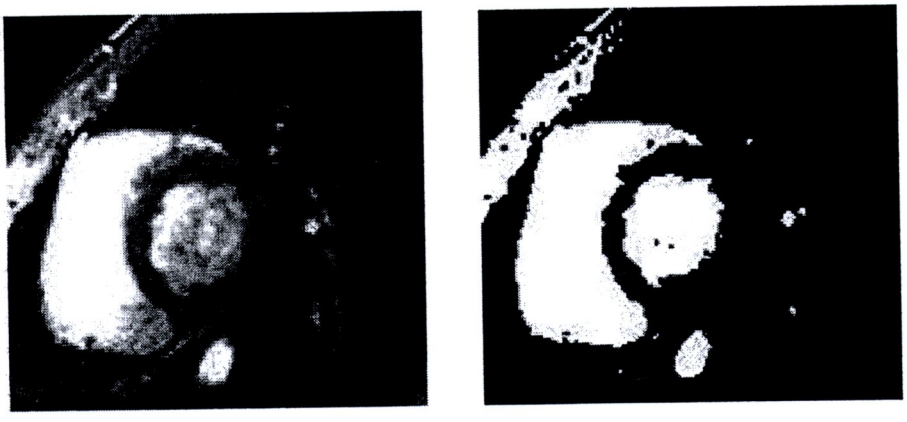
บทที่ 3
แนวคิด การออกแบบอัลกอริธึม และขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุของหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

3.1 แนวคิดและการออกแบบอัลกอริธึมสำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุของหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

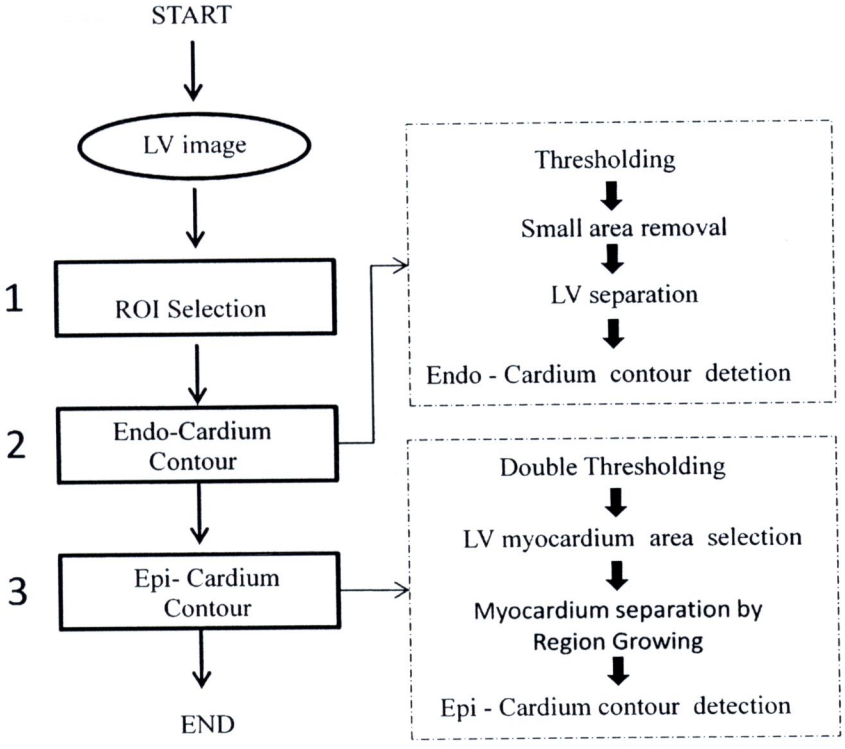
จากคุณสมบัติภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก [20, 22] ทำให้ภาพถ่ายหัวใจแบบระนาบตัดขวาง สามารถแสดงรายละเอียดได้ค่อนข้างชัดเจนระหว่างส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อ, กล้ามเนื้อหัวใจและส่วนที่เป็นของเหลว จากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ บริเวณที่เป็นของเหลวจะให้ค่าความสว่างที่มากกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อเยื่อส่วนบริเวณภายในห้องของหัวใจทั้งห้องซ้ายและขวา มีความสว่างมากกว่าบริเวณที่เป็นกล้ามเนื้อเนื่องจากเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยเลือด ซึ่งเป็นส่วนที่เราไม่สนใจ ควรทำการกำจัดออกก่อนจากคุณลักษณะข้างต้นสามารถนำหลักการแปลงภาพไบนารี [6, 39] มาใช้เพื่อแยกส่วนที่มีค่าความสว่างสูงๆ ออกจากภาพได้โดยการแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพไบนารี เป็นการช่วยแยกพื้นที่และบริเวณที่มีความแตกต่างชัดเจนออกจากกัน



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจและภาพไบนารี

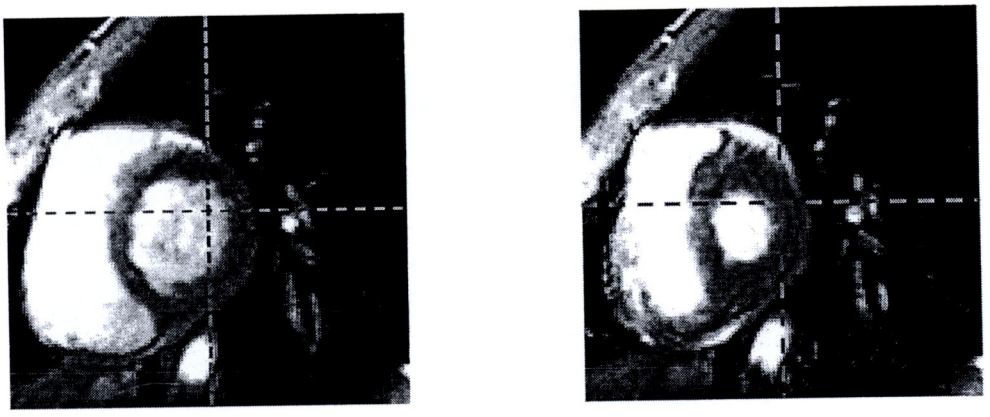
พิจารณาโครงสร้างกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า บริเวณกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายที่ต้องการตรวจจับนั้น มีลักษณะคล้ายวงแหวนที่ล้อมรอบส่วนสีขาวที่มีลักษณะคล้าย

วงกลมบริเวณกลางภาพ ในที่นี้หมายถึงส่วนของเลือดที่อยู่ในโพรงหัวใจห้องซ้าย ดังนั้นในการหาเยื่อบุหัวใจก็คือการหาขอบของบริเวณพื้นที่ที่เป็นเลือดภายในโพรงหัวใจห้องซ้ายนั่นเอง การตรวจจับกล้ามเนื้อหัวใจนั้น แยกออกเป็นสองส่วนใหญ่ ได้แก่ การตรวจจับขอบวงแหวนด้านใน ซึ่งหมายถึง เยื่อบุหัวใจ และตรวจจับของวงแหวนรอบนอก ซึ่งหมายถึง เยื่อหุ้มหัวใจ โดยในแต่ละส่วนมีวิธีการแยกย่อยลงไปอีก อัลกอริธึมแสดงโครงสร้างโดยรวมของระบบดังรูปที่ 3.2



