

โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 19

เรื่อง การแบ่งย่อยภาพ Magnetic Resonance ปีที่ 3

Magnetic Resonance Image Segmentation

ผู้รับผิดชอบโครงการ

อาจารย์ ดร. ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พญาไท กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 02-2186908 โทรสาร 02-2186912
e-mail : Charnchai.P@eng.chula.ac.th

ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน (มิถุนายน พ.ศ. 2549 – พฤษภาคม พ.ศ. 2550)

1. บทนำ

เทคโนโลยีการถ่ายภาพสะท้อนแม่เหล็ก (Magnetic Resonance Imaging) หรือ MRI ได้ถูกนำมาใช้ในวงการแพทย์อย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะ มันมีศักยภาพสูงในการนำมาวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัยโรคต่าง ๆ ในขั้นเบื้องต้นได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องมีการผ่าตัด ในช่วงแรก MRI ถูกนำมาใช้ในการถ่ายภาพสมอง เพื่อศึกษาปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาทางกายภาพในส่วนต่าง ๆ ของระบบสมอง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากยาบางชนิดหรือสิ่งเร้าทางกายภาพจากภายนอก ภาพสะท้อนแม่เหล็กของสมอง ยังถูกนำมาใช้ในการศึกษาการทำงานของสมองขณะนึกคิดหรือปฏิบัติงานบางอย่าง และตรวจหาความผิดปกติของสมองด้วย ต่อมาเทคโนโลยีการถ่ายภาพสะท้อนแม่เหล็ก นี้ได้ถูกพัฒนาให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ จนสามารถนำมาใช้ถ่ายภาพอวัยวะนุ่ม (soft tissue) อื่น ๆ ได้อีก เช่น หัวใจ และ ตับ เป็นต้น

ไม่นานมานี้ MRI ได้ถูกนำมาใช้ในการถ่ายภาพหัวใจเพื่อศึกษาการทำงานของหัวใจ รวมถึงการตรวจหาความผิดปกติของหัวใจในผู้ป่วยโรคหัวใจ นอกจากนี้ปัจจุบันยังมีงานวิจัยใหม่ ๆ ที่นำเอา MRI มาใช้ในการดูแล (monitor) การทำงานของหัวใจในผู้ป่วยที่เพิ่งผ่านการผ่าตัดเปลี่ยนหัวใจโดยไม่ต้องใช้วิธีสุ่มเนื้อเยื่อหัวใจออกมาตรวจ (Biopsy) อีกด้วย งานวิจัยเหล่านี้จำเป็นต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ผลจากภาพถ่าย magnetic resonance เป็นจำนวนมาก เนื่องจากข้อมูลภาพหัวใจเหล่านี้ถูกบันทึกตลอดระยะเวลาการเต้นของหัวใจ และขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญที่สุดในการวิเคราะห์ภาพเหล่านี้คือการแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) เพื่อให้ได้มาซึ่งส่วนต่าง ๆ ของหัวใจเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานที่ถูกต้องของหัวใจต่อไป ทว่าวิธีการแบ่งย่อยภาพหัวใจที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบหาส่วนต่าง ๆ ของหัวใจในภาพสะท้อนแม่เหล็ก แต่ละภาพแล้วทำการแบ่งส่วนภาพด้วยการวาดเส้นแบ่งเองด้วยมือ (manual segmentation) แม้วิธีนี้จะให้ผลที่มีความถูกต้องมาก การแบ่งส่วนภาพภาพด้วยมือนี้ ถ้าซ้ำ ใช้

แรงงานอย่างมาก และขาดประสิทธิภาพในการคำนวณ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรนำเทคนิคการปฏิบัติการทางภาพ (image processing) โดยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ ข้อมูลชุดภาพ สะท้อนแม่เหล็กของหัวใจได้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ที่สำคัญ เครื่องมือแบ่งย่อยภาพ magnetic resonance ของหัวใจนี้ควรจะสามารถแบ่งย่อยส่วนต่างๆ ของหัวใจได้เองให้ได้มากที่สุด และพึงการทำงานกับผู้เชี่ยวชาญ (expert interaction) เฉพาะในส่วนที่จะเป็นจริง ๆ เท่านั้น

2.วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 ศึกษาปัญหาของการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็ก
- 2.2 ทดลองแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายด้วยเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ
- 2.3 ออกแบบระเบียบวิธีเอ็กทิฟคอนทัวร์คู่สำหรับแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย
- 2.4 ทดลองการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ระเบียบวิธีเอ็กทิฟคอนทัวร์คู่
- 2.5 สรุปข้อดีและข้อด้อยของระเบียบวิธีเอ็กทิฟคอนทัวร์คู่
- 2.6 ศึกษาการแบ่งส่วนภาพโดยใช้เอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ
- 2.7 พัฒนารูปวิธีการแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม
- 2.8 ศึกษาการแบ่งส่วนภาพที่มีลายผิว โดยใช้ตัวกรองกานบอร์
- 2.9 ทดลองการแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้เอ็กทิฟคอนทัวร์

3.ขอบเขตของโครงการวิจัย

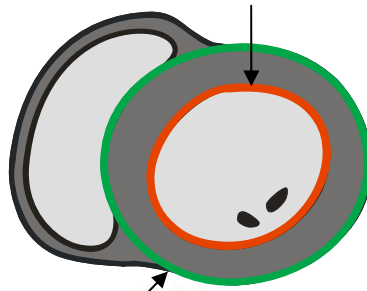
ในโครงการวิจัยนี้ เราจะเน้นที่การวิเคราะห์หา กระบวนการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพเมื่อใช้กับภาพสะท้อนแม่เหล็ก และภาพทางทันตกรรม ซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากภาพอื่นๆ โดยทั่วไป ในขั้นเบื้องต้น เราจะเน้นการค้นหาวิธีหาหัวใจในภาพสะท้อนแม่เหล็ก และ การค้นหาพื้นที่หน้า 6 ซี่ เป็นหลัก หลังจากนั้น เราจะออกแบบสร้างเครื่องมือการแบ่งส่วนภาพ ที่ง่ายต่อการใช้งาน เพื่อเป็นประโยชน์ให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญนำไปวิเคราะห์ข้อมูลสำคัญทางการแพทย์ต่อไป

4.ผลการดำเนินการ

4.1 ปัญหาของการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย

การแบ่งส่วนภาพหัวใจ เพื่อให้ได้ส่วนที่เป็นความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณโดยรอบหัวใจห้องล่างซ้ายสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางการแพทย์ ประกอบไปด้วยขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย แสดงดังรูปที่ 1

คอนทัวร์ A สำหรับขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน



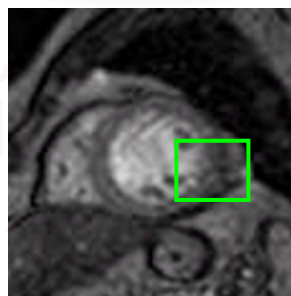
คอนทัวร์ B สำหรับขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก

รูปที่ 1 การแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย

จากรูปที่ 1 เป็นภาพจำลองการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์คู ซึ่งในที่นี้ เราเรียกคอนทัวร์ที่ใช้แบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้ายว่า คอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B ตามลำดับ

ในการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก มีปัญหาที่สำคัญอยู่ 2 ประการ ดังต่อไปนี้

1. ปัญหาความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพในบริเวณกรอบสีเขียวมีลักษณะเบลอ กล่าวคือ ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกไม่ค่อยชัดเจน

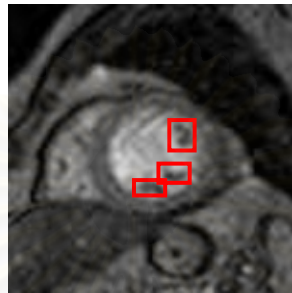


รูปที่ 2 ความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก

ปัญหาความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกนี้ จะเป็นอุปสรรคที่สำคัญอย่างมากกับการใช้แรงภายนอกแบบที่ใช้ภาพขอบ เพราะความไม่ชัดเจนของขอบเขตเหล่านี้จะส่งผลให้ภาพขอบไม่ชัดเจนไปด้วย ซึ่งในกรณีนี้เราควรเลือกใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ

โดยได้มีการทดลองให้เห็นถึงความสามารถ ในการแบ่งส่วนภาพหัวใจโดยใช้แรงภายนอกแบบต่างๆ ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

2. ปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ แสดงดังรูปที่ 3 ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดง ซึ่งกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจเหล่านี้ จะปรากฏเป็นจุดสีดำอยู่บริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของภาพสะท้อนแม่เหล็กบางภาพ



รูปที่ 3 กล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจที่อยู่ภายในหัวใจห้องล่างซ้าย

จากรูปที่ 3 จุดสีดำเหล่านี้ จะเป็นอุปสรรคอย่างมากในการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของ แอ็กทิฟคอนทัวร์ กล่าวคือ คอนทัวร์อาจจะเคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำเหล่านี้จนไม่สามารถเคลื่อนที่ ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างถูกต้อง ซึ่งได้มีการนำเสนอวิธีในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจนี้ ในหัวข้อถัดไป

4.2 การทดลองแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับแรงภายนอกของแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ เราได้มีการนำแรงภายนอกแบบต่างๆเหล่านี้ มาทำการทดลองแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็กที่มีขนาด 150x 150 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งมีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในดังรูปที่ 4(ก) และผลการแบ่งส่วนภาพของแรงภายนอกแบบต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยแรงภายนอก 5 แบบ มีดังต่อไปนี้

1. แรงภายนอกแบบดั้งเดิม [1], $F_{\text{traditional}}$ ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4(ข) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่มีการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างมากนัก เนื่องมาจากแรงภายนอกแบบดั้งเดิมนี้นี้ มีปัญหาในเรื่องของการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด และภาพหัวใจที่เรานำมาใช้ในการทดลองนี้มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก จึงทำให้แรงภายนอกแบบดั้งเดิมไม่ประสบความสำเร็จในการแบ่งส่วนภาพหัวใจลักษณะนี้

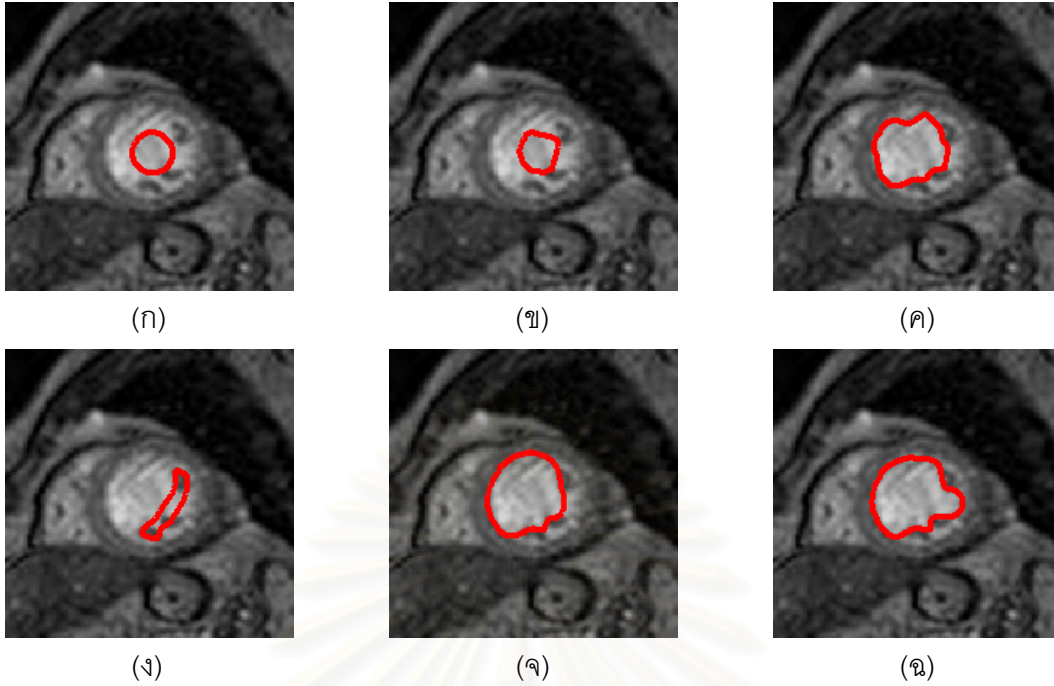
2. แรงภายนอกแบบ GVF [2], F_{GVF} ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4(ค) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพหัวใจมากขึ้น เมื่อเทียบกับแรงภายนอกแบบดั้งเดิม เนื่องจากแรงภายนอกแบบนี้มีการขยายขอบเขตของแรงมากขึ้น ทำให้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ

ที่กว้างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อเสียอยู่ เนื่องจากแรงภายนอกแบบ GVF นี้ใช้ภาพขอบ จึงทำให้คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับขอบที่ไม่ต้องการ ซึ่งก็คือขอบของกล้ามเนื้อหัวใจ หรือจุดสีดำ ในภาพนั่นเอง ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้

3. แรงภายนอกแบบ DDGVF [3] กรณีเลือกใช้ขอบบวก, F_{DDGVF+} ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4(ง) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์เคลื่อนที่เข้าหาส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจ เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจที่เห็นในภาพนี้เป็นจุดสีดำ ซึ่งมีลักษณะเป็นวัตถุสีดำบนพื้นสีขาว จึงมีคุณสมบัติเป็นขอบบวก ด้วยเหตุนี้เองคอนทัวร์จึงไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ เพราะติดอยู่กับจุดสีดำเหล่านี้

4. แรงภายนอกแบบ DDGVF [3] กรณีเลือกใช้ขอบลบ, F_{DDGVF-} ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4(จ) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ดีกว่า กรณีเลือกใช้ขอบบวก เนื่องจากเยื่อหัวใจภายใน มีลักษณะเป็นวัตถุสีขาวบนพื้นสีดำ จึงมีคุณสมบัติเป็นขอบลบ แต่ทว่าแรงภายนอกแบบ DDGVF นี้ยังคงใช้ภาพขอบ จึงทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสัญญาณรบกวนในภาพยังคงมีอยู่มาก

5. แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ [4], F_{region} ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4(ข) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับแรงภายนอกทั้ง 4 แบบที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้ไม่ได้ใช้ภาพขอบ จึงทำให้สัญญาณรบกวนในภาพไม่มีผลกระทบกับแรงภายนอกแบบนี้มากนัก และคอนทัวร์ยังสามารถแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายได้ดีพอสมควร ซึ่งคอนทัวร์จะพยายามแบ่งส่วนภาพออกเป็นสองอาณาบริเวณ คือ บริเวณที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ โดยอาณาบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ คือ ส่วนที่เป็นเยื่อหัวใจภายใน ซึ่งมีอาณาบริเวณส่วนใหญ่เป็นสีขาว แต่ในภาพหัวใจนี้ยังมีส่วนอื่นๆ ของภาพ ที่มีอาณาบริเวณลักษณะเดียวกันกับอาณาบริเวณของเยื่อหัวใจภายใน ซึ่งเป็นส่วนที่เราไม่ต้องการ แต่ทว่าในที่นี้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ เป็นแบบพาราเมตริก คอนทัวร์จึงไม่สามารถแยกตัวเองออกเป็นหลายๆ คอนทัวร์ได้ จึงทำให้เราแบ่งส่วนภาพได้เฉพาะส่วนที่เราต้องการ แต่อย่างไรก็ตามคอนทัวร์ยังไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าหาส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากคอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับกล้ามเนื้อหัวใจที่มีอาณาบริเวณที่เป็นสีดำ ซึ่งเป็นอาณาบริเวณที่ไม่ใกล้เคียงกับอาณาบริเวณส่วนใหญ่ของเยื่อหัวใจภายในซึ่งเป็นสีขาว



