

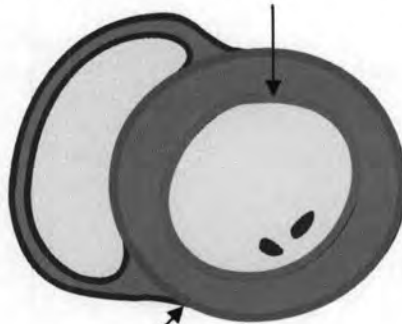
บทที่ 3

ระเบียบวิธีที่นำเสนอ

3.1 การแบ่งส่วนภาพหัวใจ

จากความสำคัญในการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย เพื่อให้ได้ส่วนที่เป็นความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณโดยรอบหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 นั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้มีการออกแบบระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่สำหรับแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งประกอบไปด้วยขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย แสดงดังรูปที่ 3.1

คอนทัวร์ A สำหรับขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน



คอนทัวร์ B สำหรับขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก

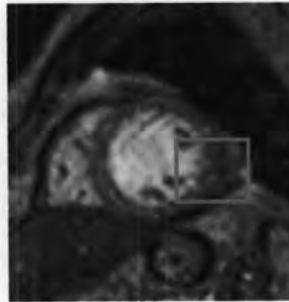
รูปที่ 3.1 การแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย

จากรูปที่ 3.1 เป็นภาพจำลองการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ เราเรียกคอนทัวร์ที่ใช้แบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้ายว่า คอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B ตามลำดับ

3.1.1 ปัญหาในการแบ่งส่วนภาพหัวใจ

ในการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก มีปัญหาที่สำคัญอยู่ 2 ประการ ดังต่อไปนี้

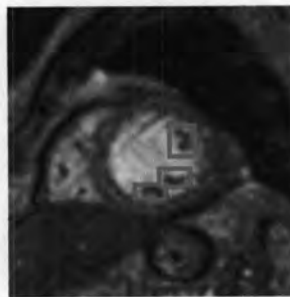
1. ปัญหาความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพในบริเวณกรอบสีเขียวมีลักษณะเบลอ กล่าวคือ ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกไม่ค่อยชัดเจน



รูปที่ 3.2 ความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก

ปัญหาความไม่ชัดเจนของขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกนี้ จะเป็นอุปสรรคที่สำคัญอย่างมากกับการใช้แรงภายนอกแบบที่ใช้ภาพขอบ เพราะความไม่ชัดเจนของขอบเขตเหล่านี้จะส่งผลให้ภาพขอบไม่ชัดเจนไปด้วย ซึ่งในกรณีนี้เราควรเลือกใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ โดยได้มีการทดลองให้เห็นถึงความสามารถในการแบ่งส่วนภาพหัวใจโดยใช้แรงภายนอกแบบต่างๆ ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

2. ปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ แสดงดังรูปที่ 3.2 ในกรอบสีเหลี่ยมสีแดง ซึ่งกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจเหล่านี้ จะปรากฏเป็นจุดสีดำอยู่บริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของภาพสะท้อนแม่เหล็กบางภาพ



รูปที่ 3.3 กล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจที่อยู่ภายในหัวใจห้องล่างซ้าย

จากรูปที่ 3.3 จุดสีดำเหล่านี้ จะเป็นอุปสรรคอย่างมากในการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของแอ็กทิฟคอนทัวร์ กล่าวคือ คอนทัวร์อาจจะเคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำเหล่านี้จนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างถูกต้อง โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำเสนอวิธีในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจนี้ ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

3.1.2 การใช้แรงภายนอกแบบต่างๆ

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแรงภายนอกของแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ เราได้มีการนำแรงภายนอกแบบต่างๆเหล่านี้ มาทำการทดลองแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็กที่มีขนาด 150×150 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งมีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในดังรูปที่ 3.4(ก) และผลการแบ่งส่วนภาพของแรงภายนอกแบบต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยแรงภายนอก 5 แบบ มีดังต่อไปนี้

1. แรงภายนอกแบบดั้งเดิม, $F_{\text{traditional}}$ ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 3.4(ข) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่มีการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างมากนัก เนื่องจากแรงภายนอกแบบดั้งเดิมนี้อาจมีปัญหาในเรื่องของการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด และภาพหัวใจที่เรานำมาใช้ในการทดลองนี้มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก จึงทำให้แรงภายนอกแบบดั้งเดิมไม่ประสบความสำเร็จในการแบ่งส่วนภาพหัวใจลักษณะนี้

