# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำความรู้ทางด้านการประมวลสัญญาณดิจิตอล โครงข่ายประสาทเทียม และสถาปัตยกรรมไมโครโปรเซอร์ มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างระบบรู้จำเสียงพูดคำโดดบนอุปกรณ์ FPGA โดยใช้โปรแกรม MATLAB บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการออกแบบระบบรวมทั้งการฝึกโครงข่ายเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับใช้กับระบบบน FPGA เนื่องจากระบบรู้จำเสียงพูดมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์หลายขั้นตอน ดังนั้นในส่วนของระบบบนอุปกรณ์ FPGA จึงได้นำ MicroBlaze ซึ่งเป็นไมโครโปรเซอร์แบบ soft-core มาใช้เป็นหน่วยประมวลผลของระบบ เพื่อลดความซับซ้อนในการออกแบบวงจรประมวลสัญญาณในแต่ละขั้นตอน

การทำงานของระบบรู้จำเสียงพูดบนอุปกรณ์ FPGA ต้องเชื่อมต่อกับวงจรแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิตอล และหน่วยความจำแบบแฟลชซึ่งใช้เก็บค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย โดยทั้งสองส่วนนี้จะสัมพันธ์กับการฝึกโครงข่ายบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยเหตุนี้จึงต้องสร้างระบบรู้จำเสียงพูดบนอุปกรณ์ FPGA ให้เสมือนกับว่ากำลังทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นระบบที่สร้างบนอุปกรณ์ FPGA และระบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกัน โดยในการสร้างระบบรู้จำบนอุปกรณ์ FPGA จะมีการสร้างตารางข้อมูล (Look-Up Table) ด้วยภาษา VHDL ขึ้นภายในอุปกรณ์ FPGA เพื่อใช้เป็นข้อมูลแทนการคำนวณค่าของฟังก์ชันหน้าต่างแบบแฮมมิ่งในขั้นตอนการวางกรอบหน้าต่าง แทนการคำนวณค่าของฟังก์ชัน cos และ sin ในขั้นตอนการคำนวณ FFT และแทนการคำนวณค่าของฟังก์ชันตัวกรองความถี่แต่ละช่องในขั้นตอนการคำนวณสเปคตรัมกำลังแบบเมล ซึ่งช่วยลดภาระการคำนวณของ MicroBlaze ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นโดยแลกกับการเสียพื้นที่ logic ของ FPGA

เนื่องจาก MicroBlaze เป็น soft processor ดังนั้นการออกแบบระบบจึงสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ทั้งหมด ไม่เพียงแค่ในส่วนของโปรแกรมที่ควบคุมการทำงาน แต่ผู้ออกแบบสามารถจะเพิ่มหรือลดการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รอบข้างและหน่วยความจำรวมถึงการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์พิเศษที่ผู้ใช้สร้างขึ้น ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับจำนวนทรัพยากรใน FPGA ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตและยังสามารถปรับปรุงระบบให้ทันสมัยได้อีกด้วย

ระบบรู้จำเสียงพูดคำโดดที่มี MicroBlaze เป็นหน่วยประมวลผลถูกสร้างขึ้นใน Xilinx FPGA ตระกูล Spartan-3E เบอร์ XC3S500E โดยใช้ทรัพยากรในการสังเคราะห์วงจร ดังนี้

- จำนวนของ Slices ใช้ไป 2,912 จาก 4,656 คิดเป็น 62%
- จำนวนของ Slices Flip Flops ใช้ไป 1,938 จาก 9,312 คิดเป็น 20%
- จำนวนของ 4 input LUTs ใช้ไป 4,363 จาก 9,312 คิดเป็น 46%
- จำนวนของ MULT18X18SIOs ใช้ไป 7 จาก 20 คิดเป็น 35%
- จำนวนของ Block RAMs ใช้ไป 16 จาก 20 คิดเป็น 80%

ซึ่งความถี่ในการทำงานของ MicroBlaze อยู่ที่ 75 MHz

จากผลการทดลอง เมื่อกำหนดให้หยุดการฝึกโครงข่ายที่ค่า mse น้อยกว่า 0.001 และค่าการตัดสินใจเท่ากับ 0.01 ระบบมีประสิทธิภาพการรู้จำโดยเฉลี่ยร้อยละ 99.57 สำหรับการรู้จำแบบขึ้นกับผู้พูด ส่วนการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดมีประสิทธิภาพการรู้จำโดยเฉลี่ยร้อยละ 91.99 แต่จะมีจำนวนคำที่รู้จำผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อหยุดการฝึกโครงข่ายที่ค่า mse น้อยกว่า 0.00001

ระบบรู้จำเสียงพูดคำโดดบนอุปกรณ์ FPGA สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้หลากหลาย โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวกับระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งข้อได้เปรียบของ FPGA ทำให้เกิดแนวทางในการพัฒนาระบบที่ไม่ตายตัว สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ โดยมีข้อจำกัดอยู่ที่จำนวน logic block ของอุปกรณ์ FPGA

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง ระบบรู้จำเสียงพูดคำโดดบนอุปกรณ์ FPGA ใช้เวลาในการประมวลผลในขั้นตอนการดึงค่าลักษณะสำคัญมากที่สุด ดังนั้นหากมีการลดจำนวนข้อมูลลง เช่น หาขอบเขตของคำก่อนทำการดึงค่าลักษณะสำคัญ ควรจะทำให้ระบบทำงานเร็วขึ้น หรืออาจจะตัดขั้นตอนการเพิ่มค่า Delta ให้สัญญาณออก ก็จะช่วยให้ระบบทำงานได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม การลดจำนวนข้อมูลหรือลดขั้นตอนลงอาจจะทำให้ประสิทธิภาพการรู้จำลดลงด้วย

ประสิทธิภาพการรู้จำของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าการตัดสินใจและค่าตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดไว้ในการฝึก เช่น ขั้นตอนวิธีการฝึก จำนวนรอบในการฝึก ค่าความผิดพลาดที่ต้องการในชั้นเอาต์พุท และการสุ่มค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้ผลการรู้จำเปลี่ยนแปลงลดลง ด้วยเหตุนี้ จึงควรจะทำการฝึกโครงข่ายหลายๆ ครั้ง เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดในการรู้จำทั้งแบบขึ้นกับผู้พูดและไม่ขึ้นกับผู้พูด

ระบบรู้จำในงานวิจัยนี้ ไม่เหมาะกับการรู้จำที่มีจำนวนคำมาก เนื่องจากเมื่อมีคำจำนวนมาก จำนวนโหนดในชั้นเอาท์พุตก็จะมากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการรู้จำลดลง การเพิ่มประสิทธิภาพการรู้จำทำได้โดยการเพิ่มจำนวนโหนดในชั้นซ่อนตัว ซึ่งเมื่อจำนวนโหนดมากขึ้น หน่วยความจำแบบแฟลชที่ใช้เก็บค่าถ่วงน้ำหนักก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นกัน

MicroBlaze ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทาง OPB และ FSL (Fast Simplex Link) ดังนั้นหากต้องการพัฒนาระบบในส่วนของ Hardware ผู้พัฒนาสามารถสร้าง IP (Intellectual Property) core สำหรับเชื่อมต่อกับ MicroBlaze เพื่อใช้ทำงานพิเศษตามความต้องการได้

ระบบรู้จำเสียงพูดบน FPGA ในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับวงจรแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิตอล หน่วยความจำภายนอกแบบ SDRAM และหน่วยความจำแบบแฟลช ซึ่งการเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละชิ้นทำให้ระบบต้นแบบมีขนาดใหญ่ ในอนาคตหากมีการออกแบบลายวงจรสำหรับระบบนี้โดยเฉพาะ จะทำให้ระบบโดยรวมมีขนาดเล็กลงและสามารถสร้างเป็นเครื่องมือเพื่อนำไปใช้งานจริงร่วมกับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ได้