



การวิจัยเกี่ยวกับภาพอุตสาหกรรมน้ำมันที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย
โดยนายเกรียงไกร กุลทรัพย์ ไร่ชัยวิเศษ-โกลด์นัมบรอน

นายชวลิตกฤษณ์ หุ่นคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
คณะวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ฉบับที่ 1 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

600252400

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



247792

การสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง
โดยวงจรรองเร็กกูลาร์ไรซ์ซาวิกส์-โกเลย์แบบวน



นายพลกฤษณ์ ทุนคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 8 7 1 8 6 9 6 2 1

3D ULTRASOUND IMAGE RECONSTRUCTION OF CAROTID ARTERY BIFURCATIONS
BY CYCLIC REGULARIZED SAVITZKY-GOLAY FILTERS

Mr. Pollakrit Toonkum

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณ ลำคอที่แยกออกเป็นสองทางโดยวงจรกรองเร็กกูลาร์ไรซ์ชาวิสกี-โกเลย์ แบบวน
โดย	นายพลกฤษณ์ ทุนคำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ พญ.นิจศิริ ชาญณรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนันทวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยากร อัครวิเศษ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ พญ. นิจศิริ ชาญณรงค์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุพัฒน์ เลื้อยทวิเกียรติ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.สรพฤทธิ์ มฤคทัต)

พลกฤษณ์ ทุนคำ : การสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณ
ลำคอที่แยกออกเป็นสองทางโดยวงจรรองเร็กกูลาร์ไรซ์ซาวิตสกี-โกเลย์แบบวน (3D UL-
TRASOUND IMAGE RECONSTRUCTION OF CAROTID ARTERY BIFURCATIONS
BY CYCLIC REGULARIZED SAVITZKY-GOLAY FILTERS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก : รศ.ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ศ.พญ.นิจศรี ชาญณรงค์,
108 หน้า.

247792

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติของหลอดเลือดแดง
บริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางจากชุดภาพอัลตราซาวนด์สองมิติที่ได้จากการสแกนภาพแบบเชิง
เส้นทางกล ระเบียบวิธีการสร้างกลับที่ได้พัฒนาขึ้นมาในวิทยานิพนธ์นี้แตกต่างจากระเบียบวิธีการ
สร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติแบบอื่นๆ ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาก่อนในแง่ที่ว่าระเบียบวิธีแบบเก่า
ได้ถูกพัฒนาและประเมินสมรรถนะในขอบข่ายงานของการสแกนแบบถ้อยอิสระ ในขณะที่ระเบียบวิธี
แบบใหม่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติความสม่ำเสมอของชุดภาพที่ได้จากการสแกน
แบบเชิงเส้นทางกล ซึ่งช่วยให้เวลาที่ใช้ในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติมีความรวดเร็วขึ้น
เราเรียกระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติแบบใหม่ที่จะได้นำ เสนอว่าวงจรรอง
เร็กกูลาร์ไรซ์ซาวิตสกี-โกเลย์แบบวน โดยวงจรรองดังกล่าวเป็นวงจรรองที่พัฒนาขึ้นจากระเบียบวิธี
ของวงจรรองซาวิตสกี-โกเลย์ต้นแบบในสองประเด็น ประเด็นแรกคือฟังก์ชันชั่งบอกการวนได้ถูกพัฒนา
และนำมารวมเข้ากับฟังก์ชันแบบกำลังสองน้อยสุดเพื่อทำให้วงจรรองแบบใหม่นี้สามารถลดทอน
สัญญาณรบกวนแบบจุด ณ ตำแหน่งที่มีข้อมูลของจุดภาพ พร้อมทั้งสามารถประมาณค่าในช่วงข้อ-
มูลที่ไม่สม่ำเสมอ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูลของจุดภาพ ประเด็นที่สองคือฟังก์ชันในการเร็กกูลาร์ไรซ์จะ
ถูกพัฒนาและนำมารวมเข้ากับฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุดเพื่อ ให้วงจรรองแบบใหม่นี้สามารถถ่วงดุล
กันระหว่างระดับการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุดและระดับในการรักษารายละเอียดของภาพ ใน
การประเมินสมรรถนะของวงจรรองเร็กกูลาร์ไรซ์ซาวิตสกี-โกเลย์แบบวนนี้วงจรรองดังกล่าวได้ถูกนำ
มาประยุกต์ใช้ในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออก
เป็นสองทางเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติที่นิยมใช้กัน ผลการ
ทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรรองเร็กกูลาร์ไรซ์ซาวิตสกี-โกเลย์แบบวนที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้มีประสิทธิภาพ
ทั้งในด้านการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุด และการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติที่ดีกว่า
ระเบียบวิธีอื่นๆ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต พลกฤษณ์ ทุนคำ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 10/11/2553
ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม 21/11/2553

