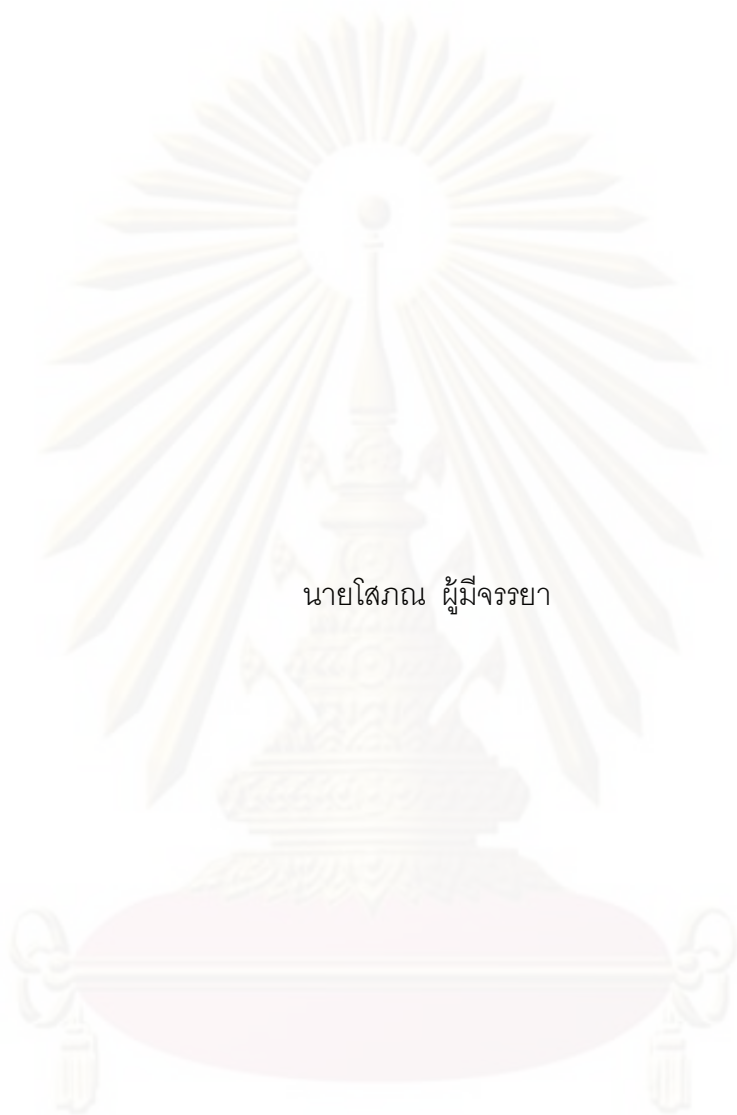


เอกภพคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถนนเส้นค้นหาที่ยึดได้สำหรับการแบ่งส่วนภาพ



นายโสภณ ผู้มีจรรยา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

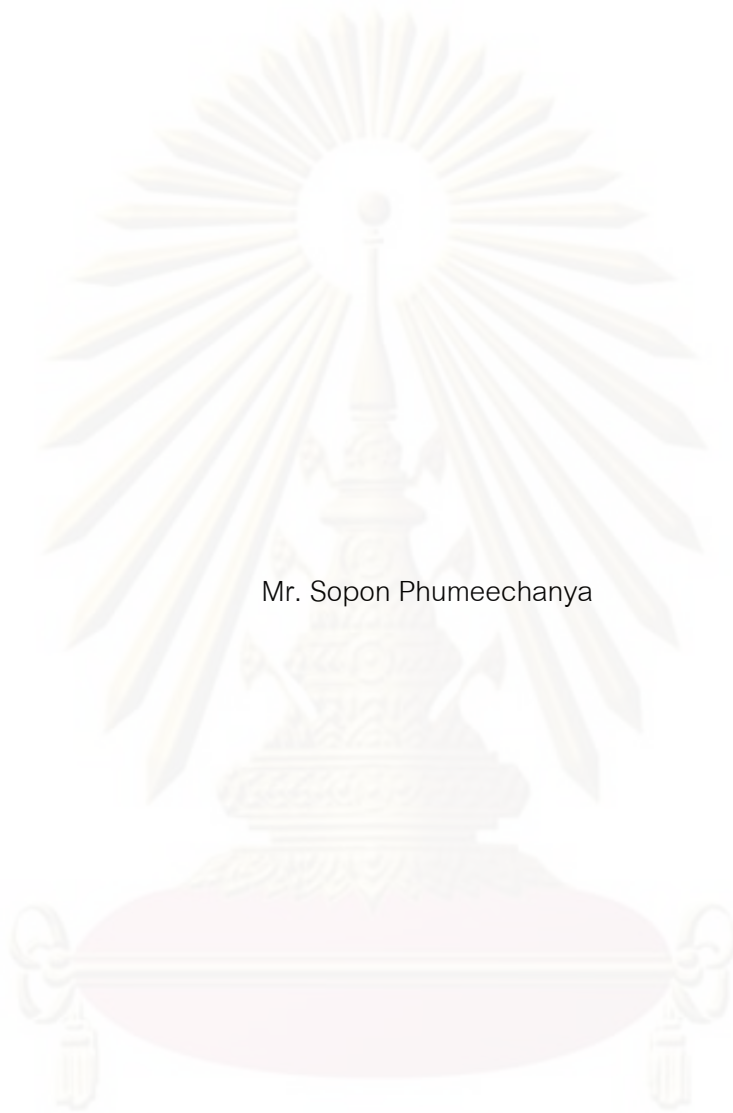
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACTIVE CONTOUR USING LOCAL REGIONAL INFORMATION  
ON EXTENDABLE SEARCH LINES FOR IMAGE SEGMENTATION



Mr. Sopon Phumeechanya

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แก็ททิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถื่น  
บนเส้นค้นหาที่ยืดได้สำหรับการแบ่งส่วนภาพ

โดย

นายโสภณ ผู้มีจรรยา

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

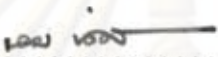
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

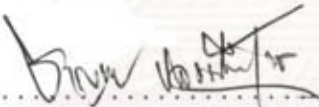
ดร.เสาวภาคย์ ธงวิจิตรมณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

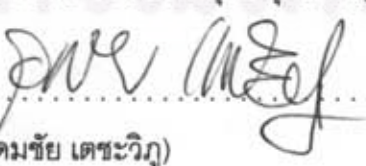
  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร.เสาวภาคย์ ธงวิจิตรมณี)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สุัทธมา เอื้อทวีเกียรติ)

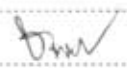

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุ่มรินทร์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ศุภมชัย เตชะวิฑู)

โสภณ ผู้มีจรรยา: แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อเสนอเทศบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้สำหรับการแบ่งส่วนภาพ (ACTIVE CONTOUR USING LOCAL REGIONAL INFORMATION ON EXTENDABLE SEARCH LINES FOR IMAGE SEGMENTATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.เสาวภาคย์ ธงวิจิตรมณี, 106 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใหม่สำหรับการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ข้อเสนอเทศบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้ มีชื่อเรียกว่าวิธี LRES ซึ่งได้เลือกใช้ค่าความเข้มของภาพที่อยู่เฉพาะบนเส้นค้นหาเท่านั้น ไม่ได้ใช้บริเวณทั้งหมดของภาพ โดยเส้นค้นหานี้จะเป็นเส้นที่ตั้งฉากกับคอนทัวร์และมีจุดกึ่งกลางเป็นจุดบนคอนทัวร์ เส้นค้นหาถูกใช้ในการหาทิศทางและการเคลื่อนที่ให้กับคอนทัวร์เพื่อวิ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการ มากไปกว่านั้นเส้นค้นหาแต่ละเส้นยังสามารถยืดตัวได้ โดยจะยืดตัวไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบขอบของวัตถุ ในการทดลองได้เปรียบเทียบความสามารถในการแบ่งส่วนภาพของวิธี LRES เทียบกับวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งวิธีการแบบใช้ขอบและแบบใช้บริเวณ โดยใช้ภาพที่สร้างขึ้นเอง ภาพจริงทั่ว ๆ ไป ภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR และภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธี LRES สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องตามที่ต้องการมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากมีข้อดีที่เหนือกว่าในหลาย ๆ ประการ ได้แก่ มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง มีความสามารถในการเข้าถึงส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้ดี ไม่ต้องประสบปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ มีความทนทานต่อจุดจมน้ำ สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุมีขอบไม่ชัดเจนได้ และสามารถแบ่งส่วนภาพที่เป็นเนื้อผสมได้ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาต่อยอดวิธี LRES ให้มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพ 2 รูปแบบ ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ และมีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยใช้ชนิดขอบ

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....  
ปีการศึกษา ..... 2552 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... โสภณ ผู้มีจรรยา .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....  .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....  .....

## 5071826121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ACTIVE CONTOUR / LEVEL SET / IMAGE SEGMENTATION / SNAKES

SOPON PHUMEECHANYA : ACTIVE CONTOUR USING LOCAL REGIONAL INFORMATION ON EXTENDABLE SEARCH LINES FOR IMAGE SEGMENTATION.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF.CHARNCHAI PLUEMPITIWIRIYAWAJ, Ph.D., THESIS

CO-ADVISOR : SAOWAPAK THONGVIGITMANEE, Ph.D., 106 pp.

This dissertation presents a novel active contour method for image segmentation using local regional information on extendable search line, or the LRES active contour. Our active contour consists of a set of search lines that are perpendicular to the contour front. Moreover, the intensity profiles on search lines are calculated, so it can inform the contour front to move toward the object's boundary. When this local regional information is not enough, the length of each search line is to increase gradually until a boundary of the object is found. We compare the performance of our LRES active contour to other existing active contours, both edge-based and region-based. In the experiments, we test on synthetic images, real scene images, and images from IBSR and MMU databases. The results show that our method provides more desirable segmentation outcomes, particularly on some images where other methods may fail. The advantages of LRES are a large capture range, an ability to reach into deep concave shape, no existence of the saddle and stationary point problems, an ability to segment an image corrupted by Gaussian noise, no trapping at any sink point, and an ability to trace an object with weak boundary and heterogeneous texture. Furthermore, our LRES active contour can be extended to include an ability to segment multiple objects within the image at the same time and select the desired object using its edge type.

Department:..... Electrical Engineering..... Student's signature *Sopon Phumeechanya*

Field of study:..... Electrical Engineering..... Advisor's signature *Charnchai Pluempitiwiriyawaj*

Academic year:..... 2009..... Co-Advisor's signature *Saowapak Thongvigitmanee*

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช และ ดร. เสาวภาคย์ ธงวิจิตรมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัย เป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณทุนจากโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (Thailand Graduate Institute of Science and Technology, TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุน ค่าเล่าเรียน ค่าทำวิจัย และค่าใช้จ่ายส่วนตัวแก่ผู้วิจัย ระยะเวลาในการรับทุน 3 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2550 ถึง 31 พฤษภาคม 2553

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระยะเวลาในการรับทุน 4 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน ถึง กันยายน 2552

สุดท้าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ และให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง และทำดีที่สุดขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้วิจัย ตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บัญชีคำศัพท์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและเหตุผล.....	1
1.2 การทบทวนวรรณกรรม.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ .....	8
1.4 ขอบเขตของงาน .....	8
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....	9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 แอ็กทิฟคอนทิวรัแบบใช้ขอบ .....	10
2.1.1 สนามเวกเตอร์.....	11
2.1.2 เส้นค้นหาความยาวคงที่.....	19
2.2 แอ็กทิฟคอนทิวรัแบบใช้บริเวณ .....	21
2.2.1 ข้อเสนอเขตบริเวณครอบคลุม .....	21
2.2.2 ข้อเสนอเขตบริเวณท้องถิ่น.....	26
2.3 กรณีในการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ.....	30
บทที่ 3 วิธีการที่นำเสนอ.....	32
3.1 วิธี LRES .....	32
3.1.1 ข้อเสนอเขตบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้.....	34
3.1.2 การยืดตัวของเส้นค้นหา .....	35
3.1.3 สมการการเคลื่อนที่.....	37
3.1.4 ขั้นตอนในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ .....	40

3.2 การพัฒนาต่อยอดวิธี LRES.....	41
3.2.1 วิธี MLRES.....	41
3.2.2 วิธี SLRES .....	43
บทที่ 4 การทดลอง .....	47
4.1 ทดลองวิธี LRES กับภาพที่สร้างขึ้นเองและภาพจริงทั่วไป.....	48
4.1.1 ช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ.....	48
4.1.2 จุดจบและขอบที่ไม่ชัดเจน .....	53
4.1.3 การทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน .....	58
4.1.4 ภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสม.....	60
4.1.5 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ .....	66
4.2 ทดลองวิธี LRES กับภาพจากฐานข้อมูล .....	70
4.2.1 ภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR.....	70
4.2.2 ภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU.....	75
4.3 ความสามารถของวิธี MLRES และวิธี SLRES .....	80
4.3.1 การแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุ .....	81
4.3.2 การแบ่งส่วนภาพที่สามารถเลือกวัตถุได้โดยใช้ชนิดขอบ .....	84
บทที่ 5 บทสรุป.....	89
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	89
5.1.1 ข้อดีของวิธีการที่นำเสนอ .....	91
5.1.2 ข้อด้อยของวิธีการที่นำเสนอ.....	92
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก ที่มาของสมการการเคลื่อนที่.....	100
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ .....	105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	106



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การคำนวณหาสนามเวกเตอร์ของวิธีการต่าง ๆ .....	11
ตารางที่ 4.1 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์	
สำหรับการแบ่งส่วนภาพในรูปที่ 4.15 .....	67
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบเวลาที่คอนทัวร์ใช้ในการเคลื่อนที่ของวิธี LRES	
ระหว่างการเขียนโปรแกรมโดยใช้ MATLAB และ C .....	69
ตารางที่ 4.3 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนเนื้องอกที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ .....	73
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ในตารางที่ 4.3 ....	74
ตารางที่ 4.5 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนม่านตาที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ .....	78
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ในตารางที่ 4.5 ....	79

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง .....	4
รูปที่ 1.2 การแบ่งส่วนภาพในกรณีทั้งวัตถุและพื้นหลังเป็นเนื้อผสมโดยใช้วิธี ACWE.....	5
รูปที่ 1.3 การแบ่งส่วนภาพในกรณีที่วัตถุเป็นเนื้อผสมโดยใช้วิธี ACWE .....	6
รูปที่ 1.4 การแบ่งส่วนภาพในกรณีที่วัตถุเป็นเนื้อเดียวกัน แต่มีพื้นหลังเป็นเนื้อผสมโดยใช้วิธี ACWE .....	7
รูปที่ 2.1 การหาภาพขอบของภาพรูปตัวเอส.....	11
รูปที่ 2.2 สนามเวกเตอร์ของภาพรูปตัวเอสที่คำนวณได้ .....	12
รูปที่ 2.3 การแบ่งส่วนภาพรูปตัวเอสด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบแบบต่าง ๆ.....	13
รูปที่ 2.4 วิธีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจุดหยุดนิ่ง .....	14
รูปที่ 2.5 การแบ่งส่วนภาพเอ็มอาร์ไอของสมองโดยใช้วิธี VFC .....	15
รูปที่ 2.6 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปวงกลมที่มีขอบเขตไม่ชัดเจนโดยใช้วิธี VFC .....	16
รูปที่ 2.7 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวเอ็กซ์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนโดยใช้วิธี VFC ...	17
รูปที่ 2.8 การแบ่งส่วนภาพปลาโดยใช้วิธี VFC .....	18
รูปที่ 2.9 วิธีเส้นค้นหาความยาวคงที่ .....	19
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ของจุดบนคอนทัวร์โดยใช้วิธีเส้นค้นหาความยาวคงที่บนภาพขอบ .....	20
รูปที่ 2.11 ค่าเฉลี่ยความเข้มสีที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์.....	22
รูปที่ 2.12 การแบ่งส่วนภาพรูปตัวเอสด้วยวิธี ACWE .....	22
รูปที่ 2.13 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปวงกลมที่มีขอบเขตบางส่วนไม่ชัดเจนด้วยวิธี ACWE .....	23
รูปที่ 2.14 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวเอ็กซ์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนด้วยวิธี ACWE.	24
รูปที่ 2.15 การแบ่งส่วนภาพตุ๊กตาหมีด้วยวิธี ACWE.....	24
รูปที่ 2.16 การแบ่งส่วนวัตถุเนื้อผสมที่สร้างขึ้นเอง .....	25
รูปที่ 2.17 การใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์และแถบนอก .....	26
รูปที่ 2.18 การใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในแถบในและแถบนอก .....	27
รูปที่ 2.19 การใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในวงกลมของแต่ละจุดบนคอนทัวร์.....	28
รูปที่ 2.20 การแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC .....	28
รูปที่ 2.21 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC .....	29
รูปที่ 2.22 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของวงกลมของจุดบนคอนทัวร์ .....	30

รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่.....	30
รูปที่ 3.1 เส้นค้นหาที่ยึดได้.....	34
รูปที่ 3.2 ข้อเสนอแนะบริเวณท้องถื่นบนเส้นค้นหาที่ยึดได้ .....	34
รูปที่ 3.3 เส้นค้นหาที่ไม่ได้ทอดตัวอยู่บนขอบของวัตถุ เนื่องจากความยาวของเส้นค้นหานั้นสั้นเกินไป .....	35
รูปที่ 3.4 เส้นค้นหาที่ได้รับการยึดตัวแต่ยังไม่สามารถยึดตัวถึงขอบของวัตถุได้ เนื่องจากความยาวของเส้นค้นหานั้นยังคงสั้นไป .....	36
รูปที่ 3.5 เส้นค้นหาที่ได้รับการยึดตัวจนกระทั่งสามารถยึดตัวถึงขอบของวัตถุได้ .....	37
รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันเซตระดับ $\phi(x, y)$ .....	38
รูปที่ 3.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของจุดบนคอนทัวร์ .....	40
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการวางคอนทัวร์เริ่มต้นของภาพที่มีสองวัตถุที่ต้องการ .....	43
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแยกแยะประเภทของวัตถุโดยใช้ชนิดขอบ .....	44
รูปที่ 3.10 เส้นค้นหาที่วางตัวอยู่บนขอบของวัตถุที่ต่างชนิดกัน.....	45
รูปที่ 4.1 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่มีอ่าวอยู่ตรงกลาง .....	49
รูปที่ 4.2 การแบ่งส่วนภาพเครื่องบินขับไล่.....	50
รูปที่ 4.3 การแบ่งส่วน Corpus Callosum ในภาพสมอง.....	51
รูปที่ 4.4 การแบ่งส่วนภาพปลาดาว.....	52
รูปที่ 4.5 การแบ่งส่วนภาพปลา.....	54
รูปที่ 4.6 การแบ่งส่วนเนื้องอกในภาพสมอง .....	55
รูปที่ 4.7 การแบ่งส่วนข้อกระดูกสันหลัง .....	56
รูปที่ 4.8 วัตถุรูปห้าเหลี่ยมที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน .....	58
รูปที่ 4.9 การแบ่งส่วนภาพวัตถุห้าเหลี่ยมที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน .....	59
รูปที่ 4.10 การแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมที่มีรูปร่างคล้ายเต่า.....	60
รูปที่ 4.11 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่เป็นเนื้อผสม .....	61
รูปที่ 4.12 การแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุและพื้นหลังเป็นเนื้อผสม .....	62
รูปที่ 4.13 การแบ่งส่วนภาพดอกไม้ .....	63
รูปที่ 4.14 การแบ่งส่วนภาพตุ๊กตาหมี.....	65
รูปที่ 4.15 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปหัวใจโดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นในกรณีต่าง ๆ.....	66
รูปที่ 4.16 ภาพตัวอย่างบางส่วนจากฐานข้อมูล IBSR.....	70
รูปที่ 4.17 การแบ่งส่วนเนื้องอก.....	71

รูปที่ 4.18 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนเนื้องอกที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ ..... 73

รูปที่ 4.19 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของการแบ่งส่วนเนื้องอก..... 75

รูปที่ 4.20 ภาพตัวอย่างบางส่วนจากฐานข้อมูล MMU ..... 75

รูปที่ 4.21 การแบ่งส่วนม่านตา ..... 77

รูปที่ 4.22 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนม่านตาที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ ..... 78

รูปที่ 4.23 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของการแบ่งส่วนม่านตา ..... 80

รูปที่ 4.24 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปดาวและหัวใจโดยใช้วิธี LRES แบบสองคอนทราสต์ ..... 81

รูปที่ 4.25 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปดาวและหัวใจโดยใช้วิธี MLRES ..... 82

รูปที่ 4.26 การแบ่งส่วนภาพวัตถุเลขหนึ่งและเลขสองโดยใช้วิธี MLRES ..... 82

รูปที่ 4.27 การแบ่งส่วนภาพปลาตัวทั้งสองโดยใช้วิธี MLRES ..... 83

รูปที่ 4.28 การแบ่งส่วนภาพเครื่องบินทั้งสามลำโดยใช้วิธี MLRES ..... 83

รูปที่ 4.29 การแบ่งส่วนภาพข้อกระดูกสันหลัง 4 ข้อโดยใช้วิธี MLRES ..... 84

รูปที่ 4.30 การแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุรูปตัวเอสวางตัวอยู่บนวัตถุรูปหัวใจ ..... 85

รูปที่ 4.31 การแบ่งส่วนภาพป้ายจราจร..... 86

รูปที่ 4.32 การแบ่งส่วนภาพสมอง ..... 87



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บัญชีคำศัพท์

การแบ่งส่วนภาพ	Image Segmentation
การประมวลผลภาพ	Image Processing
การวนซ้ำ	Iteration
ขอบ	Edge
ข้อสนเทศ	Information
ครอบคลุม	Global
ความเข้ม	Intensity
ความเข้มเฉลี่ย	Average Intensity
คอนทัวร์เริ่มต้น	Initial Contour
จุดจม	Sink Point
จุดหยุดนิ่ง	Stationary Point
จุดอานม้า	Saddle Point
ช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ	Capture Range
แถบนอก	Outer Band
แถบใน	Inner Band
ท้องถิ่น	Local
เนื้องอก	Tumor
เนื้อเดียว	Homogeneous
เนื้อผสม	Heterogeneous
บริเวณ	Region
พื้นหลัง	Background
ฟังก์ชันพลังงาน	Energy Function
ภาพขอบ	Edge Map
ม่านตา	Iris
ระดับสีเทา	Gray Scale
แรงบอลลูน	Balloon Force
แรงภายนอก	External Force
แรงภายใน	Internal Force
แรงราบเรียบ	Smoothing Force

แรงหลัก	Main Force
วัตถุ	Object
วิธีเซตระดับ	Level Set Method
สนามเวกเตอร์	Vector Field
สัญญาณรบกวน	Noise
เส้นค้นหา	Search Line



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและเหตุผล

การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญมากสำหรับงานในการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่ต้องการตัดส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพออกมาเพื่อนำไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ตัวอย่างเช่น ในงานภาพทางการแพทย์ ภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพ เช่น เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) เครื่องอัลตราซาวด์และเครื่อง MRI เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วภาพถ่ายที่ได้ออกมานั้นมักมีจำนวนมาก และในการวิเคราะห์ภาพถ่ายเหล่านี้ แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญจำเป็นต้องแบ่งส่วนภาพให้ได้ส่วนต่าง ๆ ของอวัยวะที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ และในการแบ่งส่วนภาพด้วยมือของผู้เชี่ยวชาญ ถึงแม้ว่าจะให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีความถูกต้อง แต่ในการทำงานของผู้เชี่ยวชาญกับภาพถ่ายจำนวนมากเหล่านี้ ทำให้ต้องเสียเวลาและใช้แรงงานของผู้เชี่ยวชาญอย่างมากเกินจำเป็น อีกทั้งผู้เชี่ยวชาญเองอาจเกิดอาการล้าได้ หากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นเวลาดูติดต่อกันนาน ๆ ด้วยเหตุนี้เอง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะมีวิธีการแบ่งส่วนภาพที่สามารถนำมาจัดการกับภาพทางการแพทย์เหล่านี้ได้ เพื่อช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์จำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และนอกจากงานภาพทางการแพทย์แล้ว งานในด้านอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องใช้การแบ่งส่วนภาพ ได้แก่ งานวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม งานวิเคราะห์ภาพถ่ายสภาพการจราจรบนท้องถนน งานตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยใช้ภาพถ่ายในโรงงานอุตสาหกรรม งานคัดแยกคุณภาพพืชผลทางการเกษตรโดยใช้ภาพถ่าย เป็นต้น จากความจำเป็นและประโยชน์ที่เห็นได้ชัดเจนของงานวิจัยทางด้าน การแบ่งส่วนภาพนี้เอง ทำให้ในวิทยานิพนธ์นี้มีความสนใจที่จะคิดค้นและพัฒนาวิธีการแบ่งส่วนภาพแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้มีความสามารถและประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพที่เพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันมีวิธีการแบ่งส่วนภาพหลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธี Thresholding วิธี Region Growing วิธี K-Means วิธี Watershed วิธี Graph cuts และวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์ (Active Contour) เป็นต้น โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้สนใจและเลือกที่จะพัฒนาวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์ เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความยืดหยุ่นอย่างมากในการพัฒนาและออกแบบ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาพในงานด้านต่าง ๆ ได้ดีอีกด้วย ซึ่งวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์นี้มีหลักการเบื้องต้น คือ เราจะปล่อยเส้นคอนทัวร์ (Contour) ลงไปบนภาพที่ต้องการแบ่งส่วน จากนั้นเส้นคอนทัวร์จะค่อย ๆ เคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุ (Object) ที่เราต้องการในภาพจนกระทั่งได้วัตถุที่ต้องการออกมา และ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอ็กทิฟคอนทัวร์ พบว่าวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ ที่ได้มีการนำเสนอออกมานั้น ยังคงมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ประการ เช่น คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด (Limited Capture Range) ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ได้ อย่างถูกต้อง ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบเขตที่ไม่ชัดเจนได้ และไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสม (Heterogeneous) ได้ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้เอง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ขึ้นมา เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบเก่า และยังมีความสามารถและประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

## 1.2 การทบทวนวรรณกรรม

วิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์ หรือ เรียกว่า สเน็ก (Snake) [1] มีหลักการ คือ คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุที่เราต้องการในภาพได้ โดยอาศัยแรงภายในคอนทัวร์ (Internal Force) และแรงภายนอกคอนทัวร์ (External Force) ซึ่งแรงภายในคอนทัวร์ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ในขณะที่เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แรงราบเรียบ (Smoothing Force) ส่วนแรงภายนอกนั้นทำหน้าที่เปลี่ยนรูปร่างและขับเคลื่อนคอนทัวร์ไปยังวัตถุที่เราต้องการในภาพ จึงถูกเรียกว่า แรงหลัก (Main Force) โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแบ่งแรงหลักออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบใช้ขอบ (Edge-Based) [1-14] และ แบบใช้บริเวณ (Region-Based) [15-27] โดยที่แรงแบบใช้ขอบจะใช้ข้อมูลขอบเขต (Edge Information) ของภาพอินพุตในการคำนวณแรง นั่นคือค่าเกรเดียนต์ของภาพ (Image Gradient) ทำหน้าที่เป็นตัวบอกให้คอนทัวร์รู้ว่าต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด เพื่อวิ่งไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ ส่วนแรงแบบใช้บริเวณจะใช้ข้อมูลขอบเขตบริเวณ (Regional Information) ของภาพ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ โดยอาศัยข้อมูลขอบเขตบริเวณที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุ (Object) ที่เราต้องการกับพื้นหลัง (Background)

แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม (Traditional Active Contour: TAC) เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ตัวแรกที่ถูกนำเสนอขึ้นมาโดย Kass และคณะ [1] วิธีการนี้เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ เนื่องจากใช้ค่าเกรเดียนต์ของภาพขอบ (Edge Map) ในการคำนวณแรงสำหรับขับเคลื่อนคอนทัวร์ ซึ่งส่งผลให้วิธีการนี้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุได้ ไม่สามารถเกาะติดกับขอบที่ไม่ชัดเจนได้ ไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวน และมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ (Capture Range) ที่จำกัด ทำให้ในการวางตำแหน่งเริ่มต้น (Initial Position) ของคอนทัวร์นั้น จำเป็นต้องวางใกล้กับวัตถุที่เราต้องการเพียงพอ จึงจะทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่เราที่ต้องการได้ สาเหตุเนื่องมาจากบริเวณที่ไกลจากขอบของวัตถุ ค่าเกรเดียนต์จะมีค่าน้อยมาก ๆ ทำให้เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนทัวร์ตกอยู่ในบริเวณเหล่านี้ คอน

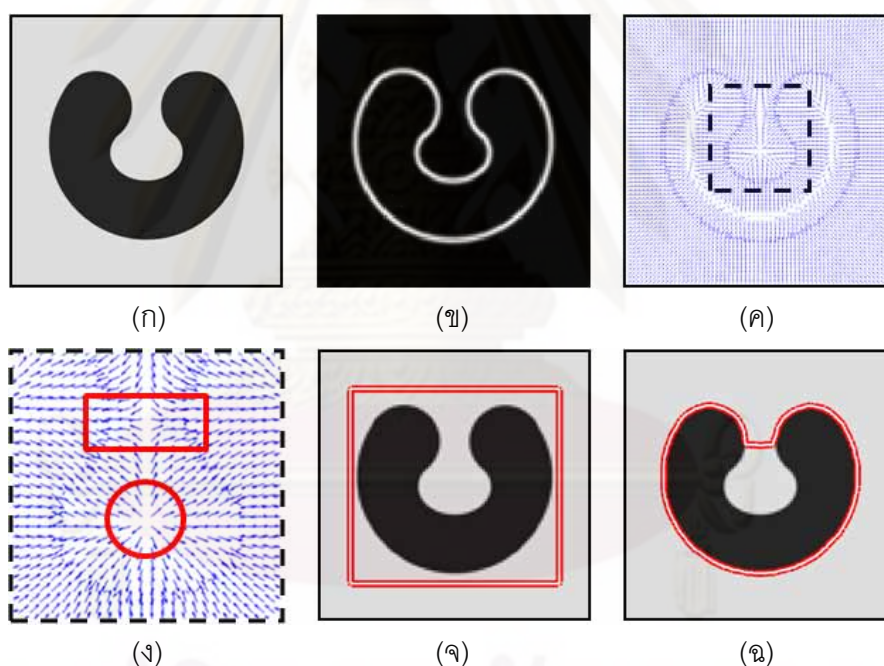


ทวิร์จะไม่มีแรงขับเคลื่อนไปยังขอบของวัตถุได้ และจากข้อจำกัดเหล่านี้ จึงได้มีหลาย ๆ งานวิจัยที่พัฒนาและปรับปรุงวิธีการแก็กทิฟคอนทวิร์แบบใช้ขอบ ให้มีประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพมากขึ้น ตัวอย่างเช่น Cohen และคณะ [2] ได้เพิ่มแรงบอลลูน (Balloon Force) ให้กับแก็กทิฟคอนทวิร์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ ทำให้ในบริเวณที่ค่าเกรเดียนต์มีค่าน้อยมาก ๆ คอนทวิร์ก็ยังคงมีแรงที่จะเคลื่อนที่ไปยังวัตถุได้ แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัด คือ แรงบอลลูนจะมีคุณสมบัติที่ขยายตัวหรือหดตัวเท่านั้น ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งว่าจะวางคอนทวิร์ไว้ภายในหรือภายนอกวัตถุเท่านั้น ไม่สามารถวางขวางวัตถุได้ และข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ ถ้ากำหนดให้แรงบอลลูนนี้แรงเกินไป คอนทวิร์ก็อาจจะวิ่งเลยขอบที่แท้จริงของวัตถุไปได้ หรือถ้ากำหนดให้แรงนี้เบาเกินไป คอนทวิร์ก็อาจจะไม่มีแรงเพียงพอที่จะขับเคลื่อนไปยังวัตถุได้ ต่อมา Cohen และ Cohen [3] ได้นำเสนอวิธี DVF (Distance Vector Flow) โดยใช้ค่าเกรเดียนต์ของค่าระยะทางแบบ Euclidean ที่น้อยที่สุดระหว่างทุกพิกเซลบนภาพกับทุกพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ ซึ่งคอนทวิร์ของวิธีการนี้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุ

Xu และ Prince [4] ได้นำเสนอวิธีแก็กทิฟคอนทวิร์ที่เรียกว่า GVF (Gradient Vector Flow) ซึ่งวิธีการนี้ได้มีการแพร่ขยายบริเวณของแรงที่ชี้ไปยังขอบของวัตถุในภาพออกไปโดยรอบ จึงทำให้คอนทวิร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น และมีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าไปยังส่วนที่มีลักษณะโค้งเว้ามาก ๆ ได้ดีขึ้น แต่วิธีการนี้ใช้การคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากใช้การวนซ้ำ (Iteration) ในการคำนวณสนามเวกเตอร์ (Vector Field) Wang และ Zhang [5] นำเสนอวิธี CAC (Coulomb Active Contour) โดยการประยุกต์ใช้กฎของคูลอมบ์ (Coulomb) ในการคำนวณแรงสำหรับแก็กทิฟคอนทวิร์ ซึ่งคำนวณได้จากค่าเกรเดียนต์ของผลรวมของแรงที่กระทำระหว่างทุกพิกเซลในภาพกับทุกพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ โดยแรงที่กระทำระหว่างพิกเซลคำนวณได้จากกฎของคูลอมบ์ โดยมองว่าพิกเซลทั้งสองนี้คือ ประจุไฟฟ้า 2 ประจุที่มีแรงกระทำต่อกัน ซึ่งวิธี CAC มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างขึ้น และใช้การคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธี GVF แต่ในบางวัตถุวิธีการนี้ยังคงมีปัญหาในการเคลื่อนที่เข้าไปส่วนโค้งเว้าของวัตถุ Li และ Acton [6] ได้นำเสนอวิธีที่เรียกว่า VFC (Vector Field Convolution) ซึ่งวิธีการนี้ใช้การคอนโวลูชันระหว่างภาพขอบกับสนามเวกเตอร์ที่ชี้ไปยังแก่นกลาง (Vector field kernel) ส่งผลให้แรงที่คำนวณได้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง และทำให้คอนทวิร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่โค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุได้ นอกจากนี้ยังใช้การคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธี GVF และ CAC อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม วิธีการแก็กทิฟคอนทวิร์แบบใช้ขอบที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ยังคงประสบกับปัญหาจุดอานม้า (Saddle Point) และจุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) [7-9] ดังตัวอย่างแสดงในรูป

ที่ 1.1 (ก) ซึ่งเป็นภาพรูปตัวยูที่บริเวณตรงกลางมีลักษณะคล้ายอ่าว และรูป (ข) คือ ภาพขอบ เมื่อเราใช้วิธี VFC ในการคำนวณแรง จะทำให้ได้สนามเวกเตอร์ (สนามที่มีลูกศรจำนวนมาก ซึ่งทำหน้าที่ชี้ทางให้กับคอนทัวร์ในขณะที่เคลื่อนที่เพื่อวิ่งไปยังขอบของวัตถุ) แสดงในรูป (ค) และเมื่อเราพิจารณาเฉพาะบริเวณตรงกลางของภาพในรูป (ง) จะเห็นได้ว่าลูกศรที่อยู่ภายในบริเวณอ่าวมีทิศทางชี้ออกไปโดยรอบ เรียกจุดนี้ว่าจุดหยุดนิ่ง ดังแสดงภายในวงกลม และจุดหยุดนิ่งนี้เป็นจุดที่คอนทัวร์ไม่สามารถเข้าถึงและเคลื่อนที่ข้ามผ่านไปได้ และจากการเกิดจุดหยุดนิ่งนี้เองก็ส่งผลให้เกิดจุดอานม้าขึ้นบริเวณคอขวดของตัวยู ดังแสดงภายในกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งจุดอานม้านี้จะทำตัวเปรียบเสมือนเป็นกำแพงที่จะขัดขวางไม่ให้คอนทัวร์เคลื่อนที่เข้าไปภายในอ่าวของรูปตัวยูได้ เราได้ทดลองวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุแสดงในรูป (จ) และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ฉ) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดอานม้า จึงไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุรูปตัวยูที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 1.1 ปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง

(ก) ภาพรูปตัวยูที่บริเวณตรงกลางมีลักษณะคล้ายอ่าว

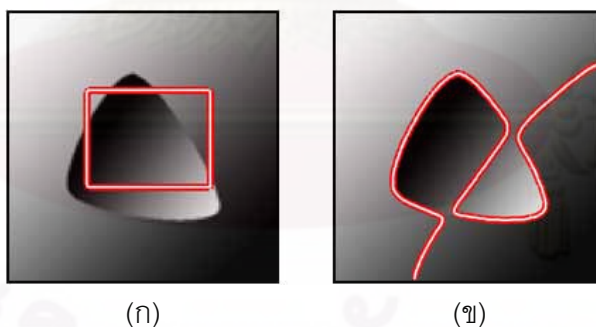
(ข) ภาพขอบ (ค) สนามเวกเตอร์ที่ได้จากวิธี VFC

(ง) จุดอานม้า (แสดงในสี่เหลี่ยม) และจุดหยุดนิ่ง (แสดงในวงกลม)

(จ) คอนทัวร์เริ่มต้น (ฉ) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

นอกจากแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบแล้ว แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณก็ได้รับความนิยมสนใจจากหลาย ๆ งานวิจัย เนื่องจากการใช้ข้อสนเทศบริเวณของภาพจะทำให้แอ็กทิฟคอนทัวร์

สามารถแยกแยะภาพออกเป็นวัตถุและพื้นหลังได้ดีกว่าการใช้ข้อสนเทศขอบของวัตถุ ดังนั้น แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณจึงมีข้อดีที่เหนือกว่าแบบใช้ขอบในหลายประการ เช่น ทนทานต่อสัญญาณรบกวน และไม่ต้องประสบกับปัญหาจุดอนม้าและจุดหยุดนิ่ง เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่พัฒนาแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณ ได้แก่ Chan และ Vese [22] นำเสนอวิธี ACWE (Active Contour Without Edge) โดยเป็นการรวมตัวกันของวิธีเซตระดับ (Level Set) [28] กับโมเดลของ Mumford และ Shah [29] ซึ่งฟังก์ชันพลังงาน (Energy Function) ที่ได้ จะใช้ค่าความเข้มเฉลี่ย (Average Intensity) ของบริเวณของภาพที่เป็นวัตถุและบริเวณของภาพที่เป็นพื้นหลัง และฟังก์ชันพลังงานนี้จะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุได้สำเร็จ ซึ่งก็คือเมื่อค่าความเข้มที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์แตกต่างกันมากที่สุด Yezzi และคณะ [23] นำเสนอฟังก์ชันพลังงานที่ใช้ค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่าความเข้มของภาพ ซึ่งฟังก์ชันพลังงานนี้จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อค่าความแปรปรวนของความเข้มที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์แตกต่างกันมากที่สุด วิธีการนี้มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่ค่าความเข้มเฉลี่ยของทั้งวัตถุและพื้นหลังมีค่าเท่ากันได้ Michailovich และคณะ [24] นำเสนอฟังก์ชันพลังงานที่เปรียบเทียบฮิสโทแกรม (Histogram) ของบริเวณที่เป็นวัตถุกับพื้นหลัง โดยเป็นการคำนวณค่าระยะทางแบบ Bhattacharyya [30] ฟังก์ชันพลังงานนี้จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อค่าระยะทาง Bhattacharyya ระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ของบริเวณที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์มีค่าน้อยที่สุด

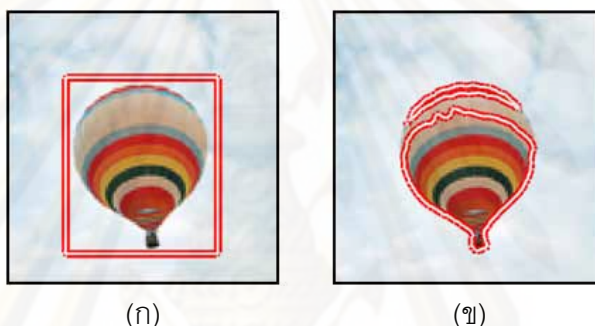


รูปที่ 1.2 การแบ่งส่วนภาพในกรณีทั้งวัตถุและพื้นหลังเป็นเนื้อผสมโดยใช้วิธี ACWE  
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

ในกรณีที่วัตถุและพื้นหลังเป็นเนื้อผสม (Heterogeneous Texture) ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 1.2 การใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณที่กล่าวมาข้างต้นจะไม่เหมาะสม เนื่องจากวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้ใช้ข้อสนเทศบริเวณของทั้งภาพหรือเรียกว่าแบบครอบคลุม (Global) ดังนั้น เมื่อทดลองใช้วิธี ACWE มาแบ่งส่วนภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสมนี้ โดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ดังรูป

(ก) ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงในรูป (ข) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทราสต์พยายามแบ่งภาพออกเป็นสองบริเวณที่มีสีแตกต่างกันชัดเจน คือ บริเวณที่เป็นสีอ่อนและบริเวณที่เป็นสีเข้ม ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งโดยแท้จริงแล้ววัตถุที่เราต้องการ คือ วัตถุรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมที่อยู่ตรงบริเวณกลางภาพ

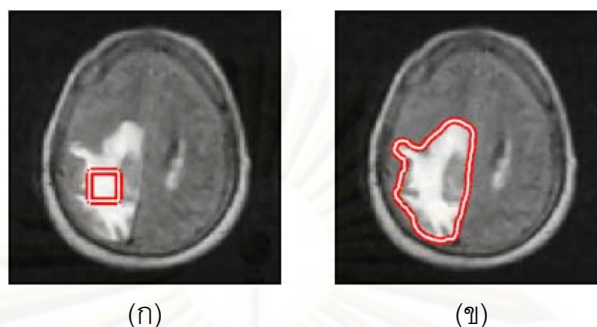
นอกจากนี้ภาพต่าง ๆ ในความเป็นจริง (Real Scene Image) ส่วนใหญ่แล้วมักจะมีลักษณะที่วัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสมดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 1.3 (ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี ACWE ไม่สามารถแบ่งส่วนบอลลูกุนที่ต้องการออกมาได้อย่างสมบูรณ์ดังแสดงในรูป (ข) เนื่องจากบางส่วนของบอลลูกุนที่ต้องการนี้มีเฉดสีใกล้เคียงกับพื้นหลังที่เป็นท้องฟ้า จึงทำให้คอนทราสต์เข้าใจผิดว่าส่วนเหล่านี้ของบอลลูกุน คือ พื้นหลังที่เป็นท้องฟ้า



รูปที่ 1.3 การแบ่งส่วนภาพในกรณีที่วัตถุเป็นเนื้อผสมโดยใช้วิธี ACWE  
(ก) คอนทราสต์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

ในกรณีที่ภาพมีวัตถุเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) แต่มีพื้นหลังเป็นเนื้อผสม วิธีการแยกทีฟคอนทราสต์แบบใช้ข้อสนเทศของทั้งภาพ ก็ยังคงไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุที่ต้องการได้อย่างถูกต้องดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 1.4 เราต้องการแบ่งส่วนที่เป็นเนื้ออก (Tumor) จากภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง [18] จึงได้วางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้บริเวณภายในเนื้ออกที่ต้องการดังแสดงในรูป (ก) และเมื่อใช้วิธี ACWE จะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพดังแสดงในรูป (ข) ซึ่งเห็นได้ว่า ไม่เพียงได้ส่วนที่เป็นเนื้ออกออกมาเท่านั้น ยังได้ส่วนที่อยู่บริเวณใกล้เคียงออกมาด้วย เนื่องจากในภาพเอ็มอาร์ไอนี้มีพื้นหลังที่เป็นเนื้อผสม โดยบริเวณที่ใกล้เคียงกับเนื้ออกที่ต้องการจะมีความเข้มที่ใกล้เคียงกับเนื้ออกมากกว่าเมื่อเทียบกับอวัยวะอื่น ๆ หรือพื้นหลังส่วนอื่น ๆ ของภาพ จึงถูกเหมารวมเป็นกลุ่มเดียวกันกับเนื้ออก ดังนั้น ความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่วัตถุเป็นเนื้อผสมหรือพื้นหลังเป็นเนื้อผสมหรือทั้งสองอย่าง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่อัลกอริทึมคอนทราสต์ควรจะมี ซึ่งจากการศึกษาอัลกอริทึมคอนทราสต์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เป็นเนื้อผสม จะมีอยู่ในอัลกอริทึมคอนทราสต์แบบใช้ขอบ แต่

อย่างไรก็ตามดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบยังคงมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับการนำไปแบ่งส่วนภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสมเหล่านี้