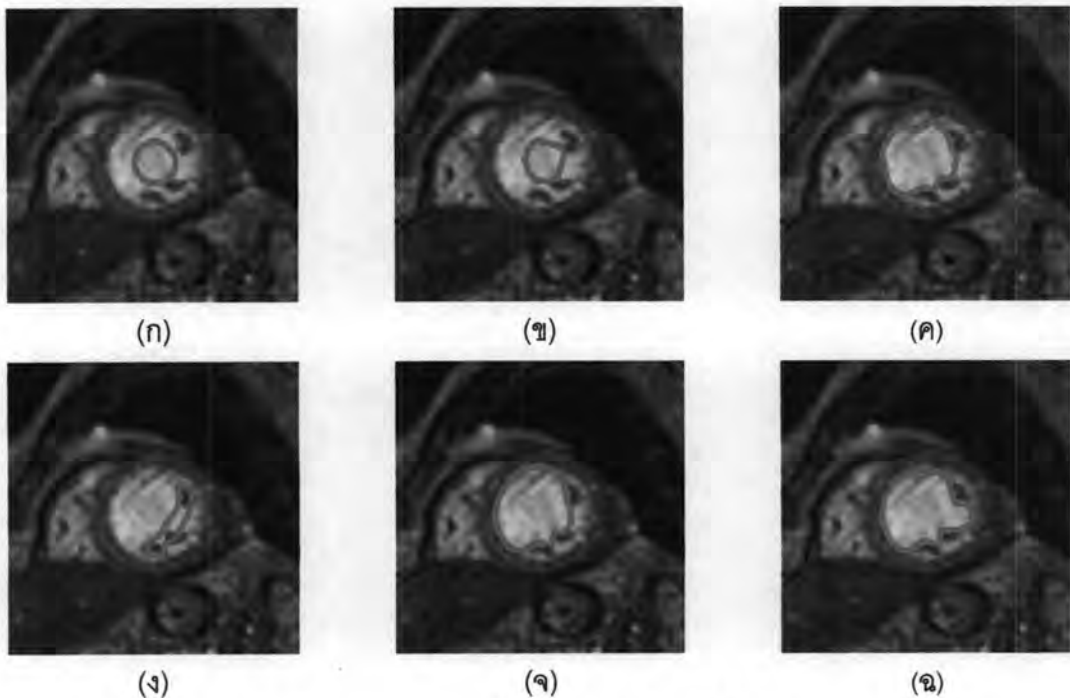
2. แรงภายนอกแบบ GVF, F_{GVF} ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 3.4(ค) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์มีความสามารถในการแบ่งส่วนภาพหัวใจมากขึ้น เมื่อเทียบกับแรงภายนอกแบบดั้งเดิม เนื่องจากแรงภายนอกแบบนี้มีการขยายขอบเขตของแรงมากขึ้น ทำให้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อเสียอยู่ เนื่องจากแรงภายนอกแบบ GVF นี้ใช้ภาพขอบจึงทำให้คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับขอบที่ไม่ต้องการ ซึ่งก็คือขอบของกล้ามเนื้อหัวใจ หรือจุดสีดำในภาพนั่นเอง ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้

3. แรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวก, $F_{\text{DDGVF+}}$ ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 3.4(ง) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์เคลื่อนที่เข้าหาส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจ เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจที่เห็นในภาพนี้เป็นจุดสีดำ ซึ่งมีลักษณะเป็นวัตถุสีดำบนพื้นสีขาว จึงมีคุณสมบัติเป็นขอบบวก ด้วยเหตุนี้เองคอนทัวร์จึงไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ เพราะติดอยู่กับจุดสีดำเหล่านี้

4. แรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบลบ, $F_{\text{DDGVF-}}$ ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 3.4(จ) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ดีกว่ากรณีเลือกใช้ขอบบวก เนื่องจากเยื่อหัวใจภายใน มีลักษณะเป็นวัตถุสีขาวบนพื้นสีดำ จึงมีคุณสมบัติเป็นขอบลบ แต่ทว่าแรงภายนอกแบบ DDGVF นี้ยังคงใช้ภาพขอบ จึงทำให้คอนทัวร์ไม่

สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสัญญาณรบกวนในภาพยังคงมีอยู่มาก

5. แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ, F_{region} ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 3.4(ง) ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับแรงภายนอกทั้ง 4 แบบที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้ไม่ได้ใช้ภาพขอบ จึงทำให้สัญญาณรบกวนในภาพไม่มีผลกระทบกับแรงภายนอกแบบนี้มากนัก และคอนทราสต์ยังสามารถแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายได้ดีพอสมควร ซึ่งคอนทราสต์จะพยายามแบ่งส่วนภาพออกเป็นสองอาณาบริเวณ คือ บริเวณที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทราสต์ โดยอาณาบริเวณที่อยู่ภายในคอนทราสต์ คือ ส่วนที่เป็นเยื่อหัวใจภายใน ซึ่งมีอาณาบริเวณส่วนใหญ่เป็นสีขาว แต่ในภาพหัวใจนี้ยังมีส่วนอื่นๆของภาพ ที่มีอาณาบริเวณลักษณะเดียวกันกับอาณาบริเวณของเยื่อหัวใจภายใน ซึ่งเป็นส่วนที่เราไม่ต้องการ แต่ทว่าในที่นี้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ เป็นแบบพาราเมตริก คอนทราสต์จึงไม่สามารถแยกตัวเองออกเป็นหลายๆคอนทราสต์ได้ จึงทำให้เราแบ่งส่วนภาพได้เฉพาะส่วนที่เราต้องการ แต่อย่างไรก็ตามคอนทราสต์ยังไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าหาส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากคอนทราสต์เคลื่อนที่ไปติดกับกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจที่มีอาณาบริเวณที่เป็นสีดำ ซึ่งเป็นอาณาบริเวณที่ไม่ใกล้เคียงกับอาณาบริเวณส่วนใหญ่ของเยื่อหัวใจภายในซึ่งเป็นสีขาว



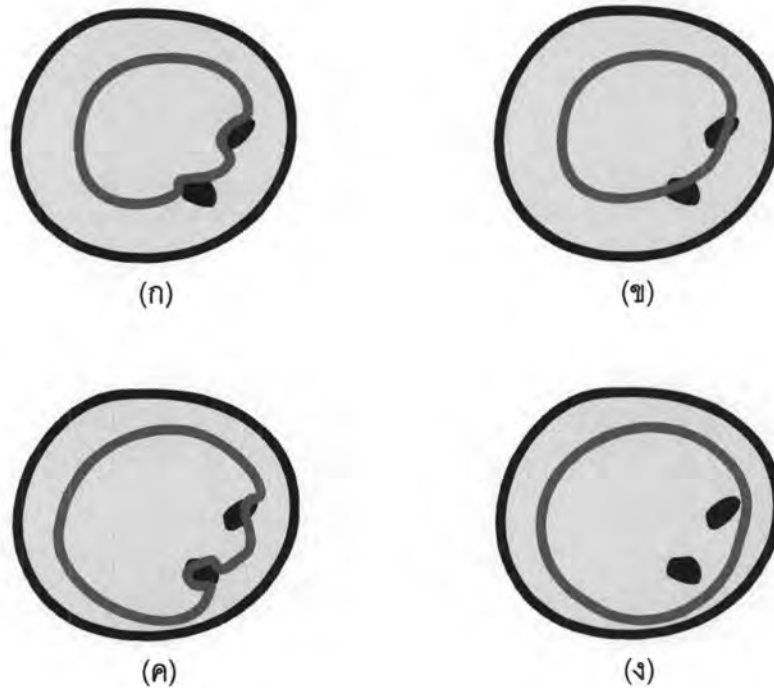
รูปที่ 3.4 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในโดยใช้แรงภายนอกแบบต่างๆ

