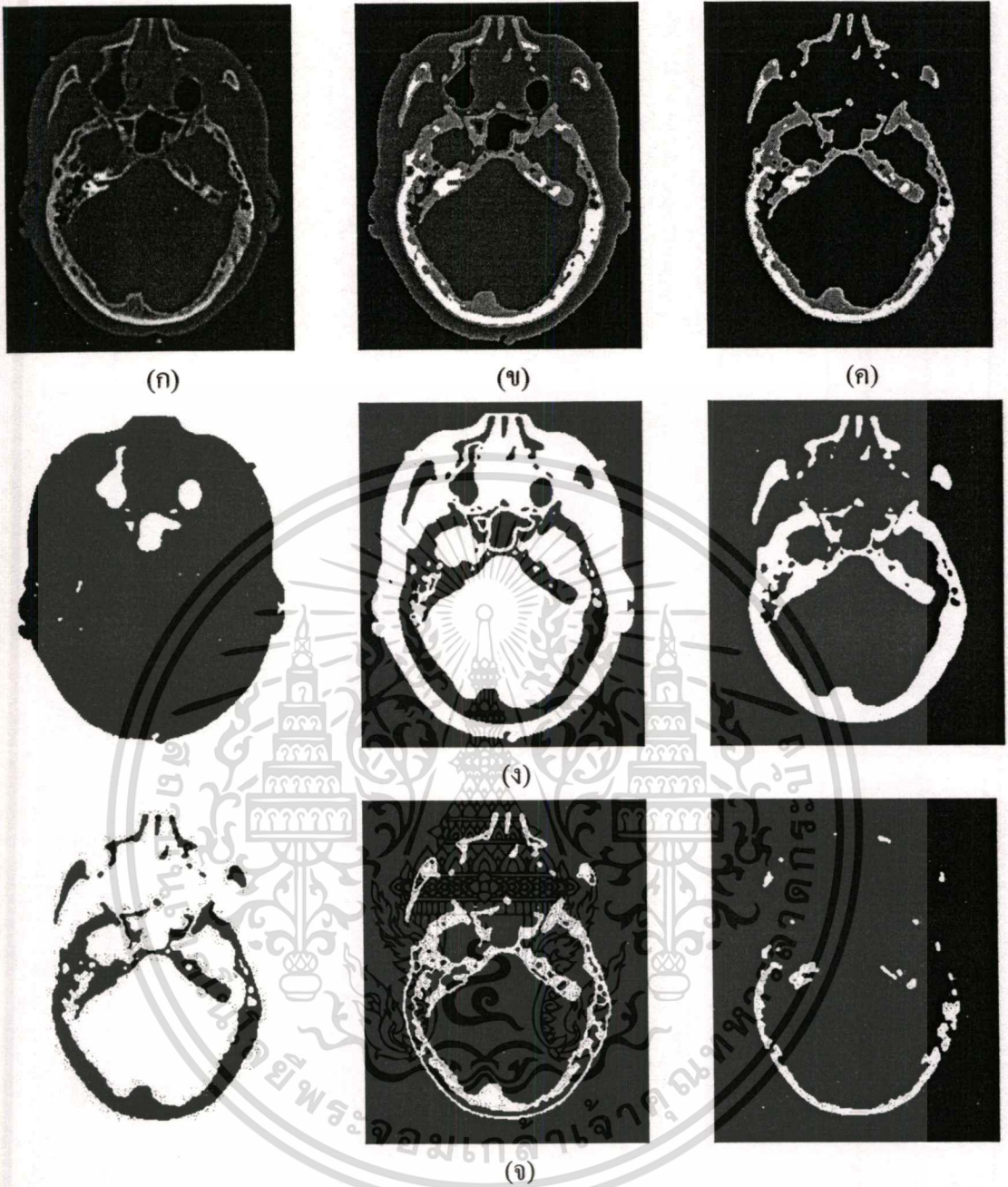
การทดลองในรูปที่ 5.10 ถึง 5.11 ได้ทดสอบกับข้อมูลภาพ MRI [50] ในรูปที่ 5.10 เป็นภาพที่ฉายบริเวณท้อง ผลของการเซ็กเมนต์ด้วยอัลกอริทึมที่เสนอได้แบ่งข้อมูลภาพออกเป็นสี่คลาส (รูปที่ 5.10ข) และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.10(ง) โดยมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธีที่นำเสนอเท่ากับ 0.9541 ส่วนรูปที่ 5.10(ค) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการเซ็กเมนต์ด้วยวิธี BCFCM ที่มีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 0.8547 โดยมีรายละเอียดของแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป 5.10

