

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247128



การตรวจฉบับแก้ไขเพิ่มเติมระเบียบของวิธีให้สิ่งต่างเข้าโดยใบกำกับภาษีแบบแนบยื่นแม่พิมพ์

นางสาวรุจิราภรณ์ นิลสันตารักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของผลงานที่พิมพ์ตามหลักสมุด
ปริญญานิพนธ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2553

600252442

247128

การตรวจจับเชื้อหุ้มและเชื้อบุของหัวใจห้องล่างซ้ายโดยใช้ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็ก

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



247128

นางสาวรุจิพัชญ์ นิธิสันถวะคุปต์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553

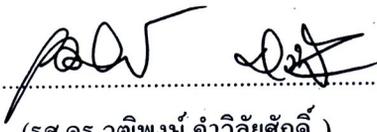


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



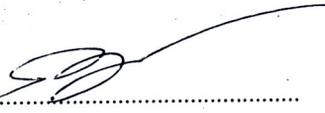
(ผศ.ดร.วีรพล จิรจรีต)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิสัยศักดิ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(ดร.บุทธพงษ์ จิรรัชโยธิน)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



(ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุของหัวใจห้องล่างซ้ายโดยใช้ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็ก
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวรุจิพัชญ์ นิธิสันถวะคุปต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. วุฒิพงษ์ คำวิไลศักดิ์ ดร.ยุทธพงษ์ จิรรัักษ์โสภากุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

บทคัดย่อ

247128

การถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กของหัวใจ (Cardiac magnetic resonance imaging หรือ CMRI) เป็นการวิเคราะห์ทางการแพทย์สำหรับหัวใจวิธีหนึ่ง ที่ไม่มีการกระทำการใดๆ กับหัวใจโดยตรง (Non-invasive test) เป็นวิธีที่ช่วยให้แพทย์วินิจฉัยและรักษาอาการที่เกี่ยวข้องกับภาวะหัวใจล้มเหลวได้ การวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจสามารถวิเคราะห์ได้จากบริเวณเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardium) จากกรณีที่ศึกษานี้ จะพิจารณาจากบริเวณส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งการระบุเยื่อหุ้ม (Epi-cardium) และเยื่อบุของหัวใจ (Endo-cardium) ได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ จะช่วยให้การวินิจฉัยโรคเป็นไปอย่างรวดเร็วและผู้ป่วยสามารถเข้ารับการรักษาได้อย่างถูกต้องทันต่วงที งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงวิธีและกระบวนการสำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุของหัวใจห้องล่างซ้าย จากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็ก โดยได้แนวคิดจากวิธีดับเบิลเทรชโฮลด์ (Double threshold) สำหรับเยื่อบุของหัวใจสามารถหาได้อย่างรวดเร็วจากการหาพื้นที่ของโพรงหัวใจห้องล่างซ้าย (left ventricular chamber) ส่วนเยื่อหุ้มหัวใจจะใช้วิธีการขยายจุดภาพ (Region growing) โดยกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับขยายจุดภาพจากขอบเยื่อชั้นในของหัวใจ และทำการขยายจุดภาพบนพิกัดเชิงขั้ว เพื่อหาบริเวณที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจทั้งหมด จากการทดลองใช้ข้อมูลภาพถ่ายหัวใจในแนวระนาบตัดขวาง (short-axis) จำนวน 140 ตัวอย่าง ค่าที่นิยมใช้ในการประเมินอาการผิดปกติของหัวใจ คือ ค่าบ่งชี้ความสามารถในการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ (Ejection Fraction หรือ EF) สำหรับในงานวิจัยนี้จากผลการทดลองที่ได้ ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของค่า EF เท่ากับร้อยละ 97.72 ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของมวลกล้ามเนื้อหัวใจเท่ากับร้อยละ 95.65 และใช้เวลาประมวลผลเท่ากับ 2.01 และ 0.43 วินาที สำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อบุของหัวใจห้องล่างซ้ายตามลำดับ

คำสำคัญ : หัวใจห้องล่างซ้าย / กล้ามเนื้อหัวใจ/ ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก/ การขยายจุดภาพ / ระบาย
ตัดขวาง

Thesis Title	Detection of epi-and endo-cardium using MR images
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Rujiphat Nitisantawakup
Thesis Advisors	Assoc. Prof. Dr. Wuttipong Kumwilaisak Dr. Yuttapong Jiraraksopakun
Program	Master of Engineering
Field of Study	Electrical Engineering
Department	Electronics and Telecommunication Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