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

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

3.1.3 การใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัลล์

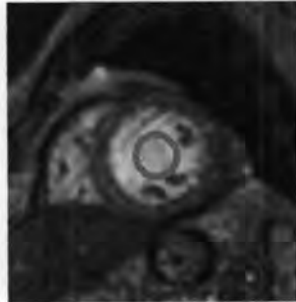
การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้ ให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ค่อนข้างดีแสดงดังรูปที่ 3.4(ข) แต่ยังคงประสบกับปัญหา กล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจอยู่ กล่าวคือ คอนทอร์ยังไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ ดังนั้น เราจึงมีแนวคิดในการใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับ การทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Hull) ในทุกๆรอบวิวัฒนาการของคอนทอร์ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.5 โดยคอนทอร์ใหม่ที่ถูกทำให้มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลล์ คือ คอนทอร์ที่เล็กที่สุดที่มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ และสามารถครอบคลุมคอนทอร์เดิมที่มีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ไว้ได้ ซึ่งคอนทอร์ที่มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ คือ คอนทอร์ที่เมื่อเราลากเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุดใดๆบนคอนทอร์ เส้นตรงเหล่านั้นจะต้องอยู่ภายในคอนทอร์ด้วยเหมือนกัน



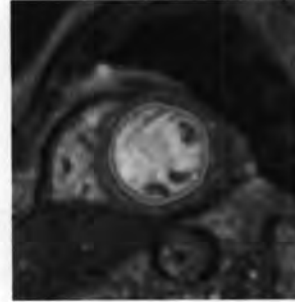
รูปที่ 3.5 ภาพจำลองการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัลล์

จากรูปที่ 3.5(ก) เมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำ คอนทอร์จะมีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ ดังนั้น เราจึงทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลล์ ดังแสดงในรูป (ข) เพื่อใช้เป็นคอนทอร์เริ่มต้นของวิวัฒนาการในรอบถัดไป และเมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำเหล่านี้ก็แสดงดังแสดงในรูป (ค) เราก็ทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลล์อีกครั้ง ดังแสดงในรูป (ง) ซึ่งในขณะนี้คอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้

เรานำวิธีการแบ่งส่วนภาพโดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ร่วมกับการทำให้คอนทราสต์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัล มาทดลองกับภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กจริง แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านี้ไปได้



(ก)

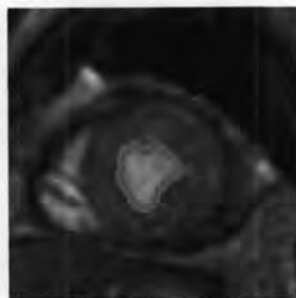


(ข)

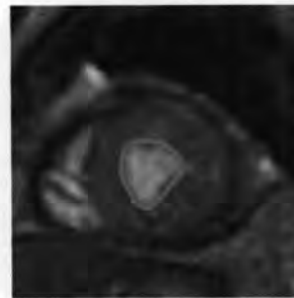
รูปที่ 3.6 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน
โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัล

(ก) คอนทราสต์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 3.6(ข) เห็นได้ว่าคอนทราสต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายได้ ดังนั้น วิธีการนี้จึงเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ แต่อย่างไรก็ตามการที่เราทำให้คอนทราสต์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลในทุกๆ รอบวิวัฒนาการของคอนทราสต์ ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน เพราะอาจจะใช้ไม่ได้กับทุกกรณี เนื่องจากขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของภาพสะท้อนแม่เหล็กบางภาพ อาจจะมีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7



(ก)



(ข)

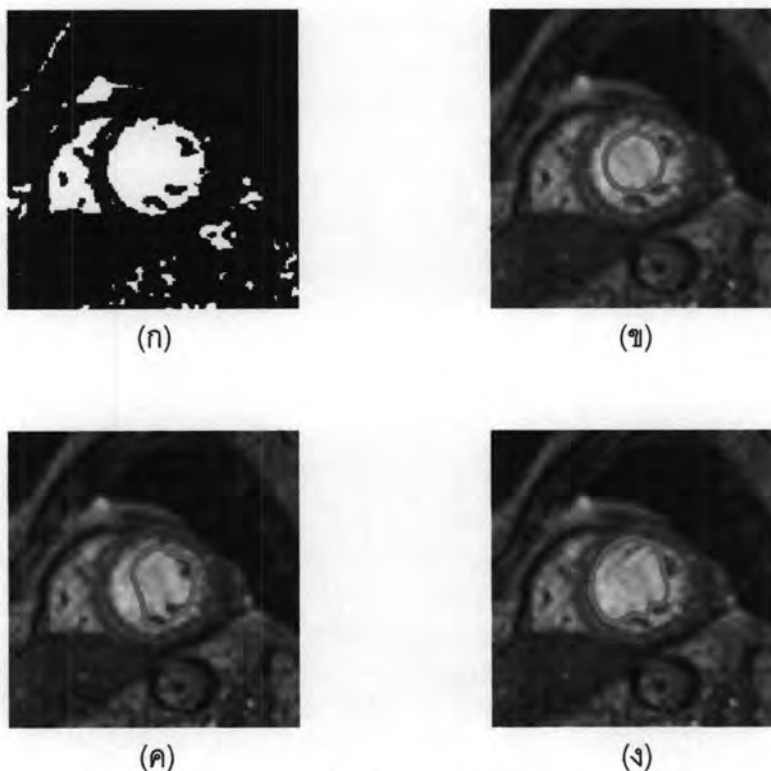
รูปที่ 3.7 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในที่มีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์

(ก) ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ (ข) ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัล

จากรูปที่ 3.7 เป็นตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในที่มีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ โดยในรูป (ก) เราใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ซึ่งคอนทอร์สามารถแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้ดี ส่วนในรูป (ข) เราใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับคอนเวกซ์ฮัล ซึ่งได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากคอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์แต่ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในมีลักษณะไม่เป็นคอนเวกซ์ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแบ่งส่วนภาพขึ้นได้