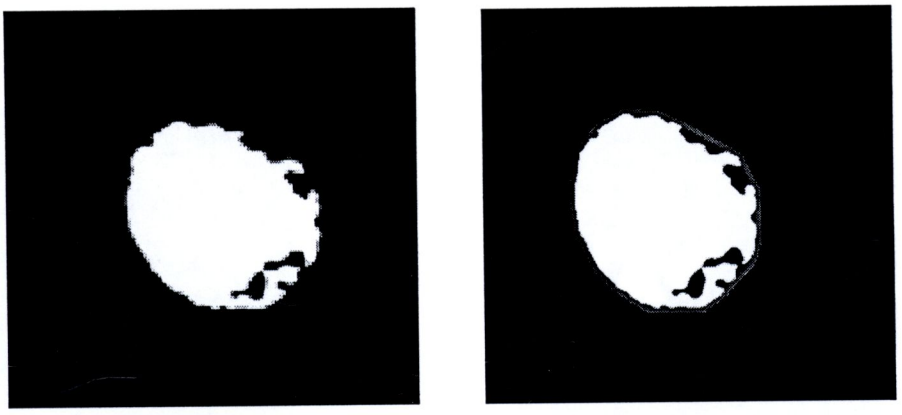
รูปที่ 3.2 แผนภาพอัลกอริธึมโดยรวมทั้งหมดของระบบในการตรวจจับกล้ามเนื้อหัวใจ

ส่วนของการตรวจจับเยื่อบุหัวใจนั้น มีแนวคิดจากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าที่ว่า หัวใจห้องล่างซ้ายจะอยู่ใกล้เคียงบริเวณศูนย์กลางของภาพ [55, 56] ทำให้บริเวณที่เป็นโพรงหัวใจอยู่ใกล้หรือซ้อนทับกับศูนย์กลางของภาพ ROI ดังรูปที่ 3.3 ดังนั้นเมื่อแปลงภาพจากระดับสีเทาเป็นภาพไบนารี แล้วเราสามารถเลือกพื้นที่ที่ซ้อนทับหรือใกล้เคียงจุดศูนย์กลางของภาพมากที่สุด เป็นพื้นที่เป้าหมายได้ ซึ่งก็คือส่วนที่เป็นโพรงหัวใจห้องล่างซ้ายที่เราต้องการนั่นเอง



รูปที่ 3.3 บริเวณโพรงหัวใจห้องล่างซ้ายซ้อนทับหรือใกล้กับจุดศูนย์กลางของภาพ ROI

ส่วนที่ยุ่งยากและมีขั้นตอนมากสุดของระบบคือส่วนของการตรวจจับเยื่อหุ้มหัวใจ บริเวณขอบนอกของกล้ามเนื้อหัวใจนั้นด้านหนึ่งติดกับโพรงหัวใจห้องล่างขวา ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงเนื่องจากเป็นบริเวณของเหลว อีกด้านหนึ่งติดกับส่วนอื่นที่ไม่ใช่หัวใจ ซึ่งมีค่าความเข้มแสงต่ำมาก ส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจมีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วงกึ่งกลางระหว่างทั้งสองด้านและมีความแปรปรวนมาก การทำเทรสโฮลด์ตามปกติ อาจทำให้ข้อมูลส่วนที่ต้องการหายไป การแก้ปัญหาส่วนนี้ได้แนวคิดจากงานวิจัย P. Pongpaopattanakul [1] ใช้วิธีดับเบิลเทรสโฮลด์ คือ กำหนดค่าเทรสโฮลด์สองระดับ เพื่อทำให้สามารถแยกส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจซึ่งมีความแปรปรวนของค่าความเข้มแสงออกมาได้ ผลจากความแปรปรวนของค่าความเข้มแสงทำให้ข้อมูลภาพไบนารี ที่ได้อาจมีความไม่ต่อเนื่องจึงใช้การขยายจุดภาพ โดยการกำหนดจุดภาพเริ่มต้น และทำการเปรียบเทียบจุดภาพข้างเคียงว่าเป็นส่วนเดียวกันหรือไม่ ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการทำการขยายจุดภาพให้ง่ายขึ้นพร้อมทั้งครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการโดยการขยายจุดภาพบนพิกัดเชิงขั้ว และให้ขอบด้านในหรือเยื่อบุหัวใจเป็นจุดภาพเริ่มต้น ทั้งนี้การหาเยื่อหุ้มและเยื่อบุหัวใจห้องล่างซ้ายปัญหาสุดท้ายคือความขรุขระของขอบและพื้นที่ข้อมูลที่อาจขาดหาย ได้แนวคิดจากงานวิจัยของ Tsai I - C [13] เสนอการใช้คอนเวกซ์ ฮัล เพื่อหาขอบเขตที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการทั้งหมด และการใช้แอ็คทีพคอนทัวร์โมเดล หรือ สเนค [51, 52] เพื่อทำให้ขอบภาพมีความเรียบไม่ขรุขระ และโค้งเว้าตามพื้นที่จริงของภาพ ตัวอย่างการใช้ คอนเวกซ์ ฮัล กับภาพซีที ดังรูปที่ 3.4



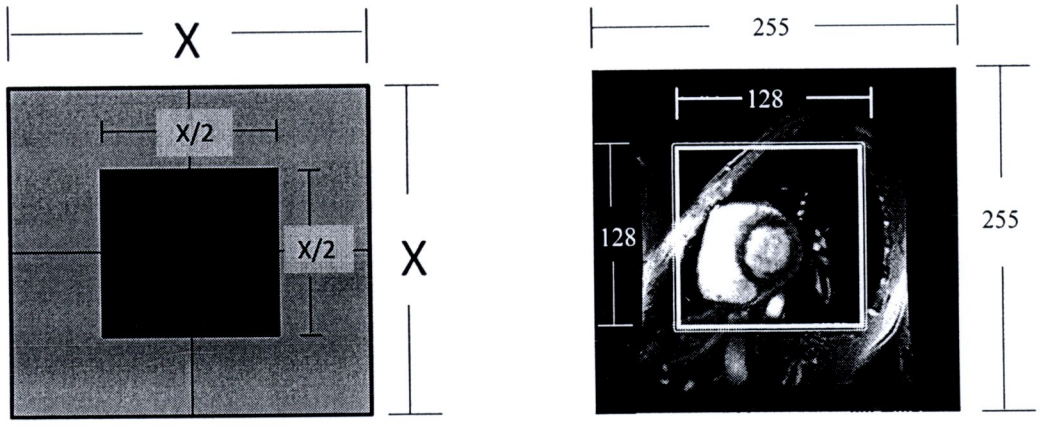
รูปที่ 3.4 การหาขอบเขตที่ครอบคลุมพื้นที่ด้วย คอนเวกซ์ ฮัล

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

โครงสร้างของระบบทั้งหมดเริ่มต้นจากการรับภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ ซึ่งภาพเริ่มต้นเป็นภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก องค์ประกอบของภาพเป็นไปตามแนวการถ่ายภาพของเครื่องและการจัดวางร่างกายของผู้ป่วย ภาพที่ได้จึงมีขนาดกว้างและประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ได้มีส่วนช่วยในการหาพื้นที่เป้าหมายได้ และนอกจากนั้นองค์ประกอบที่กล่าวถึงยังถือเป็นข้อมูลส่วนเกินที่ทำให้การประมวลผลต้องใช้ทรัพยากรของระบบเพิ่มขึ้นอีกด้วย กระบวนการในการตรวจจับขอบของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย จึงเริ่มด้วยการหาพื้นที่เป้าหมาย (Region of Interest : ROI) หรือก็คือ การกำหนดพิกัดขอบเขตของภาพตั้งต้นใหม่นั่นเอง