(ง) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปที่ 5.11 เป็นภาพ MRI ที่ฉายบริเวณคอลงมาถึงหน้าอก ผลของการเช็กเมนต์ได้แสดงไว้ในรูปที่ (ข) ซึ่งประกอบด้วยสามคลาสและมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 0.9714 โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูปที่ (ง) สำหรับรูป (ค) เป็นผลของการเช็กเมนต์ด้วยวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสามคลาส และมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 0.9332 และผลในแต่ละคลาสของวิธี BCFCM ได้แสดงไว้ในรูป (จ)



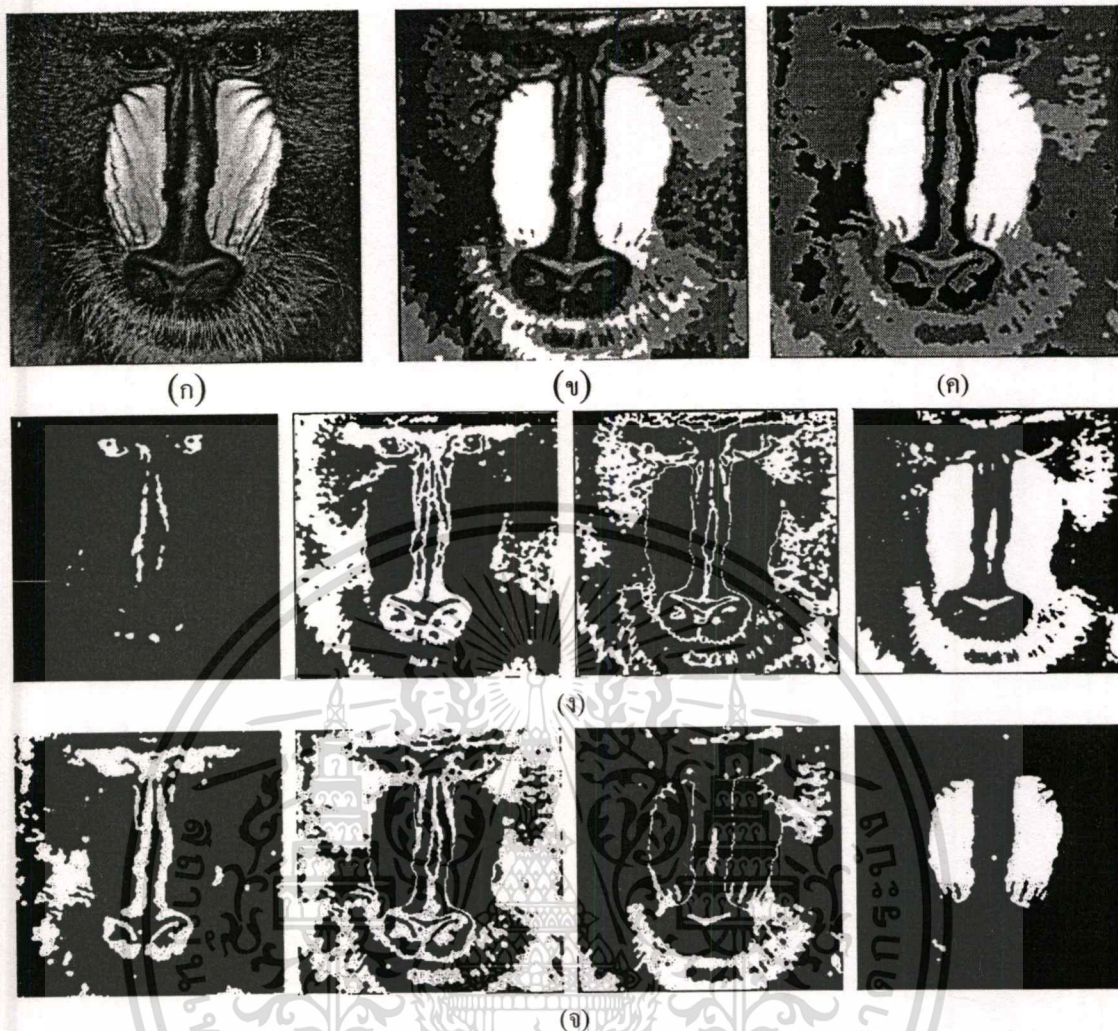
รูปที่ 5.11 (ก) เป็นภาพ MRI ที่ฉายบริเวณคอและไหล่, (ข) ผลการเช็กเมนต์ของวิธีที่นำเสนอซึ่งมีอยู่สามคลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ที่มีอยู่สามคลาสและแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ)



รูปที่ 5.12 (ก) ภาพ CT-scan ที่ฉายที่ศีรษะเป็นภาพตัดขวาง, (ข) ผลการเช็กเมนต์ของวิธีที่นำเสนอซึ่งประกอบด้วยสามคลาสโดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสามคลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ)