Abstract

247128

Cardiac magnetic resonance imaging (CMRI) is a non-invasive medical test that helps physicians diagnose and treat medical conditions for heart failure. Diagnosis of heart disease can be determined by the myocardium tissue. A fast and automatic detection of epi - and endo - cardium contour can help doctor diagnose heart disease quickly. This research is aimed to improve the methods to detect epi-and endo-cardium contours on short-axis cardiac magnetic resonance (CMR) images based on the combined methods motivated from a double thresholding. It rapidly detects endo-cardium contour and left ventricular (LV) chamber region. Using the endo-cardium contour as initial seeds, the algorithm applies region growing of the LV in polar coordinates to achieve a reasonable epi-cardium contour. Data sets include 140 short-axis slice CMR images. The most reliable parameter for diagnosing heart disease in this paper is Ejection Fraction (EF). From experimental results, the proposed algorithm gives 97.72 percent accuracy EF compared to the ground truth and 95.65 percent accuracy of mass myocardium. The total time of detection is approximately 2.01 and 0.43 seconds per image frame for epi - and endo - cardium contours, respectively.

Keywords : Left Ventricular / Myocardium/ Cardiac Magnetic Resonance / Region Growing / Short-axis

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิสัยศักดิ์ และ ดร.ยุทธพงษ์ จิรรักษ์โสภาค อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ท่านได้สละเวลาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ปัญหา แนวทางในการทำงานวิจัย รวมทั้งแนวทางการดำเนินชีวิต อันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วีรพล จิรจิต อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ดร.ยศชนัน วงสสวัสดิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ไพรัช สายวิรุณพร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับคำแนะนำและแหล่งข้อมูลในการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน และให้คำแนะนำตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณพี่สาว พี่ชาย เพื่อน รุ่นพี่ และ รุ่นน้องทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในทุกเรื่อง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฐ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฑ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ประเภทและหลักการถ่ายภาพทางการแพทย์	5
2.2 โครงสร้างหัวใจและการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับหัวใจ จากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ	14
2.3 ระบบสารสนเทศในการจัดเก็บภาพถ่ายทางการแพทย์	26
2.4 การประเมินและวินิจฉัยอาการผิดปกติจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ	27
2.5 การประมวลผลภาพทางการแพทย์	29
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47

3. แนวคิด การออกแบบอัลกอริธึม และขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการตรวจจับ	49
 เยื่อหุ้มและเยื่อของหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ	
3.1 แนวคิดและการออกแบบอัลกอริธึมสำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อของหัวใจ	49
ห้องล่างซ้ายจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ	
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อของหัวใจห้องล่างซ้าย	52
ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ	
4. ผลการทดสอบ	68
4.1 ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจที่ใช้ในการทดสอบ	68
4.2 ข้อจำกัดของระบบ	68
4.3 ผลการทดสอบ	69
4.4 การประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูล	71
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการทดสอบ	73
5.2 แนวทางการพัฒนา	74
เอกสารอ้างอิง	75
ประวัติผู้วิจัย	83

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	เปรียบเทียบค่า EDV, ESV, EF และ MASS ระหว่างข้อมูลแท้จริง และวิธีที่นำเสนอ	71
4.2	เวลาประมวลผลสำหรับการตรวจจับเชื้อหุ้มและเชื้อบุหัวใจห้องล่างซ้าย	72

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
1.1	ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กของหัวใจห้องล่างซ้าย	2
2.1	การตรวจหัวใจแบบผ่านทางผนังทรวงอกด้านนอก	6
2.2	การตรวจหัวใจแบบผ่านทางหลอดอาหาร	6
2.3	ภาพถ่ายหัวใจห้องซ้ายด้วยระนาบตัดขวางจากการตรวจแบบคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูง	7
2.4	ลักษณะการถ่ายภาพผู้ป่วยด้วยเครื่องซีที	8
2.5	การทำงานของเครื่องซีทีหัวอ่านจะหมุนไปรอบๆร่างกายเพื่อเก็บข้อมูล	8
2.6	ภาพถ่ายหัวใจด้วยวิธีซีที	8
2.7	ภาพถ่ายหัวใจระนาบตัดขวางด้วยวิธีซีที	9
2.8	การถ่ายภาพระดับชีวะเคมีในเซลล์ด้วยเครื่องเพ็ท	10
2.9	ตัวอย่างภาพเพ็ทบริเวณหัวใจ	10
2.10	ภาพถ่ายเพ็ทสแกนอาการกล้ามเนื้อหัวใจพองโตแบบไม่ทราบสาเหตุ	10
2.11	ลักษณะการถ่ายภาพด้วยเครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก	11
2.12	การจัดเรียงตัวของอะตอมไฮโดรเจน	13
2.13	ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กของหัวใจตัดระนาบแนวขวางลำตัว	13
2.14	ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจตัดระนาบหมุนรอบแกนหัวใจ	14
2.15	โครงสร้างของหัวใจมนุษย์	15
2.16	การตัดหัวใจระนาบตามยาวและตามขวางเพื่อถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก	16
2.17	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจตามแนวยาว	17
2.18	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจตามแนวตัดขวาง	17
2.19	ภาพจำลองลักษณะของการตัดตามขวางของหัวใจ	17
2.20	ภาพหัวใจระนาบตามยาวขณะบีบตัวและคลายตัว	18
2.21	ภาพหัวใจระนาบตัดขวางขณะบีบตัวและคลายตัว	19
2.22	ภาพเอชอีแพทเทิร์นของอาการกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด	20
2.23	ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดบริเวณใต้เยื่อหัวใจ	20
2.24	ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดบริเวณใต้ผนังหัวใจ	21
2.25	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจของผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตาย	21
2.26	ภาพเอชอีแพทเทิร์นความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นกลาง	22
2.27	ภาพเอชอีแพทเทิร์นความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้ม	22
2.28	ภาพเอชอีแพทเทิร์นความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อ	22

