บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลแบบปรับตัวได้โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ความต้องการหลักพื้นฐานสองอย่างของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล คือ คุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยภาพที่ใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลเป็นภาพที่ได้จากกล้อง SEM ซึ่งเป็นภาพระดับเทา ขนาด 512×512 พิกเซล ในการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) วิธีการแปลงภาพที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลมีอยู่สองอย่าง คือ การแปลงดีสครีตโคไซน์ (DCT) และการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต (DWT) ในงานวิจัยแรก ผู้วิจัยใช้อัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำลงบนสเปกตรัมความถี่โดยใช้การแปลงสัญญาณดีส ครีต โคไซน์ (DCT) และใช้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียมในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล ซึ่งจากผลการทดสอบคุณภาพของภาพหลังผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ พบว่าคุณภาพของภาพดีขึ้น และสัญญาณลายน้ำมีความทนทานต่อการโจมตีด้วยการประมวลผลสัญญาณภาพพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้อย่างถูกต้อง แต่มีข้อด้อยคือการทำภาพพิมพ์ลายน้ำจากอัลกอริทึมดังกล่าวยังคงต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใหม่ โดยใช้การแปลงดีสครีตเวฟเล็ต (DWT) และพัฒนาขั้นตอนของการกู้คืนสัญญาณลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำและพัฒนาความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยการนำเอาเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้เพิ่มความทนทานของสัญญาณลายน้ำจากการโจมตีเชิงเรขาคณิต จากการทดสอบโดยใช้ภาพSEM พบว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำจากอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นพบว่าคุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำมีคุณภาพที่ดีกว่าอัลกอริทึมก่อนหน้านี้ และเมื่อทำการโจมตีภาพด้วยวิธีการพื้นฐาน และวิธีการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต ต่าง ๆ พบว่าสัญญาณลายน้ำของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้ มีความทนทานต่อการถูกโจมตีได้ดีมากยิ่งขึ้น และสามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้อย่างถูกต้อง

2) ผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคการค้นหาพารามิเตอร์ของการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อสนองความต้องการพื้นฐานของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ต้องการให้ภาพหลังจากการฝังสัญญาณลายน้ำมีความผิดเพี้ยนไปจากต้นฉบับน้อยที่สุด และยังต้องการให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานต่อการถูกโจมตีอีกด้วย ซึ่งความต้องการทั้งสองนี้มีความขัดแย้งซึ่งกันและกัน ทำให้จะต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยได้นำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ใน

การหาค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำสำหรับภาพแต่ละภาพที่มีลักษณะเฉพาะของภาพที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะทำให้ได้ภาพพิมพ์ลายน้ำที่มีความเนียนของภาพที่สูงและมีความทนทานที่สุด โดยอินพุตของเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการฝึกสอนคือค่าโครงสร้างลักษณะเฉพาะของภาพ 5 อย่าง และเอาต์พุตที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียม คือ ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลและผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพของภาพหลังจากการฝังสัญญาณลายน้ำ ที่ใช้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียม ให้คุณภาพของภาพที่ดี เมื่อพิจารณาคุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำกับภาพต้นฉบับจะแตกต่างกันไม่มากนัก นั้นคือ กระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลที่พัฒนาขึนให้ค่าคุณภาพของภาพที่ดีขึ้นกว่างานวิจัยก่อนหน้านี้

3) จากการทดสอบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่นำเสนอพบว่าสัญญาณลายน้ำจะทนทานต่อการโจมตีด้วยการประมวลผลทางสัญญาณภาพได้ แต่จะไม่สามารถทนทานต่อการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต ด้วยเหตุนี้ในอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นจากเดิมที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องจึงได้เพิ่มเครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อที่จะได้แก้ไขภาพและทำให้สามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับมาได้ โดยชุดข้อมูลที่จะให้เครือข่ายประสาทเทียมใช้ในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของภาพ คือค่าโมเมนต์ภาพ (Image moment) ของภาพที่ผ่านการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต เป็นค่าที่แสดงลักษณะเฉพาะของภาพในรูปแบบนั้น ๆ ผู้วิจัยจึงได้นำอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18] ที่ใช้การแปลงดีสครีตเว็ฟเล็ตและการแปลงดีสครีตโคไซน์รวมกันนำมาเปรียบเทียบ หลังจากการทดสอบโจมตีภาพด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต สามารถแก้ไขและกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับคืนมาได้ และค่าคุณภาพของภาพค่า *NC* ค่า *BER* ที่ดีกว่างานของ Saeed et.al. [18] ที่นำมาเปรียบเทียบแสดงว่า กระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำที่พัฒนาขึ้น มีความทนทานต่อการถูกโจมตี ทั้งการประมวลผลสัญญาณภาพ, การบีบอัดสัญญาณภาพและการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต ได้เป็นอย่างดี

5.2 แนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต

1) ในงานวิจัยที่นำเสนอเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลบนภาพที่ได้จากกล้อง SEM ที่เป็นภาพระดับเทา แต่ภาพที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปจะเป็นภาพสี ซึ่งจากการศึกษาถึงองค์ประกอบทางโครงสร้างและรายละเอียดของภาพสีพบว่าเราสามารถที่จะนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ได้

2) ศึกษาเพิ่มเติมการฝังสัญญาณลายน้ำและการกู้คืนสัญญาณลายน้ำ เพื่อนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปพัฒนาใช้กับภาพเคลื่อนไหวได้

3) พัฒนาอัลกอริทึมการฝังและการกู้คืนสัญญาณลายน้ำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ ให้ดีมากกว่าเดิม

4) เพิ่มจำนวนชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมให้ครอบคลุมชนิดของการโจมตีเชิงเรขาคณิตให้มากขึ้น

5) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อแสวงหารูปแบบของเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดกับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

6) ประยุกต์ใช้เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับสื่อดิจิตอลรูปแบบอื่น ๆ เช่น สัญญาณเสียง ภาพวีดิทัศน์ รวมถึงภาพสี (color image) ที่ได้จากล้องดิจิตอล