รูปที่ 5.12(ก) เป็นภาพ CT-scan [51] ที่ฉายที่ศีรษะ ผลของการเช็กเมนต์ด้วยวิธีที่นำเสนอของรูปนี้ได้แสดงไว้ในรูป (ข) ที่มีทั้งหมดสามคลาสและมีค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 0.9711 ในรูป (ค) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการเช็กเมนต์ด้วยวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสามคลาสและแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ) สำหรับค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธี BCFCM เท่ากับ 0.8547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



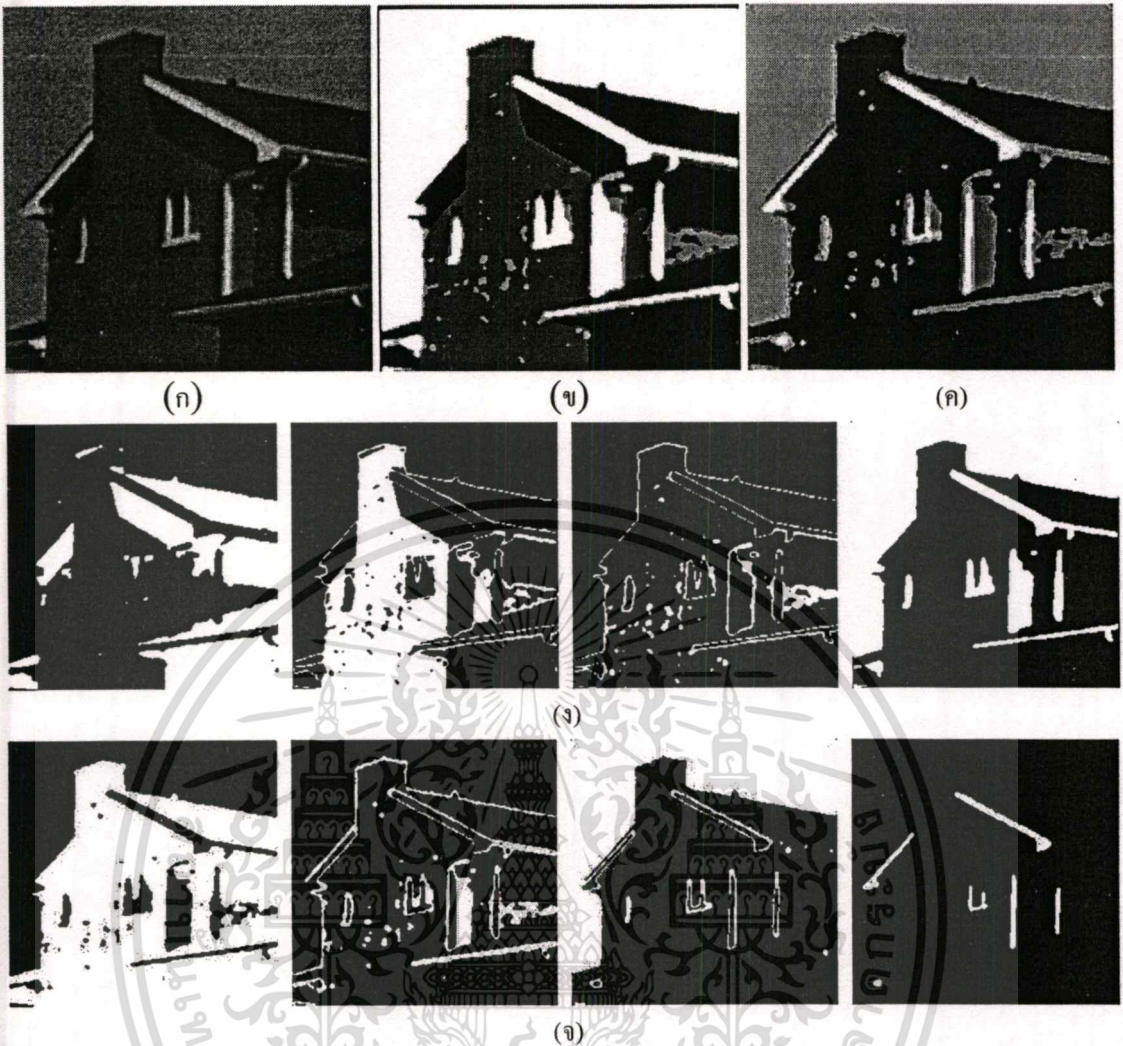
รูปที่ 5.13 (ก) ภาพลิงบาบูลซึ่งเป็นข้อมูลความเข้มของแสง, (ข) ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์ที่ประกอบด้วยสี่คลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ)