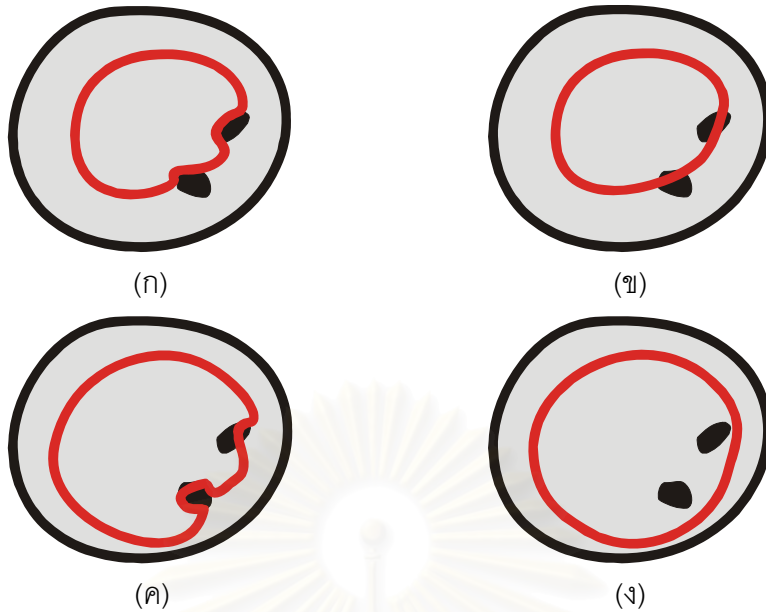
รูปที่ 4 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในโดยใช้แรงภายนอกแบบต่างๆ

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) แรงภายนอกแบบดั้งเดิม (ค) แรงภายนอกแบบ GVF

(ง) แรงภายนอกแบบ DDGVF+ (จ) แรงภายนอกแบบ DDGVF- (ฉ) แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ

4.2.1 การใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัลล์

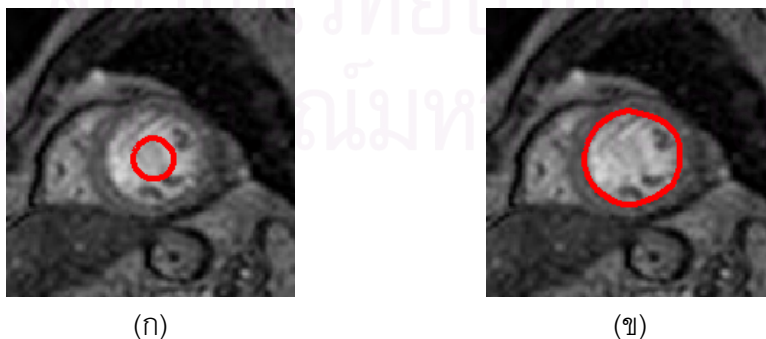
การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ค่อนข้างดีแสดงดังรูปที่ 4(ฉ) แต่ยังคงประสบกับปัญหา กล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจอยู่ กล่าวคือ คอนทัวร์ยังไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ ดังนั้น เราจึงมีแนวคิดในการใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับ การทำให้คอนทัวร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Hull) ในทุกๆ รอบวิวัฒนาการของคอนทัวร์ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5 โดยคอนทัวร์ใหม่ที่ถูกทำให้มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลล์ คือคอนทัวร์ที่เล็กที่สุดที่มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ และสามารถครอบคลุมคอนทัวร์เดิมที่มีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ไว้ได้ ซึ่งคอนทัวร์ที่มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ คือ คอนทัวร์ที่เมื่อเราลากเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุดใดๆ บนคอนทัวร์ เส้นตรงเหล่านั้นจะต้องอยู่ภายในคอนทัวร์ด้วยเหมือนกัน



รูปที่ 5 ภาพจำลองการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน
โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัลด์

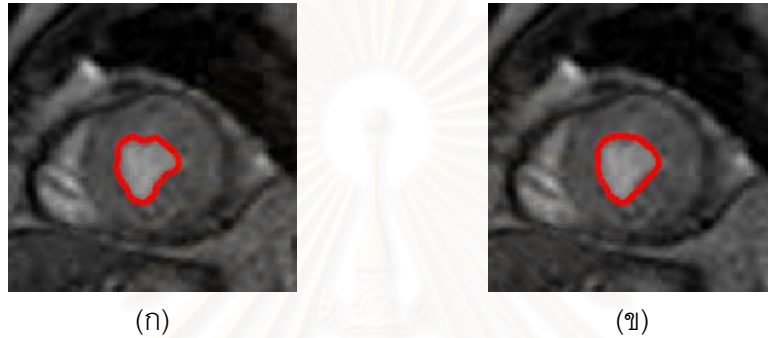
จากรูปที่ 5(ก) เมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำ คอนทอร์จะมีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ ดังนั้น เราจึงทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลด์ ดังแสดงในรูป (ข) เพื่อใช้เป็นคอนทอร์เริ่มต้นของวิวัฒนาการในรอบถัดไป และเมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำเหล่านี้ก็แสดงในรูป (ค) เราก็ทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลด์อีกครั้ง ดังแสดงในรูป (ง) ซึ่งในขณะนี้คอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านี้ไปได้

เรานำวิธีการแบ่งส่วนภาพโดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ร่วมกับการทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลด์ มาทดลองกับภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กจริง แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งคอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านี้ไปได้



รูปที่ 6 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน
โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัลด์
(ก) คอนทอร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 6(ข) เห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายได้ ดังนั้น วิธีการนี้จึงเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ แต่อย่างไรก็ตามการที่เราทำให้คอนทราสต์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลในทุกๆ รอบวิวัฒนาการของคอนทราสต์ ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน เพราะอาจจะใช้ไม่ได้กับทุกกรณี เนื่องจากขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของภาพสะท้อนแม่เหล็กบางภาพ อาจจะมีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในที่มีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์

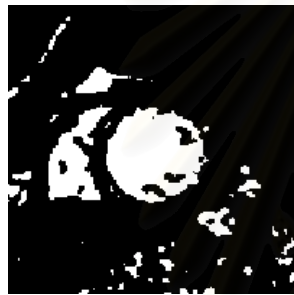
(ก) ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ (ข) ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัล

จากรูปที่ 7 เป็นตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในที่มีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ โดยในรูป (ก) เราใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ซึ่งคอนทราสต์สามารถแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ดี ส่วนในรูป (ข) เราใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัล ซึ่งได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากคอนทราสต์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์แต่ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในมีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแบ่งส่วนภาพขึ้นได้

4.2.2 การใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับ DDGVF

จากข้อจำกัดในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับ การทำให้คอนทราสต์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลในทุกๆ รอบวิวัฒนาการของคอนทราสต์ เราจึงมีอีกหนึ่งแนวคิดในการแก้ไขปัญหาเรื่องนี้ โดยได้มีการพิจารณาถึงความสามารถของแรงภายนอกแบบ DDGVF อีกครั้ง ซึ่งแรงภายนอกแบบนี้สามารถเลือกใช้ขอบวกหรือขอบลบในการแบ่งส่วนวัตถุที่เราต้องการในภาพได้ ดังแสดงในรูปที่ 4(ง) และ (จ) ซึ่งเห็นได้ว่าไม่ประสบผลสำเร็จในการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในที่เป็นภาพเฉดสีเทา เนื่องจากแรงภายนอกแบบ DDGVF นี้ ยังคงต้องใช้ภาพขอบ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับภาพที่วัตถุมีขอบที่ชัดเจน ด้วยเหตุนี้ เราจึงได้มีการแปลงภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก ซึ่งเป็นภาพเฉดสีเทาให้เป็นภาพขาวดำก่อนนำไป

ทดลองกับแรงภายนอกแบบ DDGVF เพื่อให้วัตถุที่เราต้องการมีขอบเขตที่ชัดเจนมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 8(ก) โดยส่วนที่มีลักษณะทรงกลมสีขาวอยู่บริเวณตรงกลางภาพ คือ เยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย และจุดสีดำที่อยู่ภายในหัวใจห้องล่างซ้าย คือ ส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ โดยในที่นี้เรากำหนดให้สีขาวมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1 และสีดำมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0 เราได้ทำการทดลองแรงภายนอกแบบ DDGVF ทั้งสองกรณี คือ กรณีเลือกใช้ขอบบวก และกรณีเลือกใช้ขอบลบ โดยวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 8(ข) ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบบวกที่ได้ แสดงดังรูปที่ 8(ค) และผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบลบ แสดงดังรูปที่ 8(ง) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดของการทดลองในครั้งนี้กระทำกับภาพขาวดำ แต่เรานำคอนทัวร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพมาแสดงบนภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กที่เป็นภาพเฉดสีเทาเพื่อให้เห็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ชัดเจนมากขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 8 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในโดยใช้แรงภายนอกแบบ DDGVF

(ก) ภาพขาวดำของภาพหัวใจ (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น

(ค) ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบบวก (ง) กรณีเลือกใช้ขอบลบ

จากรูปที่ 8(ค) คือ ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบบวก ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ เพราะเนื่องจากจุดสีดำเหล่านั้นเป็นจุดสีดำที่อยู่บนพื้นสีขาว ซึ่งมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงจากค่าความเข้มสีน้อยไปยังค่าความเข้มสีมาก จึงมีคุณสมบัติเป็นขอบบวกตามทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่มีทิศทางหันออกนอกคอนทัวร์ แต่คอนทัวร์ยังไม่สามารถเคลื่อนไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์ สาเหตุเนื่องจากเยื่อ

หัวใจภายในมีลักษณะเป็นวัตถุสีขาวบนพื้นสีดำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของขอบลบ ดังนั้น ในกรณีเลือกใช้ขอบบวกจึงไม่มีแรงที่จะขับเคลื่อนคอนทัวร์ ให้เคลื่อนที่ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในได้

จากรูปที่ 8(ง) คือ ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบลบ โดยสังเกตเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ เพราะเนื่องจากจุดสีดำเหล่านั้นมีคุณสมบัติเป็นขอบบวก แต่ทว่าบางส่วนของคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในได้ เพราะขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในมีคุณสมบัติเป็นขอบลบ

ในการทดลองแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย โดยใช้แรงภายนอกแบบ DDGVF ทั้งสองกรณี คือ กรณีเลือกใช้ขอบบวกและขอบลบ ทำให้เราเกิดแนวคิดในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ โดยในกรณีเลือกใช้ขอบบวกนั้น คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ แต่คอนทัวร์ยังไม่มีแรงขับเคลื่อนไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในได้ เราจึงได้ทดลองเพิ่มแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณเข้าไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในโดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ

ร่วมกับแรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวก

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

เราทดลองวิธีการนี้โดยวางคอนทัวร์เริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 9(ก) และจากการผสมผสานแรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวก ซึ่งกระทำกับภาพขาวดำ และแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ซึ่งกระทำกับภาพเฉดสีเทา จะทำให้เราได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 9(ข) ซึ่งคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในได้อย่างสมบูรณ์

เราสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ในการทดลองนี้ได้ คือ เมื่อคอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำ แรงที่ได้จากอาณาบริเวณจะมีค่าน้อยมาก ดังตัวอย่างในรูปที่ 4(ข) ทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ด้วยแรงนี้เพียงแรงเดียว แต่ทว่าเรายังมีแรงที่ได้จาก DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกอยู่ จึงทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 8(ค) และเมื่อคอนทัวร์เคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปแล้ว แรงที่จะ

ช่วยขับเคลื่อนคอนทัวร์ต่อไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ คือ แรงจากอาณาบริเวณ เพราะเนื่องจากว่าแรงที่ได้จาก DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวก ในช่วงขณะนี้มีค่าน้อยมาก ดังนั้น การทดลองผสมผสานแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณกับแรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ ขอบบวก ทำให้เราสามารถแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจได้และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของวัตถุที่ ต้องการแบ่งส่วนภาพที่จำเป็นต้องมีลักษณะเป็นคอนเวกซ์อีกด้วย ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการ ออกแบบระเบียบวิธีแก้กึ่งปริมาตรคอนทัวร์คู่

4.3 การออกแบบระเบียบวิธีแก้กึ่งปริมาตรคอนทัวร์คู่

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแรงภายนอกแบบต่างๆ สำหรับแก้กึ่งปริมาตร คอนทัวร์ที่ผ่านมา รวมถึงการทดลองเบื้องต้นในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อ หัวใจของหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็ก ในงานวิจัยนี้ ได้มีแนวคิดในการออกแบบ ระเบียบวิธีแก้กึ่งปริมาตรคอนทัวร์คู่ สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจ ห้องล่างซ้าย โดยแก้กึ่งปริมาตรคอนทัวร์ทั้งสองนี้ จะเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปพร้อมๆ กัน ในขณะที่ ทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยคอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของ เยื่อหัวใจภายในและภายนอก ตามลำดับ โดยมีแนวคิดในการออกแบบให้แก้กึ่งปริมาตรคอนทัวร์แต่ละ คอนทัวร์มีหน้าที่และความสามารถ ดังต่อไปนี้

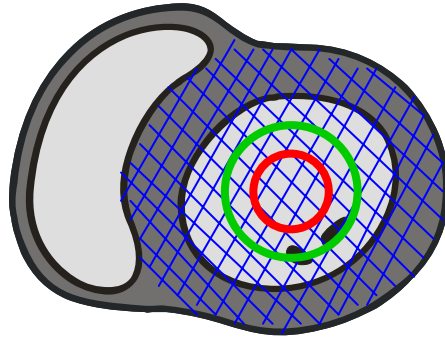
1. คอนทัวร์ A ทำหน้าที่แบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเคลื่อนที่ และเปลี่ยนรูปร่างอยู่ภายในคอนทัวร์ B เสมอ และต้องมีความสามารถในการเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อหัวใจที่ปรากฏในบริเวณเยื่อหัวใจภายในไปได้

2. คอนทัวร์ B ทำหน้าที่แบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก โดยมีเงื่อนไขว่าต้อง เคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างโดยไม่แยงขอบเขตเยื่อหัวใจภายในกับคอนทัวร์ A

ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่าง เพื่อทำการแบ่งส่วนขอบเขตของ เยื่อหัวใจภายในและภายนอก คอนทัวร์ทั้งสองจะต้องเคลื่อนที่โดยไม่ติดกัน และสามารถแบ่งส่วน ภาพที่มีความไม่ชัดเจนระหว่างขอบเขตของเยื่อหัวใจกับพื้นหลังได้ ดังนั้น จึงมีการเลือกใช้แรง ภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับแรงภายนอกแบบ DDGVF ในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึด ลิ้นหัวใจ และใช้แรงระหว่างคอนทัวร์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ทั้งสอง

4.3.1 การวางคอนทัวร์เริ่มต้น

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการกำหนดรูปร่างและตำแหน่งเริ่มต้นของทั้งสองคอนทัวร์ เป็นรูป วงกลมวางไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 10 โดยที่คอนทัวร์ A ถูกวางไว้ในคอนทัวร์ B และมีระยะห่างระหว่างคอนทัวร์เริ่มต้นเป็นค่าคงที่ ค่าหนึ่ง



○ คอนทัวร์ A ○ คอนทัวร์ B

รูปที่ 10 การวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสอง

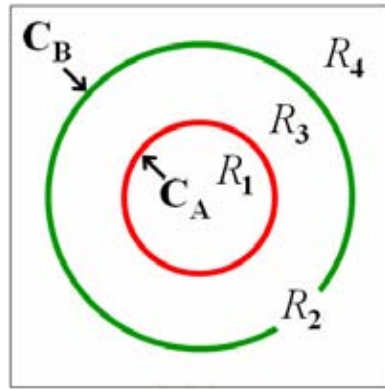
4.3.2 การแบ่งอาณาบริเวณของภาพโดยคอนทัวร์ทั้งสอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้มีการเลือกใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณเป็นแรงหลัก สำหรับคอนทัวร์ทั้งสอง ดังนั้น เราจึงต้องมีการพิจารณาอาณาบริเวณของภาพที่จะนำไปใช้ในการออกแบบแรงภายนอกสำหรับแต่ละคอนทัวร์ เพื่อให้คอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B สามารถเปลี่ยนรูปร่างและเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหุ้มหัวใจทั้งภายในและภายนอกได้อย่างถูกต้อง โดยอาณาบริเวณของภาพที่ถูกแบ่งโดยคอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B มีทั้งหมด 5 อาณาบริเวณ ดังต่อไปนี้