รูปที่ 1.4 การแบ่งส่วนภาพในกรณีที่วัตถุเป็นเนื้อเดียวกันแต่มีพื้นหลังเป็นเนื้อผสม โดยใช้วิธี ACWE (ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

ในการแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบสนเทศบริเวณครอบคลุม ได้มีหลาย ๆ บทความวิจัยนำเสนอวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบสนเทศบริเวณท้องถิ่น (Local Regional Information) ตัวอย่างเช่น Mille และ Cohen [25] นำเสนอการใช้ขอบสนเทศบริเวณของภาพที่อยู่ภายในคอนทัวร์ และส่วนที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์เฉพาะในแถบที่ขยายออกไปจากคอนทัวร์ในช่วงที่กำหนดเรียกว่า แถบนอก (Outer Band) โดยวิธีการนี้ได้ออกแบบมาเพื่อแบ่งส่วนภาพวัตถุที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันที่วางตัวอยู่บนพื้นหลังที่เป็นเนื้อผสม ดังนั้น วิธีการนี้จึงไม่สามารถแบ่งส่วนภาพในกรณีที่วัตถุเป็นเนื้อผสมได้ Ronfard [26] นำเสนอวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้ขอบสนเทศบริเวณท้องถิ่นเฉพาะบริเวณช่วงที่ใกล้ ๆ กับคอนทัวร์ กล่าวคือใช้ขอบสนเทศบริเวณของภาพทั้งที่อยู่ภายในแถบใน (Inner Band) และแถบนอกของคอนทัวร์เท่านั้น ส่งผลให้วิธีการนี้สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุหรือพื้นหลังเป็นเนื้อผสมได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการใช้แถบในและแถบนอกนี้เอง มีผลทำให้การวางคอนทัวร์เริ่มต้นไม่สามารถวางไว้ไกลเกินความกว้างของแถบทั้งสองได้ เนื่องจากถ้าเราวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ไกลเกินความกว้างของแถบในและแถบนอกของคอนทัวร์ จะทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังขอบของวัตถุได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการวางคอนทัวร์เริ่มต้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่วัตถุมีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ต่อมา Lankton และ Tannenbaum [27] ได้นำเสนอวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบสนเทศบริเวณท้องถิ่นที่เรียกว่าวิธี LRAC (Localizing Region-based Active Contour) โดยวิธีการนี้ใช้ขอบสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในวงกลมที่อยู่โดยรอบคอนทัวร์ ซึ่งจุดศูนย์กลางของวงกลมเหล่านี้ก็คือทุกพิกเซลที่อยู่บนคอนทัวร์ รัศมีของวงกลมเหล่านี้จะมีค่าเท่ากันทุกวงและถูกกำหนดโดยผู้ใช้ และจะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่คอนทัวร์กำลังเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุที่

ต้องการ โดยในการกำหนดค่ารัศมีให้กับวงกลมจะดูจากตำแหน่งคอนทอร์เริ่มต้นว่าห่างจากขอบของวัตถุที่ต้องการเพียงใด ถ้ากำหนดรัศมีของวงกลมเล็กเกินไป คอนทอร์จะมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่แคบ (Small Capture Range) กล่าวคือ คอนทอร์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้ แต่ถ้ากำหนดรัศมีให้ใหญ่เกินไป จะส่งผลให้วิธีการนี้มีพฤติกรรมคล้ายกับแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม เนื่องจากข้อสนเทศบริเวณที่ได้จากวงกลมที่มีขนาดใหญ่จะเป็นการใช้ข้อสนเทศบริเวณเกือบครอบคลุมทั้งภาพ ซึ่งทำให้วิธีการนี้ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุและพื้นหลังเป็นเนื้อผสมได้ และในทางปฏิบัติ การกำหนดค่ารัศมีที่เหมาะสมให้กับวงกลมจะกระทำได้อย่างยากในกรณีที่วัตถุมีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ซึ่งทำให้จำเป็นต้องวางคอนทอร์เริ่มต้นให้ใกล้กับขอบของวัตถุที่ต้องการเพียงพอ และยังเป็นการสร้างความยุ่งยากให้กับผู้ใช้งานอีกด้วย ดังนั้น จากข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบและพัฒนาวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านั้นได้ ส่งผลให้วิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่นี้มีความสามารถและประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพที่เพิ่มมากขึ้น

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบต่าง ๆ รวมถึงข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธี
2. เพื่อออกแบบวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ที่สามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับแอ็กทิฟคอนทอร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา
3. เพื่อพัฒนาวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอให้มีความสามารถพิเศษที่เพิ่มขึ้นใน 2 รูปแบบ ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ และมีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยใช้ชนิดขอบ

### 1.4 ขอบเขตของงาน

1. ออกแบบวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ให้สามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเป็นการผสมผสานข้อดีของแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใช้ขอบและแบบใช้บริเวณ
2. พัฒนาต่อยอดวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอให้มีความสามารถพิเศษที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ และมีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยใช้ชนิดขอบ
3. คอนทอร์เริ่มต้นในการทดลองทั้งหมดจะถูกกำหนดขนาดและตำแหน่งโดยผู้ทดลองเอง เพื่อให้เหมาะสมกับตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุที่ต้องการ

4. ภาพที่ใช้ในการทดลองมีทั้งภาพที่สร้างขึ้นเอง ภาพจริงทั่ว ๆ ไป และรวมไปถึงภาพจากฐานข้อมูล ได้แก่ ภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR และภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU โดยภาพเหล่านี้จะถูกแปลงให้เป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) ก่อนเนื่องจากวิธีการที่เรานำเสนอและวิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบทั้งหมดนั้น ล้วนแล้วแต่ได้ออกแบบมาสำหรับภาพระดับสีเทานั้น แต่ในการแสดงผลการทดลองได้ใช้ภาพสี (Color) ในการแสดงผล (สำหรับภาพอินพุตที่เป็นภาพสีอยู่แล้ว) เพื่อความชัดเจนและความสวยงามในการนำเสนอ

### 1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการของวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ รวมถึงข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธี และงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา
2. ออกแบบวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ให้สามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. พัฒนาต่อยอดวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์ที่นำเสนอให้มีความสามารถที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่เราต้องการได้ และมีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยใช้ชนิดขอบ
4. ทดลองวิธีการที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้กับวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา
5. วิเคราะห์ข้อดีและข้อด้อยของวิธีการที่นำเสนอ
6. เขียนบทความเพื่อส่งงานประชุมวิชาการและตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ
7. รวบรวมและสรุปผลการวิจัยทั้งหมดเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงข้อดีและข้อด้อยของวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ ในการแบ่งส่วนภาพ
2. ได้วิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ที่สามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีความถูกต้องมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา
3. ได้วิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ที่ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถพิเศษที่เพิ่มขึ้นใน 2 รูปแบบ ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่เราต้องการได้ และมีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยใช้ชนิดขอบ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เราสามารถแบ่งประเภทของแอ็กทิฟคอนทัวร์ได้ตามชนิดของแรงหลัก (Main Force) ที่ใช้ในการขับเคลื่อนและเปลี่ยนรูปร่างคอนทัวร์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองประเภท ได้แก่ แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ (Edge-Based) และแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณ (Region-Based) โดยที่แบบใช้ขอบจะใช้ข้อมูลขอบ (Edge Information) ของภาพอินพุต นั่นคือ ค่าเกรเดียนต์ของภาพ ทำหน้าที่เป็นตัวบอกให้คอนทัวร์รู้ว่าจะต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด เพื่อวิ่งไปยังขอบของวัตถุที่เราต้องการในภาพ ส่วนแบบใช้บริเวณจะใช้ข้อมูลขอบบริเวณ (Regional Information) ของภาพในการควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ โดยอาศัยข้อมูลขอบบริเวณที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุ (Object) ที่ต้องการกับพื้นหลัง (Background)

#### 2.1 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ

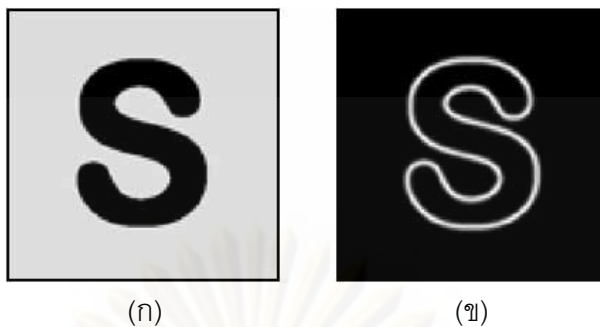
ภาพขอบ (Edge Map) เป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ เนื่องจากแอ็กทิฟคอนทัวร์ประเภทนี้ จะใช้ภาพขอบของภาพอินพุตในการคำนวณแรงหลักสำหรับขับเคลื่อนและเปลี่ยนรูปร่างคอนทัวร์ไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ เราสามารถหาภาพขอบของภาพอินพุตได้โดยใช้สมการที่ (2.1)

$$f(x, y) = |\nabla [G_\sigma(x, y) * I(x, y)]|^2 \quad (2.1)$$

โดยที่  $I(x, y)$  คือ ภาพอินพุตที่เป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)  $G_\sigma(x, y)$  คือ ฟังก์ชันเกาส์เซียน 2 มิติ (Two-Dimensional Gaussian Function) กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation  $\sigma$ )  $\nabla$  คือ ตัวดำเนินการเกรเดียนต์ (Gradient Operator) และ  $*$  คือ ตัวดำเนินการคอนโวลูชัน

จากสมการที่ (2.1) ภาพ  $I(x, y)$  จะถูกทำให้เบลอด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนก่อนที่จะทำการหาค่าเกรเดียนต์ ซึ่งส่งผลให้ขอบของวัตถุที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นดังตัวอย่างการหาภาพขอบแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่ความใหญ่ของขอบที่ได้นี้จะแปรผันตามค่า  $\sigma$  กล่าวคือ ถ้า  $\sigma$  มีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ขอบของวัตถุที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย





รูปที่ 2.1 การหาภาพขอบของภาพรูปตัวเอส  
(ก) ภาพอินพุต  $I(x, y)$  (ข) ภาพขอบ  $f(x, y)$  โดยใช้  $\sigma = 1$

หลังจากที่ได้ภาพขอบมาแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณหาแรงที่ใช้ในการชี้ทางและขับเคลื่อนคอนทัวร์เพื่อวิ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการในภาพ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เราสามารถแบ่งแ็็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบใช้สนามเวกเตอร์ (Vector Field) และแบบใช้เส้นค้นหา (Search Line)

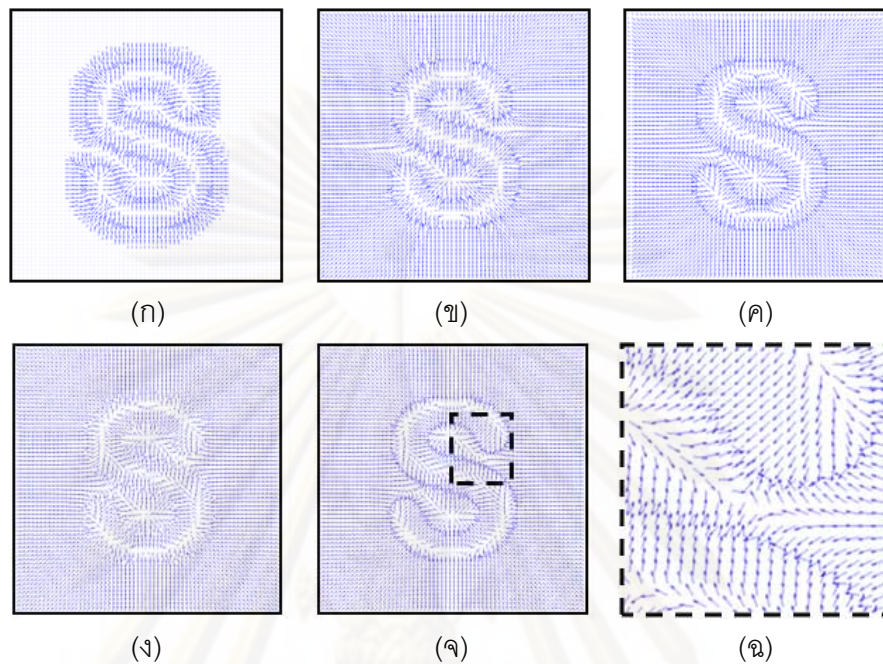
### 2.1.1 สนามเวกเตอร์

สนามเวกเตอร์ คือ สนามที่ประกอบไปด้วยลูกศรจำนวนมาก (มีจำนวนเท่ากับขนาดของภาพอินพุต) และมีทิศทางที่ชี้ไปยังขอบของวัตถุที่แสดงในภาพขอบ โดยลูกศรเหล่านี้เป็นตัวบอกทางให้คอนทัวร์รู้ว่าจะต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดและด้วยความเร็วเท่าใด (ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของลูกศร) เพื่อมุ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้ และจากงานวิจัยที่ผ่านมา มีหลาย ๆ บทความที่นำเสนอการออกแบบและพัฒนาสนามเวกเตอร์สำหรับแ็็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การคำนวณหาสนามเวกเตอร์ของวิธีการต่าง ๆ

วิธี	สนามเวกเตอร์	โดยที่
TAC [1]	$\nabla f(x, y)$	$f(x, y)$ คือ ภาพขอบ
DVF [3]	$\nabla D(x, y)$	$D(x, y) = \min_{(i,j) \in f} \sqrt{(x-i)^2 + (y-j)^2}$ คือ ค่าระยะทางแบบ Euclidean ที่น้อยที่สุดระหว่างทุกพิกเซลบนภาพกับพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ $(i, j)$
GVF [4]	$V(x, y)$	$V_i = \mu \nabla^2 V - (V - \nabla f)  \nabla f ^2$ , $V_0 = \nabla f$
CAC [5]	$\nabla F(x, y)$	$F(x, y)$ คือ ผลรวมของแรงที่กระทำระหว่างพิกเซลบนภาพกับทุกพิกเซลที่เป็นขอบวัตถุ โดยแรงที่กระทำระหว่างพิกเซลคำนวณได้จากกฎของคูลอมบ์
VFC [6]	$f(x, y) * k(x, y)$	$k(x, y)$ คือ Vector Field Kernel

ตัวอย่างผลการคำนวณหาสนามเวกเตอร์ของภาพขอบรูปตัวเอสด้วยวิธี TAC DVF GVF CAC และ VFC ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ตามลำดับ



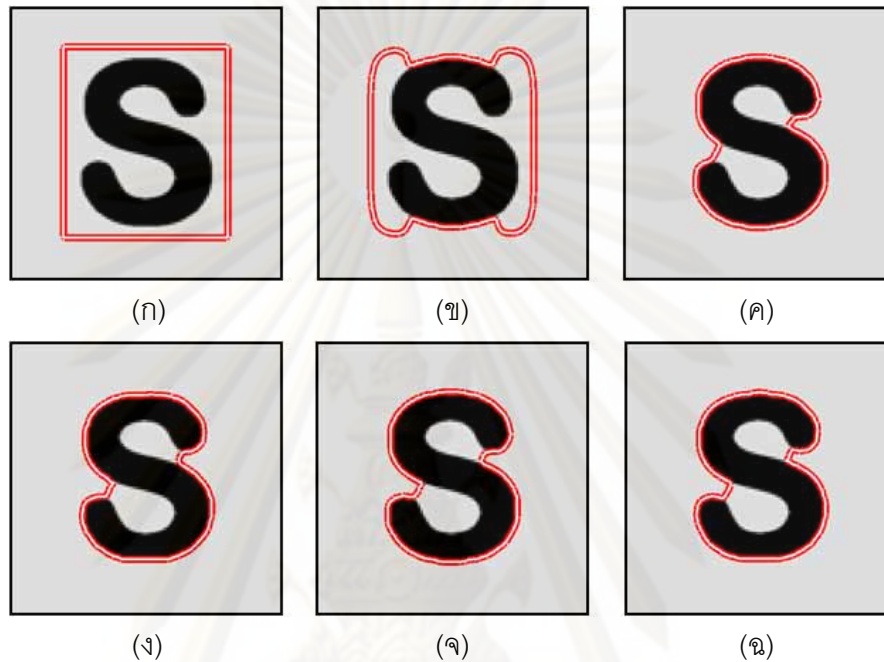
รูปที่ 2.2 สนามเวกเตอร์ของภาพรูปตัวเอสที่คำนวณได้

จากวิธี (ก) TAC (ข) DVF (ค) GVF (ง) CAC และ (จ) VFC ตามลำดับ

(ฉ) สนามเวกเตอร์ ณ บริเวณอ่าวของตัวเอส

จากรูปที่ 2.2 (ก) เป็นสนามเวกเตอร์ที่ได้จากวิธี TAC ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการนี้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด เนื่องจากบริเวณที่ไกลจากขอบของวัตถุ ลูกศรจะมีขนาดเล็กมากจนเกือบกลายเป็นจุด (ค่าเกรเดียนต์มีค่าน้อยมาก ๆ หรือเท่ากับศูนย์) ส่งผลให้คอนทราสต์ที่วางตัวอยู่ในบริเวณเหล่านั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้ ทำให้เมื่อวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) จะได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งเห็นได้ว่ามีบางส่วนของคอนทราสต์เท่านั้นที่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุรูปตัวเอส ต่อมาเมื่อพิจารณาสนามเวกเตอร์ที่ได้จากวิธี DVF GVF CAC และ VFC ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข) ถึง (จ) โดยจะเห็นได้ว่าสนามเวกเตอร์เหล่านี้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน คือ มีการกระจายตัวของลูกศรที่กว้างมากขึ้น ส่งผลให้วิธีการเหล่านี้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามในสนามเวกเตอร์เหล่านี้ยังคงมีจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งเกิดขึ้น โดยตัวอย่างบริเวณที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ บริเวณที่เป็นอ่าวทั้งสองของรูปตัวเอสดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ฉ) ซึ่งลูกศรที่อยู่ภายนอกอ่าวมีทิศทางชี้เข้าไปด้านใน ส่วนลูกศรที่อยู่ภายในอ่าวมีทิศทางชี้ออกมาด้านนอก เนื่องจากเกิดจุดหยุดนิ่งขึ้นภายในบริเวณอ่าว ส่งผลให้เกิดจุดอานม้าขึ้น ณ บริเวณปากอ่าวทั้ง

สองของรูปตัวเอส ซึ่งจุดอานม้านี้เป็นจุดที่ถูกครเกิดการชี้ชนกันและทำตัวเปรียบเสมือนเป็นกำแพงคอยขัดขวางคอนทัวร์ที่อยู่ด้านนอกอ่าวไม่ให้วิ่งเข้าไปด้านในได้ ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ค) ถึง (ฉ) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ของวิธีการเหล่านี้ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพรูปตัวเอสได้อย่างสมบูรณ์ตามที่ต้องการ

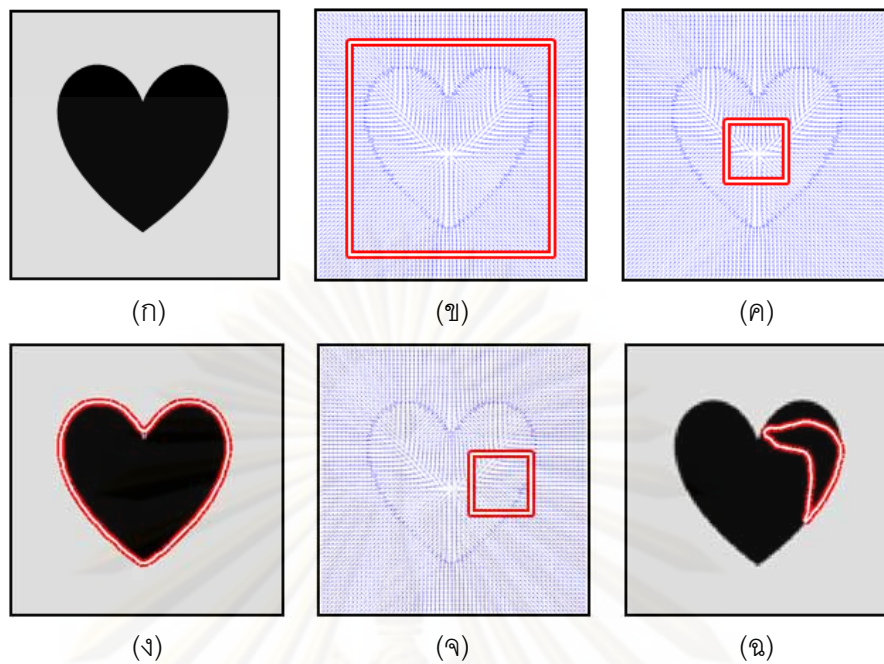


รูปที่ 2.3 การแบ่งส่วนภาพรูปตัวเอสด้วยวิธีเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบแบบต่าง ๆ

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี (ข) TAC (ค) DVF

(ง) GVF (ฉ) CAC และ (ฉ) VFC ตามลำดับ

จากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมานี้ ได้มีหลาย ๆ งานวิจัย [31-35] นำเสนอวิธีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมอย่างอัตโนมัติ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เอ็กทิฟคอนทัวร์ต้องประสบกับจุดที่มีปัญหาเหล่านี้ โดยตำแหน่งเริ่มต้นที่เหมาะสม คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ที่จะทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยเหล่านี้ ส่วนใหญ่แล้วเป็นการตรวจหาจุดศูนย์กลางของไดเวอร์เจนซ์ (Divergence) ในสนามเวกเตอร์ ซึ่งจุดศูนย์กลางของไดเวอร์เจนซ์ที่ได้นี้ก็คือ จุดหยุดนิ่ง เนื่องจากเป็นจุดที่มีลูกศรชี้กระจายออกไปโดยรอบ และหลังจากที่เจอจุดหยุดนิ่งในสนามเวกเตอร์แล้วก็จะทำการวางคอนทัวร์เริ่มต้นคร่อมไปที่จุดหยุดนิ่งนี้ ดังตัวอย่างการวางคอนทัวร์เริ่มต้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจุดหยุดนิ่งแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิธีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจุดหยุดนิ่ง

(ก) ภาพรูปหัวใจ (ข) คอนทัวร์เริ่มต้นที่วางไว้ภายนอกรูปหัวใจ

(ค) คอนทัวร์เริ่มต้นที่วางคร่อมจุดหยุดนิ่งภายในรูปหัวใจ

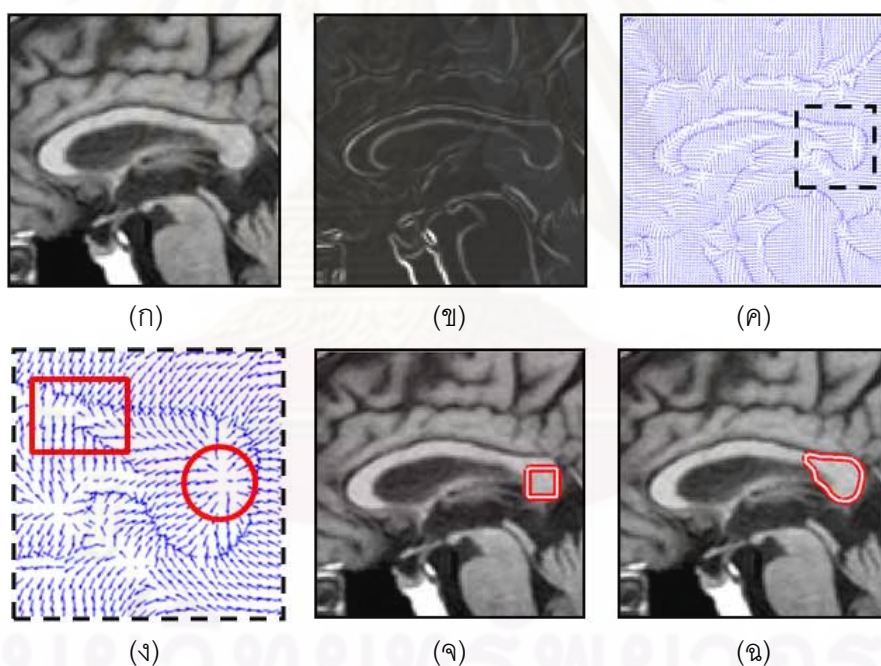
(ง) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากการวางคอนทัวร์เริ่มต้นทั้งแบบในรูป (ข) และ (ค)

(จ) คอนทัวร์เริ่มต้นที่ไม่ได้วางคร่อมจุดหยุดนิ่งแต่วางเอียงไปทางด้านขวาของรูปหัวใจ

(ฉ) คอนทัวร์กำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านขวาของรูปหัวใจ เนื่องจากวางคอนทัวร์เริ่มต้นแบบในรูป (จ)

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราคำนวณหาสนามเวกเตอร์ของภาพรูปหัวใจแสดงในรูป (ก) จะทำให้ได้สนามเวกเตอร์ที่มีจุดหยุดนิ่งเกิดขึ้นบริเวณกลางภาพดังแสดงในรูป (ข) และจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้ไม่มีจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งเกิดขึ้นภายนอกวัตถุเลย ดังนั้นเราสามารถวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ด้านนอกของวัตถุได้ ซึ่งจะทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ และในกรณีที่เรำทำตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยข้างต้น โดยเมื่อรู้ว่าจุดหยุดนิ่งอยู่บริเวณตรงกลางภาพ เราก็ทำการวางคอนทัวร์เริ่มต้นคร่อมไปที่จุดหยุดนิ่งนี้ดังแสดงในรูป (ค) ซึ่งผลที่ได้ คือ คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตทั้งหมดของรูปหัวใจได้ตามที่ต้องการ โดยจะให้ผลการแบ่งส่วนภาพเหมือนกับการวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (ง) แต่ในทางกลับกันถ้าทดลองวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ที่อื่น โดยไม่ได้วางคร่อมจุดหยุดนิ่งดังแสดงในรูป (จ) ผลที่ได้ คือ คอนทัวร์จะเคลื่อนที่ไปกองรวมกันที่บริเวณขอบด้านขวาของรูปหัวใจดังแสดงในรูป (ฉ) เนื่องจากกลุ่มของลูกศรในบริเวณที่คอนทัวร์เริ่มต้นวางตัวอยู่นี้มีทิศทางชี้ไปยังขอบทางด้านขวาของรูปหัวใจ

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการหลีกเลี่ยงปัญหาในลักษณะนี้จะใช้ได้ดีกับภาพที่มีองค์ประกอบหรือรายละเอียดไม่มาก และสามารถแก้ไขได้เฉพาะปัญหาจุดหยุดนิ่งเท่านั้น เนื่องจากจุดหยุดนิ่งมีลักษณะที่ค่อนข้างเด่นชัดในสนามเวกเตอร์ เพราะเป็นจุดที่มีลูกศรกระจายตัวออกไปรอบทิศทาง ดังนั้นจึงสามารถตรวจหาได้ง่าย แต่สำหรับจุดอานม้านี้เป็นจุดที่มีลักษณะคล้ายกับขอบเขตของวัตถุในสนามเวกเตอร์ กล่าวคือ ที่จุดอานม้านี้ลูกศรจะมีทิศทางที่ชนกัน ซึ่งคล้ายกับลูกศรที่ชี้ชนกับขอบที่แท้จริงของวัตถุ จึงทำให้ยากที่จะตรวจหาหรือแยกแยะได้ว่าเป็นจุดอานม้าหรือขอบของวัตถุที่ต้องการ และนอกจากนี้ในภาพที่มีรายละเอียดมาก ๆ ก็อาจทำให้เกิดจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งขึ้นหลายจุดในสนามเวกเตอร์ได้ ดังนั้น ถ้าเราวางคอนทัวร์เริ่มต้นคร่อมไปที่จุดหยุดนิ่งทุก ๆ จุดในสนามเวกเตอร์ ก็ไม่อาจการันตีได้ว่าจุดหยุดนิ่งเหล่านั้นจะเกิดอยู่ภายในวัตถุที่ต้องการหรือไม่ เพราะมันอาจจะเกิดในบริเวณอื่น ๆ ที่เราไม่ต้องการในภาพได้ อีกทั้งคอนทัวร์ก็อาจสับสนได้ว่าจุดที่คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปเกาะติดนั้นเป็นขอบที่แท้จริงของวัตถุหรือเป็นจุดอานม้าที่เราไม่ต้องการดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแบ่งส่วนภาพเอ็มอาร์ไอของสมองโดยใช้วิธี VFC

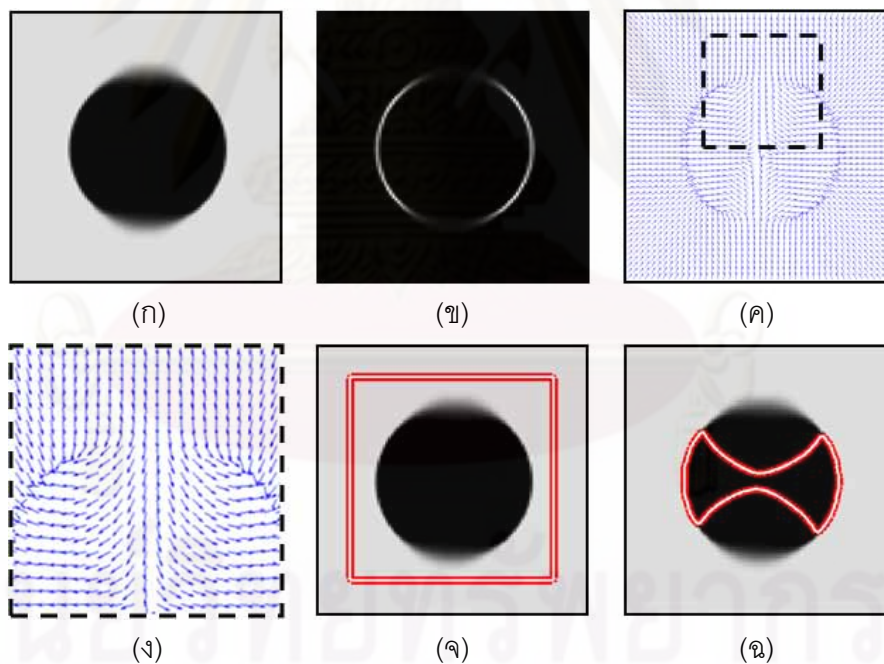
(ก) ภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง ณ บริเวณ Corpus Callosum

(ข) ภาพขอบ (ค) สนามเวกเตอร์ที่ได้

(ง) จุดอานม้า (แสดงในสี่เหลี่ยม) และจุดหยุดนิ่ง (แสดงในวงกลม)

(จ) คอนทัวร์เริ่มต้น (ฉ) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

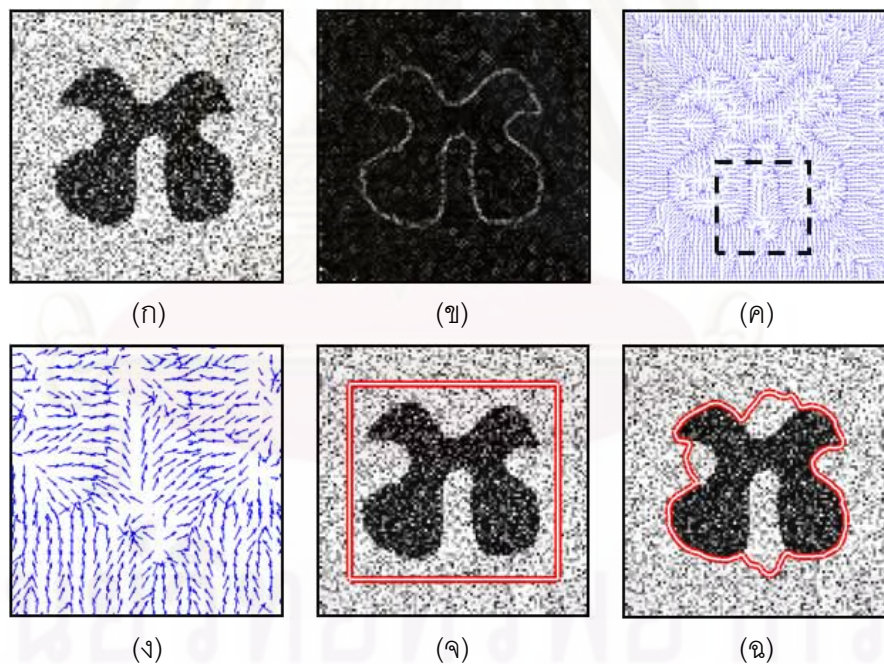
ในรูปที่ 2.5 (ก) คือ ภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง รูป (ข) คือ ภาพขอบ และจากรูปจะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบหรือรายละเอียดต่าง ๆ ในภาพค่อนข้างมาก โดยวัตถุที่เราต้องการ คือ Corpus Callosum ที่อยู่บริเวณตรงกลางภาพ และสนามเวกเตอร์ที่คำนวณได้แสดงในรูป (ค) โดยจะเห็นได้ว่ามีจุดหยุดนิ่งและจุดอานม้าเกิดขึ้นจำนวนมากทั้งภายในและภายนอกวัตถุ ดังนั้น ถ้าเราใช้วิธีที่นำเสนอในงานวิจัยข้างต้น โดยการวางคอนทัวร์เริ่มต้นคร่อมในทุก ๆ จุดหยุดนิ่งภายในสนามเวกเตอร์ก็อาจจะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพของส่วนอื่น ๆ ที่เราไม่ต้องการออกมาด้วย อีกทั้งคอนทัวร์อาจจะเคลื่อนที่ไปติดกับจุดอานม้าได้แทนที่จะไปติดกับขอบของวัตถุที่ต้องการดังตัวอย่างแสดงในรูป (ง) ซึ่งเห็นได้ว่ามีจุดหยุดนิ่งเกิดขึ้น (แสดงในวงกลม) ในบริเวณส่วนท้ายด้านขวาสุดของ Corpus Callosum และถ้าเราวางคอนทัวร์เริ่มต้นคร่อมจุดหยุดนิ่งนี้ดังแสดงในรูป (จ) คอนทัวร์จะสามารถเคลื่อนที่แพร่ออกไปได้ แต่อย่างไรก็ตามคอนทัวร์ก็จะเคลื่อนที่ไปติดกับจุดอานม้าอยู่ดี (แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมในรูป (ง)) จึงทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ดังแสดงในรูป (ฉ) ดังนั้น จึงสรุปได้ ณ ตอนนี่ว่าปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งเป็นปัญหาที่หลีกเลี่ยงได้ยากสำหรับวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์



รูปที่ 2.6 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปวงกลมที่มีขอบไม่ชัดเจนโดยใช้วิธี VFC

- (ก) ภาพวัตถุรูปวงกลมที่ส่วนบนและล่างมีขอบไม่ชัดเจน (ข) ภาพขอบ  
 (ค) สนามเวกเตอร์ที่ได้ (ง) สนามเวกเตอร์ ณ บริเวณส่วนบนของวงกลม  
 (จ) คอนทัวร์เริ่มต้น (ฉ) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

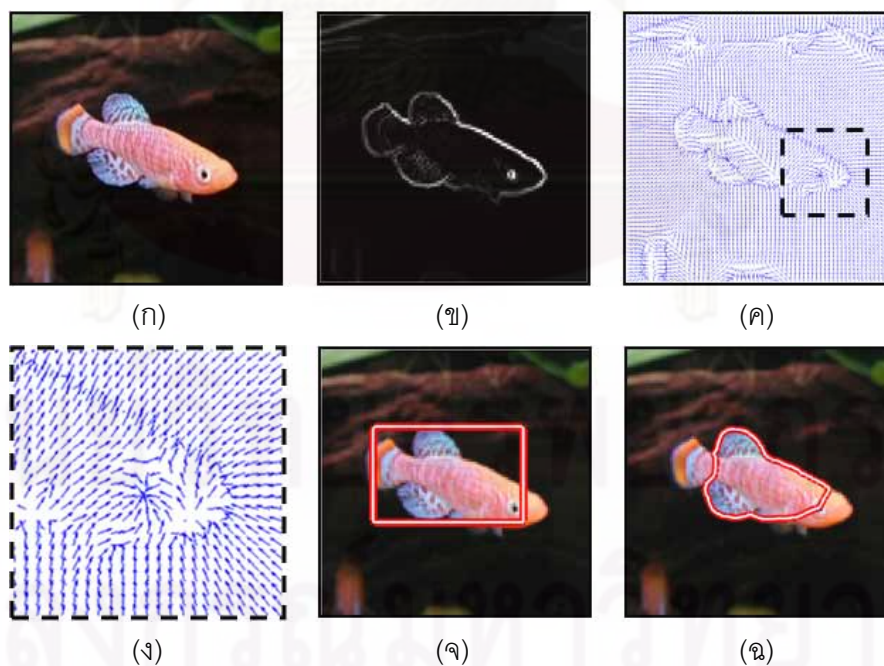
นอกจากนี้ในกรณีที่ขอบของวัตถุที่ต้องการไม่ชัดเจนดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6 (ก) ซึ่งเป็นภาพวัตถุรูปวงกลมที่บริเวณส่วนบนและล่างมีขอบไม่ชัดเจน วิธีการแยกทีฟคอนทราสต์แบบใช้สนามเวกเตอร์จะไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุนี้ได้ เนื่องจากภาพขอบที่คำนวณออกมาได้นั้น ขอบส่วนบนและล่างของวงกลมจะมีลักษณะที่จางมากดังแสดงในรูป (ข) ส่งผลให้เมื่อนำไปคำนวณหาสนามเวกเตอร์จะทำให้ได้สนามเวกเตอร์ดังแสดงในรูป (ค) ซึ่งเห็นได้ว่าในบริเวณส่วนบนและล่างของวงกลม ลูกศรในสนามเวกเตอร์จะมีทิศทางชี้ทะลุเข้ามาภายในวงกลมโดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในรูป (ง) ดังนั้น เมื่อวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (จ) จะทำให้คอนทราสต์เคลื่อนที่เลยเข้าไปภายในวงกลมดังผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ฉ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเกาะติดกับขอบที่แท้จริงของวงกลมได้เพียงบางส่วนเท่านั้น นั่นคือ เฉพาะส่วนซ้ายและขวาของวงกลม โดยที่คอนทราสต์ไม่สามารถเกาะติดกับส่วนบนและล่างของวงกลมได้เนื่องจากส่วนเหล่านี้มีขอบไม่ชัดเจน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วภาพทั่ว ๆ ไป หรือภาพทางการแพทย์นั้น วัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนมักจะมีขอบที่ไม่ชัดเจนมากนัก ดังนั้น วิธีการแยกทีฟคอนทราสต์แบบใช้สนามเวกเตอร์จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับภาพที่วัตถุมีขอบไม่ชัดเจน



รูปที่ 2.7 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวเอ็กซ์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนโดยใช้วิธี VFC

- (ก) ภาพวัตถุรูปตัวเอ็กซ์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (ข) ภาพขอบ  
 (ค) สนามเวกเตอร์ที่ได้ (ง) สนามเวกเตอร์ ณ บริเวณส่วนโค้งเว้าด้านล่างของรูปตัวเอ็กซ์  
 (จ) คอนทราสต์เริ่มต้น (ฉ) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญของแอ็กทิฟคอนทราสต์แบบใช้สนามเวกเตอร์ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.7 (ก) ซึ่งเป็นภาพวัตถุรูปตัวเอ็ทที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.1 ส่งผลให้ภาพนี้มีค่า PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) เท่ากับ 12.65 dB ภาพขอบที่คำนวณได้นั้นจะมีสัญญาณรบกวนติดมาด้วยและยังทำให้ขอบบางส่วนของตัวเอ็ทในภาพขอบไม่ชัดเจนตามไปด้วยดังแสดงในรูป (ข) และเมื่อนำภาพขอบที่ได้ไปคำนวณหาสนามเวกเตอร์ สิ่งที่ได้ คือ ภายในสนามเวกเตอร์จะเกิดความวุ่นวายขึ้น ลูกศรจะมีทิศทางชี้ไปคนละทิศละทาง กล่าวคือ บางลูกศรมีทิศทางชี้ไปยังขอบของตัวเอ็ท และบางลูกศรมีทิศทางชี้ไปยังขอบใกล้เคียงที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ซึ่งไม่ใช่ขอบของวัตถุที่ต้องการดังแสดงในรูป (ค) ตัวอย่างบริเวณที่มีปัญหา คือ บริเวณที่เป็นส่วนโค้งเว้าด้านล่างของตัวเอ็ทดังแสดงในรูป (ง) ซึ่งจะเห็นได้ว่าลูกศรในบริเวณนี้มีทิศทางที่ไม่เป็นแนวโน้มเดียวกัน นั่นคือ มีลูกศรบางส่วนที่เข้าไปภายในส่วนโค้งเว้าและก็มีบางส่วนที่ชี้ออกมาด้านนอก ทำให้เมื่อวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (จ) คอนทราสต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้านี้ได้ดังแสดงในรูป (ฉ) ซึ่งอันที่จริงแล้วในกรณีที่ภาพนี้ไม่มีสัญญาณรบกวน วิธี VFC จะสามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวเอ็ทนี้ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าวิธีการแอกทิฟคอนทราสต์แบบใช้สนามเวกเตอร์จะมีปัญหาอย่างมากกับการแบ่งส่วนภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน



รูปที่ 2.8 การแบ่งส่วนภาพปลาโดยใช้วิธี VFC

(ก) ภาพปลา (ข) ภาพขอบ (ค) สนามเวกเตอร์ที่ได้

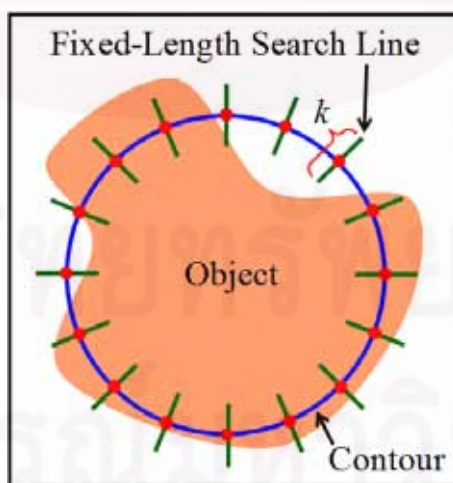
(ง) สนามเวกเตอร์ ณ บริเวณตาปลา (จ) คอนทราสต์เริ่มต้น (ฉ) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้



อีกหนึ่งปัญหาของอัลกอริทึมคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์ คือ จุดจม (Sink Point) ซึ่งเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของวัตถุหรือพื้นหลังในภาพที่ทำให้มีค่าเกรเดียนต์สูง ๆ เกิดขึ้นในภาพขอบ และส่งผลให้เกิดจุดรวมตัวของลูกศรขึ้นในสนามเวกเตอร์ ดังตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพปลาแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) และภาพขอบที่คำนวณได้แสดงในรูป (ข) ซึ่งเห็นได้ว่าส่วนที่เป็นตาปลานั้นมีค่าเกรเดียนต์ที่สูงกว่าส่วนที่เป็นขอบเขตด้านล่างของตัวปลาที่ต้องการ (จากภาพจะเห็นส่วนที่เป็นตาปลาได้ชัดเจนมากกว่า) ส่งผลให้ได้สนามเวกเตอร์ดังแสดงในรูป (ค) และถ้าเราพิจารณาสนามเวกเตอร์เฉพาะในบริเวณรอบ ๆ ตาปลาดังแสดงในรูป (ง) จะเห็นได้ว่าลูกศรในบริเวณนี้มีทิศทางชี้ไปยังตาปลาแทนที่จะชี้ไปยังขอบเขตของตัวปลาที่ต้องการ และเมื่อวางคอนทัวร์เริ่มต้นดังแสดงในรูป (จ) คอนทัวร์จะถูกดึงดูดเข้าไปยังตาปลาในขณะที่เคลื่อนที่โดยที่ไม่สามารถเกาะติดกับขอบเขตของตัวปลาที่ต้องการได้ดังแสดงในรูป (ฉ) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า นอกจากปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งแล้ว ปัญหาจุดจมก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญที่หลีกเลี่ยงได้ยากเช่นกันสำหรับวิธีการอัลกอริทึมคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์