ในรูปที่ 5.13 และ 5.14 เป็นการเช็กเมนต์ข้อมูลภาพโดยทั่วไปที่อยู่ในรูปของความเข้มของแสง สำหรับรูปที่ 5.13(ก) เป็นภาพลิงบาบูลที่มีขนาดของภาพเท่ากับ  $256 \times 256$  จุดภาพ ในรูปที่ 5.13 (ข) เป็นภาพผลลัพธ์ของวิธีเช็กเมนต์ที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.13(ง) โดยความความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธีที่นำเสนอเท่ากับ 0.9684 ส่วนผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ได้แสดงไว้ในรูป 5.13(ค) และข้อมูลทั้งสี่คลาสของวิธีนี้ได้แสดงไว้ในรูป 5.13(จ) ซึ่งมีค่าดัชนีค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธีนี้เท่ากับ 0.8850

ในรูปที่ 5.14(ก) เป็นภาพบ้านที่มีขนาด  $240 \times 240$  จุดภาพ ในรูป (ข) เป็นภาพผลลัพธ์ของวิธีเช็กเมนต์ที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง) โดยความความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธีที่นำเสนอเท่ากับ 0.9703 ส่วนผลลัพธ์ของวิธี BCFCM ได้แสดงไว้ในรูป (ค) และข้อมูลทั้งสี่คลาสของวิธีนี้ได้แสดงไว้ในรูป (จ) ซึ่งมีค่าดัชนีค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของวิธีนี้เท่ากับ 0.9284

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 (ก) ภาพบ้านที่เป็นข้อมูลความเข้มของแสง (ข) ผลลัพธ์ของการเช็กเมนต์ด้วยวิธีที่นำเสนอซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส และแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (ง), (ค) ผลของวิธี BCFCM ซึ่งประกอบด้วยสี่คลาส โดยแต่ละคลาสได้แสดงไว้ในรูป (จ)

## 5.8 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าอัลกอริทึมฟัซซีซีตออร์มิสส์ ที่นำเสนอมีความสามารถแบ่งข้อมูลภาพต่างๆ ออกเป็นส่วนๆ ได้ถูกต้องพอสมควรดังที่เห็นได้จากการวัดในเชิงตัวเลขในตารางที่ 5.1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีเช็กเมนต์แบบโกลบอลอย่างวิธี Fuzzy c-Means และ Otsu นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับวิธีโลคอลลเทรสโสดังอย่างวิธี BCFCM และเมื่อนำอัลกอริทึมที่นำเสนอมาใช้กับภาพจริง จะเห็นว่าสามารถแบ่งวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในภาพได้อย่างเหมาะสม อย่างในภาพถ่ายดาวเทียม เราจะเห็นส่วนที่เป็นแม่น้ำได้อย่างชัดเจน และเมื่อนำมาใช้เช็กเมนต์ภาพ MRI และ CT-scan จะเห็นว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการแบ่งแยกอวัยวะต่างๆ ที่มีค่าความเข้มของจุดภาพเป็นเนื้อเดียวกัน ออกเป็นส่วนๆ ได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุป

อัลกอริทึมที่นำเสนอไปแล้วนั้น จากการทดลองจะเห็นว่าสามารถใช้เช็กเมนต์ข้อมูลภาพได้หลายชนิด เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม, ข้อมูล MRI, CT-scan และข้อมูลภาพทั่วไปที่อยู่ในรูปของความเข้มของแสง นอกจากนี้วิธีที่นำเสนอยังสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนที่ปนมากับสัญญาณภาพได้ดีอย่างที่ให้เห็นมาแล้วจากผลการทดลองกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SAR ซึ่งมี Speckle noise

วิธีการเช็กเมนต์ที่นำเสนอเป็นการแบ่งแยกข้อมูลชนิดความเข้มแบบเป็นลำดับชั้น โดยการเช็กเมนต์ข้อมูลในแต่ละครั้งจะแบ่งออกเป็นสองคลาสด้วยตัวดำเนินการพีชคณิตออร์มิสส์ และจะใช้การทดสอบสมมติฐานด้วยค่าดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกันของแต่ละคลาสที่ได้เช็กเมนต์มาแล้วซึ่งเก็บอยู่ในไบนารีทรี จากการทดสอบสมมติฐานถ้ายังไม่ยอมรับสมมติฐานว่าคลาสที่แบ่งแยกแล้วเป็นเนื้อเดียวกัน อัลกอริทึมก็จะค้นหาจากไบนารีทรีว่าคลาสใดสมควรถูกส่งไปเช็กเมนต์อีกครั้ง และอัลกอริทึมก็จะวนซ้ำอยู่เช่นนี้จนกระทั่งสมมติฐานไม่ถูกปฏิเสธ หรือคลาสต่างๆ ที่ถูกเช็กเมนต์แล้วมีความเป็นเนื้อเดียวกัน อัลกอริทึมก็จะหยุดและจำนวนคลาสของวัตถุจะเท่ากับจำนวนการวนซ้ำ และบวกกับอีกหนึ่งคลาสที่เป็นพื้นภาพ