3.1.4 การใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับ DDGVF

จากข้อจำกัดในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ามเนื้อเยื่อหัวใจ ของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับ การทำให้คอนทอร์มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัลในทุกๆรอบวิวัฒนาการของคอนทอร์ เราจึงมีอีกหนึ่งแนวคิดในการแก้ไขปัญหาเรื่องนี้ โดยได้มีการพิจารณาถึงความสามารถของแรงภายนอกแบบ DDGVF อีกครั้ง ซึ่งแรงภายนอกแบบนี้สามารถเลือกใช้ขอบวกหรือขอบลบในการแบ่งส่วนวัตถุที่เราต้องการในภาพได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4(ง) และ (จ) ซึ่งเห็นได้ว่าไม่ประสบผลสำเร็จในการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในที่เป็นภาพเจดสีเทา เนื่องจากแรงภายนอกแบบ DDGVF นี้ ยังคงต้องใช้ภาพขอบ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับภาพที่วัตถุมีขอบที่ชัดเจน ด้วยเหตุนี้ เราจึงได้มีการแปลงภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก ซึ่งเป็นภาพเจดสีเทาให้เป็นภาพขาวดำก่อนนำไปทดลองกับแรงภายนอกแบบ DDGVF เพื่อให้วัตถุที่เราต้องการมีขอบเขตที่ชัดเจนมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.8(ก) โดยส่วนที่มีลักษณะทรงกลมสีขาวอยู่บริเวณตรงกลางภาพ คือ เยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย และจุดสีดำที่อยู่ภายในหัวใจห้องล่างซ้าย คือ ส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อเยื่อหัวใจ โดยในที่นี้เรากำหนดให้สีขาวมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1 และสีดำมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0 เราได้ทำการทดลองแรงภายนอกแบบ DDGVF ทั้งสองกรณี คือ กรณีเลือกใช้ขอบวก และกรณีเลือกใช้ขอบลบ โดยวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทอร์ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 3.8(ข) ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบวกที่ได้ แสดงดังรูปที่ 3.8(ค) และผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบลบ แสดงดังรูปที่ 3.8(ง) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดของการทดลองในครั้งนี้กระทำกับภาพขาวดำ แต่เรานำคอนทอร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพมาแสดงบนภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กที่เป็นภาพเจดสีเทาเพื่อให้เห็นผลการแบ่งส่วนภาพที่ชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 3.8 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในโดยใช้แรงภายนอกแบบ DDGVF

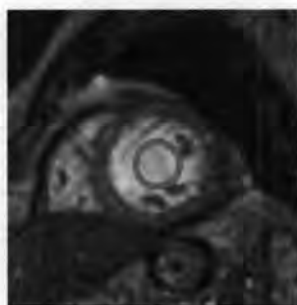
(ก) ภาพขาวดำของภาพหัวใจ (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น

(ค) ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบบวก (ง) กรณีเลือกใช้ขอบลบ

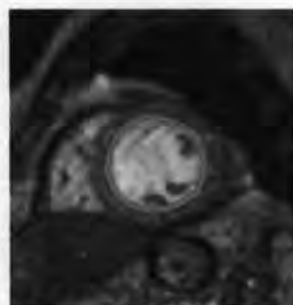
จากรูปที่ 3.8(ค) คือ ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบบวก ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ เพราะเนื่องจากจุดสีดำเหล่านั้นเป็นจุดสีดำที่อยู่บนพื้นสีขาว ซึ่งมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงจากค่าความเข้มสีน้อยไปยังค่าความเข้มสีมาก จึงมีคุณสมบัติเป็นขอบบวกตามทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่มีทิศทางหันออกนอกคอนทัวร์ แต่คอนทัวร์ยังไม่สามารถเคลื่อนไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์ สาเหตุเนื่องจากเยื่อหัวใจภายในมีลักษณะเป็นวัตถุสีขาวบนพื้นสีดำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของขอบลบ ดังนั้นในกรณีเลือกใช้ขอบบวกจึงไม่มีแรงที่จะขับเคลื่อนคอนทัวร์ ให้เคลื่อนที่ไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจในภายในได้

จากรูปที่ 3.8(ง) คือ ผลการแบ่งส่วนภาพกรณีเลือกใช้ขอบลบ โดยสังเกตเห็นได้ว่าคอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ เพราะเนื่องจากจุดสีดำเหล่านั้นมีคุณสมบัติเป็นขอบบวก แต่ทว่าบางส่วนของคอนทัวร์สามารถเคลื่อนไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหัวใจในภายในได้ เพราะขอบเขตของเยื่อหัวใจในภายในมีคุณสมบัติเป็นขอบลบ

ในการทดลองแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย โดยใช้แรงภายนอกแบบ DDGVF ทั้งสองกรณี คือ กรณีเลือกใช้ขอบบวกลบ ทำให้เราเกิดแนวคิดในการแก้ไขปัญหาหากล้มเนื่อยึดลิ้นหัวใจ โดยในกรณีเลือกใช้ขอบบวกลบนั้น คอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ แต่คอนทอร์ยังไม่มีแรงขับเคลื่อนไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหุ้มในภายในได้ เราจึงได้ทดลองเพิ่มแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณเข้าไป



(ก)



(ข)