4871869621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : SAVITZKY-GOLAY FILTERS / REGULARIZATION / RECONSTRUCTION /
SPECKLE REDUCTION / 3D ULTRASOUND IMAGES /

POLLAKRIT TOONKUM : 3D ULTRASOUND IMAGE RECONSTRUCTION OF
CAROTID ARTERY BIFURCATIONS BY CYCLIC REGULARIZED SAVITZKY-
GOLAY FILTERS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHEDSADA CHINRUNG-
RUENG, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. NIJASRI CHANNARONG, M.D.,
108 pp.

247792

This dissertation presents a new three-dimensional (3D) ultrasound reconstruction algorithm for generation of 3D images of carotid artery bifurcations from a series of two-dimensional (2D) B-scans acquired in the mechanical linear scanning framework. Unlike most existing 3D ultrasound reconstruction algorithms, which have been developed and evaluated in the freehand scanning framework, the new algorithm has been designed to capitalize the regularity pattern of the mechanical linear scanning, thus resulting in less reconstruction times. The new reconstruction algorithm, referred to as the Cyclic Regularized Savitzky-Golay (CRSG) filter, is a new variant of the Savitzky-Golay (SG) smoothing filter. The CRSG filter has been improved upon the original SG filter in two respects: First, the cyclic indicator function has been incorporated into the least square cost function to enable the CRSG filter to interpolate nonuniformly spaced data of the unobserved image intensities contained in unfilled voxels and reduce speckle noise of the observed image intensities contained in filled voxels. Second, the regularization function has been augmented to the least squares cost function as a mechanism to balance between the degree of speckle reduction and the degree of detail preservation. The CRSG filter has been evaluated and compared with most existing reconstruction algorithms, on reconstructing clinical 3D carotid artery bifurcations. This preliminary evaluation indicates that the CRSG filter is more effective in both speckle reduction and reconstruction of 3D ultrasound images than the other methods.

Department ... Electrical Engineering ... Student's Signature ... *Pollakrit Toonkum* ...
Field of study ... Electrical Engineering ... Advisor's Signature ... *Chedsada Chinrung* ...
Academic year ... 2010 ... Co-Advisor's Signature ... *Nijasri Channarong* ...

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และศาสตราจารย์ พญ.นิจศรี ชาญณรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณทุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ทุนวิจัยหมายเลข RSA4580027, ทุนจากโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา, ทุนสนับสนุนและส่งเสริมหน่วยงานเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยสนับสนุนทุนในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณสุโรจน์ พรหมวรานนท์ หัวหน้าผู้จัดการฝ่ายผลิตภัณฑ์ และคุณวรินทร์ธศุภกรพิณคุปต์ บริษัทียี (GE) เมดิคอล ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยให้คำแนะนำการจัดหา และการบันทึกชุดภาพอัลตราซาวนด์สำหรับการประมวลผลการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณพี่ๆ ห้องปฏิบัติการประสาทวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ที่คอยช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการดังกล่าว

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวีระพงษ์ คุณแม่สังวาลย์ คุณธนภุชณ์ คุณวรางคณา ทุนคำ คุณจันทร์ฉาย ทาร์กซ์ และ ภญ.มนัชา วนวัฒนากุล ที่เป็นกำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ และให้การสนับสนุนอย่างดียิ่ง ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวญาติอุปการะ คุณปู่ คุณย่า และคุณอา ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในสังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคนที่ให้อาใจ และให้ความช่วยเหลือจนผู้วิจัยสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