จะเห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอมีการเช็กเมนต์แบบอัตโนมัติ เนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องกำหนดตัวแปรให้กับอัลกอริทึม อัลกอริทึมสามารถอนุมานตัวแปรต่างๆ ได้เองโดยพิจารณาจากการแจกแจงของข้อมูลที่ป้อนเข้ามาเป็นหลัก สาเหตุที่อัลกอริทึมสามารถทำงานเช่นนี้ได้ก็เพราะเราได้ใช้เทคนิคของพีชคณิตมาคูณหรือจัดการกับความไม่แน่นอนที่ผนวกเข้ามากับอินพุต ซึ่งสังเกตได้จากหลักการเบื้องต้นที่เสนอไว้ในบทที่ 5 รูปที่ 5.2 จะเห็นว่าพีชคณิตออร์มิสส์สามารถตรวจหาวัตถุกับพื้นภาพอย่างได้ผล และนอกจากพีชคณิตสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนได้แล้ว นอกจากนี้ยังได้ใช้แนวคิดของสารสนเทศของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงหรือ Spatial Information ของข้อมูลภาพที่มีในมอร์โฟโลยี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในโลคอลเทอร์สโพลิง

ประโยชน์หลักของวิธีที่นำเสนอคือ ผู้ใช้ไม่ต้องกำหนดตัวแปรใดๆ โดยเฉพาะจำนวนคลาสนอกจากนี้อัลกอริทึมยังเช็กเมนต์ข้อมูลภาพได้อย่างมีเหตุผล ดังที่เห็นจากการตรวจสอบด้วยสายตาของข้อมูลในแต่ละคลาสของภาพผลลัพธ์มีถูกเช็กเมนต์ออกมาอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เรายังได้ใช้การวัดเชิงตัวเลขเพื่อยืนยันความถูกต้อง สำหรับข้อเสียของอัลกอริทึมที่ต้องปรับปรุงต่อไปคือในกรณีที่ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนชนิด Speckle มากๆ ทำให้วิธีที่นำเสนอแบ่งข้อมูลภาพออกได้ในจำนวนคลาสที่มากเกินไปอย่างในรูปที่ 5.8 และ 5.9 จะมีบางคลาสที่เช็กเมนต์ออกมาแล้วยังมีข้อผิดพลาดอยู่ (รูปที่ 5.8(ง) และ 5.9(ง)) คือต้องนำไปรวมกับคลาสอื่นถึงจะสามารถรับรู้ได้ว่าวัตถุที่ถูกเช็กเมนต์คืออะไร