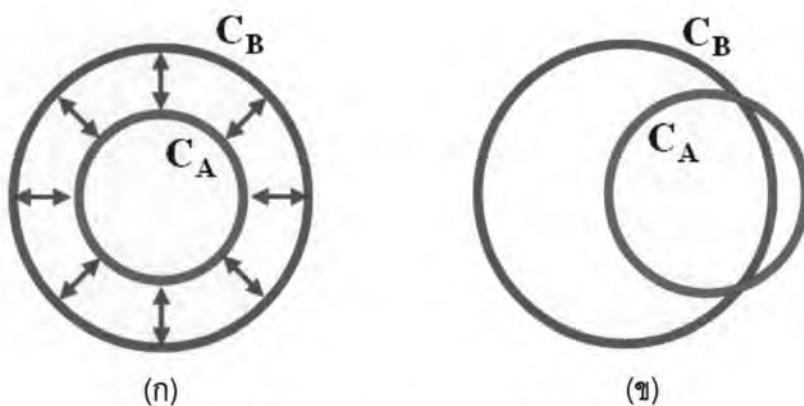
รูปที่ 3.9 การแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหุ้มหัวใจภายในโดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับแรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกลบ
(ก) คอนทอร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

เราทดลองวิธีการนี้โดยวางคอนทอร์เริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 3.9(ก) และจากการผสมผสานแรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกลบ ซึ่งกระทำกับภาพขาวดำ และแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ซึ่งกระทำกับภาพเฉดสีเทา จะทำให้เราได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 3.9(ข) ซึ่งคอนทอร์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหุ้มหัวใจภายในได้อย่างสมบูรณ์

เราสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคอนทอร์ในการทดลองนี้ได้ คือ เมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ไปติดกับจุดสีดำ แรงที่ได้จากอาณาบริเวณจะมีค่าน้อยมาก ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.4(จ) ทำให้คอนทอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ด้วยแรงนี้เพียงแรงเดียว แต่ที่เรายังมีแรงที่ได้จาก DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกลบอยู่ จึงทำให้คอนทอร์สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.8(ค) และเมื่อคอนทอร์เคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้นไปได้แล้ว แรงที่จะช่วยขับเคลื่อนคอนทอร์ต่อไปยังส่วนที่เป็นขอบเขตของเยื่อหุ้มหัวใจภายในได้ คือ แรงจากอาณาบริเวณ เพราะเนื่องจากว่าแรงที่ได้จาก DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกลบ ในช่วงขณะนี้มีค่าน้อยมาก ดังนั้น การทดลองผสมผสานแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณกับแรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวกลบ ทำให้เราสามารถแก้ไขปัญหาหากล้มเนื่อยึดลิ้นหัวใจได้และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วนภาพที่จำเป็นต้องมีลักษณะเป็นคอนเวกซ์อีกด้วย ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทอร์คู่

3.2 แรงระหว่างคอนทอร์

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ มีความต้องการที่จะออกแบบระเบียบวิธีแก้คณิตคอนทอร์คู่ สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งขอบเขตของเยื่อหัวใจทั้งสองส่วนนี้มีลักษณะที่คล้ายกับวงแหวน ดังนั้น คอนทอร์ที่ใช้สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในจะต้องเคลื่อนที่ และเปลี่ยนรูปร่างอยู่ภายในคอนทอร์ที่ใช้สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกเสมอ ด้วยเหตุนี้เอง เราจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและพัฒนาแรงระหว่างคอนทอร์ขึ้นมา เพื่อความคุมการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ โดยแรงระหว่างคอนทอร์นี้เป็นแรงที่คอนทอร์ทั้งสองกระทำซึ่งกันและกัน เพื่อสร้างช่องว่างระหว่างคอนทอร์ สำหรับใช้ในการควบคุมไม่ให้คอนทอร์ทั้งสองเคลื่อนที่ตัดกัน แสดงดังรูปที่ 3.10(ก)



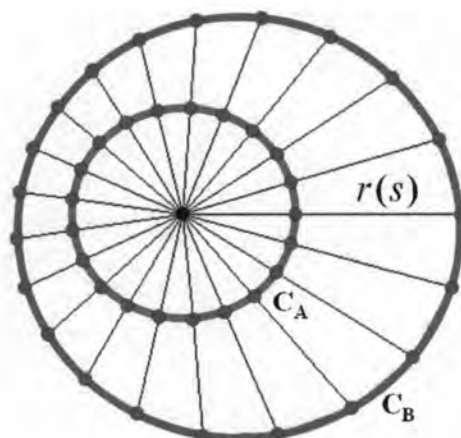
รูปที่ 3.10 แรงระหว่างคอนทอร์

(ก) คอนทอร์ทั้งสองไม่เคลื่อนที่ตัดกัน (ข) คอนทอร์ทั้งสองเคลื่อนที่ตัดกัน

จากรูปที่ 3.10(ก) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแรงระหว่างคอนทอร์ (ลูกศรสีน้ำเงิน) ที่ทำหน้าที่ควบคุมให้คอนทอร์ A (สีแดง) อยู่ในคอนทอร์ B (สีเขียว) เสมอ เพราะคอนทอร์ทั้งสองนี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน ในขณะที่กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย และถ้าในกรณีที่เราไม่มีแรงระหว่างคอนทอร์ ก็อาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ตัดกันของคอนทอร์ทั้งสอง ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.10(ข) ซึ่งในกรณีนี้เป็นการแบ่งส่วนภาพที่ผิดพลาดอย่างมากเพราะในความเป็นจริงแล้ว คอนทอร์ A ไม่ควรที่จะเคลื่อนที่ออกมาด้านนอกคอนทอร์ B

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง

ในการออกแบบแรงระหว่างคอนทอร์ เพื่อความคุมการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง เราได้มีการกำหนดความสัมพันธ์ของคอนทอร์ทั้งสองขึ้นมา 2 ประการด้วยกัน คือ คอนทอร์ทั้งสองมีจำนวนจุดบนคอนทอร์ที่เท่ากัน และมีจุดศูนย์กลางเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง

จากรูปที่ 3.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง ซึ่งมีจำนวนจุดบนคอนทอร์เท่ากัน คือ เท่ากับจำนวนจุดบนคอนทอร์ A และยังมีจุดศูนย์กลางเดียวกันโดยอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางของคอนทอร์ A โดยที่ $r(s)$ คือ ระยะห่างของจุดใด ๆ บนคอนทอร์ 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 จุดคู่เดิมของคอนทอร์ A และคอนทอร์ B จะมีความสัมพันธ์ของมุมที่ไม่เท่ากันเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลาง ดังนั้น ในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทอร์ทั้งสอง เราจำเป็นต้องมีการประมาณค่าตำแหน่งของจุดบนคอนทอร์ B ใหม่ทุกครั้ง โดยจะอ้างอิงกับจำนวนจุดบนคอนทอร์ A และจุดศูนย์กลางของคอนทอร์ A เสมอ เพื่อควบคุมให้ความสัมพันธ์ของคอนทอร์ทั้งสองเป็นไปตามรูปที่ 3.11 เสมอ