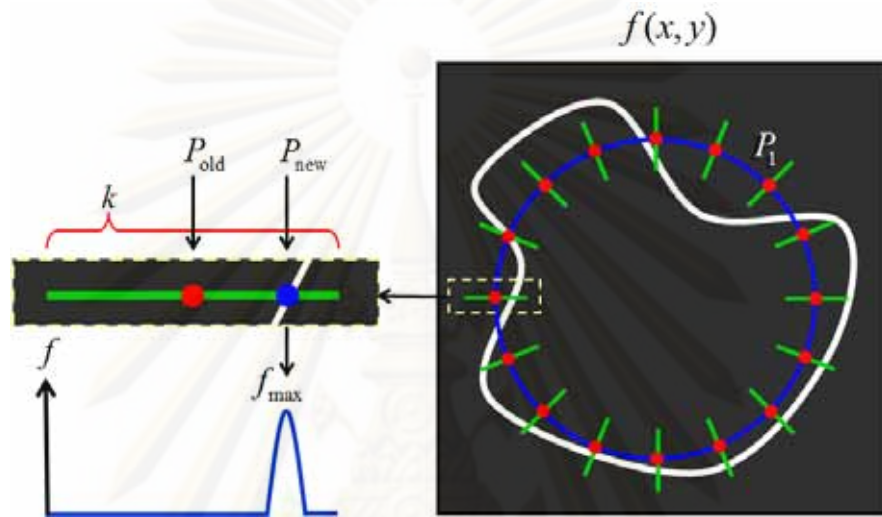
### 2.1.2 เส้นค้นหาความยาวคงที่

นอกจากสนามเวกเตอร์แล้ว ยังมีการใช้ภาพขอบในการขับเคลื่อนอัลกอริทึมคอนทัวร์อีกประเภทหนึ่ง นั่นคือ การใช้เส้นค้นหา (Search Line) จากบทความของ Coates และคณะ [36] พวกเขาได้ใช้เส้นค้นหาและภาพขอบในการบอกทิศทางการเคลื่อนที่ให้กับอัลกอริทึมคอนทัวร์ว่าต้องวิ่งไปในทิศทางใด เพื่อไปยังขอบเขตของวัตถุที่ต้องการ ซึ่งหลักการของวิธีเส้นค้นหานี้แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วิธีเส้นค้นหาความยาวคงที่

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าในแต่ละจุดบนคอนทอร์จะมีเส้นค้นหายื่นออกมาทั้งด้านนอกและในของคอนทอร์ ซึ่งเส้นค้นหาเหล่านี้มีทิศทางตั้งฉากกับคอนทอร์และมีความยาวเท่ากับ  $k$  พิกเซลเท่ากันทุกเส้น ซึ่งความยาวของเส้นค้นหาแต่ละเส้นนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ เราจึงเรียกวิธีการนี้ว่าวิธีเส้นค้นหาความยาวคงที่ (Fixed-Length Search Line Method) และในการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ เส้นค้นหาเหล่านี้จะเคลื่อนที่และวางตัวอยู่บนภาพขอบของภาพอินพุตดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ของจุดบนคอนทอร์โดยใช้วิธีเส้นค้นหาความยาวคงที่บนภาพขอบ

จากรูปที่ 2.10 จุดแต่ละจุดบนคอนทอร์จะเคลื่อนที่จากจุด  $P_{old}$  ไปยัง  $P_{new}$  ได้ โดยการหาค่าที่มากที่สุดของ  $f$  (ภาพขอบ) ที่อยู่บนเส้นค้นหา เรียกจุดนั้นว่า  $f_{max}$  ซึ่งเป็นจุดที่มีค่ามากที่สุดของภาพขอบที่อยู่บนเส้นค้นหา และจากการใช้วิธีเส้นค้นหาภาพขอบจะส่งผลให้แอ็กทิฟคอนทอร์ไม่ต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง เนื่องจากวิธีการนี้ไม่ได้ใช้สนามเวกเตอร์ในการขับเคลื่อนคอนทอร์ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเส้นค้นหาความยาวคงที่นี้ยังคงมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ได้แก่ มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด ซึ่งมีสาเหตุมาจากความยาวของเส้นค้นหาแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน ส่งผลให้จุดบนคอนทอร์บางจุดจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากเส้นค้นหาไม่ได้วางตัวพาดอยู่บนขอบของวัตถุ ตัวอย่างเช่น จุด  $P_1$  จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุได้ เนื่องจากความยาวของเส้นค้นหานั้นสั้นเกินไป ซึ่งในทางปฏิบัติที่จะกำหนดค่าความยาวของเส้นค้นหาที่เหมาะสมให้กับเส้นค้นหานั้นทำได้ยากในกรณีที่วัตถุมีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางคอนทอร์เริ่มต้นให้ใกล้กับขอบเขตของวัตถุที่ต้องการ โดยต้องไม่ไกลเกินความยาวของเส้นค้นหาจึงจะทำให้คอนทอร์รู้ทิศทางในการเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุได้ นอกจากนี้การใช้ค่าเกรเดียนต์ ซึ่งก็คือการใช้ภาพขอบยังส่งผลให้วิธีการนี้ไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนอีกด้วย เนื่องจากสัญญาณรบกวนอาจจะทำให้เกิดจุดคมขึ้น ซึ่ง

จุดจมนี้นำทำให้เกิดจุดที่มีค่าเกรเดียนต์สูงมากในภาพขอบและมีค่ามากกว่าขอบที่แท้จริงของวัตถุ ส่งผลให้เมื่อหาค่าที่มากที่สุดของภาพขอบที่อยู่บนเส้นค้นหา ก็อาจจะไม่ใช่ขอบของวัตถุที่ต้องการ จึงทำให้คอนทัวร์อาจเคลื่อนที่ไปยังจุดจมนี้นั้นโดยเคลื่อนที่ข้ามขอบของวัตถุที่เราต้องการไป

## 2.2 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณ

แอ็กทิฟคอนทัวร์อีกประเภทหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมในงานวิจัยปัจจุบัน คือ แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณ เนื่องจากแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบนี้มีข้อดีที่เหนือกว่าแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบในหลายประการ เช่น ทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ดีกว่า มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากกว่า เป็นต้น ซึ่งข้อดีเหล่านี้มีสาเหตุมาจากวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณไม่ได้ใช้ภาพขอบของภาพอินพุต แต่ใช้ข้อมูลเศษบริเวณ (Regional Information) ของภาพในการแยกแยะว่าส่วนใดของภาพเป็นวัตถุและส่วนใดเป็นพื้นหลัง ซึ่งเราสามารถแบ่งชนิดของแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณออกได้เป็น 2 ชนิดตามการใช้ข้อมูลเศษบริเวณของภาพ นั่นคือ ถ้าใช้บริเวณทั้งหมดของภาพ จะเรียกว่าแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อมูลเศษบริเวณครอบคลุม (Global Regional Information) แต่ถ้าใช้เฉพาะบริเวณส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพ เราจะเรียกว่าแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อมูลเศษบริเวณท้องถิ่น (Local Regional Information)

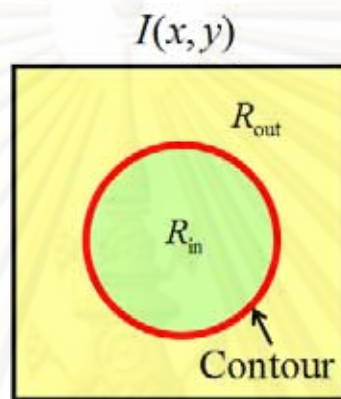
### 2.2.1 ข้อมูลเศษบริเวณครอบคลุม

ในการแยกแยะว่าบริเวณใดของภาพเป็นวัตถุที่ต้องการ และบริเวณใดบ้างที่เป็นพื้นหลังได้มีหลาย ๆ งานวิจัยเลือกใช้ค่าทางสถิติที่คำนวณได้จากค่าความเข้ม (Intensity) ของภาพอินพุตในการบอกทางให้กับคอนทัวร์ว่าจะต้องเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปอย่างไร เพื่อที่จะแบ่งภาพออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นวัตถุและส่วนที่เป็นพื้นหลังโดยใช้คอนทัวร์เป็นตัวแบ่งเขต ซึ่งบริเวณของภาพที่อยู่ภายในคอนทัวร์จะถูกกำหนดให้เป็นวัตถุ และบริเวณของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์จะถูกกำหนดให้เป็นพื้นหลัง ตัวอย่างค่าทางสถิติที่ได้มีการนำมาใช้ เช่น ค่าเฉลี่ย (Average) [22] ค่าความแปรปรวน (Variance) [23] และฮิสโทแกรม (Histogram) [24] เป็นต้น

ตัวอย่างวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อมูลเศษบริเวณครอบคลุมที่ใช้ค่าความเข้มเฉลี่ย (Average Intensity) ได้แก่บทความวิจัยที่นำเสนอโดย Chan และ Vese [22] วิธีการนี้มีชื่อย่อว่า ACWE ซึ่งมาจากคำว่า “Active Contour Without Edge” ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์จะถูกใช้เป็นตัวแยกแยะว่าส่วนใดของภาพเป็นวัตถุและส่วนใดของภาพเป็นพื้นหลัง โดยพวกเขาได้นำเสนอฟังก์ชันพลังงาน (Energy Function) ดังสมการที่ (2.2)

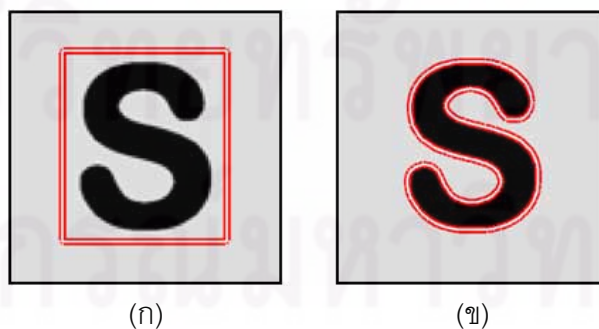
$$E(C) = \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} (I - R_{\text{in}})^2 d\sigma + \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} (I - R_{\text{out}})^2 d\sigma \quad (2.2)$$

โดยที่  $C$  คือ คอนทัวร์  $I$  คือ ภาพอินพุต  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  คือ ค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก  $R_{\text{in}}$  และ  $R_{\text{out}}$  คือ ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งเห็นได้ว่าภาพอินพุตจะถูกแบ่งออกเป็นสองบริเวณโดยคอนทัวร์ บริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ถูกกำหนดให้เป็นวัตถุ ส่วนบริเวณที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์จะถูกกำหนดให้เป็นพื้นหลัง



รูปที่ 2.11 ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์

การทำให้ฟังก์ชันพลังงานในสมการที่ (2.2) มีค่าน้อยที่สุด จะทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุที่ต้องการได้ ซึ่งฟังก์ชันพลังงานนี้จะมีค่าน้อยที่สุดก็ต่อเมื่อคอนทัวร์สามารถแบ่งภาพออกได้เป็นสองบริเวณ คือ บริเวณที่เป็นวัตถุและพื้นหลังที่มีค่าความเข้มเฉลี่ยภายในและภายนอกคอนทัวร์แตกต่างกันมากที่สุด และจากการใช้ข้อสมมติบริเวณในลักษณะนี้มีผลทำให้วิธี ACWE ไม่ต้องประสบกับปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง ทำให้คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุที่มีลักษณะโค้งเว้ามาก ๆ ได้ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.12

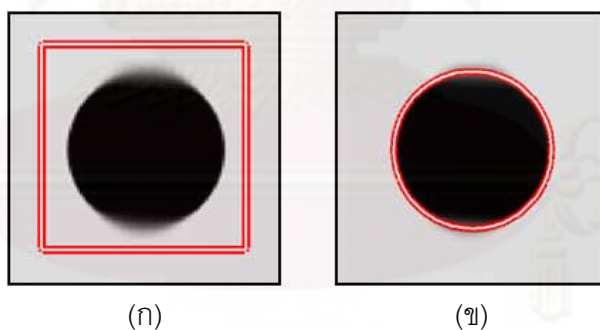


รูปที่ 2.12 การแบ่งส่วนภาพรูปตัวเอสด้วยวิธี ACWE

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 2.12 เป็นการแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวเอส ซึ่งเป็นวัตถุที่ไม่สามารถแบ่งส่วนได้อย่างสมบูรณ์เมื่อใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์ แต่เมื่อใช้วิธี ACWE ซึ่งเป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้บริเวณ คอนทัวร์จะไม่ประสบกับปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง เนื่องจากคอนทัวร์พยายามแบ่งภาพออกเป็นสองบริเวณที่มีเฉดสีที่แตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งในภาพนี้วัตถุรูปตัวเอสมีเฉดสีเข้มส่วนพื้นหลังมีเฉดสีที่อ่อนกว่ามาก จึงทำให้เมื่อแยกโดยใช้ค่าความเข้มเฉลี่ย คอนทัวร์จะสามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุนี้ได้อย่างชัดเจน โดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นแสดงในรูป (ก) และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ข) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าทั้งสองของตัวเอสได้โดยไม่ติดขัด ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องตามที่ต้องการ

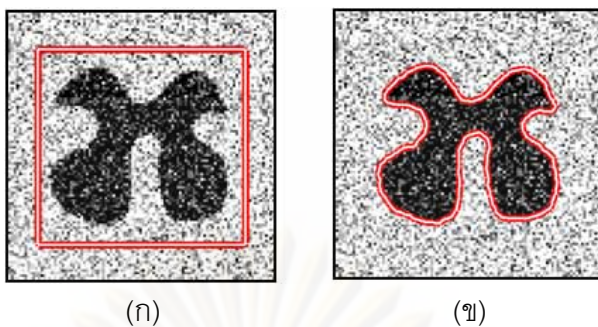
นอกจากนี้ในกรณีที่ขอบเขตบางส่วนของวัตถุที่ต้องการมีลักษณะที่ไม่ชัดเจน วิธี ACWE ก็ยังคงสามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุนั้นได้ โดยไม่เกิดปัญหาการรั่วไหลเข้าไปในเนื้อวัตถุดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าขอบบนและขอบล่างของวงกลมมีลักษณะที่อ่อนมาก แต่อย่างไรก็ตามจากการใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ จะทำให้คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้อง โดยเมื่อวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (ก) คอนทัวร์จะสามารถเคลื่อนที่ไปเกาะติดกับขอบทั้งส่วนบนและส่วนล่างของวงกลมได้ โดยไม่เกิดการเคลื่อนที่เลยเข้ามาภายในเนื้อวัตถุเหมือนกับวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์ ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องตามที่ต้องการดังแสดงในรูป (ข)



รูปที่ 2.13 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปวงกลมที่มีขอบเขตบางส่วนไม่ชัดเจนด้วยวิธี ACWE

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

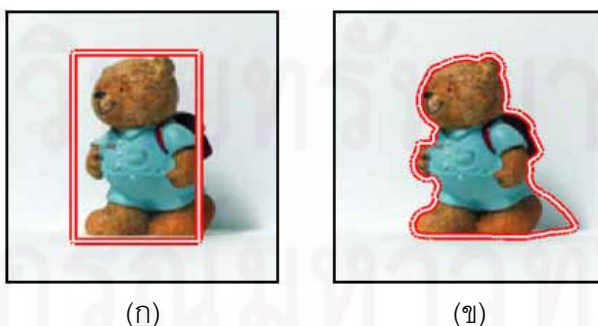
ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้ค่าเฉลี่ยความเข้มสีภายในและภายนอกวัตถุ คือ คอนทัวร์มีความสามารถในการทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ดีมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้สนามเวกเตอร์ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวอักษรที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนด้วยวิธี ACWE  
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 2.14 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวอักษรที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนในภาพด้วยวิธี ACWE ซึ่งเป็นภาพเดียวกันกับรูปที่ 2.7 โดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (ก) และจากผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้ในรูป (ข) จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนเข้าไปในส่วนโค้งเว้าทุกส่วนของตัวอักษรได้ โดยไม่ติดขัดกับสัญญาณรบกวนทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้อง และสาเหตุที่ทำให้วิธีการนี้มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ดีกว่าแบบใช้สนามเวกเตอร์ คือ ถึงแม้ว่าภาพนี้จะมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก แต่เฉดสีที่แสดงถึงความเป็นเนื้อวัตถุและพื้นหลังยังคงสามารถแยกแยะได้โดยใช้ค่าความเข้มเฉลี่ย ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าตัววัตถุมีเฉดสีที่เข้มและส่วนที่เป็นพื้นหลังมีเฉดสีที่อ่อนกว่ามาก จึงทำให้ยังสามารถแบ่งแยกได้อย่างชัดเจนถึงแม้ว่าจะมีสัญญาณรบกวนก็ตาม คอนทัวร์จึงไม่เกิดความสับสนขึ้นในขณะที่เคลื่อนที่ไปยังขอบเขตที่แท้จริงของวัตถุที่ต้องการ

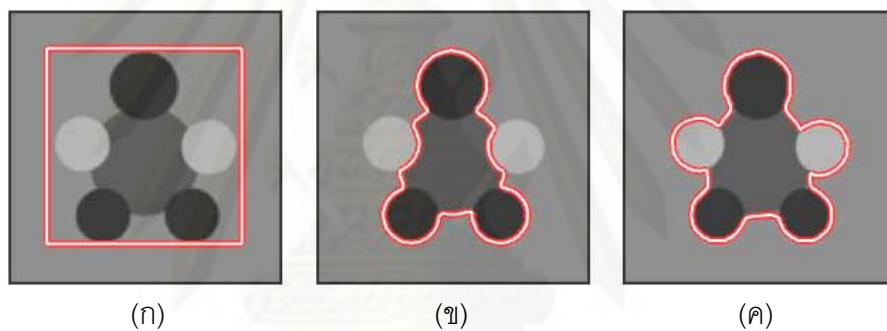
อย่างไรก็ตาม การใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ยังคงมีข้อจำกัดคือ คอนทัวร์จะไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสม (Heterogeneous) ได้ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การแบ่งส่วนภาพตุ๊กตาทองด้วยวิธี ACWE  
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 2.15 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพตุ๊กตาดำด้วยวิธี ACWE โดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นดังแสดงในรูป (ก) และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ข) ถึงแม้ว่าคอนทัวร์จะสามารถแบ่งส่วนตุ๊กตาดำได้ แต่ยังคงได้ส่วนที่เป็นเงาของตุ๊กตาดำติดมาด้วย ซึ่งมีสาเหตุมาจากเงาของตุ๊กตาดำมีค่าความเข้มใกล้เคียงกับค่าความเข้มเฉลี่ยของตัวตุ๊กตาดำมากกว่าส่วนที่เป็นพื้นหลัง ส่งผลให้คอนทัวร์เหมารวมเงาเป็นวัตถุไปด้วย จึงทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีส่วนเกินติดมา

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เป็นเนื้อผสม พบว่าวิธีการแอดกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบจะมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพในลักษณะเช่นนี้ได้ เนื่องจากการใช้ข้อสันเทศขอบ คอนทัวร์จะพิจารณาเฉพาะขอบที่ใกล้กับตำแหน่งที่คอนทัวร์อยู่เท่านั้น ไม่ได้พิจารณารวมทั้งภาพ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุเป็นเนื้อผสมได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การแบ่งส่วนวัตถุเนื้อผสมที่สร้างขึ้นเอง

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี ACWE

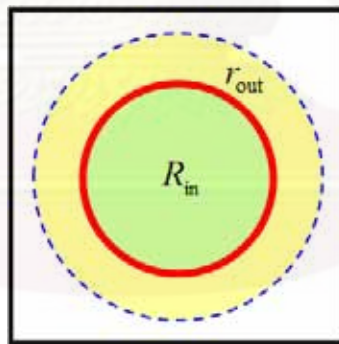
(ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี VFC

จากรูปที่ 2.16 วัตถุเนื้อผสมถูกสร้างขึ้นมาจากวงกลม 6 วง เรียงตัวกันคล้ายเตา คอนทัวร์เริ่มต้นถูกวางไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (ก) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE แสดงในรูป (ข) โดยจะเห็นได้ว่าวิธี ACWE ซึ่งเป็นวิธีแบบใช้บริเวณครอบคลุมจะไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุคล้ายเตานี้ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากวงกลมสีอ่อน 2 วงที่อยู่ทางด้านซ้ายและขวาโดนเหมารวมเข้ากับพื้นหลังแทนที่จะเป็นวัตถุที่เราต้องการ เนื่องจากวงกลมทั้งสองนี้มีเฉดสีที่ใกล้เคียงกับพื้นหลังมากกว่าเมื่อเทียบกับวงกลมอื่น ๆ แต่เมื่อทดลองใช้วิธี VFC ซึ่งเป็นวิธีแบบใช้ขอบ พบว่าคอนทัวร์สามารถแบ่งวัตถุคล้ายเตานี้ได้อย่างสมบูรณ์ โดยวงกลมทุกวงถูกรวมเป็นวัตถุเดียวกันตามที่ต้องการดังแสดงในรูป (ค) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าการใช้ข้อสันเทศบริเวณครอบคลุม จะส่งผลให้คอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุเป็นเนื้อผสมได้ แต่สำหรับวิธีการแบบใช้ขอบ ซึ่งเป็น

ข้อสนเทศท้องถิ่น ณ บริเวณที่ใกล้กับจุดบนคอนทอร์ จะมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่วัตถุ เป็นเนื้อผสมได้ แต่อย่างไรก็ตามดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น แอ็กทิฟคอนทอร์แบบใช้ขอบยังคงมี ข้อจำกัดอยู่หลายประการ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้แบ่งส่วนภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อ ผสมได้

### 2.2.2 ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น

จากข้อจำกัดของวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม ที่ไม่สามารถ แบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสมได้ จึงได้มีหลาย ๆ งานวิจัย ปรับปรุงและพัฒนาวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นขึ้นมา โดยเป็นการ เลือกรับบริเวณของภาพแค่เพียงบางส่วนเท่านั้นไม่ได้ใช้บริเวณทั้งหมดของภาพ ตัวอย่างเช่น Mille และ Cohen [25] นำเสนอการใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในคอนทอร์และส่วนที่อยู่ภายนอก คอนทอร์เฉพาะในแถบที่ขยายออกไปจากคอนทอร์ในช่วงที่กำหนดเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่ง แถบที่ขยายออกไปด้านนอกคอนทอร์นี้เรียกว่า แถบนอก (Outer Band) และจากการเลือกใช้ ข้อสนเทศบริเวณในลักษณะนี้ จะส่งผลให้คอนทอร์สามารถแบ่งส่วนภาพได้เฉพาะในกรณีที่วัตถุ เป็นเนื้อเดียวกันวางตัวอยู่บนพื้นหลังที่เป็นเนื้อผสมได้เท่านั้น ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพในกรณีที่ วัตถุเป็นเนื้อผสมได้

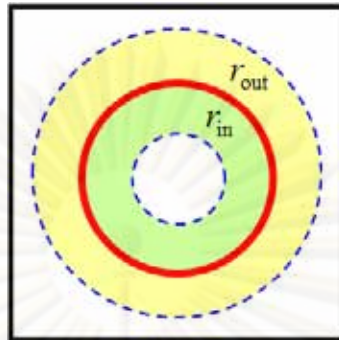


รูปที่ 2.17 การใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในคอนทอร์และแถบนอก

Ronfard [26] ได้นำเสนอวิธีการแอ็กทิฟคอนทอร์ที่ใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นของภาพทั้ง ที่อยู่ภายในแถบใน (Inner Band) และแถบนอก (Outer Band) ของคอนทอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ส่งผลให้วิธีการนี้สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังเป็นเนื้อผสมได้ อย่างไรก็ตามจากการ ใช้แถบในและแถบนอกนี้เอง มีผลทำให้การวางคอนทอร์เริ่มต้นนั้นจะไม่สามารถวางไว้ไกลเกิน ความกว้างของแถบทั้งสองได้ เนื่องจากถ้าวางคอนทอร์เริ่มต้นไว้ไกลเกินความกว้างของแถบใน และแถบนอกของคอนทอร์ จะทำให้คอนทอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังขอบของวัตถุได้ ซึ่ง

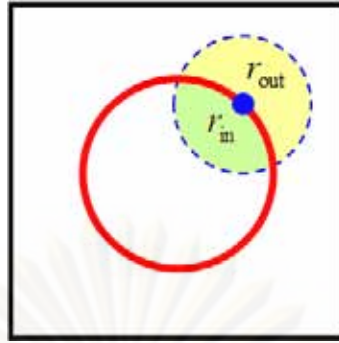


ในทางปฏิบัติแล้วจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการวางคอนทัวร์เริ่มต้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่วัตถุมีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ

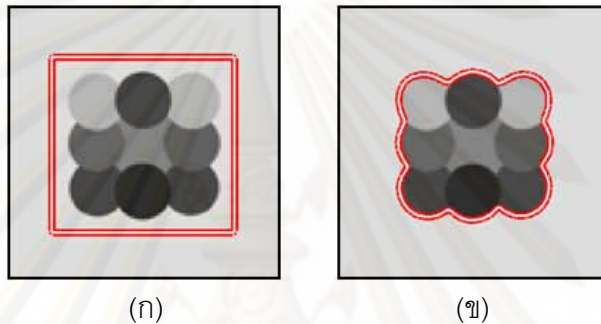


รูปที่ 2.18 การใช้ข้อสันเทศบริเวณที่อยู่ภายในแถบในและแถบนอก

จากการใช้ข้อสันเทศบริเวณท้องถิ่นในรูปที่ 2.18 จะสังเกตได้ว่าคอนทัวร์ของวิธีการนี้ จะเคลื่อนที่โดยใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยค่าเดียวกันสำหรับจุดทุกจุดบนคอนทัวร์ ส่งผลให้วิธีการนี้สามารถแบ่งส่วนภาพได้เฉพาะในกรณีที่วัตถุเป็นเนื้อผสมที่บริเวณใกล้เคียงกับขอบของวัตถุทั้งหมดที่อยู่ด้านในเป็นเนื้อเดียวกัน และบริเวณใกล้เคียงกับขอบวัตถุทั้งหมดที่อยู่ด้านนอกต้องเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเช่นกัน กล่าวคือ บริเวณที่อยู่ภายในทั้งแถบในและแถบนอกของวัตถุต้องมิลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้จุดแต่ละจุดบนคอนทัวร์ไม่มีความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ จึงได้มีงานวิจัยที่น่าเสนอการใช้ข้อสันเทศบริเวณท้องถิ่นสำหรับจุดแต่ละจุดบนคอนทัวร์ โดยเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งนำเสนอโดย Lankton และ Tannenbaum [27] วิธีการนี้มีชื่อเรียกว่า LRAC (Localizing Region-based Active Contour) และข้อสันเทศบริเวณท้องถิ่นที่ถูกนำมาใช้คือ บริเวณของภาพที่อยู่ภายในวงกลมที่อยู่โดยรอบคอนทัวร์ โดยจุดศูนย์กลางของวงกลมเหล่านี้คือ จุดทุกจุดที่อยู่บนคอนทัวร์ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งแสดงตัวอย่างให้เห็นแค่เพียงวงกลมเดียว โดยในความเป็นจริงแล้วจะมีวงกลมสำหรับจุดทุกจุดบนคอนทัวร์ และรัศมีของวงกลมเหล่านี้จะมีค่าเท่ากันทุกวง และจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าในขณะที่คอนทัวร์กำลังเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการ ซึ่งจากการที่แต่ละจุดบนคอนทัวร์ได้ใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยของตัวเอง ทำให้จุดต่าง ๆ บนคอนทัวร์มีความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ ส่งผลให้สามารถแบ่งส่วนภาพในกรณีที่บริเวณใกล้เคียงกับขอบของวัตถุมีหลายเฉดสีได้ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 การใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในวงกลมของแต่ละจุดบนคอนทัวร์



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.20 การแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

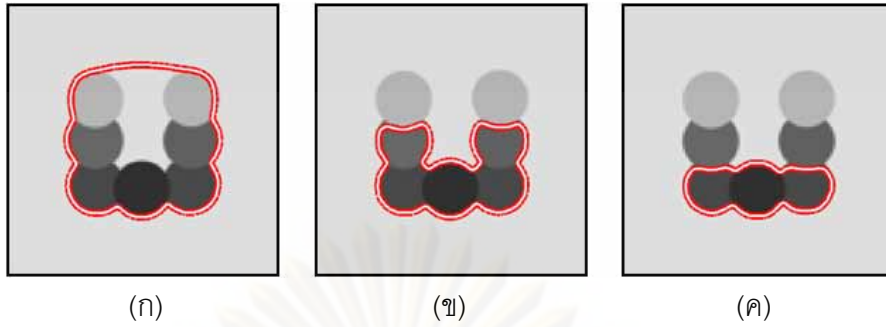
จากรูปที่ 2.20 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมที่สร้างขึ้นเองโดยใช้วิธี LRAC ซึ่งวัตถุที่สร้างขึ้นมานี้ ตัววัตถุจะมีลักษณะเป็นเนื้อผสมรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมประกอบขึ้นจากรวงกลมหลายเฉดสีจำนวน 9 วง โดยคอนทัวร์เริ่มต้นถูกรวบรวมไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (ก) และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ข) ซึ่งเห็นได้ว่าวิธี LRAC สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมนี้ได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าบริเวณที่ใกล้เคียงกับขอบเขตของวัตถุจะมีเฉดสีแตกต่างกันก็ตาม สาเหตุหนึ่งที่ทำให้วิธีการนี้สามารถแบ่งส่วนวัตถุลักษณะนี้ได้ คือ เนื่องจากจุดแต่ละจุดบนคอนทัวร์ใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยของโคโรของมัน แต่อย่างไรก็ตามจากการที่ค่ารัศมีของวงกลมเหล่านี้มีค่าเดียวกันและคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ จึงส่งผลให้วิธีการนี้มีข้อจำกัดคล้ายกับวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้เส้นค้นหาความยาวคงที่ นั่นคือ ปัญหาในเรื่องของการหาค่ารัศมีที่เหมาะสมกับตำแหน่งของคอนทัวร์เริ่มต้น โดยในการกำหนดค่ารัศมีให้กับวงกลมเหล่านี้จะดูจากตำแหน่งคอนทัวร์เริ่มต้นว่าห่างจากขอบของวัตถุที่ต้องการเพียงใด ส่งผลให้ถ้ากำหนดค่ารัศมีของวงกลมเล็กเกินไป คอนทัวร์จะมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่แคบทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC

(ก) คอนทราสต์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 2.21 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC ซึ่งวัตถุรูปตัวยูนี้ประกอบขึ้นจากวงกลม 7 วงที่มีเฉดสีแตกต่างกัน คอนทราสต์เริ่มต้นถูกวางไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูป (ก) และได้กำหนดค่ารัศมีให้กับวงกลมของทุกจุดบนคอนทราสต์เท่ากับ 10 พิกเซล ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงในรูป (ข) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุรูปตัวยูที่ต้องการได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยในส่วนของเว้าลึกของรูปตัวยู คอนทราสต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่เข้ามาภายในได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากค่ารัศมีที่กำหนดให้เล็กเกินไป ดังนั้น จึงได้ทดลองเปลี่ยนค่ารัศมีให้เป็น 20 พิกเซล ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงในรูปที่ 2.22 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าคอนทราสต์ก็ยังคงไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปภายในส่วนเว้าลึกของรูปตัวยูได้ เนื่องจากค่ารัศมี 20 พิกเซลก็ยังคงเล็กเกินไป ต่อมาได้ทดลองเปลี่ยนค่ารัศมีเป็น 30 พิกเซล ผลที่ได้คือ คอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนเว้าลึกได้แต่ผลการแบ่งส่วนภาพโดยรวมที่ได้นั้นไม่ถูกต้องตามที่ต้องการ กล่าวคือ คอนทราสต์ได้เคลื่อนที่เลยเนื้อวัตถุที่มีเฉดสีอ่อนไปดังแสดงในรูป (ข) ซึ่งมีสาเหตุมาจากค่ารัศมีนั้นใหญ่เกินไป ส่งผลให้วิธีการนี้มีพฤติกรรมกลายเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม เนื่องจากข้อสนเทศบริเวณที่ได้จากวงกลมที่มีขนาดใหญ่ จะมีความใกล้เคียงกับการใช้ข้อสนเทศบริเวณเกือบทั้งภาพ ดังนั้น ในกรณีนี้วิธี LRAC จึงไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมได้อย่างสมบูรณ์ และจะเห็นปรากฏการณ์นี้ได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อเปลี่ยนค่ารัศมีให้เป็น 40 พิกเซล ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้คือ คอนทราสต์จะเคลื่อนที่เลยส่วนอื่น ๆ ของรูปตัวยูมากขึ้นดังแสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นว่าคอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนภาพได้เฉพาะส่วนที่มีเฉดสีเข้มเท่านั้น บางส่วนของวัตถุที่มีเฉดสีอ่อนจะถูกเหมารวมให้เป็นพื้นหลังไป เนื่องจากวิธีการใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นนี้ได้กลายเป็นวิธีการแบบใช้บริเวณครอบคลุมไปเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 2.22 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่สร้างขึ้นเองด้วยวิธี LRAC

โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีของวงกลมของจุดบนคอนทัวร์

(ก) รัศมีเท่ากับ 20 พิกเซล (ข) 30 พิกเซล (ค) 40 พิกเซล

### 2.3 เกณฑ์ในการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ (Area Similarity) [37] ในการวัดผลการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งค่าความคล้ายเชิงพื้นที่  $S_{\text{area}}$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$S_{\text{area}} = \frac{2n(A_1 \wedge A_2)}{n(A_1) + n(A_2)} \quad (2.3)$$

โดยที่  $A_1$  คือ ภาพขาวดำ (Binary Image) ของผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ ซึ่งใช้เป็น Ground truth และ  $A_2$  คือ ภาพขาวดำของผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการเอ็กทิฟคอนทัวร์ ซึ่งในที่นี้ กำหนดให้วัตถุที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพเป็นสีขาวมีค่าความเข้มเท่ากับ 1 และ กำหนดให้พื้นหลังเป็นสีดำมีค่าความเข้มเท่ากับ 0  $n(A)$  คือ จำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวของภาพ  $A$  และ  $\wedge$  คือ ตัวดำเนินการ “And”



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่

(ก) ภาพขาวดำ  $A_1$  (ข) ภาพขาวดำ  $A_2$  (ค) ภาพขาวดำ  $A_1 \wedge A_2$

ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่  $S_{\text{area}}$  จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 กล่าวคือ ถ้าภาพ  $A_1$  และ  $A_2$  เป็นภาพเดียวกัน ค่า  $S_{\text{area}}$  ที่คำนวณได้จะมีค่ามากที่สุดคือ 1 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่แสดงในรูปที่ 2.23 โดยที่รูป (ก) เป็นภาพขาวดำ  $A_1$  ที่มีขนาด  $200 \times 200$  พิกเซล โดยมีวัตถุสีขาวในภาพเป็นรูปหัวใจ ซึ่งมีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวทั้งหมด  $n(A_1)$  เท่ากับ 14,108 พิกเซล และรูป (ข) เป็นภาพไดโนเสาร์  $A_2$  มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวทั้งหมด  $n(A_2)$  เท่ากับ 6,217 พิกเซล และรูป (ค) เป็นภาพที่ได้จาก  $A_1 \wedge A_2$  ซึ่งภาพที่ได้มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวทั้งหมด  $n(A_1 \wedge A_2)$  เท่ากับ 4,315 พิกเซล ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า  $S_{\text{area}}$  ได้ดังนี้

$$S_{\text{area}} = \frac{2n(A_1 \wedge A_2)}{n(A_1) + n(A_2)} = \frac{2 \times 4,315}{14,108 + 6,217} = \frac{8,630}{20,325} = 0.42$$

ค่า  $S_{\text{area}}$  เท่ากับ 0.42 ที่คำนวณได้นี้สามารถบอกได้ว่าวัตถุสีขาวในภาพ  $A_1$  และ  $A_2$  มีความคล้ายคลึงกันในเชิงพื้นที่เท่ากับร้อยละ 42

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีการที่นำเสนอ

จากข้อจำกัดของวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 นั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ที่สามารถแก้ไขข้อจำกัดเหล่านั้นได้ โดยเป็นการผสมผสานแนวความคิดการใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นร่วมกับการใช้วิธีเส้นค้นหา นั่นคือการเลือกใช้เฉพาะข้อสนเทศบริเวณของภาพที่อยู่บนเส้นค้นหาเท่านั้นไม่ได้ใช้บริเวณของทั้งภาพ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาวิธีเส้นค้นหาแบบเดิมซึ่งเป็นแบบความยาวคงที่ให้กลายเป็นแบบยืดตัวได้ เพื่อให้คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น ดังนั้น วิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ที่นำเสนอนี้จึงมีชื่อว่า แอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้ (Active Contour using Local Regional Information on Extendable Search Line) และมีชื่อย่อว่า LRES ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.1

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาต่อยอดวิธี LRES ให้มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เพิ่มมากขึ้นใน 2 รูปแบบ ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ วิธีการนี้มีชื่อย่อว่า MLRES (Multiple LRES) ซึ่งจะได้อธิบายในรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2.1 และมีความสามารถในการเลือกวัตถุได้โดยใช้ชนิดขอบ วิธีการนี้มีชื่อย่อว่า SLRES (Edge Type-Selectable LRES) ซึ่งได้ให้รายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2

#### 3.1 วิธี LRES

จากการศึกษาข้อดีและข้อด้อยของวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้สามารถสรุปประเด็นสำคัญ ๆ ที่มีประโยชน์สำหรับนำมาใช้ในการพัฒนาและออกแบบวิธี LRES ได้ดังต่อไปนี้

1. การใช้วิธีการเส้นค้นหาความยาวคงที่ร่วมกับข้อสนเทศขอบจะทำให้คอนทัวร์ไม่ต้องประสบปัญหาที่จุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งเหมือนกับการใช้สนามเวกเตอร์
2. วิธีเส้นค้นหาแบบความยาวคงที่จะมีปัญหาช่วงการเคลื่อนที่ที่จำกัดในกรณีที่มีความยาวของเส้นค้นหานั้นสั้นเกินไป
3. การใช้ข้อสนเทศบริเวณมีผลทำให้คอนทัวร์สามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและจุดจมนได้ดีกว่าการใช้ข้อสนเทศขอบ
4. แอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุมจะไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสมได้

5. แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศขอบและแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถื่นสามารถแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสมได้

6. การที่แต่ละจุดบนคอนทัวร์ได้ใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถื่นของใครของมันจะส่งผลให้จุดแต่ละจุดมีการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระ ซึ่งเหมาะสำหรับวัตถุที่ขอบมีหลายเฉดสี

7. แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้สนเทศบริเวณท้องถื่นที่อยู่ภายในวงกลมของแต่ละจุดบนคอนทัวร์จะมีปัญหาการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัดในกรณีรัศมีของวงกลมนั้นเล็กเกินไป และจะมีปัญหาการกลายสภาพเป็นแบบใช้บริเวณครอบคลุมถ้ารัศมีของวงกลมนั้นใหญ่เกินไป

จากประเด็นต่าง ๆ ข้างต้นจะเห็นได้ว่าวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ ก็มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป ซึ่งข้อดีของบางวิธีการก็อาจจะสามารถแก้ไขข้อจำกัดของอีกวิธีการหนึ่งได้ ดังนั้น ในการออกแบบวิธีการ LRES จึงได้มีการรวบรวมและเลือกใช้สิ่งที่เป็นประโยชน์หรือข้อดีของวิธีการต่าง ๆ เป็นข้อมูลในการออกแบบ เพื่อให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบเก่าจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ โดยสามารถสรุปแนวคิดและสิ่งที่จะเลือกใช้ในการออกแบบสำหรับวิธีการ LRES ได้ดังต่อไปนี้

1. เลือกใช้ข้อสนเทศบริเวณ เนื่องจากมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน และจุดจุ่มได้ดีกว่าการใช้ข้อสนเทศขอบ มีความสามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุที่มีขอบเขตไม่ชัดเจนได้ และไม่ต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งอีกด้วย

2. เลือกใช้ข้อสนเทศบริเวณแบบท้องถื่น โดยใช้ข้อสนเทศเฉพาะบริเวณบางส่วนของภาพเท่านั้น เพื่อให้แอ็กทิฟคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสมได้

3. เลือกใช้วิธีการเส้นค้นหาเพื่อให้จุดแต่ละจุดบนคอนทัวร์มีการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระ ส่งผลให้สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่ขอบมีหลายเฉดสีได้

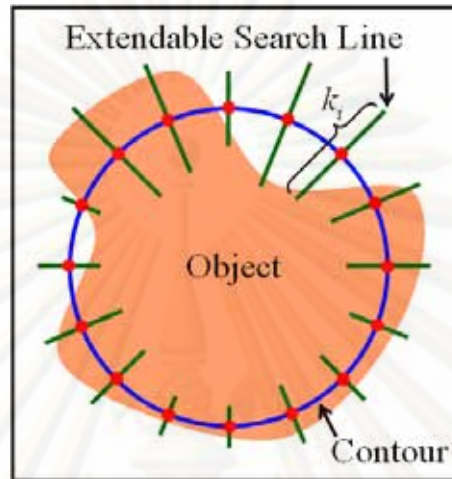
4. พัฒนาวิธีการเส้นค้นหาให้เป็นแบบยืดตัวได้เพื่อให้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง และสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่โค้งเว้าของวัตถุได้

5. ข้อสนเทศบริเวณท้องถื่นที่เลือกใช้นี้จะเป็นข้อสนเทศบริเวณที่อยู่บนเส้นค้นหาที่ยืดได้นั้นคือ ค่าความเข้มของภาพที่อยู่บนเส้นค้นหา จึงทำให้วิธีการ LRES นี้จะไม่กลายสภาพเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม

จากแนวคิดในการพัฒนาและออกแบบข้างต้น เราสามารถแบ่งการอธิบายหลักการของวิธี LRES ออกได้เป็น 4 หัวข้อย่อย ดังต่อไปนี้

### 3.1.1 ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้

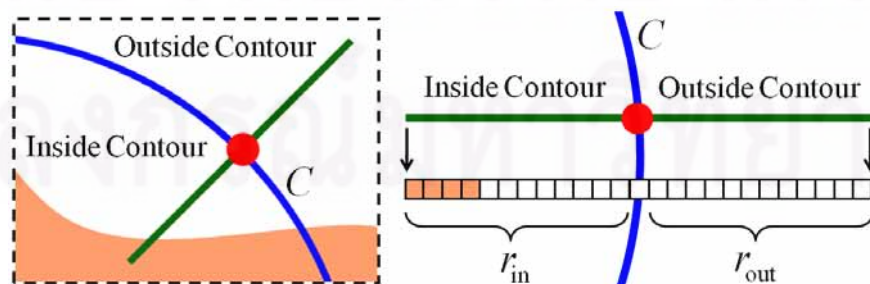
วิธีการ LRES ได้เลือกใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นที่อยู่บนเส้นค้นหา ซึ่งก็คือค่าความเข้มของภาพที่อยู่เฉพาะบนเส้นค้นหาเท่านั้น โดยเส้นค้นหาี้จะมีความสามารถในการยืดตัวได้ เพื่อยืดไปยังขอบเขตของวัตถุที่ต้องการในภาพดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เส้นค้นหาที่ยืดได้

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าในแต่ละจุดบนคอนทัวร์จะมีเส้นค้นหาหนึ่งเส้นยืดตัวออกมาทั้งด้านในและด้านนอกคอนทัวร์โดยมีจุดบนคอนทัวร์เป็นจุดกึ่งกลางของเส้น นอกจากนี้เส้นค้นหาแต่ละเส้นจะมีความยาวที่ไม่เท่ากัน นั่นคือ มีความยาวเป็น  $k_i$  พิกเซล โดยที่  $i = 1, 2, \dots, N$  และ  $N$  คือ จำนวนจุดที่อยู่บนคอนทัวร์ ความยาวที่เหมาะสมสำหรับเส้นค้นหาแต่ละเส้นจะขึ้นอยู่กับว่าเส้นค้นหาเส้นนั้นควรจะมีขนาดยาวเท่าใดที่จะทำให้เส้นค้นหาได้วางตัวอยู่บนขอบของวัตถุ เพื่อจะได้มีข้อมูลที่เพียงพอในการบอกให้คอนทัวร์รู้ว่าควรจะต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดเพื่อวิ่งไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ

ค่าความเข้มสีของภาพอินพุตที่อยู่บนเส้นค้นหาที่ยืดได้จะถูกนำมาคำนวณค่าทางสถิติโดยวิธีการ LRES ได้เลือกใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มที่เรียงตัวอยู่บนเส้นค้นหาทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์เรียกว่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ดังแสดงในรูปที่ 3.2



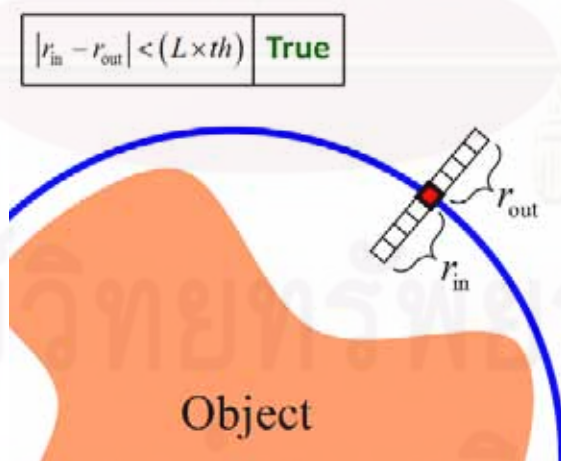
รูปที่ 3.2 ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้