## บรรณานุกรม

- [1] R. C. Gonzalez and P. Wintz, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Pub. Co., 1987.
- [2] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, Second Edition, USA: Jon Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [3] I. Bloch and H. Maitre, "Fuzzy Mathematical Morphologies: a Comparative Study," *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 9, pp. 1341-1387, 1995.
- [4] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, London 1982.
- [5] A. Kaufmann and M. M. Gupta, *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, North-Holand, Amsterdam 1988.
- [6] Bir Bhanu and Jing Peng, "Adaptive Integrated Image Segmentation and Object Recognition," *IEEE Trans. on System Man Cybernetic – part C: Applications and Reviews*, vol. 20, no. 4, pp. 427-441, 2000.
- [7] P. Mousavi, R. K. Warel, S. S. Fels, M. Sameti and P. M. Lansdorp, "Feature Analysis and Centromere Segmentation of Human Chromosome Images using and Iterative Fuzzy Algorithm," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 4, pp. 363-371, 2000.
- [8] B. V. Ginneken, B. M. ter Haar Romeny, and M. A. Viergever, "Computer-Aided Diagnosis in Chest Radiography: A Survey," *IEEE Trans. on Medical Image*, vol. 20, no. 12, 2001.
- [9] D. W. Shattuck and R. M. Leahy, "Automated Graph-Based Analysis and Correction of Cortical Volume Topology," *IEEE Trans. on Medical Images*, vol. 20, no. 11, pp. 1167-1177, 2001.
- [10] L. Soh and C. Tsatsoulis, "Segmentation of Satellite Imagery of Natural Scenes Using Data Mining," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 37, no. 2, 1999.
- [11] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. System Man Cybernetics*, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [12] J. Kittler and J. Illingworth, "On Threshold using Clustering Criteria," *IEEE Trans. On System Man Cybernetics*, vol. SMC-15, no. 5, pp. 652-655, 1985.
- [13] X. Wu, Y. Zhang, and L. Xia, "A Fast Recurring Two-Dimensional Entropic Thresholding Algorithm," *Pattern Recognition*, vol. 32, pp. 2055-2061, 1999.
- [14] J. Gong, L. Li and W. Chen, "Fast Recursive Algorithms for Two-Dimensional Thresholding," *Pattern Recognition*, vol. 31, no. 3, pp. 295-300, 1998.
- [15] C. H. Li and C. K. Lee, "Minimum Cross Entropy Thresholding," *Pattern Recognition*, vol. 26, no. 4, pp. 167-625, 1993.
- [16] A. K. C. Wong and P. K. Sahoo, "A Gray-Level Threshold Selection Method Based on Maximum Entropy Principle," *IEEE Trans. on System Man and Cybernetics*, vol. 19, no. 4, 1989.
- [17] A. D. Brink, "Minimum Spatial Entropy Threshold Selection," *IEE Proc. Vision Image Signal Processing*, vol. 142, no. 3, 1995.
- [18] N. R. Pal and S. K. Pal, "Entropy: a new Definition and its Applications," *IEEE Trans. on System Man and Cybernetics*, vol. 21, no. 5, 1991.
- [19] H. D. Cheng, C. H. Chen, H. H. Chiu, and H. Xu, "Fuzzy Homogeneity Approach to Multilevel Thresholding," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 7, no. 7, 1998.
- [20] H. D. Cheng and Y. H. Chen, "Fuzzy Partition of two-Dimensional Histogram and its Application to Thresholding," *Pattern Recognition*, vol. 32, pp. 825-843, 1999.
- [21] S. D. Zenzo, L. Cinque, and S. Levialdi, "Image Thresholding using Fuzzy Entropies," *IEEE Trans. on System Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, vol. 28, no. 1, 1998.
- [22] T. Kurita, N. Otsu, and N. Abdelmalek, "Maximum Likelihood Thresholding based on Population Mixture Models," *Pattern Recognition*, vol. 25, no. 10, pp. 1231-1240, 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] D. Sinha and E. R. Dougherty, "Fuzzy Mathematical Morphology," *J. Visual Communication Image Representation*, vol. 3, no. 2, pp. 286-302, Sept. 1992.
- [24] M. Nachtgaele and E. E. Kerre, "Decomposing and Constructing Fuzzy Morphological Operations Over  $\alpha$  - Cuts : Continuous and Discrete Case," *IEEE Trans. On Fuzzy Systems*, vol. 8, no. 5, pp. 615-626, Oct. 2000.
- [25] F. Y. Shih and O. R. Mitchell, "Threshold Decomposition of Grayscale Morphology into Binary Morphology," *IEEE Trans. On Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. 11, no. 1, pp. 31-42, Jan. 1989.
- [26] D. Sinha and E. R. Duogherty, "A General Axiomatic Theory of Intrinsically Fuzzy Mathematical Morphologies," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 4, Nov. 1995.
- [27] D. Dubois and H. Prade, *Fuzzy Sets and Systems, Theory and Applications*. New York: Academic, 1980.
- [28] V. Chatzis and I. Pitas, "A Generalized Fuzzy Mathematical Morphology and its Application in Robust 2-D and 3-D Object Representation," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 10, pp. 1798-1810, Oct. 2000.
- [29] L. A. Zadeh, "A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges," *Journal of Cybernetics*, vol. 2, no. 2, pp. 4-34, 1972.
- [30] I. Bloch, "On Links Between Mathematical Morphology and Rough Sets," *Pattern Recognition*, vol. 33, pp. 1487-1496, 2000.
- [31] J. F. Rivest, P. Soille, and S. Beucher, "Morphological Gradients," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 2, no. 4, pp. 326-336, 1993.
- [32] P. Maragos, *Morphological Systems for Multidimensional Signal Processing*, *Proceedings of the IEEE*, vol. 78, no. 4, pp. 690-710, 1990.
- [33] J. Lee, R. Haralick and L. Shapiro, "Morphologic edge detection," *EEE Journal of Robotics and Automation*, vol. RA-3, no. 2, pp. 142-156, 1987.
- [34] B. Chanda, M. K. Kundu and Y. V. Padmaja, "A Multi-scale morphologic edge detector," *Pattern Recognition*, vol. 31, no. 10, pp. 1469-1478, 1998.
- [35] D. Sinha, P. Sinha, E. R. Dougherty, and S. Batman, "Design and Analysis of Fuzzy Morphological Algorithms for Image Processing," *IEEE Trans. On Fuzzy Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 570-584, Nov. 1997.
- [36] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, 1, USA., Addison Wesley Pub. Co., 1992.
- [37] M. Khosravi and R. W. Schafer, "Template Matching Based on a Grayscale Hit-or-Miss Transform," *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 5, no. 6, pp. 1060-1072, 1996.
- [38] S. Intajag and K. Paithoonwatanakij, "Hit or Miss Transform for Gray-Scale Edge Detection," *Proc. IEEE Inter. Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System (Phuket, Thailand)*, pp. 93-96, 1999.
- [39] S. Intajag and K. Paithoonwatanakij, "Fuzzy Hit or Miss for Automatically Image Thresholding," *The Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (Bangkok, Thailand)*, vol. 2, pp. 619-624, 2000.
- [40] S. K. Pal and Dutta Majamder, *Fuzzy Mathematical Approach to Pattern Recognition*, New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [41] A. Taguchi, "A Design Method of Fuzzy Weighted Median Filters," *Pro. ICIP'1996*.
- [42] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Volume 2: Theoretical Advances, Academic Press, London 1988.
- [43] E. R. Dougherty and C. R. Giardina, *Matrix Structured Image Processing*, Prentice-Hall, Inc., USA, 1987.
- [44] H. Park and J. Yoo, Vision, "Structuring element decomposition for efficient implementation of morphological filters," *IEE Proceedings-Image and Signal Processing*, vol. 148, no. 1, pp. 31-35, Feb. 2001.
- [45] H. J. A. M. Heijmans and Ilya S. Molchanov, "Morphology on Convolution Lattices with Applications to the Slope Transform and Random Set Theory," *J. Math. Imaging Vision*, vol. 8, no. 3, pp. 199-214, 1998.