บัญชีคำศัพท์..... ท

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....6

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา 7

1.4 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย 9

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน..... 9

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 10

บทที่ 2 การสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติ.....11

2.1 ระบบพิกัดเชิงปริมาตรสำหรับขอบข่ายงานของการสแกนแบบเชิงเส้นทางกล..... 11

2.2 ระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติ 13

2.2.1 ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ Voxel Nearest-Neighbor (VNN Interpolation Algorithm) 13

2.2.1.1 วงจรกรองลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุดปรับตัวได้ (Adaptive Speckle Reduction Filters) 13

2.2.1.2 วงจรกรองมัธยฐานถ่วงน้ำหนักแบบปรับตัวได้ (Adaptive Weighted Median Filters)..... 14

2.2.2 ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ Pixel Nearest-Neighbor (PNN Interpolation Algorithm) 15

2.2.3 ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ Distance-Weighted (DW Interpolation Algorithm)	15
2.2.4 ระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ Adaptive Distance-Weighted (ADW Interpolation Algorithm)	16
บทที่ 3 การสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติบนพื้นฐานของวงจรรองขาวิสกี-โกเลย์	18
3.1 ระเบียบวิธีของวงจรรองขาวิสกี-โกเลย์ต้นแบบ	18
3.2 การกำหนดแนวทางของวงจรรองขาวิสกี-โกเลย์แบบวน	22
3.3 การกำหนดแนวทางของวงจรรองเร็กกูลาร์ไรซ์ขาวิสกี-โกเลย์แบบวน	28
บทที่ 4 การประเมินสมรรถนะระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติ ...	31
4.1 ขั้นตอนในการประเมินสมรรถนะ	32
4.1.1 ชุดภาพอัลตราซาวนด์สังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบ	32
4.1.2 ชุดภาพอัลตราซาวนด์จริงที่ใช้ในการทดสอบ	33
4.2 ผลการประเมินสมรรถนะระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติ.....	35
4.2.1 ผลการประเมินเมื่อทดสอบกับชุดภาพอัลตราซาวนด์สังเคราะห์	35
4.2.2 ผลการประเมินเมื่อทดสอบกับชุดภาพอัลตราซาวนด์จริง	42
4.2.2.1 ชุดภาพอัลตราซาวนด์จริงจากอาสาสมัครคนที่ 1	42
4.2.2.2 ชุดภาพอัลตราซาวนด์จริงจากอาสาสมัครคนที่ 2	51
4.2.2.3 ชุดภาพอัลตราซาวนด์จริงจากอาสาสมัครคนที่ 1 ที่ถูกเพิ่มเติมด้วย สัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคูณ.....	59
4.2.2.4 ชุดภาพอัลตราซาวนด์จริงจากอาสาสมัครคนที่ 2 ที่ถูกเพิ่มเติมด้วย สัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคูณ.....	67
4.3 ประสิทธิภาพทางเวลาที่ใช้ในการคำนวณ.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
รายการอ้างอิง	81
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก สัญญาณรบกวนแบบจุดในภาพอัลตราซาวนด์	87

ภาคผนวก ข การทำงานแบบวนของวงจรกรองชาวิสกี้-โกเลย์.....	90
ภาคผนวก ค การแบ่งกลุ่มของฟังก์ชันซึบออก $I_{\{i,j,k\}}$ ออกเป็น N_{SCAN} กลุ่มที่ แตกต่างกัน	95
ภาคผนวก ง การแบ่งกลุ่มของเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก $W_{\sigma(k)}$ ออกเป็น N_{SCAN} กลุ่มที่แตกต่างกัน	98
ภาคผนวก จ ความเอนเอียงและความแปรปรวนในเรื่องของการฟิตเส้นโค้ง.....	100
ภาคผนวก ฉ การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการเติบโตทางพื้นที่	104
ภาคผนวก ช บทความที่ได้รับการเผยแพร่	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	108