2.29	ลักษณะภาวะกล้ามเนื้อหัวใจพองโต	23
2.30	ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจที่มีภาวะกล้ามเนื้อหัวใจพองโต	23
2.31	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กการเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบบริเวณ กล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้มและชั้นกลาง	24
2.32	การเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจหนา	24
2.33	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจที่มีภาวะหนา	25
2.34	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจที่มีภาวะซาร์คอยโดซิส	25
2.35	ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้มที่มีภาวะแอมิโลยด์โดซิส	26
2.36	ตัวอย่างข้อมูลส่วนหัวของ DICOM	27
2.37	การเลือกค่าขนาดของจุดภาพจากส่วนหัวของ DICOM	28
2.38	การเลือกค่าความหนาสไลด์จากส่วนหัวของ DICOM	28
2.39	ขอบเขตการเลือกพื้นที่เป้าหมาย (Region of interest)	30
2.40	การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพไบนารี โดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 128 และใช้ค่าเทรชโฮลด์อัตโนมัติจาก Otsu's thresholding	31
2.41	ผลจากการแปลงภาพไบนารีด้วยวิธีกำหนดค่าเทรชโฮลด์สองระดับ	32
2.42	ตัวประกอบโครงสร้างรูปงานขนาด 3 หน่วย	33
2.43	การขยายวัตถุภายในภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ โดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้น	34
2.44	การกร่อนวัตถุบนภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจโดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้น	35
2.45	ภาพตัวอย่างการปิดวัตถุ	35
2.46	การปิดวัตถุบนภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจโดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบงาน	36
2.47	การเปิดวัตถุบนภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจโดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบงาน	36
2.48	ผลจากการปิดภาพระดับสีเทานภาพถ่ายคลื่นเสียงความถี่สูง	37
2.49	ผลจากการกร่อนภาพไบนารี	37
2.50	ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน	38
2.51	ระบบพิกัดเชิงขั้วสองมิติ หรือวงกลม	38
2.52	การแปลงภาพอัลตราซาวด์หัวใจจากพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว	39
2.53	การกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับการขยายจุดภาพโดยวิธี Multi-Seeded Region Growing	40
2.54	ผลการทดลองจากวิธี Multi-Seeded Region Growing ในกรณีที่มีความเข้มแสงในแต่ ละจุดภาพมีความแปรปรวน	40
2.55	การทำโพรงหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพซีทีโดยใช้การขยายจุดภาพ	41
2.56	การแปลงภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจจากพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว	41