- [46] Y. J. Zhang and H. Luo, "Optimal Selection of Segmentation Algorithms based on Performance Evaluation," *Optical Engineering*, vol. 39, pp. 1450-1455, 2000.
- [47] Y. J. Zhang, "A Survey on Evaluation Methods for Image Segmentation," *Pattern Recognition*, vol. 29, pp. 1335-1346, 1996.
- [48] A. Gasterators, I. Andreadis, and Ph. Tsalides, "Fuzzy soft mathematical morphology", *IEE Proc. Vision Image Signal Processing*, vol.145, no.1, pp.41-49, 1998.
- [49] C.V. Jawahar, P.K. Biswas and A.K. Ray, "Investigations on fuzzy thresholding base on fuzzy clustering," *Pattern Recognition*, vol.30, no.10, pp.1605-1613, 1997.
- [50] MRI images, <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/mri.html>
- [51] CT-scan images, [http://www.nlm.nih.gov/research/visible/frozen\\_ct.html](http://www.nlm.nih.gov/research/visible/frozen_ct.html)
- [52] M. D. Levine and A. Nazif, "Dynamic measurement of computer generated image segmentations," *IEEE Trans. On Pattern Analysis Machine Intelligence*, PAMI-7, pp. 155-164, 1985.
- [53] M. Nitzberg, D. Mumford and T. Shiota, *Filtering, Segmentation and Depth*, Springer-Verlag, Germany, 1993.
- [54] M. N. Ahmed, S. M. Yamany, N. Mohamed, A. A. Farag and T. Moriarty, "A Modified Fuzzy *c*-Means Algorithm for Bias Field Estimation and Segmentation of MRI Data," *IEEE Trans. On Medical Imaging*, vol. 21, no. 3, pp. 193-199, March 2002.



## ภาคผนวก

### การทดสอบสมมติฐานของความเป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละคลาส

สมมติฐานที่ใช้สอบความเป็นเนื้อเดียวกันของ  $n$  คลาสที่ได้จากการเช็คเมนต์สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$H_0: S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = \dots = S_n^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \exists S_i^2 > \sigma^2 \text{ (คลาสที่ } i \text{ อย่างน้อยหนึ่งตัวที่มากกว่าค่าความแปรปรวน } \sigma^2 \text{ ที่กำหนดขึ้นมา)}$$

เมื่อคลาสที่  $i$  ใดๆ มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $S_i^2$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

สำหรับการทดสอบเพื่อวัดค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาส ค่าความแปรปรวน  $\sigma^2$  ที่กำหนดขึ้นจะต้องมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และจุดภาพที่เป็นสมาชิกของคลาสที่  $i$  ใดๆ ซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรสุ่ม (Random variable) ที่เป็นอิสระต่อกันและมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และจำนวนสมาชิกในคลาสที่  $i$  ใดๆ คือ  $m_i$

