บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

เนื้อหาของบทนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญที่สุดสองส่วนคือ ผลสรุปของการทำวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจทำวิจัยในเรื่องนี้ และในเรื่องที่เกี่ยวข้อง

5.1 สรุปผลการวิจัย

จุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือเพื่อศึกษาและพัฒนาระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติจากชุดภาพอัลตราซาวนด์สองมิติที่ได้จากการสแกนภาพแบบเชิงเส้นทางกลด้วยวงจรกรองเร็กกูลาร์ไรซ์ซาวิสกี-โกเลย์แบบวน (CRSG) แตกต่างจากระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติแบบอื่นๆ ที่ถูกพัฒนาและนำมาประเมินในขอบข่ายงานของการสแกนแบบถืออิสระ ระเบียบวิธีแบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้จะใช้ประโยชน์จากรูปแบบความสม่ำเสมอของชุดภาพที่ได้จากการสแกนแบบเชิงเส้นทางกลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างกลับทางเวลา โดยระเบียบวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้เป็นการพัฒนาระเบียบวิธีของวงจรกรองซา-วิสกี-โกเลย์ (SG) ต้นแบบออกไปในสองประเด็น ประเด็นแรกคือวงจรกรอง SG จะถูกนำมาขยายผลเพื่อรองรับข้อมูลของแถวลำดับสามมิติในว็อกเซลบริเวณใกล้เคียงแทนการรับข้อมูลจากลำดับหนึ่งมิติ ประเด็นที่สองคือฟังก์ชันชี้บอกการวนซ้ำจะถูกพัฒนาและนำมารวมเข้ากับฟังก์ชันจุดประ-สงค์แบบกำลังสองน้อยสุดเพื่อทำให้วงจรกรอง CRSG สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุด ณ ตำแหน่งที่มีข้อมูลของจุดภาพ และสามารถประมาณค่าในช่วงข้อมูลที่ไม่สม่ำเสมอ ณ ตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูลของจุดภาพ

การประเมินสมรรถนะของวงจรกรองที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ได้เปรียบเทียบกับระเบียบวิธีการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติที่นิยมใช้กันทั้งในภาพอัลตราซาวนด์สังเคราะห์ และภาพอัลตราซาวนด์ของหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทาง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรกรอง CRSG ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้มีประสิทธิภาพทั้งในด้านการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุด และการสร้างกลับเชิงเรขาคณิตของภาพอัลตราซาวนด์สามมิติที่ดีกว่าระเบียบวิธีอื่นๆ อันเนื่องมาจากสองปัจจัยหลักดังต่อไปนี้

ปัจจัยแรกคือวงจรกรอง CRSG จะทำการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติโดยอาศัยหลักการในการฟิตพื้นผิวฟังก์ชันพหุนามที่มีความยืดหยุ่นในการติดตามโครงสร้างของชุดภาพบี-สแกนแบบกำลังสองน้อยสุด การฟิตพื้นผิวของฟังก์ชันพหุนามดังกล่าวนี้ทำให้ระเบียบวิธีในการสร้างกลับด้วยวงจรกรอง CRSG มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าระเบียบวิธีในการประมาณค่าในช่วงแบบ VNN และประมวลผลในภายหลังด้วยวงจรกรอง ASR และวงจรกรอง AWM เนื่องจากระเบียบวิธีที่อาศัยหลักการในการประมาณค่าในช่วงด้วยค่าคงที่ของความเข้มจากว็อกเซลที่ใกล้ที่สุดนี้จะทำให้เกิดรอยต่อและความซ้ำซ้อนของข้อมูลในทิศทางของการสแกนอีกทั้งยังขาดความต่อเนื่องของภาพที่ดีแม้ว่าจะนำไปลดทอนสัญญาณรบกวนและทำให้ภาพราบเรียบด้วยวงจรกรองแบบปรับตัวได้อีกครั้งก็ตาม ยิ่งไปกว่านั้นกลไกในการฟิตพื้นผิวของวงจรกรอง CRSG ยังหลีกเลี่ยงการทำให้ขอบภาพที่ได้จากการสร้างกลับมีลักษณะที่พร่าลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีในการประมาณค่าในช่วงแบบ DW ซึ่งใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงบนพื้นฐานของการเฉลี่ยข้อมูลในว็อกเซลบริเวณใกล้เคียง เมื่อเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ ADW ซึ่งเป็นการพัฒนาระเบียบวิธีในการประมาณค่าในช่วงแบบ DW ให้ทำงานแบบปรับตัวได้นั้น ถึงแม้ว่าระเบียบวิธี ADW จะมีประสิทธิภาพในการสร้างกลับที่ดีกว่าระเบียบวิธีแบบอื่น แต่เมื่อประเมินสมรรถนะของระเบียบวิธีดังกล่าวเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติด้วยวงจรกรอง CRSG ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น พบว่าวงจรกรอง CRSG ให้ความผิดพลาดเชิงวัตถุวิสัยที่น้อยกว่าระเบียบวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ ADW ซึ่งมักจะมีความไม่แน่นอนในการแยกกลุ่มของข้อมูลในย่านด้วยค่าทางสถิติ ยิ่งไปกว่านั้นการคำนวณค่าสถิติดังกล่าวในแต่ละในว็อก-เซลบริเวณใกล้เคียงนั้นมีความซับซ้อนในการคำนวณที่สูง ทำให้ระเบียบวิธีในการประมาณค่าในช่วงแบบ ADW มีประสิทธิภาพในการประมวลผลที่ด้อยกว่าระเบียบวิธีการสร้างกลับด้วยวงจรกรอง CRSG ด้วยเช่นกัน

ปัจจัยที่สองคือฟังก์ชันในการเร็กกูลาร์ไรซ์ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในวงจรกรอง CRSG จะทำหน้าที่เป็นกลไกในการถ่วงดุลกันระหว่างระดับในการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุด และระ-ดับในการรักษารายละเอียดของภาพ ส่งผลทำให้วงจรกรอง CRSG ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถลดทอนอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชันพหุนามที่จะไปติดตามความแรงของสัญญารบกวนแบบจุดภายในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นฟังก์ชันในการเร็กกูลาร์ไรซ์ในวงจรกรอง CRSG ยังทำให้ฟังก์ชันพหุนามแบบกำลังสองน้อยสุดที่สร้างขึ้นมามีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนแบบจุดในเชิงสถิติอีกด้วย [33]

นอกเหนือจากสองปัจจัยในเรื่องของการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติพร้อมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุดภายในภาพแล้ว การคำนวณค่าเอาต์พุตของวงจรกรอง CRSG ยังอยู่ในรูปของผลรวมเชิงเส้นอย่างง่าย นั่นคือตัวดำเนินการในการคำนวณเกือบทั้งหมดจะเกี่ยว

ข้องกับการสังวัตนาการ (Convolution) ระหว่างชุดสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองกับข้อมูลภาพที่อยู่ในวินโดวเซลบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น ทำให้ระเบียบวิธีการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติด้วยวง-จรกรอง CRSG ที่ได้พัฒนาบนพื้นฐานของขอบข่ายงานการสแกนแบบเชิงเส้นทางกลมีศักย-ภาพในการสร้างกลับทางเวลาที่สูง เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยเหลือในการประ-มวลผลล่วงหน้าก่อนการนำไปใช้ในการแยกส่วนภาพในเชิงเวลาจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยมีบางปัญหาที่น่าสนใจ และสามารถใช้เป็นหัวข้อในการทำวิจัยต่อไปได้ดังนี้

1. ในการปรับเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการเร็กกูลาร์ไรซ์ของระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติด้วยวงจรกรอง CRSG ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้มีข้อสังเกตว่าเมื่อเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการเร็กกูลาร์ไรซ์ที่มีค่าสูง ผลของเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษ-ณะที่ราบเรียบอันมาเนื่องจากผลของฟังก์ชันในการเร็กกูลาร์ไรซ์ที่เพิ่มเข้าไปในฟังก์-ชันจุดประสงค์แบบกำลังสองน้อยสุดจะทำหน้าที่ลดทอนองค์ประกอบความถี่สูงของฟังก์ชันพหุนามที่จะนำไปฟิตเส้นโค้ง ทำให้การทำงานของวงจรกรอง CRSG มีลักษ-ณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับวงจรกรองเฉลี่ยซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้งานพื้นที่ที่มีลักษ-ณะเป็นแบบเดียวกัน ในขณะที่การเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการเร็กกูลาร์ไรซ์ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ผลของเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะที่ยืดหยุ่นตามข้อมูลที่นำมาฟิตเส้นโค้ง ทำให้เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลง ดัง นั้นจึงอาจนำระเบียบวิธีของวงจรกรอง CRSG มาพัฒนาต่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบจุดและการประมาณค่าในช่วงข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการเพิ่มกลไกในการปรับค่าพารามิเตอร์ในการเร็กกูลาร์ไรซ์ให้สามารถทำงานในลักษณะที่ปรับตัวได้ในแต่ละพื้นที่แบบอัตโนมัติ

2. ระเบียบวิธีในการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติด้วยวงจรกรอง CRSG ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์จากชุดภาพที่สแกนได้บนพื้นฐานของขอบข่ายงานการสแกนแบบเชิงเส้นทางกล ทำให้ระเบียบวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพทางเวลาที่สูง ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้งานในขอบข่ายงานของการสแกนแบบถืออิสระจะต้องทำการกำหนดรูปแบบปัญหาของระเบียบวิธีในการสร้างกลับด้วยวงจรกรอง CRSG ขึ้นมาใหม่ ซึ่งจะต้องยอมแลกกับความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นมาโดยใช้วิธีการแผ่ฟังก์ชันพหุนามฐานหลัก

เชิงตั้งฉาก (Orthogonal basis-polynomial function) [35] แทนการแก้ปัญหาด้วยสมการปกติ (Normal equation) แบบเมตริกซ์และเวกเตอร์เพื่อให้สามารถทำงานได้กับข้อมูลที่มีตำแหน่งอย่างไร้รูปแบบได้

3. การคำนวณแบบผลรวมเชิงเส้นของระเบียบวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าขนาดและมุมของเกรเดียนต์ภายในภาพได้อย่างรวดเร็ว จึงอาจนำค่าดังกล่าวไปช่วยใช้ในการสร้างเป็นวงจรกรองตรวจจับเส้นขอบผสมผสานกับระเบียบวิธีในการแบ่งส่วนภาพแบบเติบโตทางพื้นที่เช่นเดียวกันกับที่มีผู้ได้นำเสนอไว้ใน [36] ได้ในตัว

4. ภาพหลอดเลือดแดงบริเวณลำคอที่แยกออกเป็นสองทางเชิงเรขาคณิตที่แบ่งส่วนได้หลังการสร้างกลับภาพอัลตราซาวนด์สามมิติสามารถใช้เป็นพื้นฐานที่ดีสำหรับการนำไปช่วยใช้วินิจฉัยในทางการแพทย์ เช่น การคำนวณพื้นที่ ขนาด ความกว้าง ปริมาตร และมุมของหลอดเลือด ณ จุดหรือบริเวณที่เราสนใจ

5. สัญญาณรบกวนแบบจุดยังเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดเกิดขึ้นในภาพอื่นๆ เช่นภาพเอสเออาร์ (Synthetic Aperture Radar : SAR) จึงอาจนำหลักการของระเบียบวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ไปประยุกต์ใช้ในการลดทอนสัญญาณรบกวนหรือการนำไปใช้ในการสร้างกลับให้ทำงานเข้ากันได้กับภาพดังกล่าว