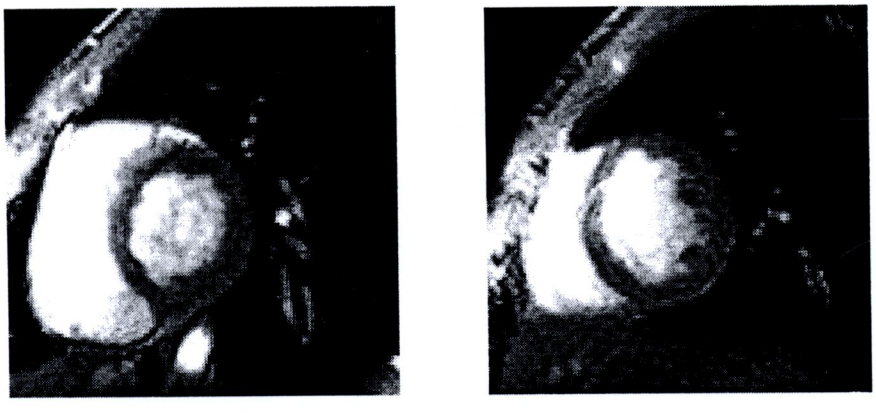
3.2.1 การเลือกพื้นที่เป้าหมาย (Region of interest selection)

การกำหนดพิกัดขอบเขตใหม่โดยยึดจากศูนย์กลางของภาพตั้งต้น ขยายพื้นที่ออกสองข้างแบบสมมาตร จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้า หัวใจห้องล่างซ้ายจะอยู่ใกล้เคียงบริเวณศูนย์กลางของภาพ [55, 56] ทำให้สามารถที่จะสรุปได้ว่าบริเวณส่วนของหัวใจจะอยู่บริเวณ 1 ใน 4 ส่วนจากศูนย์กลางของภาพเดิม ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดขอบเขตของภาพใหม่ให้มีขอบเขตตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การกำหนดขอบเขตแบบสมมาตร

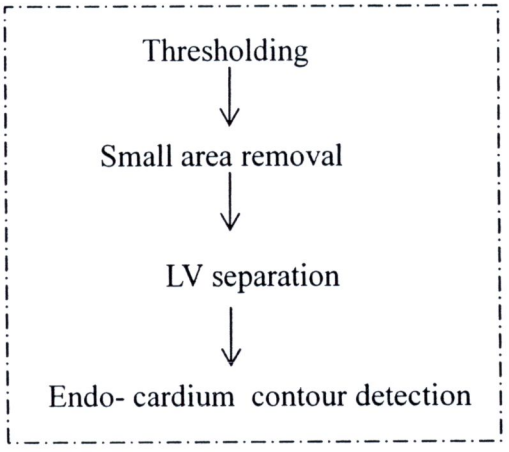
จากการจำลองขนาดขอบเขตใหม่ นำไปทำการตัดภาพจากข้อมูลต้นฉบับ ให้มีอัตราส่วนเท่ากับขนาดสี่เหลี่ยมรูปข้างใน ขนาดของภาพใหม่ที่ได้มีขนาดเป็น 1 ใน 4 ของภาพเดิม ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่มีขนาด 128 x 128 จุดภาพ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 พื้นที่เป้าหมาย (ROI) จากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็ก

3.2.2 การตรวจจับเยื่อบุหัวใจห้องล่างซ้าย (Endo – cardium contour detection)

ส่วนที่สองคือการตรวจจับเยื่อบุหัวใจ สามารถกล่าวได้ว่าเยื่อบุหัวใจเป็นส่วนเดียวกันกับขอบนอกของโพรงหัวใจห้องล่างซ้าย [57] ซึ่งประกอบไปด้วยเลือดและลิ้นหัวใจ เมื่อเราสามารถแยกบริเวณเนื้อเยื่อและของเหลวออกจากกันได้ด้วยการทำเทรสโฮลด์แบบปกติ และเลือกส่วนที่เป็นห้องของหัวใจห้องล่างซ้ายเพื่อหาขอบนอก จะสามารถสรุปว่าเป็นเยื่อบุหัวใจหรือขอบด้านในได้

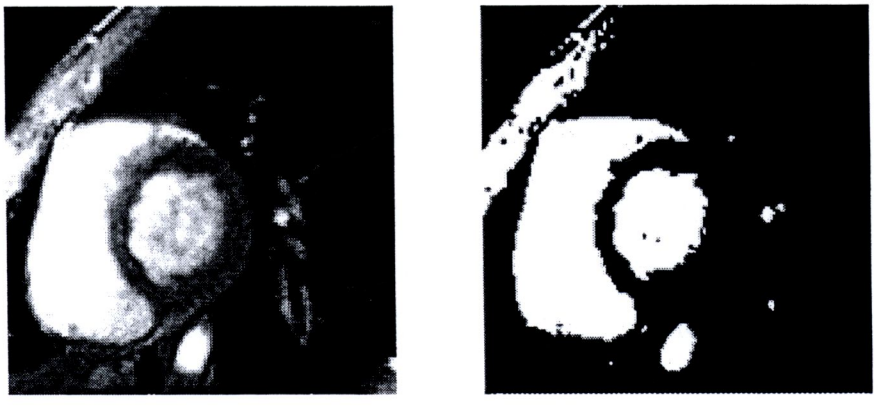


รูปที่ 3.7 อัลกอริธึมในส่วนการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุหัวใจห้องล่างซ้าย

จากรูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพอัลกอริธึมเฉพาะส่วนของการหาเยื่อบุหัวใจห้องล่างซ้าย ในส่วนนี้ภาพที่ใช้คือภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ ที่ถูกตัดทอนข้อมูลที่ไม่สนใจออกแล้วจากขั้นตอนการเลือกพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งต่อไปจะเรียกภาพใหม่นี้ว่าภาพ ROI

3.2.2.1 เทรสโฮลด์

จากภาพ ROI จะถูกทำให้เป็นภาพไบนารี ด้วยการเปรียบเทียบค่าในแต่ละจุดภาพกับค่าเทรสโฮลด์ค่าหนึ่ง [6, 39] ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่าเทรสโฮลด์ครอบคลุมที่ร้อยละ 60 ของค่าความเข้มแสง เพื่อแยกบริเวณที่มีความเข้มแสงสูงออกจากพื้นที่ใกล้เคียงอย่างชัดเจน ผลการทำเทรสโฮลด์ครอบคลุมภาพ ROI ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพก่อนและหลังการทำเทรสโฮลด์ครอบคลุม

3.2.2.2 กำจัดพื้นที่ขนาดเล็ก (Small area removal)

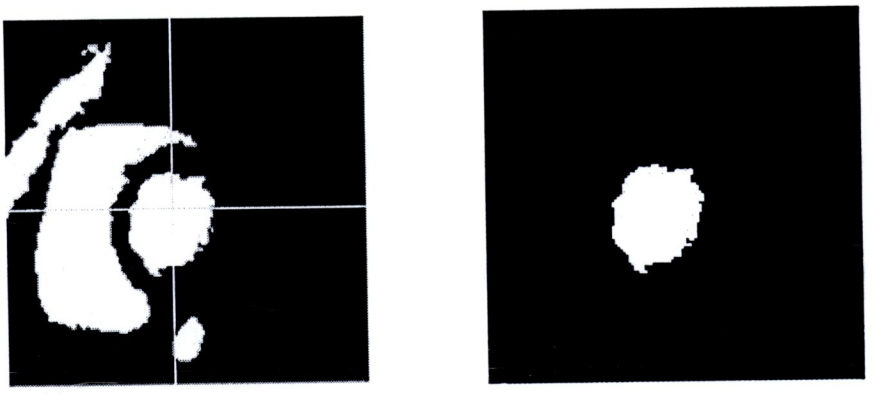
เมื่อได้ภาพไบนารี ที่มีค่าในแต่ละจุดภาพเท่ากับ 1 และ 0 แล้ว จากขั้นตอนการเลือกพื้นที่เป้าหมายที่ยึดศูนย์กลางของภาพเป็นจุดกำเนิดและขยายพื้นที่ออกไปแบบสมมาตร คุณสมบัติหนึ่งที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งของภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ คือ โพรงหัวใจห้องล่างซ้ายจะซ้อนทับหรืออยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางของภาพ จึงใช้หลักการนี้ในการเลือกข้อมูลจากภาพไบนารี โดยเลือกส่วนที่มีพื้นที่ซ้อนทับหรือใกล้กับจุดศูนย์กลางของภาพมากที่สุดเป็นพื้นที่เป้าหมาย และเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกพื้นที่นั้นถูกต้อง ไม่เลือกถูกพื้นที่อื่นที่ใกล้จุดศูนย์กลางภาพเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นส่วนของช่องว่าง หรือเนื้อเยื่อที่มีค่าความสว่างสูงเช่นกัน ก่อนการเลือกพื้นที่โพรงหัวใจจึงทำการกำจัดพื้นที่ที่ไม่ต้องการออกจากภาพไบนารีของ ROI ให้มากที่สุดโดยการลบส่วนที่มีจำนวนจุดภาพน้อยกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งโดยมากแล้วพื้นที่เป้าหมายจะมีจำนวนจุดภาพมากกว่าส่วนที่จะถูกลบทิ้ง