อย่างไรก็ตามในการทดสอบสมมติฐานในกรณีนี้ เราจะถือว่ารูปภาพคือประชากรหรือข้อมูลทั้งหมดที่ถูกแบ่งเป็นสมาชิกในแต่ละคลาส ดังนั้นจะถือว่า  $m_i \rightarrow \infty$  และในการทดสอบสมมติฐานในลักษณะเช่นนี้ Bartlett ได้ใช้ตัวสถิติทดสอบที่แบบ  $\chi^2$  และจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ  $\chi^2 > \chi_{n-1, 1-\alpha}^2$  เมื่อ

$$\chi^2 = \frac{-2 \ln M}{1 + \frac{1}{3(n-1)} \left( \sum_i \frac{1}{m_i - 1} - 1/(N - n) \right)}; N = \sum m_i$$

$$M = \frac{\prod_{i=1}^n \left( \frac{m_i S_i^2}{m_i - 1} \right)^{(m_i - 1)/2}}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n m_i S_i^2}{\sum_{i=1}^n (m_i - 1)} \right)^{\sum (m_i - 1)/2}}$$

ตัวสถิติทดสอบ  $\chi^2$  สามารถใช้ในการตัดสินใจสำหรับการวัดความเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นอย่างดีสำหรับข้อมูลภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน แต่ในกรณีที่ข้อมูลภาพมีสัญญาณรบกวนแล้ว สมมติฐานข้างต้นยังคงใช้ได้อยู่แต่จะเกิดปัญหาการแบ่งคลาसออกมาเป็นจำนวนมาก โดยจำนวนคลาसที่เพิ่มขึ้นจะรองรับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้ผู้ใช้ต้องไปเลือกผลลัพธ์จากอัลกอริทึมเช็คเมนต์เอง ทำให้ขัดกับวัตถุประสงค์ของการเช็คเมนต์แบบอัตโนมัติ ที่ต้องการให้อัลกอริทึมสามารถรองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นเราจึงพัฒนาตัวสถิติทดสอบขึ้นมาอีกตัวหนึ่งที่อยู่ในรูปของอัตราส่วนของความเป็นเนื้อเดียวกัน หรือดัชนีที่ใช้วัดความเป็นเนื้อเดียวกันของแต่ละคลาสที่อยู่ในรูปของค่า  $U$

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของคลาส โดยใช้ดัชนีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U$  มีสมมุติฐานดังนี้

$$H_0: U = 1$$

$$H_1: U < 1$$

ในการทดสอบสมมุติฐานนี้เราจะกำหนดระดับนัยสำคัญไว้ที่ 5% หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ถ้าคลาสที่ถูกแบ่งแล้วมีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $U$  จะมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง หรือค่าความแปรปรวน  $S_i^2$  ของแต่ละคลาสเข้าใกล้ศูนย์นั่นเอง ซึ่งสมมุติฐานนี้ก็มีแนวคิดเช่นเดียวกับการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละคลาสตามสมมุติฐาน  $H_0: S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = \dots = S_n^2 = \sigma^2$

ถ้าเราพิจารณา  $U$  เป็นค่าความน่าจะเป็นของการยอมรับ เมื่อคลาสมีความเป็นเนื้อเดียวกัน  $S_i^2$  ของคลาสที่  $i$  ใดๆ จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับว่าแต่ละคลาสเป็นเนื้อเดียวกัน  $U$  เข้าใกล้หนึ่ง และเมื่อเข้าใกล้หนึ่งอย่างมีนัยสำคัญก็จะไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลักหรือยอมรับว่า  $U = 1$  ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับห้าเปอร์เซ็นต์ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ “มีความน่าเชื่อถือได้เก้าสิบห้าเปอร์เซ็นต์ว่าคลาสที่ผ่านการเช็กเมนต์โดยอัลกอริทึมนี้จะเป็นเนื้อเดียวกัน”

## ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. S. Intajag and K. Paithoonwatanakij, "Edge Detection by Fuzzy neural network," in *Proc. of the International Conf. AIENG96*. (Florida), pp. 246-257, Sep. 1996.
2. S. Intajag and K. Paithoonwatanakij, "Hit or Miss Transform for Gray-Scale Edge Detection," *Proc. IEEE Inter. Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems* (Phuket, Thailand), pp. 93-96, 1999.
3. S. Intajag and K. Paithoonwatanakij, "Fuzzy Morphology for Grey-Scale Image Segmentation", *International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT 2001)*, Chiang Mai, Thailand, November 4-6. 2001.
4. S. Intajag and K. Paithoonwatanakij, "Automated Edge Detection by a Fuzzy Morphological Gradient", *IEICE Transactions on Fundamentals*, in printed.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

### 1. ประวัติส่วนตัว

1.1 วัน เดือน ปีเกิด 19 ธันวาคม 2512

1.2 อายุ 34 ปี

1.3 การศึกษาระดับอุดมศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ
1.3.1 วิทยาศาสตรบัณฑิต(สถิติศาสตร์)	2533	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
1.3.2 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	2538	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 2. ประวัติการรับราชการ

2.1 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 6

2.2 เริ่มรับราชการในตำแหน่งอาจารย์ระดับ 4 สังกัดภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2538