1. อาณาบริเวณภายในคอนทัวร์ A
2. อาณาบริเวณภายนอกคอนทัวร์ A
3. อาณาบริเวณภายในคอนทัวร์ B
4. อาณาบริเวณภายนอกคอนทัวร์ B
5. อาณาบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ A และ B

ในการออกแบบระเบียบวิธีแก้ปัญหาคอนทัวร์คู่ ได้มีการเลือกใช้อาณาบริเวณเพียง 4 อาณาบริเวณ แสดงดังรูปที่ 11 มีดังต่อไปนี้

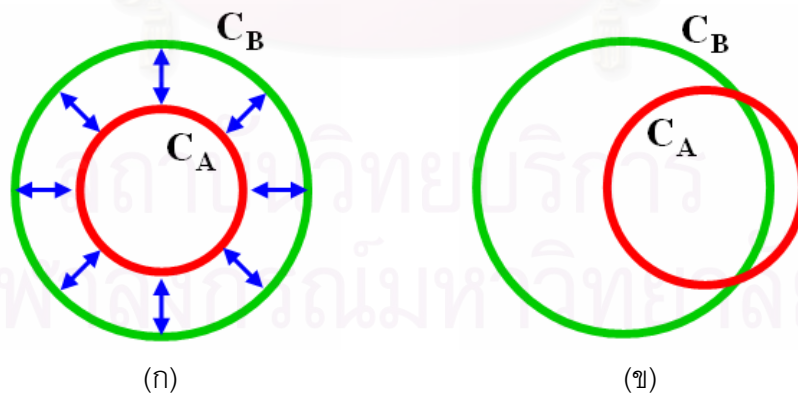
1. อาณาบริเวณภายในคอนทัวร์ A
โดยที่ R_1 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ในคอนทัวร์ A
2. อาณาบริเวณภายนอกคอนทัวร์ A
โดยที่ R_2 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์ A
3. อาณาบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ A และ B
โดยที่ R_3 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ A และ B
4. อาณาบริเวณภายนอกคอนทัวร์ B
โดยที่ R_4 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์ B



รูปที่ 11 อาณาบริเวณต่างๆ ของภาพที่ถูกแบ่งโดยคอนทัวร์ทั้งสอง

4.3.3 แรงระหว่างคอนทัวร์

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มีความต้องการที่จะออกแบบระเบียบวิธีแก้ที่ฟคอนทัวร์คู่ สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งขอบเขตของเยื่อหัวใจทั้งสองส่วนนี้มีลักษณะที่คล้ายกับวงแหวน ดังนั้น คอนทัวร์ที่ใช้สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในจะต้องเคลื่อนที่ และเปลี่ยนรูปร่างอยู่ภายในคอนทัวร์ที่ใช้สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกเสมอ ด้วยเหตุนี้เอง เราจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและพัฒนาแรงระหว่างคอนทัวร์ขึ้นมา เพื่อความคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ทั้งสอง ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ โดยแรงระหว่างคอนทัวร์นี้เป็นแรงที่คอนทัวร์ทั้งสองกระทำซึ่งกันและกัน เพื่อสร้างช่องว่างระหว่างคอนทัวร์ สำหรับใช้ในการควบคุมไม่ให้คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกัน แสดงดังรูปที่ 12(ก)



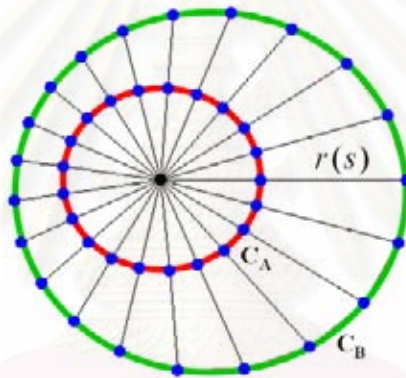
รูปที่ 12 แรงระหว่างคอนทัวร์

(ก) คอนทัวร์ทั้งสองไม่เคลื่อนที่ติดกัน (ข) คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกัน

จากรูปที่ 12(ก) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแรงระหว่างคอนทอร์ (ลูกศรสีน้ำเงิน) ที่ทำหน้าที่ควบคุมให้คอนทอร์ A (สีแดง) อยู่ภายในคอนทอร์ B (สีเขียว) เสมอ เพราะคอนทอร์ทั้งสองนี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กัน ในขณะที่กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย และถ้าในกรณีที่เราไม่มีแรงระหว่างคอนทอร์ ก็อาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ตัดกันของคอนทอร์ทั้งสอง ดังตัวอย่างในรูปที่ 12(ข) ซึ่งในกรณีนี้เป็นการแบ่งส่วนภาพที่ผิดพลาดอย่างมากเพราะในความเป็นจริงแล้ว คอนทอร์ A ไม่ควรที่จะเคลื่อนที่ออกมาด้านนอกคอนทอร์ B

4.3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง

ในการออกแบบแรงระหว่างคอนทอร์ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง เราได้มีการกำหนดความสัมพันธ์ของคอนทอร์ทั้งสองขึ้นมา 2 ประการด้วยกัน คือ คอนทอร์ทั้งสองมีจำนวนจุดบนคอนทอร์ที่เท่ากัน และมีจุดศูนย์กลางเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง

จากรูปที่ 13 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง ซึ่งมีจำนวนจุดบนคอนทอร์ที่เท่ากัน คือ เท่ากับจำนวนจุดบนคอนทอร์ A และยังมีจุดศูนย์กลางเดียวกันโดยอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางของคอนทอร์ A โดยที่ $r(s)$ คือ ระยะห่างของจุดใดๆบนคอนทอร์ A และคอนทอร์ B โดยที่แต่ละจุดบนคอนทอร์ A และ คอนทอร์ B ที่จับคู่กันนี้ เป็นจุดที่มีมุมที่เท่ากันเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลาง ซึ่งระยะ $r(s)$ มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบแรงระหว่างคอนทอร์ เพราะถ้าเราสามารถควบคุมให้ระยะ $r(s)$ นี้มีเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง เราก็จะสามารถสร้างระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสองได้

ในการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสองในแต่ละรอบของการวนซ้ำ (Iteration) จะทำให้จุดต่างๆบนคอนทอร์ A และคอนทอร์ B เปลี่ยนตำแหน่ง ส่งผลให้จุดศูนย์กลางของคอนทอร์ A เปลี่ยนตำแหน่งไปด้วย จึงทำให้ความสัมพันธ์ของจุดบนคอนทอร์ A และคอนทอร์ B เปลี่ยนไป กล่าวคือ

จุดศูนย์กลางของคอนทอร์ A และคอนทอร์ B จะมีความสัมพันธ์ของมุมที่ไม่เท่ากันเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลาง ดังนั้น ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทอร์ทั้งสอง เราจำเป็นต้องมีการประมาณค่าตำแหน่งของจุดบนคอนทอร์ B ใหม่ทุกครั้ง โดยจะอ้างอิงกับจำนวนจุดบนคอนทอร์ A และจุดศูนย์กลางของคอนทอร์ A เสมอ เพื่อควบคุมให้ความสัมพันธ์ของคอนทอร์ทั้งสองเป็นไปตามรูปที่ 13 เสมอ

4.3.3.2 สมการของแรงระหว่างคอนทอร์

การออกแบบแรงระหว่างคอนทอร์ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ติดกันของคอนทอร์ทั้งสอง ทำได้โดยการควบคุมระยะห่างระหว่างคอนทอร์ให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างคอนทอร์ได้ ดังนั้น เราจึงได้มีการออกแบบฟังก์ชันพลังงานระหว่างคอนทอร์ (Inter-Contour Energy) ขึ้นมา ดังสมการที่ (1)

$$E_{\text{inter}}(C_A, C_B) = \nu (\|C_A - C_B\| - r)^2 \quad (1)$$

โดยที่ C_A และ C_B คือ คอนทอร์ A และ คอนทอร์ B ตามลำดับ, ν คือ ค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ r คือ ระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสองที่เราต้องการ

แรงระหว่างคอนทอร์เกิดจากการทำให้ฟังก์ชันพลังงานระหว่างคอนทอร์ ในสมการที่ (1) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าน้อยที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อ ระยะห่างระหว่างคอนทอร์ มีค่าเท่ากับระยะห่างที่เราต้องการ หรือ $|C_A(s) - C_B(s)| = r$ นั่นเอง ซึ่งเราได้มีการทดลองใส่ฟังก์ชันพลังงานระหว่างคอนทอร์เข้าไปในฟังก์ชันพลังงานของแต่ละคอนทอร์ เพื่อสร้างช่องว่างสำหรับป้องกันการเคลื่อนที่ติดกันของคอนทอร์ทั้งสอง ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$E_{C_A}(C_A, C_B) = \int_0^1 [E_{\text{internal}}(C_A) + E_{\text{inter}}(C_A, C_B)] ds \quad (2)$$

$$E_{C_B}(C_A, C_B) = \int_0^1 [E_{\text{internal}}(C_B) + E_{\text{inter}}(C_A, C_B)] ds \quad (3)$$

การทำให้ฟังก์ชันพลังงานในสมการที่ (2) และ (3) มีค่าน้อยที่สุด คอนทอร์ทั้งสองจะต้องเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างตามฟังก์ชันของเวลา ในสมการที่ (4) และ (5)

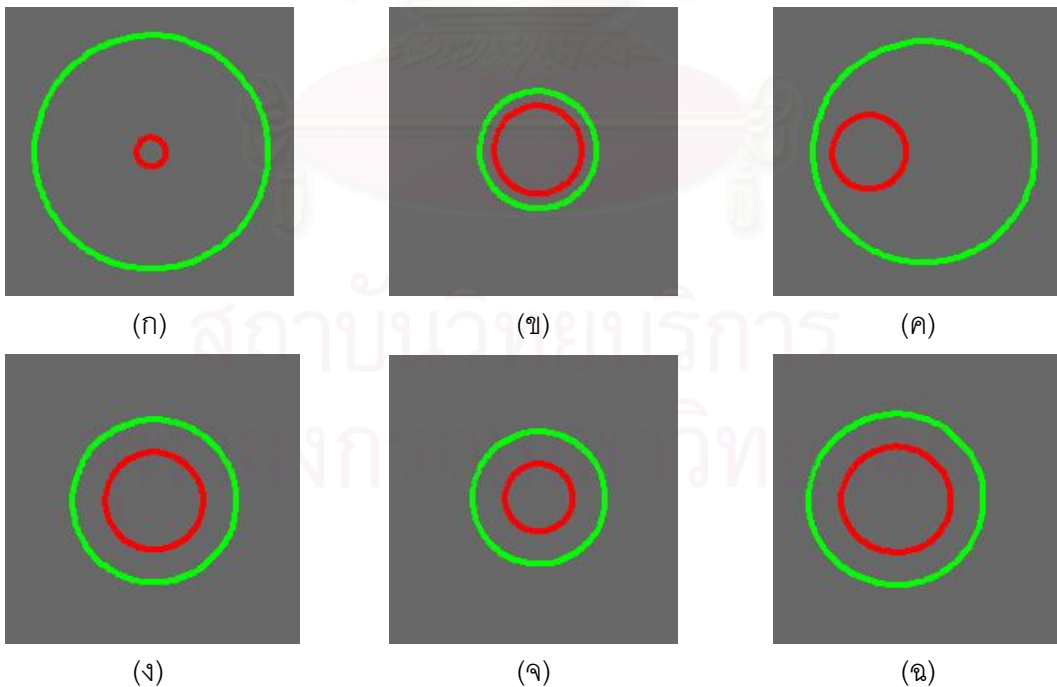
$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 C_A}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_A}{\partial s^4} - 2\nu(C_A - C_B) \left[1 - \frac{r}{\|C_A - C_B\|} \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 C_B}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_B}{\partial s^4} - 2\nu(C_B - C_A) \left[1 - \frac{r}{\|C_A - C_B\|} \right] \quad (5)$$

โดยที่ สองพจน์แรกด้านขวามือของทั้งสองสมการ คือ แรงภายในคอนทัวร์, F_{internal} และ พจน์ที่สาม คือ แรงระหว่างคอนทัวร์, $F_{\text{inter-contour}}$

ในการทดลองแรงระหว่างคอนทัวร์ เราได้ใช้สมการที่ (4) และ (5) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการทดลองนี้ไม่ได้ใส่แรงภายนอกเข้าไป เนื่องจากต้องการทดสอบความสามารถของแรงระหว่างคอนทัวร์ที่เราออกแบบขึ้นมาเท่านั้น โดยได้เลือกใช้ค่า r เท่ากับ 20 พิกเซล และได้มีการวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองใน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. ระยะห่างระหว่างจุดใดๆ บนคอนทัวร์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน และมากกว่า 20 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 14(ก)
2. ระยะห่างระหว่างจุดใดๆ บนคอนทัวร์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน และน้อยกว่า 20 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 14(ข)
3. ระยะห่างระหว่างจุดใดๆ บนคอนทัวร์ทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งมีทั้งมากกว่าและน้อยกว่า 20 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 14(ค)



รูปที่ 14 การทดลองแรงระหว่างคอนทัวร์

แถวที่ 1 : รูปแบบต่างๆ ของการวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสอง

แถวที่ 2 : ผลการเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคอนทัวร์ทั้งสองจากตำแหน่งเริ่มต้น

ผลการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทอร์ทั้งสองที่ได้จากตำแหน่งเริ่มต้นทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูป 14(ง) (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ จากผลการเคลื่อนที่ทั้งหมดจะเห็นได้ว่า การที่เราวาง ตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทอร์ทั้งสองให้มีระยะห่างระหว่างคอนทอร์ที่ไม่เท่ากัน ผลสุดท้ายแล้ว คอนทอร์ทั้งสองก็จะเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างจนกระทั่ง ระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง เท่ากับค่า r ที่เรากำหนดไว้

จากการทดลองในรูปที่ 14 เห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทอร์ที่ออกแบบขึ้นมาี้ สามารถสร้าง ช่องว่างระหว่างคอนทอร์ได้ตามที่เราต้องการ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการป้องกันการเคลื่อนที่ ตัดกันของคอนทอร์ทั้งสองในขณะทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งแรงระหว่างคอนทอร์นี้ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบระเบียบวิธีแก็กทิงคอนทอร์คู่ในหัวข้อถัดไป

4.3.4 สมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง

จากคุณสมบัติและความสามารถของคอนทอร์ทั้งสองที่เราต้องการ เพื่อให้สามารถแบ่งส่วน ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เราได้มีการออกแบบสมการการ เคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง ดังต่อไปนี้

1. สมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ A สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของ หัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบไปด้วยแรงต่างๆ ดังสมการที่ (6)

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = F_{\text{internal}} + F_{\text{region}} + F_{\text{DDGVF+}} \quad (6)$$

F_{internal} คือ แรงภายในคอนทอร์ ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทอร์ A ดังสมการ ที่ (7)

$$F_{\text{internal}}(C_A) = \alpha \frac{\partial^2 C_A}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_A}{\partial s^4} \quad (7)$$

F_{region} คือ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ทำหน้าที่หลักเป็นตัวเปลี่ยนรูปร่างและ ขับเคลื่อนคอนทอร์ A ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ดังสมการที่ (8)

$$F_{\text{region}}(C_A, R_1, R_2) = -[\lambda_1 (I - R_1)^2 - \lambda_2 (I - R_2)^2] n_A \quad (8)$$

โดยที่ R_1 และ R_2 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทอร์ A ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 11 λ_1 และ λ_2 คือ ค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ n_A คือ เวกเตอร์

หนึ่งหน่วยของจุดบนคอนทัวร์ A โดยมีทิศทางหันออกด้านนอกคอนทัวร์ ซึ่งแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้กระทำกับภาพเฉดสีเทา

F_{DDGVF+} คือ แรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกร โดยทำหน้าที่หลักเป็นตัวผลักดันให้คอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำที่เป็นก้ำกึ่งเนื้อยึดลิ้นหัวใจไปได้ ซึ่งในที่นี้เราใช้ภาพขอบที่ได้จากภาพขาวดำของภาพหัวใจ

2. สมการการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ B สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบไปด้วยแรงต่างๆ ดังสมการที่ (9)

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = F_{\text{internal}} + w_R F_{\text{region}} + w_I F_{\text{inter-contour}} \quad (9)$$

F_{internal} คือ แรงภายในคอนทัวร์ ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ B ดังสมการที่ (10)

$$F_{\text{internal}}(C_B) = \alpha \frac{\partial^2 C_B}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_B}{\partial s^4} \quad (10)$$

F_{region} คือ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ทำหน้าที่หลักเป็นตัวเปลี่ยนรูปร่างและขับเคลื่อนคอนทัวร์ B ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก ดังสมการที่ (11)

$$F_{\text{region}}(C_B, R_3, R_4) = -[\lambda_3(I - R_3)^2 - \lambda_4(I - R_4)^2]n_B \quad (11)$$

โดยที่ R_3 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B, R_4 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์ B แสดงดังรูปที่ 11 λ_3 และ λ_4 คือ ค่าคงที่บวกร ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ n_B คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของจุดบนคอนทัวร์ B โดยมีทิศทางหันออกด้านนอกคอนทัวร์ B ซึ่งแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้กระทำกับภาพเฉดสีเทา

$F_{\text{inter-contour}}$ คือ แรงระหว่างคอนทัวร์ ดังสมการที่ (12) ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ B ให้มีระยะห่างจากคอนทัวร์ A เท่ากับค่าคงที่ r

$$F_{\text{inter-contour}}(C_A, C_B) = -2\nu(C_B - C_A) \left(1 - \frac{r}{|C_B - C_A|} \right) \quad (12)$$

โดยที่ ν คือ ค่าคงที่บวกร ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ r คือ ระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองที่เราต้องการ

4.3.4.1 ระยะห่างระหว่างคอนทราสต์

ค่า r ในสมการที่ (12) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากของแรงระหว่างคอนทราสต์ ซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างคอนทราสต์ทั้งสองที่เราต้องการ เพื่อทำให้เกิดช่องว่างสำหรับป้องกันการเคลื่อนที่ติดกันของคอนทราสต์ทั้งสองในขณะที่กำลังทำการแบ่งส่วนภาพ โดยที่ r เป็นค่าคงที่บวกและมีหน่วยเป็นพิกเซล การกำหนดค่า r นี้ จะต้องมีค่าไม่เกินความหนาของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพ ตัวอย่างเช่น การแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายขนาด 150×150 พิกเซล โดยมีความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้ายประมาณ 10 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 15 ดังนั้น เราควรกำหนดค่า r ให้มีค่าไม่เกิน 10 พิกเซล จึงจะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพและไม่ผิดพลาด แต่ถ้าเรากำหนดให้ค่า r มีค่ามากกว่า 10 พิกเซล ก็อาจจะทำให้คอนทราสต์ B เคลื่อนที่เลยขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกไปติดกับอวัยวะอื่นๆ ได้ ส่งผลให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ผิดพลาด ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้มีการทดลองให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนแปลงค่า r ในการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 15 ความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้าย

4.3.4.2 ตัวถ่วงน้ำหนักที่สำคัญ

จากสมการการเคลื่อนที่ของคอนทราสต์ B ในสมการที่ (9) เห็นได้ว่ามีตัวถ่วงน้ำหนักของแรงที่สำคัญอยู่ 2 ตัว คือ w_R คำนวณได้จากสมการที่ (13) ทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ และ w_I คำนวณได้จากสมการที่ (14) ทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักแรงระหว่างคอนทราสต์

$$w_R = |R_1^{BW} - R_3^{BW}| \quad (13)$$

$$w_I = 1 - w_R \quad (14)$$

โดยที่ R_1^{BW} คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายในคอนทราสต์ A และ R_3^{BW} คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ระหว่างคอนทราสต์ A และคอนทราสต์ B ของภาพขาวดำ โดยในที่นี้เรากำหนดในสี

ขาวมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1 และสีดำมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0 ดังนั้น ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ส่งผลให้ ค่า w_L และ w_R มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เช่นกัน

จากสมการที่ (13) และ (14) เห็นได้ว่า w_L เป็นส่วนกลับของ w_R เนื่องจากเราต้องการควบคุมความแรงหรืออิทธิพลของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ให้เป็นส่วนกลับกับแรงระหว่างคอนทอร์ กกล่าวคือ ในขณะที่แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณมีอิทธิพลมากกับคอนทอร์ B แรงระหว่างคอนทอร์จะมีอิทธิพลน้อยกว่าคอนทอร์ B ในทางกลับกัน ขณะที่แรงระหว่างคอนทอร์กำลังมีอิทธิพลมากกับคอนทอร์ B แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณจะมีอิทธิพลน้อยกว่าคอนทอร์ B

4.4 การทดลองการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทอร์คู่

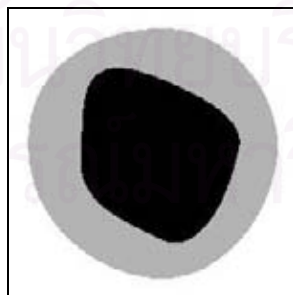
ในหัวข้อนี้เป็นการทดลองการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทอร์คู่ ที่ได้ ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 4.3 โดยได้ทำการทดลองกับภาพ 2 แบบด้วยกัน คือ 1.ภาพที่สร้างขึ้นเอง และ 2.ชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก และได้มีการวัดและประเมินผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้เทียบกับ ผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยใช้เกณฑ์ในการวัดผล 2 รูปแบบ คือ ความคล้ายเชิงพื้นที่ (Area Similarity) [5] และ ความคล้ายเชิงรูปร่าง (Shape Similarity) [6]

ในการทดลองเราใช้สมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ A และ คอนทอร์ B ที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 4.3 ดังสมการที่ (6) และ (9) ตามลำดับ

4.4.1 ภาพที่สร้างขึ้นเอง

การทดลองระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทอร์คู่กับภาพที่สร้างขึ้นเอง มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองให้เห็นอย่างชัดเจนถึงพฤติกรรมและความสามารถของระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทอร์คู่ โดยได้มีการสร้างภาพเฉดสีเทา ที่มีลักษณะของอาณาบริเวณคล้ายกับภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่

16



รูปที่ 16 ภาพเฉดสีเทาที่สร้างขึ้นเองสำหรับการทดลอง

จากรูปที่ 16 ประกอบไปด้วย 3 อาณาบริเวณ ดังต่อไปนี้

อาณาบริเวณที่ 1 สีดำ แทนอาณาบริเวณของส่วนที่อยู่ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0

อาณาบริเวณที่ 2 สีเทา แทนอาณาบริเวณของส่วนที่อยู่ระหว่างขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก หรือ กล้ามเนื้อบริเวณโดยรอบหัวใจห้องล่างซ้ายนั่นเอง มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0.7

อาณาบริเวณที่ 3 สีขาว แทนอาณาบริเวณของพื้นหลัง หรือ อวัยวะอื่นๆ ที่ปรากฏอยู่ใกล้เคียงกับหัวใจห้องล่าง มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1

การสร้างภาพสำหรับใช้ในการทดลองให้มีค่าความเข้มสีในแต่ละอาณาบริเวณ เท่ากับ 0, 0.7 และ 1 ตามลำดับ มีเหตุผลมาจาก เราต้องการให้ค่าความเข้มสีในแต่ละอาณาบริเวณ มีความใกล้เคียงกับความแตกต่างระหว่างอาณาบริเวณต่างๆ ในภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก โดยที่อาณาบริเวณต่างๆ ในภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก มีลักษณะความแตกต่างของค่าความเข้มสีในแต่ละอาณาบริเวณ ดังต่อไปนี้

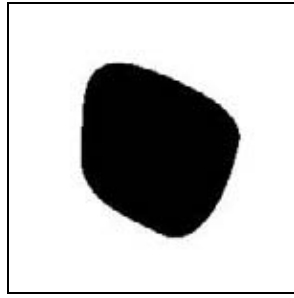
- อาณาบริเวณที่ 1 มีค่าความเข้มสีแตกต่างกับ อาณาบริเวณที่ 2 และ 3 อย่างมาก
- อาณาบริเวณที่ 2 และ อาณาบริเวณที่ 3 มีค่าความเข้มสีที่ใกล้เคียงกัน

4.4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก

ในการทดลองกับภาพที่สร้างขึ้นเองนี้ เราใช้สมการที่ (6) สำหรับคอนทราสต์ A เพื่อแบ่งส่วนวัตถุสีดำ และ สมการที่ (9) สำหรับคอนทราสต์ B เพื่อแบ่งส่วนวัตถุสีเทา และจากภาพที่สร้างขึ้นเองในรูปที่ 16 สังเกตเห็นได้ว่าไม่มีส่วนที่คล้ายกับกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ซึ่งเป็นจุดดำที่ปรากฏอยู่ภายในภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก กล่าวคือ ในรูปที่ 16 ไม่มีจุดที่ไม่ต้องการอยู่ในวัตถุสีดำ ดังนั้น เราจึงตัด F_{DDGVF+} ออกจากสมการที่ (6) เพราะเป็นแรงที่ไม่จำเป็นในการแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเองนี้

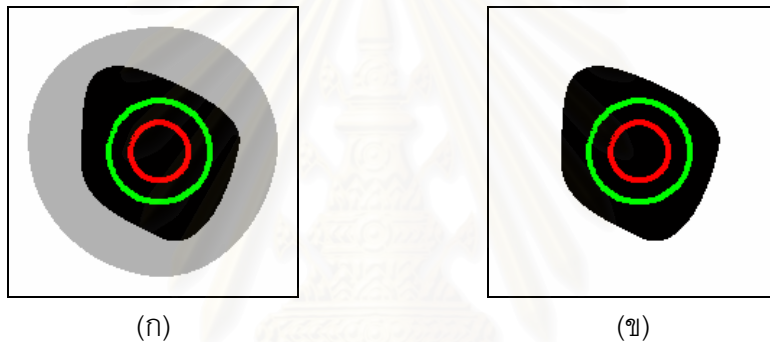
การสร้างภาพในรูปที่ 16 ให้ไม่มีส่วนที่คล้ายกับกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ มีเหตุผลคือ เราต้องการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์และการเปลี่ยนแปลงของค่า w_R และ w_I ในขณะที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ

ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} ได้มาจากการคำนวณกับภาพขาวดำ ซึ่งส่งผลให้ค่า w_R และ w_I มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังนั้น เราจึงทำการแปลงภาพในรูปที่ 16 ให้กลายเป็นภาพขาวดำ โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 0.5 ทำให้ได้ภาพขาวดำแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ภาพขาวดำของภาพที่สร้างขึ้นเองสำหรับการคำนวณค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW}

โดยในการทดลองนี้ เราได้มีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองไว้ในวัตถุสีดำ แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 คอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองบนภาพที่สร้างขึ้นเอง
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้นบนภาพเฉดสีเทา (ข) คอนทัวร์เริ่มต้นบนภาพขาวดำ

จากรูปที่ 18 คอนทัวร์สีแดง คือ คอนทัวร์ A และ คอนทัวร์สีเขียว คือ คอนทัวร์ B โดยที่คอนทัวร์ A ถูกวางอยู่ในคอนทัวร์ B และในการทดลองนี้เราได้กำหนดค่า r เท่ากับ 15 พิกเซล ซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง ในขณะที่แรงระหว่างคอนทัวร์ยังคงมีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B อยู่ และใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ

ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ เราสามารถแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ทั้งสองได้ 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

- ช่วงที่ 1 คอนทัวร์ทั้งสองอยู่ในวัตถุสีดำ ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าเท่ากันทำให้ $w_R = 0$ และ $w_I = 1$ ดังนั้น ในช่วงนี้แรงระหว่างคอนทัวร์จะมีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B มากกว่าแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ดังตัวอย่างในรูปที่ 19 แสดงลักษณะของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 20 รอบ ซึ่งเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองยังคงเท่ากับ r คือ 15 พิกเซล และเป็นช่วงทำยที่ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากคอนทัวร์ B ใกล้เคียง

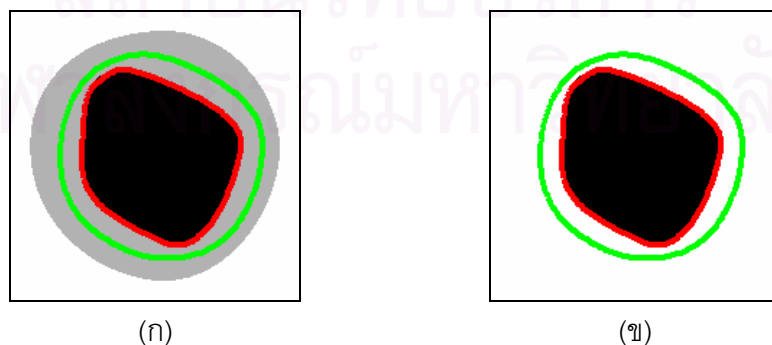
เคลื่อนที่ออกนอกวัตถุสีดำแล้ว ดังนั้น ค่า w_R และ w_I จึงมีค่าคงที่ในช่วงที่รอบของการวนซ้ำอยู่ระหว่าง 1 ถึง 20 รอบ แสดงดังรูปที่ 22 ในช่วงที่ 1



รูปที่ 19 ลักษณะของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 20 รอบ

(ก) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพเฉดสีเทา (ข) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพขาวดำ

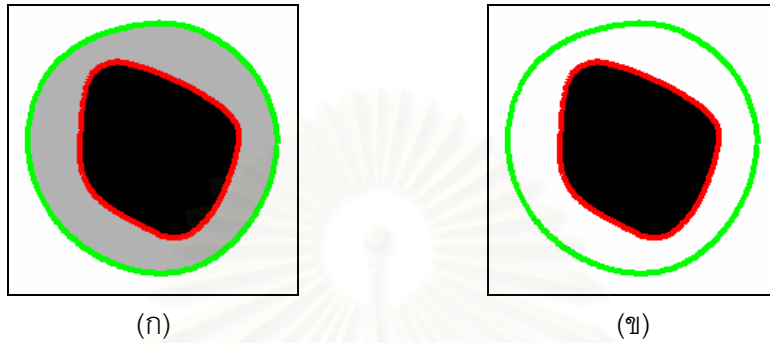
- ช่วงที่ 2 คอนทัวร์ทั้งสองอยู่ระหว่างวัตถุสีดำและวัตถุสีขาว ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้น ในช่วงนี้ ค่า w_R จะเริ่มมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้น และ ค่า w_I จะเริ่มมีค่าค่อยๆ ลดลง ทำให้แรงระหว่างคอนทัวร์ค่อยๆ มีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B น้อยลง ดังนั้น คอนทัวร์ B จึงใกล้ที่จะเป็นอิสระจากคอนทัวร์ A ดังตัวอย่างในรูปที่ 20 แสดงลักษณะของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 50 รอบ ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ B เคลื่อนที่ออกมาจากวัตถุสีดำ และคอนทัวร์ A สามารถแบ่งส่วนวัตถุสีดำได้เสร็จสิ้นแล้ว ทำให้ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} มีค่าแตกต่างกันมากที่สุด ส่งผลให้ค่า $w_R = 1$ และ $w_I = 0$ ซึ่งในขณะนี้คอนทัวร์ B ได้เป็นอิสระจากคอนทัวร์ A แล้ว ทำให้คอนทัวร์ B เคลื่อนที่โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น ในช่วงที่รอบของการวนซ้ำอยู่ระหว่าง 20 ถึง 50 รอบ ค่า w_R จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และ w_I จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังรูปที่ 22 ในช่วงที่ 2



รูปที่ 20 ลักษณะของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 50 รอบ

(ก) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพเฉดสีเทา (ข) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพขาวดำ

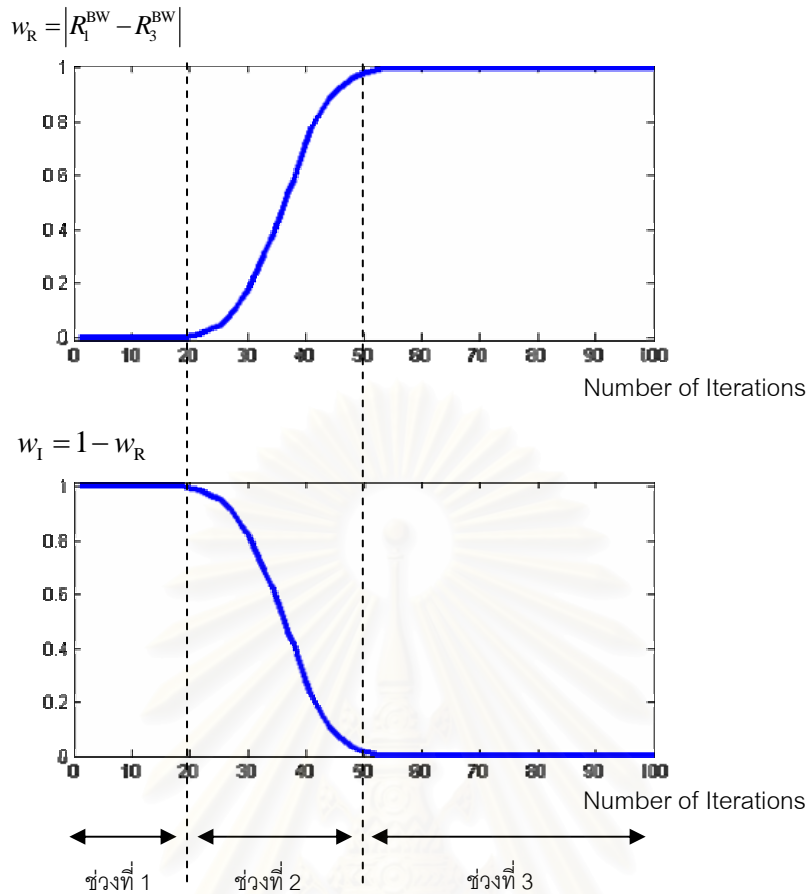
- ช่วงที่ 3 เป็นช่วงสุดท้าย หลังจากที่คอนทัว B เป็นอิสระจากคอนทัว A แล้ว คอนทัว B ก็จะมีการแบ่งส่วนภาพวัตถุสีเทา ด้วยแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ โดยไม่มีอิทธิพลของแรงระหว่างคอนทัว เนื่องจาก ค่า $w_R = 1$ และ $w_I = 0$ ซึ่งในขณะนี้ค่า w_R และ w_I จะมีค่าคงที่ ในช่วงที่รอบของการวนซ้ำอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 รอบ แสดงดังรูปที่ 22 ในช่วงที่ 3



รูปที่ 21 ลักษณะของคอนทัวทั้งสองในขณะที่ยังวนซ้ำเข้าเท่ากับ 100 รอบ
(ก) คอนทัวทั้งสองบนภาพเฉดสีเทา (ข) คอนทัวทั้งสองบนภาพขาวดำ

ในรูปที่ 21 เป็นผลการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวทั้งสองสามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างถูกต้อง คือ คอนทัว A แบ่งส่วนวัตถุสีดำ และคอนทัว B แบ่งส่วนวัตถุสีเทา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีการเคลื่อนที่ติดกันและไม่มีการแย่งวัตถุกันของคอนทัวทั้งสอง เนื่องจากเราได้มีการใส่แรงระหว่างคอนทัวไว้ที่คอนทัว B นั้นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

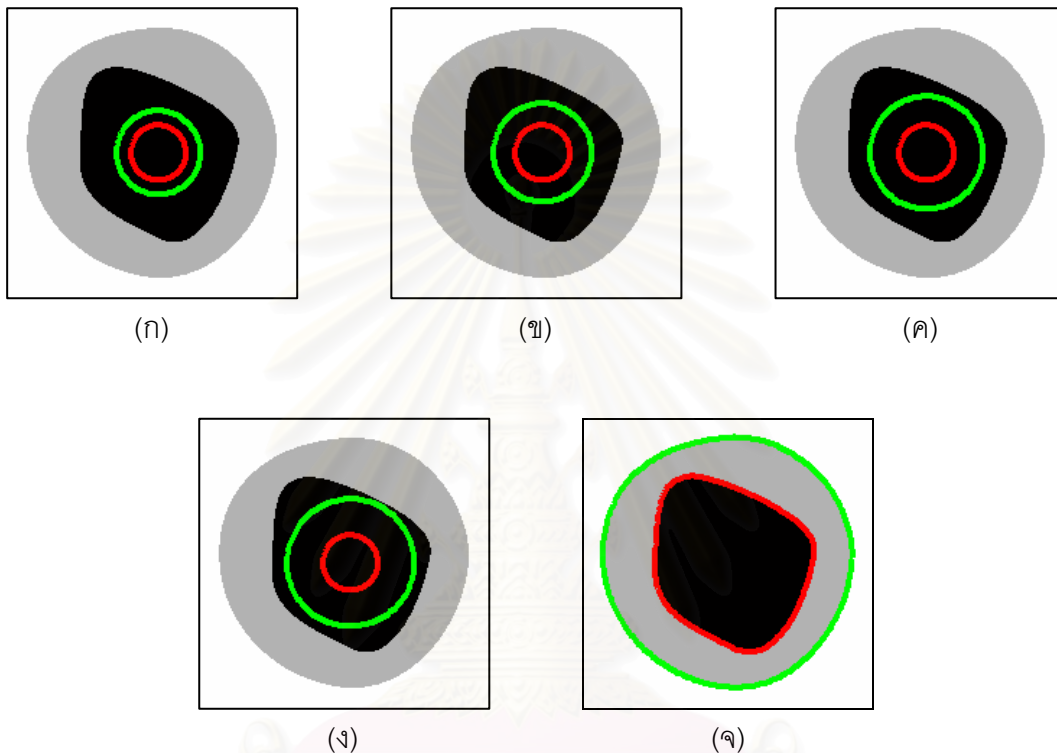


รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของค่า w_R และ w_I ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ

รูปที่ 22 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า w_R และ w_I ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่ง w_R และ w_I นี้ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณและแรงระหว่างคอนทัวร์ของคอนทัวร์ B ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า ในช่วงต้นของการแบ่งส่วนภาพ แรงที่มีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B อย่างมาก คือ แรงระหว่างคอนทัวร์ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกัน และป้องกันการแย่งขอบกันของคอนทัวร์ทั้งสองส่วนในช่วงท้ายของการแบ่งส่วนภาพ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณจะมีอิทธิพลมากกว่าแรงระหว่างคอนทัวร์อย่างมาก จึงทำให้คอนทัวร์ B สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นสี่เหลี่ยมได้ โดยไม่ถูกแรงระหว่างคอนทัวร์เหนี่ยวรั้งไว้

4.4.1.2 การกำหนดค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์

การกำหนดค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์, r จะต้องมีค่าไม่เกินค่าความหนาของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพจึงจะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้มีการทดลองการแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเองโดยใช้ค่า r เริ่มต้นที่แตกต่างกัน 4 ค่า คือ 10, 15, 20 และ 25 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 23 เพื่อให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นเมื่อค่า r แตกต่างกัน



รูปที่ 23 การทดลองแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเอง
โดยใช้ค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์เริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน

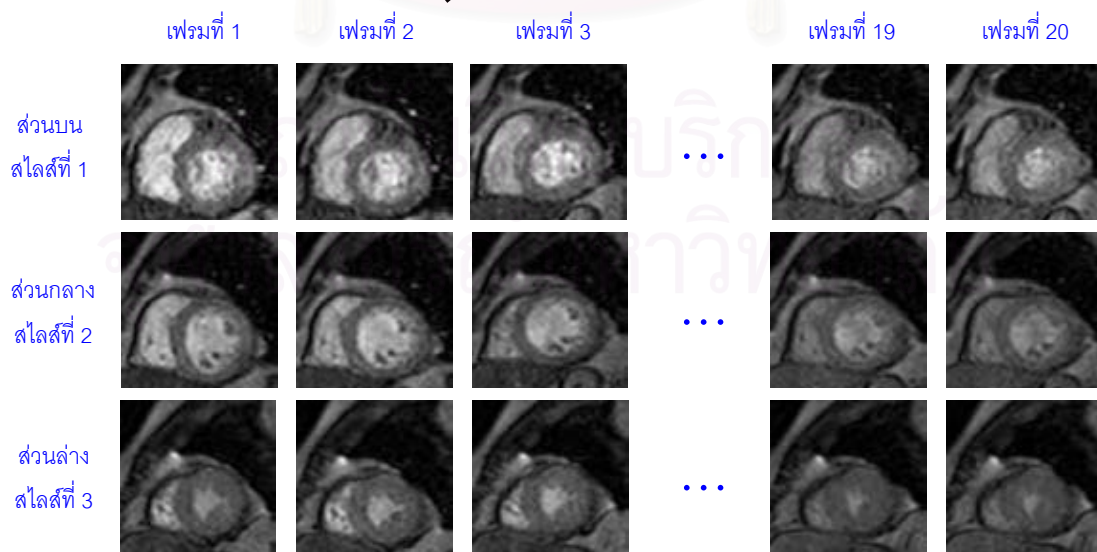
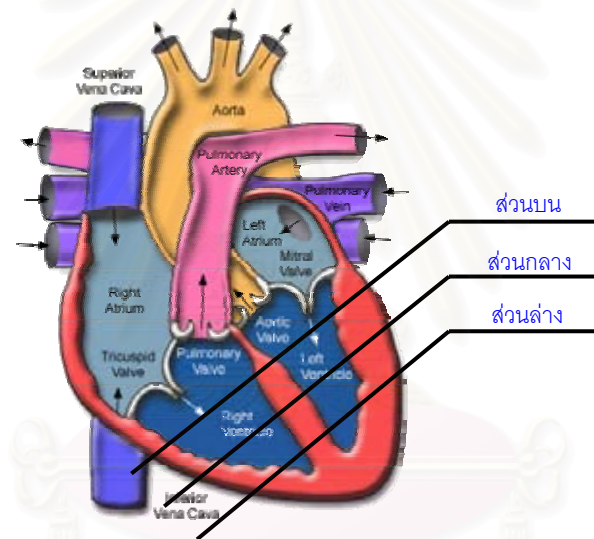
(ก) $r = 10$ พิกเซล (ข) $r = 15$ พิกเซล (ค) $r = 20$ พิกเซล

(ง) $r = 25$ พิกเซล (จ) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 23 เป็นการทดลองการแบ่งส่วนภาพที่ใช้ค่า r เริ่มต้นที่แตกต่างกัน 4 ค่า ซึ่งได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องเช่นเดียวกันแสดงดังรูป (จ) แต่สิ่งที่แตกต่างกัน คือ จำนวนรอบในการวนซ้ำที่ใช้ โดยกรณี $r = 10$ พิกเซล ใช้ 115 รอบ กรณี $r = 15$ พิกเซล ใช้ 100 รอบ กรณี $r = 20$ พิกเซล ใช้ 85 รอบ และ กรณี $r = 25$ พิกเซล ใช้ 70 รอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเราตั้งค่า r เริ่มต้นให้ใกล้เคียงกับความหนาของวัตถุที่เรานำมาทำการแบ่งส่วนภาพ จะทำให้เราสามารถแบ่งส่วนภาพได้เร็วขึ้นและมีการคำนวณที่น้อยลง

4.4.2 ชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก

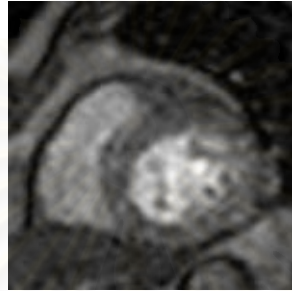
การทดลองนี้ได้ใช้ภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กห้องล่างจำนวน 3 สไลด์ ใน 20 เฟรมเวลารวมทั้งหมด 60 ภาพ ซึ่งในแต่ละสไลด์เป็นตำแหน่งของภาพหัวใจในส่วนต่างๆ ประกอบไปด้วย ส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง โดยแต่ละภาพมีขนาดเท่ากับ 150×150 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 24 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กในแต่ละเฟรมเวลาที่อยู่ในสไลด์เดียวกัน จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ให้หัวข้อนี้จึงได้แสดงตัวอย่างการทดลองให้เห็นถึงพฤติกรรมและความสามารถของระเบียบวิธีแก็กทิงคอนทราสต์คู่ใน 3 การทดลองด้วยกัน ซึ่งประกอบไปด้วย การทดลองกับภาพหัวใจส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง ตามลำดับ และในการทดลอง เราใช้สมการที่ (6) สำหรับคอนทราสต์ A เพื่อแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน และ สมการที่ (9) สำหรับคอนทราสต์ B เพื่อแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก



รูปที่ 24 ชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลอง

4.4.2.1 ภาพหัวใจส่วนบน

ภาพหัวใจส่วนบนที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 25 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย มีลักษณะคล้ายกับวงรี และบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในมีจุดต่างดำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ และเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของคอนทราสต์ทั้งสองอีกด้วย แต่เราได้มีการออกแบบระเบียบวิธี แอ็กทิฟคอนทราสต์ ให้มีความสามารถในการแก้ไขปัญหากลิ้นเยื่อยึดลิ้นหัวใจนี้ได้



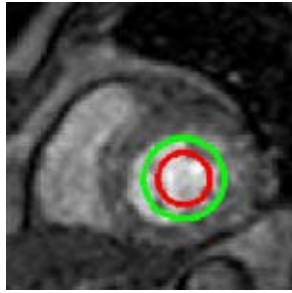
รูปที่ 25 ตัวอย่างของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กส่วนบน

ภาพขาวดำที่ใช้ในการหาค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} เพื่อใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I แสดงดังรูปที่ 26 ซึ่งใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.4

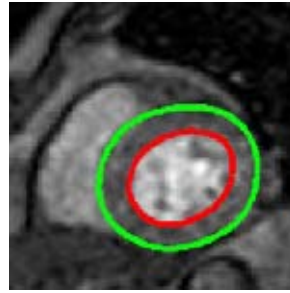


รูปที่ 26 ภาพขาวดำของรูปที่ 25

ในการทดลองนี้ เราได้วางคอนทราสต์เริ่มต้นของคอนทราสต์ทั้งสอง ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายแสดงดังรูปที่ 27(ก) และกำหนดค่า r เท่ากับ 10 พิกเซล โดยใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 27(ข)



(ก)



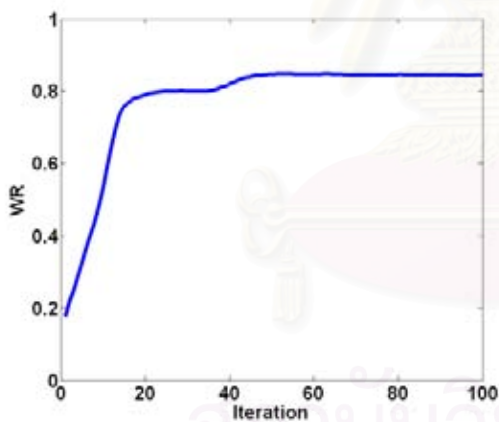
(ข)

รูปที่ 27 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน

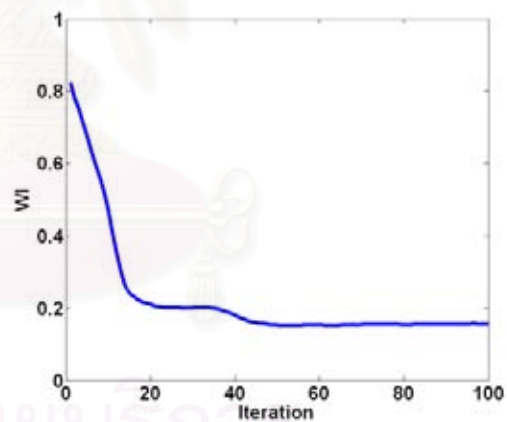
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 27(ข) แสดงผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างด่าไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้ และ คอนทัวร์ B สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายนอกได้ โดยไม่แย่งขอบเขตและเคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A

การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน แสดงดังรูปที่ 28



(ก)



(ข)

รูปที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก

ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน

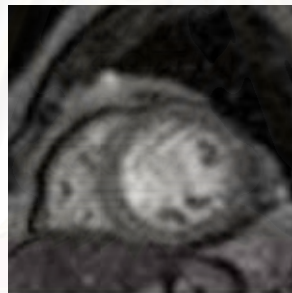
(ก) w_R (ข) w_I

จากรูปที่ 28 เห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทัวร์มีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B ในช่วงประมาณที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1 ถึง 20 รอบ ซึ่งเป็นช่วงที่คอนทัวร์ A กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ส่วนช่วงหลังจากนี้ เป็นช่วงที่คอนทัวร์ B กำลังทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก

เมื่อเราเปรียบเทียบกราฟในรูปที่ 28 กับ รูปที่ 22 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I ในขณะที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเองจากการเปรียบเทียบจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟในรูปที่ 22 จะมีลักษณะที่ราบเรียบมากกว่ากราฟในรูปที่ 28 สาเหตุมาจากรูปที่สร้างขึ้นเองนั้นไม่มีส่วนที่เป็นกลุ่มเนื้อยึดลิ้นหัวใจ จึงทำให้เมื่อแปลงเป็นภาพขาวดำแล้ว วัตถุที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ผ่านนั้นมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีจุดสีอื่นมาปลอมปน ทำให้ค่า w_R และ w_I ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของรอบในการวนซ้ำที่ติดกัน

4.4.2.2 ภาพหัวใจส่วนกลาง

ภาพหัวใจส่วนกลางที่ถูกใช้เป็นตัวอย่งในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 29 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่า ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย มีลักษณะคล้ายกับวงกลมและบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในยังคงมีจุดต่างดำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ที่คล้ายกับภาพหัวใจส่วนบนแต่ในภาพนี้เห็นเป็นจุดต่างดำที่ใหญ่และชัดเจนกว่า



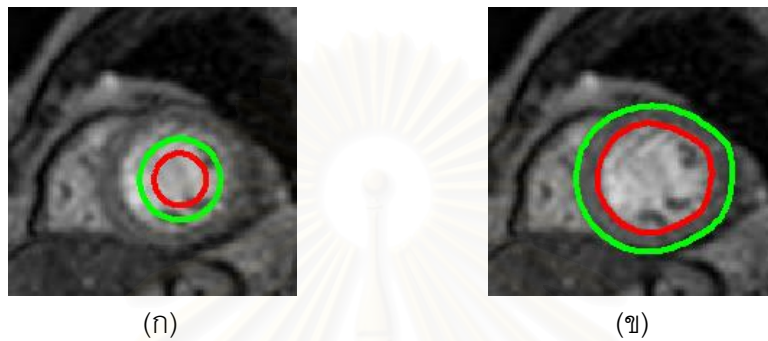
รูปที่ 29 ตัวอย่างของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กส่วนกลาง

ภาพขาวดำที่ใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I แสดงดังรูปที่ 30 ซึ่งใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.4



รูปที่ 30 ภาพขาวดำของรูปที่ 29

ในการทดลองนี้ เราได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสอง ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายแสดงดังรูปที่ 31(ก) ซึ่งคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองนี้มีขนาดเท่ากับคอนทัวร์เริ่มต้นในการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบนในรูปที่ 27(ก) และกำหนดค่า r ให้มีค่าเท่ากับในการทดลองแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน ซึ่งเท่ากับ 10 พิกเซล โดยใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 31(ข)

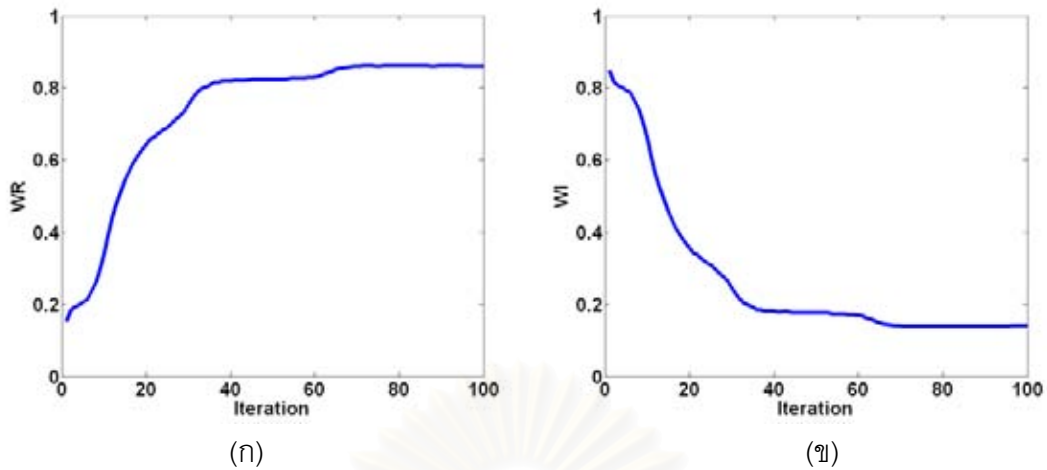


รูปที่ 31 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 31(ข) แสดงผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างด้าไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้ ถึงแม้ว่าจุดต่างด้าที่เห็นนี้จะใหญ่และชัดเจนมากกว่าจุดต่างด้าที่ปรากฏในภาพหัวใจส่วนบนก็ตาม และ คอนทัวร์ B สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายนอกได้ โดยไม่แย่งขอบเขตและเคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A

การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_r และ w_l ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง แสดงดังรูปที่ 32 ซึ่งเห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทัวร์มีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B ในช่วงประมาณที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1 ถึง 40 รอบ ซึ่งเป็นช่วงที่คอนทัวร์ A กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ส่วนช่วงหลังจากนี้ เป็นช่วงที่คอนทัวร์ B กำลังทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก

กราฟในรูปที่ 32 มีลักษณะที่ไม่ราบเรียบ สาเหตุมาจากภาพขาวดำในรูปที่ 30 มีจุดสีดำอยู่ภายในวัตถุสีขาวที่เป็นอาณาบริเวณที่อยู่ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน จึงทำให้ค่า w_r และ w_l ที่คำนวณได้ในแต่ละรอบของการวนซ้ำอาจจะมีค่ากระโดดหรือไม่ใกล้เคียงกันได้ ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้น



รูปที่ 32 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก
 ในขณะที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง
 (ก) w_R (ข) w_I

4.4.2.3 ภาพหัวใจส่วนล่าง

ภาพหัวใจส่วนล่างที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างไม่ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 33 ซึ่งเห็นได้ว่า ส่วนที่เป็นหัวใจห้องล่างซ้ายจะมีขนาดเล็กกว่าภาพหัวใจส่วนบน และ ส่วนกลาง อีกทั้งขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในมีลักษณะคล้ายกับสามเหลี่ยม และขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกมีลักษณะคล้ายกับวงกลม และบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในไม่มีจุดต่างดำ ซึ่งแตกต่างกับภาพหัวใจส่วนบนและส่วนกลาง



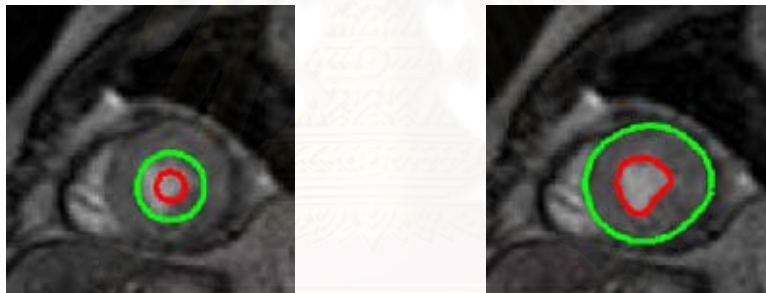
รูปที่ 33 ตัวอย่างของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กส่วนล่าง

ภาพขาวดำที่ใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I แสดงดังรูปที่ 34 ซึ่งใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.48



รูปที่ 34 ภาพขาวดำของรูปที่ 33

ในการทดลองนี้ เราได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสอง ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้ายแสดงดังรูปที่ 35(ก) ซึ่งคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองนี้มีขนาดเท่ากับคอนทัวร์เริ่มต้นในการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบนและส่วนกลาง และกำหนดค่า r เท่ากับ 10 พิกเซล โดยใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 35(ข)



(ก)

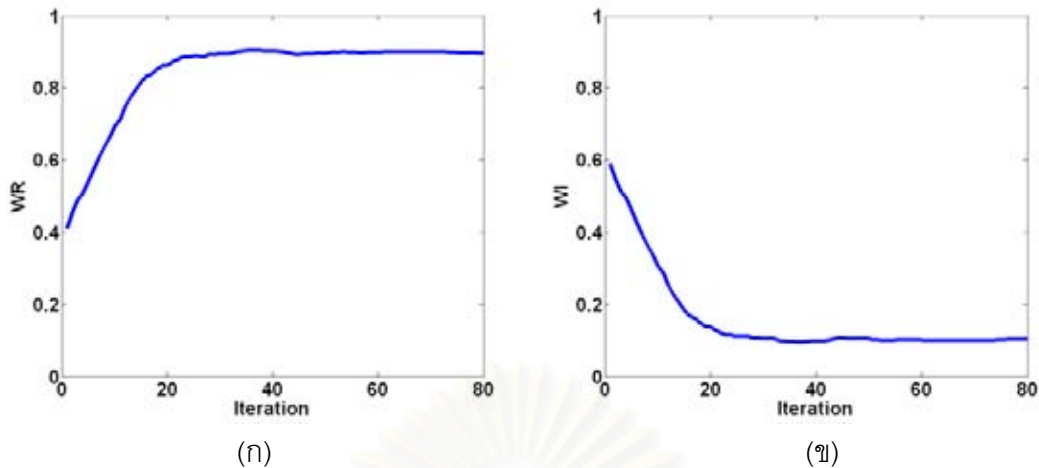
(ข)

รูปที่ 35 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 35(ข) แสดงผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างดำไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้อย่างง่าย เพราะไม่มีจุดต่างดำเป็นอุปสรรค และ คอนทัวร์ B สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายนอกได้ โดยไม่แย่งขอบเขตและเคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A

การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_r และ w_t ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง แสดงดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก
 ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง
 (ก) w_R (ข) w_I

จากรูปที่ 36 เห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทอร์มีอิทธิพลกับคอนทอร์ B ในช่วงประมาณที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1 ถึง 20 รอบ ซึ่งเป็นช่วงที่คอนทอร์ A กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ส่วนช่วงหลังจากนี้ เป็นช่วงที่คอนทอร์ B กำลังทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก และจากรูปร่างของกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่ามีลักษณะที่ค่อนข้างราบเรียบ เนื่องจากบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในไม่มีจุดต่างดำ จึงทำให้ค่า w_R และ w_I ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของรอบในการวนซ้ำที่ติดกัน

จากการทดลองแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง ด้วยระเบียบวิธีแยกทิวคอนทอร์คู่ สิ่งที่เรากำหนดให้เหมือนกันในทุกการทดลอง คือ ค่า r ซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสองในขณะที่แรงระหว่างคอนทอร์ ยังคงมีอิทธิพลกับคอนทอร์ B เพื่อสร้างช่องว่างระหว่างคอนทอร์ สำหรับป้องกันการเคลื่อนที่ติดกันและแย่งขอบกันของคอนทอร์ทั้งสอง โดยการที่เรากำหนดให้ค่า r เท่ากันในทุกการทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ตัวนี้ และจากผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้ แสดงให้เห็นว่าค่า r นี้ไม่ค่อยมีผลกระทบกับผลการแบ่งส่วนภาพมากนัก ถึงแม้ว่าความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจในแต่ละภาพที่ใช้ในการทดลองจะไม่เท่ากันก็ตาม แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ค่า r ที่เรากำหนดจะต้องมีค่าไม่เกินค่าความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้าย

ถ้าเรากำหนดค่า r ให้ใกล้เคียงกับความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้าย จะทำให้คอนทอร์ B สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกนอกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำน้อยลง

4.4.2.4 การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ

ในหัวข้อนี้เป็นการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย ด้วยระเบียบวิธีแอกทิฟ คอนทัวร์คู่ โดยเราจะนำคอนทัวร์ที่ได้จากการทดลองทั้ง 60 ภาพ มาทำการเปรียบเทียบกับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยการคำนวณหาค่าความคล้ายเชิงพื้นที่และค่าความเชิงรูปร่าง

คอนทัวร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพหัวใจ เพื่อหากล้ามเนื้อบริเวณโดยรอบหัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบไปด้วย 2 คอนทัวร์ ดังต่อไปนี้

1. คอนทัวร์ A คือ คอนทัวร์แสดงขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย

2. คอนทัวร์ B คือ คอนทัวร์แสดงขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย

การคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ เราใช้ภาพขาวดำในการคำนวณ ดังนั้น จึงทำการแปลงคอนทัวร์ทั้งสองที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ให้เป็นภาพขาวดำ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

1. ภาพขาวดำที่ได้จากการคอนทัวร์ A ซึ่งบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ A เป็นสีขาว และบริเวณภายนอกคอนทัวร์ A เป็นสีดำ แสดงในรูปแบบที่ 37(ก)

2. ภาพขาวดำที่ได้จากการคอนทัวร์ B ซึ่งบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ B เป็นสีขาว และบริเวณภายนอกคอนทัวร์ B เป็นสีดำ แสดงในรูปแบบที่ 37(ข)

3. ภาพขาวดำที่ได้จากการคอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B ซึ่งบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองเป็นสีขาว และบริเวณอื่นๆ ที่เหลือ เป็นสีดำ แสดงในรูปแบบที่ 37(ค)



(ก)



(ข)

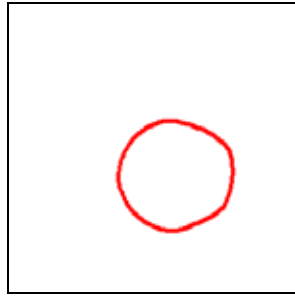


(ค)

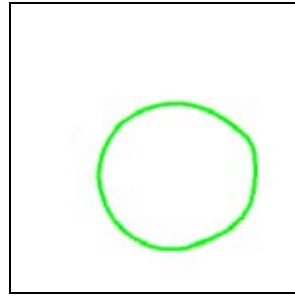
รูปที่ 37 ตัวอย่างภาพขาวดำที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่

(ก) พื้นที่ภายในคอนทัวร์ A (ข) พื้นที่ภายในคอนทัวร์ B (ค) พื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง

การคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง เราใช้คอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ดังตัวอย่างแสดงในรูปแบบที่ 38



(ก)



(ข)

รูปที่ 38 ตัวอย่างคอนทัวร์ที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง

(ก) คอนทัวร์ A (ข) คอนทัวร์ B

การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย โดยการเปรียบเทียบความคล้ายของคอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B เทียบกับคอนทัวร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยใช้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่และค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง ได้มีการคำนวณค่าความคล้ายทั้งหมด 5 ค่า ดังต่อไปนี้

1. ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ A (S_{area} ของ C_A) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1
2. ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ B (S_{area} ของ C_B) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2
3. ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง (S_{area} ของ $C_A \wedge C_B$) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3
4. ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ A (S_{shape} ของ C_A) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4
5. ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ B (S_{shape} ของ C_B) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 1 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ A

S_{area} ของ C_A	เฟรมที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ส่วนบน	0.972	0.981	0.969	0.975	0.964	0.972	0.981	0.982	0.950	0.983
ส่วนกลาง	0.982	0.978	0.983	0.972	0.980	0.981	0.976	0.983	0.980	0.985
ส่วนล่าง	0.961	0.954	0.960	0.932	0.929	0.975	0.955	0.933	0.936	0.948
S_{area} ของ C_A	เฟรมที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ส่วนบน	0.980	0.970	0.978	0.983	0.982	0.986	0.978	0.974	0.977	0.966
ส่วนกลาง	0.985	0.980	0.975	0.981	0.983	0.977	0.978	0.980	0.975	0.984
ส่วนล่าง	0.929	0.914	0.940	0.942	0.932	0.934	0.945	0.953	0.864	0.938