ค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ของแต่ละเส้นค้นหาจะถูกใช้งานในสองหน้าที่ด้วยกัน ได้แก่ 1. ใช้สร้างเงื่อนไขในการหาความยาวที่เหมาะสมสำหรับเส้นค้นหาแต่ละเส้น ซึ่งได้กล่าวถึงในรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.12 และ 2. ใช้ในการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนที่คอนทอร์เพื่อวิ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการในภาพ ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.13

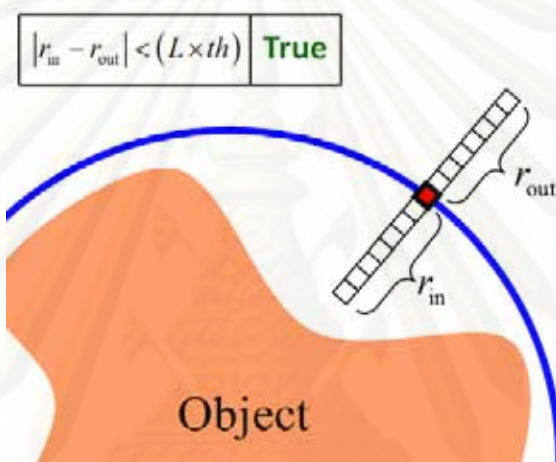
### 3.1.2 การยึดตัวของเส้นค้นหา

ความแตกต่างระหว่างค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ของเส้นค้นหาสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบได้ว่าเส้นค้นหาเส้นนั้นได้วางตัวอยู่บนขอบของวัตถุหรือไม่ ซึ่งในกรณีที่เส้นค้นหาทั้งเส้นวางตัวอยู่บนบริเวณที่เป็นเนื้อเดียวกัน ค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  จะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ  $|r_{in} - r_{out}|$  มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้ว ค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  จะไม่เท่ากันพอดี ดังนั้น เราจึงได้ทำการออกแบบเงื่อนไขที่ตรวจสอบว่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  มีความแตกต่างกันในระดับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้หรือไม่ ทำให้ได้เงื่อนไข  $|r_{in} - r_{out}| < (L \times th)$  โดยที่  $L$  คือ ค่าสูงสุดของค่าความเข้มของภาพอินพุต ตัวอย่างเช่น ถ้าภาพอินพุตเป็นภาพระดับสีเทา 8 บิต ค่า  $L$  ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 255 ส่วนค่า  $th$  คือ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ทำให้หน้าที่เป็นตัวชี้วัดว่าขณะนี้เส้นค้นหาได้ว่าตัวอยู่บนขอบของวัตถุหรือไม่ โดยทั่วไปแล้วควรที่จะกำหนดให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนนี้มีค่าน้อย ๆ ถ้าเงื่อนไข  $|r_{in} - r_{out}| < (L \times th)$  เป็นจริง (True) ค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  จะมีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า เส้นค้นหาเส้นนี้วางตัวอยู่บนบริเวณของภาพที่มีเฉดสีใกล้เคียงกันมาก โดยไม่ได้วางตัวอยู่บนขอบของวัตถุดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.3



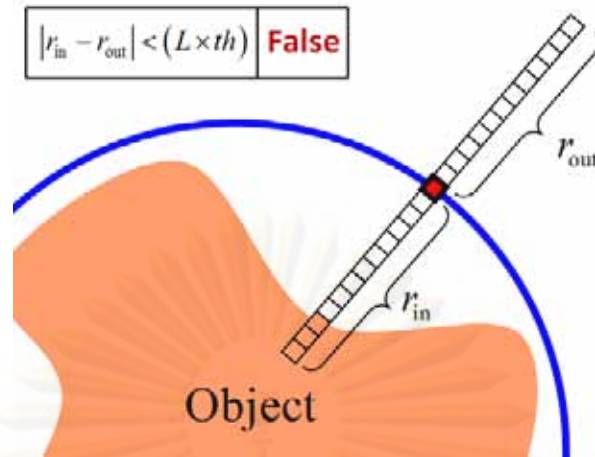
รูปที่ 3.3 เส้นค้นหาที่ไม่ได้ทอดตัวอยู่บนขอบของวัตถุ เนื่องจากความยาวของเส้นค้นหาสั้นเกินไป

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า ณ ตอนนี้เส้นค้นหาทั้งเส้นได้วางตัวอยู่บนพื้นหลัง ซึ่งยังไม่มี ส่วนใดส่วนหนึ่งของเส้นค้นหาที่ได้สัมผัสกับขอบของวัตถุ ส่งผลให้เงื่อนไขที่คำนวณได้จึงเป็นจริง เนื่องจากค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  มีค่าเท่ากัน ซึ่งในกรณีนี้เราควรที่จะเพิ่มความยาวให้กับเส้นค้นหาเส้นนี้ อีกเพื่อให้สามารถยึดตัวถึงขอบของวัตถุที่ต้องการ โดยจะทำการเพิ่มความยาวให้กับเส้นค้นหาอีก  $\eta$  พิกเซล ซึ่งความยาวที่เพิ่มให้กับเส้นค้นหานี้จะเป็นการเพิ่มทั้งสองด้าน คือ ทั้งด้านในและด้านนอกคอนทัวร์ เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วเราไม่อาจรู้ได้ว่าขอบของวัตถุนั้นอยู่ด้านใดของคอนทัวร์ และเมื่อได้เพิ่มความยาวให้กับเส้นค้นหาแล้วก็ต้องตรวจสอบเงื่อนไขดังกล่าวอีกรอบ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เส้นค้นหาที่ได้รับการยืดตัวแต่ยังไม่สามารถยึดตัวถึงขอบของวัตถุได้ เนื่องจากความยาวของเส้นค้นหานั้นยังคงสั้นไป

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความยาวให้กับเส้นค้นหาในรอบแรกนั้นยังคงไม่เพียงพอที่จะทำให้เส้นค้นหายึดตัวถึงขอบของวัตถุได้ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความยาวให้กับเส้นค้นหาอีก  $\eta$  พิกเซล จากนั้นจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขอีกครั้งจนกระทั่งเงื่อนไขจะเป็นเท็จ (False) ซึ่งหมายความว่าเส้นค้นหาได้ยึดตัวถึงขอบของวัตถุแล้ว กล่าวคือ ในกรณีนี้ค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  จะมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งมากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เส้นค้นหาที่ได้รับการยืดตัวจนกระทั่งสามารถยืดตัวถึงขอบของวัตถุได้

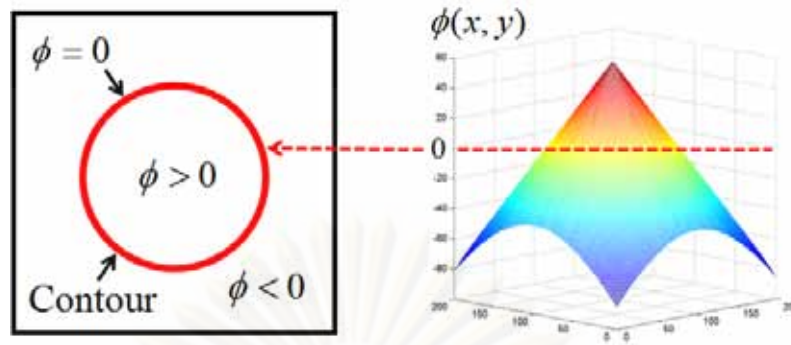
จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าเส้นค้นหาที่มีความยาวที่เหมาะสมแล้ว เนื่องจากเป็นความยาวที่ทำให้เส้นค้นหาสามารถยืดตัวถึงขอบของวัตถุได้ ซึ่งขั้นตอนในการยืดความยาวของเส้นค้นหานี้จะกระทำกับเส้นค้นหาทุกเส้นบนคอนทัวร์ เพื่อให้แอ็กทิฟคอนทัวร์มีข้อมูลเพียงพอที่จะรู้ได้ว่าควรที่จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดเพื่อวิ่งไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ โดยแรงที่ใช้ในขับเคลื่อนจุดต่าง ๆ บนคอนทัวร์นั้นก็ยังคงใช้ประโยชน์จากค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  อีกเช่นกัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

### 3.1.3 สมการการเคลื่อนที่

หลังจากเส้นค้นหาแต่ละเส้นได้รับความยาวที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การขับเคลื่อนคอนทัวร์ไปยังขอบของวัตถุ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เขียนโปรแกรมของวิธี LRES โดยใช้หลักการวิธีเซตระดับ (Level Set Method) เริ่มต้นจากการกำหนดให้  $C$  คือ คอนทัวร์ที่ถูกฝังอยู่ในเซตระดับที่ศูนย์ (Zero Level) ของฟังก์ชันเซตระดับ  $\phi(x, y)$  ดังสมการที่ (3.1)

$$C = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) = 0\} \quad (3.1)$$

โดยที่  $\Omega$  คือ โดเมนเชิงพื้นที่ของภาพ (Image Spatial Domain)  $\phi(x, y) > 0$  และ  $\phi(x, y) < 0$  คือ บริเวณที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์  $C$  ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันเซตระดับ  $\phi(x, y)$

หลังจากนั้น แรงบริเวณท้องถิ่น (Local Regional Force) จะถูกฝังเข้าไปในเส้นค้นหา ทำให้ได้ฟังก์ชันพลังงาน (Energy Function)  $E_{\text{line}}$  ของเส้นค้นหาแต่ละเส้นแสดงในสมการที่ (3.2)

$$E_{\text{line}} = \int_{\Omega} (I - r_{\text{in}})^2 M \cdot H_{\varepsilon}(\phi) dx dy + \int_{\Omega} (I - r_{\text{out}})^2 M \cdot (1 - H_{\varepsilon}(\phi)) dx dy \quad (3.2)$$

โดยที่  $I$  คือ ภาพอินพุตที่เป็นภาพระดับสีเทา  $r_{\text{in}}$  และ  $r_{\text{out}}$  ของเส้นค้นหาแต่ละเส้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ  $M(x, y)$  คือ ฟังก์ชันหน้ากากสำหรับเส้นค้นหาแต่ละเส้น (Line Mask Function) แสดงในสมการที่ (3.5) และ  $H_{\varepsilon}(\phi)$  คือ ฟังก์ชัน Heaviside [22] แสดงในสมการที่ (3.6)

$$r_{\text{in}} = \frac{\int_{\Omega} I \cdot M \cdot H_{\varepsilon}(\phi) dx dy}{\int_{\Omega} M \cdot H_{\varepsilon}(\phi) dx dy} \quad (3.3)$$

$$r_{\text{out}} = \frac{\int_{\Omega} I \cdot M \cdot (1 - H_{\varepsilon}(\phi)) dx dy}{\int_{\Omega} M \cdot (1 - H_{\varepsilon}(\phi)) dx dy} \quad (3.4)$$

$$M(x, y) = \begin{cases} 1 & (x, y) \text{ is on the search line.} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$H_{\varepsilon}(z) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{z}{\varepsilon}\right) \right] \quad (3.6)$$

ดังนั้น ในฟังก์ชันพลังงานรวม (Total Energy Function)  $E_{\text{total}}$  ของจะประกอบไปด้วย 2 พจน์ด้วยกันแสดงในสมการที่ (3.7)

$$E_{\text{total}}(\phi) = \mu \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi) |\nabla \phi| dx dy + \nu \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi) E_{\text{line}} dx dy \quad (3.7)$$

โดยที่  $\mu$  และ  $\nu$  คือ ตัวถ่วงน้ำหนัก  $E_{\text{line}}$  ฟังก์ชันพลังงานของเส้นค้นหาแต่ละเส้นแสดงในสมการที่ (3.2) และ  $\delta_{\varepsilon}(\phi)$  คือ ฟังก์ชัน Delta [22] แสดงในสมการที่ (3.8)

$$\delta_{\varepsilon}(z) = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2 + z^2} \right) \quad (3.8)$$

พจน์แรกในสมการที่ (3.7) เกี่ยวข้องกับความยาวของคอนทัวร์ การทำให้พจน์นี้มีค่าน้อยที่สุด (Minimizing) จะส่งผลให้คอนทัวร์มีความราบเรียบในขณะเคลื่อนที่ และพจน์ที่สอง คือ ผลรวมของ  $E_{\text{line}}$  ที่ได้จากเส้นค้นหาทุกเส้นที่อยู่บนคอนทัวร์ และการทำให้สมการที่ (3.7) มีค่าน้อยที่สุดส่งผลให้ได้สมการการเคลื่อนที่ (Evolution Equation) แสดงในสมการที่ (3.9)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) (F_{\text{SM}} + F_{\text{LR}}) \quad (3.9)$$

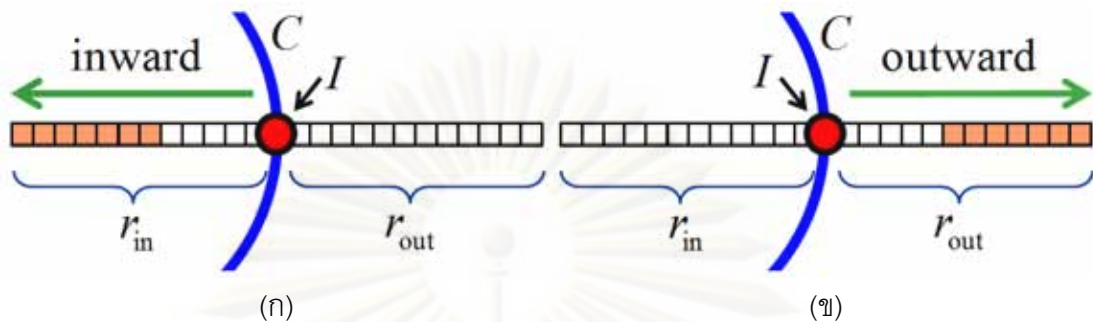
โดยที่พจน์แรก  $F_{\text{SM}}$  คือ แรงราบเรียบ (Smoothing Force) ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ในขณะเคลื่อนที่แสดงในสมการที่ (3.10) พจน์ที่สอง  $F_{\text{LR}}$  คือ แรงบริเวณท้องถิ่น (Local Regional Force) ทำหน้าที่ขับเคลื่อนจุดต่าง ๆ บนคอนทัวร์เพื่อให้วิ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการในภาพแสดงในสมการที่ (3.11) ซึ่งที่มาของสมการการเคลื่อนที่นี้สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก

$$F_{\text{SM}} = \mu \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \quad (3.10)$$

$$F_{\text{LR}} = \nu \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \quad (3.11)$$

แรงบริเวณท้องถิ่น  $F_{\text{LR}}$  ในสมการที่ (3.11) จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนจุดบนคอนทัวร์ไปยังขอบของวัตถุ โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ใน 2 รูปแบบ คือ มีทิศทางการเคลื่อนที่เข้ามาด้านในคอนทัวร์ (Inward) และมีทิศทางการเคลื่อนที่ออกไปนอกคอนทัวร์ (Outward) ซึ่งการบอกให้จุดบน

คอนทอร์รู้ว่าต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดนั้น จะขึ้นอยู่กับว่าขอบของวัตถุที่ต้องการอยู่ในทิศทางใด ดังตัวอย่างการขับเคลื่อนจุดบนคอนทอร์ให้ไปยังขอบของวัตถุแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของจุดบนคอนทอร์

(ก) เคลื่อนที่เข้ามาด้านในคอนทอร์ (ข) เคลื่อนที่ออกไปด้านนอกคอนทอร์

จากรูปที่ 3.7 แรง  $F_{LR}$  จะขับเคลื่อนจุดบนคอนทอร์ไปยังขอบของวัตถุได้โดยดูจากค่าความเข้ม ณ จุดบนคอนทอร์นั้นว่ามีค่าใกล้เคียงกับ  $r_{in}$  หรือ  $r_{out}$  มากกว่ากัน ถ้ามีค่าใกล้เคียงกับ  $r_{out}$  มากกว่านั้นหมายความว่าขอบของวัตถุนั้นอยู่ในคอนทอร์  $F_{LR}$  จะขับเคลื่อนจุดนั้นไปในทิศทางที่เข้าไปด้านในคอนทอร์ดังแสดงในรูป (ก) แต่ถ้ามีค่าใกล้เคียงกับ  $r_{in}$  มากกว่าแสดงว่าขอบของวัตถุอยู่นอกคอนทอร์ จุดบนคอนทอร์ก็จะถูกขับเคลื่อนไปในทิศทางออกนอกคอนทอร์ดังแสดงในรูป (ข)

### 3.1.4 ขั้นตอนในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ

ในหัวข้อย่อยนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนทั้งหมดของการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุของคอนทอร์ โดยขั้นตอนแรก คือ การกำหนดคอนทอร์เริ่มต้นและฝังให้อยู่ในเซตระดับที่ศูนย์ของฟังก์ชันเซตระดับ  $\phi_0$  หลังจากนั้นเส้นค้นหาจะถูกสร้างในแต่ละจุดบนคอนทอร์ ซึ่งเป็นเส้นที่ตั้งฉากกับจุดนั้น ๆ บนคอนทอร์และความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหาแต่ละเส้นจะถูกกำหนดให้เป็น  $k_{start}$  พิกเซล ขั้นตอนถัดมา คือ การคำนวณค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ของเส้นค้นหาแต่ละเส้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขว่าเส้นค้นหาแต่ละเส้นนั้นวางตัวอยู่บนขอบของวัตถุหรือไม่ ซึ่งตรวจสอบได้โดยใช้เงื่อนไข  $|r_{in} - r_{out}| < (L \times th)$  โดยที่  $th \in [0, 1]$  คือ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่าง  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ที่เรากำหนดไว้ ถ้าเส้นค้นหาเส้นใดวางตัวอยู่ในบริเวณที่พื้นหลังที่เป็นเนื้อเดียวกันเงื่อนไขที่ได้จะเป็นจริง ส่งผลให้ความยาวของเส้นค้นหาเส้นนั้นจะต้องถูกเพิ่มอีก  $n$  พิกเซล ไปเรื่อย ๆ จนกว่าเส้นค้นหาจะได้ทอดตัวอยู่บนขอบของวัตถุ และหลังจากที่เส้นค้นหาแต่ละเส้นได้รับความยาวที่เหมาะสมแล้ว คอนทอร์ก็จะเคลื่อนที่โดยมีทิศทางไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้โดยใช้สมการที่ (3.9) และเมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไป 1 รอบแล้ว (1 Iteration) ความยาว

ของเส้นค้นหาจะถูกกำหนดให้กลับไปมีค่าเท่ากับ  $k_{start}$  ใหม่อีกครั้งหนึ่ง เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ครั้งถัดไป และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าคอนทัวร์จะสามารถแบ่งส่วนวัตถุได้สำเร็จ ซึ่งกระบวนการทั้งหมดสามารถสรุปได้เป็น 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1:** กำหนดค่าเริ่มต้นของฟังก์ชันเซตระดับ  $\phi_0$  (เป็นการกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้น)

**ขั้นตอนที่ 2:** กำหนดความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหาทุกเส้นให้มีค่าเป็น  $k_{start}$  พิกเซล

**ขั้นตอนที่ 3:** คำนวณค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ของเส้นค้นหาแต่ละเส้น

**ขั้นตอนที่ 4:** ตรวจสอบเงื่อนไข  $|r_{in} - r_{out}| < (L \times th)$  สำหรับทุก ๆ เส้นค้นหา ถ้าเป็นจริงไปยัง

ขั้นตอนที่ 5 แต่ถ้าเป็นเท็จให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 6

**ขั้นตอนที่ 5:** เพิ่มความยาวให้เส้นค้นหาอีก  $\eta$  พิกเซลและย้อนกลับไปยังขั้นตอนที่ 3

**ขั้นตอนที่ 6:** ขับเคลื่อนคอนทัวร์โดยใช้สมการที่ (3.9) จำนวน 1 รอบ (1 Iteration)

ถ้าคอนทัวร์ยังแบ่งส่วนวัตถุที่ต้องการไม่เสร็จให้กลับไปยังขั้นตอนที่ 2

### 3.2 การพัฒนาต่อยอดวิธี LRES

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการพัฒนาต่อยอดวิธี LRES ที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่แล้ว ให้มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพใน 2 รูปแบบ ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ เรียกวิธีการนี้ว่าวิธี MLRES และมีความสามารถในการเลือกวัตถุได้โดยใช้ชนิดขอบ เรียกวิธีการนี้ว่าวิธี SLRES

#### 3.2.1 วิธี MLRES

ในกรณีที่ในภาพมีหลายวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วน วิธี LRES ที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งเป็นแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบเดี่ยว (Single Active Contour) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับภาพในลักษณะนี้ได้ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาวิธี LRES ให้กลายเป็นแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบหลายตัว (Multiple Active Contours) ซึ่งมีชื่อใหม่เรียกว่าวิธี MLRES เพื่อให้สามารถแบ่งส่วนวัตถุหลาย ๆ อันในภาพได้ในเวลาเดียวกัน ส่งผลให้จำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันเซตระดับจำนวนหลายตัวตามไปด้วย ได้แก่  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$  สำหรับภาพที่มี  $n$  วัตถุที่ต้องการ ฟังก์ชันพลังงานในสมการที่ (3.7) จึงถูกปรับปรุงให้เป็นฟังก์ชันพลังงาน  $E_{multiple}$  ที่สามารถรองรับการแบ่งส่วนภาพได้  $n$  วัตถุในเวลาเดียวกันได้ดังแสดงในสมการที่ (3.12) โดยที่  $\rho$  คือค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก

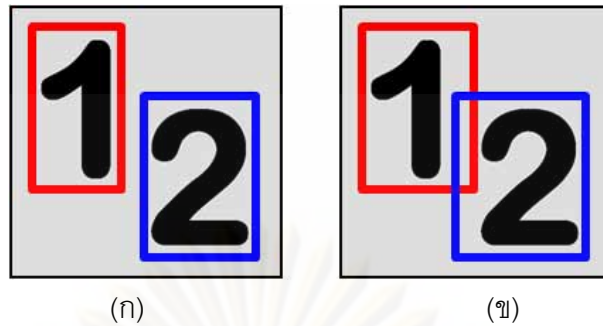
$$\begin{aligned}
E_{\text{multiple}}(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n) &= \mu \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi_i) |\nabla \phi_i| dx dy \\
&+ \nu \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi_i) E_{\text{line}}(\phi_i) dx dy \\
&+ \rho \sum_{i \neq j} \int_{\Omega} H_{\varepsilon}(\phi_i) H_{\varepsilon}(\phi_j) dx dy
\end{aligned} \tag{3.12}$$

จากฟังก์ชันพลังงาน  $E_{\text{multiple}}$  ในสมการที่ (3.12) จะเห็นได้ว่าในพจน์ที่หนึ่งกับสองจะเหมือนกับฟังก์ชันพลังงานของวิธี LRES ในสมการที่ (3.7) นั่นคือ ส่วนที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ และส่วนที่เป็นฟังก์ชันพลังงานรวมของฟังก์ชันพลังงานของเส้นค้นหาทั้งหมดของคอนทัวร์ ส่วนในพจน์ที่สามที่เพิ่มเข้ามานี้ คือ ส่วนที่จะทำหน้าที่ป้องกันการเคลื่อนที่ซ้อนทับกันของคอนทัวร์ต่าง ๆ ที่วิ่งอยู่บนภาพเดียวกัน [20] เนื่องจากคอนทัวร์เหล่านี้อาจจะเกิดการซ้อนทับกันได้ ในกรณีที่วัตถุที่อยู่ใกล้เคียงกันมาก ๆ ซึ่งเป็นที่สิ่งที่เราไม่ต้องการให้เกิดขึ้นกับผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้ ดังนั้น ฟังก์ชันพลังงานในพจน์ที่สามจึงเป็นผลรวมของพื้นที่ที่ซ้อนทับกันของทุก ๆ คอนทัวร์ในภาพ และการที่ทำให้พื้นที่ที่ซ้อนทับกันนี้มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นการบีบบังคับให้ทุกคอนทัวร์ไม่วางตัวซ้อนทับกัน นั่นคือ บริเวณที่ซ้อนทับกัน (Overlapping Region) ของทุก ๆ คอนทัวร์จะไม่เกิดขึ้น และจากการทำให้ฟังก์ชันพลังงาน  $E_{\text{multiple}}$  นี้มีค่าน้อยที่สุดจะทำให้ได้สมการการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ตัวที่  $i$  แสดงในสมการที่ (3.13)

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi_i) \left[ F_{\text{SM}}(\phi_i) + F_{\text{LR}}(\phi_i) - \rho \sum_{j \neq i} H_{\varepsilon}(\phi_j) \right] \tag{3.13}$$

พจน์แรกและพจน์ที่สองในสมการที่ (3.13) คือ แรงราบเรียบ  $F_{\text{SM}}$  และแรงบริเวณท้องถิ่น  $F_{\text{LR}}$  ของคอนทัวร์ตัวที่  $i$  ส่วนพจน์ที่สาม คือ แรงที่ใช้ในการป้องกันการซ้อนทับกันระหว่างคอนทัวร์ เนื่องจากการวางตำแหน่งของคอนทัวร์เริ่มต้นหรือในขณะที่คอนทัวร์กำลังเคลื่อนที่นั้น การวางตัวของคอนทัวร์ต่าง ๆ อาจจะทำให้เกิดบริเวณที่ซ้อนทับกันได้ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.8





รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการวางคอนทราสต์เริ่มต้นของภาพที่มีสองวัตถุที่ต้องการ

(ก) กรณีที่คอนทราสต์เริ่มต้นทั้งสองไม่ซ้อนทับกัน

(ข) กรณีที่คอนทราสต์เริ่มต้นทั้งสองมีส่วนที่ซ้อนทับกัน

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าในภาพมีวัตถุ 2 อันที่เราต้องการแบ่งส่วน นั่นคือ วัตถุเลขหนึ่ง และวัตถุเลขสอง ซึ่งในกรณีที่วางคอนทราสต์เริ่มต้นแบบไม่ซ้อนทับกันดังแสดงในรูป (ก) คอนทราสต์ทั้งสองจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุของใครของมันได้โดยไม่เกิดการแย่งวัตถุกัน ซึ่งอันที่จริงแล้วในกรณีนี้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใส่แรงป้องกันการซ้อนทับกันเลยก็ได้ เนื่องจากว่าคอนทราสต์ยังคงสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุของตนเองได้อย่างถูกต้อง แต่สำหรับในกรณีที่วางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ดังแสดงในรูป (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นบริเวณที่ซ้อนทับกันขึ้นระหว่างคอนทราสต์ทั้งสอง โดยการซ้อนทับกันที่เกิดขึ้นนี้จะเป็สาเหตุสำคัญที่ทำให้คอนทราสต์ทั้งสองเกิดการแย่งวัตถุกันขึ้นในขณะที่คอนทราสต์กำลังเคลื่อนที่ กล่าวคือ บางส่วนของคอนทราสต์ที่ควรจะแบ่งส่วนวัตถุเลขหนึ่ง ก็อาจจะเคลื่อนที่ไปติดกับขอบบางส่วนของวัตถุเลขสองได้ เนื่องจากส่วนนั้นของคอนทราสต์อาจจะใกล้กับวัตถุเลขสองมากกว่าวัตถุเลขหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการที่เราใส่แรงป้องกันการซ้อนทับกันให้กับทุก ๆ คอนทราสต์ จะส่งผลให้บริเวณที่ซ้อนทับกันนี้จะค่อย ๆ หายไปในขณะที่คอนทราสต์เคลื่อนที่ และสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าแรงป้องกันนี้จะทำหน้าที่ผลักดันคอนทราสต์ต่าง ๆ ให้ไปอยู่ใกล้กับวัตถุที่เป็นของคอนทราสต์นั้น ๆ จึงทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพตามที่ต้องการ

### 3.2.2 วิธี SLRES

ในกรณีที่เรากำลังเลือกวัตถุใดวัตถุหนึ่งในภาพ และวัตถุนั้นก็วางตัวอยู่ใกล้เคียงกับวัตถุอื่น ๆ หรือภายในภาพมีพื้นหลังที่ซับซ้อน (Complex Background) แอ็กทิฟคอนทราสต์ก็อาจเกิดความสับสนขึ้นได้ในขณะเคลื่อนที่ เนื่องจากไม่รู้ว่าจะเคลื่อนที่ไปยังวัตถุใดในภาพ จึงได้มีหลาย ๆ งานวิจัย [11-14] นำเสนอการใช้ชนิดขอบของวัตถุ เป็นข้อมูลในการบอกให้กับคอนทราสต์ว่าจะต้องเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่มีขอบแบบใดในภาพ โดยขอบของวัตถุนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ขอบบวก (Positive Edge) ซึ่งเป็นขอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้ม

จากน้อยไปมากและขอบลบ (Negative Edge) เป็นขอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มจากมากไปน้อยดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.9

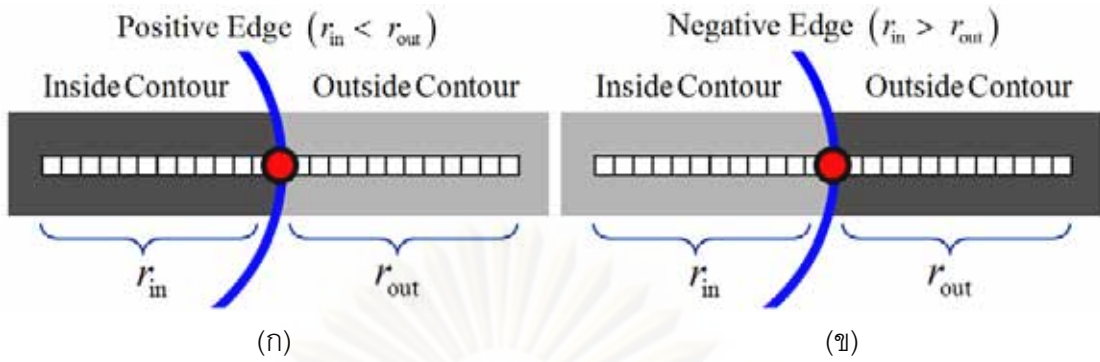


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแยกแยะประเภทของวัตถุโดยใช้ชนิดขอบ

- (ก) ภาพที่มีวัตถุสองชิ้นที่วางซ้อนทับกัน
- (ข) วัตถุรูปห้าเหลี่ยมที่มีคุณสมบัติเป็นขอบบวก
- (ค) วัตถุรูปกากบาทที่มีคุณสมบัติเป็นขอบลบ

จากรูปที่ 3.9 (ก) เป็นภาพที่ประกอบไปด้วย 2 วัตถุ ได้แก่ วัตถุรูปห้าเหลี่ยมและวัตถุรูปกากบาท ซึ่งสามารถจำแนกชนิดขอบของแต่ละวัตถุได้ดังนี้ วัตถุรูปห้าเหลี่ยมเป็นวัตถุสีเข้มวางตัวอยู่บนพื้นหลังสีอ่อน จึงถูกจัดให้เป็นวัตถุชนิดขอบบวกดังแสดงในรูป (ข) และวัตถุรูปกากบาทเป็นวัตถุสีอ่อนวางตัวอยู่บนพื้นหลังสีเข้ม จึงถูกจัดให้เป็นวัตถุชนิดขอบลบดังแสดงในรูป (ค) ดังนั้นถ้ารู้ชนิดขอบของวัตถุที่ต้องการแล้ว ก็สามารถบอกคอมพิวเตอร์ให้รู้ได้ว่าเราต้องการวัตถุใดในภาพ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอจากงานวิจัยข้างต้นล้วนแล้วแต่เป็นก็เพิ่มความสามารถนี้ให้กับแก็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ ซึ่งทำให้ยังคงมีข้อจำกัดของวิธีแบบใช้ขอบติดมาด้วย ดังนั้นในหัวข้อย่อยนี้จึงได้พัฒนาวิธี LRES ซึ่งมีข้อดีที่เหนือกว่าวิธีแบบใช้ขอบให้มีความสามารถในการเลือกชนิดขอบของวัตถุได้ วิธีการใหม่นี้มีชื่อว่า SLRES ซึ่ง S ตัวแรกมาจากคำว่า “Selectable” โดยจะแสดงให้เห็นถึงข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้ข้อเสนอเทศบริเวณท้องถิ่น นั่นคือ การใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ในการตรวจสอบว่าขณะนั้นเส้นค้นหาวางตัวอยู่บนขอบชนิดใดดังแสดงในรูปที่ 3.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 เส้นค้นหาที่วางตัวอยู่บนขอบของวัตถุที่ต่างชนิดกัน

(ก) วางตัวอยู่บนขอบบวก (ข) วางตัวอยู่บนขอบลบ

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่คอนทอร์วางตัวอยู่บนขอบของวัตถุที่ต่างชนิดกัน ความแตกต่างระหว่างค่า  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  จะสามารถเป็นตัวบอกได้ว่าเส้นค้นหาเส้นนั้นวางตัวอยู่บนขอบชนิดใด กล่าวคือ ถ้า  $r_{in}$  มีค่าน้อยกว่า  $r_{out}$  จะแสดงว่าเส้นค้นหาวางตัวอยู่บนขอบบวกดังแสดงในรูป (ก) และถ้า  $r_{in}$  มีค่ามากกว่า  $r_{out}$  จะหมายความว่าเส้นค้นหาวางตัวอยู่บนขอบลบดังแสดงในรูป (ข)

วิธี SLRE ที่นำเสนอให้หัวข้อย่อนี้มีหลักการในการออกแบบ คือ ในกรณีที่เส้นค้นหาวางตัวอยู่บนชนิดขอบที่เราต้องการ จุดกึ่งกลางของเส้นค้นหา (ซึ่งก็คือจุดบนคอนทอร์) จะเคลื่อนที่โดยใช้แรงบริเวณท้องถิ่น  $F_{LR}$  แต่ถ้าเส้นค้นหาวางตัวอยู่บนชนิดขอบที่ไม่ต้องการ จุดบนคอนทอร์จะถูกขับเคลื่อนด้วยแรงพิเศษแรงอื่น เพื่อผลักดันให้คอนทอร์วิ่งเลยขอบที่ไม่ต้องการนี้ไปได้ โดยแรงพิเศษที่เลือกใช้ในวิธีการนี้ คือ แรงบอลลูน  $F_{BL}$  ดังแสดงในสมการที่ (3.14)

$$F_{BL} = \begin{cases} +\omega & C_0 \text{ is inside the object.} \\ -\omega & C_0 \text{ is outside the object.} \end{cases} \quad (3.14)$$

โดยที่  $\omega$  คือ ค่าคงที่บวก ใช้ในการกำหนดความแรงของแรงบอลลูน และ  $C_0$  คือ คอนทอร์เริ่มต้น หลังจากนั้น เมื่อมีแรงที่จะใช้ในการขับเคลื่อนจุดต่าง ๆ บนคอนทอร์ในกรณีที่เส้นค้นหาวางตัวอยู่บนชนิดขอบที่ต้องการและที่ไม่ต้องการแล้ว สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องออกแบบ คือ พารามิเตอร์ที่จะทำหน้าที่สลับการใช้แรง  $F_{LR}$  หรือ  $F_{BL}$  อย่างอัตโนมัติสำหรับจุดนั้น ๆ บนคอนทอร์ โดยได้มีการใช้ความแตกต่างระหว่าง  $r_{in}$  และ  $r_{out}$  ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแสดงในรูปที่ 3.10 สำหรับออกแบบพารามิเตอร์ตัวนี้ ซึ่งมีชื่อเรียกว่าพารามิเตอร์สวิตซ์  $\alpha$  ดังแสดงในสมการที่ (3.15)

$$\alpha = \text{sign}[\beta \cdot \text{sign}(r_{in} - r_{out}) + 1] \quad (3.15)$$

โดยที่  $\text{sign}(\cdot)$  คือ ฟังก์ชันเครื่องหมาย (Sign Function) แสดงในสมการที่ (3.16) และ  $\beta$  คือ พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมาก มีชื่อเรียกว่าพารามิเตอร์ชนิดขอบ เนื่องจากใช้เป็นตัวในการเลือกชนิดขอบของวัตถุที่ต้องการ กล่าวคือ ถ้าเราต้องการแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นขอบบวกก็จะกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ +1 แต่ถ้าต้องการแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นขอบลบก็จะกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ -1

$$\text{sign}(z) = \begin{cases} +1 & \text{if } z > 0 \\ 0 & \text{if } z = 0 \\ -1 & \text{if } z < 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

พารามิเตอร์สวิตช์  $\alpha$  ในสมการที่ (3.15) จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น กล่าวคือ ในกรณีที่เส้นคั่นหาวงตัวอยู่บนขอบที่ต้องการ ค่า  $\alpha$  จะเท่ากับ 0 และถ้าเส้นคั่นหาวงตัวอยู่บนขอบที่ไม่ต้องการค่า  $\alpha$  จะเท่ากับ 1 และจากเงื่อนไขในการเปลี่ยนค่าของ  $\alpha$  นี้ รวมกับแรงที่ได้ออกแบบไว้ก่อนหน้าแล้วว่าจะใช้แรงใดในกรณีที่เส้นคั่นหาวงตัวอยู่บนขอบที่ต้องการและไม่ต้องการ ทำให้เราได้สมการของแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนจุดต่าง ๆ บนคอนทอร์  $F_{\text{SLRES}}$  แสดงในสมการที่ (3.17)

$$F_{\text{SLRES}} = F_{\text{SM}} + (1 - \alpha)F_{\text{LR}} + \alpha F_{\text{BL}} \quad (3.17)$$

โดยที่  $F_{\text{SM}}$  คือ แรงราบเรียบ  $F_{\text{LR}}$  คือ แรงบริเวณท้องถื่น  $F_{\text{BL}}$  คือ แรงบอบนูน และ  $\alpha$  คือ พารามิเตอร์สวิตช์

จากสมการที่ (3.17) จะเห็นได้ว่าในแต่ละรอบการเคลื่อนที่ของคอนทอร์  $F_{\text{LR}}$  และ  $F_{\text{BL}}$  จะถูกเลือกแรงใดแรงหนึ่งเท่านั้นสำหรับเส้นคั่นหาแต่ละเส้น โดยที่  $F_{\text{LR}}$  จะถูกเลือกใช้ก็ต่อเมื่อเส้นคั่นหาวงตัวอยู่บนชนิดขอบที่ต้องการ นั่นคือ ในกรณีที่ค่า  $\alpha$  เท่ากับ 0 และ  $F_{\text{BL}}$  จะถูกเลือกใช้เมื่อเส้นคั่นหาไม่ได้วางตัวอยู่บนชนิดขอบที่ต้องการ นั่นคือ ในกรณีที่ค่า  $\alpha$  เท่ากับ 1 และในการเลือกชนิดขอบที่ต้องการแบ่งส่วนนั้น สามารถเลือกได้โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ชนิดขอบ  $\beta$  ในสมการที่ (3.15) ถ้าต้องการแบ่งส่วนวัตถุชนิดขอบบวกทำได้โดยกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ +1 และถ้าต้องการแบ่งส่วนวัตถุชนิดขอบลบทำได้โดยกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ -1

## บทที่ 4

### การทดลอง

บทนี้เป็นการทดลองให้เห็นถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพของวิธี LRES ซึ่งเป็นวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบใหม่ที่น่าเสนอไว้ในบทที่ 3 โดยได้มีการเปรียบเทียบกับวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งแบบใช้ข้อเสนอขอบและแบบใช้ข้อเสนอขอบบริเวณประกอบไปด้วย 3 วิธีการด้วยกันมีดังต่อไปนี้

1. วิธี VFC [6] เป็นแอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ ซึ่งใช้สนามเวกเตอร์ในการชี้ทางให้กับคอนทัวร์เพื่อวิ่งไปยังขอบของวัตถุที่เราต้องการในภาพ
2. วิธี ACWE [22] เป็นแอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อเสนอขอบบริเวณแบบครอบคลุม ซึ่งใช้ข้อเสนอขอบบริเวณของทั้งภาพในการคำนวณแรงสำหรับขับเคลื่อนคอนทัวร์
3. วิธี LRAC [27] เป็นแอกทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อเสนอขอบบริเวณท้องถิ่น โดยในแต่ละจุดบนคอนทัวร์จะใช้ข้อเสนอขอบท้องถิ่นที่อยู่ภายในวงกลมของโคโรของมัน ซึ่งจุดศูนย์กลางของแต่ละวงกลมก็คือจุดบนคอนทัวร์

ได้มีการแบ่งการทดลองวิธี LRES ออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ ในหัวข้อแรกจะเป็นการทดลองโดยใช้ภาพที่สร้างขึ้นเอง (Synthetic Image) และภาพจริงทั่ว ๆ ไป (Real Scene Image) โดยจะแบ่งประเด็นในการทดลองออกเป็นประเด็นย่อย ๆ เช่น ทดลองเกี่ยวกับช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ การทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน การแบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบไม่ชัดเจน เวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ เป็นต้น ส่วนในหัวข้อที่สองจะเป็นการทดลองกับภาพจากฐานข้อมูล ซึ่งเป็นการทดลองในเชิงการประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งภาพจากฐานข้อมูลที่นำมาทดลอง ได้แก่ ภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR (Internet Brain Segmentation Repository) [38] และภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU (MultiMedia University) [39]

สำหรับหัวข้อสุดท้ายในบทนี้เป็นการทดลองให้เห็นถึงความสามารถของวิธีการที่ได้รับการพัฒนาต่อยอดมาจากวิธี LRES ได้แก่ วิธี MLRES ที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 3.2.1 ซึ่งมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ และวิธี SLRES ที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 3.2.2 ซึ่งมีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยใช้ชนิดขอบ

ในการทดลองทั้งหมด ภาพอินพุตที่ใช้มีขนาดเท่ากับ  $100 \times 100$  พิกเซล และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับแอกทิฟคอนทัวร์ของแต่ละวิธีการมีดังต่อไปนี้

- วิธี VFC ใช้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงราบเรียบเท่ากับ 0.5 ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงภายนอกเท่ากับ 1 และใช้ค่า  $\sigma$  เท่ากับ 1 สำหรับฟังก์ชันเกาส์เซียนในขั้นตอนการหาภาพขอบ

ซึ่งความเบลอของภาพอินพุตจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ตัวนี้ กล่าวคือ ถ้า  $\sigma$  มีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้ภาพอินพุตถูกทำให้เบลอมากขึ้นตามไปด้วย และจะทำให้ขอบที่ได้ในภาพขอบมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจากการทำให้ภาพอินพุตเบลอก่อนที่จะทำการหาภาพขอบมีข้อดี คือ สามารถบรรเทาสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ โดยจะสามารถบรรเทาได้มากขึ้นเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความมากน้อยของค่า  $\sigma$  ที่ใช้

- วิธี ACWE ใช้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงราบเรียบเท่ากับ 0.5 และค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงภายนอกเท่ากับ 1

- วิธี LRAC ใช้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงราบเรียบเท่ากับ 0.5 ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงภายนอกเท่ากับ 1 และคณะผู้นำเสนอวิธีการนี้ได้กำหนดให้ใช้ค่ารัศมีของวงกลมเท่ากับ  $1/10$  ของความกว้างของภาพอินพุต จึงทำให้ในการทดลองใช้ค่ารัศมีเท่ากับ 10 พิกเซล เนื่องจากภาพอินพุตมีความกว้างเท่ากับ 100 พิกเซล

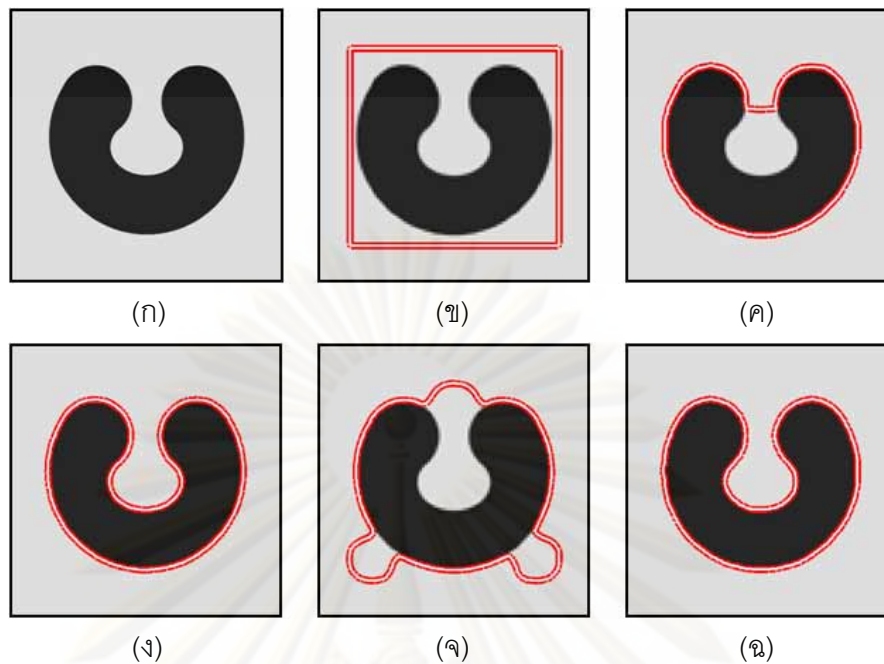
- วิธี LRES ที่นำเสนอ ใช้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงราบเรียบ  $\mu$  เท่ากับ 0.5 ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงภายนอก (แรงบริเวณท้องถื่น)  $\nu$  เท่ากับ 1 ใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน  $th$  เท่ากับ 0.1 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนในการยืดตัวของเส้นค้นหา ความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหา  $k_{start}$  เท่ากับ 11 พิกเซล (5 พิกเซลสำหรับแต่ละด้านของคอนทัวร์และ 1 พิกเซลสำหรับจุดบนคอนทัวร์) และค่าความยาวที่จะเพิ่มให้กับเส้นค้นหาในแต่ละครั้ง  $\eta$  เท่ากับ 4 พิกเซล (แต่ละเส้นค้นหาจะถูกยืดไปด้านละ 2 พิกเซล)

