บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์ผล

จากการทดสอบในบทที่ 4 ได้ทำการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นโครงข่ายประสาท ADALINE จำนวน 2 ตระกูลคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 โดยเหตุผลที่ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตระกูลเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่ายในประเทศซึ่งหากประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เหล่านี้จะทำให้การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ประยุกต์ใช้เป็นโครงข่ายประสาทเพื่อลดสัญญาณรบกวนราคาไม่แพงมากนัก ประกอบกับในเวลาช่วงนั้นบริษัทไมโครชิปเทคโนโลยี ยังไม่ได้มีการจำหน่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ออกสู่ตลาดและไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วสูงในขณะนั้น จึงได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 มาประยุกต์เป็นโครงข่ายประสาท ADALINE ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ความเร็วในการประมวลผล 16 ล้านคำสั่งต่อวินาที ตัวถังแบบ DIP ขนาด 40 ขา ซึ่งปรากฏว่าเมื่อให้ทำงานเป็นโครงข่ายประสาท ADALINE ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 ให้อัตราสุ่มค่าสัญญาณ (Sampling Rate) ประมาณ 600 ข้อมูลต่อวินาที ซึ่งอัตราสุ่มค่าสัญญาณที่ต้องการคือ 1000 ข้อมูลต่อวินาทีจึงแก้ปัญหาโดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 จำนวน 2 ตัวมาทำงานร่วมกัน โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแรกทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต และทำหน้าที่หน่วงเวลาเพื่อสร้างเป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับโครงข่ายประสาท ADALINE ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 ตัวที่สองจะทำหน้าที่เป็นโครงข่ายประสาท ADALINE โดยรับสัญญาณอินพุตและสัญญาณอ้างอิงมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 ตัวแรกและให้เอาท์พุตแก่วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกขนาด 10 บิต ซึ่งจะได้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้กำจัดสัญญาณรบกวนออกไปแล้ว การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 จำนวน 2 ตัวมาประยุกต์เป็นโครงข่าย ADALINE นั้นสามารถทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงนั้นยังไม่เหมาะสม เนื่องจากเป็นชิปขนาด 40 ขา จำนวน 2 ตัว ซึ่งต้องใช้พื้นที่ของแผ่นลายวงจรมากขึ้น ทำให้การสร้างเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ต่อมาในปี พศ. 2547 บริษัทไมโครชิปเทคโนโลยี ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ได้นำเสนอไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC (Digital Signal Controller : DSC) ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลสัญญาณดิจิตอลความเร็วสูง ขนาด 16 บิต ซึ่งมีอยู่หลายเบอร์ด้วยกันให้เลือกใช้งาน แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้เบอร์

dsPIC30F2010 ซึ่งมีความเร็วในการประมวลผล 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที สามารถให้อัตราสุ่มค่าสัญญาณ 1,000 ข้อมูลต่อวินาทีได้ และตัวถังเป็นแบบ DIP มีขนาด 28 ขา ซึ่งจะเห็นว่ามีขนาดเล็กกว่า AVR ATmega32 ทำให้เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้สะดวกกว่า โดยโครงสร้างของโครงข่าย ADALINE ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 ตระกูลได้กำหนดให้มีอินพุตจำนวน 8 แท็ป (Tab) ระยะการหน่วงเวลา (Delay) เท่ากับ 10 อัตราการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเท่ากับ 0.005 และใช้อัตราสุ่มค่าสัญญาณ 1,000 ข้อมูลต่อวินาที

การทดสอบในขั้นตอนแรกได้จำลองสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่วัดได้โดยนำตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมาผสมกับสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ และความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิค แล้วป้อนเป็นอินพุตให้กับโครงข่าย ADALINE ตามการทดสอบที่ 4.1 และ 4.2 โดยผลของการทดสอบจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE ได้นำมาเปรียบเทียบกับเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งมีอัตราลดทอนสัญญาณความถี่ 50 เฮิรตซ์ ประมาณ 20 dB ดังการทดสอบคุณสมบัติของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ในหัวข้อที่ 3.8 หลังจากทดสอบการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วยการจำลองสัญญาณรบกวนแล้ว ต่อมาได้ทำการทดสอบการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจริง โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะเกร็งกล้ามเนื้อด้วยวิธีการยกน้ำหนักซึ่งจะเป็นสัญญาณที่มีทั้งสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายและสัญญาณรบกวนจริงป้อนเป็นอินพุตให้กับโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ดังในการทดสอบที่ 4.3 และ 4.4