3.2.2 สมการของแรงระหว่างคอนทัวร์

การออกแบบแรงระหว่างคอนทัวร์ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ตัดกันของคอนทัวร์ทั้งสอง ทำได้โดยการควบคุมระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ให้มีค่าค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างคอนทัวร์ได้ ดังนั้น เราจึงได้มีการออกแบบฟังก์ชันพลังงานระหว่างคอนทัวร์ (Inter-Contour Energy) ขึ้นมา ดังสมการที่ (3.1)

$$E_{\text{inter}}(C_A, C_B) = v(\|C_A - C_B\| - r)^2 \quad (3.1)$$

โดยที่ C_A และ C_B คือ คอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B ตามลำดับ, v คือ ค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ r คือ ระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองที่เราต้องการ

แรงระหว่างคอนทัวร์เกิดจากการทำให้ฟังก์ชันพลังงานระหว่างคอนทัวร์ ในสมการที่ (3.1) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าน้อยที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อ ระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ มีค่าเท่ากับระยะห่างที่เราต้องการ หรือ $|C_A(s) - C_B(s)| = r$ นั้นเอง ซึ่งเราได้มีการทดลองใส่ฟังก์ชันพลังงานระหว่างคอนทัวร์เข้าไปในฟังก์ชันพลังงานของแต่ละคอนทัวร์ เพื่อสร้างช่องว่างสำหรับป้องกันการเคลื่อนที่ตัดกันของคอนทัวร์ทั้งสอง ดังสมการที่ (3.2) และ (3.3)

$$E_{C_A}(C_A, C_B) = \int_0^1 [E_{\text{internal}}(C_A) + E_{\text{inter}}(C_A, C_B)] ds \quad (3.2)$$

$$E_{C_B}(C_A, C_B) = \int_0^1 [E_{\text{internal}}(C_B) + E_{\text{inter}}(C_A, C_B)] ds \quad (3.3)$$

การทำให้ฟังก์ชันพลังงานในสมการที่ (3.2) และ (3.3) มีค่าน้อยที่สุด คอนทัวร์ทั้งสองจะต้องเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างตามฟังก์ชันของเวลา ในสมการที่ (3.4) และ (3.5)

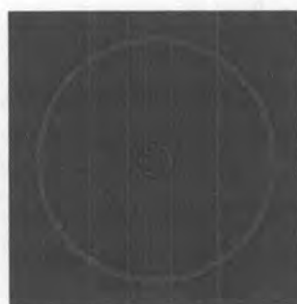
$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 C_A}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_A}{\partial s^4} - 2v(C_A - C_B) \left[1 - \frac{r}{\|C_A - C_B\|} \right] \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 C_B}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_B}{\partial s^4} - 2v(C_B - C_A) \left[1 - \frac{r}{\|C_A - C_B\|} \right] \quad (3.5)$$

โดยที่ สองพจน์แรกด้านขวามือของทั้งสองสมการ คือ แรงภายในคอนทอร์, $F_{internal}$ และ พจน์ที่สาม คือ แรงระหว่างคอนทอร์, $F_{inter-contour}$ ซึ่งสามารถดูที่มาของสมการแรงระหว่างคอนทอร์ได้ในภาคผนวก ก

ในการทดลองแรงระหว่างคอนทอร์ เราได้ใช้สมการที่ (3.4) และ (3.5) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการทดลองนี้ไม่ได้ใส่แรงภายนอกเข้าไป เนื่องจากต้องการทดสอบความสามารถของแรงระหว่างคอนทอร์ที่เราออกแบบขึ้นมาเท่านั้น โดยได้เลือกใช้ค่า r เท่ากับ 20 พิกเซล และได้มีการวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทอร์ทั้งสองใน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

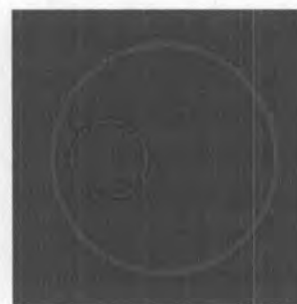
1. ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางคอนทอร์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน และมากกว่า 20 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 3.12(ก)
2. ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางคอนทอร์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน และน้อยกว่า 20 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 3.12(ข)
3. ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางคอนทอร์ทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งมีทั้งมากกว่าและน้อยกว่า 20 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 3.12(ค)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3.12 การทดลองแรงระหว่างคอนทอร์

แถวที่ 1 : รูปแบบต่างๆของการวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทอร์ทั้งสอง

แถวที่ 2 : ผลการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทอร์ทั้งสองจากตำแหน่งเริ่มต้น

ผลการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทอร์ทั้งสองที่ได้จากตำแหน่งเริ่มต้นทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูป 3.12(ง) (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ จากผลการเคลื่อนที่ทั้งหมดจะเห็นได้ว่า การที่เราวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทอร์ทั้งสองให้มีระยะห่างระหว่างคอนทอร์ที่ไม่เท่ากัน ผลสุดท้ายแล้ว คอนทอร์ทั้งสองก็จะเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างจนกระทั่ง ระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสอง เท่ากับค่า r ที่เรากำหนดไว้

จากการทดลองในรูปที่ 3.12 เห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทอร์ที่ออกแบบขึ้นมาี้ สามารถสร้างช่องว่างระหว่างคอนทอร์ได้ตามที่เราต้องการ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการป้องกันการเคลื่อนที่ติดกันของคอนทอร์ทั้งสองในขณะทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งแรงระหว่างคอนทอร์นี้ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทอร์คู่ในหัวข้อถัดไป