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	ค่า $NMSE_{\Omega}$ เฉลี่ยทั้งชุดเชิงสถิติที่ทดสอบกับภาพวัตถุทรงกลม จำนวน 10 ชุด.....	38
ตารางที่ 4.2	ค่า $NMSE_{\phi}$ ของภาพความแตกต่างหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยก ออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 1	45
ตารางที่ 4.3	ค่า $NMSE_{\phi}$ ของภาพความแตกต่างหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยก ออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 2	51
ตารางที่ 4.4	ค่า $NMSE_{\phi}$ ของภาพความแตกต่างหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยก ออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 1 ซึ่งถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวน เรย์ลีแบบคูณ	60
ตารางที่ 4.5	ค่า $NMSE_{\phi}$ ของภาพความแตกต่างหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยก ออกเป็นสองทางซึ่งถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคูณของ อาสาสมัครคนที่ 2	68
ตารางที่ 4.6	เวลาในการคำนวณของแต่ละระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์ สามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางขนาด 128×128×256 วีอกเซล.....	75
ตารางที่ ข.1	ลักษณะการวนของตำแหน่งข้อมูลภาพปัสแกนที่อยู่ในวีอกเซลบริเวณใกล้เคียง $V_{\{i,j,k\}}$ ในทิศทางเฮลลิเวชัน.....	91
ตารางที่ ข.2	ลักษณะการวนของวีอกเซลบริเวณใกล้เคียง $V_{\{i,j,k\}}$ ในทิศทางเฮลลิเวชัน	92

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	การดูดตันของไขมันและการไหลของกระแสเลือดในหลอดเลือดบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง.....	1
รูปที่ 1.2	ตัวอย่างภาพอัลตราซาวนด์ของหลอดเลือดบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง	3
รูปที่ 1.3	ระบบสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลภาพตำแหน่งและทิศทางของชุดภาพอัลตราซาวนด์..	4
รูปที่ 1.4	ระบบพิกัดเชิงปริมาตรแบบคาร์ทีเซียนที่นิยมใช้ในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติ	4
รูปที่ 1.5	ตัวอย่างภาพบีสแกนของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางและผลกระทบของสัญญาณรบกวนแบบจุดในภาพ	6
รูปที่ 2.1	ระบบพิกัดเชิงปริมาตรที่ใช้ในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติจากชุดภาพบีสแกนที่บันทึกได้ด้วยโพรบสามมิติที่มีการสแกนแบบเชิงเส้นทางกล	12
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างฟังก์ชัน f ที่ประกอบไปด้วยสัญญาณรบกวนชุดหนึ่ง	20
รูปที่ 3.2	การประมาณกลุ่มข้อมูล f ที่ตำแหน่ง $m = 0$ ด้วยฟังก์ชันพหุนาม g_i อันดับ 2 ขนาด $M = 5$	21
รูปที่ 3.3	ผลลัพธ์หลังผ่านวงจรกรองขาคี-โกลีย์ต้นแบบ	21
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างการประมาณค่าในช่วงของข้อมูล f_0 ที่ขาดหายไปด้วยวิธีการพิตเส้นโค้งอันดับสองแบบกำลังสองน้อยสุดสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในวงจรกรอง CSG.....	23
รูปที่ 4.1	ภาพแบบจำลองเชิงเรขาคณิตทรงกลม	32
รูปที่ 4.2	ตัวอย่างลำดับชุดภาพบีสแกนของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางที่สแกนได้จากโพรบแบบเชิงเส้นทางกลในอาสาสมัครคนที่ 1	34
รูปที่ 4.3	ตัวอย่างลำดับชุดภาพบีสแกนของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางที่สแกนได้จากโพรบแบบเชิงเส้นทางกลในอาสาสมัครคนที่ 2	34
รูปที่ 4.4	ภาพตัดขวางตัวอย่างของวัตถุทรงกลมที่สร้างกลับจากแต่ละระเบียนวิธี	39
รูปที่ 4.5	ภาพแบ่งซ้ายขวาตัวอย่างของวัตถุทรงกลมที่สร้างกลับจากแต่ละระเบียนวิธี	40
รูปที่ 4.6	ภาพการสร้างกลับสามมิติของวัตถุทรงกลมที่สร้างกลับจากแต่ละระเบียนวิธี	41
รูปที่ 4.7	ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางและภาพความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัครคนที่ 1	43

รูปที่ 4.8	ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง และภาพความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัครคนที่ 1	44
รูปที่ 4.9	ภาพโปรไฟล์การสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 1 ในรูปที่ (4.7) และ (4.8).....	48
รูปที่ 4.10	ภาพการสร้างกลับสามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 1 ในรูปแบบของการแสดงแบบหลายระนาบ (Multi-planar reformatting).....	49
รูปที่ 4.11	ภาพหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางเชิงเรขาคณิตของอาสาสมัครคนที่ 1	50
รูปที่ 4.12	ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง และภาพความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัครคนที่ 2	54
รูปที่ 4.13	ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง และภาพความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัครคนที่ 2	55
รูปที่ 4.14	ภาพโปรไฟล์การสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 2	56
รูปที่ 4.15	ภาพการสร้างกลับสามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางของอาสาสมัครคนที่ 2 ในรูปแบบของการแสดงแบบหลายระนาบ (Multi-planar reformatting).....	57
รูปที่ 4.16	ภาพหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางเชิงเรขาคณิตของอาสาสมัครคนที่ 1	58
รูปที่ 4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ในการเร็กกูลาร์ไรซ์และค่า $NMSE_{\phi}$ ของระเบียบวิธี CSRG ในชุดภาพอาสาสมัครคนที่ 1 ซึ่งถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคูณ.....	59
รูปที่ 4.18	ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางที่ถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคูณ และภาพความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัครคนที่ 2	62

รูปที่ 4.19 ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ที่ถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคุณ และภาพความแตกต่างระหว่าง ภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัคร คนที่ 2	63
รูปที่ 4.20 ภาพโฟรไฟล์การสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ของอาสาสมัครคนที่ 1	64
รูปที่ 4.21 ภาพการสร้างกลับสามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ที่ถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคุณของอาสาสมัครคนที่ 2	65
รูปที่ 4.22 ภาพหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางเชิงเรขาคณิตที่ถูกเพิ่มเติม ด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคุณของอาสาสมัครคนที่ 1	66
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ในการเร็กกูลาร์ไรซ์และ $NMSE_{\phi}$ ของ ระเบียบวิธี CSRG ซึ่งถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคุณ.....	67
รูปที่ 4.24 ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ที่ถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคุณ และภาพความแตกต่างระหว่าง ภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัคร คนที่ 2	70
รูปที่ 4.25 ภาพตัวอย่างการสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ที่ถูกเพิ่มเติมด้วยสัญญาณรบกวนเรย์ลีแบบคุณและภาพความแตกต่างระหว่าง ภาพที่ได้จากการสร้างกลับและภาพที่บันทึกได้จากการสแกนจริงของอาสาสมัคร คนที่ 2	71
รูปที่ 4.26 ภาพโฟรไฟล์การสร้างกลับของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ของอาสาสมัครคนที่ 2	72
รูปที่ 4.27 ภาพการสร้างกลับสามมิติของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ของอาสาสมัครคนที่ 2 ในรูปแบบของการแสดงแบบหลายระนาบ (Multi-planar reformatting)	73
รูปที่ 4.28 ภาพหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางเชิงเรขาคณิตของ อาสาสมัครคนที่ 2	74
รูปที่ ข.1 ระบบพิกัดเชิงปริมาตรที่ใช้ในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวด์สามมิติจากชุดภาพ ปีสแกนที่บันทึกได้ด้วยโฟรบบสามมิติที่มีการสแกนแบบเชิงเส้นทางกล.....	90
รูปที่ จ.1 การอธิบายบทบัญญัติของความเอนเอียงและความแปรปรวนในเรื่องของการฟิต เส้นโค้ง	101

บัญชีคำศัพท์

A priori knowledge	องค์ความรู้ล่วงหน้า
Acoustic	ทางเสียง
Algorithm	ระเบียบวิธี
Anatomy	กายวิภาค
Aperture	ช่องเปิด, อะเพอร์เจอร์
Approximation	การประมาณค่า
Array	แถวลำดับ
Artifact	สิ่งแปลกปลอม
B-scan	บีสแกน
Bandwidth	ความกว้างแถบ(ความถี่), แบนด์วิดท์
Carotid artery bifurcation	หลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยก ออกเป็นสองทาง
Cartesian	คาร์ทีเซียน
Complexity	ความซับซ้อน
Convolution	การสังวัตนาการ, ผลการประสาน
Cross section view	มุมมองตัดขวาง
Cyclic	วนซ้ำ
Echo, Echoes	สัญญาณสะท้อน
Electromagnetic field	สนามแม่เหล็กไฟฟ้า
Elevation	เอลิเวชัน
Ensemble average	ค่าเฉลี่ยทั้งชุดเชิงสถิติ
Filled voxel	ว็อกเซลที่ถูกรื้อเต็ม
Freehand	(แบบ)ถือนิสระ
Gray-level image	ภาพระดับสีเทา
Hand-held probe	โพรบมือถือ
Homogeneous region	พื้นที่แบบเดียวกัน
Indexing function	ฟังก์ชันดัชนี
Indicator function	ฟังก์ชันชี้บอก
Inhomogeneous region	พื้นที่ไม่เป็นแบบเดียวกัน
Interference	การแทรกสอด

Interpolation	การประมาณค่าในช่วง
Ionizing radiation	การแผ่พลังงานสร้างไอออน
Least-squares function	ฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุด
Line of sight	เส้นทางในแนวสายตา
Linear	เชิงเส้น
Local statistic	ค่าทางสถิติในย่าน
Mechanical	ทางกล
Mechanism	กลไก
Neighborhood	บริเวณใกล้เคียง, ย่านใกล้เคียง
Non-invasive	ไม่รุกราน
Normalize	นอร์มัลไลซ์, ทำให้เป็นบรรทัดฐาน
Objective function	ฟังก์ชันจุดประสงค์
Objective evaluation	การประเมินเชิงวัตถุวิสัย
Optimization	การหาค่าเหมาะที่สุด
Oscillating mechanism	กลไกแบบแกว่งกวัด
Pixel	พิกเซล, จุดภาพ
Polynomial	พหุนาม
Positioning-sensor device	อุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่ง
Post-process	ประมวลผล(ใน)ภายหลัง, กรรมวิธี(ใน)ภายหลัง
Pre-processing	การประมวลผลล่วงหน้า, กรรมวิธีล่วงหน้า
Probe	โพรบ
Pulse	พัลส์
Ray-casting	การขึ้นรูปด้วยลำแสง
Rayleigh	(แบบ)เรย์ลี
Residual	สิ่งตกค้าง, -ตกค้าง,
Resolution	ความละเอียด
Reconstruction	การสร้างกลับ, การสร้างคืน
Sagittal view	มุมมองแบ่งซ้ายขวา
Sampling	การชักตัวอย่าง
Scaling	การสเกล, การย่อ-ขยาย

Scan	สแกน, กวาด
Segmentation	การแบ่งส่วน, การตัดแยก
Signal to Noise Ratio (SNR)	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน
Slice	สไลซ์
Spatial	เชิงพื้นที่
Speckle noise	สัญญาณรบกวนแบบจุด
Threshold	ขีดแบ่ง
Tissue	เนื้อเยื่อ
Transducer	ทรานสดิวเซอร์, ตัวแปลง
Transition region	พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง
Transmitter-Receiver	เครื่องส่ง-รับ
Ultrasound	อัลตราซาวนด์
Unfilled voxel	ว็อกเซลที่ไม่ถูกเติม
Volume coordinate system	ระบบพิกัดเชิงปริมาตร
Voxel	ว็อกเซล, จุดภาพเชิงปริมาตร
Voxel neighborhood	ว็อกเซลบริเวณใกล้เคียง