จากผลการทดสอบหัวข้อ 4.1.1 และ 4.2.1 ซึ่งเป็นการทดสอบกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 และ dsPIC30F2010 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) และค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีค่ามากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งดัชนีทั้งสองนี้หากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า หากพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน พบว่าเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ดีกว่าโดยสามารถลดทอนได้ประมาณ 33 dB ในขณะที่วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ลดทอนได้ประมาณ 20 dB และ หากพิจารณาการกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่มีฮาร์โมนิคจากผลการทดสอบที่ 4.1.2 และ 4.2.2 พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) และค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีค่ามากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์เช่นเดียวกัน หากพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน เห็นได้ว่าเอาท์พุตจากโครงข่าย ADALINE ของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 ตระกูล มีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ประมาณ 52 dB ในขณะที่วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ประมาณ 20 dB และหากพิจารณาขนาด

เพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณรบกวนที่เป็นความถี่ฮาร์โมนิคจะเห็นได้ว่าความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีขนาดลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4-2, 4-3, 4-5 และ 4-6 ในขณะที่ขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณรบกวนที่เป็นความถี่ฮาร์โมนิคจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์มีขนาดใกล้เคียงกับอินพุต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ไม่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ฮาร์โมนิคของความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ และเมื่อพิจารณารูปร่างของสัญญาณและเพาเวอร์สเปคตรัม จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมากกว่าเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ และการลดทอนสัญญาณของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ยังได้ลดทอนสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในส่วนที่ใกล้เคียงความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกไปด้วย จึงทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายส่วนนั้นหายไป ดังนั้นจากการทดสอบที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 ตระกูลที่ใช้ประยุกต์เป็น โครงข่าย ADALINE สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์และฮาร์โมนิคได้

จากการทดสอบ การกำจัดสัญญาณรบกวนของสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายจริงขณะเกร็งกล้ามด้วยการยกน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม 2.5 กิโลกรัม และ 4 กิโลกรัมเพื่อทดสอบการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นโครงข่ายประสาท ADALINE ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนขณะนำไปใช้งานจริง ดังการทดสอบหัวข้อ 4.3 และ 4.4 ก็จะเห็นได้ว่า อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) และค่าความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (m/e) จากเอาท์พุตของโครงข่ายประสาท ADALINE มีค่ามากกว่าจากเอาท์พุตของวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งดัชนีทั้งสองนี้หากมีค่ามากกว่าแสดงว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และหากพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน รูปร่างและขนาดเพาเวอร์สเปคตรัมของสัญญาณจากเอาท์พุตของโครงข่าย ADALINE และวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ จะเห็นว่าโครงข่าย ADALINE สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้มากกว่า 50 dB และยังสามารถลดทอนสัญญาณฮาร์โมนิคได้มากกว่า 10 dB อีกด้วย ในขณะที่วงจรนอตซ์ฟิลเตอร์สามารถลดสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้เพียง 20 dB แต่ไม่สามารถลดทอนความถี่ฮาร์โมนิคให้ลดลงได้และยังทำให้สัญญาณกล้ามเนื้อลายในส่วนความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ 50 เฮิรตซ์หายไป ซึ่งทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายในส่วนนั้นขาดหายไป และหากสังเกตค่าดัชนีต่าง ๆจากการยกน้ำหนักที่มีขนาดแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อยกน้ำหนักขนาดมากขึ้นทำให้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมีขนาดสูงขึ้นใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ทำให้ค่าดัชนีที่กล่าวมาจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากผลรวมของสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวนจึงทำให้ดัชนีที่ได้จากสมการที่กล่าวมามีค่าน้อยลง และโดยคุณสมบัติของโครงข่าย ADALINE จะสามารถเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบได้ดีหากสัญญาณรบกวนนั้นมีขนาดสูงกว่าสัญญาณของกล้ามเนื้อลาย

ผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นโครงข่ายประสาท ADALINE เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบได้จริง โดยส่วนใหญ่สัญญาณรบกวนของร่างกายจะเป็นสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งจะมีฮาร์โมนิคที่ความถี่ต่าง ๆ เท่าใดนั้นขึ้นกับสถานที่หรือบริเวณนั้น ๆ ว่าอยู่ใกล้แหล่งแพร่สัญญาณรบกวนชนิดใด ซึ่งหากสัญญาณรบกวนมีลักษณะเป็นคาบแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประยุกต์ใช้เป็นโครงข่ายประสาท ADALINE สามารถกำจัด หรือลดทอนสัญญาณรบกวนนั้นให้หายไปได้ จากการทดสอบจะเห็นว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 กับ AVR ATmega32 สามารถทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายได้ทั้งสองตระกูล แต่ถ้าหากจะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงเป็นโครงข่ายประสาท ADALINE เพื่อทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวน ควรเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เนื่องจากมีความเร็วในการประมวลผลสูงกว่า โดยใช้เวลาในการคำนวณการทำงานของโครงข่าย ADALINE เพียง 400 ไมโครวินาทีต่อรอบ โดยที่ลักษณะทางกายภาพมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งทำให้ใช้พื้นที่ในการวางอุปกรณ์น้อยลง และหากพิจารณาเรื่องราคาถ้าใช้ AVR ATmega32 จำนวน 2 ตัวจะมีราคาแพงกว่าการเลือกใช้ dsPIC30F2010 เกือบเท่าตัว ดังนั้นจะเห็นว่า dsPIC30F2010 มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงเป็นโครงข่ายประสาท ADALINE เพื่อทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งของวงจรของเครื่องมือวัดทางการแพทย์เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่วัดได้จากสัญญาณไฟฟ้าต่าง ๆ ของร่างกาย

ข้อเสนอแนะและแนวทางปรับปรุง ให้สังเกตวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกในงานวิจัยนี้ยังใช้พื้นที่มากในการวางอุปกรณ์ตัวความต้านทาน (Resistors) ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกชนิด R2R แลดเดอร์ เนื่องจากครั้งแรกได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega32 จำนวน 2 ตัวมาเป็นโครงข่าย ADALINE ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลตามอัลกอลิทึมของโครงข่าย ADALINE ต่อรอบประมาณ 980 ไมโครวินาที ทำให้มีเวลาในการส่งข้อมูลออกไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกน้อยมาก ไม่เพียงพอกับการส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก แต่หากเปลี่ยนมาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลตาม อัลกอลิทึมของโครงข่าย ADALINE ต่อรอบประมาณ 400 ไมโครวินาที ซึ่งยังมีเวลามากพอในการจัดส่งข้อมูลแบบอนุกรมไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก จึงเสนอให้ใช้ไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกชนิด อินพุตแบบอนุกรม ซึ่งมีขนาดเล็ก ราคาถูกและหาได้ง่าย ซึ่งจะทำให้การใช้พื้นที่ในการวางตัวอุปกรณ์บนแผ่นวงจรน้อยลง และหากต้องการให้ dsPIC30F2010 คำนวณได้เร็วกว่าหรือใช้เวลาน้อยกว่านี้ ก็สามารถทำได้โดยการใช้วิธีการคำนวณแบบตัวเลขจำนวนเต็ม (Integer หรือ Fix Point) และจากความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบของโครงข่าย ADALINE นั้นยังสามารถประยุกต์ใช้ลดเสียงฮัมของในเครื่องขยายเสียง เครื่องขจัดเสียงรบกวนแบบปรับตัวได้ หรืองานอื่น ๆที่มีลักษณะใกล้เคียงได้