#### 4.1 ทดลองวิธี LRES กับภาพที่สร้างขึ้นเองและภาพจริงทั่ว ๆ ไป

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการแบ่งส่วนภาพของวิธี LRES เทียบกับวิธี VFC วิธี ACWE และ วิธี LRAC โดยใช้ภาพที่สร้างขึ้นเองและภาพจริงทั่ว ๆ ไป ซึ่งได้มีการทดลองในประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ

การทดลองช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุของเอ็กทิฟคอนทัวร์เป็นการทดสอบว่าคอนทัวร์มีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าถึงขอบของวัตถุได้มากน้อยเพียงใด เมื่อมีบางส่วนของคอนทัวร์วางตัวอยู่ไกลจากขอบที่แท้จริงของวัตถุ นอกจากนี้ยังเป็นการทดลองให้เห็นว่าคอนทัวร์ของวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาทดลองเปรียบเทียบนั้น มีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้ดีเพียงใด โดยเริ่มต้นการทดลองแรกกับภาพวัตถุรูปตัวยูแสดงในรูปที่ 4.1

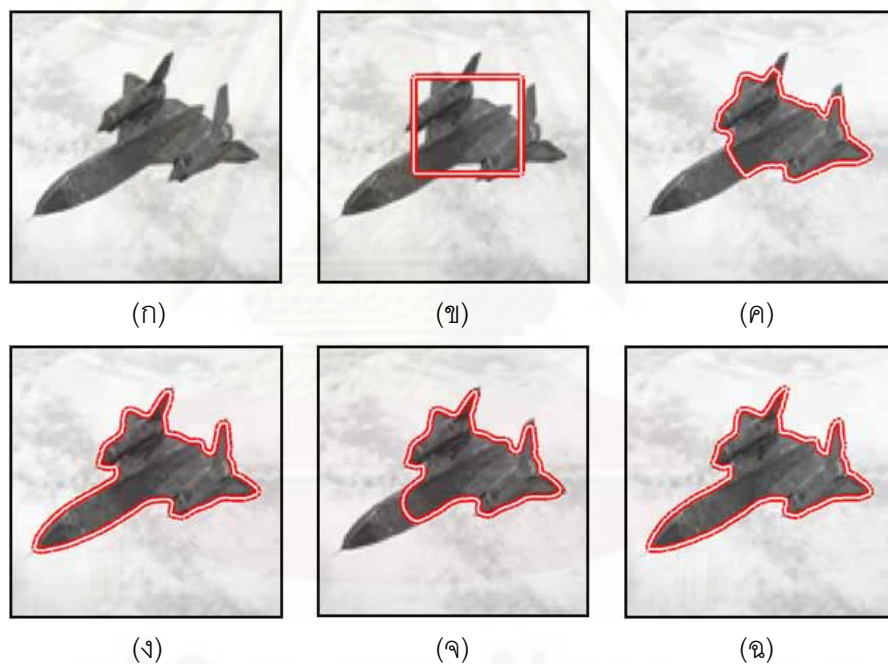


รูปที่ 4.1 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่มีอ่าวอยู่ตรงกลาง

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.1 เป็นการแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวยูที่มีอ่าวอยู่ตรงกลางแสดงในรูป (ก) คอนทัวร์เริ่มต้นถูกวางไว้ภายนอกวัตถุแสดงในรูป (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์กับก้นอ่าวของตัวยูค่อนข้างที่จะห่างไกลกัน และเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในสุดของก้นอ่าวได้ เนื่องจากวิธีการนี้เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์ ซึ่งภายในสนามเวกเตอร์ของวัตถุรูปตัวยูนี้จะเกิดจุดหยุดนิ่งขึ้นบริเวณตรงกลางอ่าว ทำให้ลูกศรที่อยู่ภายในอ่าวมีทิศทางชี้ออกไปด้านนอก ในขณะที่ลูกศรที่อยู่ภายนอกอ่าวมีทิศทางชี้เข้ามาด้านใน จึงทำให้เกิดการชี้ชนกันขึ้น ณ บริเวณคอคอดของตัวยู ซึ่งก็คือจุดอานม้า โดยจุดอานม้านี้จะทำตัวเปรียบเสมือนเป็นสิ่งกีดขวางที่ขวางกั้นไม่ให้คอนทัวร์เคลื่อนที่เข้าไปยังก้นอ่าวได้ ต่อมาเมื่อใช้วิธี ACWE ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ง) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่เป็นก้นอ่าวของตัวยูได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากวิธีการนี้เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม ซึ่งคอนทัวร์จะค่อยๆเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปจนกระทั่งค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์มีความแตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ เมื่อคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุตัวยูที่มีเฉดสีเข้มแยกจากส่วนที่เป็นพื้นหลังที่มีเฉดสีอ่อนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น คอนทัวร์จึงมีความสามารถที่จะเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าของวัตถุได้โดยไม่ติดขัดกับปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่งเหมือนกับวิธี VFC และรูปถัดมา คือ ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC แสดงในรูป (จ) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยัง

ส่วนโค้งเว้าของตัวยูได้ เนื่องจากช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุของวิธีการนี้จะขึ้นอยู่กับค่ารัศมีของวงกลมของทุกจุดบนคอนทัวร์ ซึ่งเป็นวงกลมที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นของภาพที่ใช้ในการคำนวณแรงสำหรับขับเคลื่อนจุดบนคอนทัวร์ โดยที่ค่ารัศมีของวงกลมนี้มีขนาดที่เล็กเกินไปเมื่อเทียบกับระยะห่างจากคอนทัวร์ไปจนถึงก้นอ่าวของตัวยู จึงทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนลึกสุดของอ่าวได้ ส่งผลให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่สมบูรณ์ และในรูปสุดท้ายเป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังก้นอ่าวของตัวยูได้ เนื่องจากวิธี LRES ใช้เส้นค้นหาที่สามารถยืดตัวได้จึงทำให้จุดต่าง ๆ บนคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าถึงขอบของวัตถุได้ถึงแม้ว่าขอบของวัตถุนั้นจะอยู่ไกลจากคอนทัวร์ก็ตาม จึงทำให้วิธีการที่น่าเสนอสามารถแบ่งส่วนวัตถุที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ได้ และถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับวิธี LRAC ซึ่งเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นเหมือนกันกับวิธี LRES จะเห็นได้ว่าวิธี LRES มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด



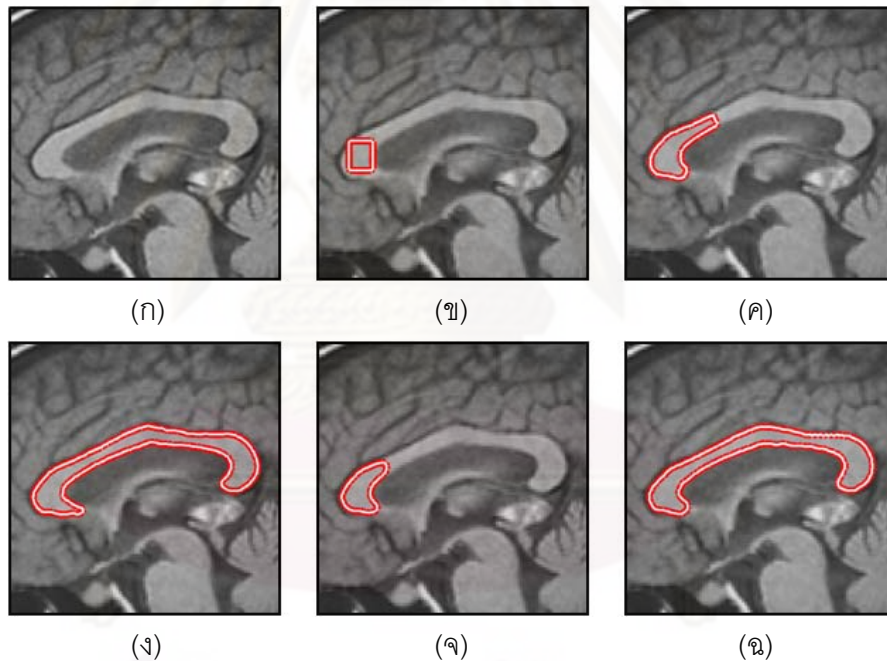
รูปที่ 4.2 การแบ่งส่วนภาพเครื่องบินขับไล่

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.2 เป็นการแบ่งส่วนภาพเครื่องบินขับไล่ดังแสดงในรูป (ก) โดยคอนทัวร์เริ่มต้นได้ถูกวางไว้บริเวณกลางลำของเครื่องบินแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปถึงส่วนหน้าสุดของเครื่องบินได้ เนื่องจากในกรณีนี้เกิดจุดหยุดนิ่งขึ้นบริเวณส่วนกลางลำจึงขัดขวางการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ แต่สำหรับผล



การแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี ACWE ดังแสดงในรูป (ง) จะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนภาพเครื่องบินที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากลำตัวของเครื่องบินมีเฉดสีเดียวกันและมีความชัดเจนมากเมื่อเทียบกับพื้นหลังที่เป็นท้องฟ้า จึงทำให้เมื่อแบ่งส่วนภาพโดยใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยของทั้งภาพ ส่งผลให้คอนทราสต์สามารถแยกแยะตัววัตถุออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC ดังแสดงในรูป (จ) พบว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ด้านหลังเครื่องบินได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามคอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนหน้าสุดของเครื่องบินได้ เนื่องจากเป็นส่วนที่ไกลจากคอนทราสต์เริ่มต้นรวมทั้งค่ารัศมีวงกลมของวิธี LRAC ก็เล็กเกินไป ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องบินได้อย่างครบถ้วน ถึงแม้ว่าคอนทราสต์เริ่มต้นจะอยู่ไกลจากส่วนหัวของเครื่องบินก็ตาม เนื่องจากเส้นค้นหาของเรานั้นสามารถยืดตัวได้จึงทำให้คอนทราสต์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง

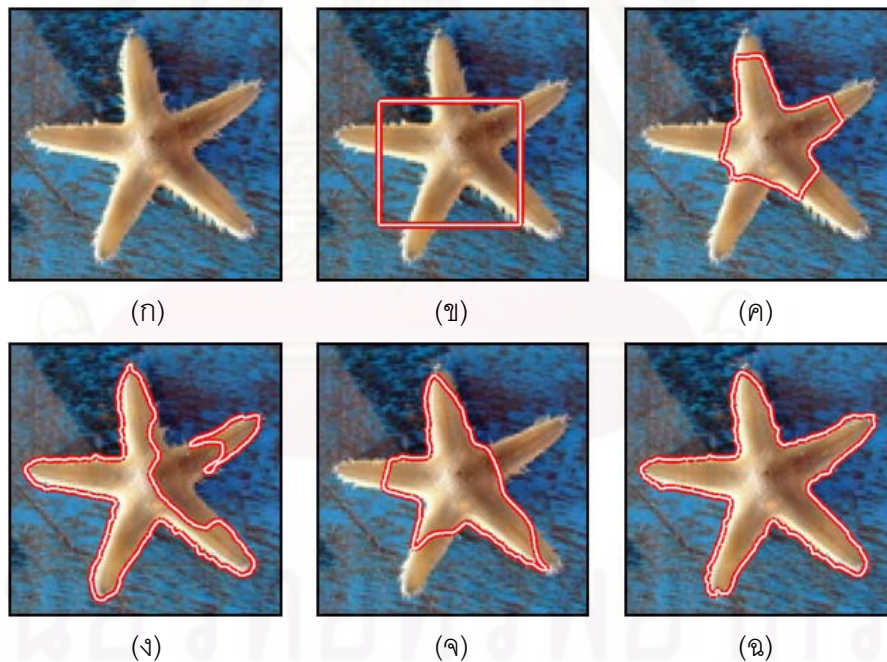


รูปที่ 4.3 การแบ่งส่วน Corpus Callosum ในภาพสมอง

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.3 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพสมอง โดยวัตถุที่ต้องการ คือ Corpus Callosum ที่อยู่ตรงกลางภาพดังแสดงในรูป (ก) คอนทราสต์เริ่มต้นได้ถูกวางไว้บริเวณส่วนท้ายสุดของ Corpus Callosum ดังแสดงในรูป (ข) และจากวัตถุที่ต้องการนี้จะเห็นได้ว่าคอนทราสต์จะต้องเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ค่อนข้างไกลจนกว่าจะไปถึงส่วนหัวสุดของ Corpus Callosum ได้ ผลการแบ่งส่วนภาพ

ที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้เพียงเกือบครึ่งทางเท่านั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนขาวสุดของวัตถุได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดจุดอานม้าขึ้นระหว่างทางที่คอนทราสต์เคลื่อนที่ผ่าน จึงทำให้คอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดอานม้านี้ไปได้ และในรูป (ง) เป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE โดยจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปจนสุดได้สำเร็จ ซึ่งวิธีการนี้จะพยายามรวบรวมบริเวณที่มีเฉดสีเดียวกันกับค่าความเข้มเฉลี่ยเริ่มต้นที่อยู่ภายในคอนทราสต์ให้เป็นวัตถุเดียวกัน กล่าวคือ คอนทราสต์จะค่อย ๆ เคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ ตามบริเวณของภาพที่มีเฉดสีเดียวกันที่อยู่ติดกันจนหมด จึงทำให้วิธี ACWE สามารถแบ่งส่วน Corpus Callosum ที่ต้องการนี้ได้สำเร็จ สำหรับผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC แสดงในรูป (จ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปด้านขาวสุดของวัตถุได้ เนื่องจากวิธี LRAC มีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าถึงขอบของวัตถุที่จำกัด อย่างไรก็ตามจากการที่เราใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถื่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้นั้น ส่งผลให้วิธี LRES สามารถเคลื่อนที่ไปจนสุดขอบของ Corpus Callosum ได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้ผลการแบ่งส่วนภาพตามที่ต้องการดังแสดงในรูป (ฉ)



รูปที่ 4.4 การแบ่งส่วนภาพปลาตา

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้

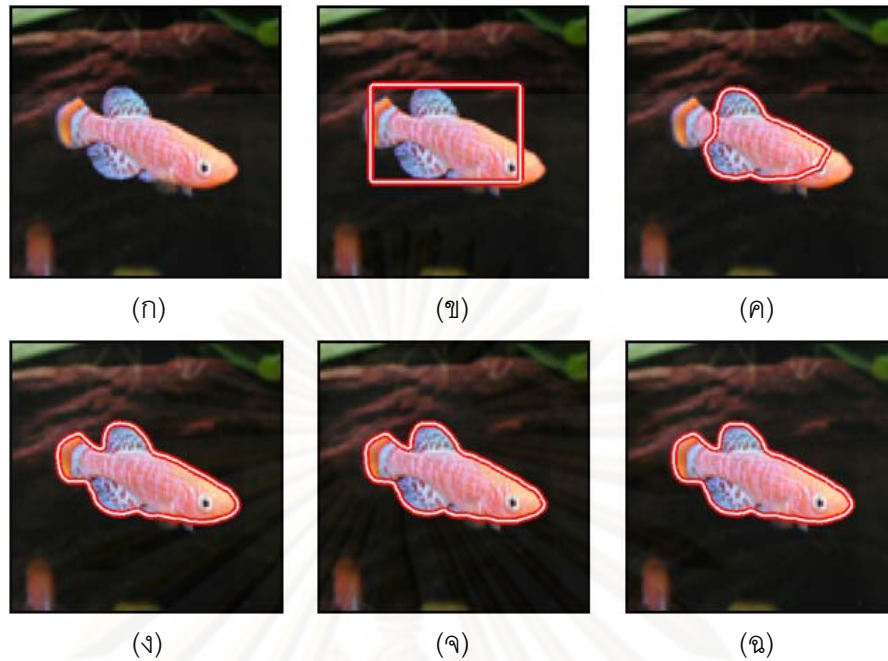
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.4 เป็นการต้องการแบ่งส่วนภาพปลาตาว ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวปลาตาวที่ต้องการนี้มี ส่วนโค้งเว้าที่ค่อนข้างมากดังแสดงในรูป (ก) คอนทัวร์เริ่มต้นได้ถูกวางไว้บริเวณตรงกลางภาพดัง แสดงในรูป (ข) และจากผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี VFC ดังแสดงในรูป (ค) จะเห็นได้ว่า คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดอานม้าที่เกิดขึ้นหลายบริเวณในภาพ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถแบ่ง ส่วนตัวปลาตาวได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE ดังแสดงในรูป (ง) พบว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังแฉกต่าง ๆ ของตัวปลาตาวได้ แต่ อย่างไรก็ตามในส่วนบริเวณตรงกลางตัวปลาตาวที่เอียงไปทางด้านขวาเล็กน้อย คอนทัวร์ไม่ สามารถครอบคลุมบริเวณส่วนนี้ได้ เนื่องจากในบริเวณนี้มีเขตสีที่เข้มเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ของตัวปลาตาว จึงทำให้คอนทัวร์ของวิธี ACWE เหนารวมส่วนนี้เป็นพื้นหลัง ซึ่งมีเขตสีที่เข้มเมื่อ เทียบกับเขตสีโดยรวมของตัวปลาตาว ซึ่งในกรณีนี้อาจจะเรียกได้ว่าตัวปลาตาวมีลักษณะที่เป็น เนื้อผสม (ซึ่งได้มีการทดลองในประเด็นเนื้อผสมนี้อย่างชัดเจนในหัวข้อ ที่ 4.1.4) และผลการแบ่ง ส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC แสดงในรูป (จ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์มีความสามารถในการ เคลื่อนที่ไปยังแฉกต่าง ๆ ของตัวปลาตาวได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ สมบูรณ์ตามที่ต้องการ และเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES พบว่าคอนทัวร์ สามารถเคลื่อนที่ไปยังแฉกต่าง ๆ ของตัวปลาตาวได้ครบทุกแฉกดังแสดงในรูป (ฉ) เนื่องจากวิธี LRES มีเส้นค้นหาที่ยืดตัวได้ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนตัวปลาตาวที่ต้องการได้อย่างครบถ้วน สมบูรณ์

จากการทดลองในหัวข้อนี้สามารถสรุปได้ว่าวิธี ACWE ซึ่งเป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ ข้อเสนอเทศครอบคลุม จะมีช่วงการเคลื่อนที่ในการเข้าหาวัตถุที่กว้างมากกว่าวิธี VFC และ วิธี LRAC ซึ่งวิธีการทั้งสองนี้เป็นแบบใช้ข้อเสนอเทศท้องถิ่น แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธี LRES ที่ นำเสนอจะเป็นแบบใช้ข้อเสนอเทศท้องถิ่นด้วยเหมือนกัน แต่ในแต่ละจุดของคอนทัวร์นั้นจะมีเส้น ค้นหาที่ยืดตัวได้ประจำการอยู่ จึงทำให้คอนทัวร์ของวิธี LRES มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง ส่งผลให้ คอนทัวร์ของวิธี LRES มีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุไปเป็น อย่างดี

#### 4.1.2 จุดจมและขอบที่ไม่ชัดเจน

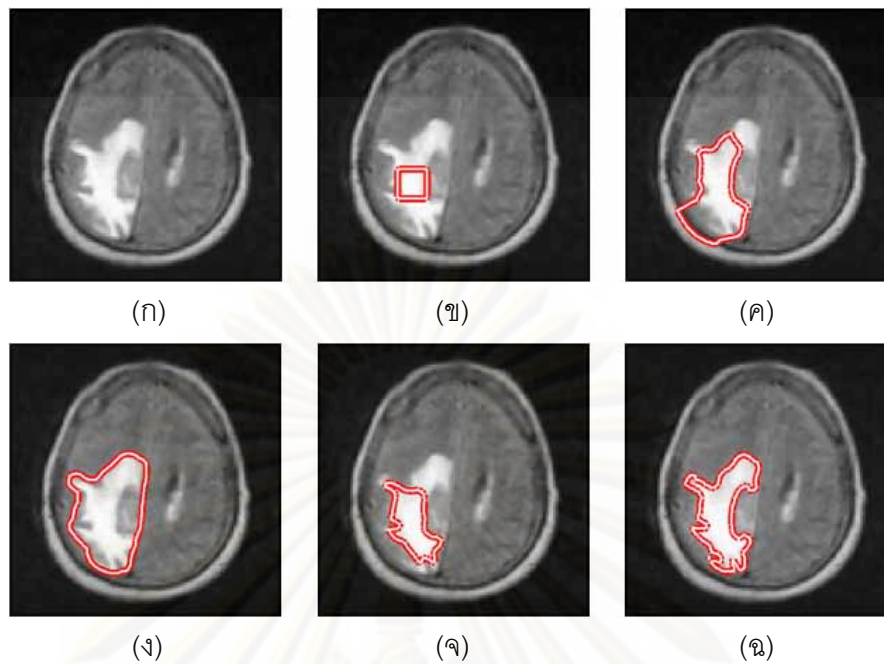
จุดจม (Sink Point) และขอบที่ไม่ชัดเจน (Weak Edge) ของวัตถุเป็นปัญหาที่สำคัญของ แอ็กทิฟคอนทัวร์ในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ ซึ่งในการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าคอนทัวร์ของ วิธีการต่าง ๆ นั้น มีความสามารถในการทนทานต่อจุดจมและขอบที่ไม่ชัดเจนได้ดีเพียงใด



รูปที่ 4.5 การแบ่งส่วนภาพปลา

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.5 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพปลาดังแสดงในรูป (ก) โดยคอนทัวร์เริ่มต้นได้ถูกวางไว้บริเวณกลางภาพคร่อมตัวปลาที่ต้องการแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนตัวปลาได้ครบถ้วนตามที่ต้องการ เนื่องจากมีคอนทัวร์บางส่วนวิ่งไปติดกับตาปลา แทนที่จะไปติดกับขอบเขตของตัวปลาที่ต้องการ ซึ่งตาปลาเนื้อที่เป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้คอนทัวร์เข้าใจผิด เนื่องจากในภาพขอบบริเวณที่เป็นตาปลาจะมีค่าเกรเดียนต์ที่สูงมากและเมื่อนำภาพขอบไปคำนวณสนามเวกเตอร์ จะทำให้ลูกศรในบริเวณที่ใกล้เคียงกับตาปลามีทิศทางชี้ไปยังตาปลาแทนที่จะชี้ไปยังขอบของตัวปลา เรียกจุดนี้ว่า จุดจม ส่งผลให้คอนทัวร์ถูกดึงดูดเข้าไปในบริเวณนั้น จึงทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยึดติดกับขอบของตัวปลาที่ต้องการได้ แต่สำหรับวิธีการแบบใช้ข้อมูลเขตบริเวณแล้ว ตาปลาจะถูกมองว่าเป็นเพียงเสียงส่วนน้อยที่ไม่อิทธิพลอะไรมากมายในภาพ จึงทำให้วิธีการ ACWE วิธี LRAC และวิธี LRES สามารถแบ่งส่วนภาพปลาได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ดังแสดงในรูป (ง) (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ และจากการทดลองนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าปัญหาจุดจมเป็นปัญหาที่หลีกเลี่ยงได้ยากสำหรับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้สนามเวกเตอร์ แต่สำหรับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อมูลเขตบริเวณแล้วจะมีความทนทานกับจุดจมได้ดีมากกว่า

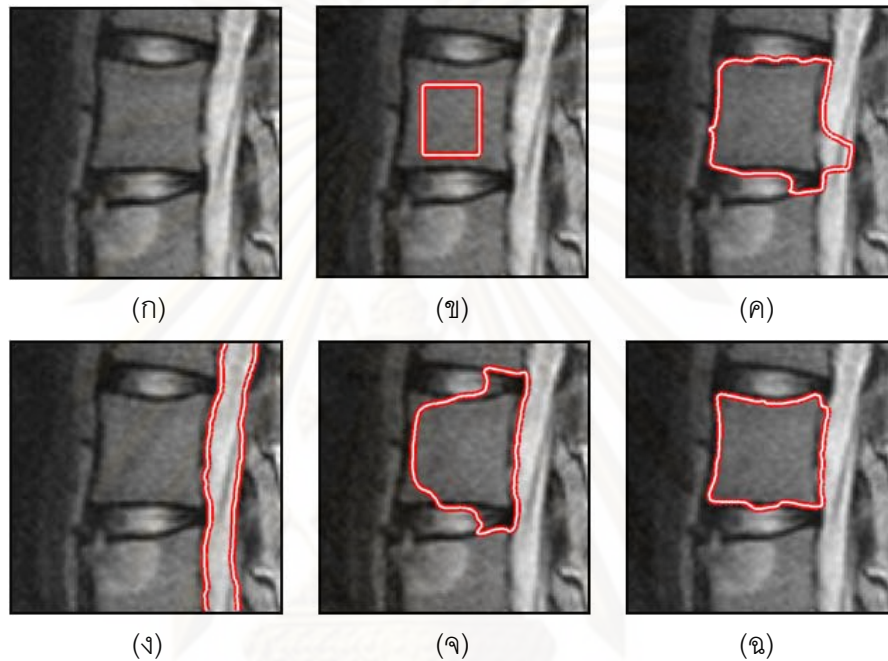


รูปที่ 4.6 การแบ่งส่วนเนื้องอกในภาพสมอง

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.6 เป็นการแบ่งส่วนเนื้องอก (Tumor) ที่อยู่ในภาพสมอง ซึ่งจากรูป (ก) จะเห็นได้ว่าวัตถุที่ต้องการมีขอบเขตที่ไม่ชัดเจน และเมื่อวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ในบริเวณเนื้องอกที่ต้องการ ดังแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ยังขอบเขตของเนื้องอกได้อย่างถูกต้อง โดยคอนทัวร์ที่อยู่ส่วนล่างเกิดการรั่วไหลไปยังขอบของกะโหลกศีรษะแทนที่จะเกาะติดกับขอบเขตของเนื้องอกที่ต้องการ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเนื้องอก จึงทำให้ลูกศรในสนามเวกเตอร์ในบริเวณนั้นมีทิศทางชี้ไปยังขอบเขตอื่นที่มีความชัดเจนมากกว่า นั่นคือ ขอบของกะโหลกศีรษะ และนอกจากนี้ในบริเวณส่วนบนของเนื้องอก คอนทัวร์ก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงสุดขอบของเนื้องอกได้ เนื่องจากเกิดจุดอานม้าขึ้นที่บริเวณนี้จึงทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านไปได้ และเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE ดังแสดงในรูป (ง) จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์นั้นเหมารวมส่วนที่เป็นเนื้องอกกับบริเวณใกล้เคียงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้องอกนี้มีเฉดสีที่อ่อนซึ่งใกล้เคียงกับความเข้มเฉลี่ยของเนื้องอกมากกว่าความเข้มเฉลี่ยของพื้นหลัง จึงทำให้คอนทัวร์ของวิธี ACWE ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ รูปถัดมาเป็นผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธี LRAC ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ จึงส่งผลให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงสุดขอบด้านบนของเนื้องอกได้ ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่สมบูรณ์ดังแสดงในรูป (จ) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการ LRES ที่นำเสนอ

สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพเป็นที่น่าพอใจอย่างมาก เนื่องจากคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงขอบเขตต่าง ๆ ของเนื้องอกได้เป็นอย่างดี เพราะวิธี LRES นั้นมีเส้นค้นหาที่ยืดตัวได้ และนอกจากนี้การใช้ข้อเสนอแนะบริเวณท้องถิ่นก็ยังส่งผลทำให้คอนทราสต์ไม่เหมารวมบริเวณที่มีเฉดสีอ่อนที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้องอกติดมาด้วย จึงทำให้ได้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้องอกที่ต้องการออกมาได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.7 การแบ่งส่วนข้อกระดูกสันหลัง

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

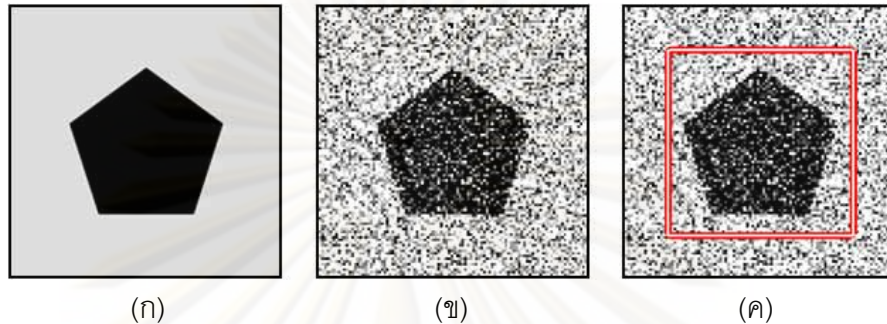
รูปที่ 4.7 เป็นการแบ่งส่วนข้อกระดูกสันหลัง ซึ่งในการทดลองนี้เราต้องการแบ่งส่วนภาพเฉพาะข้อกระดูกที่อยู่ตรงกลางภาพเพียงอันเดียวเท่านั้นดังแสดงในรูป (ก) จึงได้มีการวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ในบริเวณตรงกลางข้อกระดูกที่ต้องการแสดงในรูป (ข) และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากการใช้วิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยรวมแล้วคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของข้อกระดูกได้ แต่ยังมีบางส่วนของคอนทราสต์เกิดการรั่วไหลออกไปภายนอกขอบเขตของข้อกระดูกเนื่องจากในบริเวณที่คอนทราสต์รั่วไหลนั้นมีขอบเขตที่ไม่ชัดเจน จึงทำให้คอนทราสต์เคลื่อนที่เลยไปติดกับขอบที่มีความชัดเจนมากกว่า ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในบริเวณด้านข้างขวา โดยคอนทราสต์เคลื่อนที่ไปติดกับขอบด้านบนของข้อกระดูกที่อยู่ถัดมาด้านล่าง และยังมีบางส่วนของคอนทราสต์เคลื่อนที่ไปติดกับอวัยวะข้างเคียงที่มีขอบที่ชัดเจนมากกว่าอีกด้วย ถัดมาในรูป (ง) เป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์ไม่สามารถแบ่งส่วนข้อกระดูกที่ต้องการได้ แต่ได้แบ่งส่วน

อวัยวะที่อยู่ข้างเคียงแทน ซึ่งมีสาเหตุมาจากในขณะที่คอนทอร์กำลังเคลื่อนที่เพื่อวิ่งไปยังขอบเขตของข้อกระดูกที่ต้องการนั้น เมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่มาถึงบริเวณที่มีขอบอ่อนมาก ๆ (จากรูปบริเวณที่มีขอบอ่อนมาก ๆ จะอยู่ทางด้านขวาของข้อกระดูกที่เอียงมาทางด้านล่าง) จึงทำให้คอนทอร์เริ่มเกิดการรั่วไหลเข้าไปในอวัยวะข้างเคียงที่มีเฉดสีอ่อน และเมื่อคอนทอร์เริ่มรั่วไหลเข้าไปมากขึ้น ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในคอนทอร์ก็เริ่มที่จะเป็นเฉดสีอ่อน จึงทำให้คอนทอร์เคลื่อนที่ออกมาจากข้อกระดูกจนหมด เพื่อวิ่งไปยังอวัยวะข้างเคียงที่มีเฉดสีอ่อนอย่างเต็มตัว เนื่องจากเฉดสีโดยรวมของข้อกระดูกนั้นมีความเข้มที่ใกล้เคียงกับพื้นหลังมากกว่าเมื่อเทียบกับค่าความเข้มเฉลี่ย ณ ปัจจุบันที่อยู่ภายในคอนทอร์ จึงทำให้คอนทอร์ไม่สามารถแบ่งส่วนข้อกระดูกที่ต้องการได้ และยังให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ผิดวัตถุประสงค์ไปอย่างมากอีกด้วย สำหรับในรูป (จ) เป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของข้อกระดูกที่ต้องการได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีบางส่วนของคอนทอร์เกิดการรั่วไหลออกไปบริเวณด้านบนและด้านล่างของข้อกระดูก ซึ่งมีสาเหตุมาจากวิธี LRAC นี้ใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นที่อยู่ในวงกลมซึ่งเมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปยังขอบของข้อกระดูกแล้ว วงกลมของจุดบนคอนทอร์ก็จะครอบคลุมบริเวณบางส่วนของข้อกระดูกอื่น ๆ ที่ติดกับข้อกระดูกที่ต้องการ (ข้อกระดูกที่อยู่ติดกับด้านบนและด้านล่างของข้อกระดูกที่ต้องการ) จึงทำให้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ในวงกลมเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าจนทำให้คอนทอร์เกิดการรั่วไหลไปยังขอบเขตของข้อกระดูกข้างเคียงได้ แต่สำหรับวิธี LRES นั้นสามารถแบ่งส่วนภาพข้อกระดูกนี้ได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ โดยคอนทอร์ไม่มีการรั่วไหลออกไปภายนอกขอบเขตของข้อกระดูก เนื่องจากวิธีการเส้นค้นหาที่มีความสามารถในการปรับยืดตัวได้ จึงทำให้เมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปจนถึงขอบเขตของข้อกระดูกที่ต้องการแล้ว การยืดตัวของเส้นค้นหาก็จะไม่มีค่าเป็นอีกต่อไป กล่าวคือ เส้นค้นหาจะมีความยาวที่เพียงพอที่จะวางตัวทอดทับอยู่เฉพาะขอบที่เกาะติดได้แล้วเท่านั้น จึงทำให้ขอบของข้อกระดูกที่อยู่ใกล้เคียงจะไม่มีผลกระทบกับข้อสนเทศที่อยู่บนเส้นค้นหา จึงทำให้คอนทอร์ไม่เกิดการรั่วไหลไปยังส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการดังแสดงในรูป (ด)

จากการทดลองข้างต้นในหัวข้อย่อนี้สามารถสรุปได้ว่าวิธี LRES ที่นำเสนอมีความทนทนต่อจุดจมนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากวิธีการของเราใช้ข้อสนเทศบริเวณและนอกจากนี้ยังมีความสามารถเกาะติดกับขอบของวัตถุที่ไม่ชัดเจนได้ดีอีกด้วย เนื่องจากวิธี LRES ใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่เฉพาะบนเส้นค้นหาที่ยืดตัวได้ จึงทำให้ค่าความเข้มในบริเวณอื่น ๆ ไม่รบกวนการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ ส่งผลให้คอนทอร์ไม่รั่วไหลไปยังบริเวณข้างเคียงที่ไม่ต้องการเหมือนกับวิธีการอื่น ๆ

#### 4.1.3 การทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

สัญญาณรบกวนเป็นอีกหนึ่งอุปสรรคสำคัญในการเคลื่อนที่ของแอ็กทิฟคอนทัวร์ ซึ่งในการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าคอนทัวร์ของวิธีการต่าง ๆ นั้น มีความสามารถในการทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ดีเพียงใด



รูปที่ 4.8 วัตถุรูปห้าเหลี่ยมที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

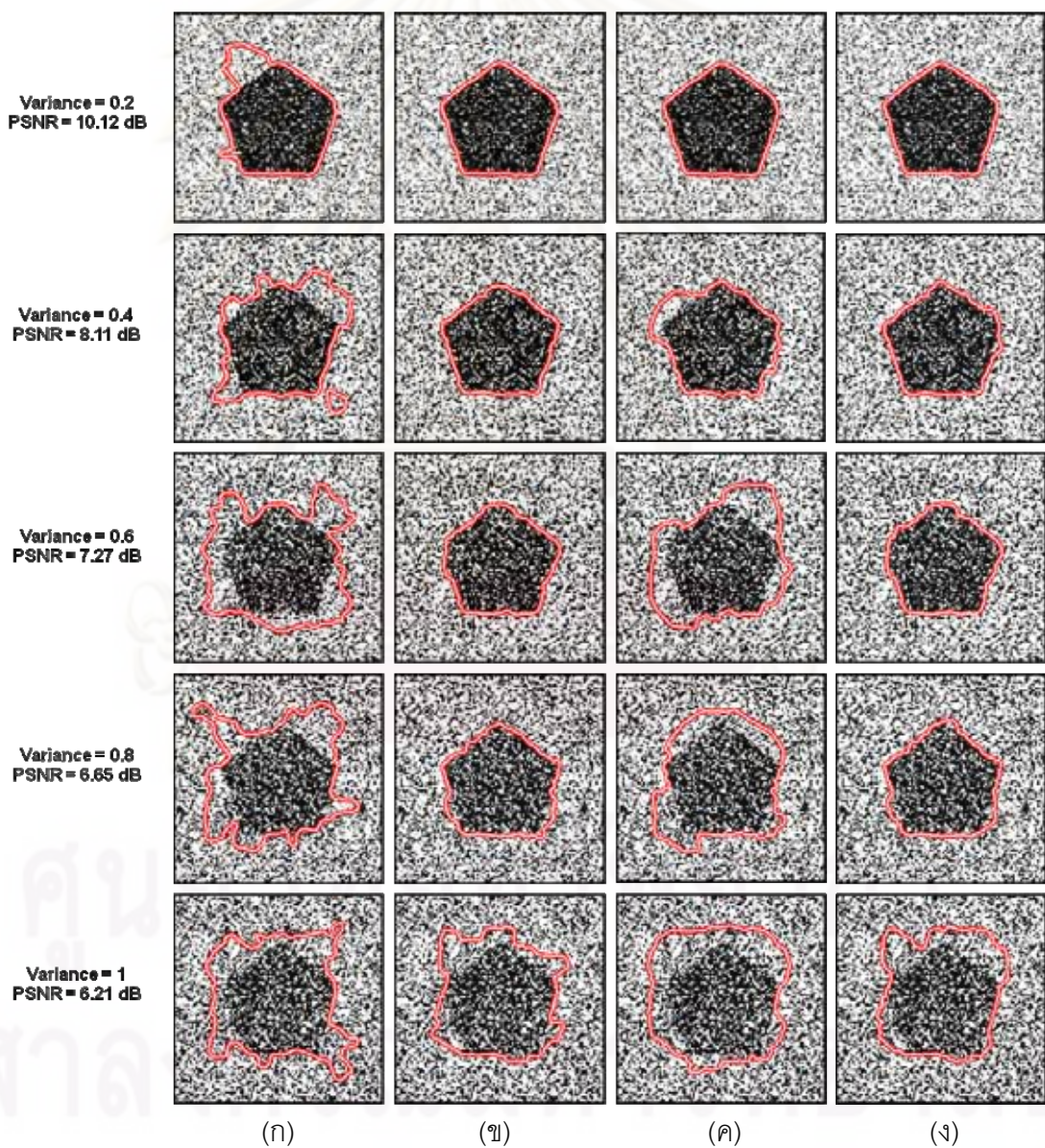
(ก) ภาพอินพุตต้นแบบ (ข) ภาพอินพุตที่ใส่สัญญาณรบกวน (ค) คอนทัวร์เริ่มต้นที่ใช้

รูปที่ 4.8 (ก) เป็นภาพวัตถุรูปห้าเหลี่ยมที่ยังไม่ได้ใส่สัญญาณรบกวน รูป (ข) เป็นตัวอย่างภาพวัตถุรูปห้าเหลี่ยมที่ได้มีการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน โดยเราได้ใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และใช้ค่าความแปรปรวนที่แตกต่างกัน 5 แบบดังแสดงในรูปที่ 4.9 ได้แก่ 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1 ส่งผลให้ภาพต่าง ๆ ที่ได้นั้นมีค่า PSNR เท่ากับ 10.12 dB 8.11 dB 7.27 dB 6.65 dB และ 6.21 dB ตามลำดับ โดยในการทดลองได้มีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ค)

ในรูปที่ 4.9 (ก) จะเห็นได้ว่าวิธี VFC สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปห้าเหลี่ยมได้เกือบสมบูรณ์ในกรณีที่ภาพมีค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.2 แต่เมื่อค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดความวุ่นวายในสนามเวกเตอร์มากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับสัญญาณรบกวน ส่งผลให้วิธี VFC ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้อง ผลที่ได้จากวิธี ACWE จะเห็นว่าคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุห้าเหลี่ยมได้อย่างถูกต้องตั้งแต่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.2 ถึง 0.8 แต่ในกรณีที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์จะไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุได้เนื่องจากสัญญาณรบกวนนั้นมากเกินไป ซึ่งทำให้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ไม่สามารถนำมาใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างวัตถุกับพื้นหลังได้ และเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC พบว่าคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุนี้ได้ถูกต้องเมื่อค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.2 แต่เมื่อค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.4 ถึง 1 คอนทัวร์ของวิธี LRAC จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุได้อย่างสมบูรณ์ และในคอลัมน์สุดท้ายเป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES ที่



นำเสนอ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตั้งแต่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.2 ถึง 0.8 คอนทัวร์จะสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุรูปห้าเหลี่ยมได้ แต่เมื่อค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 คอนทัวร์จะไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุห้าเหลี่ยมได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากสัญญาณรบกวนมีความหนาแน่นมากเกินไป จึงทำให้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่บนเส้นคั่นหา นั้นไม่สามารถบ่งชี้ขอบของวัตถุได้ ดังนั้น จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าวิธี LRES ที่นำเสนอจะเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น แต่วิธีการของเรานั้นมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ทัดเทียมกับวิธี ACWE ซึ่งเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม และยังมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ดีกว่าวิธี VFC และ วิธี LRAC อีกด้วย

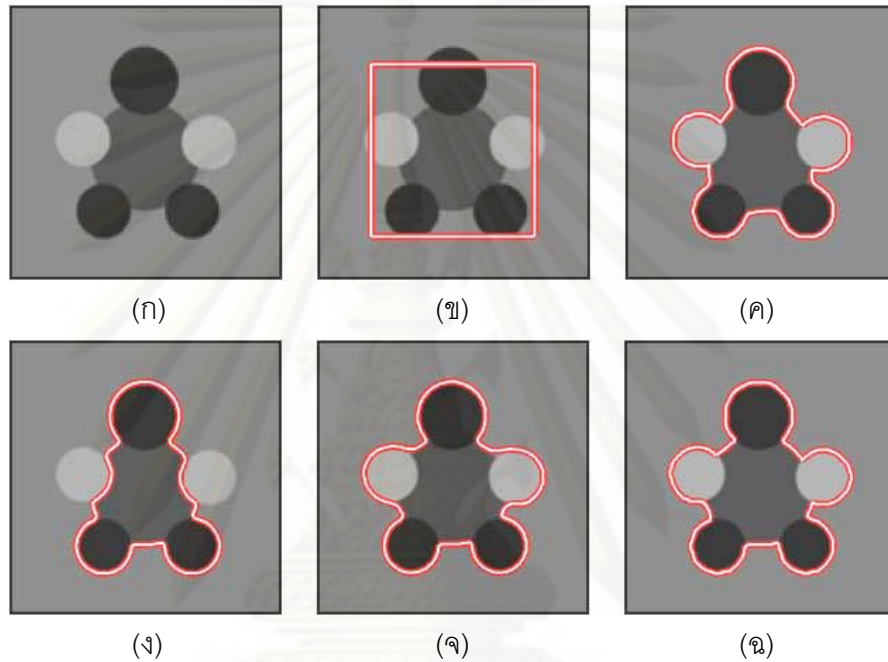


รูปที่ 4.9 การแบ่งส่วนภาพวัตถุห้าเหลี่ยมที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้ (ก) วิธี VFC (ข) วิธี ACWE (ค) วิธี LRAC และ (ง) วิธี LRES

#### 4.1.4 ภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสม

ความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสมนั้น เป็นคุณสมบัติสำคัญที่แอกทิฟคอนทัวร์ควรมี เนื่องจากภาพส่วนใหญ่ในความเป็นจริงแล้ว วัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนหรือพื้นหลังมักจะประกอบขึ้นจากหลายเฉดสี ซึ่งการทดลองในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นว่าวิธีการแอกทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพเนื้อผสมได้เป็นอย่างไรบ้าง

