บทที่ 6

บทสรุป

6.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรกรองควอดราติกสำหรับภาพจากอัลตรา-ซาวนด์แบบใช้สารเพิ่มความคมชัดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านการลดความซับซ้อนของการคำนวณ และการลดขนาดของวงจรกรองเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพจากอัลตราซาวนด์ อันได้แก่ ความคมชัดของการเปรียบต่างและความคมชัดเชิงพื้นที่ การประมวลผลทั้งหมดใช้โปรแกรม MATLAB ผ่านคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วยหลายขั้นตอนดังนี้คือ ศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณอัลตราซาวนด์จากบริเวณเนื้อเยื่อและบริเวณที่มีสารเพิ่มความคมชัด ศึกษาการสร้างภาพ B-mode จากสัญญาณอัลตราซาวนด์ ศึกษาการแยกสัญญาณฮาร์มอนิกโดยใช้วงจรกรองเชิงเส้นแล้วสร้างเป็นภาพ Gray scale ศึกษาคุณลักษณะของวงจรกรองควอดราติกที่เหมาะสมสำหรับการแยกสัญญาณฮาร์มอนิก และออกแบบวงจรกรองควอดราติกที่เหมาะสมสำหรับการแยกสัญญาณฮาร์มอนิก สุดท้ายอธิบายวิธีนำวงจรกรองควอดราติกไปใช้ด้วยวิธีการแยกค่าเอกฐาน

คุณลักษณะไม่เชิงเส้นอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง สัญญาณอัลตราซาวนด์ กับสารเพิ่มความคมชัดเกิดการกระเจิงให้สัญญาณที่มีความถี่ฮาร์มอนิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮาร์มอนิกอันดับสอง ซึ่งแตกต่างจากบริเวณเนื้อเยื่อ กล่าวคือสัญญาณสะท้อนจากบริเวณเนื้อเยื่อโดยรอบมีเพียงองค์ประกอบมูลฐานเท่านั้น คุณลักษณะดังกล่าวช่วยให้แยกสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับสองด้วยวงจรกรองเชิงเส้น โดยการปรับการลดทอนขนาดของแถบความถี่ไม่ผ่านและปรับความกว้างของแถบความถี่ผ่านเชิงเศษส่วนที่มีต่อคุณภาพของภาพจากอัลตราซาวนด์ การปรับพารามิเตอร์ทั้งสองให้เหมาะสม สามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพจากอัลตราซาวนด์ อันได้แก่ ความคมชัดของการเปรียบต่างและความคมชัดเชิงพื้นที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับภาพจากอัลตราซาวนด์ดั้งเดิม ความรู้พื้นฐานที่ได้ใช้เป็นแนวทางสำหรับการแยกสัญญาณฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองควอดราติกต่อไป

วงจรกรองโวลเตอราอันดับสองที่สามารถแยกองค์ประกอบเชิงเส้นและองค์ประ-กอบควอดราติกออกจากสัญญาณสะท้อนที่ได้จากอัลตราซาวนด์ นำพจน์ควอดราติกเป็นแบบจำลองในการสร้างวงจรกรองควอดราติก ซึ่งคุณลักษณะของวงจรกรองควอดราติกในโดเมนความถี่ที่เหมาะสม สามารถแยกองค์ประกอบความถี่ควอดราติกจากสัญญาณสะท้อนที่ได้จากอัลตราซาวนด์ การศึกษาพบว่าวงจรกรองควอดราติกต้องผ่านความถี่ตรงบริเวณที่อัตราส่วนของ

กำลังเฉลี่ยสัญญาณจากสารเพิ่มความคมชัดต่อสัญญาณของเนื้อเยื่อมีค่าสูง เพื่อแยกองค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับสองที่เกิดจากสารเพิ่มความคมชัดได้ดี เลือกวงจรกรองควอดราติกที่มีความสมมาตรตรงจุดกำเนิด โดยมีขนาดของผลตอบสนองความถี่ที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียนสองมิติ แล้วปรับพารามิเตอร์คือจุดศูนย์กลางและค่าความแปรปรวน การปรับเปลี่ยนจุดศูนย์กลางและค่าความแปรปรวนของวงจรกรองควอดราติกให้เหมาะสม เพื่อสร้างเป็นภาพ Gray scale จากการแยกฮาร์มอนิกอันดับสองช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพจากอัลตราซาวนด์ให้ดีขึ้น

วงจรกรองควอดราติกซึ่งออกแบบในโดเมนความถี่สำหรับงานวิจัยนี้จะให้คุณภาพของภาพจากอัลตราซาวนด์ทั้งสอง (ความคมชัดของการเปรียบต่างดีโดยไม่สูญเสียความคมชัดเชิงพื้นที่) ใกล้เคียงกับวงจรกรองควอดราติกที่หาจากการแก้ระบบสมการเชิงเส้นเพื่อหาเคอเนลที่เหมาะสมในโดเมนเวลา แต่ความซับซ้อนของการคำนวณหาวงจรกรองควอดราติกที่เหมาะสมสำหรับแยกสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับสองจะลดลง นอกจากนี้ภาพจากอัลตราซาวนด์หลังจากผ่านวงจรกรองควอดราติกให้ความคมชัดของการเปรียบต่างรวมทั้งความคมชัดเชิงพื้นที่มากกว่าภาพหลังจากผ่านวงจรกรองเชิงเส้น และภาพ B-mode ดั้งเดิม ตามลำดับ

คุณประโยชน์ของวิธีการออกแบบวงจรกรองควอดราติกที่ได้คิดค้นขึ้นจากงานวิจัยนี้เมื่อเทียบกับวิธีการที่กล่าวไว้ใน [1] คือสามารถลดเวลาที่ใช้ในการออกแบบ สามารถลดความซับซ้อนของการคำนวณในการออกแบบและได้วงจรกรองควอดราติกที่เหมาะสมสำหรับการแยกความถี่ฮาร์มอนิกอันดับสองจากการออกแบบโดยตรง เพราะผู้ใช้สามารถกำหนดคุณลักษณะของวงจรกรองควอดราติกได้ในโดเมนความถี่ ซึ่งก็คือการกำหนดจุดศูนย์กลางและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟังก์ชันเกาส์เซียนนอมอลไลซ์สองมิติ แต่สำหรับวิธีการที่กล่าวไว้ใน [1] จะใช้วิธีการเลือกวงจรกรองควอดราติกที่มีอยู่จากการแก้ระบบสมการเชิงเส้นโดยใช้การแยกค่าเอกฐาน ซึ่งให้วงจรกรองควอดราติกออกมามากมายตามจำนวนของ Singular mode ที่มีอยู่ ทำให้มีการคำนวณซับซ้อนและการหาวงจรกรองควอดราติกที่เหมาะสมก็เป็นการเลือกจากสิ่งที่มีอยู่ไม่ใช่การกำหนดโดยตรงจากผู้ใช้

6.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา ประกอบด้วยหนึ่งประเด็นหลัก คือ

6.2.1 ปัญหาการเปรียบเทียบอันเกิดจากการปรับปลี่ยนพารามิเตอร์ของวงจรกรอง

ปกติการกระจายแบบกรองเกาส์เซียนมีแอมพลิจูดขึ้นอยู่กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบกันระหว่างวงจรกรองควอดราติกที่กำหนดให้ค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันไม่สามารถทำได้

วิธีการแก้ไขทำได้โดยการนอมอลไลซ์ขนาดของผลตอบสนองความถี่

6.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

6.3.1 พัฒนาวิธีการลดขนาดของวงจรกรองควอดราติก

6.3.2 พัฒนาโปรแกรมในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้ User interface เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้

6.3.3 ศึกษาการเปลี่ยนรูปร่างของผลตอบสนองความถี่เพื่อว่าจะสามารถออกแบบวงจรกรองที่ให้ความคมชัดเชิงพื้นที่และความคมชัดของการเปรียบต่างดียิ่งขึ้น

6.3.4 นำวิธีการออกแบบวงจรกรองไปใช้กับข้อมูลอัลตราซาวน์ด์อื่น ๆ เพื่อให้การประเมินในด้านความคมชัดของการเปรียบต่างและความคมชัดเชิงพื้นที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น นำวงจรกรองที่ได้ทำการออกแบบไปประยุกต์ใช้กับเป้าหมายที่เป็นลวดเล็ก ๆ (Assurance quality phantom) เพื่อดูความคมชัดเชิงพื้นที่

6.3.5 ปรับปรุงแก้ไขอัลกอริทึมเพื่อนำไปใช้กับการทำงานแบบเวลาจริง (Real-time application)

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Phukpattaranont and E. S. Ebbini, “Post-Beamforming Second-Order Volterra Filter for Pulse-Echo Ultrasonic Imaging,” *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, vol. 50, no. 8, pp. 987-1001, Aug. 2003.