ตารางที่ 2 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ B

S_{area} ของ C_B	เฟรมที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ส่วนบน	0.963	0.975	0.975	0.988	0.975	0.976	0.979	0.985	0.958	0.970
ส่วนกลาง	0.981	0.983	0.979	0.978	0.968	0.969	0.985	0.977	0.985	0.978
ส่วนล่าง	0.952	0.980	0.978	0.979	0.980	0.971	0.966	0.975	0.977	0.981
S_{area} ของ C_B	เฟรมที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ส่วนบน	0.987	0.980	0.987	0.966	0.974	0.987	0.982	0.982	0.975	0.980
ส่วนกลาง	0.975	0.986	0.989	0.964	0.986	0.975	0.984	0.974	0.970	0.971
ส่วนล่าง	0.976	0.965	0.959	0.965	0.965	0.967	0.972	0.971	0.952	0.946

ตารางที่ 3 ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง

S_{area} ของ $C_A \wedge C_B$	เฟรมที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ส่วนบน	0.919	0.929	0.937	0.958	0.936	0.936	0.951	0.961	0.897	0.927
ส่วนกลาง	0.935	0.937	0.936	0.917	0.904	0.909	0.935	0.933	0.950	0.940
ส่วนล่าง	0.930	0.963	0.960	0.957	0.957	0.958	0.945	0.954	0.958	0.964
S_{area} ของ $C_A \wedge C_B$	เฟรมที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ส่วนบน	0.965	0.949	0.961	0.932	0.939	0.969	0.960	0.956	0.948	0.952
ส่วนกลาง	0.933	0.942	0.945	0.907	0.948	0.924	0.936	0.927	0.913	0.923
ส่วนล่าง	0.951	0.935	0.940	0.948	0.942	0.949	0.958	0.960	0.924	0.932

ตารางที่ 4 ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ A

S_{shape} ของ C_A	เฟรมที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ส่วนบน	0.918	0.918	0.910	0.923	0.892	0.880	0.898	0.940	0.904	0.905
ส่วนกลาง	0.936	0.912	0.923	0.916	0.927	0.933	0.917	0.915	0.936	0.937
ส่วนล่าง	0.897	0.888	0.902	0.915	0.914	0.925	0.923	0.926	0.935	0.891
S_{shape} ของ C_A	เฟรมที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ส่วนบน	0.912	0.909	0.944	0.905	0.927	0.899	0.931	0.932	0.923	0.919
ส่วนกลาง	0.905	0.925	0.925	0.925	0.931	0.926	0.922	0.907	0.920	0.916
ส่วนล่าง	0.914	0.921	0.889	0.908	0.921	0.892	0.901	0.945	0.905	0.873

ตารางที่ 5 ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ B

S_{shape} ของ C_B	เฟรมที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ส่วนบน	0.914	0.913	0.891	0.901	0.914	0.887	0.909	0.911	0.889	0.872
ส่วนกลาง	0.919	0.920	0.905	0.901	0.906	0.906	0.899	0.901	0.902	0.920
ส่วนล่าง	0.905	0.917	0.925	0.889	0.942	0.901	0.914	0.913	0.935	0.898
S_{shape} ของ C_B	เฟรมที่									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ส่วนบน	0.914	0.914	0.902	0.890	0.901	0.910	0.911	0.915	0.905	0.915
ส่วนกลาง	0.909	0.912	0.939	0.906	0.936	0.908	0.884	0.902	0.896	0.892
ส่วนล่าง	0.914	0.920	0.899	0.894	0.898	0.902	0.939	0.905	0.901	0.869

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายด้วยระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คู่ กับ วิธีอื่นๆ รวมทั้งสิ้น 4 วิธี มีดังต่อไปนี้

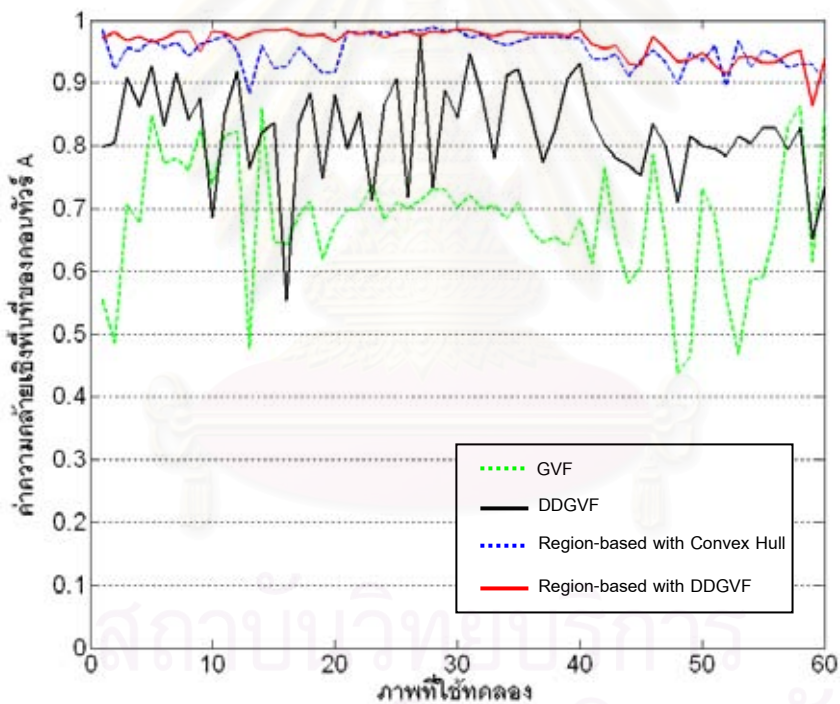
1. GVF เป็นแอกทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกที่หามาจากภาพขอบ

2. DDGVF เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกที่หามาจากภาพขอบเช่นเดียวกัน แต่มีความสามารถในการเลือกแบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบในลักษณะเป็นขอบบวกรหรือขอบลบได้

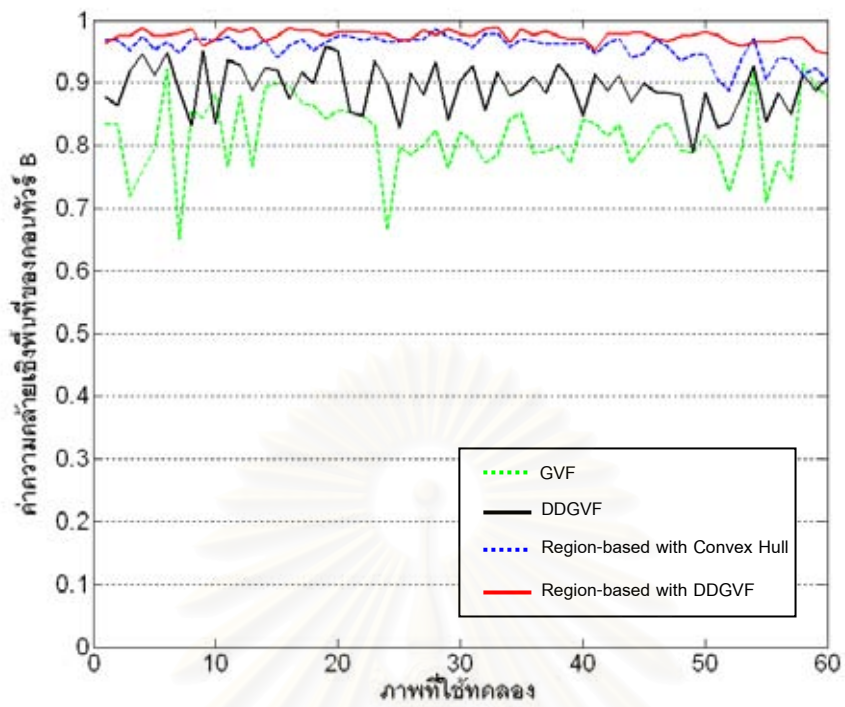
3. Region-based with Convex Hull เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ร่วมกับการทำให้คอนทัวร์ A มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัล เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ำเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ซึ่งเป็นวิธีการที่งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอไว้ใน หัวข้อที่ 4.2.1

4. Region-based with DDGVF เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ และมีการเพิ่มแรงภายนอกแบบ DDGVF ให้กับคอนทัวร์ A เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ำเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ซึ่งเป็นวิธีการหลักที่งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอไว้ใน หัวข้อที่ 4.2.2

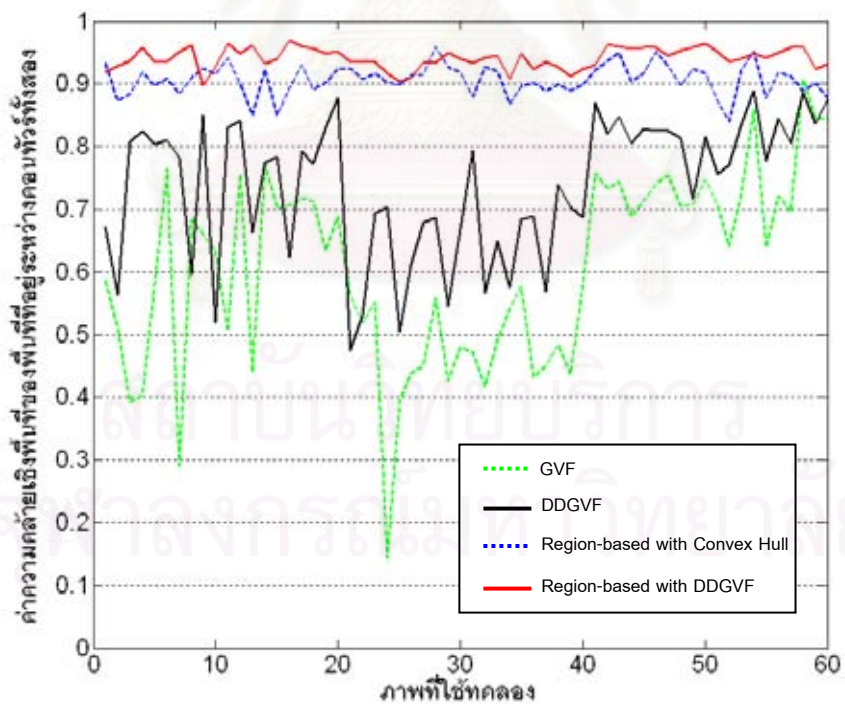
วิธีการที่ 3 และ 4 เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่งานวิจัยนี้ นำเสนอขึ้นมา ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีความแตกต่างกันเพียงวิธีการในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ำเนื้อยึดลิ้นหัวใจเท่านั้น โดยค่าความคล้ายทั้ง 5 ค่าของทั้ง 4 วิธี แสดงเป็นกราฟเส้นในรูปที่ 39 – 43



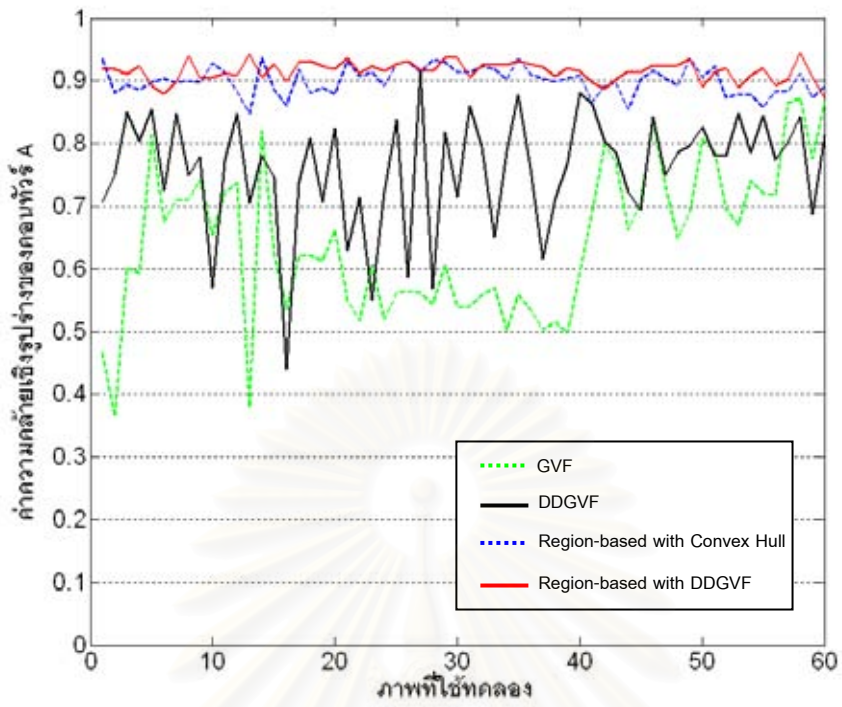
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ A



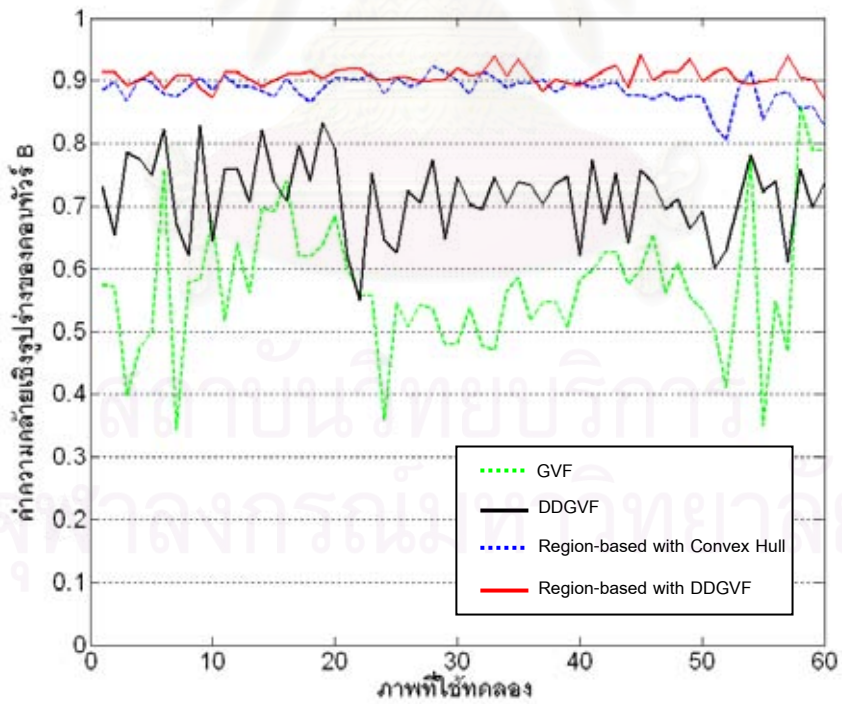
รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ B



รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง



รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ A



รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ B

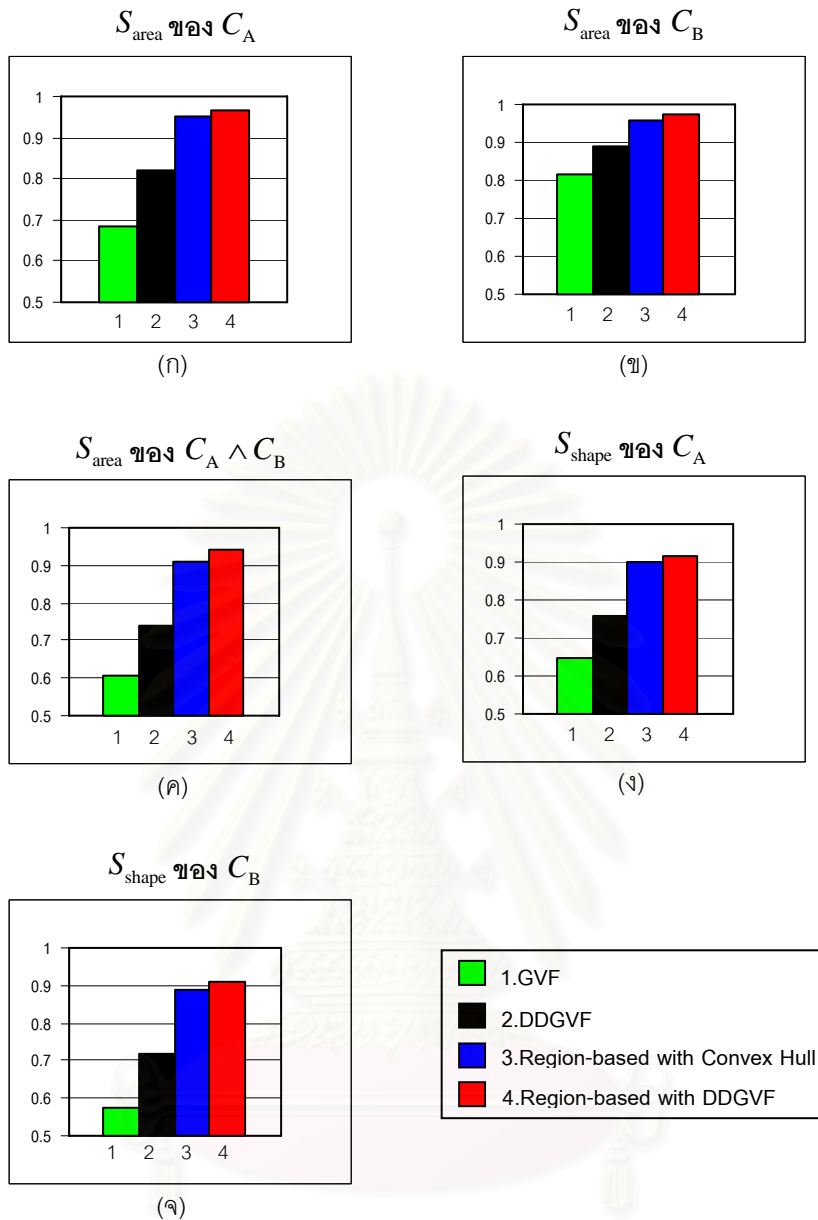
จากกราฟในรูปที่ 39 – 43 เห็นได้ว่าระเบียบวิธีแอกทีฟคอนทัวร์คูที่ใช้ Region-based with Convex Hull และ Region-based with DDGVF ที่วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ มีความสามารถใกล้เคียงกัน และมีความสามารถที่เหนือกว่าวิธี GVF และ DDGVF อีกด้วย และเมื่อนำค่าต่างๆ ที่คำนวณได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อดูประสิทธิภาพโดยรวมของวิธีต่างๆ จะได้ค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความคล้ายเฉลี่ยของทั้ง 4 วิธี

วิธีที่ใช้	ค่าเฉลี่ยของ S_{area}			ค่าเฉลี่ยของ S_{shape}	
	C_A	C_B	$C_A \wedge C_B$	C_A	C_B
GVF	0.684	0.816	0.607	0.645	0.573
DDGVF	0.822	0.892	0.737	0.760	0.716
Region-based with Convex Hull	0.952	0.956	0.907	0.901	0.886
Region-based with DDGVF	0.965	0.975	0.941	0.916	0.907

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 4 วิธีได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เราจึงนำค่าในตารางที่ 6 มาพล็อตเป็นกราฟแท่ง แสดงดังรูปที่ 44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเฉลี่ยของทั้ง 4 วิธี

(ก) ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ A

(ข) ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ B

(ค) ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง

(ง) ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ A

(จ) ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ B

จากรูปที่ 44(ก) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ A ซึ่งวิธี Region-based with DDGVF มีประสิทธิภาพและความสามารถมากที่สุด และรองลงมาเป็นวิธี Region-based with Convex Hull ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ให้ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันไม่มาก สาเหตุมาจากวิธีการทั้งสองนี้ มีความสามารถในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ จึงทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ดีกว่า วิธี GVF และวิธี DDGVF ซึ่งใช้แรงภายนอกจากภาพขอบ จึงทำให้บางส่วนของคอนทัวร์ A อาจเคลื่อนที่ไปติดกับส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจได้

จากรูปที่ 44(ข) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ B ซึ่งเห็นได้ว่าทั้ง 4 วิธี ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน สาเหตุมาจากขอบเขตที่คอนทัวร์ B จะต้องการแบ่งส่วนนั้น ไม่มีอุปสรรคของกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ จึงทำให้ทั้ง 4 วิธี ให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่วิธี Region-based with DDGVF ก็ยังคงให้ประสิทธิภาพมากที่สุด

จากรูปที่ 44(ค) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี Region-based with DDGVF และ วิธี Region-based with Convex Hull ให้ผลที่มีประสิทธิภาพ และ แตกต่างกับวิธี GVF และวิธี DDGVF อย่างมาก เนื่องจากวิธีการทั้งสองที่เราออกแบบขึ้นมาได้มีการเพิ่มแรงระหว่างคอนทัวร์เข้าไป จึงทำให้คอนทัวร์ทั้งสองไม่เกิดการเคลื่อนที่ติดกัน และแย่งขอบกัน ส่งผลให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง ค่อนข้างโดดเด่นอย่างมาก ส่วนวิธี GVF และวิธี DDGVF นี้คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่เป็นอิสระจากกัน จึงอาจทำให้คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันได้ ส่งผลให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงได้

จากรูปที่ 44(ง) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ A ซึ่งวิธี Region-based with DDGVF และ วิธี Region-based with Convex Hull ให้ผลที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก และมีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุมาจากวิธีการทั้งสองนี้ มีความสามารถในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ อีกทั้งส่วนที่เป็นขอบเขตที่คอนทัวร์ A จะต้องการแบ่งส่วนในภาพหัวใจที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ จึงทำให้วิธีการทั้งสองให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่ วิธี Region-based with DDGVF ให้ผลที่ดีกว่า เนื่องมาจากในภาพหัวใจบางภาพขอบเขตที่คอนทัวร์ A จะต้องการแบ่งส่วนภาพนั้น อาจจะไม่มิลักษณะเป็นคอนเวกซ์ ซึ่งได้มีการแสดงให้เห็นถึงผลกระทบในเรื่องนี้ไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2.1

จากรูปที่ 44(จ) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ B ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการที่ใช้แรงภายนอกจากอาณาบริเวณจะให้ผลที่ดีกว่า วิธีที่ใช้ภาพขอบ เนื่องมาจากขอบเขตที่คอนทัวร์ B จะต้องการแบ่งส่วนภาพนั้นมีขอบที่ไม่ชัดเจน ส่งผลให้ภาพขอบไม่ชัดเจนตามไปด้วย รวมถึงปัญหาการเคลื่อนที่ติดกันของคอนทัวร์ทั้งสองเนื่องจากคอนทัวร์ทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน จึงทำให้วิธี GVF และ DDGVF มีประสิทธิภาพที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับ วิธี Region-based with DDGVF และ วิธี Region-based with Convex Hull

จากรูปที่ 44 โดยภาพรวมแล้ว วิธี Region-based with DDGVF เป็นวิธีที่ให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ดีที่สุด มีความใกล้เคียงกับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือมากที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ ซึ่งวิธี Region-based with DDGVF เป็นวิธีการหลักที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอและออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 4.2.2

4.5. ข้อดีและข้อด้อยของระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่

งานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ สำหรับแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็ก เพื่อหาความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้ายสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำคัญทางการแพทย์และใช้วินิจฉัยโรคต่อไป โดยขอบเขตที่แสดงถึงกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้ายจะประกอบไปด้วย 2 ขอบเขตด้วยกัน คือ ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ จะทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกไปพร้อมๆ กัน โดยใช้การผสมผสานแรงภายนอกที่ได้มาจากการใช้ภาพขอบร่วมกับแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ที่ปรากฏเป็นจุดสีดำอยู่ในหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ และนอกจากนี้ ยังได้มีการออกแบบแรงระหว่างคอนทัวร์ สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ทั้งสอง เพื่อไม่ให้คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันและแย่งขอบกันในขณะที่กำลังแบ่งส่วนภาพ

ในการทดลองเราได้นำระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่มา ทดลองกับภาพ 2 แบบด้วยกันแบบแรกเป็นภาพที่สร้างขึ้นเอง โดยในการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมและความสามารถของคอนทัวร์ทั้งสอง และการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนักที่สำคัญในขณะที่กำลังทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งค่าตัวถ่วงน้ำหนักเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ทั้งสองอย่างมาก แบบที่สองเป็นการทดลองกับชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก ซึ่งประกอบไปด้วยภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กห้องล่างจำนวน 3 สไลด์ ได้แก่ ภาพหัวใจส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง ใน 20 เฟรมเวลา รวมทั้งหมด 60 ภาพ และจากนั้นนำคอนทัวร์ที่ได้จากผลการแบ่งส่วนภาพมาทำการคำนวณหาค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ และ ค่าคล้ายเชิงรูปร่าง เพื่อเป็นการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพเทียบกับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย 4 วิธีด้วยกัน ผลเปรียบเทียบที่ได้ คือ ระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ที่เราออกแบบ มีประสิทธิภาพมากที่สุด และสามารถแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายได้มีความใกล้เคียงกับการแบ่งส่วนภาพด้วยมือมากที่สุด

4.5.1 ข้อดีของระเบียบวิธีแอดิทิฟคอนทราสต์

1. ระเบียบวิธีแอดิทิฟคอนทราสต์สามารถในการแบ่งส่วนภาพที่มีสัญญาณรบกวน และมีความไม่ชัดเจนระหว่างวัตถุกับพื้นหลังได้ เนื่องจากระเบียบวิธีนี้ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ จึงไม่มีผลกระทบกับปัญหาเหล่านี้มากนัก เมื่อเทียบกับแรงภายนอกแบบที่ใช้ภาพขอบ

2. สามารถแบ่งส่วนขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในและภายนอกได้พร้อมๆ กัน โดยที่คอนทราสต์ทั้งสองไม่เคลื่อนที่ติดกันและไม่แย่งขอบเขตกัน เพราะได้มีการใส่แรงระหว่างคอนทราสต์เข้าไปที่คอนทราสต์ B

3. สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างค่า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มเนื้อเยื่อลิ้นหัวใจไปได้ เนื่องจากได้มีการผสมผสานการใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ร่วมกับแรงภายนอกแบบที่ใช้ภาพขอบในการแก้ไขปัญหานี้

4.5.2 ข้อด้อยของระเบียบวิธีแอดิทิฟคอนทราสต์

1. การแบ่งส่วนภาพด้วยระเบียบวิธีแอดิทิฟคอนทราสต์นี้ เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งในการทดลองยังจำเป็นต้องมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มของคอนทราสต์ทั้งสองเอง โดยกำหนดให้อยู่ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย

2. ภาพขาวดำที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวถ่วงน้ำหนัก ยังคงต้องมีการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) เองเพื่อให้เหมาะสมในแต่ละภาพ ถึงจะทำให้ได้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักที่ดีที่สุดที่จะทำให้คอนทราสต์ทั้งสองสามารถเคลื่อนที่ทำการแบ่งส่วนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตัวอย่างการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในรูปที่ 45

มีความชัดเจนระหว่างสองอาณาบริเวณนี้



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 45 ตัวอย่างภาพขาวดำที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวถ่วงน้ำหนัก

(ก) Threshold = 0.4 (ข) Threshold = 0.35 (ค) Threshold = 0.3

จากรูปที่ 45 เป็นภาพขาวดำที่ได้จากการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.4, 0.35 และ 0.3 ตามลำดับ ซึ่งภาพขาวดำที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าตัวถ่วงน้ำหนักจะต้องมีลักษณะที่ชัดเจนระหว่างอาณาบริเวณของหัวใจห้องล่างซ้าย และอวัยวะส่วนอื่นๆ แสดงตาม

ลูกศรสีแดงในรูป (ก) ส่วนรูป (ข) และ (ค) นั้นเป็นภาพขาวดำที่ไม่ควรนำไปใช้เนื่องจากอาณาบริเวณที่เป็นหัวใจห้องล่างซ้ายไม่ค่อยเด่นชัดเท่าที่ควร ซึ่งอาจจะส่งผลให้คอนทราสต์ทั้งสองเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่เราได้ออกแบบไว้

3. อาจมีการคำนวณที่สูงขึ้น ถ้าเราไม่สามารถทราบความหนาโดยประมาณของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพ จึงทำให้เราต้องกำหนดค่าระยะห่างระหว่างคอนทราสต์เริ่มต้นไว้ให้มีค่าน้อยๆ เช่น 1 พิกเซล เป็นต้น ส่งผลให้ต้องใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำจำนวนมากในการแบ่งส่วนภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ระเบียบวิธีแอกทีฟคอนทราสต์นี้ ก็ยังคงให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ถูกต้องได้ ถ้าค่าระยะห่างระหว่างคอนทราสต์เริ่มต้นที่เรากำหนดมีค่าไม่เกินความหนาที่แท้จริงของวัตถุ

ส่วนที่จะดำเนินการต่อไป

- ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการแบ่งส่วนภาพในเชิง 3 มิติ
- ออกแบบและพัฒนาวิธีการแบ่งส่วนภาพทางการแพทย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. ผลิตผลและหรือความสัมฤทธิ์ผลของงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

1. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

1. นายโสภณ ผู้มีจรรยา: การแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็กด้วยระบบวิธีแอกทีฟคอนทราสต์ (LEFT VENTRICULAR SEGMENTATION OF CARDIAC MAGNETIC RESONANCE IMAGE USING DOUBLE ACTIVE CONTOUR METHOD)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," *International Journal of Computer Vision*, vol. 1, no. 4, pp. 321–331, 1988.
- [2] C. Xu and J. L. Prince, "Snakes, shapes, and gradient vector flow," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7, no. 3, pp. 359–369, March 1998.
- [3] J. Cheng and S. W. Foo, "Dynamic directional gradient vector flow for snakes," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 6, pp. 1563–1571, June 2006.
- [4] C. Zimmer and J.-C. Olivo-Marin, "Coupled parametric active contours," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 11, pp. 1838–1842, November 2005.
- [5] A. P. Zijdenbos, B. M. Dawant, R. A. Margolin, and A. C. Palmer, "Morphometric analysis of white matter lesions in MR images: Method and validation," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 13, no. 4, December 1994.
- [6] 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*, vol. 24, no. 5, pp. 593–603, May 2005.
- [7] T. Chan and L. Vese, "Active contours without edges," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 10, no. 2, pp. 266–277, Feb. 2001.
- [8] D. Mumford and J. Shah, "Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems," *Communications on Pure and Applied Mathematics*, vol. 42, pp. 577–685, 1989.
- [9] S. Osher and J. A. Sethian, "Fronts propagating with curvature-dependent speed: Algorithms based on Hamilton–Jacobi Formulation," *Journal of Computational Physics*, vol. 79, pp. 12–49, 1988.
- [10] H.-K. Zhao, T. Chan, B. Merriman, and S. Osher, "A variational level set approach to multiphase motion," *J. Comput.Phys.*, vol. 127, pp. 179–195, 1996.
- [11] S. Kulkarni and B. N. Chatterji, "Edgeless Active Contours for Natural Color Images Based on Angular Mapping and Level Sets," *Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing, ICVGIP*, pp. 382–387, Dec. 2002.
- [12] B. Sandberg, T. Chan, and L. Vese, "A Level-Set and Gabor Based Active Contour Algorithm for Segmenting Textured Images," *UCLA Computer Applied Mathematic Report*, pp. 02–39, 2002.

- [13] C. Sagiv, N. A. Sochen, and Y. Y. Zeevi, "Integrated Active Contours for Texture Segmentation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 6, 2006.
- [14] A. Dumitras, A. N. Venetsanopoulos, "Angular map driven snakes with application to object shape description," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 10, no. 12, pp. 1851-59, Dec. 2001.
- [15] A. K. Jain and H. Chen, "Matching of dental x-ray images for human identification," *Pattern Recognition*, vol.37, no. 7, pp. 1519–1532, 2004.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย