



บทที่ 4

การทดลอง

บทนี้เป็นการทดลองการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คู่ ที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยได้ทำการทดลองกับภาพ 3 แบบด้วยกัน คือ 1.ภาพที่สร้างขึ้นเอง 2.ชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก และ 3.การประยุกต์ใช้กับภาพดวงตา และได้มีการวัดและประเมินผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้เทียบกับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยใช้เกณฑ์ในการวัดผล 2 รูปแบบ คือ ความคล้ายเชิงพื้นที่ (Area Similarity) และ ความคล้ายเชิงรูปร่าง (Shape Similarity)

ในการทดลองเราใช้สมการการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B ที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ดังสมการที่ (4.1) และ (4.2) ตามลำดับ

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = F_{\text{internal}} + F_{\text{region}} + F_{\text{DDGVF}} \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = F_{\text{internal}} + w_R F_{\text{region}} + w_I F_{\text{inter-contour}} \quad (4.2)$$

โดยที่ F_{internal} คือ แรงภายในคอนทัวร์ ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์, F_{region} คือ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนรูปร่างและขับเคลื่อนคอนทัวร์, $F_{\text{inter-contour}}$ คือ แรงระหว่างคอนทัวร์ ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ B เพื่อไม่ให้เคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A ในขณะที่กำลังทำการแบ่งส่วนภาพ, w_R ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณของคอนทัวร์ B คำนวณได้จากสมการที่ (4.3) และ w_I ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของแรงระหว่างคอนทัวร์ของคอนทัวร์ B คำนวณได้จากสมการที่ (4.4)

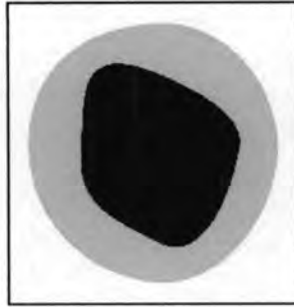
$$w_R = |R_1^{\text{BW}} - R_3^{\text{BW}}| \quad (4.3)$$

$$w_I = 1 - w_R \quad (4.4)$$

โดยที่ R_1^{BW} คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของอาณาบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ A และ R_3^{BW} คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของอาณาบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B แสดงดังภาพที่ 3.14 ซึ่งค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} นี้คำนวณได้มาจากภาพขาวดำ

4.1 ภาพที่สร้างขึ้นเอง

การทดลองระเบียบวิธีแก้ทิฟคอนทัวร์คู่กับภาพที่สร้างขึ้นเอง มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองให้เห็นอย่างชัดเจนถึงพฤติกรรมและความสามารถของระเบียบวิธีแก้ทิฟคอนทัวร์คู่ โดยได้มีการสร้างภาพเจดสีเทา ที่มีลักษณะของอาณาบริเวณคล้ายกับภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพเจดสีเทาที่สร้างขึ้นเองสำหรับการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 ประกอบไปด้วย 3 อาณาบริเวณ ดังต่อไปนี้

อาณาบริเวณที่ 1 สีดำ แทนอาณาบริเวณของส่วนที่อยู่ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจ ภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0

อาณาบริเวณที่ 2 สีเทา แทนอาณาบริเวณของส่วนที่อยู่ระหว่างขอบเขตของเยื่อหัวใจ ภายในและภายนอก หรือ กล้ามเนื้อบริเวณโดยรอบหัวใจห้องล่างซ้ายนั่นเอง มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0.7

อาณาบริเวณที่ 3 สีขาว แทนอาณาบริเวณของพื้นหลัง หรือ อวัยวะอื่นๆที่ปรากฏอยู่ใกล้เคียงกับหัวใจห้องล่าง มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1

การสร้างภาพสำหรับใช้ในการทดลองให้มีค่าความเข้มสีในแต่ละอาณาบริเวณ เท่ากับ 0, 0.7 และ 1 ตามลำดับ มีเหตุผลมาจาก เราต้องการให้ค่าความเข้มสีในแต่ละอาณาบริเวณ มีความใกล้เคียงกับความแตกต่างระหว่างอาณาบริเวณต่างๆในภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก โดยที่อาณาบริเวณต่างๆในภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก มีลักษณะความแตกต่างของค่าความเข้มสีในแต่ละอาณาบริเวณ ดังต่อไปนี้

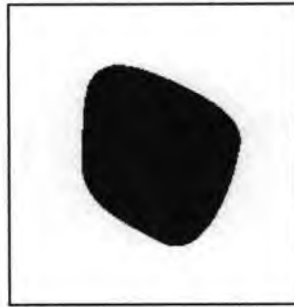
- อาณาบริเวณที่ 1 มีค่าความเข้มสีแตกต่างกับ อาณาบริเวณที่ 2 และ 3 อย่างมาก
- อาณาบริเวณที่ 2 และ อาณาบริเวณที่ 3 มีค่าความเข้มสีที่ใกล้เคียงกัน

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก

ในการทดลองกับภาพที่สร้างขึ้นเองนี้ เราใช้สมการที่ (4.1) สำหรับคอนทราสต์ A เพื่อแบ่งส่วนวัตถุสีดำ และ สมการที่ (4.2) สำหรับคอนทราสต์ B เพื่อแบ่งส่วนวัตถุสีเทา และจากภาพที่สร้างขึ้นเองในรูปที่ 4.1 สังเกตเห็นได้ว่าไม่มีส่วนที่คล้ายกับกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งเป็นจุดดำที่ปรากฏอยู่ในภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก กล่าวคือ ในรูปที่ 4.1 ไม่มีจุดที่ไม่ต้องการอยู่ในวัตถุสีดำ ดังนั้น เราจึงตัด F_{DDGVF+} ออกจากสมการที่ (4.1) เพราะเป็นแรงที่ไม่จำเป็นในการแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเองนี้

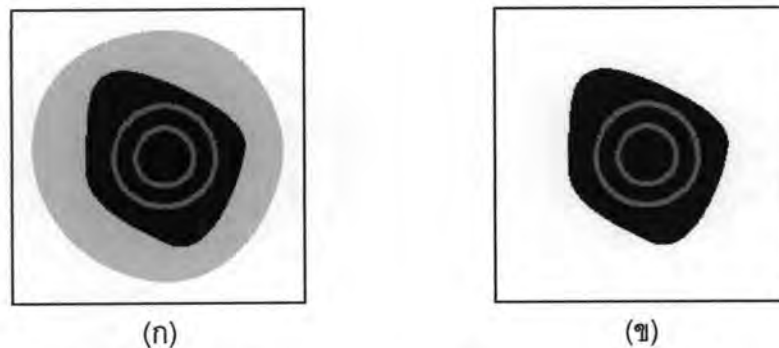
การสร้างภาพในรูปที่ 4.1 ให้ไม่มีส่วนที่คล้ายกับกล้ามเนื้อหัวใจ มีเหตุผลคือ เราต้องการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์และการเปลี่ยนแปลงของค่า w_R และ w_I ในขณะที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ

ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} ได้มาจากการคำนวณกับภาพขาวดำ ซึ่งส่งผลให้ค่า w_R และ w_I มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังนั้น เราจึงทำการแปลงภาพในรูปที่ 4.1 ให้กลายเป็นภาพขาวดำ โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 0.5 ทำให้ได้ภาพขาวดำแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพขาวดำของภาพที่สร้างขึ้นเองสำหรับการคำนวณค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW}

โดยในการทดลองนี้ เราได้มีการวางคอนทราสต์เริ่มต้นของคอนทราสต์ทั้งสองไว้ภายในวัตถุสีดำแสดงดังรูปที่ 4.3

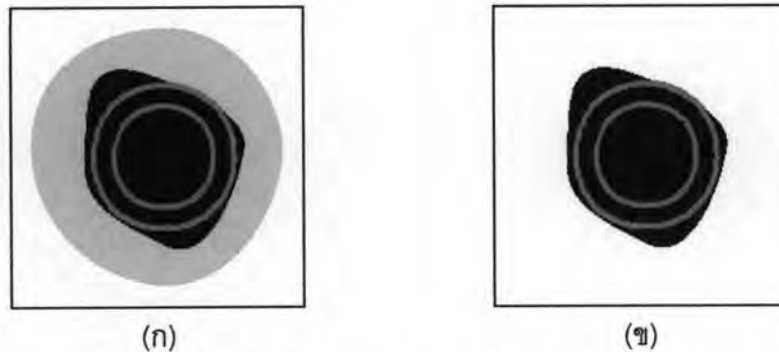


รูปที่ 4.3 คอนทราสต์เริ่มต้นของคอนทราสต์ทั้งสองบนภาพที่สร้างขึ้นเอง
(ก) คอนทราสต์เริ่มต้นบนภาพเฉดสีเทา (ข) คอนทราสต์เริ่มต้นบนภาพขาวดำ

จากรูปที่ 4.3 คอนทอร์สติแ่ง คือ คอนทอร์ A และ คอนทอร์สีเขียว คือ คอนทอร์ B โดยที่ คอนทอร์ A ถูกวางอยู่ภายในคอนทอร์ B และในการทดลองนี้เราได้กำหนดค่า r เท่ากับ 15 พิกเซล ซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสองในขณะที่แรงระหว่างคอนทอร์ยังคงมีอิทธิพลกับ คอนทอร์ B อยู่ และใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ

ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ เราสามารถแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ของ คอนทอร์ทั้งสองได้ 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

- ช่วงที่ 1 คอนทอร์ทั้งสองอยู่ภายในวัตถุสีดำ ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าเท่ากันทำให้ $w_R = 0$ และ $w_I = 1$ ดังนั้น ในช่วงนี้แรงระหว่างคอนทอร์จะมีอิทธิพลกับคอนทอร์ B มากกว่าแรง ภายนอกแบบอาณาบริเวณ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของคอนทอร์ทั้งสองในขณะที่ รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 20 รอบ ซึ่งเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างคอนทอร์ทั้งสองยังคงเท่ากับ r คือ 15 พิกเซล และเป็นช่วงท้ายที่ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากคอนทอร์ B ใกล้ที่จะ เคลื่อนที่ออกนอกวัตถุสีดำแล้ว ดังนั้น ค่า w_R และ w_I จึงมีค่าคงที่ในช่วงที่รอบของการวนซ้ำอยู่ ระหว่าง 1 ถึง 20 รอบ แสดงดังรูปที่ 4.7 ในช่วงที่ 1

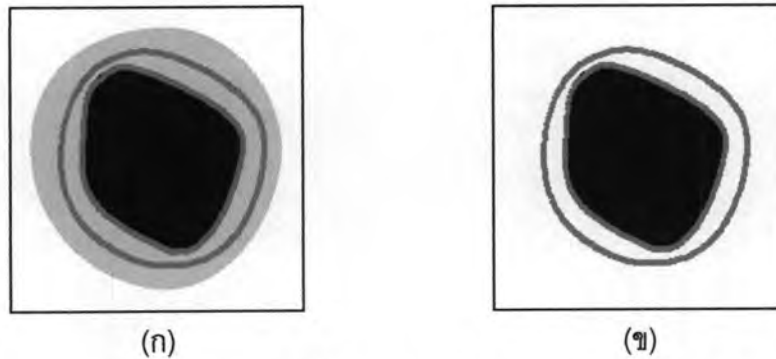


รูปที่ 4.4 ลักษณะของคอนทอร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 20 รอบ

(ก) คอนทอร์ทั้งสองบนภาพเจดสีเทา (ข) คอนทอร์ทั้งสองบนภาพขาวดำ

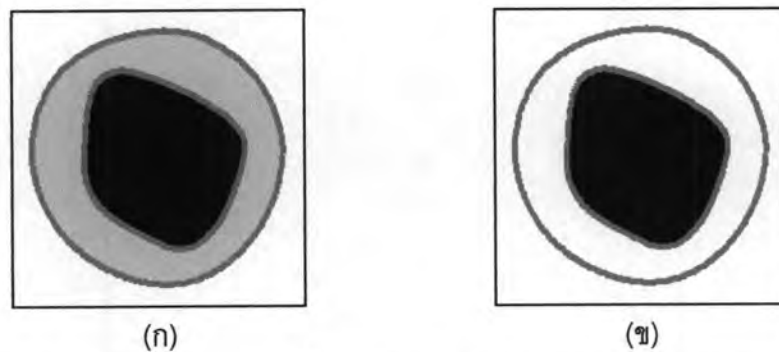
- ช่วงที่ 2 คอนทอร์ทั้งสองอยู่ระหว่างวัตถุสีดำและวัตถุสีขาว ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} จะมีค่า ไม่เท่ากัน ดังนั้นในช่วงนี้ ค่า w_R จะเริ่มมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้น และ ค่า w_I จะเริ่มมีค่าค่อยๆลดลง ทำให้แรงระหว่างคอนทอร์ค่อยๆมีอิทธิพลกับคอนทอร์ B น้อยลง ดังนั้น คอนทอร์ B จึงใกล้ที่จะเป็น อิสระจากคอนทอร์ A ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของคอนทอร์ทั้งสองในขณะที่รอบใน การวนซ้ำเท่ากับ 50 รอบ ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทอร์ B เคลื่อนที่ออกมานอกวัตถุสีดำ และคอนทอร์ A สามารถแบ่งส่วนวัตถุสีดำได้เสร็จสิ้นแล้ว ทำให้ค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} มีค่าแตกต่างกันมากที่สุด ส่งผลให้ค่า $w_R = 1$ และ $w_I = 0$ ซึ่งในขณะนั้นคอนทอร์ B ได้เป็นอิสระจากคอนทอร์ A แล้ว ทำให้ คอนทอร์ B เคลื่อนที่โดยใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น ในช่วงที่รอบของ

การวนซ้ำอยู่ระหว่าง 20 ถึง 50 รอบ ค่า w_R จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และ w_I จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังรูปที่ 4.7 ในช่วงที่ 2



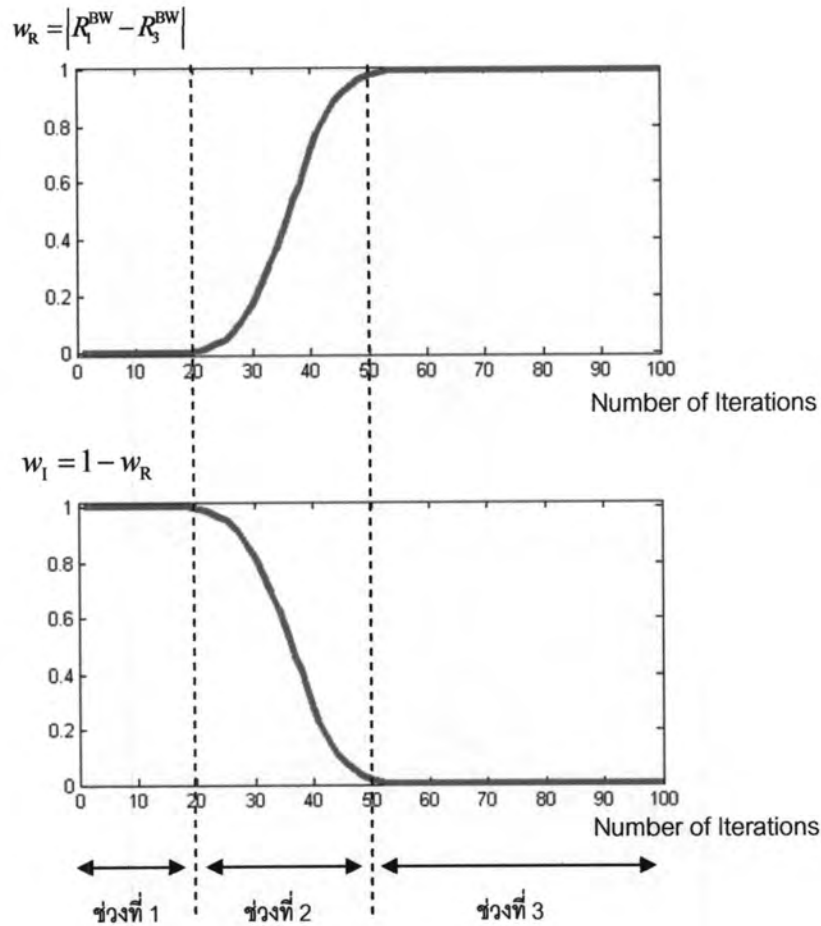
รูปที่ 4.5 ลักษณะของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 50 รอบ
(ก) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพเจดสีเทา (ข) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพขาวดำ

- ช่วงที่ 3 เป็นช่วงสุดท้าย หลังจากที่คอนทัวร์ B เป็นอิสระจากคอนทัวร์ A แล้ว คอนทัวร์ B ก็จะมีการแบ่งส่วนภาพวัตถุสีเทา ด้วยแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ โดยไม่มีอิทธิพลของแรงระหว่างคอนทัวร์ เนื่องจาก ค่า $w_R = 1$ และ $w_I = 0$ ซึ่งในขณะนี้ค่า w_R และ w_I จะมีค่าคงที่ ในช่วงที่รอบของการวนซ้ำอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 รอบ แสดงดังรูปที่ 4.7 ในช่วงที่ 3



รูปที่ 4.6 ลักษณะของคอนทัวร์ทั้งสองในขณะที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ
(ก) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพเจดสีเทา (ข) คอนทัวร์ทั้งสองบนภาพขาวดำ

ในรูปที่ 4.6 เป็นผลการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ทั้งสองสามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างถูกต้อง คือ คอนทัวร์ A แบ่งส่วนวัตถุสีดำ และคอนทัวร์ B แบ่งส่วนวัตถุสีเทา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีการเคลื่อนที่ติดกันและไม่มีการแย่งวัตถุกันของคอนทัวร์ทั้งสอง เนื่องจากเราได้มีการใส่แรงระหว่างคอนทัวร์ไว้ที่คอนทัวร์ B นั้นเอง

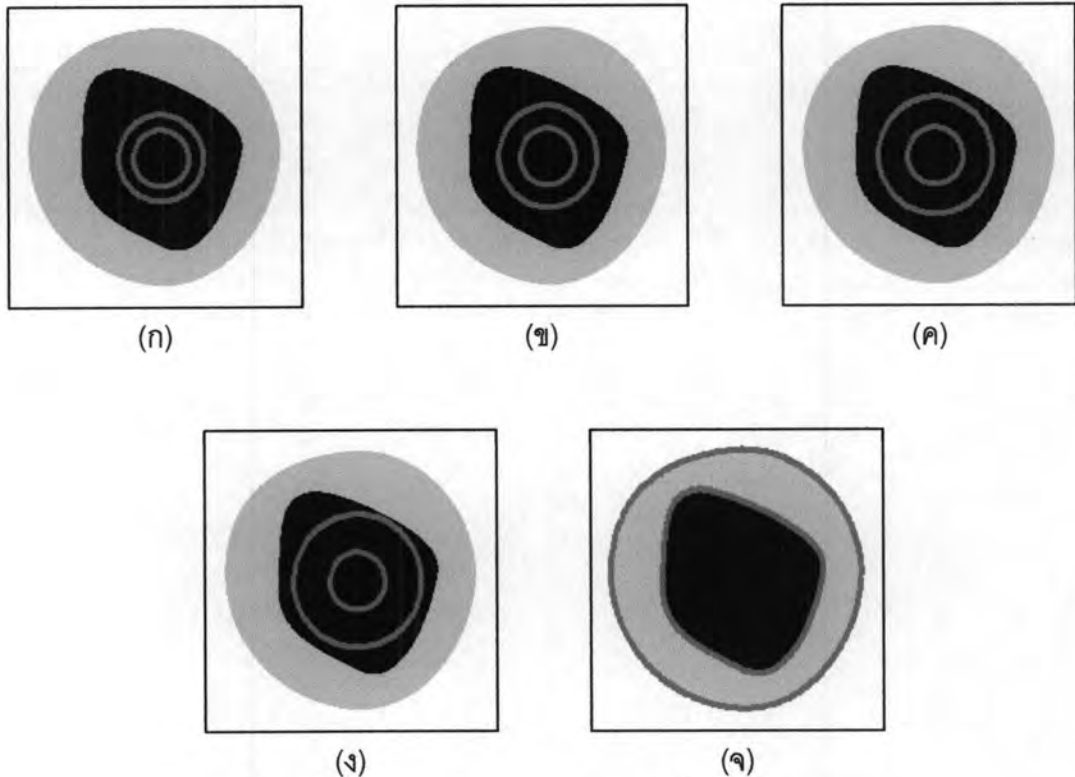


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของค่า w_R และ w_I
 ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ

รูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า w_R และ w_I ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพ ซึ่ง w_R และ w_I นี้ทำหน้าที่เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของแรงภายนอกแบบอาณาบริเวณและแรงระหว่างคอนทอร์ของคอนทอร์ B ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า ในช่วงต้นของการแบ่งส่วนภาพ แรงที่มีอิทธิพลกับคอนทอร์ B อย่างมาก คือ แรงระหว่างคอนทอร์ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้คอนทอร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกัน และป้องกันการแย่งขอบกันของคอนทอร์ทั้งสองส่วนในช่วงท้ายของการแบ่งส่วนภาพ แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณจะมีอิทธิพลมากกว่าแรงระหว่างคอนทอร์อย่างมาก จึงทำให้คอนทอร์ B สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่เป็นสี่เหลี่ยมได้ โดยไม่ถูกแรงระหว่างคอนทอร์เหนี่ยวรั้งไว้

4.1.2 การกำหนดค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์

การกำหนดค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์, r จะต้องมีค่าไม่เกินค่าความหนาของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพจึงจะทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีการกล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 หรือข้อที่ 3.3.3.1 ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้มีการทดลองการแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเองโดยใช้ค่า r เริ่มต้นที่แตกต่างกัน 4 ค่า คือ 10, 15, 20 และ 25 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 4.8 เพื่อให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นเมื่อค่า r แตกต่างกัน

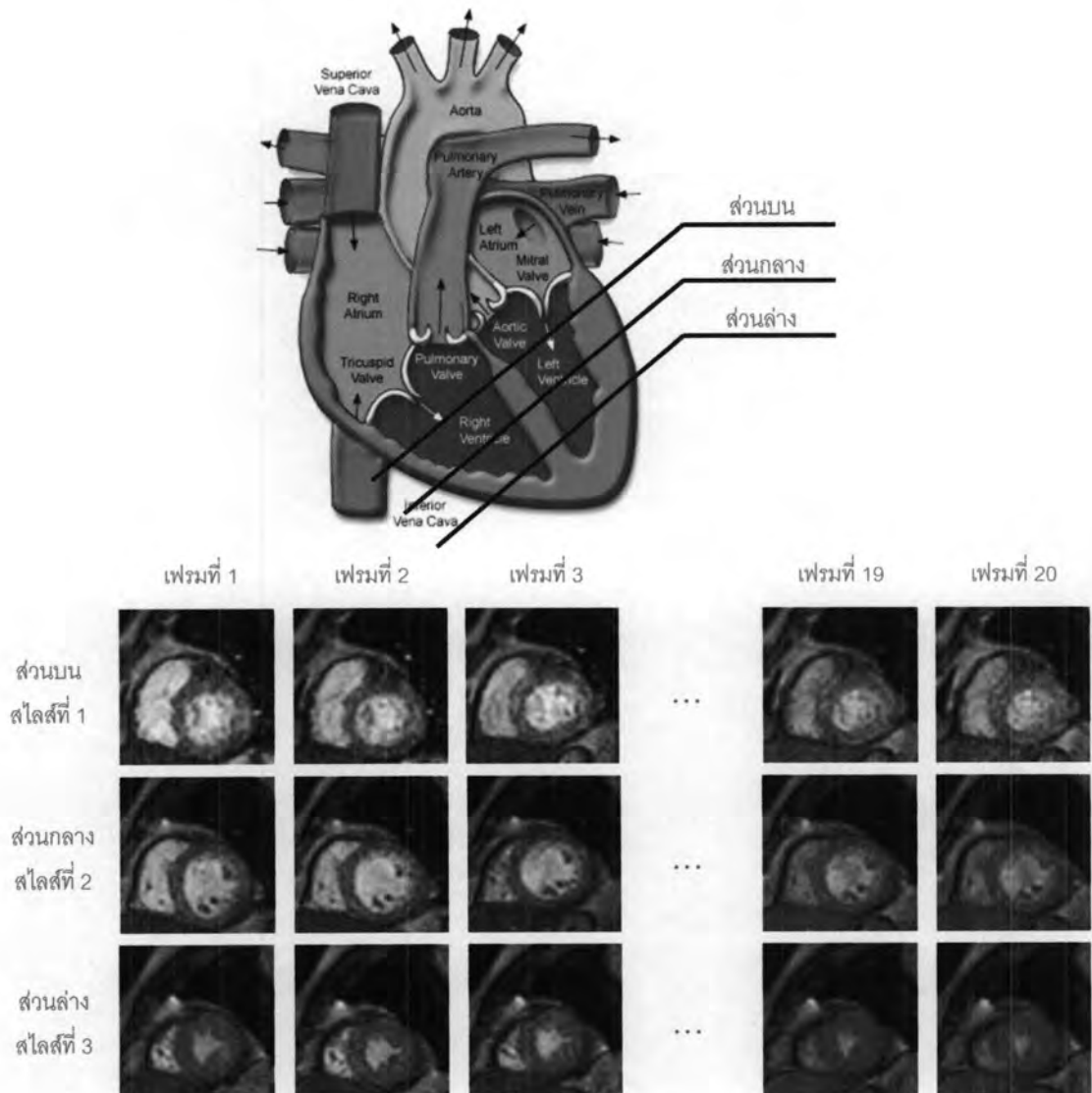


รูปที่ 4.8 การทดลองแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเอง
โดยใช้ค่าระยะห่างระหว่างคอนทัวร์เริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน
(ก) $r=10$ พิกเซล (ข) $r=15$ พิกเซล (ค) $r=20$ พิกเซล
(ง) $r=25$ พิกเซล (จ) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 4.8 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

4.2 ชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก

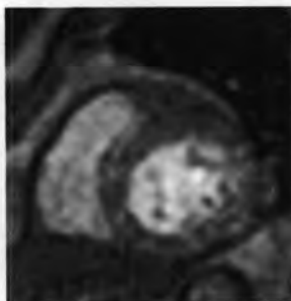
การทดลองนี้ได้ใช้ภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กห้องล่างจำนวน 3 สไลด์ ใน 20 เฟรมเวลารวมทั้งหมด 60 ภาพ ซึ่งในแต่ละสไลด์เป็นตำแหน่งของภาพหัวใจในส่วนต่างๆ ประกอบไปด้วย ส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง โดยแต่ละภาพมีขนาดเท่ากับ 150×150 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กในแต่ละเฟรมเวลาที่อยู่ในสไลด์เดียวกัน จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ให้หัวข้อนี้จึงได้แสดงตัวอย่างการทดลองให้เห็นถึงพฤติกรรมและความสามารถของระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คิวใน 3 การทดลองด้วยกัน ซึ่งประกอบไปด้วย การทดลองกับภาพหัวใจส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง ตามลำดับ และในการทดลอง เราใช้สมการที่ (4.1) สำหรับคอนทัวร์ A เพื่อแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน และ สมการที่ (4.2) สำหรับคอนทัวร์ B เพื่อแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก



รูปที่ 4.9 ชุดภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 ภาพหัวใจส่วนบน

ภาพหัวใจส่วนบนที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่า ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย มีลักษณะคล้ายกับวงรี และบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในมีจุดดำดำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อหัวใจ และเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของคอนทราสต์ทั้งสองอีกด้วย แต่เราได้มีการออกแบบระเบียบวิธี แอ็กทิฟคอนทราสต์ ให้มีความสามารถในการแก้ไขปัญหากกล้ามเนื้อเยื่อหัวใจนี้ได้ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3



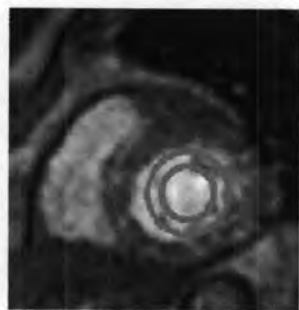
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กส่วนบน

ภาพขาวดำที่ใช้ในการหาค่า R_1^{BW} และ R_3^{BW} เพื่อใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I แสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.4

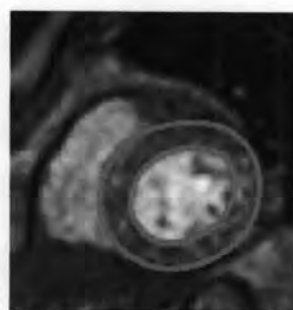


รูปที่ 4.11 ภาพขาวดำของรูปที่ 4.10

ในการทดลองนี้ เราได้วางคอนทราสต์เริ่มต้นของคอนทราสต์ทั้งสอง ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายแสดงดังรูปที่ 4.12(ก) และกำหนดค่า r เท่ากับ 10 พิกเซล โดยใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4.12(ข)



(ก)



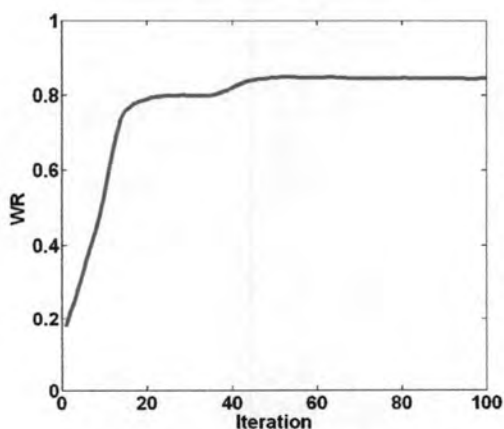
(ข)

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน

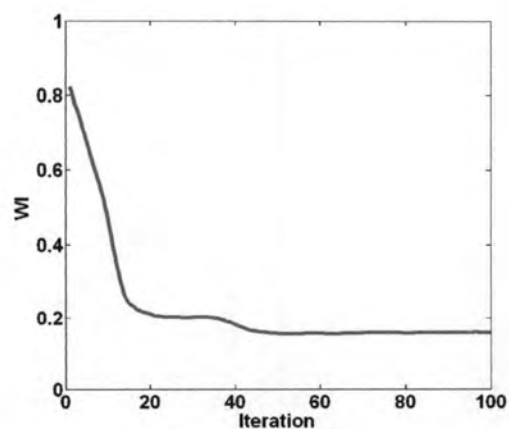
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 4.12(ข) แสดงผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างดำไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้ และ คอนทัวร์ B สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายนอกได้ โดยไม่แย่งขอบเขตและเคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A

การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน แสดงดังรูปที่ 4.13



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก

ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน

(ก) w_R (ข) w_I

จากรูปที่ 4.13 เห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทัวร์มีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B ในช่วงประมาณที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1 ถึง 20 รอบ ซึ่งเป็นช่วงที่คอนทัวร์ A กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ส่วนช่วงหลังจากนี้ เป็นช่วงที่คอนทัวร์ B กำลังทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก

เมื่อเราเปรียบเทียบกราฟในรูปที่ 4.13 กับ รูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I ในขณะที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพที่สร้างขึ้นเอง จากการเปรียบเทียบจะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟในรูปที่ 4.7 จะมีลักษณะที่ราบเรียบมากกว่ากราฟในรูปที่ 4.13 สาเหตุมาจากรูปที่สร้างขึ้นเองนั้นไม่มีส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อยืดหยุ่นหัวใจ จึงทำให้เมื่อแปลงเป็นภาพขาวดำแล้ว วัตถุที่คอนทราสต์ทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ผ่านนั้นมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีจุดสีอื่นมาปลอมปน ทำให้ค่า w_R และ w_I ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของรอบในการวนซ้ำที่ติดกัน

4.2.2 ภาพหัวใจส่วนกลาง

ภาพหัวใจส่วนกลางที่ถูกใช้เป็นตัวอย่งในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่า ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในและภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย มีลักษณะคล้ายกับวงกลมและบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในยังคงมีจุดต่างดำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อยืดหยุ่นหัวใจ ที่คล้ายกับภาพหัวใจส่วนบนแต่ในภาพนี้เห็นเป็นจุดต่างดำที่ใหญ่และชัดเจนกว่า



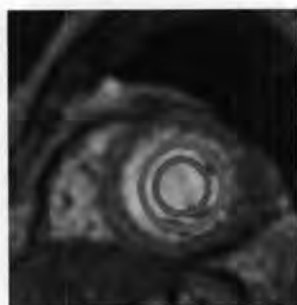
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กส่วนกลาง

ภาพขาวดำที่ใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I แสดงดังรูปที่ 4.15 ซึ่งใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.4

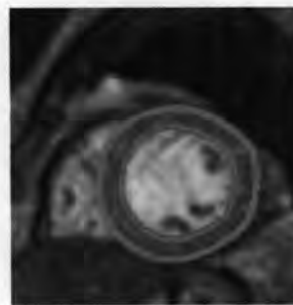


รูปที่ 4.15 ภาพขาวดำของรูปที่ 4.14

ในการทดลองนี้ เราได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสอง ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้ายแสดงดังรูปที่ 4.16(ก) ซึ่งคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองนี้มีขนาดเท่ากับคอนทัวร์เริ่มต้นในการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบนในรูปที่ 4.12(ก) และกำหนดค่า r ให้มีค่าเท่ากับในการทดลองแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน ซึ่งเท่ากับ 10 พิกเซล โดยใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4.16(ข)



(ก)



(ข)

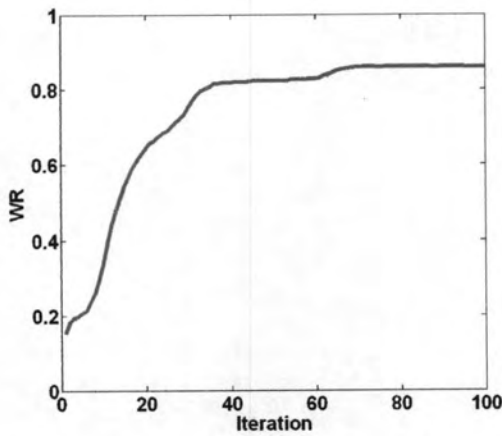
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง

(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

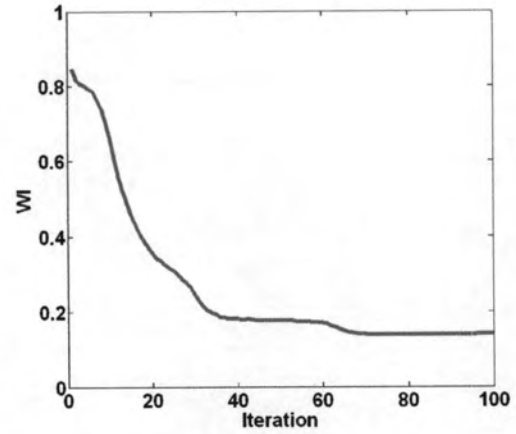
จากรูปที่ 4.16(ข) แสดงผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างด้าไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้ ถึงแม้ว่าจุดต่างด้าที่เห็นนี้จะใหญ่และชัดเจนมากกว่าจุดต่างด้าที่ปรากฏในภาพหัวใจส่วนบนก็ตาม และ คอนทัวร์ B สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายนอกได้ โดยไม่แย่งขอบเขตและเคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A

การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_r และ w_l ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง แสดงดังรูปที่ 4.17 ซึ่งเห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทัวร์มีอิทธิพลกับคอนทัวร์ B ในช่วงประมาณที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1 ถึง 40 รอบ ซึ่งเป็นช่วงที่คอนทัวร์ A กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ส่วนช่วงหลังจากนี้ เป็นช่วงที่คอนทัวร์ B กำลังทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก

กราฟในรูปที่ 4.17 มีลักษณะที่ไม่ราบเรียบ สาเหตุมาจากภาพขาวดำในรูปที่ 4.15 มีจุดสีดำอยู่ภายในวัตถุสีขาวที่เป็นอาณาบริเวณที่อยู่ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน จึงทำให้ค่า w_r และ w_l ที่คำนวณได้ในแต่ละรอบของการวนซ้ำอาจจะมีค่ากระโดดหรือไม่ใกล้เคียงกันได้ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดสีดำเหล่านั้น



(ก)



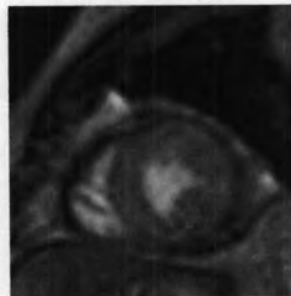
(ข)

รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก
ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนกลาง

(ก) w_R (ข) w_I

4.2.3 ภาพหัวใจส่วนล่าง

ภาพหัวใจส่วนล่างที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งเห็นได้ว่า ส่วนที่เป็นหัวใจห้องล่างซ้ายจะมีขนาดเล็กกว่าภาพหัวใจส่วนบน และ ส่วนกลาง อีกทั้งขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในมีลักษณะคล้ายกับสามเหลี่ยม และขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกมีลักษณะคล้ายกับวงกลม และบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในไม่มีจุดดำดำ ซึ่งแตกต่างกับภาพหัวใจส่วนบนและส่วนกลาง



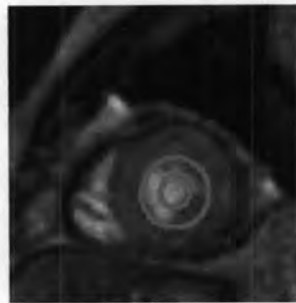
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างของภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็กส่วนล่าง

ภาพขาวดำที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I แสดงดังรูปที่ 4.19 ซึ่งใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.48

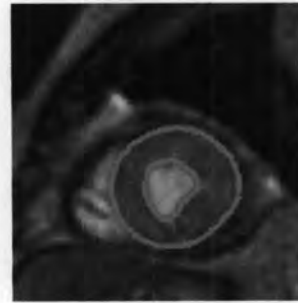


รูปที่ 4.19 ภาพขาวดำของรูปที่ 4.18

ในการทดลองนี้ เราได้วางคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสอง ไว้ภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้ายแสดงดังรูปที่ 4.20(ก) ซึ่งคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองนี้มีขนาดเท่ากับคอนทัวร์เริ่มต้นในการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบนและส่วนกลาง และกำหนดค่า r เท่ากับ 10 พิกเซล โดยใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งทำให้ได้ผลการแบ่งส่วนภาพแสดงดังรูปที่ 4.20(ข)



(ก)



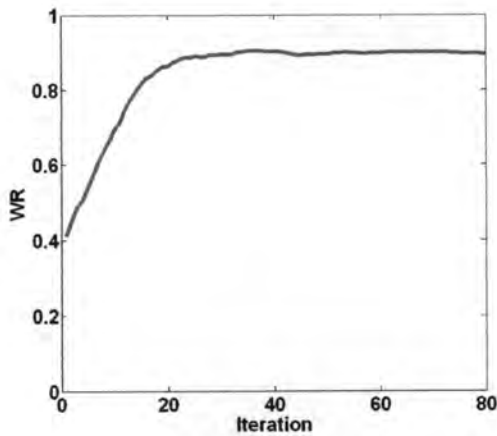
(ข)

รูปที่ 4.20 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง

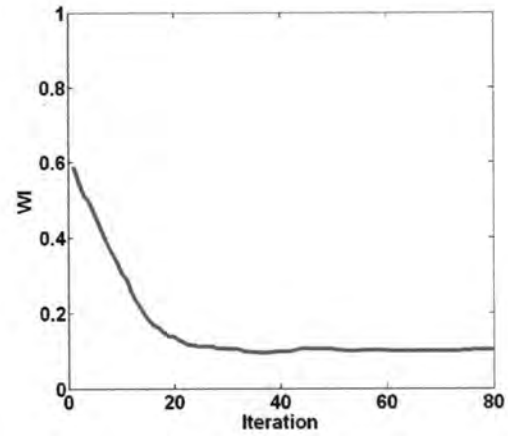
(ก) คอนทัวร์เริ่มต้น (ข) ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากรูปที่ 4.20(ข) แสดงผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง ซึ่งเห็นได้ว่าคอนทัวร์ A สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านจุดต่างดำไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายในได้อย่างง่าย เพราะไม่มีจุดต่างดำเป็นอุปสรรค และ คอนทัวร์ B สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบเขตขอบเยื่อหัวใจภายนอกได้ โดยไม่แย่งขอบเขตและเคลื่อนที่ติดกับคอนทัวร์ A

การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก w_R และ w_I ในขณะที่คอนทัวร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง แสดงดังรูปที่ 4.21



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก
ในขณะที่คอนทอร์ทั้งสองกำลังทำการแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนล่าง

(ก) w_R (ข) w_I

จากรูปที่ 4.21 เห็นได้ว่าแรงระหว่างคอนทอร์มีอิทธิพลกับคอนทอร์ B ในช่วงประมาณที่รอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1 ถึง 20 รอบ ซึ่งเป็นช่วงที่คอนทอร์ A กำลังแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายใน ส่วนช่วงหลังจากนี้ เป็นช่วงที่คอนทอร์ B กำลังทำการแบ่งส่วนขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอก และจากรูปร่างของกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่ามีลักษณะที่ค่อนข้างราบเรียบ เนื่องจากบริเวณภายในขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในไม่มีจุดต่างค่า จึงทำให้ค่า w_R และ w_I ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงของรอบในการวนซ้ำที่ติดกัน

จากการทดลองแบ่งส่วนภาพหัวใจส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง ด้วยระเบียบวิธีแยกทึบคอนทอร์คู่ 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 สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำน้อยลง

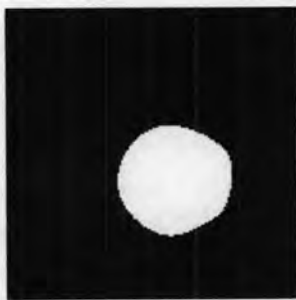
4.2.4 การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ

ในหัวข้อนี้เป็นการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย ด้วยระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คู่ โดยเราจะนำคอนทัวร์ที่ได้จากการทดลองทั้ง 60 ภาพ มาทำการเปรียบเทียบกับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยการคำนวณหาค่าความคล้ายเชิงพื้นที่และค่าความเชิงรูปร่าง ซึ่งได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการคำนวณไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2

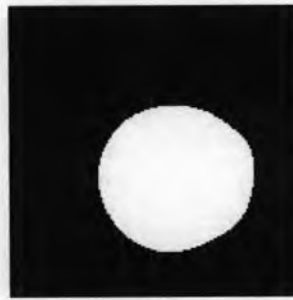
คอนทัวร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพหัวใจ เพื่อหากล้ามเนื้อบริเวณโดยรอบหัวใจห้องล่างซ้าย ประกอบไปด้วย 2 คอนทัวร์ ดังต่อไปนี้

1. คอนทัวร์ A คือ คอนทัวร์แสดงขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในของหัวใจห้องล่างซ้าย
 2. คอนทัวร์ B คือ คอนทัวร์แสดงขอบเขตของเยื่อหัวใจภายนอกของหัวใจห้องล่างซ้าย
- การคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ เราใช้ภาพขาวดำในการคำนวณ ดังนั้น จึงทำการแปลงคอนทัวร์ทั้งสองที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ให้เป็นภาพขาวดำ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

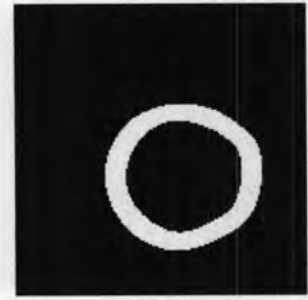
1. ภาพขาวดำที่ได้จากการคอนทัวร์ A ซึ่งบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ A เป็นสีขาว และบริเวณภายนอกคอนทัวร์ A เป็นสีดำ แสดงในรูปที่ 4.22(ก)
2. ภาพขาวดำที่ได้จากการคอนทัวร์ B ซึ่งบริเวณที่อยู่ภายในคอนทัวร์ B เป็นสีขาว และบริเวณภายนอกคอนทัวร์ B เป็นสีดำ แสดงในรูปที่ 4.22(ข)
3. ภาพขาวดำที่ได้จากการคอนทัวร์ A และคอนทัวร์ B ซึ่งบริเวณที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสองเป็นสีขาว และบริเวณอื่นๆที่เหลือ เป็นสีดำ แสดงในรูปที่ 4.22(ค)



(ก)



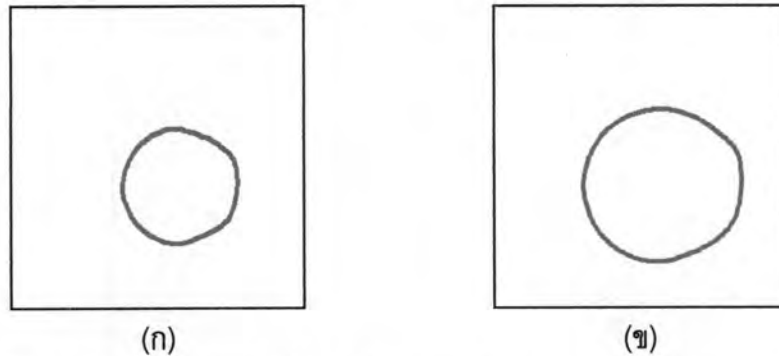
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.22 ตัวอย่างภาพขาวดำที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่
(ก) พื้นที่ภายในคอนทัวร์ A (ข) พื้นที่ภายในคอนทัวร์ B (ค) พื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง

การคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง เราใช้คอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างคอนทัวร์ที่นำไปใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง
(ก) คอนทัวร์ A (ข) คอนทัวร์ B

การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย โดยการเปรียบเทียบความคล้ายของคอนทัวร์ A และ คอนทัวร์ B เทียบกับคอนทัวร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ โดยใช้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่และค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง ได้มีการคำนวณค่าความคล้ายทั้งหมด 5 ค่าดังต่อไปนี้

1. ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ A (S_{area} ของ C_A) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1
2. ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ B (S_{area} ของ C_B) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2
3. ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง (S_{area} ของ $C_A \wedge C_B$) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3
4. ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ A (S_{shape} ของ C_A) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4
5. ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ B (S_{shape} ของ C_B) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 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 4.2 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 4.3 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 4.4 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 4.5 ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคนทัวร์ 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 |

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้าย ด้วยระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ กับ วิธีอื่นๆ รวมทั้งสิ้น 4 วิธี มีดังต่อไปนี้

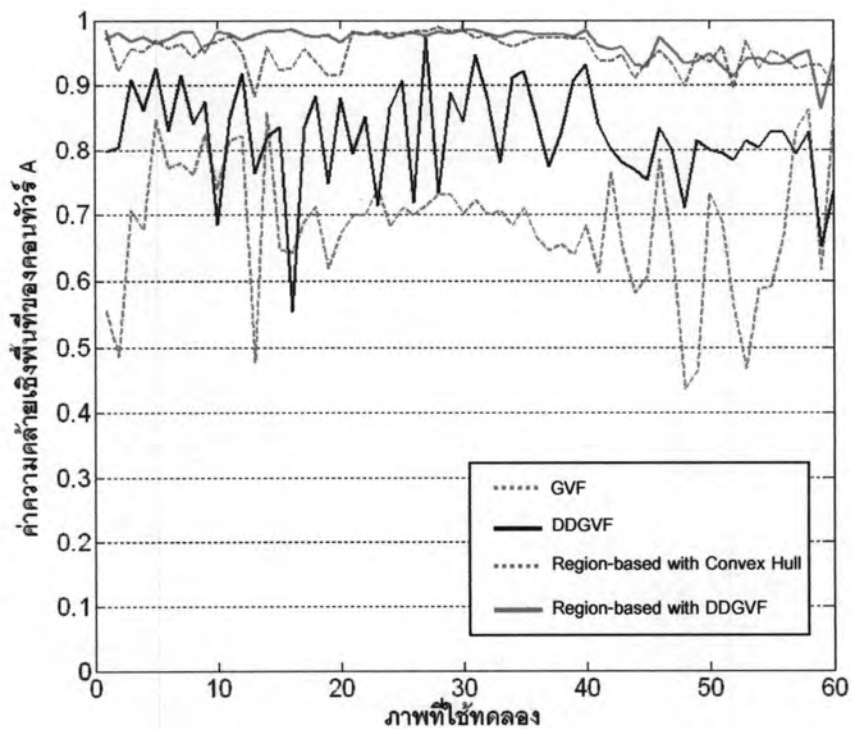
1. GVF เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกที่หามาจากภาพขอบ ซึ่งได้มีการอธิบายไว้แล้วบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.2.2

2. DDGVF เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกที่หามาจากภาพขอบเช่นเดียวกัน แต่มีความสามารถในการเลือกแบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบในลักษณะเป็นขอบบวมหรือขอบลบได้ ซึ่งได้มีการอธิบายไว้แล้วบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.2.3

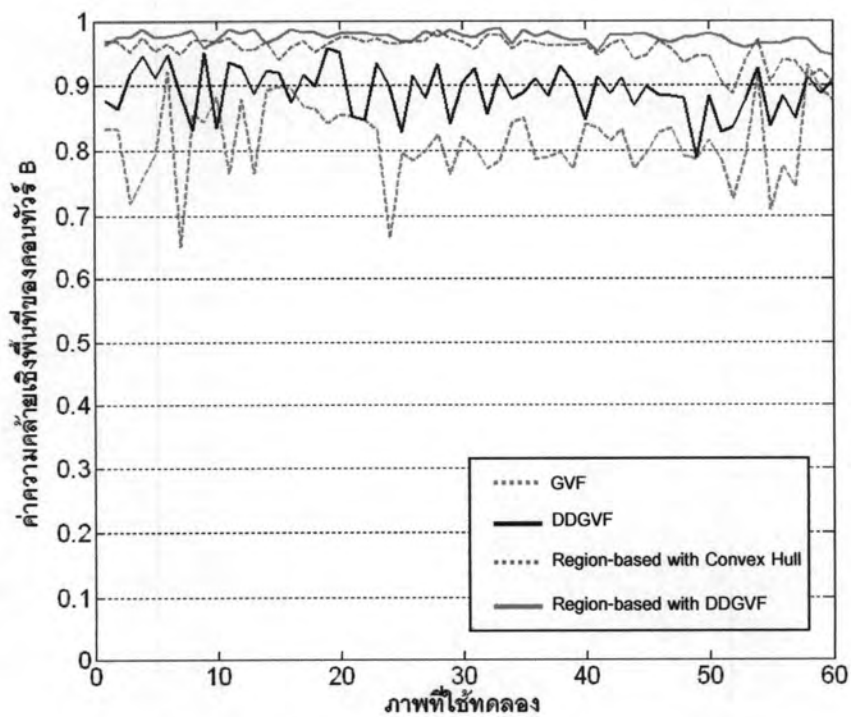
3. Region-based with Convex Hull เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ ร่วมกับการทำให้คอนทัวร์ A มีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ฮัล เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ำเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ซึ่งเป็นวิธีการที่วิทยานิพนธ์ ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.3

4. Region-based with DDGVF เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่ใช้แรงภายนอกแบบอาณาบริเวณ และมีการเพิ่มแรงภายนอกแบบ DDGVF ให้กับคอนทัวร์ A เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ำเนื้อยึดลิ้นหัวใจ ซึ่งเป็นวิธีการหลักที่วิทยานิพนธ์ ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.4

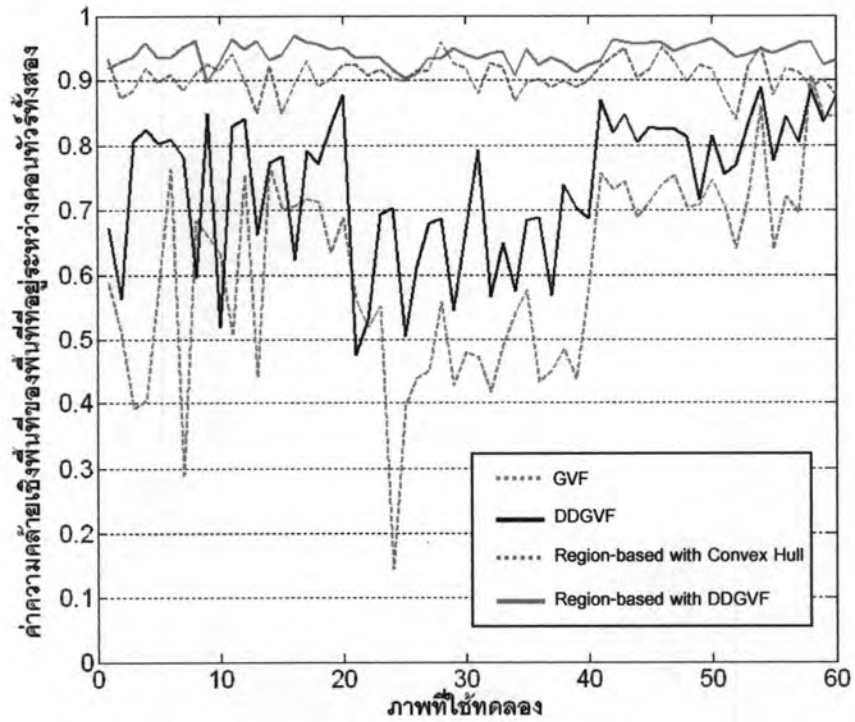
วิธีการที่ 3 และ 4 เป็นแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ที่วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอขึ้นมา ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีความแตกต่างกันเพียงวิธีการในการแก้ไขปัญหาเรื่องกล้ำเนื้อยึดลิ้นหัวใจเท่านั้น โดยค่าความคล้ายทั้ง 5 ค่าของทั้ง 4 วิธี แสดงเป็นกราฟเส้นในรูปที่ 4.24 – 4.28



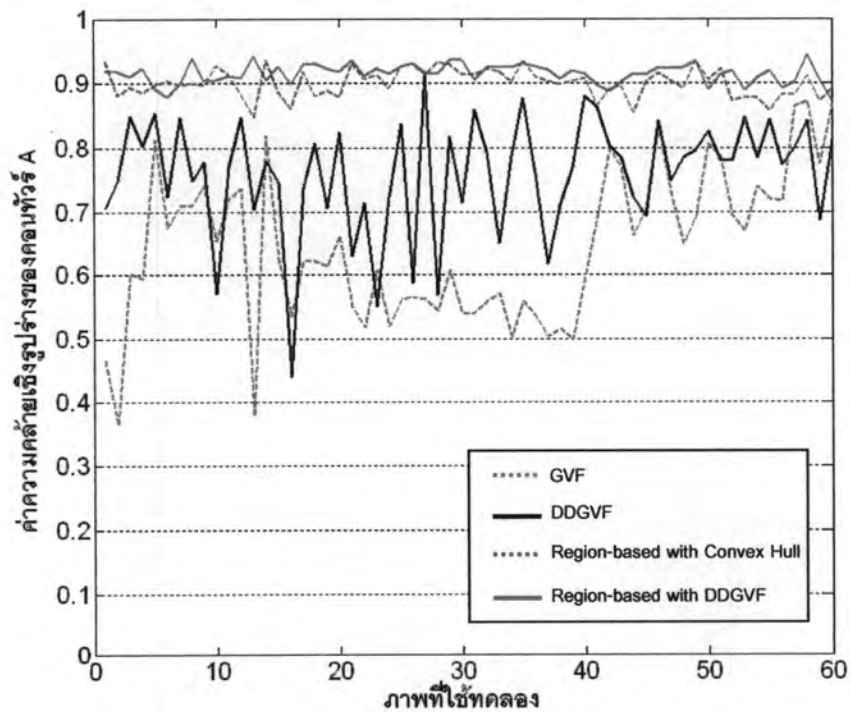
รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ A



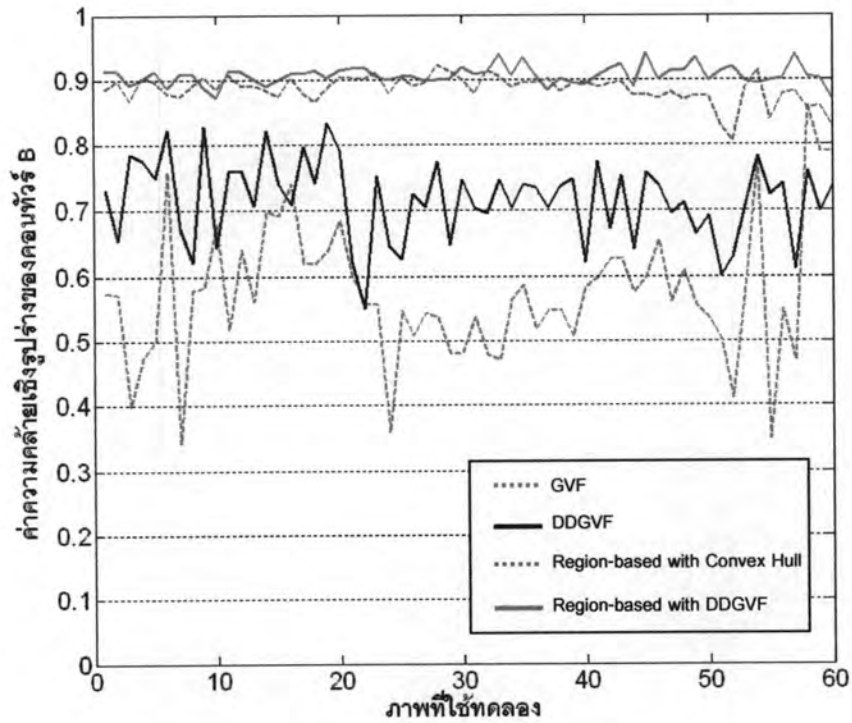
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของคอนทัวร์ B



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง



รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ A



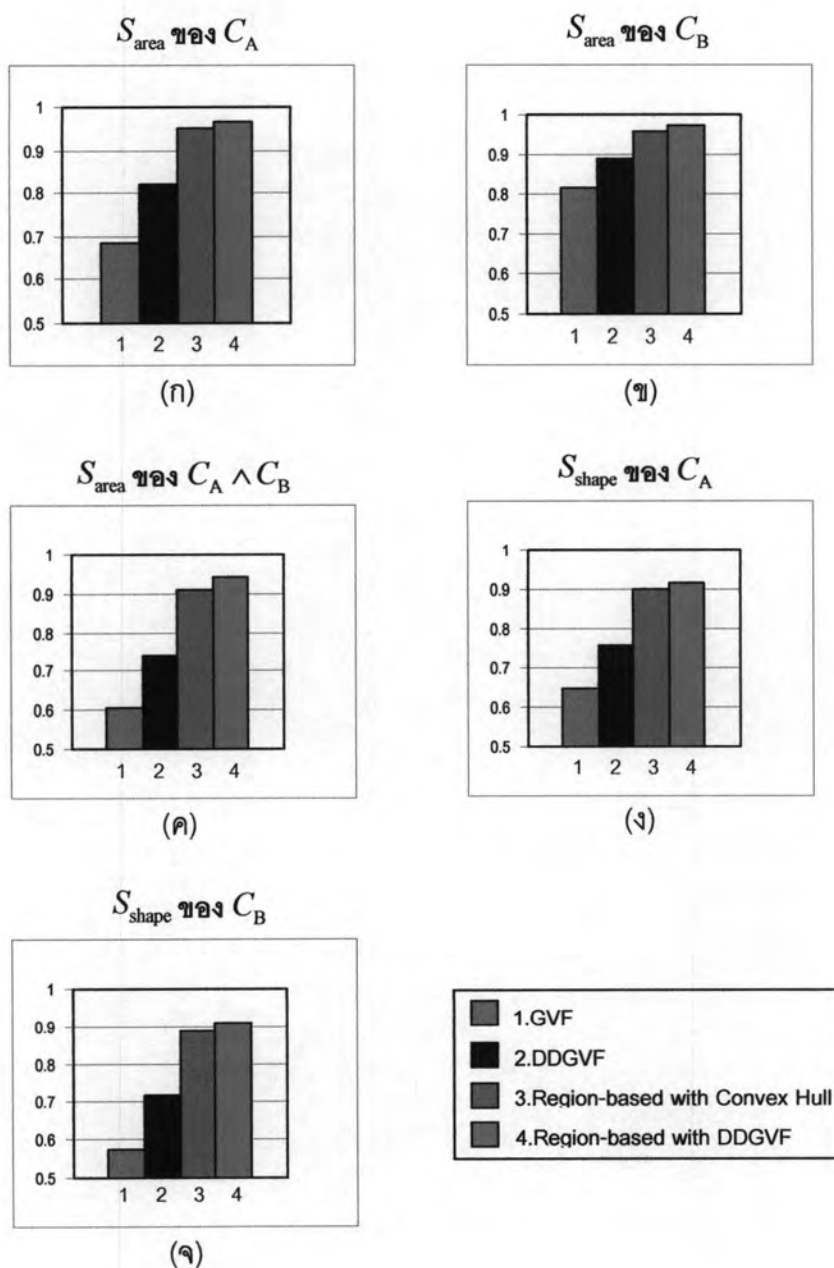
รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเชิงรูปร่างของคอนทัวร์ B

จากกราฟในรูปที่ 4.24 – 4.28 เห็นได้ว่าระเบียบวิธีเอ็กทึฟคอนทัวร์คูที่ใช้ Region-based with Convex Hull และ Region-based with DDGVF ที่วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ มีความสามารถใกล้เคียงกัน และมีความสามารถที่เหนือกว่าวิธี GVF และ DDGVF อีกด้วย และเมื่อนำค่าต่างๆที่คำนวณได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อดูประสิทธิภาพโดยรวมของวิธีต่างๆ จะได้ค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 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 4.6 มาพล็อตเป็นกราฟแท่ง แสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่าความคล้ายเฉลี่ยของทั้ง 4 วิธี

- (ก) ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ A
 (ข) ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ B
 (ค) ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของพื้นที่ที่อยู่ระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง
 (ง) ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ A
 (จ) ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ B

จากรูปที่ 4.29(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 อาจจะไม่เคลื่อนที่ไปติดกับส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจได้

จากรูปที่ 4.29(ข) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยของคอนทัวร์ B ซึ่งเห็นได้ว่าทั้ง 4 วิธี ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน สาเหตุมาจากขอบเขตที่คอนทัวร์ B จะต้องทำการแบ่งส่วนนั้น ไม่มีอุปสรรคของกล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ จึงทำให้ทั้ง 4 วิธี ให้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่วิธี Region-based with DDGVF ก็ยังคงให้ประสิทธิภาพมากที่สุด

จากรูปที่ 4.29(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 นี้ คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่เป็นอิสระจากกัน จึงอาจทำให้คอนทัวร์ทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันได้ ส่งผลให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ไม่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงได้

จากรูปที่ 4.29(ง) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ A ซึ่งวิธี Region-based with DDGVF และ วิธี Region-based with Convex Hull ให้ผลที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก และมีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุมาจากวิธีการทั้งสองนี้ มีความสามารถในการแก้ไขปัญหากล้ามเนื้อยึดลิ้นหัวใจ อีกทั้งส่วนที่เป็นขอบเขตที่คอนทัวร์ A จะต้องทำการแบ่งส่วนในภาพหัวใจที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นคอนเวกซ์ จึงทำให้วิธีการทั้งสองให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่ วิธี Region-based with DDGVF ให้ผลที่ดีกว่า เนื่องมาจากในภาพหัวใจบางภาพขอบเขตที่คอนทัวร์ A จะต้องทำการแบ่งส่วนภาพนั้น อาจจะไม่มิลักษณะเป็นคอนเวกซ์ ซึ่งได้มีการแสดงให้เห็นถึงผลกระทบในเรื่องนี้ไว้แล้วในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.3

จากรูปที่ 4.29(จ) เป็นกราฟแท่งแสดงค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ B ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการที่ใช้แรงภายนอกจากอาณาบริเวณจะให้ผลที่ดีกว่า วิธีที่ใช้ภาพขอบ เนื่องมาจากขอบเขตที่คอนทัวร์ B จะต้องทำการแบ่งส่วนภาพนั้นมีขอบที่ไม่ชัดเจน ส่งผลให้ภาพขอบไม่ชัดเจนตามไปด้วย รวมถึงปัญหาการเคลื่อนที่ติดกันของคอนทัวร์ทั้งสองเนื่องจากคอนทัวร์ทั้งสองเป็น

อิสระต่อกัน จึงทำให้วิธี GVF และ DDGVF มีประสิทธิภาพที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับ วิธี Region-based with DDGVF และ วิธี Region-based with Convex Hull

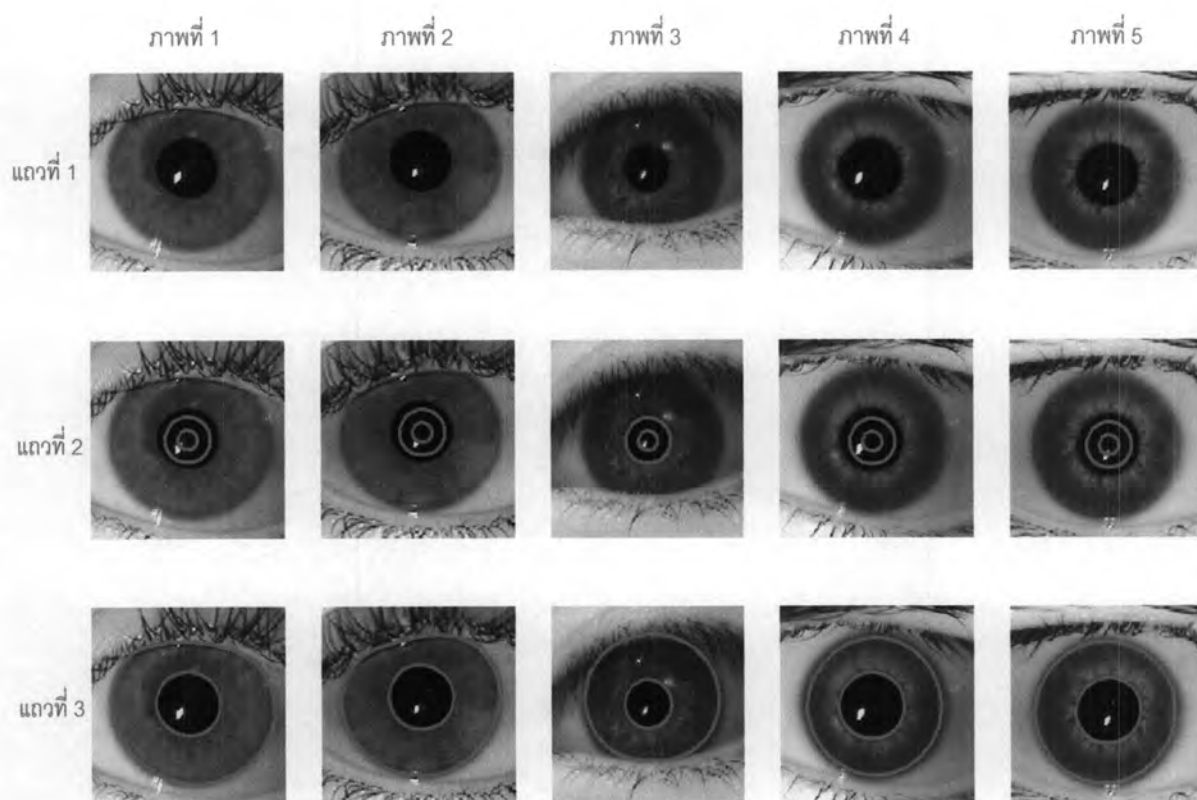
จากรูปที่ 4.29 โดยภาพรวมแล้ว วิธี Region-based with DDGVF เป็นวิธีที่ให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ดีที่สุด มีความใกล้เคียงกับผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือมากที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ ซึ่งวิธี Region-based with DDGVF เป็นวิธีการหลักที่วิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3 และนอกจากภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ไปประยุกต์ใช้กับภาพอื่นอีกด้วย ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

4.3 การประยุกต์ใช้กับภาพดวงตา

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำระเบียบวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์คู่ มาประยุกต์ใช้กับการแบ่งส่วนม่านตา (Iris Segmentation) ในภาพดวงตา ซึ่งเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญมากในกระบวนการรู้จำม่านตา (Iris Recognition) สำหรับใช้ในการพิสูจน์ตัวตนบุคคล ซึ่งภาพดวงตาที่นำไปใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะและรูปแบบโดยรวมคล้ายกับภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ข้อดังต่อไปนี้

1. ส่วนที่ต้องการ คือ ม่านตา ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนคล้ายกับกล้ำมเนื้อบริเวณรอบหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็ก
2. จุดสีขาวที่อยู่ภายในรูม่านตา ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการถ่ายภาพ และเป็นอุปสรรคในการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งคล้ายกับกล้ำมเนื้อยึดลิ้นหัวใจที่ปรากฏอยู่ภายในหัวใจห้องล่างซ้ายของภาพสะท้อนแม่เหล็ก

เราได้มีการทดลองแบ่งส่วนม่านตาจากภาพดวงตาทั้งหมด 5 ภาพ แสดงดังรูปที่ 4.30 ในแถวที่ 1 ซึ่งในแต่ละภาพมีขนาด 150×150 พิกเซล โดยได้มีการวางคอนทัวร์เริ่มต้นของคอนทัวร์ทั้งสองไว้ภายในรูม่านตา แสดงในแถวที่ 2 และผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในแถวที่ 3 โดยได้กำหนดค่า r เท่ากับ 15 พิกเซล



รูปที่ 4.30 การแบ่งส่วนม่านตาในภาพดวงตา

จากรูปที่ 4.30 ในแถวที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คู่ มีความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ในการแบ่งส่วนม่านตา ซึ่งสามารถแบ่งส่วนม่านตาจากภาพดวงตาได้อย่างชัดเจน และเมื่อเรานำผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความคล้ายทั้ง 5 จะได้ค่าความคล้ายแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความคล้ายของผลการแบ่งส่วนม่านตา

| ค่าความคล้าย | ภาพที่ 1 | ภาพที่ 2 | ภาพที่ 3 | ภาพที่ 4 | ภาพที่ 5 | ค่าเฉลี่ย |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------|
| S_{area} ของ C_A | 0.983 | 0.984 | 0.969 | 0.981 | 0.985 | 0.980 ± 0.006 |
| S_{area} ของ C_B | 0.984 | 0.987 | 0.985 | 0.967 | 0.971 | 0.979 ± 0.009 |
| S_{area} ของ $C_A \wedge C_B$ | 0.976 | 0.980 | 0.978 | 0.952 | 0.960 | 0.969 ± 0.012 |
| S_{shape} ของ C_A | 0.916 | 0.919 | 0.933 | 0.939 | 0.918 | 0.925 ± 0.010 |
| S_{shape} ของ C_B | 0.889 | 0.895 | 0.893 | 0.881 | 0.910 | 0.894 ± 0.010 |

ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่เฉลี่ยทั้ง 3 ค่า ในตารางที่ 4.7 เห็นได้ว่ามีค่าที่สูงมาก สาเหตุมาจากม่านตาในภาพดวงตาที่เราใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะค่อนข้างที่จะกลม อีกทั้งยังมีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างรูม่านตากับม่านตา และจุดสีขาวที่ปรากฏอยู่ภายในรูม่านตา คอนทัวร์ A ก็สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านไปได้ ซึ่งมีลักษณะการข้ามผ่านคล้ายกับการข้ามผ่านจุดต่างดำที่เป็นส่วนหนึ่งของกล้ำมเนื้อยึดลิ้นหัวใจในการแบ่งส่วนภาพหัวใจสะท้อนแม่เหล็ก

ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยทั้ง 2 ค่า ในตารางที่ 4.7 มีค่าที่สูงมากเช่นเดียวกัน แต่ค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ B มีค่าน้อยกว่าค่าความคล้ายเชิงรูปร่างเฉลี่ยของคอนทัวร์ A สาเหตุมาจากขอบเขตที่คอนทัวร์ B จะต้องทำการแบ่งส่วนนั้นเป็นขอบเขตด้านนอกของม่านตา ซึ่งมีส่วนของเปลือกตา และ ขนตา มาเป็นอุปสรรคในการแบ่งส่วนภาพ จึงทำให้คอนทัวร์ B อาจจะไม่ถึงเลยไปยังส่วนที่เป็นเปลือกตาหรือขนตาได้ เนื่องจากมีค่าความเข้มสีที่ใกล้เคียงกัน

จากค่าความคล้ายเฉลี่ยทั้ง 5 ค่า สามารถสรุปได้ว่า ระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คู่สามารถให้ผลการแบ่งส่วนภาพม่านตาที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งใกล้เคียงกับการแบ่งส่วนภาพด้วยมืออย่างมาก

ภาพที่สามารถนำระเบียบวิธีแอกทิฟคอนทัวร์คู่นี้ ไปประยุกต์ใช้งานได้ ควรที่จะเป็นภาพที่มีลักษณะเป็นวัตถุ 2 ชิ้นซ้อนทับกันอยู่ ตัวอย่างเช่น ขอบเขตของเยื่อหัวใจภายในอยู่ภายในขอบเขตเยื่อหัวใจภายนอก และ รูม่านตาอยู่ภายในตาดำ เป็นต้น กล่าวคือ ส่วนที่เราต้องการแบ่งส่วนภาพควรที่จะลักษณะคล้ายกับวงแหวนนั่นเอง