บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปงานวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทดสอบการปรับอัตราการเรียนรู้แบบพลวัตบนข่ายงานระบบประสาท โดยใช้ตัวอย่างเป็นปัญหาการประมาณฟังก์ชันเชิงเส้น และการชดเชยช่องสัญญาณโดยใช้สัญญาณเชิงเลข การทดสอบการประมาณฟังก์ชันเชิงเส้น เป็นการทดสอบเบื้องต้น เพื่อดูลักษณะการปรับอัตราการเรียนรู้ของแต่ละวิธี และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการใช้งานของวิธีการปรับต่าง ๆ ส่วนการทดสอบบนปัญหาการชดเชยช่องสัญญาณเป็นตัวอย่างการใช้งานจริง วิธีการปรับอัตราการเรียนรู้ที่นำมาทดสอบในวิทยานิพนธ์ มี 5 วิธี คือ Delta-bar-delta (Dbd), Incremental delta-bar-delta (Idbd), Entropy-based learning rate (Entropy), modified direction cosine และ direction cosine ที่ปรับปรุงให้อัตราการเรียนรู้เป็นบวกเสมอ ซึ่งทั้ง 5 วิธี ถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้อัตราการเรียนรู้เป็นค่าคงตัวตามปกติ

ในวิทยานิพนธ์ได้นำวิธี direction cosine ที่เสนอโดย Franzini [15] มาทดสอบด้วย เพื่อแสดงให้เห็นว่า อัตราการเรียนรู้ที่ได้จากวิธีนี้มีค่าเป็นลบได้ และทำให้ระบบเสียบเสถียรภาพไป ดังที่แสดงไว้ในผลการทดสอบของทุกกรณี นอกจากนี้ ยังเป็นการแสดงเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นกับวิธี modified direction cosine ซึ่งได้ปรับปรุงให้มีอัตราการเรียนรู้เป็นบวกเสมอด้วย

การทดสอบบนปัญหาการประมาณฟังก์ชันเชิงเส้น ได้ทำการทดสอบให้ระบบทำการประมาณฟังก์ชันเชิงเส้น โดยใช้วิธีการปรับอัตราการเรียนรู้ทั้ง 5 วิธี เปรียบเทียบกับการใช้อัตราการเรียนรู้เป็นค่าคงตัวที่ 0.01 โดยทดสอบทั้งในกรณีที่ฟังก์ชันไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา และฟังก์ชันที่มีเทอมค่าคงตัวหรือสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลงตามเวลา ในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ระบบที่ใช้วิธีการปรับแบบต่าง ๆ สามารถปรับตัวเข้าหาฟังก์ชันอ้างอิงได้เร็วกว่าการใช้อัตราการเรียนรู้เป็นค่าคงตัว และให้ผลรวมความผิดพลาดกำลังสองได้ต่ำกว่า โดยวิธี modified direction cosine สามารถทำให้ระบบปรับตัวได้เร็วและมีผลรวมความผิดพลาดกำลังสองต่ำที่สุด เพราะว่า วิธีนี้ให้อัตราการเรียนรู้ที่มีค่าสูงกว่าวิธีอื่น ๆ โดยมีค่าใกล้ 1 ตลอดการปรับตัวของระบบ

วิธี Idbd เป็นวิธีที่ใช้อัตราการเรียนรู้ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแยกกัน และมีการกำหนดค่าเริ่มต้นในขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเรียนรู้จะมีน้อย ผลที่ได้จากวิธีนี้ จึงเหมือนกับการใช้อัตราการเรียนรู้เป็นค่าคงตัวที่ค่าเริ่มต้นของขั้นตอน ซึ่งกำหนดขึ้นโดยใช้จำนวนพารามิเตอร์ในระบบ ดังนั้น การทดสอบวิธีนี้ในการประมาณฟังก์ชันเชิงเส้นจึงให้ผลออกในระดับ

ปานกลาง เพราะค่าเริ่มต้นที่กำหนดยังมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่นที่ปรับได้ ส่วนวิธี Dbd ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อัตราการเรียนรู้แยกกันอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งใช้การกำหนดพารามิเตอร์ของขั้นตอนเพื่อให้เพิ่มหรือลดอัตราการเรียนรู้ในระหว่างการปรับพารามิเตอร์ ผลการทดสอบโดยใช้วิธีนี้ ให้ผลไม่ดีเท่ากับวิธี Idbd เพราะว่า อัตราการเรียนรู้ของวิธีนี้แกว่งไปมาโดยมีขนาดต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธี Idbd จึงทำให้ระบบปรับตัวได้ช้ากว่าและผลรวมความผิดพลาดกำลังสองในสถานะอยู่ตัวก็มีค่าสูงกว่า นอกจากนี้ เมื่อทดสอบกับฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา วิธีนี้ทำให้กราฟของผลรวมความผิดพลาดกำลังสองมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีอื่น ๆ เพราะการแกว่งของอัตราการเรียนรู้ ทำให้ระบบไม่สามารถปรับตัวได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการแกว่งที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนไม่เหมาะสมกับปัญหา ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมจำเป็นต้องมีการลองถูกลองผิด เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าของขั้นตอน สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธี Entropy เป็นวิธีการปรับอัตราการเรียนรู้วิธีเดียวที่มีการปรับค่าของอัตราการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับการปรับตัวของระบบ โดยในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง วิธีนี้ปรับอัตราการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในขณะที่ระบบยังไม่เข้าสู่สถานะอยู่ตัว และลดอัตราการเรียนรู้ลงเมื่อระบบเข้าสถานะอยู่ตัวแล้วเพื่อให้ได้ผลรวมความผิดพลาดกำลังสองที่น้อยลง และเมื่อทดสอบกับฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา วิธีนี้ก็ปรับอัตราการเรียนรู้ให้มีค่าสูงอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ระบบสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันได้ แต่ผลการทดสอบยังทำได้ไม่ดีเท่ากับวิธี modified direction cosine เพราะว่า อัตราการเรียนรู้ที่วิธีนี้ปรับได้ ยังมีค่าน้อยกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ปัญหาที่ใช้ทดสอบเป็นปัญหาที่ง่าย วิธีที่ให้อัตราการเรียนรู้มากกว่าจึงให้ผลดีกว่า

เมื่อนำวิธีการปรับแบบต่าง ๆ มาใช้กับการชดเชยช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นตัวอย่างปัญหาที่มีการใช้งานจริง และมีความซับซ้อนกว่าการประมาณฟังก์ชันเชิงเส้น การทดสอบเริ่มจากดูผลของอัตราการเรียนรู้ที่ค่าคงตัวต่าง ๆ ที่ทำให้ลู่เข้า ซึ่งเห็นได้ว่า อัตราการเรียนรู้ที่มากเกินไป จะทำให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นก่อนที่จะลดลงและเข้าสู่สถานะอยู่ตัว โดยเฉพาะเมื่อการแผ่ออกของค่าเฉพาะสูงขึ้น ช่วงของค่าอัตราการเรียนรู้ที่ทำให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยไม่เพิ่มขึ้นในตอนเริ่มต้นมีช่วงแคบลง ซึ่งการใช้อัตราการเรียนรู้เป็นค่าคงตัว เลือกค่าได้ยาก เพราะถ้าเลือกให้มีค่าน้อยทำให้ลู่เข้าช้า แต่ถ้าเลือกมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียดังกล่าว ดังนั้น จึงได้ทดสอบวิธีการปรับอัตราการเรียนรู้แบบต่าง ๆ กับปัญหานี้ ซึ่งผลที่ได้ต่างจากการทดสอบในช่วงแรก เพราะปัญหามีความยุ่งยากมากขึ้น

ผลการทดสอบวิธีการปรับอัตราการเรียนรู้กับการชดเชยช่องสัญญาณ วิธีที่สามารถใช้งานได้ดีในกรณีที่การแผ่ออกของค่าเฉพาะยังมีค่าน้อย คือ วิธี Idbd เพราะว่า วิธีนี้ได้ปรับอัตราการเรียนรู้ให้ลดลงหลังจากระบบเริ่มทำการปรับตัว ทำให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยไม่เพิ่มขึ้นและ

ระบบสามารถเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็วเพราะค่าที่วิธีนี้ปรับได้ยังมีค่าสูงพอ และค่าที่สถานะอยู่ตัวของวิธีมีค่าต่ำพอสมควร ทำให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับอัตราการเรียนรู้คงตัวที่ 0.075 ก็มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนวิธี Dbd ปรับอัตราการเรียนรู้เพิ่มขึ้นหลังจากระบบปรับตัวไปทำให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยมีค่าสูงกว่า แต่ระบบยังสามารถปรับเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็ว ในกรณีที่การแผ่ออกของค่าเฉพาะยังน้อยอยู่ แต่เมื่อการแผ่ออกมีค่ามากขึ้น วิธีทั้งสองให้ผลที่แย่ลงมาก โดยเฉพาะวิธี Dbd ทำให้เกิดการแกว่งของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่า วิธีให้อัตราการเรียนรู้ที่สูงที่สุดในขณะที่ระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว ทำให้เกิดการกระเพื่อมมาก ส่วนกรณีของวิธี Idbd เมื่อการแผ่ออกมีค่ามากขึ้น ระบบที่ใช้วิธีนี้ปรับตัวได้ช้าลง และค่าที่สถานะอยู่ตัวก็มากขึ้น แต่ยังคงน้อยกว่าของวิธี Dbd