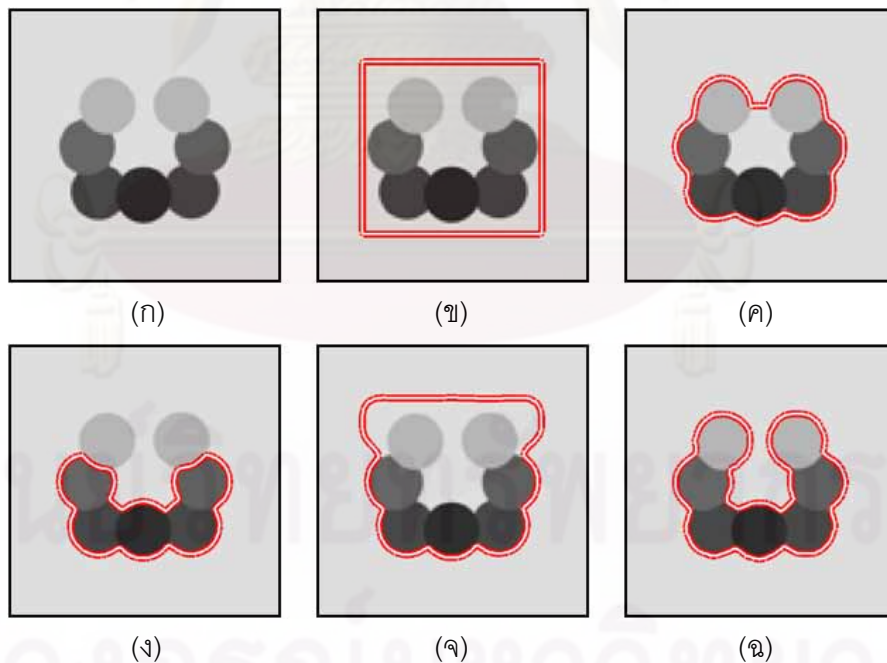


รูปที่ 4.10 การแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมที่มีรูปร่างคล้ายเต่า

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.10 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมดังแสดงในรูป (ก) ซึ่งวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนนี้ประกอบขึ้นจากวงกลมที่มีหลายเฉดสีวางตัวเป็นกลุ่มและมีรูปร่างคล้ายเต่า โดยคอนทัวร์เริ่มต้นได้ถูกวางคร่อมตัววัตถุตรงบริเวณกลางภาพแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปเกาะติดกับขอบของวัตถุที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากขอบของวัตถุนี้มีลักษณะที่ชัดเจน จึงทำให้เมื่อคำนวณหาสนามเวกเตอร์ ลูกศรที่อยู่บริเวณภายนอกวัตถุแล้วแต่มีทิศทางที่ชี้ไปยังขอบของวัตถุ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้ถึงแม้ว่าจะมีหลายเฉดสีก็ตาม ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE แสดงในรูป (ง) โดยจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปเต่าที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ครบถ้วน เนื่องจากมีบางส่วนของวัตถุได้ถูกมองข้ามไป นั่นคือ

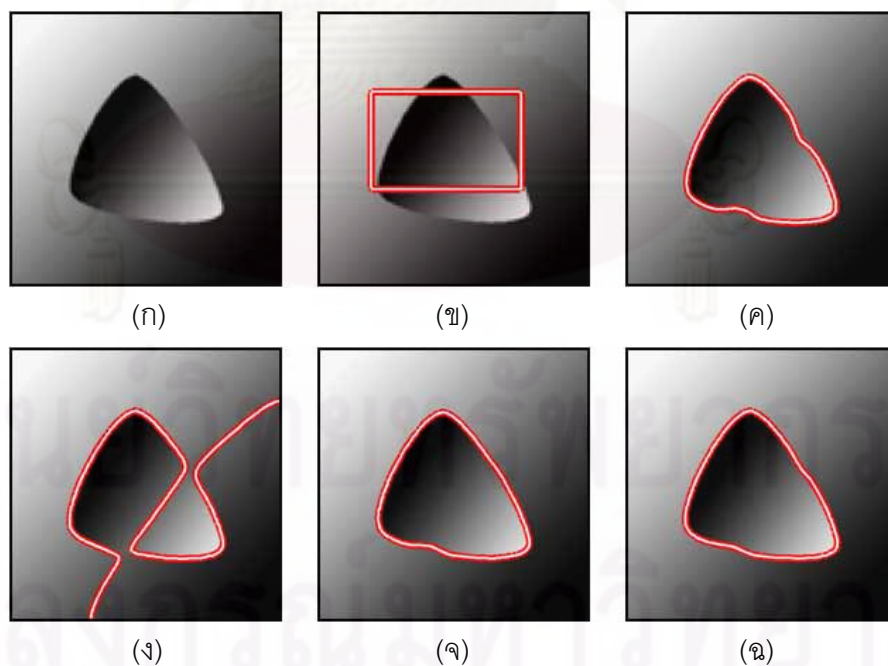
ส่วนที่เป็นวงกลมเฉดสีอ่อนที่อยู่ทางด้านซ้ายและขวาของตัวเต่า สาเหตุที่วงกลมเฉดสีอ่อนทั้งสองนี้ถูกละเลยเนื่องจากวิธี ACWE เป็นวิธีการแบบใช้ข้อเสนอแนะขอบเขตของทั้งภาพ โดยจะแบ่งภาพออกเป็นสองบริเวณที่มีค่าความเข้มเฉลี่ยแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความใกล้เคียงของเฉดสีแล้วพบว่าวงกลมเฉดสีอ่อนทั้งสองนั้นมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกับพื้นหลังมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของตัวเต่า จึงทำให้คอนทราสต์เหมารวมวงกลมสีอ่อนทั้งสองนั้นเป็นพื้นหลัง ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC พบว่าคอนทราสต์สามารถเกาะติดกับขอบของวัตถุที่ต้องการได้เป็นอย่างดี เนื่องจากวิธีการนี้ได้ใช้ข้อเสนอแนะขอบเขตท้องถื่น จึงทำให้คอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นเนื้อผสมได้ โดยในแต่ละส่วนของขอบของวัตถุจะถูกพิจารณาแยกกัน กล่าวคือ แต่ละจุดบนคอนทราสต์จะมีการพิจารณาไปตามข้อเสนอแนะขอบเขตท้องถื่นของจุดใดจุดหนึ่งไม่ได้ใช้ข้อเสนอแนะขอบเขตรวมของทั้งภาพ จึงส่งผลให้ถึงแม้ว่าขอบเขตของวัตถุจะมีเฉดสีที่แตกต่างกัน วิธีการนี้ก็ยังคงสามารถแบ่งส่วนภาพได้ครบถ้วนสมบูรณ์ตามที่ต้องการ และสุดท้ายเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES ที่นำเสนอ จะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนตัวเต่าได้อย่างถูกต้องเช่นกัน เนื่องจากวิธี LRES เป็นวิธีการแบบใช้ข้อเสนอแนะขอบเขตท้องถื่น ซึ่งในแต่ละจุดบนคอนทราสต์จะพิจารณาในการหาขอบโดยใช้ข้อเสนอแนะขอบเขตที่อยู่บนเส้นค้นหาของใครของมัน จึงทำให้คอนทราสต์สามารถเกาะติดกับขอบของวัตถุที่มีเฉดสีแตกต่างกันได้



รูปที่ 4.11 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปตัวเต่าที่เป็นเนื้อผสม

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

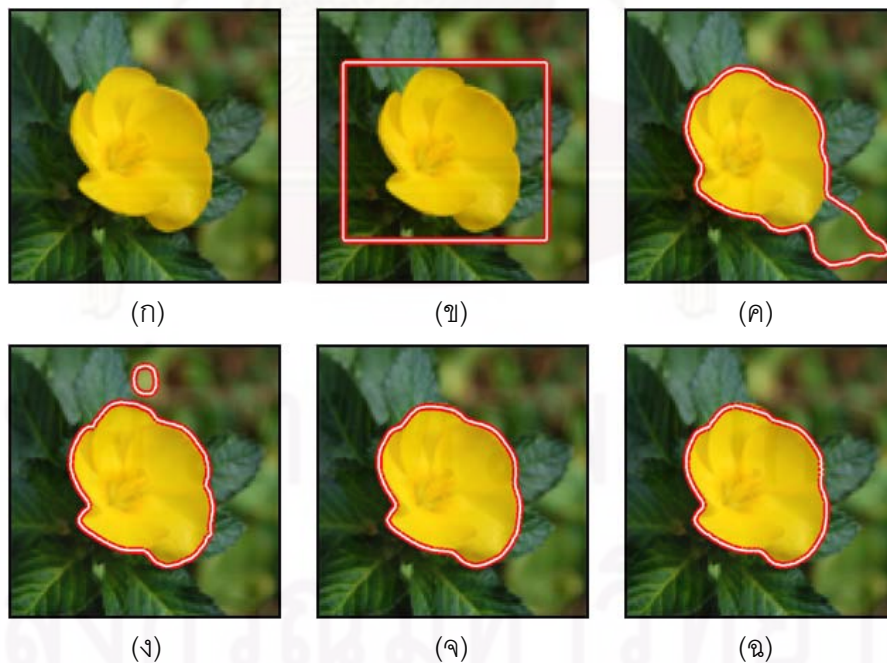
รูปที่ 4.11 เป็นภาพวัตถุรูปตัวยูที่ประกอบขึ้นมาจากวงกลมที่มีหลายเฉดสีดังแสดงในรูป (ก) โดยได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเกาะติดกับขอบส่วนต่าง ๆ ของตัวยูได้ แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่เป็นอ่าวได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากเกิดจุดอานม้าขึ้นที่บริเวณคอขวด ภาพถัดมาเป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE โดยจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้ามาภายในอ่าวของตัวยูได้ แต่อย่างไรก็ตามวงกลมเฉดสีอ่อนทั้งสองที่อยู่ส่วนบนของตัวยูนั้นได้ถูกมองข้ามไป เนื่องจากวงกลมทั้งสองนี้มีเฉดสีที่ใกล้เคียงกับพื้นหลังมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของวัตถุ ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC ดังแสดงในรูป (ง) จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเกาะติดกับขอบของวัตถุได้เฉพาะส่วนล่างเท่านั้น ในกรณีของส่วนบนคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังของของวัตถุได้ มีสาเหตุมาจากวิธีการนี้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด จึงไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังขอบภายในอ่าวของตัวยูได้ แต่ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES ที่นำเสนอพบว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของตัวยูได้อย่างสมบูรณ์ถึงแม้ว่าจะมีเฉดสีที่แตกต่างกันก็ตามเนื่องจากวิธี LRES ใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น นอกจากนี้คอนทัวร์ยังสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในก้นอ่าวของตัวยูได้ดีอีกด้วย ซึ่งเป็นข้อดีที่ได้มาจากการใช้เส้นค้นหาที่ยืดตัวได้ จึงทำให้วิธี LRES มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ได้ดีกว่าวิธีการอื่น



รูปที่ 4.12 การแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุและพื้นหลังเป็นเนื้อผสม

- (ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
 (ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

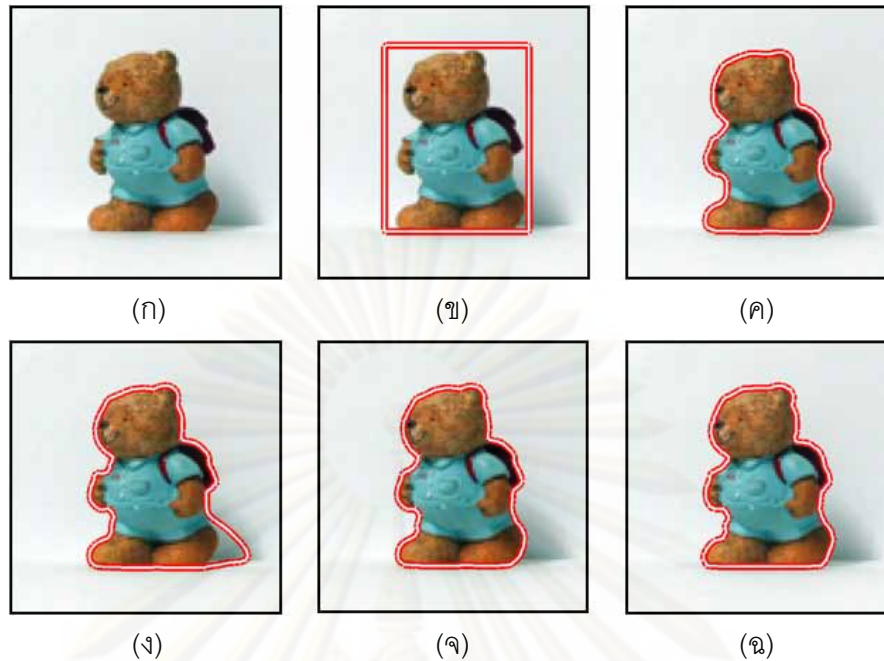
รูปที่ 4.12 เป็นการแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมที่ทั้งตัววัตถุและพื้นหลังมีลักษณะเป็นเนื้อผสมดังแสดงในรูป (ก) คอนทราสต์เริ่มต้นถูกวางไว้บริเวณกลางภาพแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของวัตถุได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากถึงแม้ว่าภาพนี้จะเป็นเนื้อผสมแต่เมื่อคำนวณหาภาพขอบออกมานั้น ขอบของวัตถุที่ต้องการยังชัดเจนจึงทำให้เมื่อคำนวณหาสนามเวกเตอร์ ลูกศรที่อยู่ภายในสนามเวกเตอร์ยังคงมีทิศทางชี้มายังขอบของวัตถุนี้ได้ จึงทำให้คอนทราสต์ของวิธี VFC สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้อง ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE จะเห็นได้ว่าคอนทราสต์ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ข้อสนเทศบริเวณของทั้งภาพ คอนทราสต์จึงพยายามแบ่งภาพออกเป็นสองบริเวณ นั่นคือ บริเวณที่มีเฉดสีอ่อนและบริเวณที่มีเฉดสีเข้ม จึงทำให้บริเวณบางส่วนของวัตถุที่มีเฉดสีอ่อนถูกเหมารวมให้เป็นพื้นหลัง และบริเวณบางส่วนของพื้นหลังที่มีเฉดสีเข้มของพื้นหลังถูกเหมารวมให้เป็นวัตถุไป ส่งผลให้วิธีการนี้ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมตามที่ต้องการได้ แต่สำหรับวิธีการเอ็กทิฟคอนทราสต์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น คือ ทั้งวิธี LRAC และวิธี LRES มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้องดังผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมได้โดยไม่สนใจว่าวัตถุจะมีหลายเฉดสีก็ตาม ซึ่งเป็นข้อดีที่ได้มาจากการใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น



รูปที่ 4.13 การแบ่งส่วนภาพดอกไม้

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (ฉ) วิธี LRAC และ (จ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.13 เป็นการแบ่งส่วนภาพดอกไม้แสดงในรูป (ก) ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าส่วนที่เป็นดอกไม้ที่ต้องการนั้น ทั้งกลีบดอกและเกสรมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกันมาก จึงนับได้ว่าวัตถุนี้เป็นวัตถุแบบเนื้อเดียว กล่าวคือ ไม่ได้มีลักษณะที่เป็นเนื้อผสม แต่สำหรับพื้นหลังนั้นส่วนที่เป็นใบไม้และบริเวณอื่น ๆ ในภาพมีเฉดสีที่แตกต่างกัน โดยบริเวณที่เป็นใบไม้จะมีเฉดสีเข้มแต่บริเวณบางส่วนในพื้นหลังมีเฉดสีอ่อน ตัวอย่างเช่น บริเวณที่อยู่ด้านบนบนของกลีบดอกไม้จะมีเฉดสีที่อ่อนมากเมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นใบไม้ที่อยู่ด้านหลังของดอกไม้ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าพื้นหลังของภาพดอกไม้นี้มีลักษณะที่เป็นเนื้อผสม เมื่อวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายนอกดอกไม้ดังแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังกลีบดอกไม้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากคอนทราสต์ในส่วนด้านล่างขวาของดอกไม้ได้เคลื่อนที่ไปติดกับบริเวณขอบภาพ ซึ่งมีสาเหตุมาจากในบริเวณที่ใกล้กับขอบภาพนี้ ภาพขอบที่ได้จะมีความชัดเจนมากกว่าเมื่อเทียบกับขอบของกลีบดอกไม้ ลูกศรในสนามเวกเตอร์ ณ บริเวณที่คอนทราสต์อยู่ จึงมีทิศทางชี้ไปยังขอบของบริเวณที่ใกล้กับขอบภาพแทนที่จะชี้ไปยังกลีบดอกไม้ จึงทำให้คอนทราสต์ไม่สามารถแบ่งส่วนดอกไม้ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ตามที่ต้องการ ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE ดังแสดงในรูป (ง) จะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนภาพดอกไม้ที่ต้องการได้สำเร็จ เนื่องจากเฉดสีของกลีบดอกไม้มีความแตกต่างกับเฉดสีโดยรวมของพื้นหลังค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามคอนทราสต์ยังคงแบ่งส่วนบริเวณอื่นที่ไม่ต้องการติดมาด้วย นั่นคือบริเวณที่เป็นเฉดสีอ่อนที่อยู่ด้านบนบนของกลีบดอกไม้ ซึ่งอันที่จริงแล้วควรที่จะจัดให้เป็นพื้นหลังไม่ใช่เป็นวัตถุ สาเหตุที่ทำให้คอนทราสต์ของวิธี ACWE แบ่งส่วนบริเวณเฉดสีอ่อนนี้ติดมาด้วย คือวิธีการนี้ใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุมของทั้งภาพ และในกรณีนี้บริเวณดังกล่าวมีความเข้มที่ใกล้เคียงกับกลีบดอกไม้มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ที่เป็นพื้นหลัง จึงทำให้คอนทราสต์เหมารวมส่วนนี้ว่าเป็นวัตถุไปด้วย แต่สำหรับวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นทั้งวิธี LRAC และวิธี LRES ที่นำเสนอ สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องดังแสดงในรูป (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนภาพดอกไม้เฉพาะส่วนที่ต้องการได้โดยไม่มีส่วนเกินติดมาด้วย เนื่องจากการใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น จุดต่าง ๆ บนคอนทราสต์จะเคลื่อนที่โดยใช้ข้อสนเทศท้องถิ่น โดยเป็นการพิจารณาเฉดสี ณ จุดนั้น ๆ บนคอนทราสต์แยกกัน จึงทำให้สามารถเคลื่อนไปยังกลีบดอกไม้ได้โดยไม่ทำให้เกิดบริเวณที่เป็นส่วนเกิน



รูปที่ 4.14 การแบ่งส่วนภาพตุ๊กตาทมิ

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

รูปที่ 4.14 เป็นการแบ่งส่วนภาพตุ๊กตาทมิ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวตุ๊กตาทมินี้มีหลายเฉดสี และยังมีเงาของตุ๊กตาทมิอยู่ในภาพอีกด้วยดังแสดงในรูป (ก) โดยคอนทัวร์เริ่มต้นถูกรวมคร่อมตัวตุ๊กตาทมิดังแสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพโดยใช้วิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของตุ๊กตาทมินี้ได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ เนื่องจากตัวตุ๊กตาทมินี้มีขอบเขตที่ชัดเจนเมื่อเทียบกับพื้นหลัง และเมื่อเราพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE ดังแสดงในรูป (ง) พบว่าคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนตุ๊กตาทมินี้ได้เช่นกัน แต่ยังสามารถเป็นส่วนที่เป็นเงาของตัวตุ๊กตาทมิแถมมาด้วยซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ โดยมีสาเหตุมาจากความเข้มของเงานั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มเฉลี่ยของตัวตุ๊กตาทมิมากกว่าส่วนที่เป็นพื้นหลังซึ่งทำให้คอนทัวร์เหมารวมส่วนที่เป็นเงานี้ติดมาด้วย สำหรับผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC ดังแสดงในรูป (จ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปติดกับขอบเขตของตัวตุ๊กตาทมิได้อย่างถูกต้องโดยไม่มีเงาติดมาด้วย เช่นเดียวกันกับวิธี LRES ที่คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนตัวตุ๊กตาทมิได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ โดยไม่เคลื่อนที่ไปติดกับเงาที่อยู่ด้านหลังของตุ๊กตาทมิดังแสดงในรูป (ฉ)

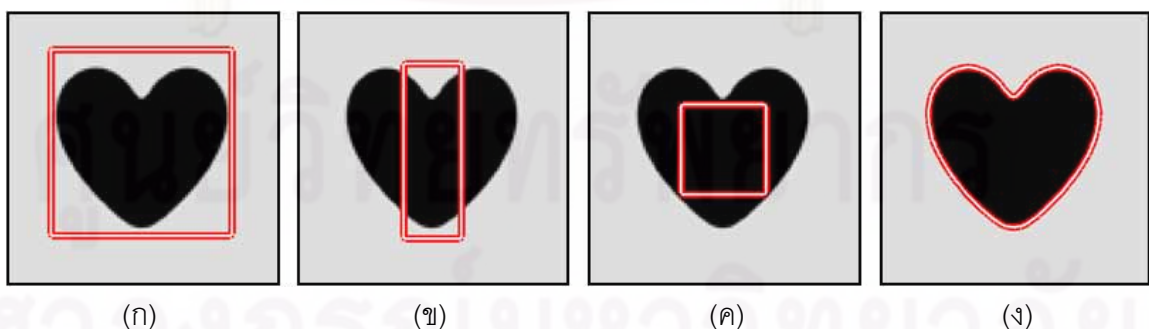
จากการทดลองในหัวข้อย่อยนี้สามารถสรุปได้ว่า ความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เป็นเนื้อผสมจะมีอยู่ในวิธีการที่ใช้ข้อสนเทศท้องถิ่น ซึ่งรวมทั้งวิธีการแบบใช้ขอบและวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น เนื่องจากวิธีการแบบนี้จะพิจารณาขอบขอบวัตถุโดยดูจากข้อสนเทศที่อยู่

ใกล้เคียงกับขอบของวัตถุเท่านั้นไม่ได้ใช้ข้อสนเทศของทั้งภาพในการพิจารณาร่วมกัน โดยวิธี LRES ของเราก็เป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่น จึงมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เป็นเนื้อผสมได้และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี VFC และวิธี LRAC ซึ่งเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศแบบท้องถิ่นเหมือนกัน พบว่าถึงแม้ว่าวิธี LRES จะมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพเนื้อผสมเหมือนกัน แต่วิธี LRES มีช่วงการเคลื่อนเข้าหาวัตถุที่กว้างมากกว่า จึงทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับการแบ่งส่วนภาพเนื้อผสมที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ได้ดีกว่า และนอกจากนี้วิธีการ LRES ยังมีความสามารถในการเกาะติดกับขอบของวัตถุได้ดีกว่าวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบทั้งหมดอีกด้วย เนื่องจากคอนทัวร์จะไม่เกิดการรั่วไหลได้ง่ายในบริเวณที่มีขอบเขตไม่ชัดเจน จึงทำให้ได้เฉพาะส่วนของวัตถุที่ต้องการเท่านั้น

#### 4.1.5 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการแบ่งส่วนภาพ คือ จำนวนรอบ (Iteration) และเวลาที่ใช้การคำนวณ (Computational Time) ของคอนทัวร์ ซึ่งเป็นสิ่งที่คอนทัวร์ใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของวัตถุที่ต้องการ

ในหัวข้อนี้ได้ทดลองบันทึกจำนวนรอบและจับเวลาในการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ของแต่ละวิธีการเพื่อเป็นการดูว่าวิธีการต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องใช้เวลาและจำนวนรอบมากน้อยเพียงใดในการเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของวัตถุที่ต้องการในภาพ โดยได้ใช้ภาพวัตถุรูปหัวใจในการทดสอบครั้งนี้แสดงในรูปแบบที่ 4.15 และได้มีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ทั้งสามกรณี ได้แก่ คอนทัวร์เริ่มต้นถูกวางไว้ภายนอกวัตถุแสดงในรูปแบบ (ก) วางคร่อมขวางตัววัตถุแสดงในรูปแบบ (ข) และวางไว้ภายในวัตถุแสดงในรูปแบบ (ค) เราจะทำการบันทึกเวลาและจำนวนรอบที่คอนทัวร์ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อแบ่งส่วนภาพให้ได้วัตถุรูปหัวใจตามที่ต้องการดังแสดงในรูปแบบ (ง)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 4.15 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปหัวใจโดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นในกรณีต่าง ๆ

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้นถูกวางไว้ภายนอกวัตถุ (ข) วางคร่อมขวางตัววัตถุ

(ค) วางไว้ภายในวัตถุ และ (ง) ผลการแบ่งส่วนภาพที่เราต้องการ



ในการเปรียบเทียบเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ วิธีการทั้งหมดที่นำมาเปรียบเทียบนั้นได้ถูกเขียนโปรแกรมโดยใช้ MATLAB ซึ่งรันบนเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU 2.40 GHz Core 2 Duo ที่มีแรม 4 GB ผลการบันทึกเวลาและจำนวนรอบที่คอนทัวร์ของแต่ละวิธีการใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของวัตถุรูปหัวใจแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์  
สำหรับการแบ่งส่วนภาพในรูปที่ 4.15

เขียนโปรแกรมโดยใช้ MATLAB				
	วิธีการ	จำนวนรอบที่ใช้ (Number of Iteration)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	เวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อ หนึ่งรอบ (วินาที/รอบ)
คอนทัวร์ เริ่มต้นใน รูปที่ 4.14 (ก)	VFC	70	4.501	0.064
	ACWE	67	4.106	0.061
	LRAC	305	24.561	0.080
	LRES	59	37.771	0.640
คอนทัวร์ เริ่มต้นใน รูปที่ 4.14 (ข)	วิธีการ	จำนวนรอบที่ใช้ (Number of Iteration)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	เวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อ หนึ่งรอบ (วินาที/รอบ)
	VFC	120	7.373	0.061
	ACWE	80	5.022	0.062
	LRAC	592	44.296	0.074
LRES	75	29.815	0.397	
คอนทัวร์ เริ่มต้นใน รูปที่ 4.14 (ค)	วิธีการ	จำนวนรอบที่ใช้ (Number of Iteration)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	เวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อ หนึ่งรอบ (วินาที/รอบ)
	VFC	80	4.814	0.060
	ACWE	72	4.470	0.062
	LRAC	407	30.028	0.074
LRES	54	18.737	0.347	

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าวิธี LRES ที่นำเสนอใช้จำนวนรอบในการเคลื่อนที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ในทั้งสามกรณีของการวางคอนทัวร์เริ่มต้น ในขณะที่วิธี LRAC ใช้จำนวนรอบเยอะที่สุดซึ่งมากกว่าวิธีการอื่น ๆ อย่างมาก เนื่องจากวิธีการนี้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด จึงจำเป็นต้องใช้จำนวนรอบค่อนข้างมากในการที่จะค่อย ๆ เคลื่อนที่ไปจนถึงขอบเขตของ

วัตถุ และสำหรับวิธี VFC และ ACWE จะใช้จำนวนรอบที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องของ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ พบว่าวิธีการ LRAC จะใช้เวลารวมมากที่สุดในการเคลื่อนที่ไปยังขอบเขต ของวัตถุเพราะว่าวิธีการนี้ใช้จำนวนรอบที่ค่อนข้างมาก แต่ถ้าพิจารณาที่เวลาในการเคลื่อนที่ใน หนึ่งรอบแล้ว พบว่าวิธี LRAC วิธี VFC และ วิธี ACWE จะใช้เวลาที่น้อยและมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบของวิธี LRES ที่นำเสนอ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้วิธี LRES ใช้เวลาในการ เคลื่อนที่เฉลี่ยต่อหนึ่งรอบเยอะที่สุด เนื่องจากวิธี LRES มีขั้นตอนในการเคลื่อนที่ที่ค่อนข้าง ซับซ้อนกว่าวิธีการอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนในการยึดตัวของเส้นค้นหา ซึ่งเส้นค้นหาแต่ละ เส้นจำเป็นต้องยึดตัวไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบขอบของวัตถุเพื่อให้ได้ความยาวที่เหมาะสม จึงทำให้ ขั้นตอนนี้กินเวลาค่อนข้างมาก

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบที่ใช้ในแต่ละกรณีของการวางคอนทัวร์เริ่มต้น พบว่าถ้าเปลี่ยน ตำแหน่งของคอนทัวร์เริ่มต้น จะทำให้จำนวนรอบที่คอนทัวร์ใช้ในการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตามไป ด้วย แต่สำหรับเรื่องของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบนั้น จะเห็นได้ว่าวิธี LRAC วิธี VFC และวิธี ACWE จะใช้เวลาในหนึ่งรอบของแต่ละกรณีที่ใกล้เคียงกันมากหรือเกือบเท่าเดิม ตัวอย่าง ที่เห็นได้ชัดเจน คือ วิธี ACWE ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่วางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายนอกวัตถุ วิธี ACWE ในเวลาในการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบเท่ากับ 0.061 วินาที สำหรับในกรณีที่วางคอนทัวร์เริ่มไว้ ครอบคลุมวงตัววัตถุ วิธี ACWE ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบเท่ากับ 0.062 วินาที และสุดท้าย ในกรณีที่วางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายในวัตถุวิธี ACWE ก็ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบเท่ากับ 0.062 วินาทีเช่นเดิม ซึ่งจะสังเกตได้ว่าไม่ว่าจะเปลี่ยนตำแหน่งคอนทัวร์เริ่มต้นไปในลักษณะใด เวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบของวิธีการเหล่านี้ก็ยังคงประมาณเท่าเดิม นั่นหมายความว่าเวลาที่ใช้ในหนึ่ง รอบของวิธี LRAC วิธี VFC และวิธี ACWE จะไม่แปรผันกับจำนวนรอบและตำแหน่งของคอนทัวร์ เริ่มต้น

อย่างไรก็ตามสำหรับวิธี LRES ที่นำเสนอ เวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบจะเปลี่ยนแปลงตาม ตำแหน่งของคอนทัวร์เริ่มต้น กล่าวคือ เวลาที่ใช้ต่อหนึ่งรอบจะแปรผันตามระยะห่างระหว่างคอน ทัวร์กับขอบของวัตถุ ถ้าคอนทัวร์อยู่ไกลจากขอบของวัตถุขั้นตอนในการยึดเส้นค้นหาจะกิน เวลานาน เนื่องจากเส้นค้นหาแต่ละเส้นจะถูกยึดไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบขอบของวัตถุ แต่ถ้าคอน ทัวร์เริ่มเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับขอบของวัตถุแล้วและไม่ไกลเกินความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหา ซึ่ง ในกรณีนี้เส้นค้นหาจะไม่มีจำเป็นต้องยึดตัว เนื่องจากแค่ความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหา ก็ทำให้วางพาดกับขอบของวัตถุได้แล้ว จึงทำให้คอนทัวร์ใช้เวลาที่น้อยลงในช่วงที่คอนทัวร์เริ่มที่จะ เข้าใกล้กับขอบเขตของวัตถุในทุก ๆ ส่วนแล้ว ซึ่งจากประเด็นนี้เราสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ใน แต่ละรอบของวิธี LRES จะไม่คงที่ กล่าวคือ ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์จะใช้เวลา ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีแนวโน้มในลักษณะจากมากไปน้อย นั่นคือ ในตอนแรกที่คอนทัวร์อยู่ไกลจาก

วัตถุ เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบจะกินเวลานานและถ้าคอนทอร์เข้ามาใกล้วัตถุแล้ว เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบก็จะลดลงตามลำดับไปจนกว่าคอนทอร์จะแบ่งส่วนวัตถุได้เสร็จสมบูรณ์ และจากเวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพที่ค่อนข้างมากของวิธี LRES นี้ เราจึงได้เพิ่มการทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพระหว่างการเขียนโปรแกรมวิธี LRES โดยใช้ MATLAB และภาษา C ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบเวลาที่คอนทอร์ใช้ในการเคลื่อนที่ของวิธี LRES ระหว่างการเขียนโปรแกรมโดยใช้ MATLAB และภาษา C

วิธีการ LRES	จำนวนรอบที่ใช้ (Number of Iteration)	เวลาที่ใช้ (วินาที)		เวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อ หนึ่งรอบ (วินาที/รอบ)	
		MATLAB	C	MATLAB	C
คอนทอร์เริ่มต้น ในรูปที่ 4.14 (ก)	59	37.771	1.046	0.640	0.017
คอนทอร์เริ่มต้น ในรูปที่ 4.14 (ข)	75	29.815	1.186	0.397	0.015
คอนทอร์เริ่มต้น ในรูปที่ 4.14 (ค)	54	18.737	0.889	0.347	0.016

ตารางที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพของวิธี LRES ที่เขียนโปรแกรมโดยใช้ MATLAB และภาษา C ซึ่งในการทดลองได้ใช้จำนวนรอบที่เท่ากันในแต่ละกรณีของการวางคอนทอร์เริ่มต้น ซึ่งเป็นจำนวนรอบที่ทำให้คอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตทั้งหมดของวัตถุรูปหัวใจได้ และจากผลการบันทึกเวลาที่ได้พบว่าการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C จะใช้เวลาต่อรอบในการแบ่งส่วนที่น้อยกว่า MATLAB ประมาณ 20 เท่า ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี LRES ที่เขียนด้วยภาษา C สามารถแบ่งส่วนภาพนี้ได้โดยใช้เวลาไม่ถึง 2 วินาที โดยสามารถลดการใช้เวลาในการแบ่งส่วนภาพลงไปได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้ MATLAB

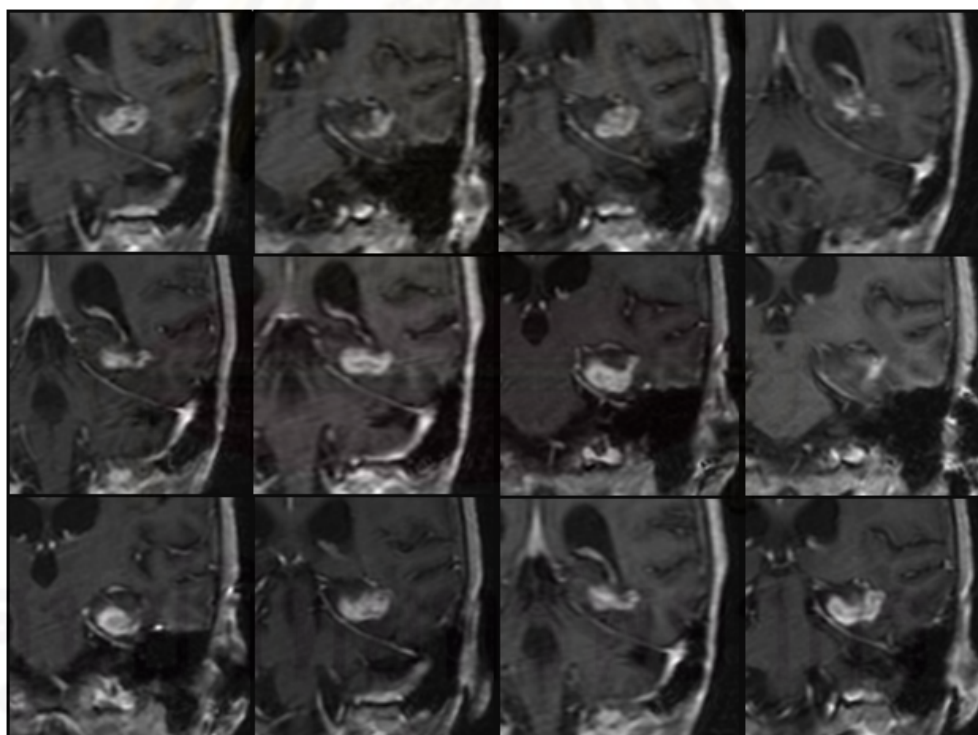
จากการทดลองในหัวข้อย่อยนี้สามารถสรุปได้ว่าวิธี LRES ใช้เวลาในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความซับซ้อนของขั้นตอนต่าง ๆ ในวิธีการของเรา แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองในหัวข้อก่อนหน้านี้ จะเห็นได้ว่าวิธี LRES สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพตามที่ต้องการตามต้องการ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากกว่าในเชิงผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยวิธีการอื่น ๆ นั้นถึงแม้ว่าจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ก็ตาม แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดในหลายประการ จึงทำให้ในบางกรณีไม่สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ต้องการได้

## 4.2 ทดลองวิธี LRES กับภาพจากฐานข้อมูล

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการแบ่งส่วนของวิธี LRES เทียบกับวิธี VFC วิธี ACWE และวิธี LRAC โดยใช้ภาพจากฐานข้อมูล ซึ่งเป็นการทดลองในเชิงประยุกต์ใช้งานจริง โดยใช้ภาพจากสองฐานข้อมูลด้วยกัน ได้แก่ ภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR (Internet Brain Segmentation Repository) [38] และภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU (MultiMedia University) [39]

### 4.2.1 ภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR

ภาพจากฐานข้อมูล IBSR เป็นภาพสแกนสมองของมนุษย์ โดยวัตถุที่เราสนใจ คือ เนื้อเยื่อสมอง ตัวอย่างภาพบางส่วนจากฐานข้อมูล IBSR แสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งส่วนที่เป็นสีขาวตรงกลางภาพ คือ เนื้อเยื่อที่เราสนใจ โดยการแบ่งส่วนเนื้อเยื่อออกจากภาพสมองนี้ มีประโยชน์อย่างมากในการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อทั้งรูปร่างและขนาด ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนในการรักษาต่อไป

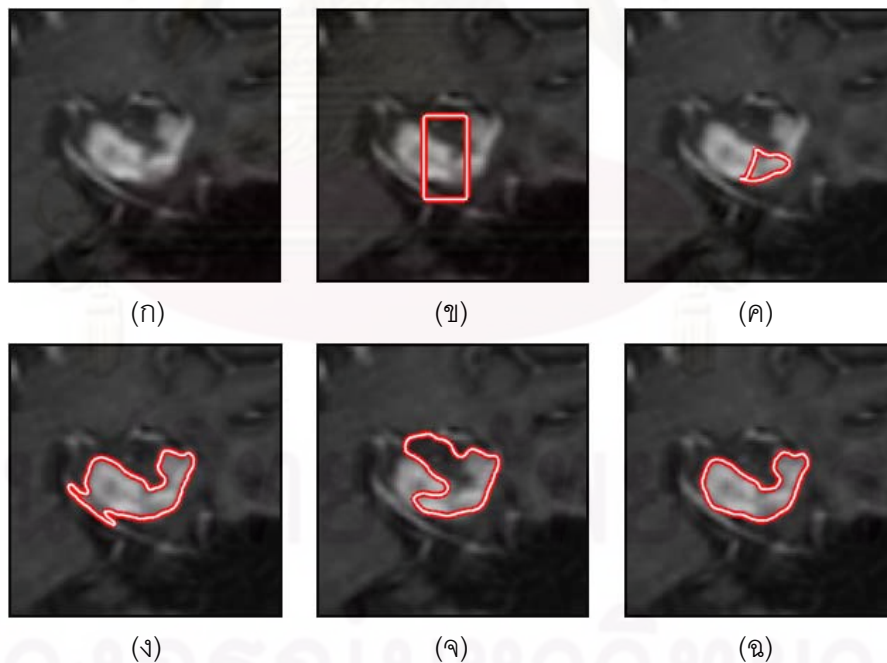


รูปที่ 4.16 ภาพตัวอย่างบางส่วนจากฐานข้อมูล IBSR

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า เนื้ออกที่เราต้องการจะแบ่งส่วนนี้วางตัวอยู่บริเวณกลางภาพ และมีเฉดสีที่ค่อนข้างอ่อนมากๆเมื่อเทียบกับพื้นหลัง ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์ลักษณะของเนื้ออกในภาพสมองและตั้งข้อสังเกต ได้ดังต่อไปนี้

1. ขอบเขตของเนื้ออกมีลักษณะที่ไม่ชัดเจน
2. ในบางภาพ เนื้ออกมีส่วนโค้งเว้ามาก
3. เฉดสีของเนื้ออกในบางภาพไม่สม่ำเสมอ จึงอาจเรียกนี้ได้ว่าเป็นวัตถุแบบเนื้อผสม
4. บริเวณที่ใกล้เคียงกับเนื้ออกมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกับเนื้ออก ซึ่งในกรณีนี้อาจจัดได้ว่าเป็นภาพที่มีพื้นหลังแบบเนื้อผสม
5. บริเวณรอบ ๆ เนื้ออกมีอวัยวะอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงด้วย ซึ่งอาจจะรบกวนจนเคลื่อนที่ของคนทั่วไปได้

ในการทดลองได้ใช้ภาพจากฐานข้อมูล IBSR จำนวน 30 ภาพ โดยผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ จะถูกนำมาคำนวณหาค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าวิธีการต่าง ๆ นั้นสามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องได้มากน้อยเพียงใด ตัวอย่างผลการแบ่งส่วนเนื้ออกด้วยวิธีการเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การแบ่งส่วนเนื้ออก

- (ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้  
(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

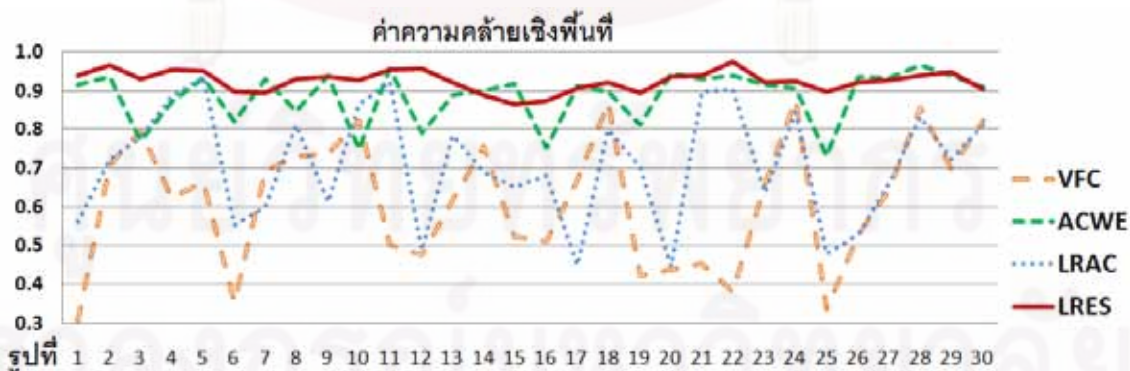
รูปที่ 4.17 เป็นตัวอย่างการแบ่งส่วนเนื้องอกด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งเนื้องอกที่ต้องการแบ่งส่วนนี้จะอยู่บริเวณตรงกลางภาพดังแสดงในรูป (ก) ดังนั้น จึงได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นคร่อมขวางวัตถุที่ต้องการไว้แสดงในรูป (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนภาพเนื้องอกได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ไม่สามารถครอบคลุมบริเวณที่เป็นเนื้องอกทั้งหมดได้เนื่องจากขอบเขตของเนื้องอกไม่ชัดเจน จึงทำให้ภาพขอบที่ได้ไม่ชัดเจนตามไปด้วย ส่งผลให้ลูกศรในสนามเวกเตอร์ไม่มีทิศทางชี้ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตทั้งหมดของเนื้องอกได้ จึงทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE พบว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ครอบคลุมบริเวณส่วนที่เป็นเนื้องอกได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีบางส่วนของคอนทัวร์ที่เกิดการรั่วไหลไปยังบริเวณข้างเคียง ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการแสดงในรูป (ง) สาเหตุที่ทำให้คอนทัวร์เกิดการรั่วไหล คือ เฉดสีของบริเวณที่คอนทัวร์รั่วไหลเข้าไบนั้น มีเฉดสีที่ใกล้เคียงกับเนื้องอกที่ต้องการ จึงทำให้คอนทัวร์เหมารวมบริเวณนี้เป็นวัตถุไปด้วย รูปถัดมาเป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนเนื้องอกที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแสดงในรูป (จ) โดยมีบางส่วนที่สามารถเกาะติดกับขอบเขตที่แท้จริงได้ และมีบางส่วนที่ไม่สามารถเข้าถึงขอบเขตของเนื้องอกได้ แต่สำหรับวิธี LRES ที่นำเสนอนั้นสามารถแบ่งส่วนเนื้องอกนี้ได้เป็นอย่างดีที่น่าพอใจ เนื่องจากสามารถเกาะติดกับขอบเขตของเนื้องอกทั้งหมดได้เป็นอย่างดีดังแสดงในรูป (ฉ) โดยไม่มีการรั่วไหลออกไปยังบริเวณข้างเคียงที่ไม่ต้องการ ถึงแม้ว่าขอบเขตของเนื้องอกนี้จะไม่ชัดเจนก็ตาม และจากการใช้เส้นค้นหาที่ยึดตัวได้ ยังส่งผลให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของเนื้องอกได้เป็นอย่างดีอีกด้วย จึงทำให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่คำนวณได้จากผลการแบ่งส่วนภาพของวิธี LRES มีค่ามากกว่าวิธีการอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยจะเห็นได้ว่าวิธี LRES สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ โดยค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของภาพส่วนใหญ่แล้ว จะมีค่ามากกว่า 0.9 และมีเพียงไม่กี่ภาพเท่านั้นที่มีค่าน้อยกว่า 0.9 แต่ยังคงไม่ต่ำกว่า 0.8 ดังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในกราฟรูปที่ 4.18