3.3 การออกแบบระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทอร์คู่

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแรงภายนอกแบบต่างๆ สำหรับแอ็กทิฟคอนทอร์ที่ผ่านมา รวมถึงการทดลองเบื้องต้นในการแก้ไขปัญหาต่างๆในการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจของหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็ก ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้มีแนวคิดในการออกแบบระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทอร์คู่ สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย โดยแอ็กทิฟคอนทอร์ทั้งสองนี้ จะเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปพร้อมๆกัน ในขณะทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยคอนทอร์ A และคอนทอร์ B สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก ตามลำดับ โดยมีแนวคิดในการออกแบบให้แอ็กทิฟคอนทอร์แต่ละคอนทอร์มีหน้าที่และความสามารถ ดังต่อไปนี้

1. คอนทอร์ A ทำหน้าที่แบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างอยู่ภายในคอนทอร์ B เสมอ และต้องมีความสามารถในการเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อเยื่อหัวใจที่ปรากฏในบริเวณเยื่อหัวใจภายในไป

2. คอนทอร์ B ทำหน้าที่แบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างโดยไม่แยงขอบเขตเยื่อหัวใจภายในกับคอนทอร์ A

ในขณะที่ยังคอนทอร์ทั้งสองกำลังเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่าง เพื่อทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอก คอนทอร์ทั้งสองจะต้องเคลื่อนที่โดยไม่ติดกัน และสามารถแบ่งส่วนภาพที่มีความไม่ชัดเจนระหว่างขอบเขตของเยื่อหัวใจกับพื้นหลังได้ ดังนั้น จึงมีการเลือกใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณร่วมกับแรงภายนอกแบบ DDGVF ในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ามเนื้อเยื่อหัวใจ และใช้แรงระหว่างคอนทอร์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง

3.3.1 การวางคอนแทกต์เริ่มต้น

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการกำหนดรูปร่างและตำแหน่งเริ่มต้นของทั้งสองคอนแทกต์ เป็นรูปวงกลมวางไว้ในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.13 โดยที่คอนแทกต์ A ถูกวางไว้ในคอนแทกต์ B และมีระยะห่างระหว่างคอนแทกต์เริ่มต้นเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง



รูปที่ 3.13 การวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนแทกต์ทั้งสอง

3.3.2 การแบ่งอาณาบริเวณของภาพโดยคอนแทกต์ทั้งสอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการเลือกใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณเป็นแรงหลัก สำหรับคอนแทกต์ทั้งสอง ดังนั้น เราจึงต้องมีการพิจารณาอาณาบริเวณของภาพที่จะนำไปใช้ในการออกแบบแรงภายนอกสำหรับแต่ละคอนแทกต์ เพื่อให้คอนแทกต์ A และคอนแทกต์ B สามารถเปลี่ยนรูปร่างและเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจทั้งภายในและภายนอกได้อย่างถูกต้อง โดยอาณาบริเวณของภาพที่ถูกแบ่งโดยคอนแทกต์ A และคอนแทกต์ B มีทั้งหมด 5 อาณาบริเวณ ดังต่อไปนี้

1. อาณาบริเวณภายในคอนแทกต์ A
2. อาณาบริเวณภายนอกคอนแทกต์ A
3. อาณาบริเวณภายในคอนแทกต์ B
4. อาณาบริเวณภายนอกคอนแทกต์ B
5. อาณาบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนแทกต์ A และ B

ในการออกแบบระเบียบวิธีแก้ปัญหาคอนแทกต์คู่ ได้มีการเลือกใช้อณาบริเวณเพียง 4 อาณาบริเวณ แสดงดังรูปที่ 3.14 มีดังต่อไปนี้

1. อาณาบริเวณภายในคอนแทกต์ A

โดยที่ R_1 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายในคอนแทกต์ A

2. อาณาบริเวณภายนอกคอนทอร์ A

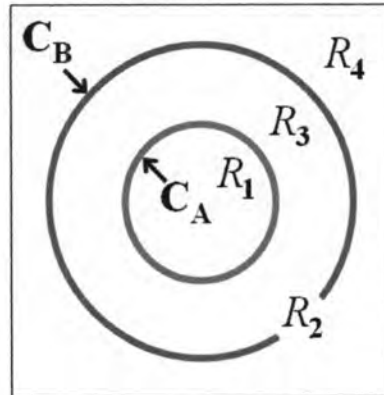
โดยที่ R_2 คือ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทอร์ A

3. อาณาบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนทอร์ A และ B

โดยที่ R_3 คือ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของภาพที่อยู่ระหว่างคอนทอร์ A และ B

4. อาณาบริเวณภายนอกคอนทอร์ B

โดยที่ R_4 คือ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทอร์ B



รูปที่ 3.14 อาณาบริเวณต่างๆของภาพที่ถูกแบ่งโดยคอนทอร์ทั้งสอง

3.3.3 สมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง

จากคุณสมบัติและความสามารถของคอนทอร์ทั้งสองที่เราต้องการ เพื่อให้สามารถแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เราได้มีการออกแบบสมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ทั้งสอง ดังต่อไปนี้

1. สมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ A สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบไปด้วยแรงต่างๆ ดังสมการที่ (3.6)

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = F_{\text{internal}} + F_{\text{region}} + F_{\text{DDGVF}} \quad (3.6)$$

F_{internal} คือ แรงภายในคอนทอร์ ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทอร์ A ดังสมการที่ (3.7) ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.1

$$F_{\text{internal}}(C_A) = \alpha \frac{\partial^2 C_A}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_A}{\partial s^4} \quad (3.7)$$

F_{region} คือ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ทำหน้าที่หลักเป็นตัวเปลี่ยนรูปร่างและขับเคลื่อนคอนทอร์ A ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ดังสมการที่ (3.8)

$$F_{\text{region}}(C_A, R_1, R_2) = -[\lambda_1(I - R_1)^2 - \lambda_2(I - R_2)^2]n_A \quad (3.8)$$

โดยที่ R_1 และ R_2 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทอร์ A ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3.14 λ_1 และ λ_2 คือ ค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ n_A คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของจุดบนคอนทอร์ A โดยมีทิศทางหันออกด้านนอกคอนทอร์ ซึ่งแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้กระทำกับภาพเฉดสีเทา

$F_{\text{DDGVF+}}$ คือ แรงภายนอกแบบ DDGVF กรณีเลือกใช้ขอบบวก ดังสมการที่ (2.28) โดยทำหน้าที่หลักเป็นตัวผลักดันให้คอนทอร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำที่เป็นก้ำกึ่งเนื้อเยื่อเคลื่อนหัวใจไปได้ ซึ่งในที่นี้เราใช้ภาพขอบที่ได้จากภาพขาวดำของภาพหัวใจ

2. สมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ B สำหรับแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบไปด้วยแรงต่างๆ ดังสมการที่ (3.9)

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = F_{\text{internal}} + w_R F_{\text{region}} + w_I F_{\text{inter-contour}} \quad (3.9)$$

F_{internal} คือ แรงภายในคอนทอร์ ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทอร์ B ดังสมการที่ (3.10) ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.1

$$F_{\text{internal}}(C_B) = \alpha \frac{\partial^2 C_B}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 C_B}{\partial s^4} \quad (3.10)$$

F_{region} คือ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ทำหน้าที่หลักเป็นตัวเปลี่ยนรูปร่างและขับเคลื่อนคอนทอร์ B ไปยังขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก ดังสมการที่ (3.11)

$$F_{\text{region}}(C_B, R_3, R_4) = -[\lambda_3(I - R_3)^2 - \lambda_4(I - R_4)^2]n_B \quad (3.11)$$

โดยที่ R_3 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ระหว่างคอนทอร์ A และคอนทอร์ B, R_4 คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายนอกคอนทอร์ B แสดงดังรูปที่ 3.14 λ_3 และ λ_4 คือ ค่าคงที่

บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ n_B คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของจุดบนคอนทัวร์ B โดยมีทิศทางหันออกด้านนอกคอนทัวร์ B ซึ่งแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณนี้กระทำกับภาพเฉดสีเทา

$F_{\text{inter-contour}}$ คือ แรงระหว่างคอนทัวร์ ดังสมการที่ (3.12) ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ B ให้มีระยะห่างจากคอนทัวร์ A เท่ากับค่าคงที่ r

$$F_{\text{inter-contour}}(C_A, C_B) = -2\nu(C_B - C_A) \left(1 - \frac{r}{|C_B - C_A|} \right) \quad (3.12)$$

โดยที่ ν คือ ค่าคงที่บวก ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และ r คือ ระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองที่เราต้องการ

3.3.3.1 ระยะห่างระหว่างคอนทัวร์

ค่า r ในสมการที่ (3.12) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากของแรงระหว่างคอนทัวร์ ซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองที่เราต้องการ เพื่อทำให้เกิดช่องว่างสำหรับป้องกันการเคลื่อนที่ตัดกันของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่กำลังทำการแบ่งส่วนภาพ โดยที่ r เป็นค่าคงที่บวกและมีหน่วยเป็นพิกเซล การกำหนดค่า r นี้ จะต้องมีค่าไม่เกินความหนาของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพ ตัวอย่างเช่น การแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายขนาด 150×150 พิกเซล โดยมีความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้ายประมาณ 10 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 3.15 ดังนั้น เราควรกำหนดค่า r ให้มีค่าไม่เกิน 10 พิกเซล จึงจะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพและไม่ผิดพลาด แต่ถ้าเรากำหนดให้ค่า r มีค่ามากกว่า 10 พิกเซล ก็อาจจะทำให้คอนทัวร์ B เคลื่อนที่เลยขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกไปติดกับอวัยวะอื่นๆได้ ส่งผลให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ผิดพลาด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการทดลองให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนแปลงค่า r ในการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 4



รูปที่ 3.15 ความหนาของกล้ามเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้าย

3.3.3.2 ตัวถ่วงน้ำหนักที่สำคัญ

จากสมการการเคลื่อนที่ของคอนทอร์ B ในสมการที่ (3.9) เห็นได้ว่ามีตัวถ่วงน้ำหนักของแรงที่สำคัญอยู่ 2 ตัว คือ w_R คำนวณได้จากสมการที่ (3.13) ทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ และ w_I คำนวณได้จากสมการที่ (3.14) ทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักแรงระหว่างคอนทอร์

$$w_R = |R_1^{BW} - R_3^{BW}| \quad (3.13)$$

$$w_I = 1 - w_R \quad (3.14)$$

โดยที่ R_1^{BW} คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ภายในคอนทอร์ A และ R_3^{BW} คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่อยู่ระหว่างคอนทอร์ A และคอนทอร์ B ของภาพขาวดำ โดยในที่นี้เรากำหนดในสีขาวมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1 และสีดำมีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0 ดังนั้น ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ส่งผลให้ ค่า w_I และ w_R มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เช่นกัน

จากสมการที่ (3.13) และ (3.14) เห็นได้ว่า w_I เป็นส่วนกลับของ w_R เนื่องจากเราต้องการควบคุมความแรงหรืออิทธิพลของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ให้เป็นส่วนกลับกับแรงระหว่างคอนทอร์ กล่าวคือ ในขณะที่แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณมีอิทธิพลมากกับคอนทอร์ B แรงระหว่างคอนทอร์จะมีอิทธิพลน้อยกับคอนทอร์ B ในทางกลับกัน ขณะที่แรงระหว่างคอนทอร์กำลังมีอิทธิพลมากกับคอนทอร์ B แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณจะมีอิทธิพลน้อยกับคอนทอร์ B

ในบทที่ 4 ได้มีการทดลองโนเห็นถึงพฤติกรรมของคอนทอร์ทั้งสองและการเปลี่ยนแปลงของค่า w_I และ w_R ในขณะที่กำลังทำการแบ่งส่วนภาพ เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมและความสามารถของคอนทอร์ทั้งสองมากขึ้น