สำหรับวิธี modified direction cosine ในการทดสอบนี้ ให้อัตราการเรียนรู้ที่มีค่าแกว่งไปมาในตอนเริ่มต้น และมีค่าสูงทำให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากในตอนเริ่มต้น ทำให้ระบบต้องปรับตัวอย่างมากเพื่อเข้าสู่สถานะอยู่ตัว ในกรณีที่การแผ่ออกของค่าเฉพาะยังน้อย ระบบยังสามารถปรับตัวให้เข้าสถานะอยู่ตัวได้ จากอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าสูง แต่เมื่อการแผ่ออกมีค่ามาก อัตราการเรียนรู้ที่มีค่าสูงทำให้เกิดการแกว่งมาก และระบบไม่สามารถเข้าสู่สถานะอยู่ตัวในจำนวนรอบที่ใช้ทดสอบได้ ผลการทดสอบของวิธีกับการชดเชยช่องสัญญาณจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ได้ เพราะการเพิ่มของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยในตอนเริ่มทำให้ผลที่ได้แย่ที่สุดในวิธีที่นำมาทดสอบ

วิธีที่สามารถปรับตัวได้ดี เมื่อการแผ่ออกของค่าเฉพาะเพิ่มขึ้น คือวิธี Entropy อัตราการเรียนรู้ของวิธีนี้จะมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ทำให้ระบบปรับตัวเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้ช้า แต่ให้ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยต่ำกว่า แต่เมื่อการแผ่ออกของค่าเฉพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ผลของวิธีอื่นๆ ไม่สามารถเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็ว และความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยในสถานะอยู่ตัวก็เพิ่มขึ้นมาก มีเพียงวิธีนี้เท่านั้น ที่สามารถเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็วขึ้น และยังความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ (แต่สูงกว่าในกรณีที่การแผ่ออกมีค่าน้อย) โดยการปรับอัตราการเรียนรู้เพิ่มขึ้น แต่ว่ายังอยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยเฉพาะในกรณีที่การแผ่ออกของค่าเฉพาะมีค่าสูงที่สุดในการทดสอบ วิธีนี้ให้ผลได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ รวมทั้งวิธี Idbd ด้วย

การทดสอบที่ใช้จึงสามารถสรุปลักษณะการปรับอัตราการเรียนรู้ของแต่ละวิธีได้ดังนี้ คือ วิธี Dbd ประสิทธิภาพของวิธีขึ้นกับพารามิเตอร์ที่เลือกให้กับขั้นตอน โดยจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน วิธี Idbd เป็นวิธีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเรียนรู้น้อย แต่สามารถปรับอัตราการเรียนรู้ให้เหมาะสมได้อย่างอัตโนมัติ วิธีนี้จึงไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเรียนรู้เร็ว วิธี modified direction cosine เป็นวิธีที่ใช้อัตราการเรียนรู้สูง

เหมาะกับการใช้งานประเภทที่ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากนัก แต่ไม่สามารถใช้อัตราการเรียนรู้คงตัวที่มีค่ามากตลอดได้ วิธีนี้จะทำให้ระบบปรับตัวได้เร็ว แต่ควรระวังในเรื่องขนาดอัตราการเรียนรู้ ซึ่งอาจทำให้ระบบเสียเสถียรภาพได้ ส่วนวิธี Entropy เป็นวิธีที่สามารถปรับอัตราการเรียนรู้ได้ดี โดยค่าที่ได้ก็มีความเหมาะสม ทำให้ระบบปรับตัวได้เร็วและให้ค่าประมาณที่ใกล้เคียงในสถานะอยู่ตัว สามารถใช้งานทั่วไปได้ดี

ข้อเสนอแนะ

การทำวิทยานิพนธ์ในขั้นต่อไป ควรเน้นปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการปรับอย่างเช่น การควบคุมขนาดอัตราการเรียนรู้ของวิธี modified direction cosine หรือการเพิ่มความเร็วให้กับวิธี Entropy ซึ่งหากสามารถทำได้ จะสามารถขยายการใช้งานของวิธีการปรับเหล่านี้ให้มากขึ้นได้ นอกจากนี้ ยังอาจสร้างวิธีใหม่ขึ้นจากข้อดีของวิธีเหล่านี้เพื่อให้ได้วิธีที่ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น