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนเนื้องอกที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

วิธีการ	$S_{area}$ ของรูปที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VFC	0.307	0.707	0.795	0.623	0.664	0.354	0.692	0.731	0.738	0.824
ACWE	0.914	0.935	0.769	0.869	0.934	0.821	0.929	0.848	0.938	0.750
LRAC	0.561	0.721	0.778	0.886	0.935	0.554	0.600	0.811	0.614	0.864
<b>LRES</b>	0.940	0.965	0.931	0.954	0.951	0.898	0.893	0.929	0.937	0.928
วิธีการ	$S_{area}$ ของรูปที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VFC	0.502	0.477	0.617	0.754	0.522	0.510	0.670	0.866	0.421	0.436
ACWE	0.957	0.790	0.888	0.900	0.919	0.752	0.912	0.897	0.810	0.945
LRAC	0.924	0.487	0.783	0.688	0.652	0.680	0.449	0.799	0.702	0.446
<b>LRES</b>	0.953	0.956	0.920	0.888	0.865	0.874	0.905	0.922	0.895	0.935
วิธีการ	$S_{area}$ ของรูปที่									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
VFC	0.451	0.381	0.657	0.876	0.355	0.530	0.646	0.857	0.699	0.823
ACWE	0.931	0.939	0.915	0.907	0.732	0.937	0.934	0.965	0.938	0.910
LRAC	0.896	0.904	0.635	0.843	0.479	0.530	0.663	0.831	0.723	0.810
<b>LRES</b>	0.938	0.973	0.920	0.925	0.896	0.920	0.928	0.940	0.947	0.903



รูปที่ 4.18 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนเนื้องอกที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

จากกราฟรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าวิธี LRES ให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่ารูปร่างของเนื้องอกจะเปลี่ยนไปในแต่ละภาพก็ตาม และสำหรับวิธี ACWE สามารถแบ่งส่วนภาพได้มีความถูกต้องที่ใกล้เคียงกับวิธี LRES แต่เนื่องจากคอนทราสต์ของวิธีการนี้เกิดการรบกวนได้ง่ายในกรณีที่มีบริเวณใกล้เคียงกับเนื้องอกมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกับเนื้องอก เนื่องจากวิธี ACWE เป็นวิธีการแบบใช้ข้อสันนิษฐานบริเวณครอบคลุมทั้งภาพ จึงทำให้ได้ส่วนเกินติดออกมาด้วยเกือบทุกภาพที่นำมาทดลอง ส่งผลให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่คำนวณได้นั้นค่อนข้างต่ำกว่าวิธี LRES และสำหรับวิธี LRAC สามารถแบ่งส่วนภาพได้ดีพอสมควรในบางภาพเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากความไม่สม่ำเสมอของค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ โดยในกรณีที่รูปร่างของเนื้องอกมีส่วนโค้งเว้ามาก คอนทราสต์ของวิธี LRAC จะเกิดปัญหาการเคลื่อนที่ที่เข้าไปไม่ถึงขอบเขตของเนื้องอกที่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการรบกวนไปยังบริเวณอื่นที่ไม่ต้องการอีกด้วย และสุดท้ายวิธี VFC ซึ่งเป็นวิธีการแบบใช้ขอบ ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่ได้มีความไม่สม่ำเสมอเช่นเดียวกัน ซึ่งในกรณีที่ขอบเขตของเนื้องอกมีความชัดเจนมาก คอนทราสต์ของวิธี VFC ก็จะสามารถเกาะติดกับขอบได้ดี แต่ถ้าในกรณีที่ขอบเขตของเนื้องอกไม่ชัดเจนคอนทราสต์ก็จะไม่สามารถยึดติดกับขอบของเนื้องอกได้ ซึ่งจากค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ทั้ง 30 ภาพของวิธีการทั้ง 4 เราสามารถหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

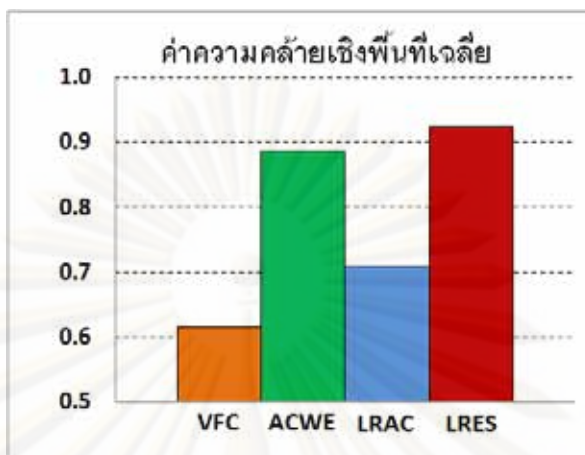
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ในตารางที่ 4.3

วิธีการ	ค่าเฉลี่ยของ $S_{area}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $S_{area}$
VFC	0.616	0.169
ACWE	0.886	0.068
LRAC	0.708	0.149
<b>LRES</b>	0.924	0.026

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าวิธี LRES มีความถูกต้องในการแบ่งส่วนภาพได้มากกว่า 0.9 รองลงมา คือ วิธี ACWE ที่ทำได้ประมาณ 0.88 อันดับถัดมา คือ วิธี LRAC ที่ทำได้ประมาณ 0.7 และอันดับสุดท้าย คือ วิธี VFC ที่ทำได้ประมาณ 0.6 โดยได้มีการพล็อตกราฟแท่งให้เห็นอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.19 และเมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้พบว่าวิธี LRES ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่อนข้างต่ำ นั่นหมายความว่าวิธี LRES มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพได้ดีอย่างสม่ำเสมอกับทุกภาพที่นำมาทดลอง ซึ่งให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่สูงในทุก ๆ ภาพ และเช่นเดียวกันกับวิธี ACWE ที่ค่อนข้างจะมีความสม่ำเสมอเช่นกัน แต่สำหรับวิธี LRAC



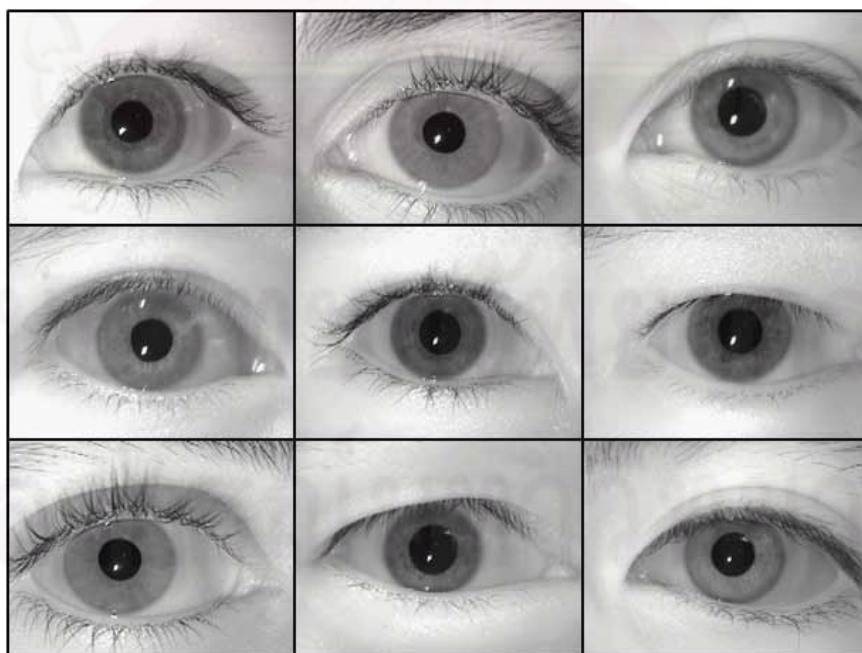
และวิธี VFC นั้น ส่วนเบี่ยงเบียงมาตรฐานจะมีค่ามากกว่าวิธีการของเรา เนื่องจากวิธีการทั้งสองนี้ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพได้ดีในบางภาพเท่านั้น



รูปที่ 4.19 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของการแบ่งส่วนเนื้องอก

#### 4.2.2 ภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU

ภาพจากฐานข้อมูล MMU เป็นภาพถ่ายดวงตา โดยส่วนที่เราสนใจในภาพ คือ ส่วนที่เป็น ม่านตา (Iris) ภาพตัวอย่างบางส่วนจากฐานข้อมูล MMU แสดงในรูปที่ 4.20 ประโยชน์ของการ แบ่งส่วนม่านตา คือ เป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่ทำหน้าที่ตัดเฉพาะส่วนที่เป็นม่านตาออกมาจากภาพ เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป เช่น ขั้นตอนการรู้จำม่านตา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการระบุตัว บุคคล เป็นต้น



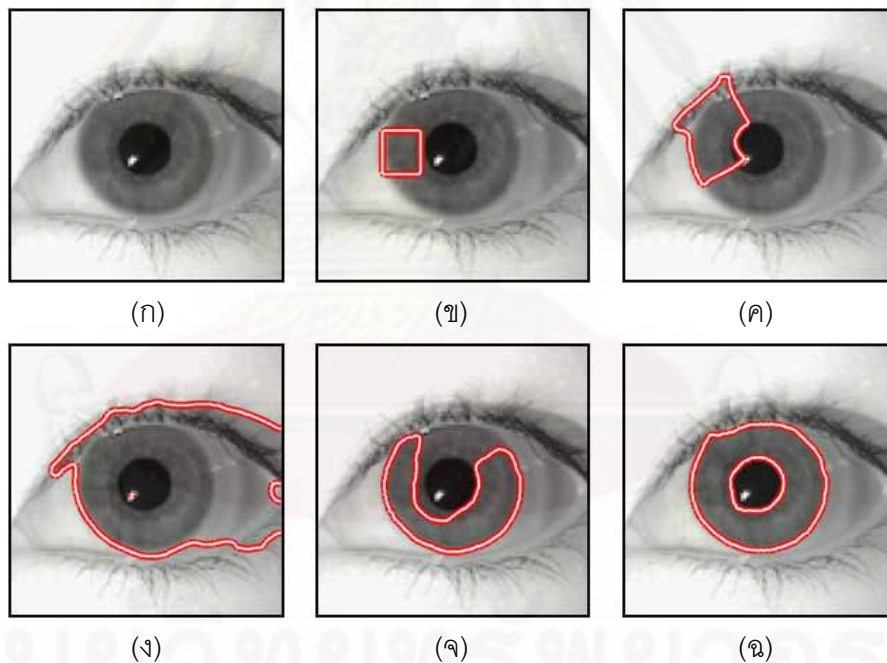
รูปที่ 4.20 ภาพตัวอย่างบางส่วนจากฐานข้อมูล MMU

วัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนในภาพดวงตานี้ คือ ม่านตา ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับวงแหวนที่ล้อมรอบรูม่านตาสีดำ และบริเวณภายนอกของม่านตานี้ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นตาขาว ขนตา และผิวหนังบริเวณรอบดวงตาที่มีเซลล์อ่อน โดยเราสามารถวิเคราะห์ลักษณะของม่านตาที่ต้องการแบ่งส่วนและตั้งชื่อสังเกตได้ดังต่อไปนี้

1. เซลล์ที่อยู่ภายในม่านตามีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของม่านตาของแต่ละบุคคล จึงอาจจัดได้ว่าม่านตานี้เป็นวัตถุแบบเนื้อผสม
2. ส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ม่านตาจะถูกจัดให้เป็นพื้นหลังของภาพ ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนที่เป็นรูม่านตามีเซลล์ที่เข้มมาก แต่ส่วนที่เป็นผิวหนังรอบดวงตามีเซลล์ที่อ่อนมาก จึงจัดพื้นหลังในลักษณะนี้ได้ว่าเป็นพื้นหลังแบบเนื้อผสม
3. จุดสีขาวที่อยู่ภายในรูม่านตาเป็นเงาที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพ ซึ่งจุดสีขาวนี้อาจจะทำให้เกิดจุดจุ่มขึ้นได้
4. ขนตามีเซลล์ที่ใกล้เคียงกับม่านตา ซึ่งอาจจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของคอนทราสต์ได้

ในการทดลองได้ใช้ภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU จำนวน 30 ภาพ ซึ่งมีทั้งตาซ้ายและตาขวาปะปนกัน โดยผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ จะถูกนำมาคำนวณหาค่าความคล้ายเชิงพื้นที่สำหรับใช้เป็นตัวชี้วัดความถูกต้องของผลการแบ่งส่วนภาพ เพื่อใช้เปรียบเทียบให้เห็นถึงความสามารถในการแบ่งส่วนม่านตาของวิธีการต่าง ๆ ตัวอย่างผลการแบ่งส่วนม่านตาด้วยวิธีการแอกทิฟคอนทราสต์แบบต่าง ๆ แสดงในรูปแบบที่ 4.21 ซึ่งได้มีการวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายในบริเวณม่านตาที่ต้องการแสดงในรูปแบบ (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี VFC แสดงในรูปแบบ (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพม่านตาได้ครบทั้งวงแหวนทำได้แค่เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ เกิดจุดอานม้าขึ้นภายในม่านตา จึงทำให้คอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปจนครบทั้งวงแหวนได้ จุดสีขาวที่อยู่ภายในรูม่านตาทำให้เกิดจุดจุ่มขึ้น ส่งผลให้คอนทราสต์ในบริเวณนั้นถูกดึงดูดไปติดกับจุดสีขาวนี้ และขอบของเปลือกตาด้านบนก็ยังคงมีความแข็งแรงมากกว่าขอบของม่านตา จึงทำให้คอนทราสต์เคลื่อนที่เลยขึ้นไปติดกับเปลือกตาแทน สำหรับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธี ACWE แสดงในรูปแบบ (ง) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทราสต์ได้วิ่งเลยส่วนที่เป็นม่านตาไปจนเกือบที่จะได้ดวงตาทั้งดวงออกมาแทน ซึ่งมีสาเหตุมาจากเซลล์ของม่านตา รูม่านตา ขนตา และตาขาวบางส่วนนั้นมีความใกล้เคียงกันมากกว่าเมื่อเทียบกับพื้นหลังที่เหลือ ซึ่งก็คือผิวหนังรอบดวงตา จึงส่งผลให้คอนทราสต์ของวิธี ACWE ซึ่งเป็นแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณของทั้งภาพแบ่งส่วนดวงตาออกมาทั้งดวงแทนที่จะได้เฉพาะส่วนที่เป็นม่านตาที่ต้องการเท่านั้น จึงแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนอีกครั้งว่า วิธี ACWE ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีพื้นหลังเป็นเนื้อผสมได้ ต่อมาเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRAC ดังแสดงในรูปแบบ (จ) พบว่าคอนทราสต์สามารถ

เคลื่อนที่จนเกือบได้ครบทั้งวงแหวนแต่ก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปจนครบได้ เนื่องจากวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ โดยในกรณีที่ข้อสนเทศภายในวงกลมของวิธี LRAC มีจุดสีที่ใกล้เคียงกันมากจะทำให้คอนทราสต์ในส่วนนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากมีข้อมูลที่ไม่เพียงพอที่จะทำให้คอนทราสต์รู้ว่าควรจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดเพื่อวิ่งไปยังขอบเขตของม่านตาที่ต้องการได้ จึงทำให้ไม่สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้อง รูปสุดท้ายเป็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี LRES แสดงในรูป (ฉ) ซึ่งจะเห็นได้จากการใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถื่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้ ส่งผลให้คอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ไปจนครบรอบวงแหวนของม่านตาได้อย่างถูกต้องโดยไม่เกิดการรั่วไหลออกไปด้านนอก และคอนทราสต์ก็ไม่เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีขาวที่อยู่ภายในรูม่านตาก็ด้วย เนื่องจากจุดสีขาวนี้จะถูกมองเป็นเพียงเสียงส่วนน้อยที่อยู่บนเส้นค้นหาเท่านั้น จึงทำให้ไม่มีอิทธิพลอะไรมากกับข้อสนเทศบริเวณท้องถื่นโดยรวม และจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าวิธี LRES สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องมากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ซึ่งค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนภาพของทั้ง 30 ภาพ แสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.21 การแบ่งส่วนม่านตา

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้

(ค) วิธี VFC (ง) วิธี ACWE (จ) วิธี LRAC และ (ฉ) วิธี LRES ที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.5 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนม่านตาที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

วิธีการ	$S_{area}$ ของรูปที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VFC	0.387	0.265	0.615	0.333	0.347	0.267	0.426	0.498	0.277	0.433
ACWE	0.580	0.596	0.754	0.645	0.794	0.559	0.497	0.556	0.816	0.751
LRAC	0.782	0.835	0.692	0.748	0.882	0.800	0.433	0.750	0.945	0.919
<b>LRES</b>	0.968	0.920	0.931	0.924	0.944	0.950	0.953	0.929	0.944	0.934
วิธีการ	$S_{area}$ ของรูปที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VFC	0.472	0.622	0.453	0.347	0.371	0.558	0.584	0.231	0.269	0.390
ACWE	0.590	0.714	0.869	0.635	0.463	0.641	0.739	0.621	0.651	0.526
LRAC	0.622	0.446	0.862	0.516	0.312	0.522	0.804	0.862	0.726	0.772
<b>LRES</b>	0.927	0.940	0.931	0.921	0.922	0.938	0.956	0.943	0.919	0.903
วิธีการ	$S_{area}$ ของรูปที่									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
VFC	0.590	0.239	0.432	0.428	0.477	0.430	0.632	0.258	0.548	0.597
ACWE	0.433	0.628	0.673	0.609	0.850	0.552	0.609	0.617	0.642	0.871
LRAC	0.586	0.733	0.741	0.607	0.882	0.357	0.859	0.741	0.362	0.860
<b>LRES</b>	0.921	0.953	0.954	0.925	0.941	0.943	0.910	0.926	0.943	0.937



รูปที่ 4.22 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของผลการแบ่งส่วนม่านตาที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

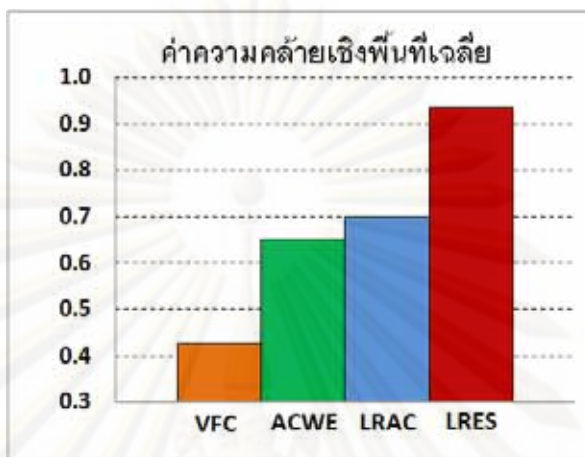
จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าวิธี LRES สามารถให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ได้มากกว่า 0.9 ในทุก ๆ ภาพและยังสูงกว่าค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของการวิธีการอื่น ๆ อีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในกราฟรูปที่ 4.22 สำหรับวิธี ACWE และวิธี LRAC จะให้ค่าความคล้ายที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่วิธี VFC ให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่ต่ำมากในทุก ๆ ภาพที่นำมาทดลอง โดยเราจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของวิธีการต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ในตารางที่ 4.5

วิธีการ	ค่าเฉลี่ยของ $S_{area}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $S_{area}$
VFC	0.426	0.127
ACWE	0.649	0.115
LRAC	0.699	0.181
<b>LRES</b>	0.935	0.015

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าวิธีการที่ให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยมากที่สุด คือ วิธี LRES ที่นำเสนอ เนื่องจากวิธีการของเราสามารถแบ่งส่วนมันตาได้ถูกต้องครบถ้วนทั้งวงแหวนในทุก ๆ ภาพ อันดับต่อมา คือ วิธี LRAC ซึ่งเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นเหมือนกับวิธี LRES แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ จึงทำให้คอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปจนครบขอบเขตของมันตาทั้งหมดได้ อันดับที่สาม คือ วิธี ACWE ซึ่งให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับวิธี LRAC แต่ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้นั้นแตกต่างกันอย่างมาก กล่าวคือ ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี ACWE ส่วนใหญ่แล้วจะได้ออกมาทั้งดวงตา แทนที่จะได้เฉพาะส่วนที่เป็นมันตา เนื่องจากคอนทราสต์พยายามแบ่งภาพออกเป็นสองบริเวณที่มีเฉดสีแตกต่างกัน จึงทำให้คอนทราสต์เหมารวมส่วนที่เป็นรูมันตา มันตา ขนตา และบางส่วนของตาขาวที่มีเฉดสีเข้มเข้าไว้ด้วยกัน และอันดับสุดท้าย คือ วิธี VFC ซึ่งเป็นวิธีการแบบใช้ภาพขอบ คอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนมันตาได้แค่เพียงส่วนเล็กน้อยเท่านั้น จึงทำให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของวิธีการนี้ต่ำมากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ โดยจะเห็นการเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนจากกราฟแท่งในรูปที่ 4.23 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี LRES นั้นมีความสามารถในการแบ่งส่วนมันตาได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการอื่น ๆ อย่างมาก และเมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่าวิธีการของเรายังคงให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่าวิธี LRES สามารถแบ่งส่วนภาพได้ถูกต้องอย่างสม่ำเสมอในทุก ๆ ภาพที่นำมาทดลอง ส่วนวิธีการอื่น ๆ นั้น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่า

ค่อนข้างมาก ๆ เมื่อเทียบกับวิธี LRES นั้นหมายความว่าวิธีการเหล่านั้นมีความสามารถในการแบ่งส่วนม่านตาได้อย่างไม่สม่ำเสมอโดยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น เหนือศีรษะของบริเวณที่อยู่รอบ ๆ ม่านตา และลวดลายของม่านตา เป็นต้น



รูปที่ 4.23 กราฟค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของการแบ่งส่วนม่านตา

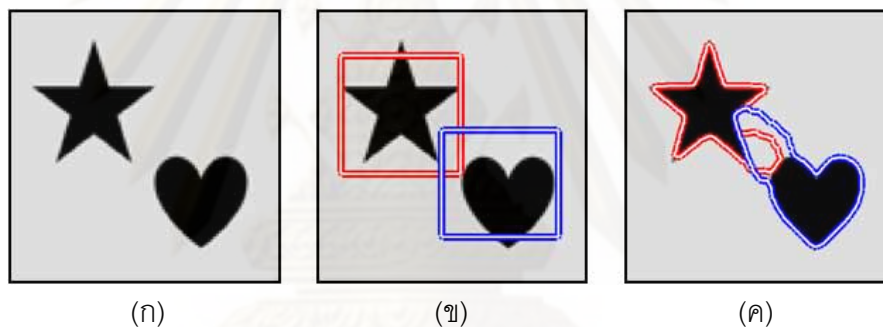
จากการทดลองแบ่งส่วนภาพจากฐานข้อมูลทั้งสองสามารถสรุปได้ว่าวิธี LRES ที่นำเสนอมีความสามารถในการแบ่งส่วนเนื้องอกและม่านตาได้เป็นอย่างดี โดยสามารถให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยที่สูงกว่า 0.9 ซึ่งมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ โดยสาเหตุที่ทำให้วิธี LRES มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เหนือกว่าวิธีการอื่น ๆ คือ วิธีการของเราใช้ข้อเสนอแนะบริเวณท้องถื่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้ ซึ่งสามารถแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการอื่น ๆ ได้ จึงทำให้วิธี LRES มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง คอนทราสต์จึงมีความสามารถในเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของเนื้องอกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ไปจนครบรอบวงแหวนของม่านตาได้อีกด้วย และจากการใช้ข้อเสนอแนะบริเวณท้องถื่นเฉพาะที่อยู่บนเส้นค้นหาจะทำให้คอนทราสต์สามารถเกาะติดกับขอบเขตของเนื้องอกและม่านตาได้อย่างมั่นคง โดยไม่เกิดการรั่วไหลไปยังบริเวณข้างเคียง ส่งผลให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่คำนวณได้นั้นมีค่าสูง

#### 4.3 ความสามารถของวิธี MLRES และวิธี SLRES

ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2 ได้มีการพัฒนาต่อยอดความสามารถให้กับวิธี LRES ในสองรูปแบบ ได้แก่ พัฒนาให้สามารถแบ่งส่วนภาพที่หลายวัตถุที่ต้องการได้ มีชื่อว่าวิธี MLRES และพัฒนาให้มีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการได้โดยใช้ชนิดขอบ มีชื่อว่าวิธี SLRES ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทดลองให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความสามารถดังกล่าว

#### 4.3.1 การแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุ

วิธี MLRES ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นการเพิ่มจำนวนคอนทัวร์ของวิธี LRES ให้มีจำนวนเท่ากับวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วน โดยคอนทัวร์ทั้งหมดจะสามารถเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปพร้อม ๆ กันในเวลาเดียวกันได้ ซึ่งอันที่จริงแล้วในการเพิ่มจำนวนคอนทัวร์ให้กับวิธี LRES นั้นสามารถเพิ่มได้โดยตรงโดยไม่ต้องเพิ่มเติมแรงอะไรเป็นพิเศษ แต่ในกรณีนี้จะเหมาะสำหรับการแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุอยู่ห่างกัน ซึ่งเมื่อวัตถุต่าง ๆ อยู่ห่างกันคอนทัวร์ของแต่ละวัตถุก็จะไม่เกิดการทับทับกันขึ้น ซึ่งจะทำให้แต่ละคอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุของใครของมันได้อย่างถูกต้อง แต่สำหรับในกรณีที่วัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการนั้นอยู่ใกล้เคียงกัน การวางคอนทัวร์เริ่มต้นที่จะทำให้คอนทัวร์ต่าง ๆ ไม่ซ้อนทับกันอาจทำได้ยาก จึงทำให้บางส่วนของคอนทัวร์อาจจะซ้อนทับกันได้ ผลเสียที่จะตามมาของการวางคอนทัวร์เริ่มต้นซ้อนทับกัน คือ คอนทัวร์อาจจะเคลื่อนที่แย่งวัตถุกันได้ กล่าวคือ บางส่วนของคอนทัวร์อาจจะเคลื่อนที่ไปยังวัตถุอื่น ๆ ได้ ซึ่งไม่ใช่วัตถุของตนเองดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.24

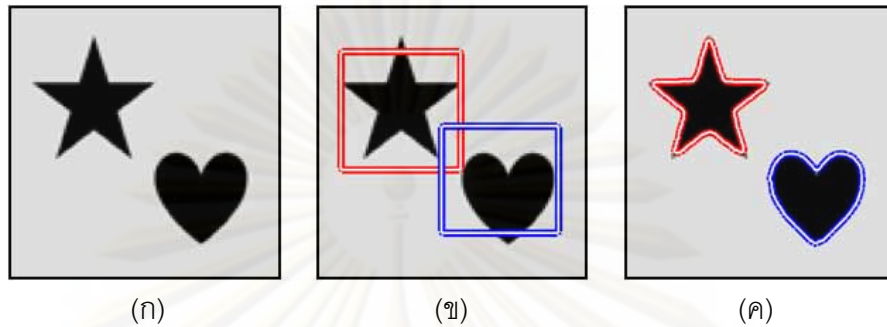


รูปที่ 4.24 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปดาวและหัวใจโดยใช้วิธี LRES แบบสองคอนทัวร์

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 4.24 เป็นการแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปดาวและวัตถุรูปหัวใจแสดงในรูป (ก) ได้มีการเพิ่มจำนวนคอนทัวร์ของวิธี LRES ให้เป็นสองคอนทัวร์ และได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นของแต่ละวัตถุไว้แสดงในรูป (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกิดบริเวณที่ซ้อนทับกันขึ้นระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูป (ค) จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ทั้งสองสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุของใครของมันได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยในบริเวณที่อยู่ระหว่างวัตถุทั้งสองคอนทัวร์เกิดการแย่งวัตถุกันขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากบางส่วนของคอนทัวร์สำหรับวัตถุรูปดาววางตัวอยู่ใกล้กับขอบเขตของวัตถุรูปหัวใจมากกว่า และบางส่วนของคอนทัวร์สำหรับวัตถุรูปหัวใจก็วางตัวอยู่ใกล้กับวัตถุรูปดาวมากกว่า จึงทำให้เกิดการเข้าใจผิดขึ้นในขณะที่คอนทัวร์กำลังเคลื่อนที่ ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ถูกต้อง ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการเพิ่มแรงที่ทำหน้าที่แยกคอนทัวร์ออกจากกันเพื่อไม่ให้เกิด

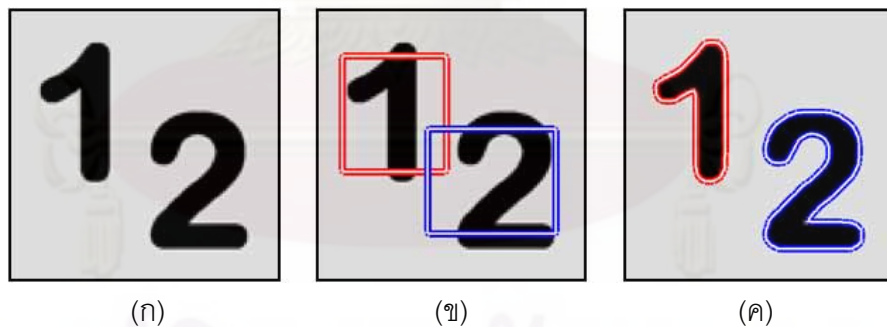
การซ้อนทับกันขึ้น (รายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2.1) จึงกลายมาเป็นวิธี MLRES ซึ่งมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุได้ ถึงแม้ว่าคอนทัวร์เริ่มต้นจะมีพื้นที่ซ้อนทับกันก็ตามดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การแบ่งส่วนภาพวัตถุรูปดาวและหัวใจโดยใช้วิธี MLRES

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 4.25 คอนทัวร์เริ่มต้นถูกวางไว้ในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 4.24 (ข) และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี MLRES แสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ทั้งสองสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุรูปดาวและวัตถุรูปหัวใจได้อย่างถูกต้องโดยไม่เกิดการแย่งวัตถุกันขึ้น และอีกตัวอย่างหนึ่งแสดงในรูปที่ 4.26



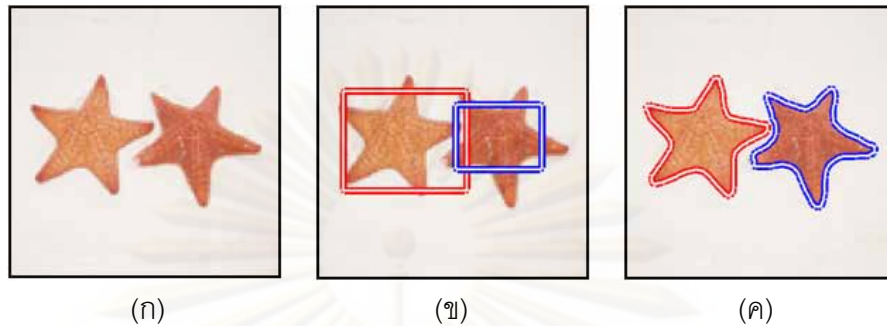
รูปที่ 4.26 การแบ่งส่วนภาพวัตถุเลขหนึ่งและเลขสองโดยใช้วิธี MLRES

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

จากรูปที่ 4.26 เป็นการทดลองวิธี MLRES ในการแบ่งส่วนวัตถุเลขหนึ่งและวัตถุเลขสองดังแสดงในรูป (ก) และได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นสำหรับแต่ละวัตถุแสดงในรูป (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกิดบริเวณที่ซ้อนทับกันขึ้นระหว่างคอนทัวร์เริ่มต้นทั้งสอง ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี MLRES แสดงในรูป (ค) โดยจะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ทั้งสองสามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างถูกต้องถึงแม้ว่าคอน



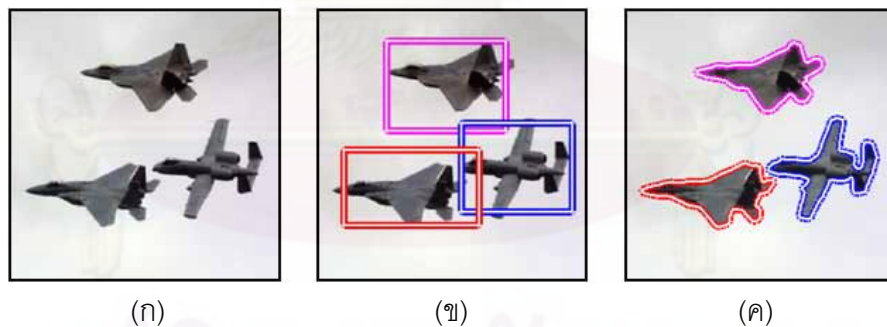
ทวิร์เริ่มต้นจะมีส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่ก็ตาม และอีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการแบ่งส่วนภาพปลาตัวทั้งสองที่วางตัวอยู่บนชายหาดดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การแบ่งส่วนภาพปลาตัวทั้งสองโดยใช้วิธี MLRES

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

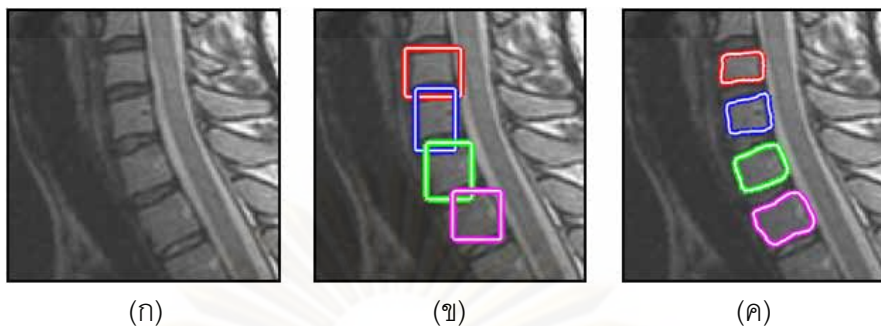
จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าปลาตัวทั้งสองตัวนี้อยู่ใกล้กันมากดังแสดงในรูป (ก) คอนทัวร์เริ่มต้นจึงถูกวางโดยมีส่วนที่ซ้อนทับกันแสดงในรูป (ข) แต่อย่างไรก็ตามวิธี MLRES ก็ยังคงสามารถแบ่งส่วนปลาตัวทั้งสองออกมาได้อย่างถูกต้องดังแสดงในรูป (ค) และต่อมาได้ทดลองเพิ่มจำนวนคอนทัวร์ของวิธี MLRES ขึ้นอีกเป็น 3 คอนทัวร์ เพื่อแบ่งส่วนภาพเครื่องบินทั้ง 3 ลำในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 การแบ่งส่วนภาพเครื่องบินทั้งสามลำโดยใช้วิธี MLRES

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

รูปที่ 4.28 เป็นภาพเครื่องบิน 3 ลำที่กำลังบินอยู่บนท้องฟ้าแสดงในรูป (ก) ซึ่งระยะห่างระหว่างเครื่องบินทั้งสามนี้ใกล้เคียงกันมาก คอนทัวร์เริ่มต้นแสดงในรูป (ข) โดยจะเห็นได้ว่าเกิดบริเวณที่ซ้อนทับกันสองบริเวณ แต่นั่นก็ไม่ใช่อุปสรรคสำหรับวิธี MLRES โดยยังสามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพเครื่องบินทั้งสามที่ถูกต้องแสดงในรูป (ค) มากไปกว่านั้น ได้มีการทดลองเพิ่มจำนวนคอนทัวร์ขึ้นเป็น 4 คอนทัวร์ดังตัวอย่างการแบ่งส่วนข้อกระดูกสันหลังในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การแบ่งส่วนภาพข้อกระดูกสันหลัง 4 ข้อโดยใช้วิธี MLRES

(ก) ภาพอินพุต (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้

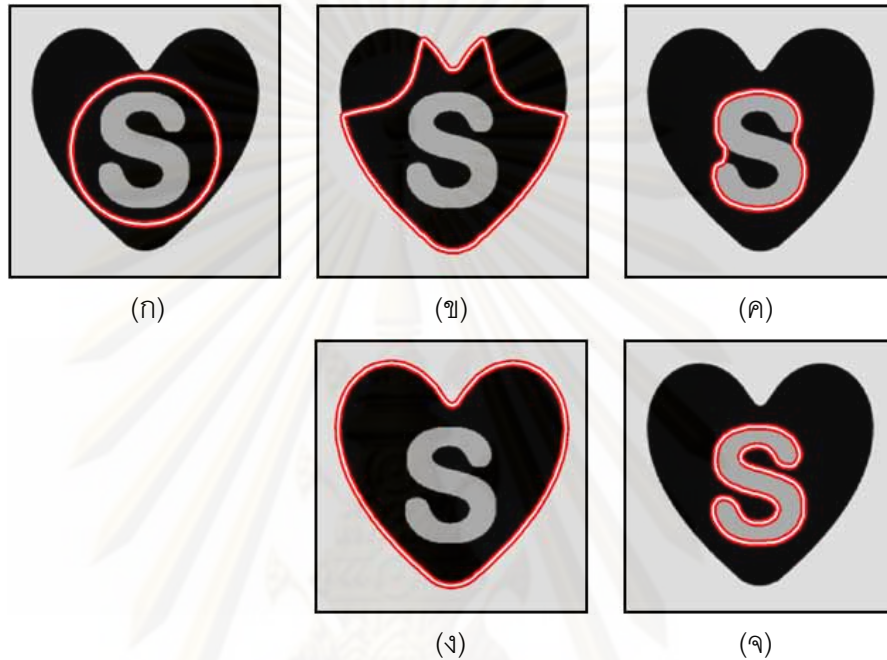
รูปที่ 4.29 เป็นการแบ่งส่วนข้อกระดูกสันหลัง โดยในกรณีนี้เราต้องการแบ่งส่วนข้อกระดูก 4 ข้อแสดงในรูป (ก) คอนทัวร์เริ่มต้นของแต่ละข้อกระดูกถูกวางไว้แสดงในรูป (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกิดบริเวณที่ซ้อนทับกันขึ้น 3 บริเวณด้วยกัน ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี MLRES แสดงในรูป (ค) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อกระดูกทั้งสี่อันที่เราต้องการนั้นสามารถถูกแบ่งส่วนได้อย่างถูกต้องโดยคอนทัวร์ทั้งหมดไม่แย่งขอบกัน ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพเป็นไปตามที่ต้องการ

จากการทดลองในหัวข้อย่อยนี้สามารถสรุปได้ว่าวิธี MLRES มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ โดยจำนวนคอนทัวร์ที่ต้องใช้จะมีจำนวนเท่ากับวัตถุที่ต้องการ และถึงแม้ว่าคอนทัวร์เริ่มต้นของแต่ละวัตถุจะมีพื้นที่ซ้อนทับกัน วิธี MLRES ก็ยังสามารถที่จะให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องได้ โดยมีความสามารถควบคุมคอนทัวร์ต่าง ๆ ไม่ให้เกิดการซ้อนทับกันขึ้นในขณะเคลื่อนที่ได้

#### 4.3.2 การแบ่งส่วนภาพที่สามารถเลือกวัตถุได้โดยใช้ชนิดขอบ

นอกจากวิธี MLRES แล้ว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้พัฒนาต่ออยดวิธี LRES ให้มีความสามารถในอีกรูปแบบหนึ่ง นั่นคือ มีความสามารถในการเลือกวัตถุได้โดยใช้ชนิดขอบ โดยได้ตั้งชื่อวิธีการใหม่นี้ว่าวิธี SLRES (รายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2.2) คอนทัวร์จะสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่เราเลือกชนิดขอบได้ กล่าวคือ เราสามารถเลือกได้ว่าต้องการแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นขอบบวกหรือขอบลบ ในการกำหนดว่าต้องการที่จะแบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบชนิดใดนั้น สามารถเลือกได้โดยการกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ชนิดขอบ  $\beta$  ในสมการที่ 3.15 ซึ่งถ้าต้องการแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นขอบบวกทำได้โดยกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ +1 และถ้าต้องการแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นขอบลบทำได้โดยกำหนดให้  $\beta$  เท่ากับ -1

ในการทดลองนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถของวิธี SLRES โดยได้เปรียบเทียบกับวิธี DDGVF [13] ซึ่งเป็นอัลกอริทึมคอนทัวร์แบบใช้ขอบที่มีความสามารถในการเลือกวัตถุได้เช่นกัน โดยเริ่มต้นการทดลองกับภาพที่มีวัตถุรูปตัวเอสวางตัวอยู่บนวัตถุรูปหัวใจดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุรูปตัวเอสวางตัวอยู่บนวัตถุรูปหัวใจ

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี DDGVF

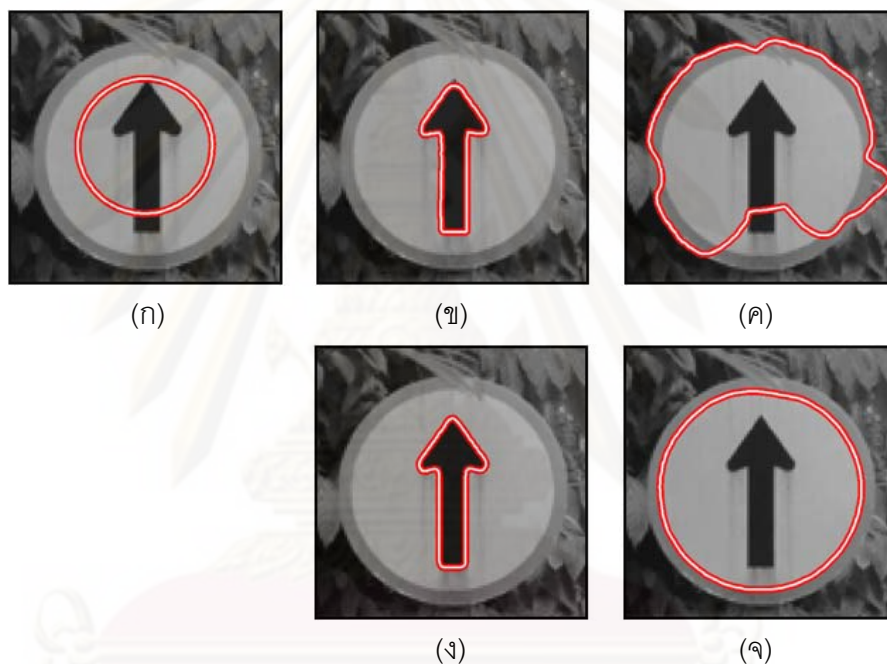
(ข) ในกรณีที่เลือกขอบบวก (ค) ในกรณีที่เลือกขอบลบ

และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี SLRES

(ง) ในกรณีที่เลือกขอบบวก (จ) ในกรณีที่เลือกขอบลบ

รูปที่ 4.30 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุรูปตัวเอสวางตัวอยู่บนวัตถุรูปหัวใจ โดยเราสามารถแยกแยะชนิดขอบของวัตถุทั้งสองได้ดังนี้ วัตถุรูปหัวใจเป็นวัตถุสีเข้มวางตัวอยู่บนพื้นหลังสีอ่อนจึงจัดได้ว่าเป็นวัตถุชนิดขอบบวก ส่วนวัตถุรูปตัวเอสเป็นวัตถุสีอ่อนวางตัวอยู่บนพื้นหลังสีเข้มจึงจัดว่าเป็นวัตถุชนิดขอบลบ โดยได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้บริเวณกลางภาพดังแสดงในรูป (ก) ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี DDGVF ในกรณีเลือกขอบบวกแสดงในรูป (ข) ซึ่งจะเห็นว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงขอบด้านบนทั้งสองของหัวใจได้ มีสาเหตุมาจากวิธี DDGVF เป็นอัลกอริทึมคอนทัวร์แบบใช้ขอบจึงมีข้อจำกัดในเรื่องของช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ ต่อมาในกรณีที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพวัตถุชนิดขอบลบ วิธี DDGVF ให้ผลการแบ่งส่วนภาพดังแสดงในรูป (ค) ซึ่งจะเห็นว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่อ่าวทั้งสองของตัวเอส

ได้ เนื่องจากวิธี DDGVF เป็นอัลกอริทึมคอนทราสต์แบบใช้สนามเวกเตอร์ ซึ่งในบริเวณขอบของอ่าวทั้งสองของตัวเอสมีจุดอานม้าเกิดขึ้น จึงทำให้คอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปภายในอ่าวทั้งสองได้ และเมื่อพิจารณาผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี SLRES ทั้งแบบเลือกขอบบวกและขอบลบพบว่าวิธี SLRES สามารถแบ่งส่วนภาพหัวใจได้อย่างถูกต้องในกรณี que เลือกขอบบวกดังแสดงในรูป (ง) และสามารถแบ่งส่วนวัตถุรูปตัวเอสได้อย่างถูกต้องเช่นกันสำหรับกรณี que เลือกขอบลบดังแสดงในรูป (จ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี SLRES มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างและสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้คอนทราสต์ของวิธี LRES มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เหนือกว่าวิธี DDGVF