2.57	ผลจากการขยายจุดภาพ	41
2.58	ลักษณะการขยายจุดภาพโดยใช้วิธีขยายจุดภาพบนภาพไบนารี	42
2.59	บริเวณของคอนเวกซ์ เซ็ท จะถูกล้อมด้วยคอนเวกซ์ ฮัล	43
2.60	ผลจากการทำคอนเวกซ์ ฮัล ของพื้นที่โพรงหัวใจห้องซ้าย	43
2.61	เส้นขอบระหว่างผลการขยายจุดภาพเพียงอย่างเดียวกับการทำคอนเวกซ์ ฮัล	43
2.62	แสดงหลักการทำงานของสเนค	44
2.63	พารามิเตอร์อธิบายรูปร่างสเนค	45
2.64	ภาพแสดงขั้นตอนการหาเยื่อหัวใจด้วยวิธี Stochastic Active Contour Scheme (STAC)	46
3.1	ตัวอย่างภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจและภาพไบนารี	49
3.2	แผนภาพอัลกอริทึมโดยรวมทั้งหมดของระบบในการตรวจจับกล้ามเนื้อหัวใจ	50
3.3	บริเวณโพรงหัวใจห้องล่างซ้ายซ้อนทับหรือใกล้กับจุดศูนย์กลางของภาพ ROI	51
3.4	การหาขอบเขตที่ครอบคลุมพื้นที่ด้วยคอนเวกซ์ ฮัล	52
3.5	การกำหนดขอบเขตแบบสมมาตร	53
3.6	พื้นที่เป้าหมาย (ROI) จากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็ก	53
3.7	อัลกอริทึมในส่วนการตรวจจับเยื่อหุ้มและเยื่อหัวใจห้องล่างซ้าย	54
3.8	ภาพก่อนและหลังการทำเทรสโพลด์ครอบคลุม	54
3.9	ผลจากการลบพื้นที่ที่มีจำนวนจุดภาพน้อยกว่าที่กำหนด	55
3.10	ผลจากการเลือกพื้นที่เป้าหมายที่มีส่วนซ้อนทับกับจุดศูนย์กลางของภาพ	56
3.11	แสดงเส้นเยื่อหัวใจของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายและเส้นขอบที่ได้จากการทำ คอนเวกซ์ ฮัล	56
3.12	เส้นขอบที่ได้จากการทำคอนเวกซ์ ฮัล และผลจากการทำสเนค	57
3.13	อัลกอริทึมในส่วนการตรวจจับเยื่อหุ้มหัวใจห้องล่างซ้าย	58
3.14	ผลจากการทำการตัดเทรสโพลด์ครั้งที่หนึ่ง	58
3.15	หน้ากากของภาพไบนารีที่ได้จากการกลับส่วนและภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ หลังจากเอาบริเวณที่มีค่าความเข้มแสงสูงออก	59
3.16	ผลหลังจากการตัดเทรสโพลด์ครั้งที่สอง	60
3.17	ผลเปรียบเทียบระหว่างการตัดเทรสโพลด์ครั้งที่หนึ่งและสอง	60
3.18	ตัวประกอบ โครงสร้างเส้นตรง	61
3.19	การกระทำการเปิดจุดภาพโดยใช้โครงสร้างแบบเส้น	61
3.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนและพิกัดเชิงขั้ว	62
3.21	การหารัศมีจากภาพบนพิกัดคาร์ทีเซียน	62
3.22	ภาพจากการแปลงพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว	63

3.23	การกระทำการเปิดจุดภาพโดยใช้โครงสร้างแบบเส้น	63
3.24	ผลจากการแยกส่วนบริเวณที่ต้องการ โดยวิธีการขยายจุดภาพบนพิกัดเชิงขั้ว	64
3.25	เส้นขอบล่างของแถบพื้นที่จากรูปที่ 3.24	64
3.26	กราฟแสดงความถี่ของเส้นขอบ	65
3.27	กราฟแสดงความถี่ของเส้นขอบหลังกรองความถี่ต่ำผ่าน	65
3.28	เส้นขอบที่ผ่านการกรองความถี่	65
3.29	ผลการแปลงภาพจากพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดคาร์ทีเซียน	66
3.30	เส้นขอบด้านนอกที่ได้จากการทำ คอนเวกซ์ ฮัล	66
3.31	แสดงเส้นขอบเชื่อมต่อหัวใจ	67
3.32	แสดงเส้นขอบเชื่อมต่อและเชื่อมหัวใจห้องล่างซ้ายที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ	67
4.1	ตัวอย่างภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจที่ใช้ทดสอบ	68
4.2	ตัวอย่างผลการตรวจจับเชื่อมต่อหัวใจห้องล่างซ้าย	69

รายการสัญลักษณ์

* = Operation

\oplus = Union

\ominus = Intersection

ประมวลศัพท์และคำย่อ

CMR	=	Cardiac Magnetic Resonance
CRT	=	Cathode Ray Tube
CT	=	Computed Tomography
cc	=	cubic centimeter
DICOM	=	Digital Imaging and Communications in Medicine
D_{Myo}	=	The specific density of myocardial tissue
EDV	=	End – Diastolic Volume
EF	=	Ejection fraction
ESV	=	End – Systolic Volume
g	=	gram
HE	=	Hyper Enhancement
LA	=	Long Axis
LV	=	Left Ventricular
MRI	=	Magnetic Resonance Imaging
MSRG	=	Multi-Seeded Region Growing
mL	=	millilitre
mm	=	millimeter
PACS	=	Picture Archiving and Communication System
PET	=	Positron Emission Tomography
PET- CT	=	Positron Emission and Computed Tomography
SA	=	Short Axis
STAC	=	Stochastic Active Contour Scheme
V	=	Volume
V_{Epi}	=	Epicardial volume
V_{Endo}	=	Endocardial volume
X-ray	=	X-radiation