(a) (b)

รูปที่ 3.9 ผลจากการลบพื้นที่ที่มีจำนวนจุดภาพน้อยกว่าที่กำหนด

3.2.2.3 แยกส่วนโพรงหัวใจห้องซ้าย (LV separation)

เลือกข้อมูลจากภาพไบนารี โดยเลือกส่วนที่มีพื้นที่ซ้อนทับหรือใกล้กับจุดศูนย์กลางของภาพมากที่สุดเป็นพื้นที่เป้าหมาย ตามที่อธิบายไปในหัวข้อ 3.2.2.2 การกำจัดพื้นที่ขนาดเล็ก แสดงการเลือกพื้นที่เป้าหมาย ดังรูป 3.10 ซึ่งหมายถึงส่วนที่เป็นโพรงของหัวใจห้องล่างซ้ายนั่นเอง



(c) (d)

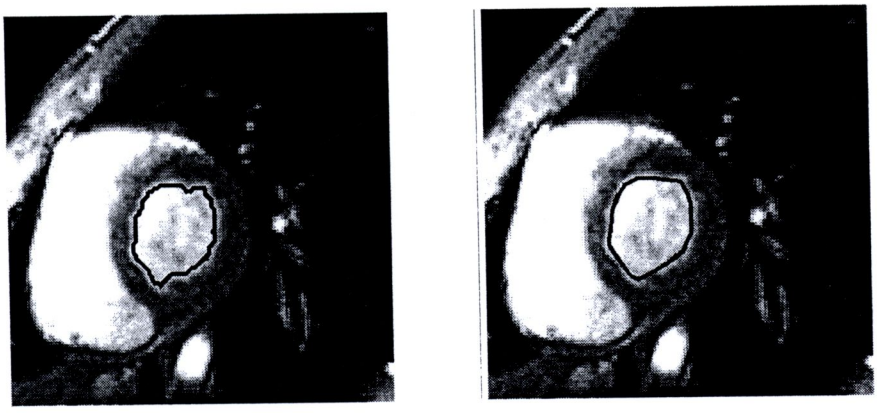
รูปที่ 3.10 ผลจากการเลือกพื้นที่เป้าหมายที่มีส่วนซ้อนทับกับจุดศูนย์กลางของภาพ

3.2.2.4 การตรวจจับรูปร่างเยื่อบุหัวใจ (Endo – cardium contour detection)

เมื่อได้พื้นที่ที่เป็นส่วนที่ซ้อนทับหรือใกล้เคียงจุดศูนย์กลางที่สุดแล้ว เราสามารถสรุปได้ว่าบริเวณที่ถูกเลือกนั้นเป็นบริเวณโพรงหัวใจห้องซ้าย สามารถหาขอบของพื้นที่นี้เพื่อใช้เป็นเยื่อบุหัวใจของหัวใจห้องซ้ายได้ดังรูปที่ 3.11 (a) เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจ คือส่วนที่อยู่ระหว่างเส้นเยื่อบุหัวใจและเยื่อหุ้มหัวใจ บริเวณนี้มีความขรุขระเนื่องจากผนังของโพรงหัวใจ มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อ และมีลิ้นหัวใจประกอบอยู่ด้วย

- คอนเวกซ์ ฮัล

จากการประมวลผลภาพไบนารี พื้นที่โพรงหัวใจที่ตรวจจับได้อาจขรุขระมาก และอาจไม่ต่อเนื่อง จึงต้องมีการทำ คอนเวกซ์ ฮัล เพื่อให้แน่ใจได้ว่าเส้นขอบที่ตรวจจับได้นั้นครอบคลุมพื้นที่โพรงหัวใจทั้งหมดได้จริง

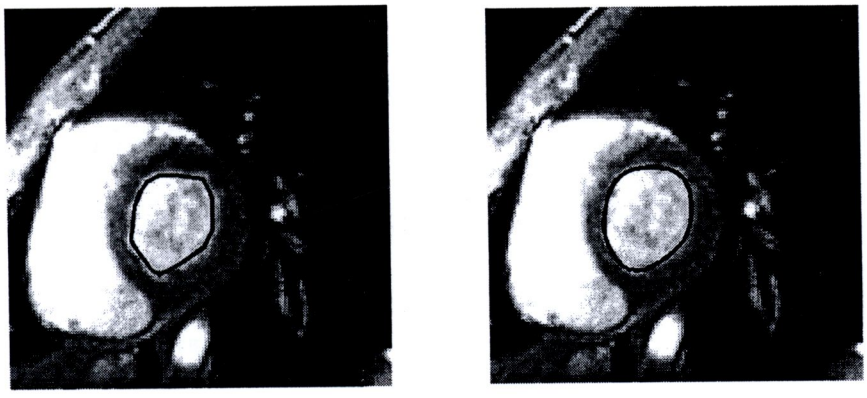


(a) (b)

รูปที่ 3.11 แสดงเส้นเยื่อบุ ของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย (a) และ เส้นขอบที่ได้จากการทำ คอนเวกซ์ ฮัล (b)

- แอ็คทีพคอนทัวร์โมเดล (สเนค)

เส้นขอบที่ได้จากการทำ คอนเวกซ์ ฮัล เกิดจากการลากเส้นต่อจุด ทำให้มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต ไม่มีความโค้งงอตามขอบของโพรงหัวใจดังที่ควรจะเป็น ในส่วนนี้ใช้ สเนค เข้ามาช่วยให้เส้นขอบมีความโค้งงอเข้ากับโพรงหัวใจ โดยที่สเนคมีแรงที่กระทำกับเส้นขอบเริ่มต้นซึ่งได้กล่าวเกี่ยวกับทฤษฎีของ สเนค ไปแล้ว ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.5.7 ได้แก่ แรง E_{cont} ที่ทำให้ สเนค มีความยืดหยุ่น และมีแนวโน้มเป็นรูปวงกลมแปรตามค่าที่กำหนด, E_{curv} แรงที่ทำให้รูปร่าง สเนค มีความโค้งงอ และ แรงบอลลูน ที่เกิดจากแรงผลักภายในที่พยายามรักษาโครงสร้างไว้

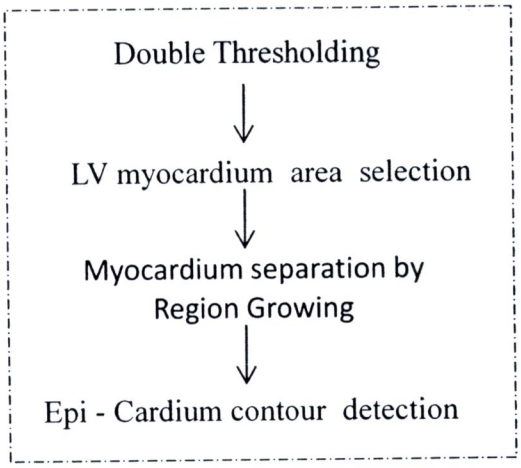


(a) (b)

รูปที่ 3.12 เส้นขอบที่ได้จากการทำคอนเวกซ์ ฮัล (a) และผลจากการทำสเนค (b)

3.2.3 การตรวจจับเยื่อหุ้มหัวใจห้องล่างซ้าย (Epi– cardium contour detection)

การตรวจจับเยื่อหุ้มหัวใจห้องล่างซ้าย จากที่เคยกล่าวไปแล้วว่าเนื้อเยื่อบริเวณนี้มีค่าความเข้มแสงที่แปรปรวน ทำให้การทำเทรสโฮลด์ปกติแบบเดียวกับการหาเยื่อบุหัวใจ นั้นไม่เพียงพอ ข้อมูลบางส่วนอาจหายไป เนื่องจากค่าเทรสโฮลด์ที่ห่างมากเกินไป ดังนั้นจึงใช้แนวคิดการทำเทรสโฮลด์ 2 ครั้ง หรือเรียกว่าการทำดับเบิลเทรสโฮลด์ (Double Threshold) [1] เพื่อกำจัดส่วนที่เราไม่ต้องการ ได้บริเวณกล้ามเนื้อที่มีลักษณะคล้ายวงแหวนที่ชัดเจน แล้วนำไปผ่านกระบวนการประมวลผล ลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างสัณฐานของภาพแบบไบนารี (Morphological Image Processing) เพื่อกำจัดสิ่งรบกวน และส่วนอื่นๆที่เราไม่ต้องการออกไปให้มากที่สุด ได้แก่การเปิดปิดโครงสร้างภาพด้วยโครงสร้างทางเรขาคณิต เป็นต้น เพื่อแยกพื้นที่เฉพาะบริเวณของกล้ามเนื้อหัวใจเท่านั้นโดยใช้วิธีขยายจุดภาพบนภาพไบนารี โดยจุดภาพตั้งต้นที่ใช้ในการขยายพื้นที่ คือ จุดภาพที่อยู่ในส่วนที่เรียกว่า เยื่อบุหัวใจ หรือ Endo – cardium contour นั่นเอง แสดงแผนภาพอัลกอริธึมในการตรวจจับเยื่อหุ้มหัวใจห้องล่างซ้าย ดังรูปที่ 3.13



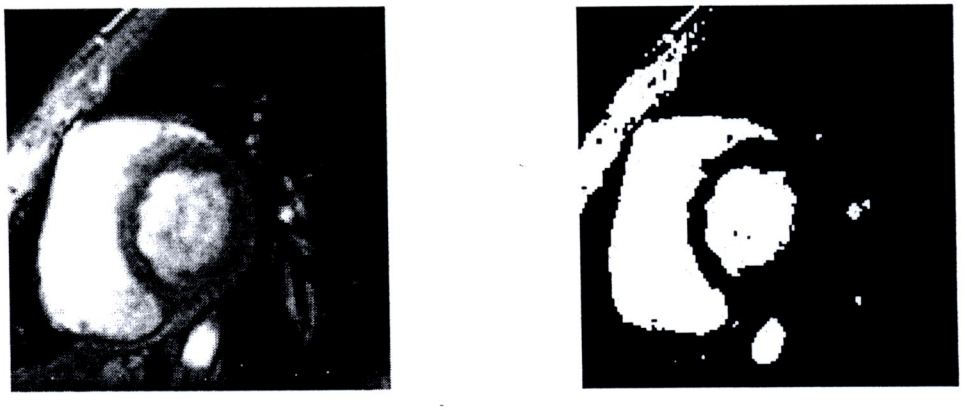
รูปที่ 3.13 อัลกอริธึมในส่วนการตรวจจับเยื่อหุ้มหัวใจห้องล่างซ้าย

3.2.3.1 ดับเบิลเทรสโฮลด์ (Double Thresholding)

ในขั้นตอนนี้จะอธิบายขั้นตอนวิธีดับเบิลเทรสโฮลด์โดยละเอียด ซึ่งสามารถแยกขั้นตอนลงไปได้อีกดังนี้

- การตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่หนึ่ง (1^{st} Thresholding)

การหาเยื่อหุ้มหัวใจเริ่มต้นจากการรับภาพ ROI และทำการแปลงเป็นภาพไบนารีด้วยค่าเทรสโฮลด์ครอบคลุม เช่นเดียวกับขั้นตอนเริ่มต้นของการหาเยื่อบุ ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำการเก็บภาพไบนารี จากขั้นตอนการหาเยื่อบุหัวใจเอาไว้ เพื่อใช้ในการหาเยื่อหุ้มหัวใจต่อ เพื่อเป็นการช่วยลดเวลาและทรัพยากรของระบบ จากรูปที่ 3.12 a) เมื่อทำการตัดเทรสโฮลด์ครั้งแรก จะได้ภาพที่มีสองส่วนที่ต่างกันตามค่าความเข้มแสงในแต่ละจุดภาพ ตามรูปที่ 3.12 b) ซึ่งบริเวณที่เป็นสีดำจะมีค่าเท่ากับ 0 และบริเวณสีขาวเท่ากับ 1

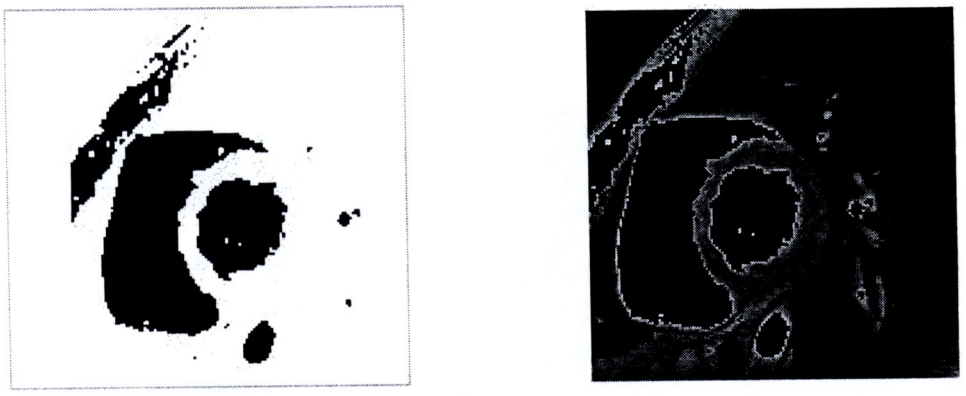


(a) (b)

รูปที่ 3.14 ผลจากการทำการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่หนึ่ง

- ลบบริเวณภายในเยื่อบุหัวใจ (Endo-cardium area removal)

ต้องการลบส่วนที่มีค่าความเข้มแสงสูงมากออกจากภาพ ROI จึงต้องทำการกลับส่วนรูป 3.14 b) เพื่อให้ได้ภาพที่กลับกัน ซึ่งจะเรียกภาพนี้ว่าหน้ากาก (Mask) ดังรูปที่ 3.15 a) ส่วนที่เป็นสีดำ หรือมีค่าเท่ากับ 0 จะเปลี่ยนเป็น 1 และมีสีขาว และส่วนที่เป็นสีขาว เปลี่ยนเป็นสีดำ นำภาพหน้ากาก ไปลบออกจากภาพ ROI ผลที่ได้จะเป็นข้อมูลภาพ ROI ที่บริเวณความเข้มแสงสูงมีค่าเท่ากับ 0 ตามรูปที่ 3.15 (b)



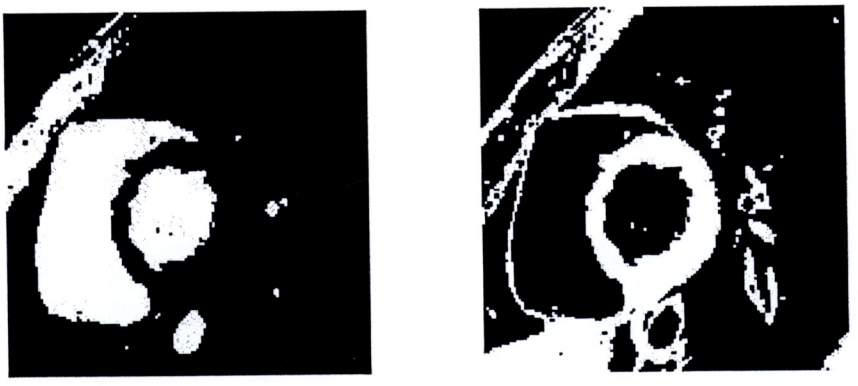
(a) (b)

รูปที่ 3.15 หน้ากากของภาพไบนารีที่ได้จากการกลับส่วน (a) และภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจหลังจากเอาบริเวณที่มีค่าความเข้มแสงสูงออก (b)

- การตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่สอง (2^{nd} Thresholding)

เมื่อได้ภาพที่ถูกตัดข้อมูลที่มีค่าความเข้มแสงสูงออกแล้ว นำภาพที่ได้แปลงเป็นภาพไบนารีอีกครั้งด้วยค่าเทรสโฮลด์ครอบคลุมเช่นเคย ซึ่งค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในครั้งที่สอง จะเปลี่ยนไปโดยมีค่าที่น้อยลงกว่า ค่าเทรสโฮลด์ในครั้งแรก เนื่องจากข้อมูลภาพส่วนที่มีค่าความสว่างสูงๆถูกตัดออกไป ทำให้ค่าความสว่างในแต่ละจุดภาพมีความห่างกันน้อยลง สามารถใช้การหาค่าเทรสโฮลด์แบบอัตโนมัติ หรือเรียกว่าวิธี Otsu's Thresholding [38] ในขั้นตอนนี้ได้ บริเวณกล้ามเนื้อหัวใจหรือส่วนที่เราต้องการจะเด่นชัดขึ้นมาดังรูปที่ 3.16 เมื่อเปรียบเทียบกับภาพ 3.12 (b) จะเห็นความแตกต่างของการตัดเทรสโฮลด์ ครั้งที่ 1 และ 2 อย่างชัดเจน

รูปที่ 3.16 ผลหลังจากการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่สอง



รูปที่ 3.17 ผลเปรียบเทียบระหว่างการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่หนึ่งและสอง

3.2.3.2 เลือกบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจ (LV myocardium area selection)

เมื่อได้บริเวณที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจที่ชัดเจนแล้ว จะพบว่ามีเนื้อเยื่อส่วนต่อกับหัวใจห้องล่างขวาอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่เราไม่ต้องการ ทำการแยกกลุ่มจุดภาพที่เราไม่ต้องการนี้โดยใช้การกระทำทางโครงสร้างสัณฐาน ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 เพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกจากพื้นที่เป้าหมาย โดยการนำตัวประกอบโครงสร้าง มากระทำการกับภาพที่ผ่านการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่สอง ตามสมการที่ 3.1 ตัวประกอบโครงสร้างที่ใช้ คือ ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้น และใช้การ กระทำโครงสร้างสัณฐานของภาพไบนารีแบบเปิดตามสมการ

$$B_n = F * d_n \tag{3.1}$$

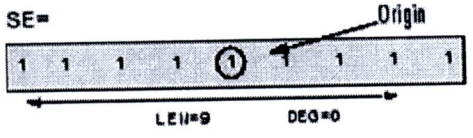
เมื่อ F คือ ภาพ ไบนารีจากการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่สอง

d_n คือ ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้น

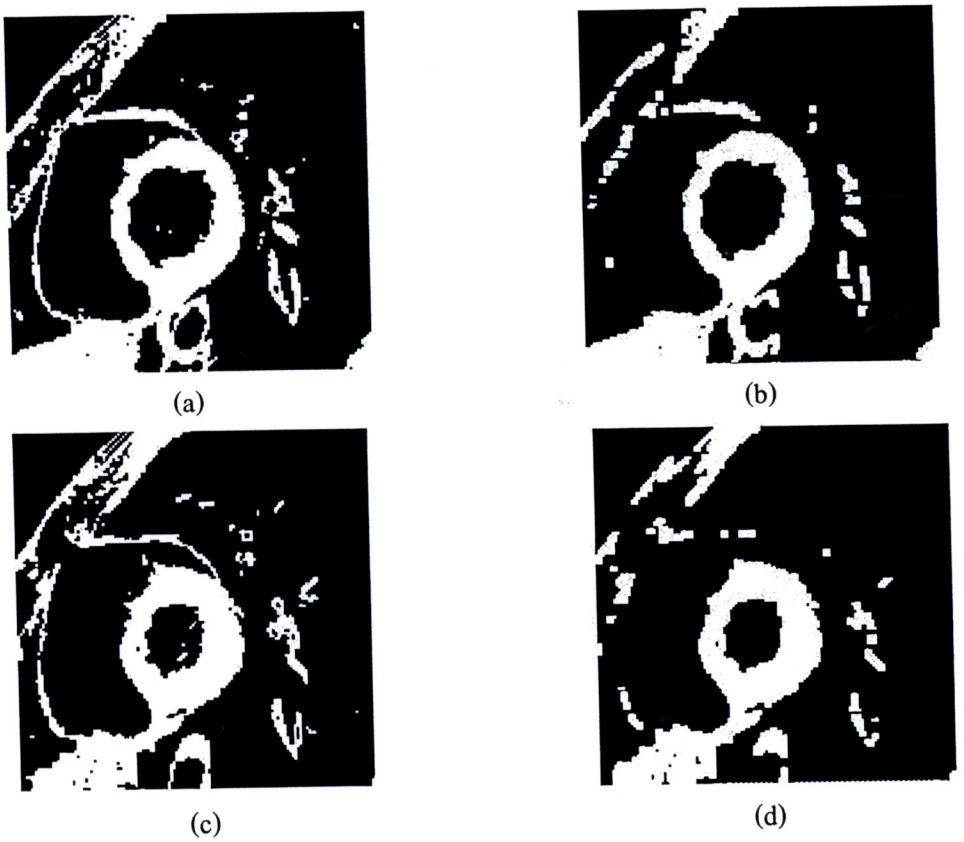
B_n คือ ภาพที่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดย d_n

$*$ คือ ตัวกระทำการแบบเปิด

ตัวกระทำการแบบเปิดใช้เพื่อลบมุม ลบส่วนที่ยื่นออกมาจากข้อมูลภาพที่เราไม่ต้องการ จากรูปที่ 3.14 ภาพไบนารี จากการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่สองส่วนที่ต้องการคือส่วนที่มีลักษณะเป็นวงแหวน ซึ่งหมายถึงกล้ามเนื้อหัวใจ แต่ภาพที่ได้หลังจากการตัดเทรสโฮลด์ครั้งที่สองยังคงมีส่วนอื่นติดอยู่ จึงใช้การกร่อนภาพเพื่อลบจุดภาพที่ไม่ต้องการ จะทำให้จุดภาพที่มีขนาดเล็กกว่าตัวประกอบโครงสร้างถูกลบออกไปและตามด้วยการขยายภาพเพื่อให้ขนาดของภาพและจุดภาพ ในพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจยังคงอยู่ตามเดิม การกระทำการทั้งสองแบบนี้ตามลำดับก็คือการกระทำการแบบเปิดนั่นเอง



รูปที่ 3.18 ตัวประกอบโครงสร้างเส้นตรง
(ที่มา: http://www.mathworks.com)



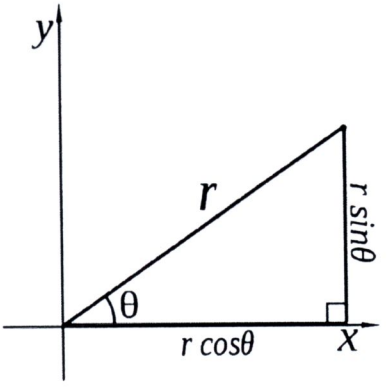
รูปที่ 3.19 การกระทำการเปิดจุดภาพโดยใช้ โครงสร้างแบบเส้น
(a) และ (c) คือภาพไบนารีจากเฟรมที่ต่างกัน
(b) และ (d) คือภาพที่ถูกกระทำการแล้ว

3.2.3.3 แยกส่วนกล้ามเนื้อหัวใจด้วยการขยายจุดภาพ (Myocardium separation by region growing)

การหาขอบของเยื่อหุ้มหัวใจนั้น ขณะที่ภาพมีลักษณะเป็นวงแหวนที่ยังมีจุดภาพส่วนอื่นคงอยู่ การหาขอบจะทำได้ลำบาก ในส่วนนี้จะเลือกแต่พื้นที่เป้าหมายโดยวิธีการขยายจุดภาพเพื่อหาพื้นที่ส่วนเดียวกัน ในงานวิจัยนี้เราได้แนวคิดการหาพื้นที่ที่ต้องการโดยการแปลงภาพให้อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว [45] ก่อนการขยายจุดภาพ การหาพื้นที่เฉพาะที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจ มีขั้นตอนดังนี้

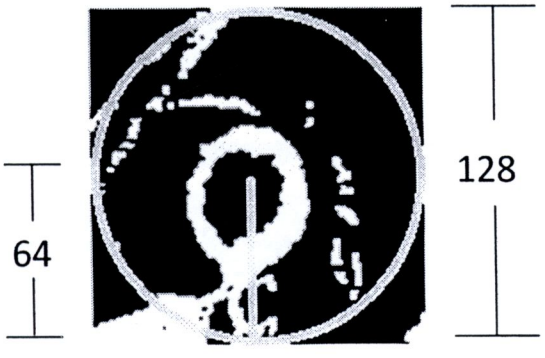
- เปลี่ยนพิกัดของภาพให้อยู่บนพิกัดเชิงขั้ว

ทำการแปลงพิกัดของภาพจากพิกัดคาร์ทีเซียนไปเป็นพิกัดเชิงขั้วสองมิติหรือกล่าวได้อีกนัย คือการแปลงพิกัดให้อยู่ในพิกัดวงกลมนั่นเองโดยเป็นไปตามหลักการแปลงพิกัดทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนและพิกัดเชิงขั้ว
(ที่มา:http://en.wikipedia.org/wiki/Polar_coordinate_system)

แปลงพิกัดภาพโดยกำหนดรัศมีการกวาดของวงกลมเท่ากับรัศมีของภาพในพิกัดคาร์ทีเซียนดังรูปที่ 3.21



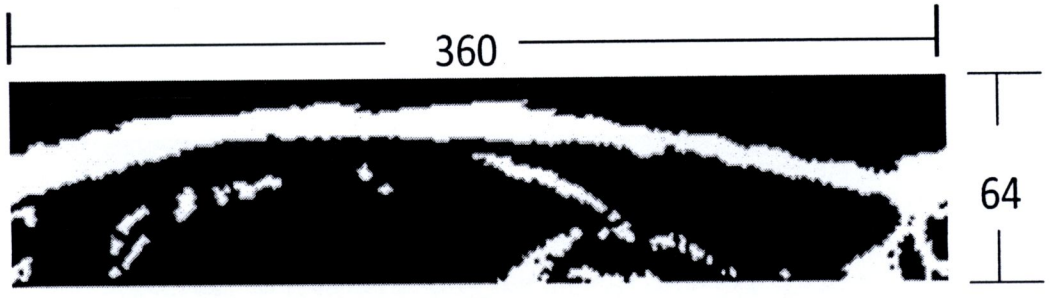
รูปที่ 3.21 การหารัศมีจากภาพบนพิกัดคาร์ทีเซียน

สมการการแปลงพิกัดคือ

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \tag{3.2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} \tag{3.3}$$

ทำให้ภาพบนพิกัดเชิงขั้วมีขนาด 64 x 360 จุดภาพ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ภาพจากการแปลงพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว

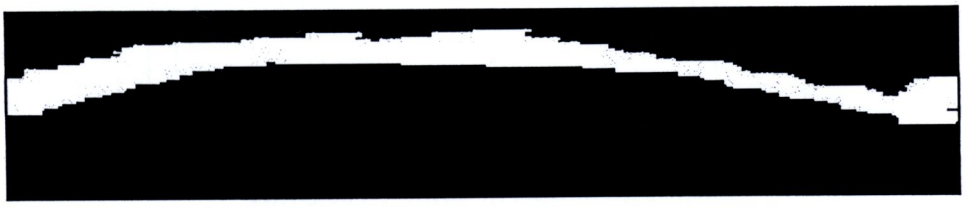
- กำจัดจุดภาพที่ไม่ต้องการ

เมื่อทำการแปลงพิกัดมาเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 3.20 จะเห็นว่ายังคงมีส่วนที่เกินออกมาจากพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจ เราสามารถใช้เทคนิคการกระทำกับโครงสร้างสัณฐาน เพื่อลบจุดภาพส่วนเกินเช่นเดียวกับขั้นตอน 3.2.3.2 การเลือกบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจได้ โดยใช้ตัวกระทำการแบบเปิด และใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้นเช่นเดียวกัน ผลที่ได้ดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 การกระทำการเปิดจุดภาพโดยใช้โครงสร้างแบบเส้น

- การขยายจุดภาพ (Region Growing)

ทำการเลือกเฉพาะแถบพื้นที่ที่สนใจโดยใช้การขยายจุดภาพ โดยปกติวิธีการขยายจุดภาพอาจกำหนดจุดภาพเริ่มต้น (Seed) แค่เพียงจุดเดียวก็ได้ แต่ในงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดการกำหนดจุดภาพเริ่มต้นหลายๆจุดเพื่อให้ได้พื้นที่เป้าหมายทั้งหมด [5] เพื่อแก้ปัญหาสำหรับภาพที่มีพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจไม่ต่อเนื่องกันเป็นแถบยาว จึงกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับขยายจุดภาพ 10 จุดห่างกันจุดละ 36 จุดภาพ และใช้ขอบด้านในของกล้ามเนื้อหัวใจซึ่งก็คือเยื่อบุหัวใจ เป็นจุดภาพเริ่มต้นซึ่งจะอยู่ด้านบนสุดของภาพบนพิกัดเชิงขั้ว ได้ผลดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ผลจากการแยกส่วนบริเวณที่ต้องการโดยวิธีการขยายจุดภาพบนพิกัดเชิงขั้ว

3.2.3.4 ตรวจจับรูปร่างของเยื่อหุ้มหัวใจ (Detect Epi-Cardium Contour)

หลังจากได้พื้นที่ส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจแล้ว ส่วนของเยื่อหุ้มหัวใจก็คือเส้นขอบล่างของแถบพื้นที่นั่นเอง มีขั้นตอนต่อไปดังนี้

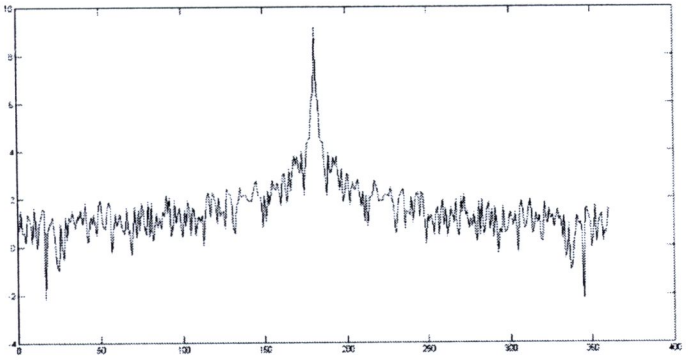
- การตรวจจับเส้นขอบ (Edge detection)

ตำแหน่งที่ต้องการเพื่อใช้ในการแสดงรูปร่างขอบนอกของกล้ามเนื้อหัวใจหรือเยื่อหุ้มหัวใจนั้นคือขอบด้านล่างของแถบพื้นที่สามารถหาได้โดยการหาขอบของแถบพื้นที่และเลือกเฉพาะขอบล่าง โดยจะเห็นว่าเส้นขอบของข้อมูลจะมีความขรุขระ

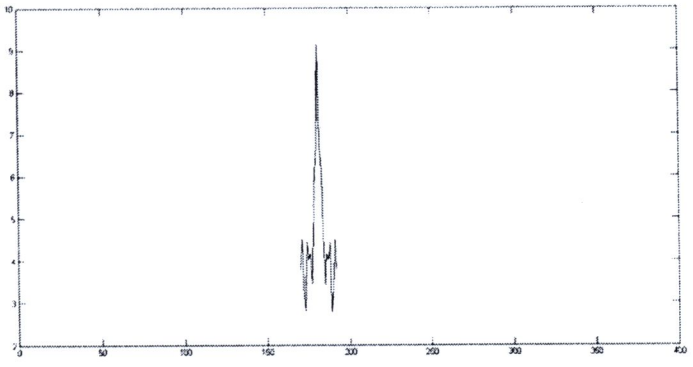
รูปที่ 3.25 เส้นขอบล่างของแถบพื้นที่จากรูปที่ 3.24

- ปรับเส้นขอบข้อมูลให้มีความเรียบ

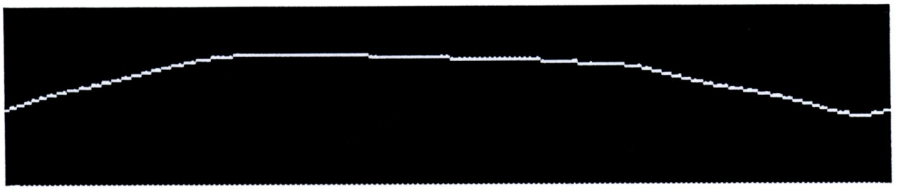
สามารถทำให้เส้นขอบมีความเรียบมากขึ้น ด้วยการใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน พิจารณาจากราฟรูปที่ 3.26 และ 3.27 ผลที่ได้ทำให้เส้นข้อมูลมีความเรียบขึ้นดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.26 กราฟแสดงความถี่ของเส้นขอบ



รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความถี่ของเส้นขอบหลังกรองความถี่ต่ำผ่าน



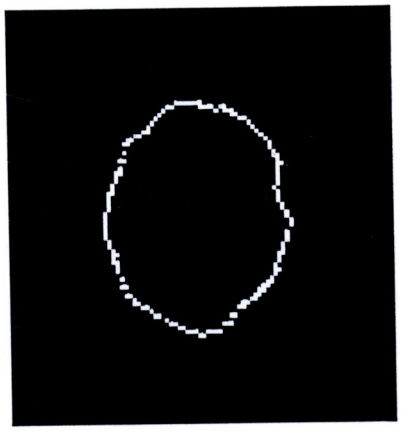
รูปที่ 3.28 เส้นขอบที่ผ่านการกรองความถี่

- แปลงภาพจากพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดคาร์ทีเซียน (Reverse into Cartesian coordinates)

เมื่อได้เส้นรูปร่างของเยื่อหุ้มหัวใจแล้ว ทำการแปลงพิกัดจากเชิงขั้วสองมิติ หรือพิกัดวงกลมให้กลับมาอยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียนตามเดิม สามารถหาค่าได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 3.20 ได้สมการการแปลงพิกัดดังนี้

$$x = r \cos \theta \quad (3.4)$$

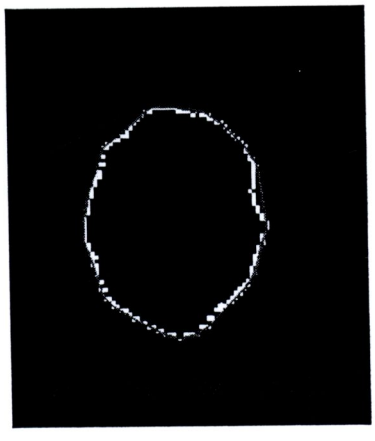
$$y = r \sin \theta \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.29 ผลการแปลงภาพจากพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดคาร์ทีเซียน

- คอนเวกซ์ ฮัล

จากเหตุผลเดียวกับการหาขอบด้านในของกล้ามเนื้อหัวใจ เพื่อให้แน่ใจว่าเส้นขอบที่หาได้นั้นจะครอบคลุมพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจทั้งหมด จึงใช้ คอนเวกซ์ ฮัล ช่วยประเมินหาขอบเขต ที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดจริง แสดงดังรูปที่ 3.30

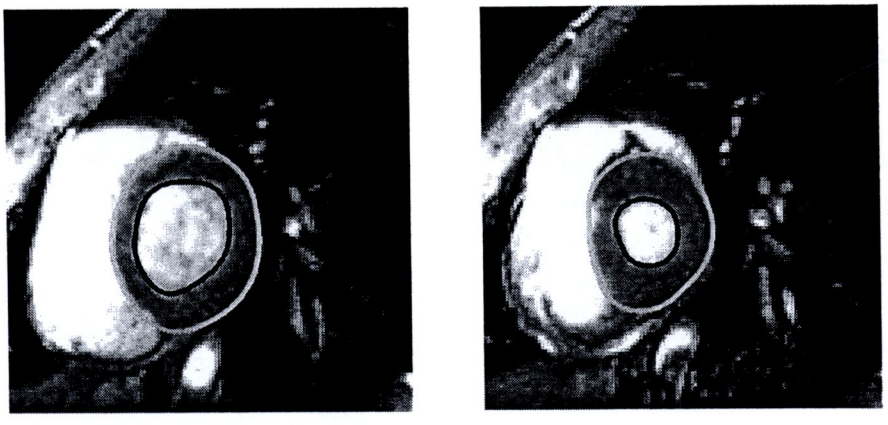


รูปที่ 3.30 เส้นขอบด้านนอกที่ได้จากการทำ คอนเวกซ์ ฮัล

- แอ็คทีพคอนทัวร์โมเดล (สเนค)

สเนค ช่วยให้เส้นขอบ คอนเวกซ์ ฮัล มีความโค้งงอเข้ากับกล้ามเนื้อหัวใจ โดยใช้เส้น คอนเวกซ์ ฮัล ดังรูปที่ 3.30 เป็นขอบเขตเริ่มต้น เพื่อทำให้การทำงานของสเนคไม่มีผลกระทบกับเวลาในการประมวลผลจนเกินไป โดยมีแรงที่กระทำกับเส้นขอบ ได้แก่ แรง E_{cont} ที่ทำให้ สเนค มีความยืดหยุ่นและมีแนวโน้มเป็นรูปวงกลมแปรตามค่าที่กำหนด E_{curv} แรงที่ทำให้รูปร่าง สเนค มีความโค้งงอ และ แรงบอลลูน ที่เกิดจากแรงผลักภายในที่พยายามรักษาโครงสร้างไว้

รูปที่ 3.31 แสดงเส้นขอบเยื่อหุ้มหัวใจ



รูปที่ 3.32 แสดงเส้นขอบเยื่อหุ้มและเยื่อบุหัวใจห้องล่างซ้ายที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ

(a) ขณะหัวใจคลายตัวมากสุด (End-Diastolic)

(b) ขณะหัวใจบีบตัวมากสุด (End-Systolic)