รูปที่ 4.31 การแบ่งส่วนภาพป้ายจราจร

(ก) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี DDGVF

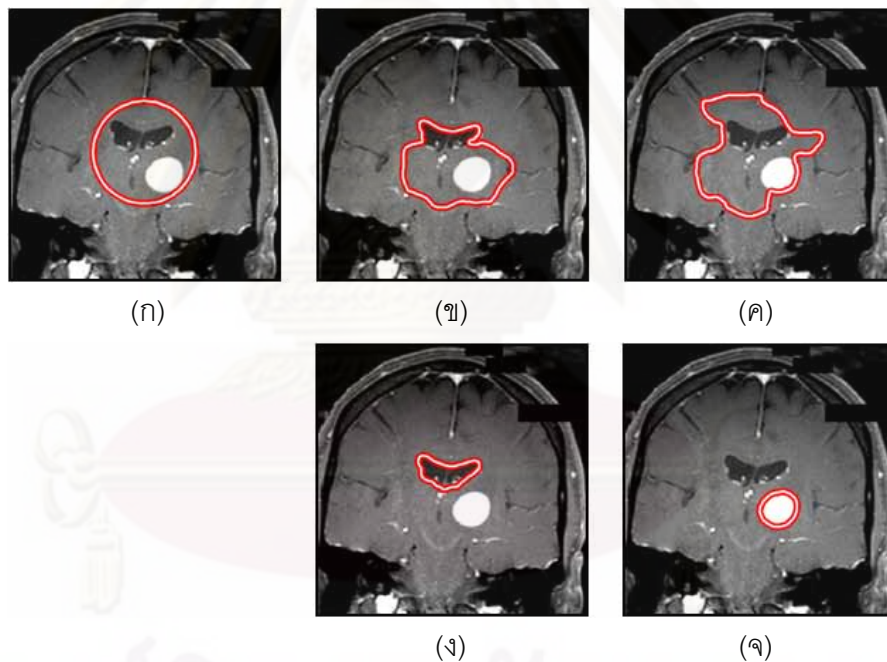
(ข) ในกรณี que เลือกขอบบวก (ค) ในกรณี que เลือกขอบลบ

และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี SLRES

(ง) ในกรณี que เลือกขอบบวก (จ) ในกรณี que เลือกขอบลบ

ตัวอย่างถัดมาเป็นการแบ่งส่วนภาพป้ายจราจรดังแสดงในรูปที่ 4.31 โดยได้วางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายในแผ่นป้ายจราจรดังแสดงในรูป (ก) ในกรณี que เลือกขอบบวก วัตถุที่คอนทราสต์เคลื่อนที่เข้าไปหาคือลูกศรสีดำที่วางตัวอยู่บนพื้นหลังสีอ่อน และถ้าเลือกขอบลบคอนทราสต์จะวิ่งไปยังขอบของแผ่นป้ายจราจร เนื่องจากมีเฉดสีอ่อนเมื่อเทียบกับพื้นหลังที่มีเฉดสีเข้ม โดยวิธี DDGVF สามารถแบ่งส่วนลูกศรสีดำได้อย่างถูกต้องเมื่อเลือกขอบบวกดังแสดงในรูป (ข) เนื่องจากในกรณีนี้

ไม่เกิดจุดอานม้าขึ้นระหว่างทางที่คอนทราสต์กำลังเคลื่อนที่ไปยังขอบของลูกศร แต่สำหรับกรณี que เลือกขอบลบนั้นคอนทราสต์ของวิธี DDGVF ไม่สามารถเกาะติดกับขอบของแผ่นป้ายจรรยาได้อย่าง สมบูรณ์แสดงในรูป (ค) เนื่องจากมีบางส่วนของคอนทราสต์รั่วไหลออกไปนอกแผ่นป้าย ซึ่งบริเวณที่ เกิดการรั่วไหลนี้เป็นบริเวณที่มีขอบเขตไม่ชัดเจน แต่สำหรับผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี SLRES นั้น คอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนลูกศรได้อย่างถูกต้องในกรณีที่เลือกขอบบวกดังแสดงในรูป (ง) และยังสามารถเกาะติดกับขอบของแผ่นป้ายได้อย่างสมบูรณ์ในกรณีที่เลือกขอบลบ ซึ่งจะเห็น ได้ว่าคอนทราสต์ของวิธี SLRES ไม่เกิดการรั่วไหลออกไปนอกวัตถุ เนื่องจากวิธีการของเรานั้นใช้ ข้อเสนอเทศบริเวณท้องถิ่นที่อยู่บนเส้นค้นหาที่ยึดตัวได้ โดยเมื่อคอนทราสต์เคลื่อนที่ไปถึงขอบเขตของ แผ่นป้ายจรรยาแล้ว เส้นค้นหาจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องยึดตัวอีกต่อไป ส่งผลให้คอนทราสต์ สามารถยึดติดอยู่ที่ขอบเขตของแผ่นป้ายได้โดยไม่มีเจดสีของบริเวณอื่น ๆ ในภาพมารบกวน ทำ ให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่เป็นไปตามต้องการดังแสดงในรูป (จ)



รูปที่ 4.32 การแบ่งส่วนภาพสมอง

(ก) คอนทราสต์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี DDGVF

(ข) ในกรณีที่เลือกขอบบวก (ค) ในกรณีที่เลือกขอบลบ

และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากวิธี SLRES

(ง) ในกรณีที่เลือกขอบบวก (จ) ในกรณีที่เลือกขอบลบ

รูปที่ 4.32 เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพสมอง โดยวัตถุที่เราสนใจ ได้แก่ Ventricle ของ สมองที่มีสีดำและเนื้องอกที่มีสีขาว คอนทราสต์เริ่มต้นวางคร่อมวัตถุทั้งสองไว้ดังแสดงในรูป (ก) ใน

กรณี queเลือกขอบบวกรวิธี DDGVF สามารถแบ่งส่วน Ventricle ของสมองได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากส่วนอื่น ๆ ของคอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดจุมที่เกิดขึ้นในหลาย ๆ จุด โดยแทนที่จะชี้ไปยังขอบเขตของ Ventricle กลับชี้ไปยังบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการแทน จึงทำให้ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุนี้ได้อย่างถูกต้องแสดงในรูป (ข) และนอกจากนี้ปัญหาจุดจุมก็เกิดขึ้นในกรณีของขอบบวด้วยเช่นกัน จึงทำให้คอนทัวร์ของวิธี DDGVF ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังเนื้องอกที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ดังแสดงในรูป (ค) แต่อย่างไรก็ตามวิธี SLRES ที่นำเสนอสามารถแบ่งส่วนวัตถุที่ต้องการได้อย่างถูกต้องทั้งในกรณีเลือกขอบบวกรและขอบบวด โดยคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังขอบเขตของ Ventricle ได้อย่างถูกต้องโดยไม่ติดขัดกับส่วนอื่น ๆ ของพื้นหลัง และในลักษณะเดียวกันกับกรณีขอบบวด คอนทัวร์ก็สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเนื้องอกได้อย่างถูกต้องเช่นกัน

จากการทดลองในหัวข้อย่อยนี้สามารถสรุปได้ว่าในการวางคอนทัวร์เริ่มต้นที่เดียวกัน วิธี SLRES สามารถเลือกที่จะเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้โดยใช้ชนิดขอบของวัตถุเป็นตัวกำหนด และนอกจากนี้วิธี SLRES ยังมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เหนือกว่าวิธี DDGVF อีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใหม่สำหรับการแบ่งส่วนภาพ เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์จากงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งมีข้อจำกัดในหลายประการ ได้แก่ วิธีการแบบใช้ขอบ ซึ่งเป็นการใช้สนามเวกเตอร์ในการชี้ทางให้กับคอนทัวร์ จะมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าวัตถุที่แคบ และยังต้องประสบกับปัญหาจุดอานม้าและจุดหยุดนิ่ง ส่งผลให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนเข้าไปในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการแบ่งส่วนภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน จุดจมน้ำ และขอบที่ไม่ชัดเจนอีกด้วย เนื่องจากสัญญาณรบกวนและจุดจมน้ำนั้นจะเป็นตัวที่ทำให้คอนทัวร์เกิดความสับสนในขณะเคลื่อนที่ ส่งผลให้คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ไม่ใช่ขอบของวัตถุที่ต้องการ และในกรณีที่ขอบของวัตถุไม่ชัดเจน จะทำให้มีข้อมูลขอบวัตถุไม่ครบ ส่งผลให้เมื่อคอนทัวร์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณนี้ คอนทัวร์จะเกิดการรั่วไหลไปยังส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการได้ ทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ถูกต้องตามที่ต้องการ ในส่วนของวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุม ซึ่งเป็นการใช้บริเวณของทั้งภาพในการควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัด คือ คอนทัวร์จะไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสมได้ เนื่องจากคอนทัวร์จะแบ่งภาพออกเป็น 2 บริเวณที่มีค่าความเข้มเฉลี่ยที่แตกต่างกันมากที่สุด จึงเหมาะสำหรับการแบ่งส่วนภาพที่ไม่เป็นเนื้อผสม ทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพที่วัตถุหรือพื้นหลังมีหลายเฉดสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนได้ เนื่องจากในบางกรณีก็อาจจะทำให้คอนทัวร์เกิดการรั่วไหลไปยังบริเวณอื่น ๆ ที่เราไม่ต้องการ อีกทั้งอาจจะได้บริเวณอื่น ๆ ที่เป็นส่วนเกินแถมมาอีกด้วย ทำให้วิธีการที่ใช้ข้อสนเทศบริเวณครอบคลุมนี้ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพวัตถุเนื้อผสมได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ตามที่ต้องการ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วภาพทั่วไป ๆ หรือภาพทางการแพทย์นั้น ส่วนใหญ่แล้วมักจะมีลักษณะเป็นเนื้อผสม และสำหรับวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นที่ใช้ข้อสนเทศบริเวณของภาพเฉพาะที่อยู่ภายในวงกลมซึ่งเป็นวงกลมของแต่ละจุดบนคอนทัวร์ และค่ารัศมีของวงกลมนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ จึงส่งผลให้คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่ที่จำกัดในกรณีที่ค่ารัศมีของวงกลมนั้นเล็กเกินไป ทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้ แต่ถ้าค่ารัศมีของวงกลมนี้ใหญ่เกินไป ก็จะทำให้วิธีการนี้กลายเป็นวิธีการแบบใช้ข้อสนเทศบริเวณแบบครอบคลุม ซึ่งจะส่งผลให้คอนทัวร์ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพเนื้อผสมได้ นอกจากนี้ในบางกรณี การใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่ภายในวงกลมก็อาจจะส่งผลให้คอนทัวร์เกิด

การรื้อไหลไปยังส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการได้ง่ายอีกด้วย และจากข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีการแก็กทิฟคอนทอร์จากงานวิจัยที่ผ่านมา วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการแก็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้มีความสามารถและประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพที่มากขึ้น

วิธีการแก็กทิฟคอนทอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอมือชื่อ่วาวิธี LRES มาจากคำว่า “Local Regional Information on Extendable Search Lines” ซึ่งเป็นแก็กทิฟคอนทอร์แบบใช้ข้อมูลขอบเขตบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้ วัตถุประสงค์ที่เราพัฒนาวิธีเส้นค้นหาให้เป็นแบบยืดตัวได้ คือ เพื่อให้คอนทอร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง ส่งผลให้คอนทอร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้เป็นอย่างดีถึงแม้ว่าคอนทอร์จะอยู่ไกลจากขอบเขตของวัตถุก็ตาม และจากการใช้ข้อมูลขอบเขตเฉพาะที่อยู่บนเส้นค้นหา จะทำให้คอนทอร์สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่างเป็นเนื้อผสมได้ อีกทั้งยังมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและจุดจมได้ดียิ่งขึ้นด้วยเนื่องจากวิธีการนี้เป็นแบบใช้บริเวณ ไม่เพียงเท่านั้นการใช้ข้อมูลขอบเขตท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่สามารถปรับยืดความยาวได้ ยังทำให้คอนทอร์สามารถเกาะติดกับวัตถุที่มีขอบไม่ชัดเจนได้ โดยไม่เกิดการรื้อไหลไปยังบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการได้ง่ายอีกด้วย มากไปกว่านั้นยังได้มีการพัฒนาต่อยอดวิธี LRES ให้มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพอีก 2 รูปแบบ ได้แก่ มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีหลายวัตถุที่ต้องการได้ ซึ่งคอนทอร์ของแต่ละวัตถุจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุของใครของมันได้โดยไม่เกิดการแย่งวัตถุหรือซ้อนทับกันขึ้น จึงทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพตามที่ต้องการ และมีความสามารถในการเลือกวัตถุได้โดยใช้ชนิดขอบ เราสามารถกำหนดให้คอนทอร์เคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้โดยการบอกให้คอนทอร์รู้ก่อนว่าต้องการวัตถุที่มีขอบเป็นชนิดใด ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นขอบบวกและขอบลบ ดังนั้น ถึงแม้ว่าคอนทอร์เริ่มต้นจะถูกวางไว้ตำแหน่งเดียวกัน แต่คอนทอร์ก็จะสามารถเคลื่อนไปยังวัตถุที่แตกต่างกันได้ โดยขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการวัตถุชนิดใด

จากการทดลองวิธี LRES เปรียบเทียบกับวิธีการแก็กทิฟคอนทอร์แบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาโดยใช้ภาพที่สร้างขึ้นเองและภาพจริงทั่วไป ๆ พบว่าวิธี LRES สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพได้ถูกต้องตามที่ต้องการ โดยสามารถแบ่งส่วนภาพที่เป็นเนื้อผสมได้ สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้เป็นอย่างดี สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและจุดจมได้ และสามารถเกาะติดกับขอบของวัตถุได้ถึงแม้ว่าจะมีขอบเขตไม่ชัดเจนก็ตาม และจากการทดลองกับภาพจากฐานข้อมูล ซึ่งประกอบได้ด้วยภาพสมองจากฐานข้อมูล IBSR และภาพดวงตาจากฐานข้อมูล MMU พบว่าวิธี LRES สามารถแบ่งส่วนภาพนี้ออกได้ถูกต้องมากที่สุด กล่าวคือ สามารถให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่สูงสุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ถึงแม้ว่าเนื่องจากที่เราต้องการนี้จะมีขอบเขตที่ไม่ค่อยชัดเจนก็ตาม นอกจากนี้ในการแบ่งส่วนมานตา วิธี LRES เป็นเพียงวิธีการเดียวเท่านั้นที่สามารถแบ่งส่วนมานตาจนครบทั้งวงแหวนได้อย่างสมบูรณ์



ในทุก ๆ ภาพที่นำมาทดลอง เนื่องจากวิธีการของเรานั้นมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีพื้นหลังเป็นเนื้อผสมได้และยังมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างอีกด้วย จึงทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยที่สูงกว่าวิธีการอื่น ๆ อย่างมาก

### 5.1.1 ข้อดีของวิธีการที่นำเสนอ

วิธี LRES ของเราเป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบที่ใช้ข้อสนเทศบริเวณท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้ ส่งผลให้คอนทัวร์มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพในหลาย ๆ รูปแบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง เนื่องจากเส้นค้นหาแต่ละเส้นนั้นสามารถปรับยืดความยาวได้จนกระทั่งวางตัวพาดถึงขอบของวัตถุ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้ถึงแม้ว่าคอนทัวร์เริ่มต้นจะอยู่ไกลจากวัตถุก็ตาม

2. คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของวัตถุได้ดี เนื่องจากเส้นค้นหาแต่ละเส้นนั้นสามารถยืดตัวได้อย่างเป็นอิสระ กล่าวคือ เส้นค้นหาแต่ละเส้นจะมีความยาวที่ไม่เท่ากัน ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนทัวร์อยู่ไกลจากบริเวณที่มีส่วนโค้งเว้ามาก ๆ เส้นค้นหาบริเวณนั้นก็จะมี ความยาวมากเพื่อยืดตัวไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการ แต่ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนทัวร์อยู่ใกล้กับขอบของวัตถุเส้นค้นหาในบริเวณนั้นก็จะมีสั้น

3. คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนภาพที่มีวัตถุหรือพื้นหลังหรือทั้งสองอย่าง เป็นเนื้อผสมได้ เนื่องจากวิธี LRES ใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่เฉพาะบนเส้นค้นหาเท่านั้น ไม่ได้ใช้ข้อสนเทศบริเวณของทั้งภาพ จึงทำให้บริเวณอื่น ๆ ของภาพไม่รบกวนการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ นอกจากนี้จุดต่าง ๆ บนคอนทัวร์จะมีความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่ เนื่องจากจะใช้ข้อสนเทศบริเวณที่อยู่บนเส้นค้นหาของใครของมัน จึงทำให้คอนทัวร์สามารถยึดเกาะติดกับขอบของวัตถุที่มีหลายเฉดสีได้

4. คอนทัวร์สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ เนื่องจากวิธี LRES ใช้ข้อสนเทศบริเวณ ซึ่งใช้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่บนเส้นค้นหาทั้งด้านในและด้านนอกคอนทัวร์ จึงทำให้สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนนั้นถูกเฉลี่ยไปด้วย ส่งผลให้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่ได้นั้นยังคงนำมาใช้ในการแยกแยะและบอกทิศทางให้กับคอนทัวร์รู้ได้ว่าควรที่จะวิ่งไปในทิศทางใด จึงทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้ถึงแม้ว่าจะมีสัญญาณรบกวนก็ตาม นอกจากนี้ปัญหาจุดจมนั้นจะมีอิทธิพลน้อยกับข้อสนเทศบริเวณที่อยู่บนเส้นค้นหา เนื่องจากจุดจมนั้นจะถูกมองเป็นเพียงข้อมูลกลุ่มน้อย ที่ไม่สามารถทำให้ค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่บนเส้นค้นหาเปลี่ยนแปลงไปมากนัก คอนทัวร์จึงสามารถเคลื่อนที่โดยมองข้ามจุดจมนั้นไปได้

5. คอนทัวร์สามารถเกาะติดกับขอบเขตของวัตถุที่ไม่ชัดเจนได้ โดยไม่เกิดการรั่วไหลไปยังบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการเนื่องจากวิธี LRES ไม่ได้ใช้ภาพขอบ แต่ได้มีการฝังแรงบริเวณแบบ

ห้องถิ่นเข้าไปในเส้นค้นหาแต่ละเส้น ดังนั้น คอนทัวร์จึงมีความสามารถในการคงตัวอยู่ได้ในบริเวณที่มีขอบเขตที่ไม่ชัดเจนระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง

6. ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้เส้นค้นหา คือ สามารถใช้ความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มเฉลี่ยที่อยู่บนเส้นค้นหาที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ มาใช้เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบได้ว่าในขณะนั้นเส้นค้นหาได้วางตัวอยู่บนขอบชนิดใด (ขอบบวกร หรือ ขอบลบ) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาต่อยอดวิธี LRES ของเราให้มีความสามารถในการเลือกวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนได้โดยเลือกจากชนิดขอบของวัตถุที่เราต้องการ

### 5.1.2 ข้อดีของวิธีการที่นำเสนอ

ถึงแม้ว่าวิธี LRES ที่นำเสนอจะมีข้อดีในการแบ่งส่วนภาพหลายประการดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว วิธีการของเรายังมีข้อดีหรือข้อจำกัดในบางประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. คอนทัวร์จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งรอบ (ต่อหนึ่ง Iteration) มากกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากวิธี LRES ของเรามีขั้นตอนที่ซับซ้อนในการเคลื่อนที่มากกว่าวิธีการอื่น ๆ โดยขั้นตอนที่เห็นได้ชัดเจน คือ ขั้นตอนในการยึดตัวของเส้นค้นหาแต่ละเส้น ซึ่งเวลาที่ใช้ในการยึดความยาวนั้น จะขึ้นอยู่กับว่าเส้นค้นหานั้นอยู่ไกลหรือใกล้จากขอบเขตของวัตถุเพียงใด ถ้าเส้นค้นหาอยู่ไกลจากขอบเขตของวัตถุ ก็จะต้องในเวลานานพอสมควรในการที่จะค่อยเพิ่มความยาวไปเรื่อย ๆ จากความยาวเริ่มต้นที่เรากำหนดให้ไปจนกว่าจะเอื้อมถึงขอบเขตของวัตถุ และเมื่อคอนทัวร์เริ่มที่จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับขอบเขตของวัตถุแล้ว และไม่ไกลเกินความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหา จะส่งผลให้เส้นค้นหาแต่ละเส้นนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องยึดตัวอีกเนื่องจากแค่ความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหาก็กทำให้ได้วางพาดกับขอบของวัตถุแล้ว จึงทำให้คอนทัวร์ใช้เวลาน้อยลงในช่วงที่คอนทัวร์เริ่มที่จะเข้าใกล้กับขอบเขตของวัตถุในทุก ๆ ส่วนแล้ว ด้วยเหตุนี้เองจะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบของวิธี LRES จะไม่คงที่ กล่าวคือ ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์จะใช้เวลาไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีแนวโน้มในลักษณะจากมากไปน้อย นั่นคือ ในตอนแรกที่คอนทัวร์อยู่ไกลจากวัตถุ เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบจะกินเวลานานและถ้าคอนทัวร์เริ่มที่จะเคลื่อนตัวเข้ามาใกล้วัตถุแล้ว เวลาที่ใช้ในแต่ละรอบก็จะลดลงตามลำดับไปจนกว่าคอนทัวร์จะแบ่งส่วนวัตถุที่ต้องการได้เสร็จสมบูรณ์ แต่ถึงแม้ว่าคอนทัวร์ของวิธี LRES จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งรอบที่มากกว่าวิธีการอื่น ๆ วิธีการของเรายังคงมีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เหนือกว่า ส่งผลให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีความถูกต้องตามที่เราร้องการมากกว่าอีกด้วย

2. คอนทราสต์ของวิธี LRES ที่นำเสนอ จะเคลื่อนที่ไปติดกับขอบที่อยู่ใกล้กับเส้นค้นหาที่สุด ส่งผลให้ถ้าเราวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ใกล้กับสิ่งที่ไม่ใช้วัตถุที่ต้องการ ก็อาจจะทำให้คอนทราสต์เคลื่อนที่ไปติดกับสิ่งที่ไม่ต้องการนั้นได้ ดังนั้น ในการวางคอนทราสต์เริ่มต้นเพื่อให้สามารถแบ่งส่วนภาพได้ตามที่ต้องการ เราควรที่จะวางคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ภายในวัตถุ หรือ วางคร่อมตัววัตถุที่เราต้องการไว้ จึงจะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ขีดเริ่มเปลี่ยน  $th$  ที่ใช้ในขั้นตอนการยึดตัวของเส้นค้นหานั้น ไม่ควรที่จะกำหนดให้มีค่ามากเกินไป เนื่องจากพารามิเตอร์นี้จะถูกใช้ในการตรวจสอบว่าเส้นค้นหานั้น ได้วางตัวพาดอยู่บนขอบของวัตถุหรือไม่ ถ้าเรากำหนดให้มีค่ามากเกินไปขอบบางส่วนของวัตถุที่มีเขตสีที่แตกต่างจากพื้นหลังไม่มากก็จะถูกละเลยไปได้ ดังนั้นเราควรที่จะกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวนี้มีค่าน้อย ๆ ตัวอย่างเช่น การทดลองในบทที่ 4 นั้นได้มีการใช้ค่า  $th = 0.1$

2. การกำหนดความยาวเริ่มต้นของเส้นค้นหาที่สั้นเกินไปนั้น จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งรอบในช่วงระยะแรก ๆ ของคอนทราสต์ก็จะกินเวลานานตามไปด้วย แต่เมื่อคอนทราสต์เริ่มเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างเข้าใกล้กับขอบของวัตถุที่ต้องการแล้ว เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งรอบก็จะลดลงตามลำดับเนื่องจากเส้นค้นหาไม่มีความจำเป็นที่จะต้องยึดตัวอีกต่อไปแล้ว

3. เนื่องจากวิธีการแยกทีฟคอนทราสต์ เป็นวิธีการที่ความยืดหยุ่นในการออกแบบและพัฒนาอย่างมากสำหรับงานในการแบ่งส่วนภาพ ดังนั้น วิธี LRES ของเราก็ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพที่เพิ่มขึ้นได้อีกในหลายรูปแบบในอนาคต โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานแบ่งส่วนภาพที่เราต้องการนำไปประยุกต์ใช้ เช่น เราสามารถเพิ่มแรงรูปร่างให้กับวิธี LRES ได้ เพื่อใช้ในการแบ่งส่วนภาพในกรณีที่มีวัตถุที่ต้องการนั้นโดนปิดบังหรือมีบางส่วนที่ขาดหายไป ซึ่งเป็นการบอกให้คอนทราสต์รู้ว่าเราต้องการวัตถุที่มีรูปร่างหน้าตาอย่างไรในภาพเป็นต้น

4. วิธีการแยกทีฟคอนทราสต์ที่นำเสนอและวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบนั้น คอนทราสต์จะเคลื่อนที่บนภาพอินพุตที่เป็นภาพระดับสีเทาทั้งหมด ในกรณีที่ภาพที่เราต้องการแบ่งส่วนเป็นภาพสี (Color) เราจำเป็นต้องแปลงภาพอินพุตให้เป็นภาพระดับสีเทาก่อนเสมอ ซึ่งอันที่จริงแล้วข้อมูลสีของภาพจะมีประโยชน์อย่างมากในการแบ่งส่วนภาพ ดังนั้น วิธี LRES ที่นำเสนอนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้คอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่บนภาพสีได้ ซึ่งจะส่งผลให้คอนทราสต์มีข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างวัตถุที่ต้องการกับพื้นหลัง

5. วิธี LRES ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้เป็นแบบ 3 มิติได้ในอนาคต สำหรับการแบ่งส่วนภาพในกรณีที่ต้องการแสดงผลใน 3 มิติ หรืองานที่ต้องการหาปริมาตรของวัตถุ เนื่องจากวิธี LRES ของเรานี้ได้พัฒนาและเขียนโปรแกรมโดยใช้วิธีการเซตระดับ ซึ่งเป็นรูปแบบในการแทนคอนทัวร์ที่มีความยืดหยุ่นและสะดวกในการพัฒนาโปรแกรมต่อยอดให้เป็นแบบ 3 มิติ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision 1 (1988): 321–331.
- [2] L. D. Cohen. On active contour models and balloons. Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Image Understanding 53 (1991): 211-218.
- [3] L. D. Cohen and I. Cohen. Finite-element methods for active contour models and balloons for 2-D and 3-D images. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 15 (November 1993): 1131-1147.
- [4] C. Xu and J. L. Prince. Snakes, shapes, and gradient vector flow. IEEE Transactions on Image Processing 7 (March 1998): 359–369.
- [5] B. Wang and L. M. Zhang. A new snake model based on the coulomb law. The International Conference on Neural Networks and Signal Processing (December 2003): 1113–1116.
- [6] B. Li and S. T. Acton. Active contour external force using vector field convolution for image segmentation. IEEE Transactions on Image Processing 16 (August 2007): 2096–2106.
- [7] K. W. Sum and P. Y. S. Cheung. Boundary vector field for parametric active contours. Pattern Recognition 40 (2007): 1635-1645.
- [8] X. Xie and M. Mirmehdi. MAC: Magnetostatic active contour model. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 30 (April 2008): 632-646.
- [9] T. Wang, I. Cheng, and A. Basu. Fluid vector flow and applications in brain tumor segmentation. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 56 (March 2009): 781-789.
- [10] V. Caselles, R. Kimmel, and G. Sapiro. Geodesic active contour. International Journal of Computer Vision 22 (1997): 61-79.
- [11] H. Park, T. Schoepflin, and Y. Kim. Active contour model with gradient direction information: directional snake. IEEE Transactions on Circuits and systems for video technology 11 (February 2001): 252-256.

- [12] J. Tang, S. Millington, S. T. Acton, J. Crandall, and S. Hurwitz. Surface extraction and thickness measurement of the articular cartilage from mr images using directional gradient vector flow snakes. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 53 (May 2006): 896-907.
- [13] J. Cheng and S. W. Foo. Dynamic directional gradient vector flow for snakes. IEEE Transactions on Image Processing 15 (June 2006): 1563–1571.
- [14] J. Tang, S. Millington, S. T. Acton, J. Crandall, and S. Hurwitz. Ankle cartilage surface segmentation using directional gradient vector. IEEE International Conference on Image Processing (October 2004): 2745-2748.
- [15] S. Phumeechanya and C. Pluempitiwiriwajewj. Left ventricular segmentation using double region-based snakes. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (April 2007): 840-843.
- [16] L. Cheng, J. Yang, and X. Fan. A new region-based active contour for object extraction using level set method. The Second Iberian Conference (June 2005): 285-291.
- [17] S. Phumeechanya, C. Pluempitiwiriwajewj and S. Sotthivirat. 3D left ventricular segmentation using double active contours and double active surfaces. The 30<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (August 2008): 214-217.
- [18] Y. Yang, S. Huang, P. Lin, and N. Rao. Medical image segmentation based on level set combining with region information. The Fourth International Conference on Natural Computation (October 2008): 70-74.
- [19] S. Phumeechanya, C. Pluempitiwiriwajewj and S. Sotthivirat. Region-based active contour with shape prior force using modified hotelling transform. The International Symposium on Multimedia and Communication Technology (January 2009): 160-163.
- [20] Q. Zhang and R. Pless. Segmenting multiple familiar objects under mutual occlusion. IEEE International Conference on Image Processing (October 2006): 197-200.

- [21] S. Phumeechanya, C. Pluempitiwiriyaewj, and S. Thongvigitmanee. Active contour using local region-based force with adaptive-length search line. The Ninth IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing (July 2009): 91-96.
- [22] T. F. Chan and L. A. Vese. Active contours without edges. IEEE Transactions on Image Processing 10 (February 2001): 266–277.
- [23] J. A. Yezzi, A. Tsai, and A. Willsky. A fully global approach to image segmentation via coupled curve evolution equations. *Journal of Visual Communication and Image Representation* 13 (Mar 2002): 195-216.
- [24] O. Michailovich, Y. Rathi, and A. Tannenbaum. Image segmentation using active contours driven by the Bhattacharyya gradient flow. IEEE Transactions on Image Processing 16 (November 2007): 2787–2801.
- [25] J. Mille and L. D. Cohen. A local normal-based region term of active contours. Energy minimization methods in computer vision and pattern recognition, Lecture notes in computer science, Springer berlin heidelberg 5681 (2009): 168-181.
- [26] R. Ronfard. Region-based strategies for active contour models. International Journal of Computer Vision 13 (1994): 229-251.
- [27] S. Lankton and A. Tannenbaum. Localizing region-based active contours. IEEE Transactions on Image Processing 17 (November 2008): 2029-2039.
- [28] R. Malladi, J. Sethian, and B. C. Vemuri. Shape modeling with front propagation: a level set approach. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 17 (February 1995): 158-175.
- [29] D. Mumford and J. Shah. Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems. Communications on Pure and Applied Mathematics 42 (1989): 577-685.
- [30] A. Bhattacharyya. On a measure of divergence between two statistical populations defined by their probability distributions. Bulletin of the Calcutta Mathematical Society 35 (1943): 99-109.
- [31] G. Xingfei and T. Jie. An automatic active contour model for multiple objects. The 16<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition (August 2000): 881-884.

- [32] C. Tauber, H. Batatia, and A. Ayache. A General quasi-automatic initialization for snakes: application to ultrasound images. IEEE International Conference on Image Processing (September 2005): 806-809.
- [33] R. Yang and M. Mirmehdi. A charged geometric model for active contours. The 18<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition (2006): 183-189.
- [34] Y. Wang, J. Liang, and Y. Jia. On the critical point of gradient vector flow snake. The 8<sup>th</sup> Asian Conference on Computer Vision (November 2007): 754-763.
- [35] B. Li and S. T. Acton. Automatic active model initialization via poisson inverse gradient. IEEE Transactions on Image Processing 17 (August 2008): 1406-1420.
- [36] T.F. Cootes, C.J. Taylor, D.H. Cooper and J. Graham. Active shape models - their training and application. Computer Vision and Image Understanding 61 (January 1995): 38-59.
- [37] C. Pluempitiwiriyaewej, J. M. F. Moura, Y.-J. L. Wu, and C. Ho. STACS: New active contour scheme for cardiac MR image segmentation. IEEE Transactions on Medical Imaging 24 (May 2005): 593-603.
- [38] Massachusetts General Hospital, Center for Morphometric Analysis, The Internet Brain Segmentation Repository Database (IBSR), 1999. Available from <http://www.cma.mgh.harvard.edu/ibsr/data.html>
- [39] Multimedia University, MMU Iris Database., 2005. Available from <http://pesona.mmu.edu.my/~ccteo/>

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก (Appendices)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก (Appendix A) ที่มาของสมการการเคลื่อนที่

ในบทที่ 3 ได้มีการออกแบบวิธีการแก้กึ่งพีคอนทัวร์แบบใหม่ที่ใช้ข้อสมมติขอบเขตท้องถิ่นบนเส้นค้นหาที่ยืดได้มีชื่อย่อเรียกว่าวิธี LRES ซึ่งคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ที่แสดงในสมการที่ 3.9 โดยสมการการเคลื่อนที่นี้มีที่มาจากทำให้ฟังก์ชันพลังงานในสมการที่ (ก.1) มีค่าน้อยที่สุด (Minimizing)

$$E_{\text{total}}(\phi) = \mu \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi) |\nabla \phi| dx dy + \nu \int_{\Omega} \delta_{\varepsilon}(\phi) E_{\text{line}}(\phi) dx dy \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่  $E_{\text{line}}$  คือฟังก์ชันพลังงานของเส้นค้นหาแต่ละเส้นดังแสดงในสมการที่ (ก.2)

$$E_{\text{line}}(\phi) = \int_{\Omega} (I - r_{\text{in}})^2 M \cdot H_{\varepsilon}(\phi) dx dy + \int_{\Omega} (I - r_{\text{out}})^2 M \cdot (1 - H_{\varepsilon}(\phi)) dx dy \quad (\text{ก.2})$$

วิธีการทำให้ฟังก์ชันพลังงานในสมการที่ (ก.1) มีค่าน้อยที่สุด ทำได้โดยการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชัน  $E$  ในสมการที่ (ก.3) เทียบกับ  $\phi$  แล้วกำหนดให้เท่ากับศูนย์ดังแสดงในสมการที่ (ก.4)

$$E(\phi) = \mu \delta_{\varepsilon}(\phi) |\nabla \phi| + \nu \delta_{\varepsilon}(\phi) E_{\text{line}}(\phi) \quad (\text{ก.3})$$

$$\frac{\partial E}{\partial \phi} - \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right) - \frac{d}{dy} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right) = 0 \quad (\text{ก.4})$$

จากฟังก์ชัน  $E$  ในสมการที่ (ก.3) เราเห็นว่า  $|\nabla \phi| = \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}$  ดังนั้น จึงสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังสมการที่ (ก.5)

$$E(\phi) = \mu \delta_{\varepsilon}(\phi) \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} + \nu \delta_{\varepsilon}(\phi) E_{\text{line}}(\phi) \quad (\text{ก.5})$$

สมการการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์  $\frac{\partial \phi}{\partial t}$  จะมีค่าเท่ากับค่าติดลบของพจน์ซ้ายมือของสมการที่ (ก.4) ดังแสดงในสมการที่ (ก.6)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = - \left[ \frac{\partial E}{\partial \phi} - \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right) - \frac{d}{dy} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right) \right] \quad (\text{ก.6})$$

โดยที่เราสามารถจัดรูปใหม่ได้เป็นสมการที่ (ก.7)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = - \frac{\partial E}{\partial \phi} + \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right) + \frac{d}{dy} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right) \quad (\text{ก.7})$$

เราสามารถคำนวณหาสมการการเคลื่อนที่ได้โดยหาค่าในแต่พจน์ของสมการที่ (ก.7) โดยเริ่มต้นจากการหาค่า  $\frac{\partial E}{\partial \phi}$  ซึ่งคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (ก.8)

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \phi} &= \mu \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \delta_\varepsilon(\phi) + v \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}}(\phi) + E_{\text{line}}(\phi) \frac{\partial}{\partial \phi} v \delta_\varepsilon(\phi) \\ &= \mu |\nabla \phi| \delta'_\varepsilon(\phi) + v \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}}(\phi) + E_{\text{line}}(\phi) v \delta'_\varepsilon(\phi) \end{aligned} \quad (\text{ก.8})$$

โดยที่  $\frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}}$  คำนวณได้ดังสมการที่ (ก.9)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}} &= \int_{\Omega} (I - r_{\text{in}})^2 M \frac{\partial}{\partial \phi} H_\varepsilon(\phi) \, dx dy \\ &\quad + \int_{\Omega} (I - r_{\text{out}})^2 M \frac{\partial}{\partial \phi} (1 - H_\varepsilon(\phi)) \, dx dy \end{aligned} \quad (\text{ก.9})$$

โดยที่

$$\frac{\partial}{\partial \phi} H_\varepsilon(\phi) = \delta_\varepsilon(\phi) \quad (\text{ก.10})$$

ดังนั้น  $\frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}}$  จึงสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (ก.11)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}} &= \int_{\Omega} (I - r_{\text{in}})^2 M \delta_\varepsilon(\phi) \, dx dy - \int_{\Omega} (I - r_{\text{out}})^2 M \delta_\varepsilon(\phi) \, dx dy \\ &= \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ (I - r_{\text{in}})^2 - (I - r_{\text{out}})^2 \right] \, dx dy \end{aligned} \quad (\text{ก.11})$$

แทนค่า  $\frac{\partial}{\partial \phi} E_{\text{line}}$  ลงในสมการที่ (ก.8) จะทำให้ได้  $\frac{\partial E}{\partial \phi}$  ดังแสดงในสมการที่ (ก.12)

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \phi} &= \mu |\nabla \phi| \delta'_\varepsilon(\phi) + \nu \delta_\varepsilon(\phi) \int_{\Omega} \delta(\phi) M \left[ (I - r_{\text{in}})^2 - (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \\ &\quad + E_{\text{line}} \nu \delta'_\varepsilon(\phi) \end{aligned} \quad (\text{ก.12})$$

จากนั้น หาค่า  $\frac{\partial E}{\partial \phi_x}$  ได้ดังแสดงในสมการที่ (ก.13)

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \phi_x} &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\partial}{\partial \phi_x} \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} = \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{1}{2\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \frac{\partial}{\partial \phi_x} (\phi_x^2 + \phi_y^2) \\ &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_x}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} = \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \end{aligned} \quad (\text{ก.13})$$

ต่อมา หาค่า  $\frac{\partial E}{\partial \phi_y}$  ได้ดังแสดงในสมการที่ (ก.14)

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \phi_y} &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\partial}{\partial \phi_y} \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} = \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{1}{2\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \frac{\partial}{\partial \phi_y} (\phi_x^2 + \phi_y^2) \\ &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_y}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} = \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \end{aligned} \quad (\text{ก.14})$$

ดังนั้น ค่า  $\frac{d}{dx} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right)$  ของสมการที่ (ก.7) หาได้ดังแสดงในสมการที่ (ก.15)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right) &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{d}{dx} \left( \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \right) + \mu \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \frac{d}{dx} \delta_\varepsilon(\phi) \\ &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{d}{dx} \left( \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \right) + \mu \delta'_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_x^2}{|\nabla \phi|} \end{aligned} \quad (\text{ก.15})$$

และค่า  $\frac{d}{dy} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right)$  ของสมการที่ (ก.7) หาได้ดังแสดงในสมการที่ (ก.16)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dy} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right) &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{d}{dy} \left( \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \right) + \mu \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \frac{d}{dy} \delta_\varepsilon(\phi) \\ &= \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{d}{dy} \left( \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \right) + \mu \delta'_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_y^2}{|\nabla \phi|} \end{aligned} \quad (ก.16)$$

แทนค่า  $\frac{\partial E}{\partial \phi}$ ,  $\frac{d}{dx} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right)$  และ  $\frac{d}{dy} \left( \frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right)$  ลงในสมการที่ (ก.7) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial t} &= -\mu |\nabla \phi| \delta'_\varepsilon(\phi) - \nu \delta_\varepsilon(\phi) \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ (I - r_{\text{in}})^2 - (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \\ &\quad - E_{\text{line}} \nu \delta'_\varepsilon(\phi) + \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{d}{dx} \left( \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \right) + \mu \delta'_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_x^2}{|\nabla \phi|} \\ &\quad + \mu \delta_\varepsilon(\phi) \frac{d}{dy} \left( \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \right) + \mu \delta'_\varepsilon(\phi) \frac{\phi_y^2}{|\nabla \phi|} \end{aligned} \quad (ก.17)$$

จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial t} &= -\mu |\nabla \phi| \delta'_\varepsilon(\phi) + \nu \delta_\varepsilon(\phi) \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \\ &\quad - E_{\text{line}} \nu \delta'_\varepsilon(\phi) + \mu \delta_\varepsilon(\phi) \left[ \frac{d}{dx} \left( \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \right) + \frac{d}{dy} \left( \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \right) \right] \\ &\quad + \mu \delta'_\varepsilon(\phi) \left[ \frac{\phi_x^2}{|\nabla \phi|} + \frac{\phi_y^2}{|\nabla \phi|} \right] \end{aligned} \quad (ก.18)$$

โดยที่เรารู้ว่า

$$\frac{\phi_x^2}{|\nabla \phi|} + \frac{\phi_y^2}{|\nabla \phi|} = |\nabla \phi| \quad (ก.19)$$

และ

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{\phi_x}{|\nabla \phi|} \right) + \frac{d}{dy} \left( \frac{\phi_y}{|\nabla \phi|} \right) = \text{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \quad (ก.20)$$

ดังนั้น สามารถจัดรูปสมการการเคลื่อนที่  $\frac{\partial \phi}{\partial t}$  ได้ใหม่ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial t} = & -\mu |\nabla \phi| \delta'_\varepsilon(\phi) + \nu \delta_\varepsilon(\phi) \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \\ & - E_{\text{line}} \nu \delta'_\varepsilon(\phi) + \mu \delta_\varepsilon(\phi) \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) + \mu |\nabla \phi| \delta'_\varepsilon(\phi) \end{aligned} \quad (\text{ก.21})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial t} = & \nu \delta_\varepsilon(\phi) \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \\ & - E_{\text{line}} \nu \delta'_\varepsilon(\phi) + \mu \delta_\varepsilon(\phi) \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \end{aligned} \quad (\text{ก.22})$$

โดยที่เรารู้ว่า  $\delta'_\varepsilon(\phi)$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์บนคอนทัวร์ ดังนั้น จึงสามารถตัดพจน์  $-E_{\text{line}} \nu \delta'_\varepsilon(\phi)$  นี้ทิ้งไปได้ ทำให้สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \mu \delta_\varepsilon(\phi) \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) + \nu \delta_\varepsilon(\phi) \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \quad (\text{ก.23})$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_\varepsilon(\phi) \left( \mu \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) + \nu \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \right) \quad (\text{ก.24})$$

และสามารถจัดรูปใหม่ได้อีกดังแสดงในสมการที่ (ก.25)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_\varepsilon(\phi) (F_{\text{SM}} + F_{\text{LR}}) \quad (\text{ก.25})$$

โดยที่  $F_{\text{SM}}$  คือ แรงราบเรียบแสดงในสมการที่ (ก.26) และ  $F_{\text{LR}}$  คือ แรงบริเวณท้องถิ่นแสดงในสมการที่ (ก.27)

$$F_{\text{SM}} = \mu \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \quad (\text{ก.26})$$

$$F_{\text{LR}} = \nu \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) M \left[ -(I - r_{\text{in}})^2 + (I - r_{\text{out}})^2 \right] dx dy \quad (\text{ก.27})$$

ภาคผนวก ข (Appendix B)  
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Sapon Phumeechanya, Charnchai Pluempitiwiriyaewj, and Saowapak Thongvigitmanee, "Active Contour Using Local Region-Based Force with Adaptive-Length Search Line," The Ninth IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP 2009), pp. 91-96, Cambridge, United Kingdom, 13-15 July 2009.
- [2] Sapon Phumeechanya, Charnchai Pluempitiwiriyaewj, and Saowapak Thongvigitmanee, "Active Contour Using Local Regional Information on Extendable Search Lines (LRES) for Image Segmentation," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E93-D, No. 6, June 2010.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายโสภณ ผู้มีจรรยา เกิดวันพุธที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรมคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ในสังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย