

รหัสโครงการ SUT 7-709-53-12-19



รายงานการวิจัย

การทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Digital Watermarking for Electron Microscope Images)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Digital Watermarking for Electron Microscope Images)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2553

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล และรองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวกษมา ภาษีทวีไลธรรม นักศึกษาปริญญาโทที่ช่วยงานวิจัย ทำการทดลอง เก็บข้อมูลการวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นอย่างดี

ประโยชน์ คำสวัสดิ์

บทคัดย่อ

การทำลายน้ำดิจิทัล เป็นวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของข้อมูลดิจิทัลมัลติมีเดีย โดยทำการฝังเครื่องหมายหรือรหัสเฉพาะซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของลงในข้อมูลดิจิทัลก่อนที่จะทำการเผยแพร่สู่สาธารณชน เครื่องหมายหรือรหัสเฉพาะนี้เรียกว่า “ลายน้ำ (Watermark)” ข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในการออกแบบลายน้ำดิจิทัลอาจเป็น ตัวเลข ตัวอักษร รูปภาพ สัญลักษณ์ หรือข้อมูลดิจิทัลอื่น ๆ เป็นต้น ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังลงไปนั้นจะอยู่ในลักษณะที่ติดแน่นเป็นเนื้อเดียวกับข้อมูลดิจิทัลซึ่งทำให้ยากต่อการลบออกหรือทำลาย นอกจากนี้ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังลงไปนั้นต้องไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลดิจิทัลมัลติมีเดียลดต่ำลงจนเกินไป สัญญาณลายน้ำที่ฝังลงไปจะต้องมีความทนทานต่อการประมวลผลสัญญาณแบบต่าง ๆ เช่น การเข้ารหัส-ถอดรหัสสัญญาณ การบีบอัดสัญญาณและการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลแบบพื้นฐาน สัญญาณลายน้ำที่ฝังลงไปนี้สามารถทำการคัดแยกหรือกู้กลับคืนมาได้ด้วยอัลกอริทึมการคัดแยกสัญญาณลายน้ำและการใช้กุญแจลับที่ถูกต้อง โดยสัญญาณลายน้ำที่ได้จากการคัดแยกดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการระบุเจ้าของลิขสิทธิ์ที่แท้จริงได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำลายน้ำสัญญาณภาพดิจิทัลแบบทนทาน โดยออกแบบอัลกอริทึมการทำลายน้ำสัญญาณภาพในโดเมนของการแปลงโคไซน์แบบดิสครีตและการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต สัญญาณลายน้ำจะถูกฝังลงในสัมประสิทธิ์ของการแปลงสัญญาณด้วยเทคนิคการกระจายแถบความถี่ วิธีการที่นำเสนอสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้โดยไม่ต้องใช้สัญญาณภาพต้นฉบับแต่อย่างใด ผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดของความแกร่งสัญญาณลายน้ำโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ภาพเอาต์พุตที่มีคุณภาพดีและลายน้ำมีความทนทานมากขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พัฒนาเทคนิคการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของการ โจมตีเชิงเรขาคณิตด้วยเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับโดยใช้โมเมนต์ภาพซึ่งเป็นข้อมูลลักษณะเฉพาะของภาพที่สกัดออกมาได้เพื่อที่จะใช้ในการปรับแก้ภาพที่ถูกโจมตีเชิงเรขาคณิตให้กลับมาอยู่ในลักษณะเดิมก่อนจะเริ่มทำการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ จากการทดสอบคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุตและการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้คุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุตที่ดีและสัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงต่อการ โจมตีแบบต่าง ๆ ดังได้นำเสนอไว้ในรายงานฉบับนี้

คำหลัก : การทำลายน้ำสัญญาณภาพดิจิทัล การแปลงโคไซน์แบบดิสครีต การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต เครือข่ายประสาทเทียม

Abstract

Digital watermarking is an emerging technology that embeds hidden copyright information directly into the digital multimedia content in such a way that it always remains present. The embedded information data is referred to as “watermark”. Ideally, there should be no perceptible difference between the watermarked and original data, and the watermark should be easily extractable, reliable and robust against decryption, re-encryption, compression and common signal processing. The information carried by the watermark can be accessed using a detection algorithm with the help of a secret key and can be used to identify the copyright holder and ensure proper payment of royalties.

This paper proposes a robust digital image watermarking algorithm using discrete cosine transform and discrete wavelet transform. The embedding technique is based on the spread spectrum watermarking technique and the watermark extraction process does not require the original image. We have developed an adaptive watermarking technique using back propagation neural networks to search for optimal watermark strengths to improve the quality of watermarked image and robustness of the watermark. In addition, we have developed a feature learning technique based on image moments and back propagation neural network to correct an attacked image geometrically before the watermark extraction process begins. The experimental results show that the proposed watermarking algorithm yields watermarked image with good imperceptibility and the watermark survives to most of the attacks which were included in this study.

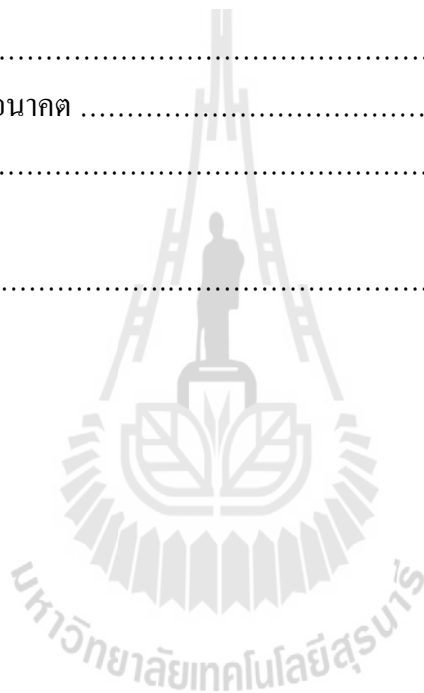
Keywords : Digital image watermarking, Discrete cosine transform, Discrete wavelet transform, Neural networks

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการการวิจัย	3
ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
บทนำ	5
หลักการและการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล.....	5
สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิตอล	7
เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล	9
การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลแบบปรับตัวได้โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม	
บทนำ	14
การฝังสัญญาณลายน้ำ	14
การตรวจจับสัญญาณลายน้ำ	17
การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลแบบปรับตัวได้	18
ผลของการทดลอง	21
สรุป	28
บทที่ 4 การพัฒนาเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลแบบปรับตัวได้โดยใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม	
บทนำ	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการฝังสัญญาณลายน้ำ	32
การกู้คืนสัญญาณลายน้ำ	36
ขั้นตอนการฝึกสอนประสาทเทียม	38
ผลการทดลอง	47
สรุป	73
บทที่ 5 บทสรุป	
สรุปผลงานวิจัย	74
แนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต	75
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก	79



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่า <i>PSNR</i> ของภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว.....	23
3.2 ตารางภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำของวิธีการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับการวิจัยของ Cox e al.	23
3.3 เปรียบเทียบค่า <i>sim</i> ของภาพ SEM_image1 ที่ไม่ผ่านการโจมตี และผ่านการโจมตีด้วยการบีบอัดสัญญาณ ด้วย JPEG compression ที่ค่าคุณภาพ 10%	26
3.4 ค่า <i>sim</i> เฉลี่ยของภาพ 4 ภาพที่ได้จากการใช้ค่า α_1 เท่ากับ 0.05, α_2 เท่ากับ 0.08 และ 0.09 เมื่อ ผ่านการโจมตีแบบต่าง ๆ	27
4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า <i>PSNR</i> และค่า MAE จากบทความของ Saeed et.al. [18] และของอัลกอริทึมที่ทำตามบทความ Saeed et.al. [18]	50
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า <i>PSNR</i> ของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการของ Cox et.al. และวิธีการของ Saeed et.al.[18]	50
4.3 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image1 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	52
4.4 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image2 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	54
4.5 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image3 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	54
4.6 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image4 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	55
4.7 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image5 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	55
4.8 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image6 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	56
4.9 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image7 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image8 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	57
4.11 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image9 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	57
4.12 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image10 เมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	58
4.13 ค่าเฉลี่ยค่า <i>NC</i> และ <i>BER</i> ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพเมื่อผ่านการ โจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	58
4.14 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image1 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	61
4.15 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image2 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	62
4.16 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image3 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	63
4.17 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image4 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	64
4.18 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image5 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	65
4.19 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image6 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.20 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image7 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	67
4.21 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image8 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	68
4.22 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image9 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	69
4.23 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image10 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	70
4.24 ค่าเฉลี่ยค่า <i>NC</i> และ <i>BER</i> ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพของวิธีการที่นำเสนอ เมื่อผ่านการ โจมตีด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต และวิธีการของ Saeed et.al. [18] โดยคำนวณค่าเฉลี่ยจากผลในตารางที่ 4.14 – 4.23	71

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิทัล	5
3.1 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำ	15
3.2 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำ	16
3.3 แผนภาพการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ	18
3.4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	20
3.5 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำที่ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมมาใช้	21
3.6 สัญญาณลายน้ำ	22
3.7 ภาพและกราฟค่า <i>sim</i> ที่ผ่านการโจมตีด้วยวิธีการ (ก) Median filter (ข) Gaussian noise (ค) Low pass filter (ง) JPEG lossy compression ที่ 10%	26
3.8 เปรียบเทียบค่า <i>sim</i> ระหว่าง (ก) ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วย JPEG compression 10% ของวิธีการที่นำเสนอ และ (ข) ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วย JPEG compression 10% ของวิธีการ Cox <i>et al.</i>	28
4.1 สัญญาณลายน้ำรูปภาพระดับเทาขนาด 32 × 32 พิกเซล	32
4.2 รหัสลับ (key) รูปภาพระดับเทาขนาด 32 × 32 พิกเซล	32
4.3 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำ	32
4.4 ภาพต้นฉบับที่ผ่านการแปลงสีสกรีนเวฟเลต 3 ระดับ	34
4.5 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล	35
4.6 แผนภาพการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ที่ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม	37
4.7 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate -1 องศา	39
4.8 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate +1 องศา	39
4.9 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate -15 องศา	40
4.10 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate +15 องศา	40

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
4.11 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Rotate -30 องศา	41
4.12 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Rotate +30 องศา	41
4.13 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Rotate -45 องศา	42
4.14 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Rotate -90 องศา	42
4.15 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Scaling 50%	43
4.16 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Scaling 150%	43
4.17 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Scaling 200%	44
4.18 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Scaling 250%	44
4.19 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Scaling 300%	45
4.20 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Translation 5 pixels in x-axis	45
4.21 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Translation 5 pixels in y-axis	46
4.22 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Translation 5 pixels in x & y-axis	46
4.23 รูปภาพ Barbara, Baboon และภาพ Pepper ที่ใช้ในการทดสอบ อัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18]	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 กราฟของการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียม	51
4.25 ภาพ Logo ที่กู้คืนมาได้หลังจากผ่านการโจมตีต่าง ๆ ของอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18]	53
4.26 ภาพผลลัพธ์จากการโจมตีแบบต่าง ๆ ต่อภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล SEM_image1 (ก) การหมุน -15 องศา (ข) การหมุน -45 องศา (ค) การหมุน -90 องศา (ง) การเลื่อนทางพิกัดแกน x 5 พิกเซล (จ) การเลื่อนทางพิกัดแกน x และแกน y 5 พิกเซล (ฉ) การย่อ-ขยายภาพ 50 %	60
4.27 สัญญาณลายน้ำที่สามารถกู้คืนมาได้จากการโจมตีแบบต่าง ๆ ของภาพ SEM_image1 (ก) การหมุน -15 องศา (ข) การหมุน -45 องศา (ค) การหมุน -90 องศา (ง) การเลื่อนทางพิกัดแกน x 5 พิกเซล (จ) การเลื่อนทางพิกัดแกน x และแกน y 5 พิกเซล (ฉ) การย่อ-ขยายภาพ 50 %	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีดิจิทัลมีเดีย เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีความเจริญรุดหน้าไปมาก เทคโนโลยีดังกล่าวเหล่านี้ทำให้เนื้อหาของสื่อผสมในรูปแบบดิจิทัล (Digital multimedia contents) สามารถทำการส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้อย่างสะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพทำให้ข้อมูลดังกล่าวเกิดการแพร่กระจายไปทั่วโลกได้อย่างรวดเร็ว ประกอบกับข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลสามารถทำการประมวลผลได้ง่ายด้วยซอฟต์แวร์ที่มีอยู่มากมาย สามารถทำการคัดลอกโดยไม่มีการลดทอนหรือสูญเสียคุณภาพของสัญญาณ รวมทั้งยังสามารถทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขในตัวเนื้อหาข้อมูลได้ง่ายอีกด้วย จึงส่งผลให้มีการใช้งานข้อมูลดิจิทัลมีเดียทั้งภาพและเสียงกันอย่างกว้างขวาง

ปัญหาหนึ่งก็ตามมาก็คือ การละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของเจ้าของข้อมูลดิจิทัลมีเดีย เช่น การปลอมแปลง การดัดแปลง การทำซ้ำ การนำเสนอ การเผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยปราศจากความยินยอมจากเจ้าของข้อมูล ซึ่งอาจจะทำให้เจ้าของข้อมูลต้องเสียชื่อเสียงหรือสูญเสียรายได้ที่พึงได้รับ จึงจำเป็นต้องมีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญา วิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้คือการเข้ารหัสลับ (Encryption) แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด เนื่องจากการเข้ารหัสลับเป็นการป้องกันการเข้าถึงตัวข้อมูลในระหว่างการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสาร โดยมีการใช้กุญแจลับในการเข้ารหัสเพื่อสร้างข้อความไซเฟอร์ (Cipher text) ที่มีรูปลักษณะซึ่งต่างไปจากข้อมูลต้นฉบับโดยสิ้นเชิงก่อนที่จะส่งผ่านเครือข่ายการสื่อสาร อย่างไรก็ตาม การเข้ารหัสลับนี้มิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาในตัวข้อมูลแต่อย่างใด ดังนั้นเมื่อข้อความไซเฟอร์ถึงปลายทางและถูกทำการถอดรหัสลับ (Decryption) ด้วยกุญแจลับที่ถูกต้อง ก็จะได้ข้อมูลที่เหมือนข้อมูลต้นฉบับทุกประการ และเมื่อทำการถอดรหัสลับแล้วการป้องกันข้อมูลชุดนั้นก็สิ้นสุดลง แนวทางหนึ่งที่จะสามารถป้องกันข้อมูลดิจิทัลมีเดียจากปัญหาดังกล่าวนี้ได้คือ “การทำลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking)”

การทำลายน้ำดิจิทัล เป็นวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของข้อมูลดิจิทัลมีเดีย โดยทำการใส่เครื่องหมายหรือรหัสเฉพาะซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของ

ลงในข้อมูลดิจิทัลก่อนที่จะทำการเผยแพร่สู่สาธารณชน เครื่องหมายหรือรหัสเฉพาะนี้เรียกว่า “ลายน้ำดิจิทัล (Digital watermark)” ข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในการออกแบบลายน้ำดิจิทัลอาจเป็น ตัวเลข ตัวอักษร รูปภาพ สัญลักษณ์ หรือข้อมูลทางชีวภาพ (Biometric) ที่ใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล เช่น ลายนิ้วมือแบบดิจิทัล (Digital fingerprint) ภาพม่านตา (Iris image) เป็นต้น ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังลงไปนั้นจะอยู่ในลักษณะที่ฝังติดแน่นเป็นเนื้อเดียวกับข้อมูลดิจิทัลซึ่งทำให้ยากต่อการลบออกหรือทำลาย อย่างไรก็ตามลายน้ำดิจิทัลที่ฝังลงไปนั้นต้องไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลดิจิทัลมีผลแตกต่างจนเกินไป

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล คือ ความทนทานของสัญญาณลายน้ำต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต (Geometrical attacks) Cox *et al.* [1] ยกตัวอย่างเช่น การหมุนภาพ (Rotation) การย่อขยายภาพ (Scaling) การเคลื่อนของภาพ (Translation) การตัดภาพ (Cropping) เป็นต้น ซึ่งการโจมตีดังกล่าวทำให้การเข้าจังหวะกัน (Synchronization) ของสัญญาณลายน้ำกับตัวตรวจจับสัญญาณลายน้ำสูญเสียไปจึงส่งผลให้การคัดแยกสัญญาณลายน้ำเกิดความผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นการคิดค้นอัลกอริทึมที่มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายมากสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

การทำลายน้ำดิจิทัลสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลดิจิทัลมัลติมีเดียได้ทุกประเภท เช่น ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงเพลง เสียงดนตรี เป็นต้น สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะการทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพนิ่งแบบดิจิทัลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope , EM) ซึ่งเป็นภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์รายละเอียดของโครงสร้างระดับไมโครบนพื้นวัตถุทำให้ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นภาพที่มีรายละเอียดสูง สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับการกระจายของอนุภาค ขนาดของเกรน (Grain) ความพรุน ความหนาแน่น หรือร่องรอยอันเกิดจากความผิดปกติของวัสดุ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนบางภาพเป็นภาพที่ได้การทดสอบชิ้นวัสดุจากการค้นคว้าและวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น เกสรดอกไม้ เมล็ดพันธุ์ เส้นใย เนื้อเยื่อ คอนกรีต โลหะ เซรามิก เป็นต้น ภาพเหล่านั้นอาจนำไปสู่การค้นพบสายพันธุ์พืชหรือสัตว์ สิ่งประดิษฐ์ หรือการค้นพบแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาที่มีความสำคัญ ดังนั้นลิขสิทธิ์ของภาพจึงเป็นเรื่องที่สำคัญที่ไม่ควรมองข้าม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อทำการคิดค้นและพัฒนาอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ (Copyright protection) สำหรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในโดเมนของการแปลงสัญญาณ

1.2.2 เพื่อทำการศึกษาความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ภายใต้สภาวะการโจมตีสัญญาณลายน้ำด้วยการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย (Lossy compression)

1.2.3 เพื่อแสวงหาแนวทางในการนำการวิธีการสกัดลักษณะเด่น (Feature extraction) ภาพดิจิทัล เช่น ตัวกรองกาบอร์ (Gabor filter) หรือ โมเมนต์ภาพ (Image moment) มาใช้ในการสกัดลักษณะเด่นภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลให้มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB และโปรแกรมภาษา C/C++ ในการจำลองอัลกอริทึมที่ได้ทำการคิดค้นและพัฒนาขึ้น

1.3.2 ภาพตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นภาพดิจิทัล จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

1.4.1 ดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัยในฐานข้อมูลต่าง ๆ

1.4.2 ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง เช่น การแปลงสัญญาณภาพ ทฤษฎีการตรวจจับสัญญาณดิจิทัล การเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลและการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

1.4.3 จัดเก็บรวบรวมข้อมูลภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อเป็นฐานข้อมูลการวิจัย

1.4.4 คิดค้นและออกแบบวิธีการสร้างสัญญาณลายน้ำและอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

1.4.5 ทำการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ภายใต้สภาวะของการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย ทั้งนี้เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขอัลกอริทึมให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากขึ้น

1.4.6 ทำการทดสอบและเปรียบเทียบคุณภาพของภาพเอาต์พุต และความทนทานของสัญญาณลายน้ำก่อนและหลังการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะมีการคำนวณค่า Peak signal to noise ratio (PSNR) และอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate) จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยและสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้อัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

1.5.2 ได้แนวทางในการพัฒนาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่มีความทนทานสูงต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต

1.5.3 งานวิจัยการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตและการสกัดลักษณะเด่นของภาพด้วยตัวกรองกาบอร์หรือโมเมนต์ภาพมีปรากฏในวารสารการประชุมวิชาการและวารสารต่างประเทศน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญสำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลต่อไป

1.5.4 เป็นการส่งเสริมให้นักศึกษาสนใจในการทำวิจัย รวมทั้งเป็นการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ให้สามารถเริ่มการวิจัยและพัฒนาได้ และดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

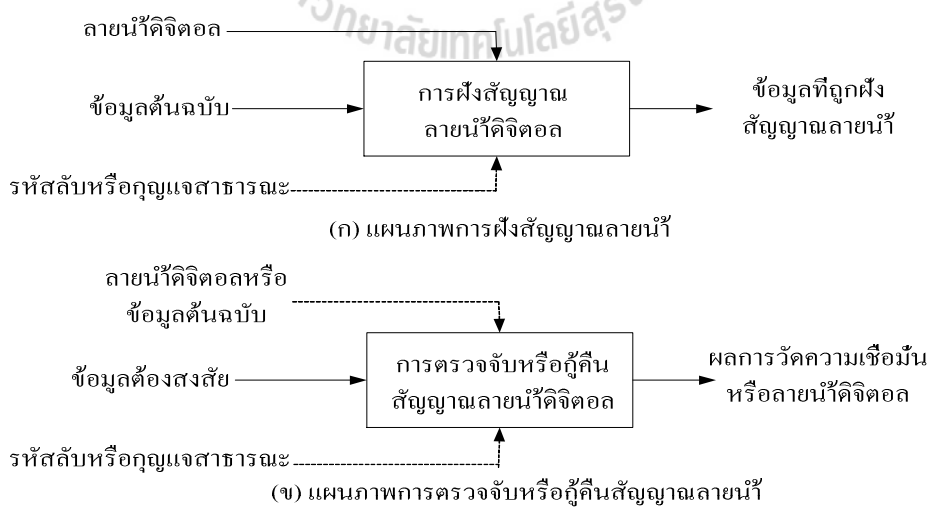
2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทำลายน้ำดิจิทัล โดยจะได้กล่าวถึงหลักการและการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิทัล เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล และกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องเป็นส่วนสุดท้าย

2.2 หลักการและการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ลายน้ำ (Watermark) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาเป็นเวลานาน ตัวอย่างเช่น การแทรกลายน้ำลงในธนบัตร แสตมป์หรือเอกสารสำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการปลอมแปลงหรือลอกเลียนแบบ ในปัจจุบันข้อมูลภาพและเสียงเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บจากแอนะล็อกมาเป็นข้อมูลแบบดิจิทัล แนวทางในการป้องกันแบบเดิมก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้อีกครั้ง โดยลายน้ำที่ใช้ก็มีการเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นลายน้ำดิจิทัล

กระบวนการในการทำลายน้ำดิจิทัลโดยทั่ว ๆ ไปแสดงได้ดังในรูปที่ 2.1 โดยประกอบด้วยสองส่วนคือ การฝังลายน้ำดิจิทัลและการตรวจจับหรือกู้คืนลายน้ำดิจิทัล



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิทัล

การออกแบบวิธีการในการทำลายน้ำดิจิทัลประกอบด้วย การออกแบบสัญญาณลายน้ำ การออกแบบอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลและการออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ

2.2.1 การออกแบบสัญญาณลายน้ำ เป็นวิธีการในการสร้างสัญญาณลายน้ำสำหรับนำมาฝังหรือซ่อนในข้อมูลดิจิทัล โดยปกติแล้วสัญญาณลายน้ำจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลข่าวสารและกุญแจรหัสที่ใช้สร้างสัญญาณลายน้ำ ดังนี้

$$W = f_0(I, K) \quad (2.1)$$

เมื่อ W คือสัญญาณลายน้ำดิจิทัล K คือกุญแจรหัสและ I คือข้อมูลข่าวสารซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของในข้อมูลดิจิทัล และในบางครั้งสัญญาณลายน้ำอาจจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลต้นฉบับ X ที่ต้องการจะฝังสัญญาณลายน้ำด้วย คือ

$$W = f_0(I, K, X) \quad (2.2)$$

2.2.2 การออกแบบอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล เป็นวิธีการในการนำสัญญาณลายน้ำ W มารวมเข้ากับข้อมูลต้นฉบับ X ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำ Y ดังนี้

$$Y = f_1(X, W) \quad (2.3)$$

2.2.3 การออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ เป็นการพิสูจน์ทราบว่ามีสัญญาณลายน้ำอยู่ในข้อมูลดิจิทัลที่เราสงสัยหรือไม่ หรือเพื่อที่จะกู้ข้อมูลข่าวสารในข้อมูลดิจิทัลที่เราสงสัย \hat{I} กลับคืนมาสำหรับใช้ในการอ้างกรรมสิทธิ์หรือระบุตัวตนที่แท้จริงของเจ้าของข้อมูลดิจิทัลนั้น กระบวนการในการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำอาจทำได้โดยใช้ข้อมูลต้นฉบับ ข้อมูลต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำ \hat{Y} และกุญแจรหัสดังนี้

$$\hat{I} = g(X, \hat{Y}, K) \quad (2.4)$$

หรืออาจไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับก็ได้ ดังนี้

$$\hat{I} = g(\hat{Y}, K) \quad (2.5)$$

ในทางปฏิบัติ สองข้อแรกนั้นสามารถที่จะทำดำเนินการออกแบบไปพร้อม ๆ กัน โดยเฉพาะเทคนิคในการทำลายน้ำดิจิทัลที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณลายน้ำตามชนิดข้อมูลต้นฉบับ

การทำลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบที่เรียกว่า Public watermarking สามารถทำการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้โดยไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ ซึ่งในการใช้งานบางอย่างนั้นเราอาจจะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลต้นฉบับได้ และบางทีข้อมูลต้นฉบับที่ใช้ก็อาจจะไม่ใช่ข้อมูลที่แท้จริงเสมอไป ดังนั้นการตรวจจับสัญญาณลายน้ำโดยที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับจึงมีความโดดเด่น แต่ก็มีความซับซ้อนมากกว่าการตรวจจับที่ต้องอาศัยข้อมูลต้นฉบับหลายเท่าตัว การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบดังกล่าวนี้จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

2.3 สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิทัล

การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัลในงานแต่ละประเภท จะมีรายละเอียดและความต้องการพื้นฐานของการทำลายน้ำดิจิทัลที่แตกต่างกันไป สิ่งที่ต้องการทำลายน้ำดิจิทัลในการประยุกต์ใช้งานทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ [3][4]

2.3.1 ความยากลำบากต่อการสังเกต (Imperceptibility) อัลกอริทึมในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลจะต้องมีการฝังสัญญาณลายน้ำในลักษณะที่ไม่เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำโดยต้องไม่ทำให้เกิดการสังเกตเห็นได้หรือสามารถบอกความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำ

2.3.2 ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robustness) ข้อมูลดิจิทัลที่ฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว อาจถูกประมวลผลโดยการประมวลผลสัญญาณแบบต่าง ๆ ซึ่งในระหว่างนั้นสัญญาณลายน้ำอาจถูกเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายทั้งโดยจงใจหรือไม่ก็ตาม ความทนทานของสัญญาณลายน้ำเป็นสิ่งที่น่าสนใจได้ว่าสัญญาณลายน้ำจะไม่ถูกทำลายไปในระหว่างการประมวลผลสัญญาณเหล่านั้น นอกจากนี้สัญญาณลายน้ำควรจะต้องมีความปลอดภัยจากการคุกคาม (Threat) และการโจมตี (Attack) เพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถทำการแก้ไขหรือทำลายสัญญาณลายน้ำ ทั้งนี้เพื่อที่จะขัดขวางการตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้ เราเรียกการทำลายน้ำดิจิทัลแบบนี้ว่าการทำลายน้ำแบบทนทาน (Robust watermarking) ตรงกันข้ามกับวิธีการทำลายน้ำดิจิทัลแบบ

เปราะบาง (Fragile watermarking) สัญญาณลายน้ำในวิธีนี้จะถูกออกแบบให้มีความเปราะบางต่อการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งก็จะมีลักษณะการประยุกต์ใช้งานที่ต่างออกไป เช่น ใช้ในการสร้างความเชื่อถือได้ของสัญญาณภาพ (Image integrity) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลภาพนั้น ๆ เป็นภาพต้นฉบับจริงหรือเป็นภาพที่มีการแก้ไขแต่งเติม (Retouch) ลายน้ำดิจิทัลแบบเปราะบางจะทำให้เกิดความมั่นใจว่าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและไม่ถูกผู้อื่นบิดเบือนไป เป็นต้น

2.3.3 จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ (Payload of the watermark) หมายถึงจำนวนของข้อมูลสัญญาณลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลดิจิทัล ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความจุของช่องสัญญาณ และขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมในการทำลายน้ำดิจิทัลเป็นอย่างมาก บางอัลกอริทึมสามารถฝังได้แค่เพียงบิตเดียว (One-bit watermarking) แต่บางอัลกอริทึมสามารถฝังได้มากกว่า 1 บิต (Multi-bits watermarking) อย่างไรก็ตามจำนวนบิตดังกล่าวจะถูกออกแบบให้เหมาะสมตามการใช้งาน สำหรับการใช้งานเพื่อการป้องกันการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา (Protection of intellectual property rights, IPR) ดูเหมือนว่า ผู้ใช้งานต้องการที่จะฝังสัญญาณลายน้ำที่เป็นข้อมูลข่าวสารในลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้กันทั่วไป เช่น International standard book numbering (ISBN) International standard recording code (ISRC) นั้นหมายความว่าควรจะมีการฝังสัญญาณลายน้ำที่เป็นข้อมูลข่าวสารประมาณ 60-70 บิต ลงในข้อมูลต้นฉบับ

อย่างไรก็ตามในการทำลายน้ำดิจิทัลนั้น สิ่งที่ต้องการทั้งสามข้อดังกล่าวจะขัดแย้งซึ่งกันและกันเสมอ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพดีหรือมีความคล้ายกับสัญญาณภาพต้นฉบับมากที่สุด ก็ต้องฝังสัญญาณลายน้ำโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมาก ซึ่งจะส่งผลให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดลง และหากต้องการให้จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำมีมากขึ้นก็ต้องทำการฝังสัญญาณลายน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดต่ำลงแล้วยังทำให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพลดต่ำลงเช่นกัน วิธีการ Trade-off เพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการทั้งสามข้อจึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

2.4 เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล เมื่อแบ่งตามลักษณะการมองเห็นสัญญาณลายน้ำสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มด้วยกันคือ [3] ลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำดิจิทัลแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark) ลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้ มีข้อดีคือ เมื่อมองดูภาพด้วยสายตาสามารถบอกได้ทันทีว่าภาพนั้นมีลายน้ำดิจิทัลอยู่หรือไม่ ทำให้สามารถระบุถึงเจ้าของของภาพนั้นได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบนี้มีข้อเสียคือ มีความทนทานและความปลอดภัยต่ำ สามารถถูกทำลายหรือลบออกได้ง่ายเพราะทราบตำแหน่งที่แน่นอนของสัญญาณลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม ลายน้ำดิจิทัลแบบไม่สามารถมองเห็นได้จะมีความทนทานและความปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากจะไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอนในการฝังสัญญาณลายน้ำ และโดยทั่วไปแล้วสัญญาณลายน้ำจะมีการกระจายอยู่เกือบทุกตำแหน่งในภาพ เมื่อพยายามลบสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการสุ่มจะทำให้คุณภาพของภาพนั้นลดต่ำลงจนทำให้มูลค่าทางการค้าของภาพนั้นเสียไป

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลยังสามารถแบ่งได้ตามโดเมนของการประมวลผลสัญญาณภาพ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม [4] กลุ่มแรกเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสเปซเชิงโดเมน (Spatial domain) และในกลุ่มที่สองเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ (Transform domain) ซึ่งต้องมีการแปลงโดเมนของสัญญาณภาพก่อนทำการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล วิธีที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณ เช่น การแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete cosine Transform, DCT) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier transform, DFT) การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform, DWT) และการแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete multiwavelet transform, DMT) จากผลการวิจัยที่ได้มีการนำเสนอในวรรณกรรมต่าง ๆ พบว่า การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสเปซเชิงโดเมน ทั้งในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุต ความปลอดภัยและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยเฉพาะความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพ ซึ่งการบีบอัดสัญญาณภาพนี้เป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภาพและการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.5 การทบทวนวรรณกรรม (Reviewed literature) / สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และ การวิธีดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล ดังนี้

โดยงานวิจัยของ Cox *et al.* [5] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณโดยใช้หลักการของแผ่กระจายแถบความถี่ (Spread spectrum) ทำการฝังสัญญาณลายน้ำในสัมประสิทธิ์ของการแปลง DCT ที่มีค่ามากที่สุดจำนวน 1,000 ค่าโดยไม่รวมสัมประสิทธิ์ไฟตรง (DC coefficient) สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นจำนวนจริงแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบ Gaussian distribution การตรวจจับสัญญาณลายน้ำในวิธีนี้จะต้องใช้ภาพต้นฉบับด้วยเสมอ วิธีนี้ให้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ไม่ดีนัก เนื่องจากสัญญาณลายน้ำถูกฝังอยู่ในสัมประสิทธิ์ที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของภาพเอาต์พุต

ในลำดับต่อมา Piva *et al.* [6] ได้นำงานวิจัยของ Cox *et al.* [5] มาดำเนินการวิจัยต่อยอดโดยใช้เทคนิค Correlation based technique ในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำแต่อย่างใด วิธีนี้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงต่อการประมวลผลสัญญาณแบบปกติ (Common signal processing)

การนำสัญญาณลายน้ำดิจิทัลมาประยุกต์เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ นั้น การฝังสัญญาณลายน้ำในรูปแบบที่เป็นภาพสัญลักษณ์ (Logo) จะมีความสะดวกมากกว่าสัญญาณลายน้ำในลักษณะที่เป็นสัญญาณสุ่ม เนื่องจากสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณลายน้ำด้วยสายตาได้ทันที โดยไม่ต้องใช้การคำนวณประกอบการตัดสินใจว่าภาพต้องสงสัยมีสัญญาณลายน้ำที่กำลังค้นหาอยู่หรือไม่

โดยในงานวิจัยของ Wu *et al.* [7] นำเสนอการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ใช้หลักซีโรทรี (Zerotree) ของการแปลง DCT โดยทำการจัดรูปแบบของสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในรูปแบบของ Pyramid 3 ระดับก่อนทำการหาซีโรทรี สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นภาพสัญลักษณ์ขนาด 32×32 พิกเซล (Pixel) การกู้คืนสัญญาณลายน้ำในวิธีการดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับแต่อย่างใด

เมื่อกระบวนการสำคัญในมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพด้วย JPEG มีการเปลี่ยนจากการแปลงสัญญาณภาพด้วย DCT (JPEG Based-line) ไปเป็นการแปลงด้วย DWT (JPEG2000)

ทำให้งานวิจัยการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเล็ตได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก หลักการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด (Multiresolutions) และหลักการ Human Visual Systems (HVS) ในโดเมนของเวฟเล็ตจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางโดย Kundur *et al.* [8] ได้นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยใช้การแปลง DWT และทำการฝังสัญญาณลายน้ำโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Multiresolution fusion ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณลายน้ำด้วยการแปลง DWT จำนวน 1 ระดับก่อนทำการสเกล (Scaling) และรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ของภาพต้นฉบับ จากนั้นใช้แบบจำลอง HVS ในการควบคุมความแรงแรงของสัญญาณลายน้ำ สัญญาณลายน้ำสามารถกู้กลับคืนมาได้ด้วยเทคนิค Correlation based technique โดยใช้การคำนวณ Normalized correlation เป็นตัววัดความเหมือนระหว่างสัญญาณลายน้ำที่กู้คืนมาได้เทียบกับลายน้ำต้นแบบ

งานวิจัยลำดับต่อมา Dugad *et al.* [9] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยใช้หลักการกระจายแถบความถี่ (Spread spectrum) โดยทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ที่มากกว่าค่า Threshold ในทุก ๆ แบนด์ย่อย (Subband) ของการแปลง DWT ยกเว้นแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ การตรวจจับสัญญาณลายน้ำใช้เทคนิค Correlation based technique โดยที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ

ในงานวิจัยของ Wang *et al.* [10] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของ DWT ด้วยเทคนิคแผนภูมิต้นไม้ของเวฟเล็ต (Wavelet tree) ซึ่งจะทำการจัดสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ออกเป็นกลุ่มที่เรียกว่า Super tree โดยสัมประสิทธิ์ในกลุ่มเดียวกันจะมีตำแหน่งทาง Spatial domain เหมือนกันแต่จะมีย่านความถี่ที่แตกต่างกัน สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นจำนวนจริงแบบสุ่มโดยจะถูกฝังด้วยวิธีการทำ Quantization ระดับของการ Quantization ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติใน Super tree ครั้งละสองกลุ่ม การฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการนี้ทำให้สัญญาณลายน้ำกระจายไปยังทุกสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อคุณภาพโดยตรง ทำให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูง

ในลำดับต่อมา Kwon *et al.* [11] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต DMT โดยสัญญาณลายน้ำจะถูกฝังลงในบริเวณที่เรียกว่า JND (Just noticeable differences) ในแต่ละแบนด์ย่อยของสัญญาณภาพที่ได้จากการแปลง DMT จำนวน 4 ระดับ ด้วยเทคนิคดังกล่าวทำให้สัญญาณลายน้ำจะถูกฝังอยู่ในบริเวณที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้และมีความทนทานมากขึ้น สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นสัญญาณแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบ Gaussian distribution

ส่วนการตรวจจับสัญญาณลายน้ำใช้เทคนิค Correlation based technique โดยจำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ

ในงานวิจัยของ Zhao *et al.* [12] ได้นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ใช้การแปลง DMT โดยใช้หลักการมัลติเวฟเลตฟิวชัน (Multiwavelet fusion) วิธีการนี้สัญญาณลายน้ำซึ่งเป็นภาพสัญลักษณ์จะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DMT และนำไปทำการหลอมรวมกับสัมประสิทธิ์ของภาพต้นฉบับเพื่อซ่อนสัญญาณลายน้ำ ส่วนการถอดสัญญาณลายน้ำก็จะเป็นกระบวนการย้อนกลับซึ่งจำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดสัญญาณลายน้ำ

ในงานวิจัยของ Ghouti *et al.* [13] ได้นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการแผ่กระจายแถบความถี่ซึ่งใช้มัลติเวฟเลตแบบสมดุล (Balance Multiwavelet) ในการแปลงสัญญาณภาพ และได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับอัลกอริทึมเดิมที่ใช้การแปลง DCT และ DWT ในด้านความจุของช่องสัญญาณในการฝังสัญญาณลายน้ำซึ่งพบว่าวิธีการที่นำเสนอมีความจุสูงกว่า

ในงานวิจัยของ Kumsawat *et al.* [14] ได้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลแบบ One-bit watermarking โดยใช้การแปลงมัลติเวฟเลตเป็นหลัก และใช้จินเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพเอาต์พุต และความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิทัล สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นจำนวนจริงแบบสุ่มและมีการกระจายแบบ Gaussian distribution และในขั้นตอนการตรวจจับสัญญาณลายน้ำไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับแต่อย่างใด

ในงานวิจัยของ Tang *et al.* [15] ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาความทนทานของสัญญาณลายน้ำต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการสกัดลักษณะเด่น (Feature extraction) ของภาพที่เรียกว่า Mexican Hat wavelet scale interaction ลักษณะเด่นในขอบเขตของแต่ละรูปทรงกลม (Disk) ที่สกัดได้จะถูกใช้สำหรับการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยฝังลายน้ำไว้ในย่านความถี่กลางในโดเมนของแปลง DFT ส่วนขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณลายน้ำก็จะทำการสกัดลักษณะเด่นก่อนและทำการคัดแยกเฉพาะในบริเวณของลักษณะเด่นเท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถตรวจจับลายน้ำได้ถูกต้องทั้งหมดเมื่อลักษณะเด่นดังกล่าวมีการเคลื่อนของภาพจากการโจมตีเชิงเรขาคณิตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ลำดับต่อมา Weinheimer และ Xiaojun [16] ได้นำวิธีการทำภาพบรรทัดฐาน (Image normalization method) ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการรู้จำรูปแบบ (Pattern recognition) มาใช้ในเลือกบริเวณของฟังก์ชันฉายน้ำดิจิทัลที่มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต เนื่องจากภาพที่ได้จากวิธีการดังกล่าวไม่ขึ้นกับการหมุนภาพ การใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลให้ฟังก์ชันฉายน้ำมีความทนทานสูงต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต และวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดฟังก์ชันฉายน้ำ และในลำดับสุดท้าย Zheng *et al.* [17] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต โดยใช้เทคนิคการสกัดลักษณะเด่นของภาพที่ได้จากการแปลง DFT (Discrete Fourier transform) และทำการฟังก์ชันฉายน้ำลงในส่วนที่เป็นลายหรือรอยของภาพ (Texture) ที่สกัดได้ ในบทความระบุว่าฟังก์ชันฉายน้ำมีความทนทานสูงต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต โดยไม่ขึ้นอยู่กับการหมุนภาพ การย่อขยายภาพและการเคลื่อนของภาพแต่อย่างใด ส่วนในการถอดฟังก์ชันฉายน้ำก็จะเป็นกระบวนการย้อนกลับซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดฟังก์ชันฉายน้ำ



บทที่ 3

การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลแบบปรับตัวได้โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

3.1 บทนำ

จากความต้องการหลักของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลทั้งด้านคุณภาพของภาพหลังฝังสัญญาณลายน้ำ และความทนทานของภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลต่อการโจมตีในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นความต้องการที่มีความขัดแย้งกันในตัว ดังนั้นจึงต้องค้นหาวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่สนองความต้องการทั้งสองข้างต้นได้เท่า ๆ กัน ทำให้มีการพัฒนาวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลออกมาหลายรูปแบบต่าง ๆ กันไป ซึ่งในบทนี้ จะกล่าวถึงการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยการฝังสัญญาณลายน้ำลงบนภาพที่ได้จากกล้อง SEM (Scanning electron microscope) โดยเป็นภาพของสารเฟอร์ริคลอไรด์ (FeCl_2) และภาพของสารเฟอร์ริคลอไรด์ (FeCl_3) ซึ่งเป็นสารประกอบแร่เหล็กที่มีในน้ำธรรมชาติ บทนี้จะนำเสนอวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยวิธีการกระจายการฝังสัญญาณลายน้ำบนสเปกตรัมความถี่ [5] โดยใช้การแปลงสัญญาณโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง DCT (Discrete cosine transforms) และได้นำเครือข่ายประสาทเทียมที่อาศัยระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human visual system) มาใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำบนภาพด้วย เพื่อตอบสนองความต้องการข้างต้น และในบทนี้ยังกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง การอภิปรายถึงผลลัพธ์ที่ได้ รวมทั้งบทสรุปที่ได้รับจากงานวิจัยในบทนี้

3.2 วิธีการฝังสัญญาณลายน้ำ

การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอในบทนี้ ใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอโดย Cox et al. [5] ซึ่งใช้เทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำแบบการกระจายแถบความถี่ (Spread spectrum) โดยอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำมีดังนี้

1. ทำการแปลงสัญญาณภาพต้นฉบับด้วยการแปลงสัญญาณโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (DCT)
2. ทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลง DCT ตามสมการที่ (3.1)

$$v'_i = v_i(1 + \alpha_k x_i) \quad (3.1)$$

เมื่อ v_i คือ สัมประสิทธิ์การแปลง DCT ลำดับที่ i ของภาพต้นฉบับ

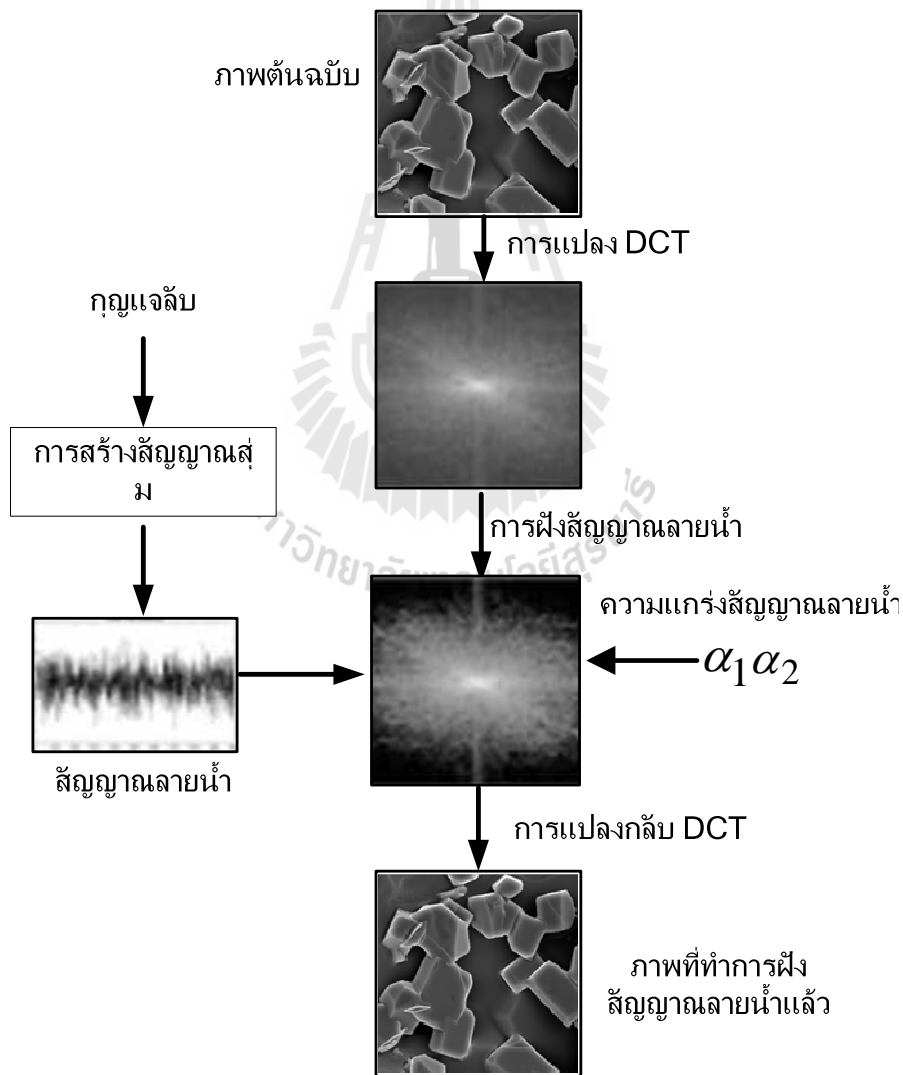
v_i คือ สัมประสิทธิ์การแปลง DCT ลำดับที่ i ที่ถูกฝังลายน้ำ

x_i คือ สัญญาณลายน้ำที่ทำการฝังที่ตำแหน่ง i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, 1,000$

และ α_k คือค่าความแรงของสัญญาณลายน้ำ (Watermark strength) เมื่อ $k = 1, 2$ โดยที่ α_1 จะใช้สำหรับสัมประสิทธิ์การแปลง DCT 500 ตำแหน่งแรกและ α_2 จะใช้สำหรับสัมประสิทธิ์การแปลง DCT ตำแหน่งอีก 500 ที่เหลือ โดยที่ค่าความแรงของสัญญาณลายน้ำทั้งสองค่าจะได้มาจากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเครือข่ายประสาทเทียมในหัวข้อที่ 3.4

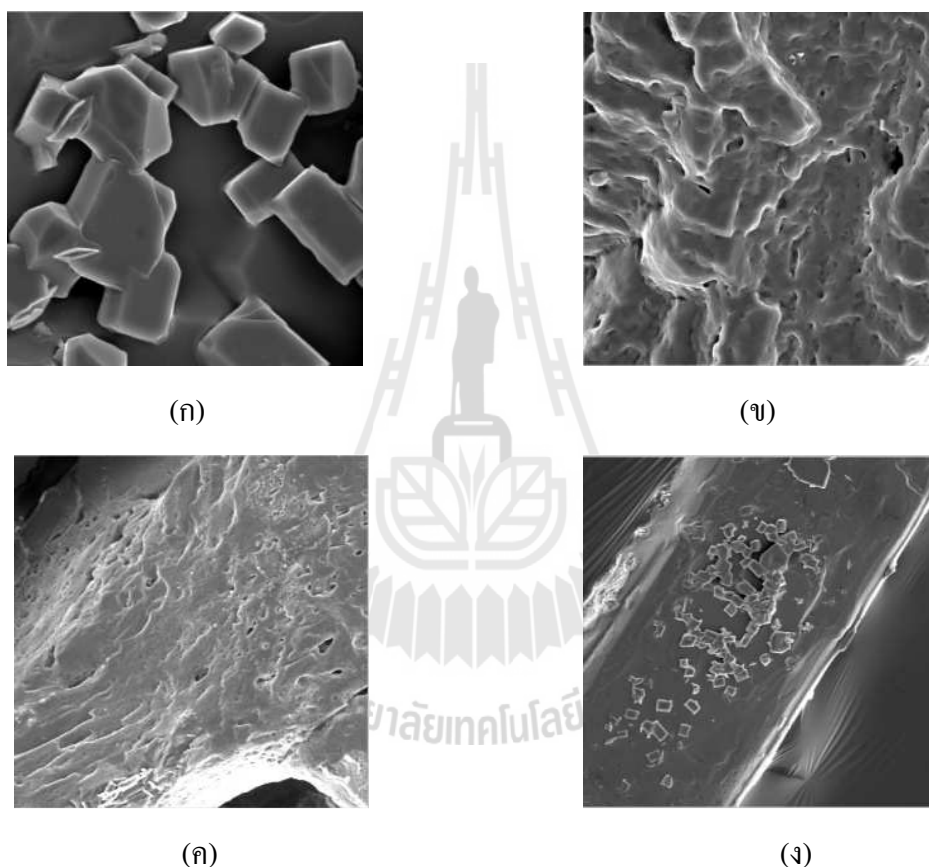
3. ทำการแปลงกลับสัมประสิทธิ์การแปลง DCT เพื่อให้ได้ ภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว

โดยแผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมการส่งลายน้ำตามสมการ (3.1) เพื่อทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของลายน้ำโดยใช้ภาพต้นฉบับที่ได้จากกล้อง SEM (Scanning electron microscope) ทั้งหมด 4 ภาพโดยเป็นภาพของสารเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_2) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีในน้ำธรรมชาติและภาพสารเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ขนาด 512×512 พิกเซล ดังรูปที่ 3.2(ก), (ข), (ค) และ (ง)



รูปที่ 3.2 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการส่งสัญญาณลายน้ำ

งานวิจัยได้ใช้ค่า $PSNR$ (Peak signal-to-noise ratio) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน ที่นักวิจัยทั่วไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพดิจิทัลที่ผ่านกระบวนการประมวลผลทางสัญญาณใด ๆ กับรูปภาพต้นฉบับ ค่า $PSNR$ ที่สูงจะชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของรูปที่ใกล้เคียงกับรูปภาพต้นฉบับ ค่า $PSNR$ นี้ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพของรูปภาพที่ผ่านการส่งสัญญาณลายน้ำมาแล้ว ค่า $PSNR$ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.2) และ (3.3)

$$MSE = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I_{org}(i, j) - I_w(i, j))^2 \quad (3.2)$$

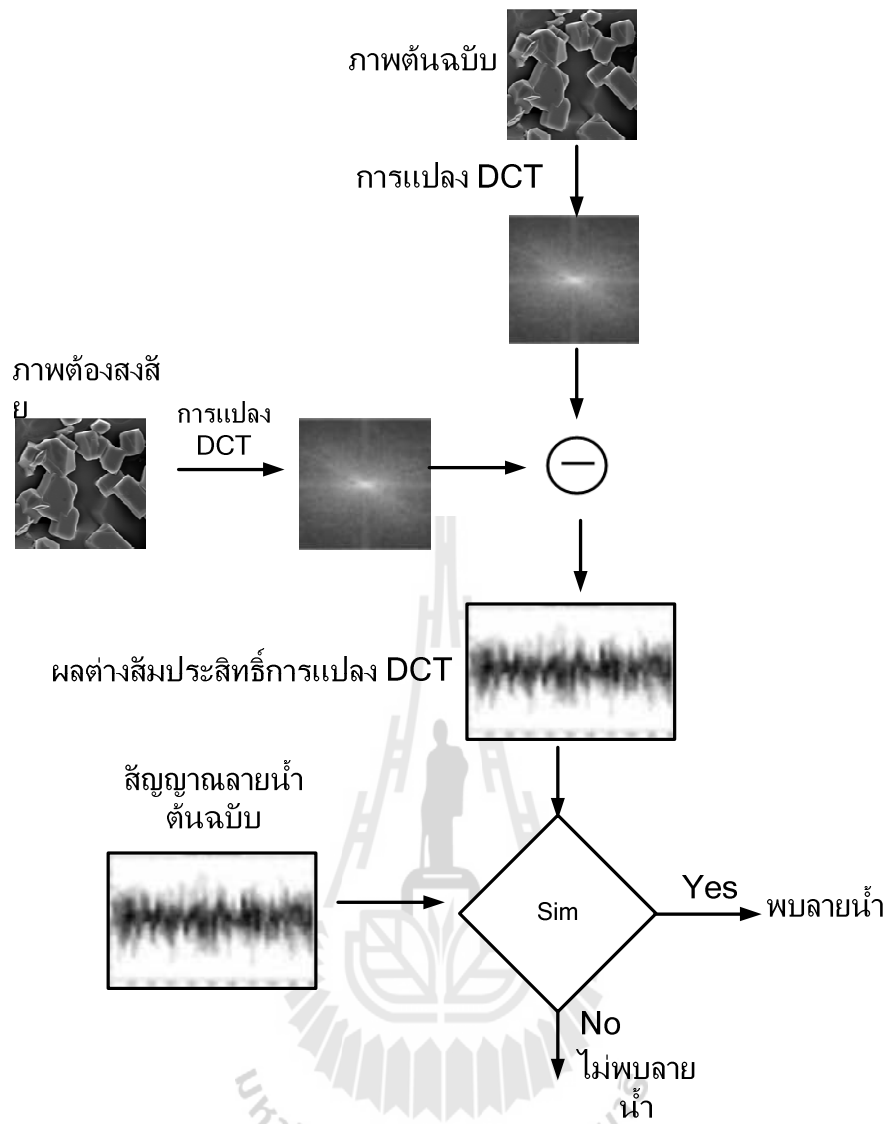
$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (3.3)$$

เมื่อ I_{org} คือ ค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับ, I_w คือ ค่าพิกเซลของภาพที่ส่งสัญญาณลายน้ำ และ $N \times N$ คือขนาดของรูปภาพ โดยที่ค่า MSE (Mean square error) สมการที่ (3.2) จะได้จาก การคำนวณในทุก ๆ ตำแหน่งของพิกเซลภายในรูปภาพ ทั้งนี้คุณภาพของรูปภาพภายหลังกระบวนการส่งสัญญาณลายน้ำจะวัดได้จาก $PSNR$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า $PSNR$ ที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานจริงในทางปฏิบัติควรจะอยู่ระหว่าง 30 - 40 dB [19]

3.3 การตรวจจับสัญญาณลายน้ำ

การตรวจจับสัญญาณลายน้ำเป็นการตรวจหาสัญญาณลายน้ำจากภาพที่อาจจะ มีสัญญาณลายน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ โดยอัลกอริทึมการกู้คืนสัญญาณลายน้ำมีดังนี้

1. ทำการแปลงสัญญาณภาพต้องสงสัยที่อาจมีสัญญาณลายน้ำด้วยการแปลงภาพด้วยสัญญาณโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง
2. ทำการแปลงสัญญาณภาพต้นฉบับด้วยการแปลงสัญญาณโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง
3. นำค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงจากภาพจากข้อที่ 1 และข้อที่ 2 มาทำการลบกันจะได้ค่าผลต่างของสัมประสิทธิ์การแปลง DCT ที่อาจมีสัญญาณลายน้ำในภาพต้องสงสัย
4. นำสัญญาณลายน้ำต้นฉบับและสัญญาณลายน้ำที่ตรวจจับได้มาทำการเปรียบเทียบกันซึ่งขั้นตอนการตรวจจับสัญญาณลายน้ำแสดงในรูปแบบที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ

จากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าความเหมือนกัน (Similarity) ของสัญญาณลายน้ำต้นฉบับกับสัญญาณลายน้ำที่ตรวจจับมาได้ด้วยสมการที่ (3.4)

$$sim(X, X^*) = \frac{X^* \cdot X}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} \quad (3.4)$$

เมื่อ X^* คือสัญญาณลายน้ำที่ถูกกู้คืนมาและ X คือลายน้ำต้นฉบับ

3.4 การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลแบบปรับตัวได้

จากความต้องการหลักของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่มีความขัดแย้งกันระหว่างคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำการที่จะทำได้ความต้องการทั้งสองอย่างพร้อมกันนั้น ผู้วิจัยได้นำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการหาค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำสำหรับภาพแต่ละภาพ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของภาพที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้ได้ภาพพิมพ์ลายน้ำที่มีคุณภาพของภาพที่สูงและมีความทนทานที่สุด เครือข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้มีสถาปัตยกรรมเป็นแบบมีการเชื่อมโยงไปข้างหน้า คือ Multi-layer feed forward network ซึ่งเป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้คู่กับอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back propagation) จำนวนโหนดในชั้นแรกจะถูกกำหนดโดยจำนวนตัวแปรพยากรณ์หรืออินพุตในโมเดล ในขณะที่จำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์หรือเอาต์พุตเท่ากับจำนวนผลลัพธ์ที่ต้องการในโมเดล สิ่งสำคัญในการสร้างโมเดลคือการเลือกจำนวนโหนดและฟังก์ชันการแปลง (Transfer function) โดยโครงสร้างของประสาทเทียมที่ใช้จะมีทั้งหมด 4 เลเยอร์ประกอบด้วยเลเยอร์อินพุต (Input Layer) 1 เลเยอร์ เลเยอร์ซ่อน (Hidden Layer) 2 เลเยอร์ และเลเยอร์เอาต์พุต (Output Layer) 1 เลเยอร์ โดยฟังก์ชันการแปลงของเลเยอร์ซ่อน คือ Tan-sigmoid function และสำหรับฟังก์ชันการแปลงของเลเยอร์เอาต์พุต คือ Log-sigmoid function โดยอินพุตของเครือข่ายประสาทเทียมคือค่าโครงสร้างลักษณะเฉพาะของภาพ โดยโครงสร้างเฉพาะของภาพทั้ง 5 ได้แก่

- (1) ค่าเชิงมุมที่สองของภาพ (Q_1) (Angular second moment) คำนวณได้ตามสมการที่ (3.5) ดังนี้

$$Q_1 = \sum_{i,j} (Co(i,j))^2 \quad (3.5)$$

- (2) ค่าความเปรียบต่างของภาพ (Q_2) (Contrast) คำนวณได้ตามสมการที่ (3.6) ดังนี้

$$Q_2 = \sum_{i,j} (i-j)^2 \cdot Co(i,j) \quad (3.6)$$

- (3) ค่าความสัมพันธ์กันของภาพ (Q_3) (Correlation) คำนวณได้ตามสมการที่ (3.7) ดังนี้

$$Q_3 = \frac{\sum_{i,j} ijCo(i,j) - m_x \cdot m_y}{S_x \cdot S_y} \quad (3.7)$$

$$\text{เมื่อ } m_x = \sum_i i \sum_j Co(i, j), \quad m_y = \sum_j j \sum_i Co(i, j),$$

$$S_x^2 = \sum_i i^2 \sum_j Co(i, j) - m_x^2, \quad S_y^2 = \sum_j j^2 \sum_i Co(i, j) - m_y^2$$

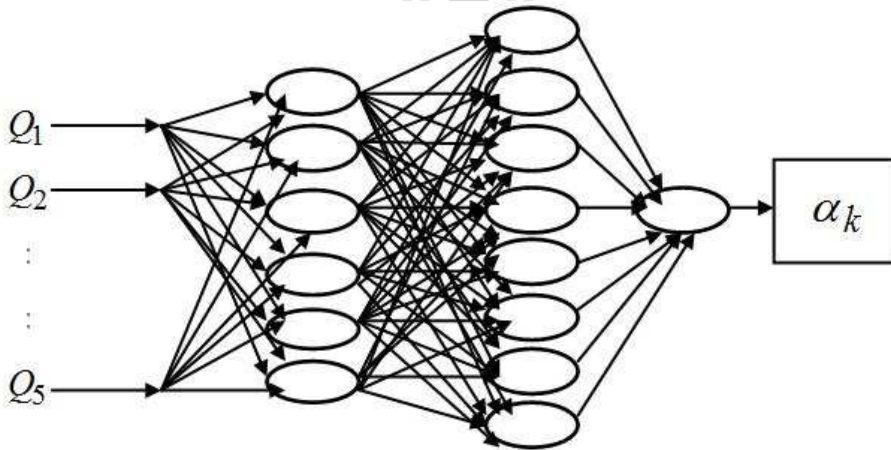
(4) ค่าเอนโทรปีของภาพ (Q_4) (Entropy) คำนวณได้ตามสมการที่ (3.8) ดังนี้

$$Q_4 = - \sum_{i,j} Co(i, j) \cdot \log(Co(i, j)) \quad (3.8)$$

(5) ค่าเฉลี่ยของภาพ (Q_5) (Mean) คำนวณได้ตามสมการที่ (3.9) ดังนี้

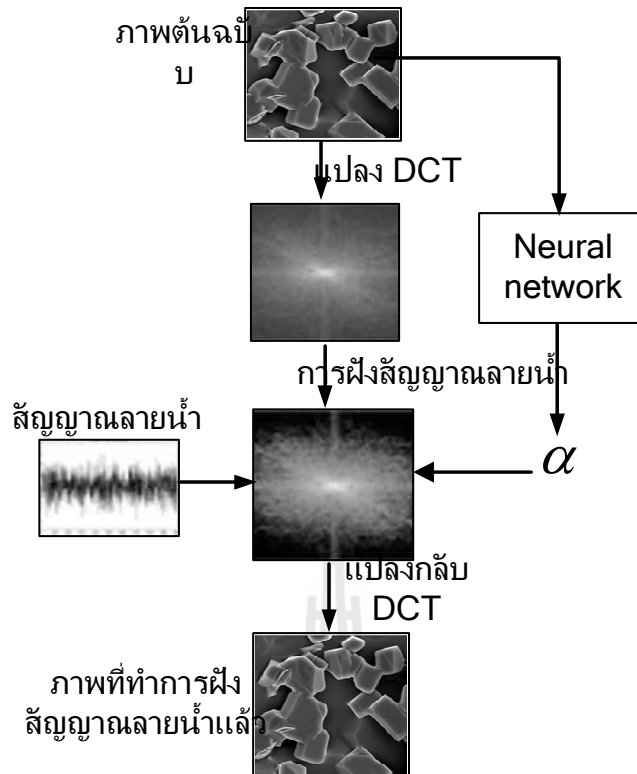
$$Q_5 = \frac{\sum_{i,j} Co(i, j)}{i \times j} \quad (3.9)$$

เอาต์พุตที่ได้คือ ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ ที่มีความเหมาะสมที่สุดโดยโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ทดลองใช้แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะนำไปใช้ในขั้นตอนของการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยก่อนที่จะทำการฝังสัญญาณลายน้ำจะนำภาพที่เป็นภาพต้นฉบับ ส่งไปให้โครงข่ายประสาทเทียมหาค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่เหมาะสมที่สุดต่อรูปภาพนั้น ๆ เมื่อได้ค่าความแกร่งสัญญาณลายน้ำแล้วก็ทำการฝังสัญญาณลายน้ำตามขั้นตอนต่อไป ซึ่งกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำที่ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



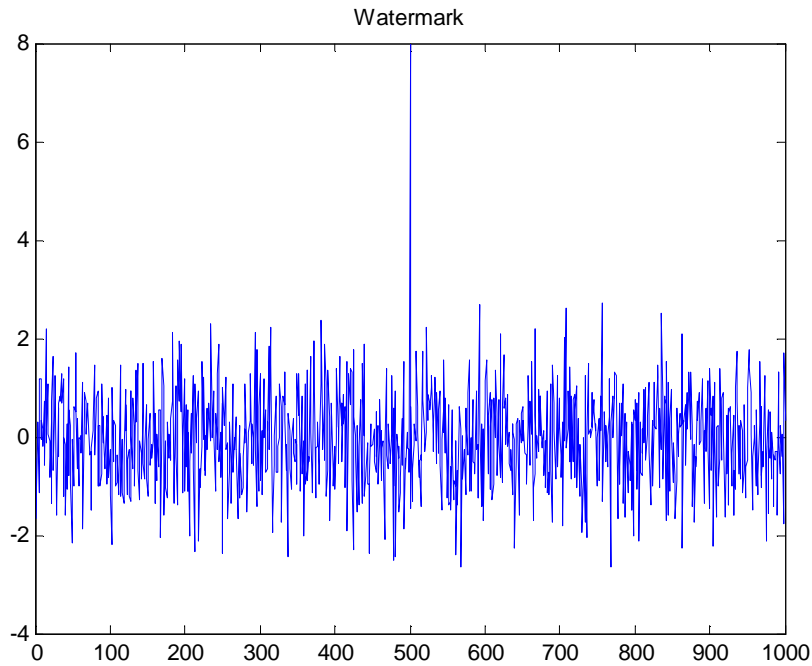
รูปที่ 3.5 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำที่ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม

3.5 ผลการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอ จะทำการทดสอบคุณภาพของภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำโดยการคำนวณค่า *PSNR* ตามสมการที่ (3.2) และทำการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยทำการคำนวณค่า *sim* ตามสมการที่ (3.4) การโจมตีสัญญาณลายน้ำภายหลังการฝังสัญญาณลายน้ำโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น Median filter, Gaussian noise, Low pass filter และ JPEG compression

ข้อมูลภาพดิจิทัลที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพระดับเทาจากกล้อง SEM (Scanning electron microscope) โดยมีขนาด 512×512 พิกเซล จำนวน 4 ภาพ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 สัญญาณลายน้ำที่ใช้ในการทดสอบ เป็นสัญญาณลายน้ำที่ได้จากการสุ่มจากการแจกแจงปกติ (Normal distribution) $N(0,1)$ ด้วยค่าเฉลี่ย 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 ทั้งหมดจำนวน 1,000 ค่า ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบจะนำมาทำการเปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอ โดย Cox et al. (1997) [5] โดยวิธีการของ Cox et al. ใช้ค่าความแรงแรงสัญญาณลายน้ำคงที่เท่ากับ 0.1 แต่วิธีการที่นำเสนอจะมีค่า

ความแรงแรงสัญญาณลายน้ำ (α_k) ปรับเปลี่ยนตามคุณลักษณะเฉพาะของภาพ SEM ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.6 สัญญาณลายน้ำ

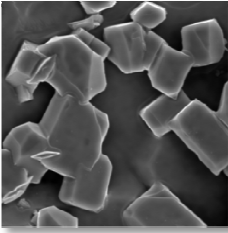
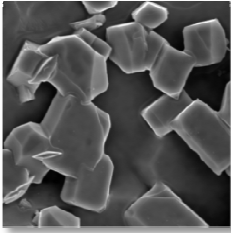
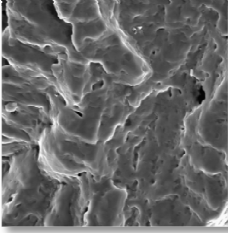
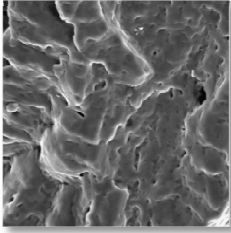
3.5.1 ผลการทดสอบคุณภาพของภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำ

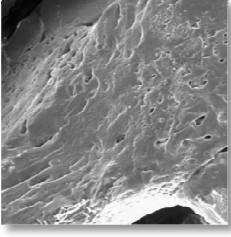
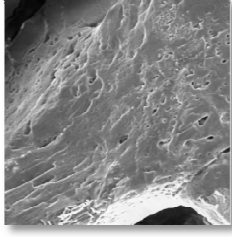
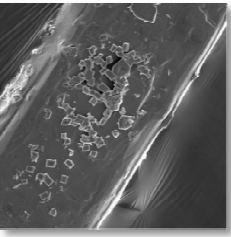
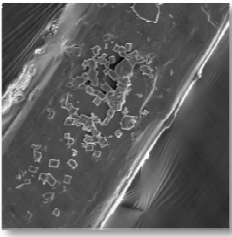
ในขั้นตอนการทดสอบได้ทำการฝังสัญญาณลายน้ำบนภาพ SEM ทั้งสี่ภาพ จากนั้นทำการคำนวณค่า $PSNR$ ของทั้งสี่ภาพตามสมการที่ (3.2) เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับค่า $PSNR$ จากงานวิจัยของ Cox et al.[5] ที่ใช้ค่า α คงที่เท่ากับ 0.1 ผลการเปรียบเทียบได้แสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า $PSNR$ ของวิธีการที่นำเสนอสูงกว่างานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 6 dB ภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Cox et al.[5] แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่า *PSNR* ของภาพที่ส่งสัญญาณลายน้ำแล้ว

ภาพ	วิธีการที่นำเสนอ			วิธีการ Cox <i>et al.</i> [5]	
	α_1	α_2	<i>PSNR</i> (dB)	α	<i>PSNR</i> (dB)
SEM_image1	0.05	0.09	39.95	0.1	34.43
SEM_image2	0.05	0.08	39.37	0.1	33.61
SEM_image3	0.05	0.09	36.70	0.1	30.78
SEM_image4	0.05	0.08	40.07	0.1	34.23
ค่าเฉลี่ย <i>PSNR</i>			39.02		33.26

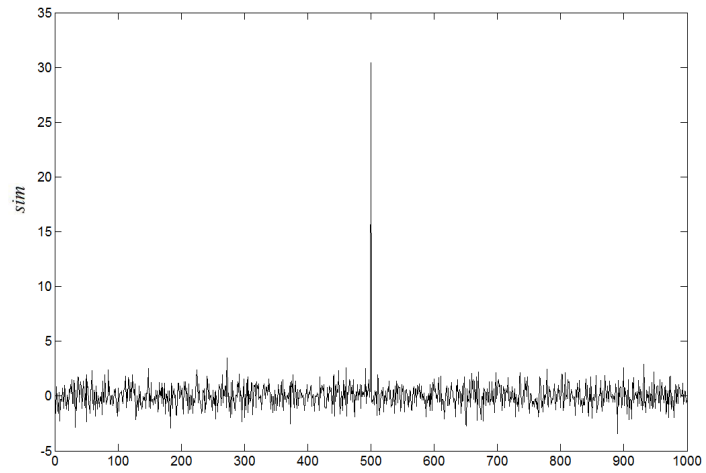
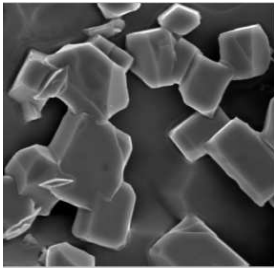
ตารางที่ 3.2 ภาพที่ผ่านการส่งสัญญาณลายน้ำของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Cox *et al.*

ภาพ	ภาพที่ส่งสัญญาณลายน้ำ	
	วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการ Cox <i>et al.</i> [5]
SEM_image1	 <i>PSNR</i> = 39.95 (dB)	 <i>PSNR</i> = 34.43 (dB)
SEM_image2	 <i>PSNR</i> = 39.37 (dB)	 <i>PSNR</i> = 33.61 (dB)

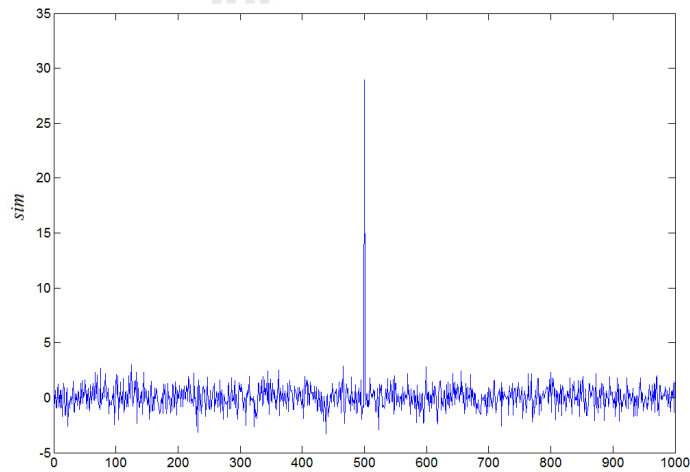
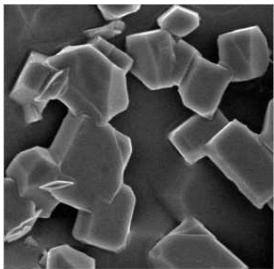
SEM_image3	 <p data-bbox="655 533 855 562">PSNR = 36.70 (dB)</p>	 <p data-bbox="1070 533 1270 562">PSNR = 30.78 (dB)</p>
SEM_image4	 <p data-bbox="655 882 855 911">PSNR = 40.07 (dB)</p>	 <p data-bbox="1070 882 1270 911">PSNR = 34.23 (dB)</p>

3.5.2 ผลการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ

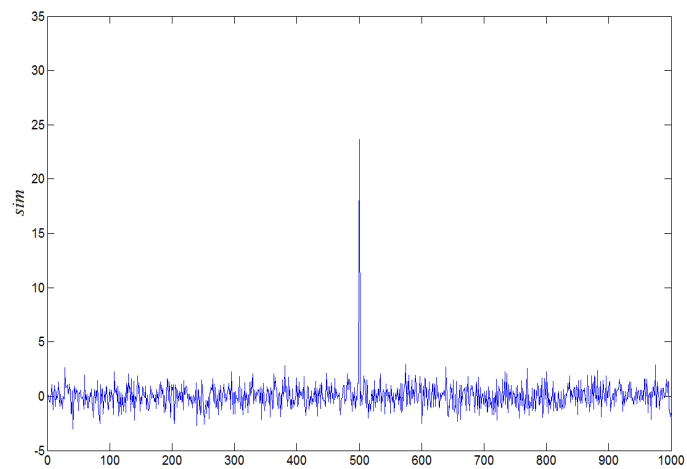
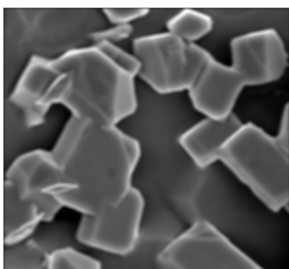
เพื่อที่จะตรวจสอบว่าสัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากหรือน้อยเพียงใดต่อการโจมตี ผู้วิจัยจึงได้กำหนดวิธีการโจมตีรูปภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น ตัวกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (Median filter) การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) เป็นต้น รูปที่ 3.7 แสดงภาพ SEM_image1 ภายหลังจากถูกโจมตีด้วยวิธีต่าง ๆ และกราฟแสดงผลการคำนวณค่า *sim* ของการโจมตี โดยตำแหน่งที่ 500 แสดงการคำนวณค่า *sim* ของสัญญาณลายน้ำที่ตรวจจับได้กับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ แสดงผลการคำนวณค่า *sim* ของสัญญาณลายน้ำต้นฉบับกับสัญญาณลายน้ำจากการสุ่มโดยใช้รหัสลับที่ไม่ตรงกับรหัสในการสุ่มของระบบ ซึ่งจะพบว่าให้ค่า *sim* ที่ต่ำมาก ในขณะที่ตำแหน่งที่ 500 ให้ค่า *sim* ที่สูงกว่ามาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของตัวตรวจจับสัญญาณลายน้ำ



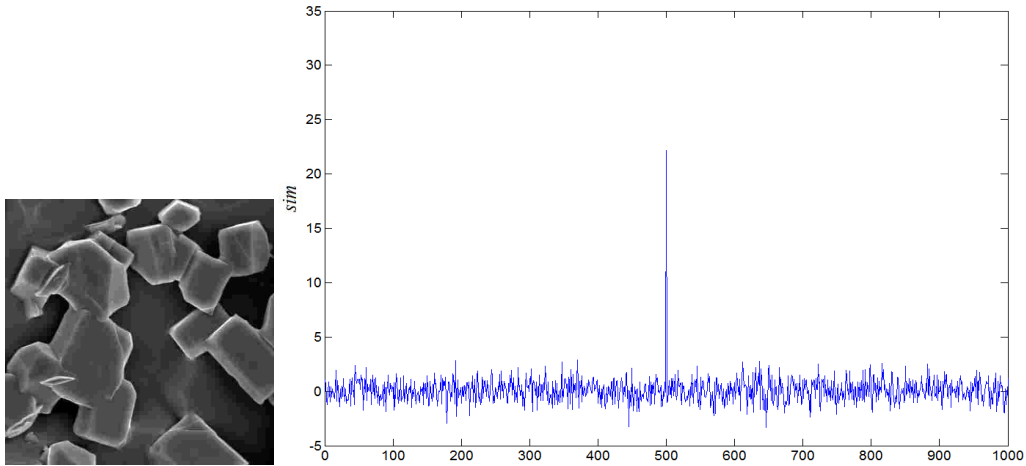
(ก) ภาพและกราฟค่า *sim* ที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน



(ข) ภาพและกราฟค่า *sim* ที่ผ่านการโจมตีด้วยการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน



(ค) ภาพและกราฟค่า *sim* ที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน



(ง) ภาพและค่า *sim* ที่ผ่านการโจมตีด้วย JPEG lossy compression ที่ 10%

รูปที่ 3.7 ภาพและกราฟค่า *sim* ที่ผ่านการโจมตีด้วยวิธีการ (ก) Median filter (ข) Gaussian noise (ค) Low pass filter (ง) JPEG lossy compression ที่ 10%

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อภาพผ่านการโจมตีด้วยวิธีการต่าง ๆ แล้วคุณภาพของภาพจะถูกลดทอนลงแตกต่างกันตามชนิดของการโจมตีแต่สัญญาณลายน้ำยังสามารถตรวจจับได้ ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า *sim* ของภาพ SEM_image1 ที่ไม่ผ่านการโจมตีและผ่านการโจมตีด้วยการบีบอัดสัญญาณภาพด้วย JPEG compression ที่ค่าคุณภาพ 10% โดยแสดงค่า *sim* เฉลี่ยของสัญญาณลายน้ำที่ได้จากการใช้ α_1 เท่ากับ 0.05 และ α_2 เท่ากับ 0.08 และ 0.09 จากนั้นทำการโจมตีด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

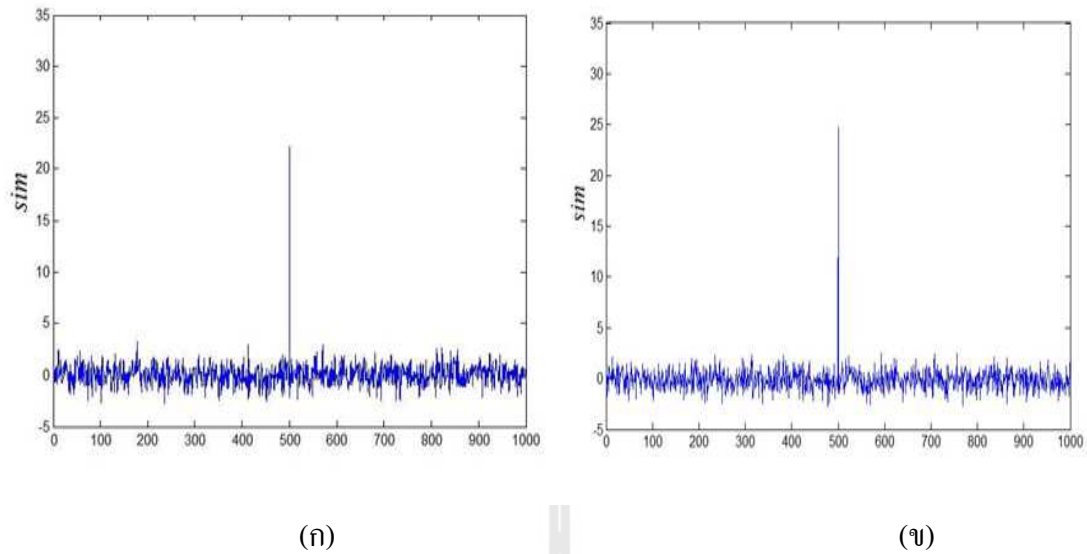
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบค่า *sim* ของภาพ SEM_image1 ที่ไม่ผ่านการโจมตีและผ่านการโจมตีด้วยการบีบอัดสัญญาณด้วย JPEG compression ที่ค่าคุณภาพ 10%

ภาพ	วิธีการโจมตี	<i>sim</i>	
		วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการ Cox <i>et al.</i> [5]
SEM_image1 $\alpha_1 = 0.05$ $\alpha_2 = 0.09$	No Attack	30.91	30.91
	JPEG compression 10%	22.43	24.76

ตารางที่ 3.4 ค่า *sim* เฉลี่ยของภาพ 4 ภาพที่ได้จากการใช้ค่า α_1 เท่ากับ 0.05 และ α_2 เท่ากับ 0.08 และ 0.09 เมื่อผ่านการโหมตีแบบต่าง ๆ

วิธีการโหมตี	<i>sim</i>	
	วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการ Cox <i>et al.</i> [5]
ไม่มีการโหมตี	30.91	30.91
Median filter 3×3	30.40	30.65
Gaussian noise 0.001	28.93	29.58
Low pass filter 3×3	23.64	23.69
JPEG 10%	22.06	24.76
JPEG 25%	28.54	29.67
JPEG 50%	30.25	30.51
JPEG 75%	30.72	30.71
JPEG 90%	30.85	30.77

จากรูปที่ 3.8 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า *sim* ของสัญญาณหลายน้ำที่ผ่านการบีบอัดสัญญาณด้วย JPEG compression 10% ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Cox *et al.* ซึ่งจะเห็นว่าค่า *sim* ของสัญญาณหลายน้ำที่ตำแหน่ง 500 ยังคงสามารถตรวจจับได้ทั้งสองวิธี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีความทนทานต่อการโหมตีด้วย JPEG compression ที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบค่า *sim* ระหว่าง (ก) ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วย JPEG compression 10% ของวิธีการที่นำเสนอ และ (ข) ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วย JPEG compression 10% ของวิธีการ Cox *et al.*[5]

3.6 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอการฝังสัญญาณลายน้ำสำหรับภาพจากกล้อง SEM ด้วยเทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำแบบกระจายแถบความถี่โดยใช้การแปลง DCT เพื่อทำการแปลงภาพจากโดเมนเชิงพื้นที่เป็นโดเมนความถี่และได้นำทฤษฎีระบบการมองเห็นของมนุษย์มาใช้เป็นตัวคัดแยกความแตกต่างของภาพอินพุตให้กับเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการเรียนรู้และปรับค่าความแรงของสัญญาณลายน้ำให้เหมาะสมที่สุดกับภาพนั้น ๆ ผลจากการทดลองฝังลายน้ำลงบนภาพ SEM ที่แตกต่างกันทั้งสี่ภาพพบว่าวิธีการที่นำเสนอมี *PSNR* ที่สูงขึ้นและมีความทนทานต่อการถูกโจมตีต่าง ๆ ใกล้เคียงกับวิธีการเดิม

บทที่ 4

การพัฒนาเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลแบบปรับตัวได้โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

4.1 บทนำ

จากการศึกษาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าสัญญาณลายน้ำจะไม่สามารถกู้คืนกลับมาได้เมื่อภาพถูกโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric transformations) ในบทนี้จึงได้พัฒนากระบวนการฝังและการถอดสัญญาณลายน้ำเพื่อที่จะเพิ่มความทนทานของลายน้ำดิจิทัลต่อการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต วิธีการที่นำเสนอในบทนี้จะใช้การถอดสัญญาณลายน้ำแบบ Blind watermarking และใช้การแปลงคิสิกิตเวฟเลต (Discrete wavelet transform, DWT) จำนวน 3 ระดับ สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นภาพไบนารีขนาด 32×32 พิกเซลโดยในขั้นตอนของการฝังสัญญาณลายน้ำจะทำการสร้างลำดับสัญญาณแบบสุ่ม (Pseudo random sequence) จากภาพระดับเทาขนาด 32×32 พิกเซล เพื่อใช้เป็นคีย์ของการฝังและการกู้คืนสัญญาณลายน้ำวิธีการที่นำเสนอไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนสัญญาณลายน้ำ นอกจากนี้ในส่วนของการกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม ในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบ (Feature learning) ของการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตที่ใช้ในการโจมตีรูปภาพทั้งหมด 16 แบบ เพื่อให้เครือข่ายประสาทเทียมเรียนรู้และจดจำได้ว่าภาพดังกล่าวถูกดัดแปลงเชิงเรขาคณิตด้วยวิธีการใดเพื่อที่จะได้แก้ไขการวางตัวของภาพกลับคืนลักษณะเดิมเพื่อให้สามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับมาได้ โดยชุดข้อมูลที่ส่งให้เครือข่ายประสาทเทียมใช้ในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของภาพ คือ ค่าโมเมนต์ภาพ (Image moment) ของภาพที่ผ่านการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตซึ่งเป็นค่าที่แสดงลักษณะเฉพาะของภาพที่สามารถสกัดออกมาได้ (Feature extraction) ที่ถูกดัดแปลงในแบบรูปนั้น ๆ

โมเมนต์ภาพ (Image moment) คือ ปริมาณจำนวนเลขในรูปของสเกลาร์ที่ใช้ในการอธิบายลักษณะของฟังก์ชันและใช้ในการดึงคุณลักษณะที่สำคัญของรูปภาพนั้นๆ ออกมาเป็นชุดของตัวเลขซึ่งโมเมนต์ได้ถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายมานับร้อยปีในทางสถิติสำหรับการอธิบายรูปร่างความน่าจะเป็นของฟังก์ชันความหนาแน่น และใช้ในด้านกลศาสตร์พื้นฐานของร่างกายในการวัดการกระจายของมวลร่างกาย ถ้ามองในมุมมองของนักคณิตศาสตร์ โมเมนต์ก็คือ การประมาณการของฟังก์ชัน

บนพื้นฐานพหุนาม (Polynomial) (ทำนองเดียวกับการแปลงฟูรีเยร์ ซึ่งก็คือการประมาณการของฟังก์ชันบนพื้นฐานฮาร์โมนิก (Harmonic)) และในปัจจุบันยังคงมีการใช้ค่าโมเมนต์ภาพในการแสดงลักษณะสำคัญของรูปภาพเพื่อใช้ในการจดจำรูปแบบของภาพ (Pattern recognition) เพื่อให้สามารถแยกแยะภาพต่าง ๆ ออกจากกันได้ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเงื่อนไขพื้นฐานของ Image moment ดังนี้

คำนิยามที่ 1.1 โดยฟังก์ชันภาพ (หรือภาพ) เป็นฟังก์ชันจริงแบบเชิงเส้นเป็นช่วง ๆ (Piece-wise linear function) $f(x, y)$ ของสองตัวแปรที่กำหนดไว้ในรูปแบบ $D \subset \mathbb{R} \times \mathbb{R}$

คำนิยามที่ 1.2 General moment $M_{pq}^{(f)}$ ของรูปภาพ $f(x, y)$, โดยที่ p, q เป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่เป็นค่าลบและ $r = p + q$ เรียกว่า ลำดับของโมเมนต์ ซึ่งอธิบายตามสมการที่ (4.1) ดังนี้

$$M_{pq}^{(f)} = \iint_D P_{pq}(x, y) f(x, y) dx dy \quad (4.1)$$

โดยที่ $p_{00}(x, y), p_{10}(x, y), \dots, p_{kj}(x, y), \dots$ คือฟังก์ชันพื้นฐานพหุนาม (Polynomial) ที่อยู่ในขอบเขตบน D (เราละเว้นด้วย f) เพื่อที่หลีกเลี่ยงการเกิดความสับสน

โมเมนต์ภาพแบ่งออกเป็นหลายประเภทด้วยกันตามชนิดของฟังก์ชันพื้นฐานพหุนาม โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Moment invariants ที่แสดงต่อภาพสามลักษณะคือ การเลื่อน (Translation) การหมุน (Rotation) และการปรับขนาด (Scaling) เรียกโดยรวมว่า “TRS” ซึ่งเป็นการดัดแปลงแบบพื้นฐานที่สุดของพิกัดเชิงพื้นที่ TRS บางครั้งเรียกว่า การแปลงคล้าย (Similar conversion) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ (4.2) ดังนี้

$$X' = sRX + t \quad (4.2)$$

โดยที่ t เป็นเวกเตอร์การเลื่อน

s เป็นค่ากำหนดการปรับขนาดเชิงบวก (โดยในที่นี้เราจะพิจารณาการปรับแบบสม่ำเสมอ (Uniform) เท่านั้น นั่นคือพิจารณาเหมือนกันทั้งในทิศแนวแกนอนและแนวแกนตั้ง)

และ R คือเมตริกซ์ของการหมุน $\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$ โดยที่ α คือค่ามุมของการหมุน

ค่าคงที่ที่ได้มาจากการคำนวณ TRS เป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจมาก โดยมีการประยุกต์ใช้งานจริงหลายๆด้าน เนื่องจากวัตถุที่ต้องใช้ควรได้รับการจดจำอย่างถูกต้องโดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งและทิศทางของวัตถุในกรอบฉาก และระยะทางจากวัตถุถึงกล้อง โดยที่โมเดล TRS สามารถประมาณค่า

ของภาพที่ถูกทำให้เสียหายที่เกิดจากความไม่คมชัดของภาพ เราสามารถคำนวณค่าโมเมนต์แบ่งตามประเภทของการตัดแปลงทั้งสามชนิดได้ดังนี้

1. Invariants to translation ค่าโมเมนต์คงที่ของการเลื่อนตำแหน่งสามารถหาได้โดยการมองให้เหมือนกับว่าขั้ววัตถุตั้งกล่าวที่จุดศูนย์กลางเกิดขึ้นพร้อมกับระบบพิกัดดั้งเดิมหรือในทางกลับกัน โดยขั้วจุดพื้นฐานพหุนามไปยังจุดศูนย์กลางของวัตถุซึ่งเราเรียกการคำนวณค่านี้เป็นค่า Central geometric moments ดังสมการที่ (4.3) ดังนี้

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x-x_c)^p (y-y_c)^q f(x,y) dx dy \quad (4.3)$$

เมื่อ $x_c = m_{10}/m_{00}$, $y_c = m_{01}/m_{00}$ คือพิกัดของจุดศูนย์กลางของวัตถุ โดยที่ค่า $\mu_{10} = \mu_{01} = 0$ และ $\mu_{00} = m_{00}$ เสมอ

2. Invariants to scaling สามารถหาค่าได้จากการทำให้เป็นค่ากลางปกติ (Normalize) ให้เหมาะสมกับแต่ละโมเมนต์โดยเรียกค่าโมเมนต์ที่ผ่านการสเกลด้วยขนาด S ว่า Normalized central geometric moment ดังสมการที่ (4.4) ดังนี้

$$v_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^w} \quad (4.4)$$

$$\text{เมื่อ } w = \frac{p+q}{2} + 1$$

3. Invariants to rotation ค่าคงที่ของการหมุนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4.5) ดังนี้

$$\phi_1 = m_{20} + m_{02},$$

$$\phi_2 = (m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2,$$

$$\phi_3 = (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2,$$

$$\phi_4 = (m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2,$$

$$\phi_5 = (m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12})((m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2) \\ + (3m_{21} - m_{02})(m_{21} + m_{03})(3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2),$$

$$\phi_6 = (m_{20} - m_{02})((m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2) \\ + 4m_{11}(m_{30} + m_{12})(m_{21} + m_{03}),$$

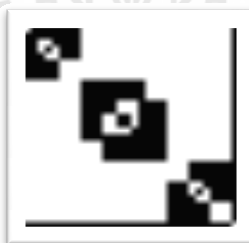
$$\phi_7 = (3m_{21} - m_{03})(m_{30} + m_{12})((m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2) \\ - (m_{30} - 3m_{12})(m_{21} + m_{03})(3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2), \quad (4.5)$$

4.2 วิธีการฝังสัญญาณลายน้ำ

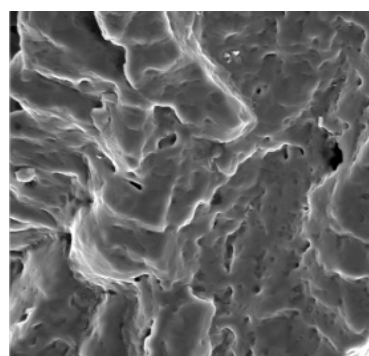
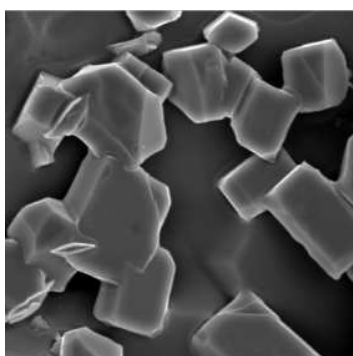
สัญญาณลายน้ำและรหัสลับ (key) ที่ใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลจะเป็นภาพระดับเทาขนาด 32×32 พิกเซลจำนวนสองภาพ ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ภาพต้นฉบับที่ใช้ฝังสัญญาณลายน้ำคือภาพจากกล้อง SEM (Scanning electron microscope) โดยเป็นภาพของสารเฟอร์ริคลอไรด์ (FeCl_2) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีในน้ำธรรมชาติและภาพสารเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ขนาด 512×512 พิกเซล ทั้งหมดสืบภาพ ดังรูปที่ 4.3



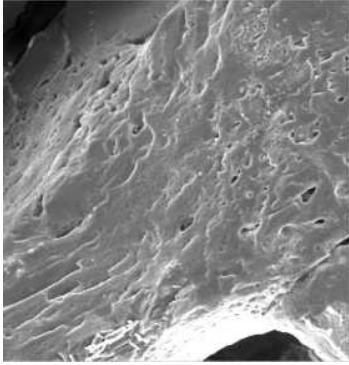
รูปที่ 4.1 สัญญาณลายน้ำรูปภาพระดับเทาขนาด 32×32 พิกเซล



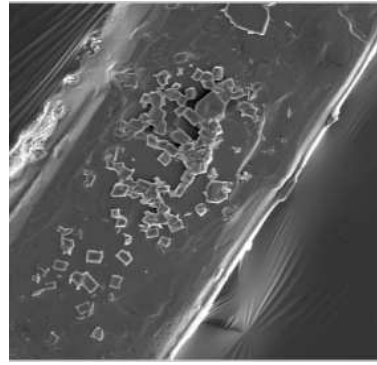
รูปที่ 4.2 รหัสลับ (key) รูปภาพระดับเทาขนาด 32×32 พิกเซล



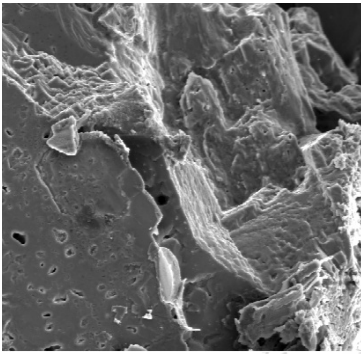
(ก) SEM_image1



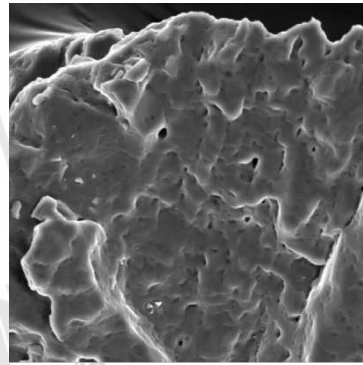
(ข) SEM_image2



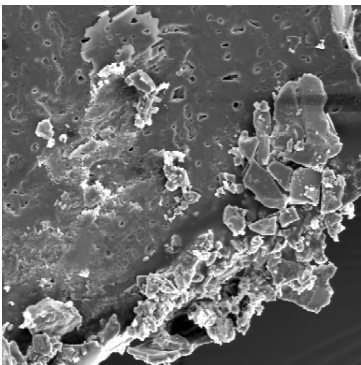
(ค) SEM_image3



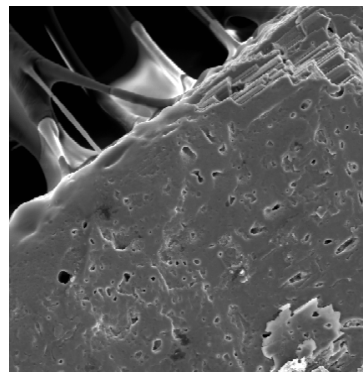
(ง) SEM_image4



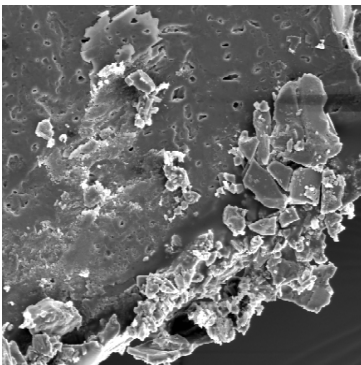
(จ) SEM_image5



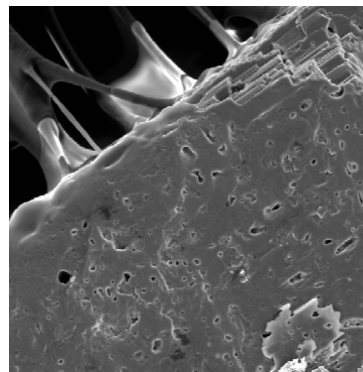
(ฉ) SEM_image6

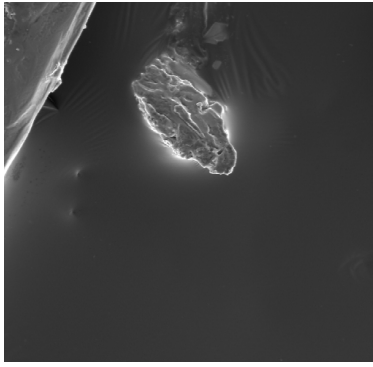


(ช) SEM_image7

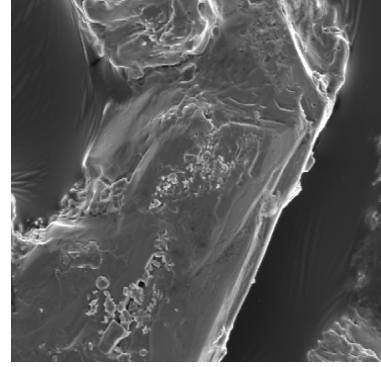


(ซ) SEM_image8





(ฉ) SEM_image9



(ญ) SEM_image10

รูปที่ 4.3 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการฝัງสัญญาณลายน้ำ

ขั้นตอนของการฝัງสัญญาณลายน้ำมีดังนี้

1. ทำการแปลงภาพต้นฉบับด้วยการดิสกรีตเวฟเล็ตจำนวน 3 ระดับซึ่งจะทำให้ได้ภาพแบนด์ย่อย ดังรูปที่ 4.4 โดยผู้วิจัยจะเลือกฝัງสัญญาณลายน้ำในสัมประสิทธิ์ในแบนด์ย่อย LL3 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากแบนด์ย่อยในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์หลัก ๆ ของภาพและถ้าฝัງสัญญาณลายน้ำลงในแบนด์ย่อยส่วนนี้จะทำให้ลายน้ำมีความทนทานมากที่สุด

LL3	LH3	LH2	LH1
HL3	HH3		
HL2		HH2	
HL1		HH1	

รูปที่ 4.4 ภาพต้นฉบับที่ผ่านการการแปลงดิสกรีตเวฟเล็ต 3 ระดับ

2. ทำการเรียงสลับบิตของรูปภาพสัญญาณลายน้ำให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ของบิตศูนย์และหนึ่ง
3. สร้างลำดับสัญญาณสุ่ม Pseudo random sequence จากภาพรหัสลับจำนวน 2 ชุด โดยให้ลำดับชุดที่หนึ่งใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำบิตศูนย์ (PN_0) และอีกชุดหนึ่งใช้ฝังสัญญาณลายน้ำบิตหนึ่ง (PN_1) โดยที่จำนวนของลำดับสัญญาณสุ่มจะต้องเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด
4. ทำการฝังลำดับสัญญาณสุ่มทั้ง PN_0 และ PN_1 โดยใช้ค่าความแรงแงของสัญญาณลายน้ำ (α) เท่ากับ 0.09 ลงในสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ของภาพต้นฉบับตามตำแหน่งที่ได้ทำการเลือกไว้ตามสมการที่ (4.6) ดังนี้

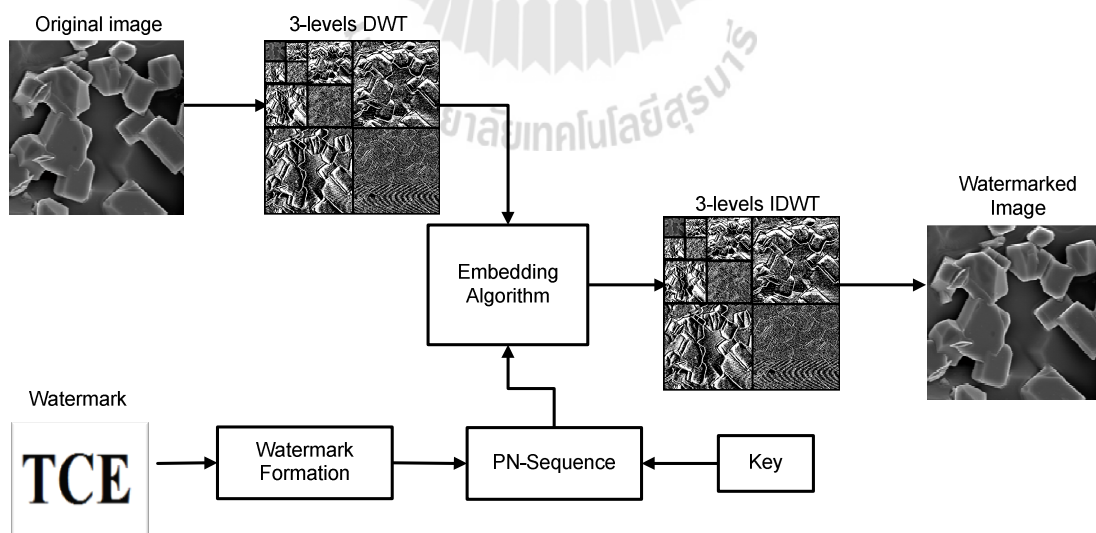
$$X' = \begin{cases} X + \alpha * PN_0 & watermark_{bit} = 0 \\ X + \alpha * PN_1 & watermark_{bit} = 1 \end{cases} \quad (4.6)$$

โดย X คือสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ของภาพต้นฉบับ

X' คือสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ภายหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำ

5. ทำการแปลงกลับสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำโดยการแปลง IDWT จำนวน 3 ระดับ ซึ่งหลังจากแปลงกลับก็จะได้ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำ

ขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปภาพที่ 4.5 ดังนี้



รูปที่ 4.5 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

4.3 การกู้คืนสัญญาณลายน้ำ

ในกู้คืนสัญญาณลายน้ำ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเพิ่มความถูกต้องในขั้นตอนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำจากการโจมตีภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อให้สามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับคืนมาได้ในเกือบทุกรูปแบบของการโจมตี โดยขั้นตอนของการกู้คืนสัญญาณลายน้ำมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการแปลงสัญญาณภาพต้องสงสัยที่อาจมีสัญญาณลายน้ำด้วยการแปลง DWT 3 ระดับ
2. ทำการสร้างลำดับสัญญาณสุ่มสองชุด (PN_0 และ PN_1) โดยใช้ภาพรหัสลับเดียวกันกับขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำ
3. ทำการคำนวณค่า Correlation ระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ของภาพกับลำดับสัญญาณสุ่มทั้งสองชุด คือ PN_0 และ PN_1 ตามสมการที่ 4.7 ถ้าค่า Correlation ของภาพกับ PN_0 มีค่ามากกว่าค่า Correlation ของภาพกับ PN_1 จะให้สัญญาณลายน้ำที่กู้คืนได้เป็นบิต 0 แต่ถ้าน้อยกว่าก็จะให้สัญญาณลายน้ำที่กู้คืนได้เป็นบิต 1

$$Correlation = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x-\bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y-\bar{y}}{S_y} \right) \quad (4.7)$$

4. นำเวกเตอร์ของบิตลายน้ำที่กู้คืนได้มาทำการจัดเรียงใหม่ให้เป็นภาพขนาด 32×32 พิกเซล ก็จะได้ภาพสัญญาณลายน้ำกลับคืนมา
5. ถ้าตรวจสอบพบว่าภาพต้องสงสัยที่จะนำมากู้คืนสัญญาณลายน้ำถูกโจมตีด้วยวิธีการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต ก็ให้นำภาพดังกล่าวส่งไปให้ส่วนของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อจะได้ทราบว่าถูกโจมตีด้วยการตัดแปลงชนิดใด เพื่อจะได้ทำการแก้ไขและกู้คืนสัญญาณลายน้ำตามขั้นตอนที่ 1 - 4

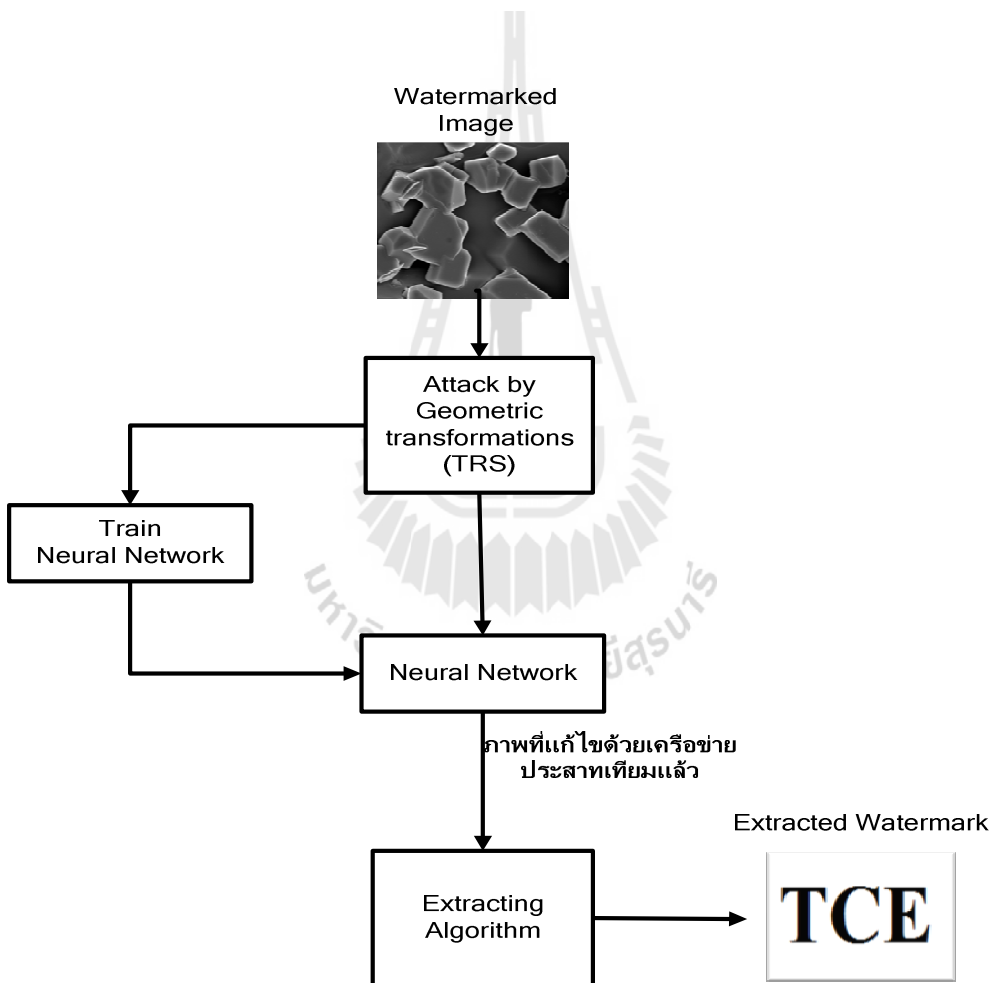
กระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำที่มีการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 และเมื่อได้สัญญาณลายน้ำกลับคืนมาแล้วจะทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ปรกติ (Normalized correlation, NC) เพื่อวัดค่าความคล้ายคลึงกันของสัญญาณลายน้ำต้นแบบและสัญญาณลายน้ำที่ได้จากการกู้คืน และคำนวณค่าความผิดพลาดบิต (Bit error rate, BER) เพื่อใช้เป็นตัววัดค่าความผิดพลาดของสัญญาณลายน้ำที่กู้คืนได้ ซึ่งแสดงถึงความทนทานของภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยค่า NC สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4.8) ดังนี้

$$NC(w, w^*) = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} w_{ij}^*}{\sum_i \sum_j (w_{ij})^2} \quad (4.8)$$

เมื่อ w_{ij} และ w_{ij}^* เป็นค่าพิกเซลภาพที่ตำแหน่ง i, j ของภาพลายน้ำต้นฉบับและภาพลายน้ำที่กู้คืนได้ตามลำดับ สำหรับค่า BER สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4.9) ดังนี้

$$BER(w, w^*) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{L_w} (w_i \oplus w_i^*)}{L_w} \right) \quad (4.9)$$

เมื่อ L_w คือ ความยาวบิตของเวกเตอร์สัญญาณลายน้ำซึ่งในกรณีนี้คือ 1024 บิต

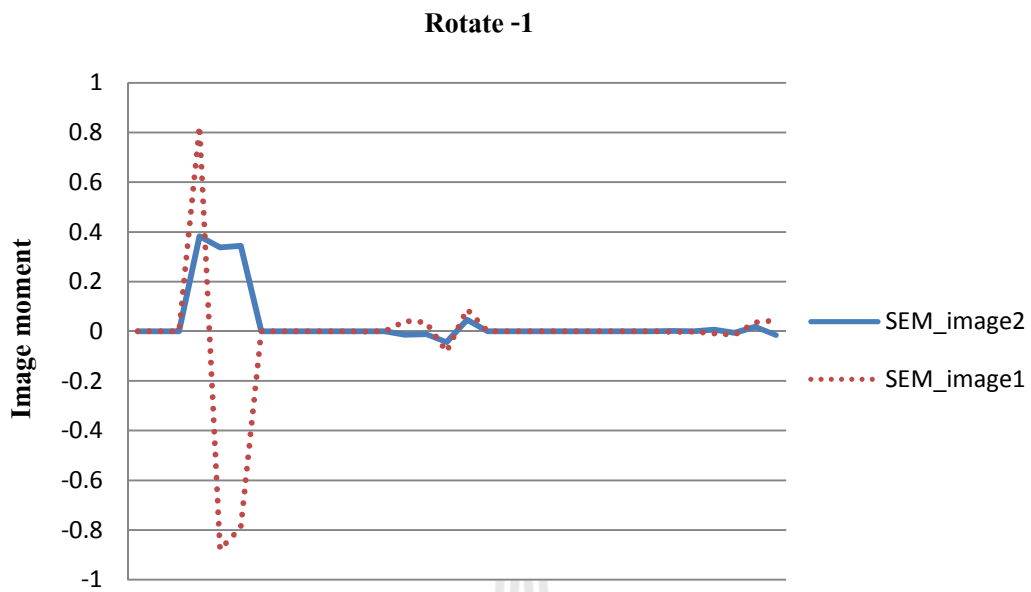


รูปที่ 4.6 แผนภาพการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ประยุกต์ใช้เครื่องมือประสาทเทียม

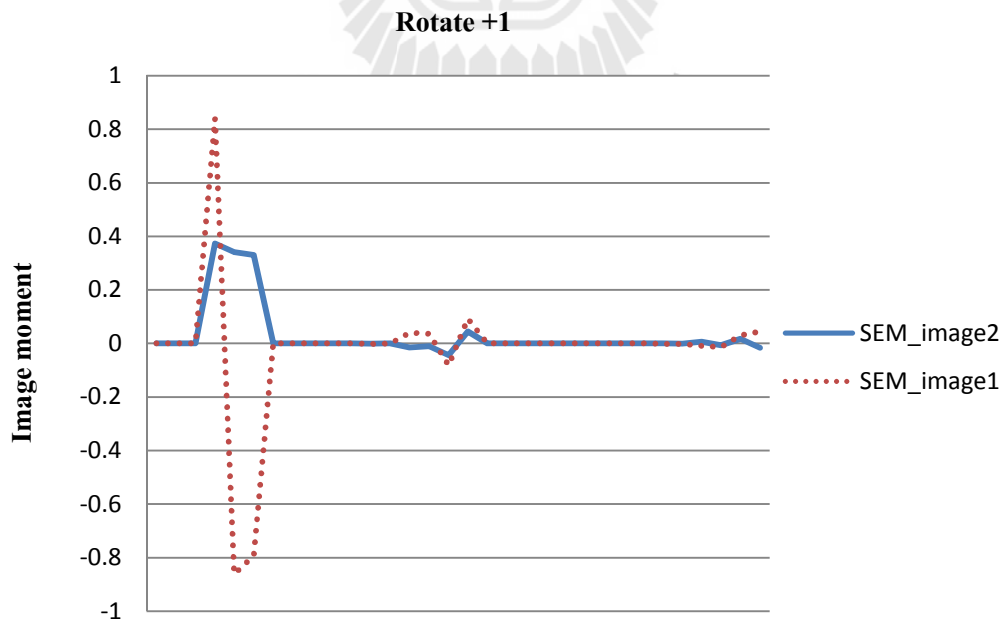
4.4 ขั้นตอนการฝึกสอน (Training) เครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียมที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างเป็นแบบมีการเชื่อมโยงไปข้างหน้าแบบหลายเลเยอร์ (Multi-layer feed forward network) โดยใช้คู่กับอัลกอริทึมแพร่กลับ (Back propagation) โครงสร้างของประสาทเทียมที่ใช้จะมีทั้งหมด 3 เลเยอร์ประกอบด้วยเลเยอร์อินพุต 1 เลเยอร์ เลเยอร์ซ่อน 1 เลเยอร์ และเลเยอร์เอาต์พุตจำนวน 1 เลเยอร์ และมีจำนวนโหนดจากเลเยอร์อินพุตไปยังเลเยอร์ซ่อน 30 โหนด จากเลเยอร์ซ่อนไปเลเยอร์เอาต์พุต 30 โหนดและจากเลเยอร์อินพุตออกไปคำตอบอีก 1 โหนด โดยฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของเลเยอร์อินพุตคือ Tan-sigmoid function ของเลเยอร์ซ่อนคือ Log-sigmoid function และของเลเยอร์เอาต์พุตคือ Purelin function นอกจากนี้ยังใช้อัลกอริทึม Levenberg-Marquardt เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการเรียนรู้ของเครือข่าย โดยในขั้นตอนของการเรียนรู้ได้ทำการปรับแต่งค่าความผิดพลาดการฝึกสอน (Training error) ไว้ที่ 0.001 การฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่าความผิดพลาดการฝึกสอนมีค่าน้อยกว่า 0.001 เมื่อทำการฝึกสอนเสร็จแล้วเครือข่ายประสาทเทียมก็จะสามารถจดจำรูปแบบของชุดข้อมูลที่เรียนรู้ได้ขั้นตอนของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมมีดังนี้

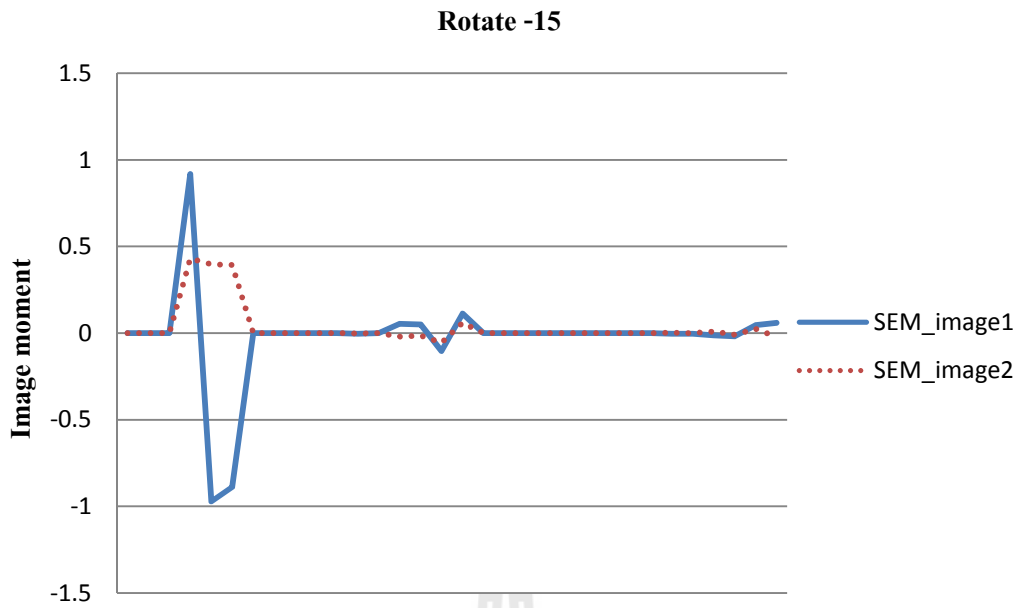
1. ทำการสร้างภาพ สำหรับใช้เป็นชุดข้อมูล (Data) สำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยนำภาพ SEM ที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำแล้วทั้งหมด 10 ภาพ มาทำการโจมตีด้วยวิธีการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตทั้งหมด 16 แบบ ได้แก่ การหมุน 8 แบบ การเลื่อนพิกัด 3 แบบ และการย่อขยายภาพ อีก 5 แบบ ซึ่งจะทำให้เราได้ภาพทั้งหมด 160 ภาพ
2. นำภาพทั้งหมด 160 ภาพ มาทำการคำนวณค่าโมเมนต์ของภาพซึ่งภาพแต่ละภาพจะให้ชุดข้อมูลโมเมนต์ภาพ ทั้งหมด 6 ค่า 1 ชุด ซึ่งจะได้ชุดข้อมูลทั้งหมด 6×160 ชุดข้อมูล
3. ทำการสร้างชุดเป้าหมาย (Target) เพื่อใช้เป็นตัวบ่งบอกถึง รูปแบบของการถูกโจมตีเป็นแบบใด โดยใช้เลขลำดับ 0 – 15 ในการแทนรูปแบบการโจมตีทั้งหมด 16 แบบ เช่น 0 แทนการโจมตีด้วยการหมุน -1 องศา และ 1 แทนการโจมตีด้วยการหมุน +1 องศา เป็นต้น
4. ทำการส่งชุดข้อมูลและชุดเป้าหมายไปให้เครือข่ายประสาทเทียมใช้ทำการฝึกสอนและเรียนรู้ว่าชุดข้อมูลแบบไหนเป็นการโจมตีแบบใด
5. เมื่อเครือข่ายประสาทเทียมได้ทำการเรียนรู้สำเร็จแล้ว ก็สามารถส่งชุดข้อมูลโมเมนต์ภาพที่ต้องการทราบว่าถูกโจมตีมาด้วยวิธีการใดเข้าไปให้เครือข่ายประสาทเทียมตรวจสอบ และเครือข่ายประสาทเทียมก็จะสามารถรายงานให้เราทราบว่าภาพดังกล่าวถูกโจมตีด้วยวิธีการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตวิธีการใด ค่าโมเมนต์ภาพของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ภายหลังจากโจมตีด้วยวิธีการโจมตีทั้ง 16 แบบแสดงไว้ดังรูปที่ 4.7 ดังนี้



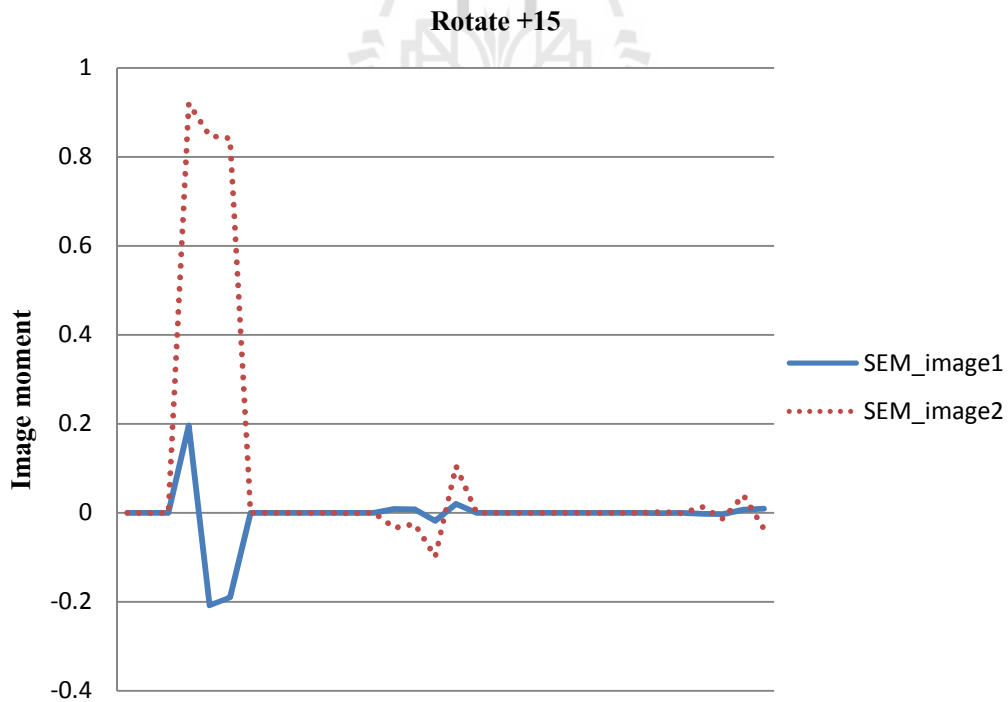
รูปที่ 4.7 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate -1
องศา



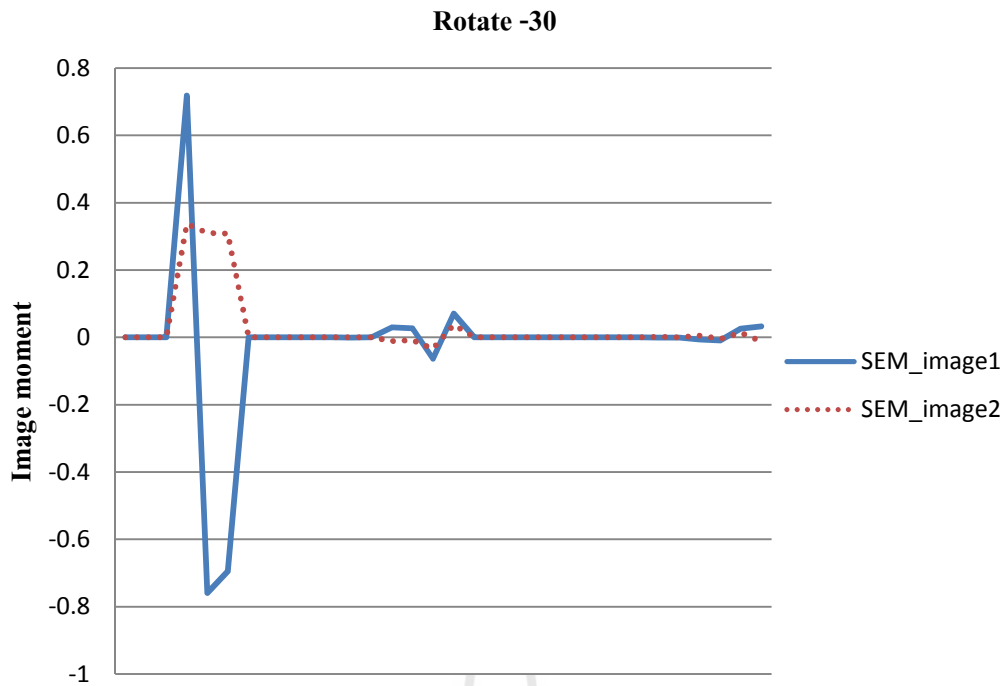
รูปที่ 4.8 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1 และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate +1
องศา



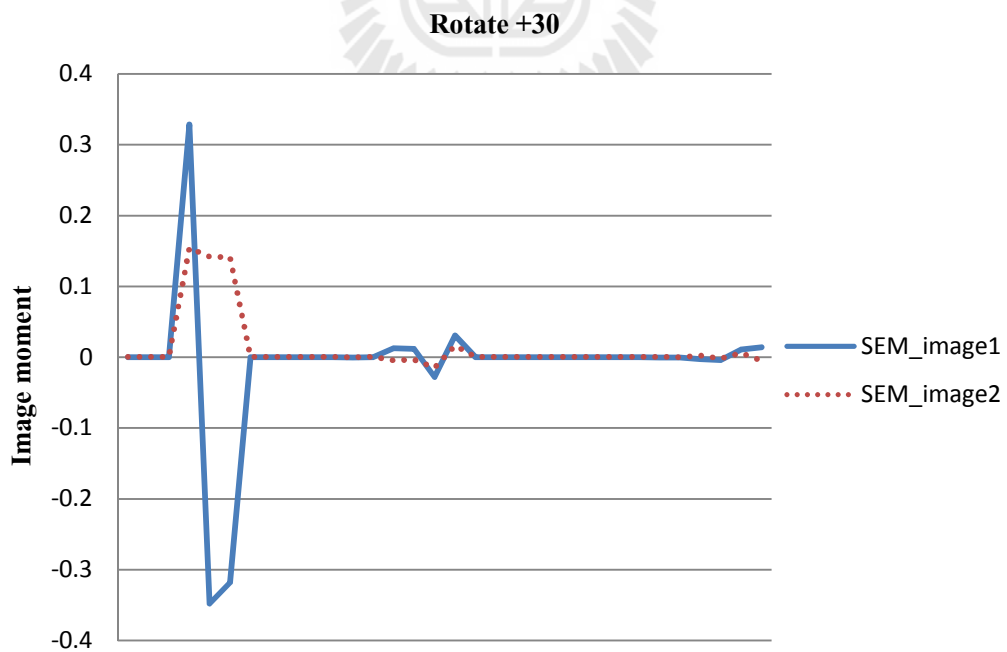
รูปที่ 4.9 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate -15 องศา



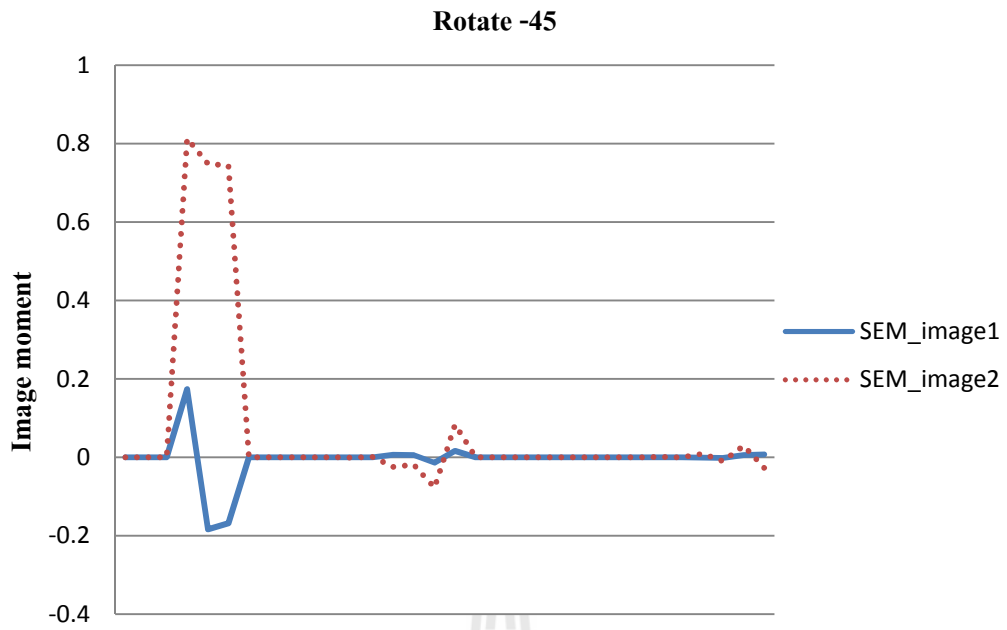
รูปที่ 4.10 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate +15 องศา



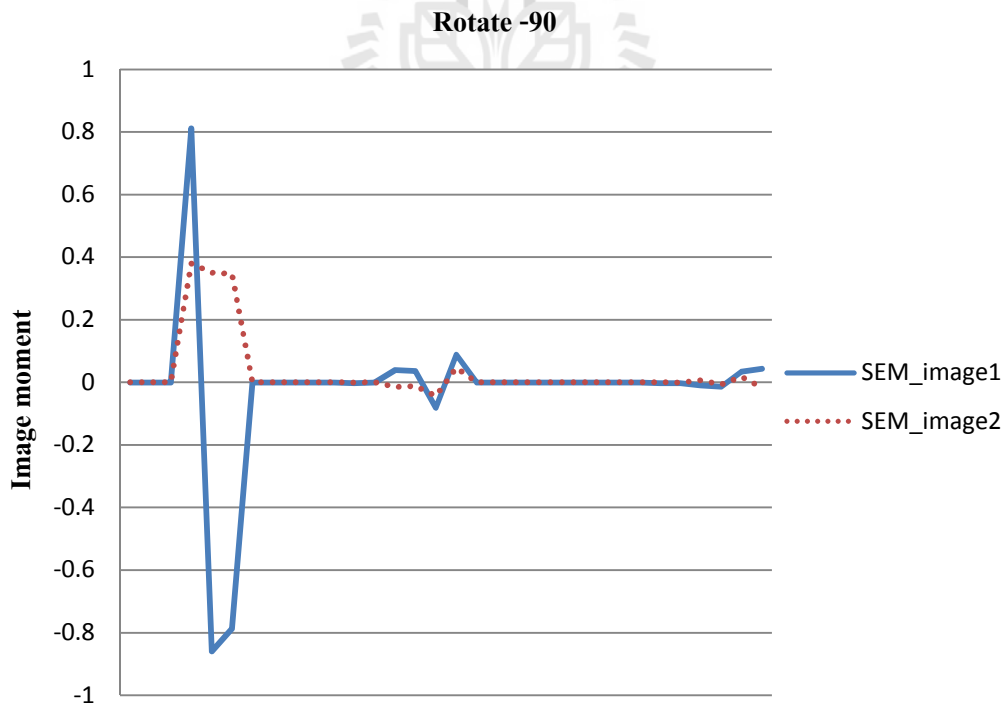
รูปที่ 4.11 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Rotate -30 องศา



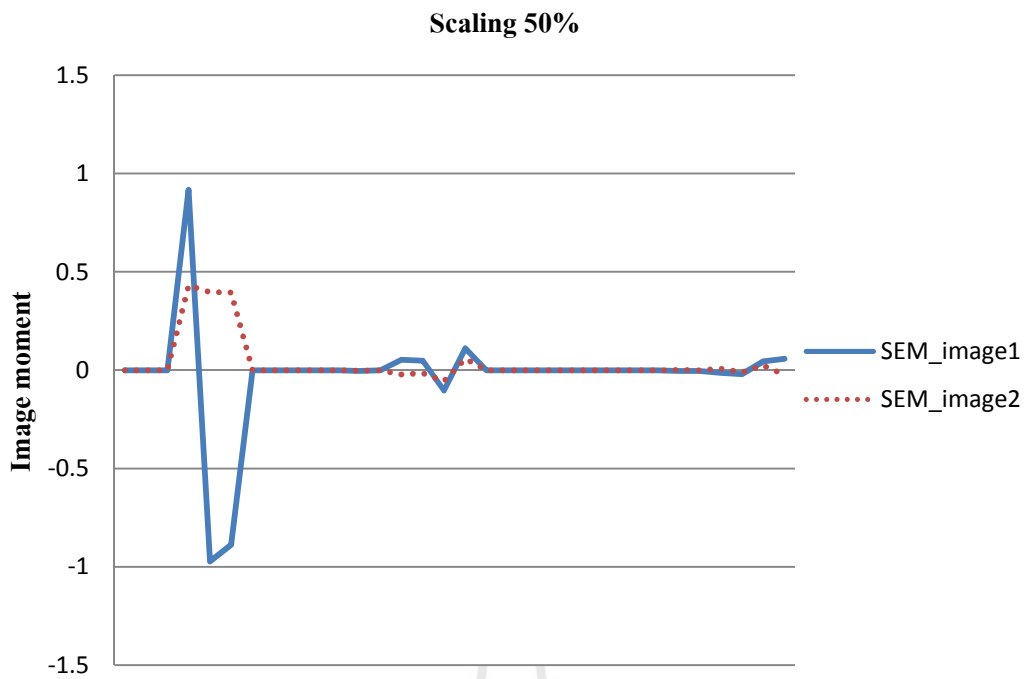
รูปที่ 4.12 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Rotate +30 องศา



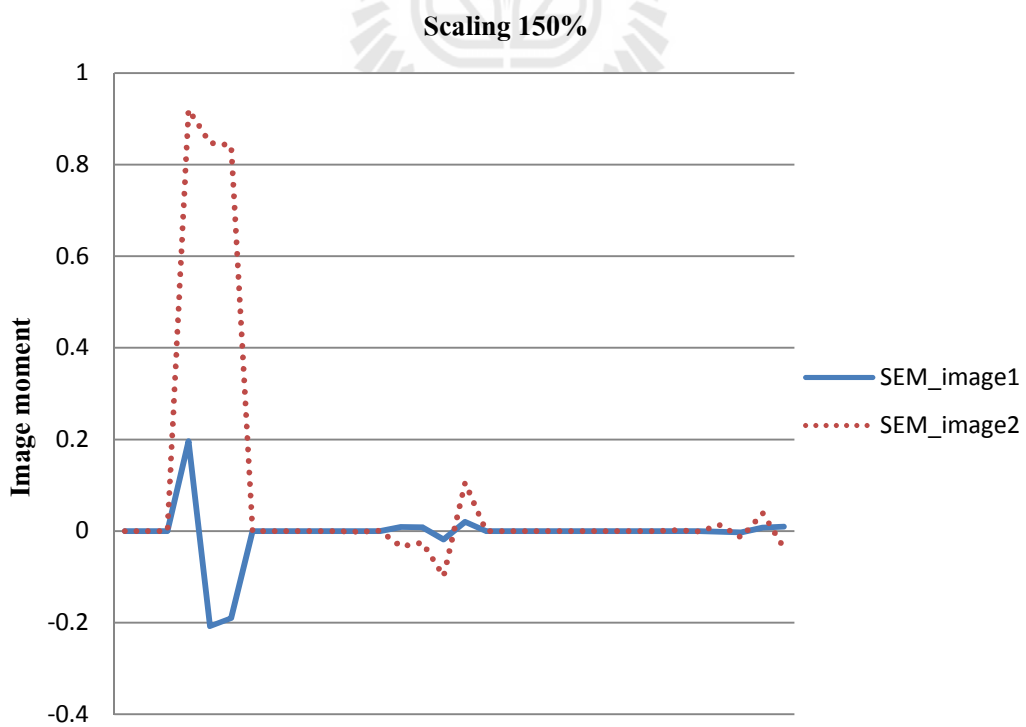
รูปที่ 4.13 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate -45 องศา



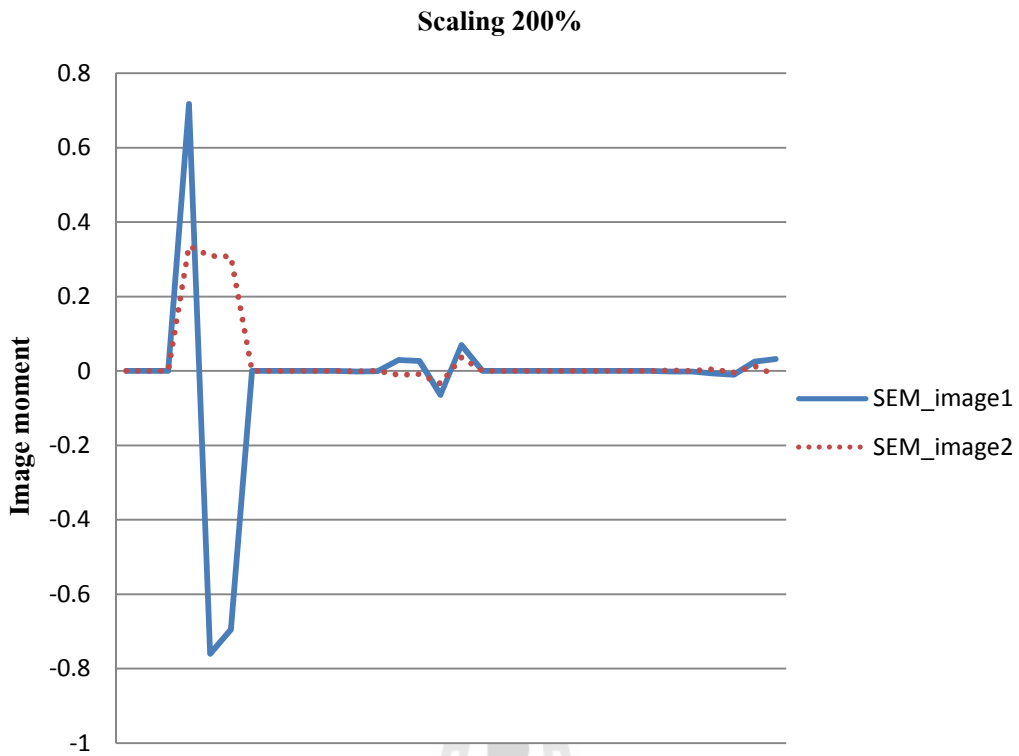
รูปที่ 4.14 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Rotate -90 องศา



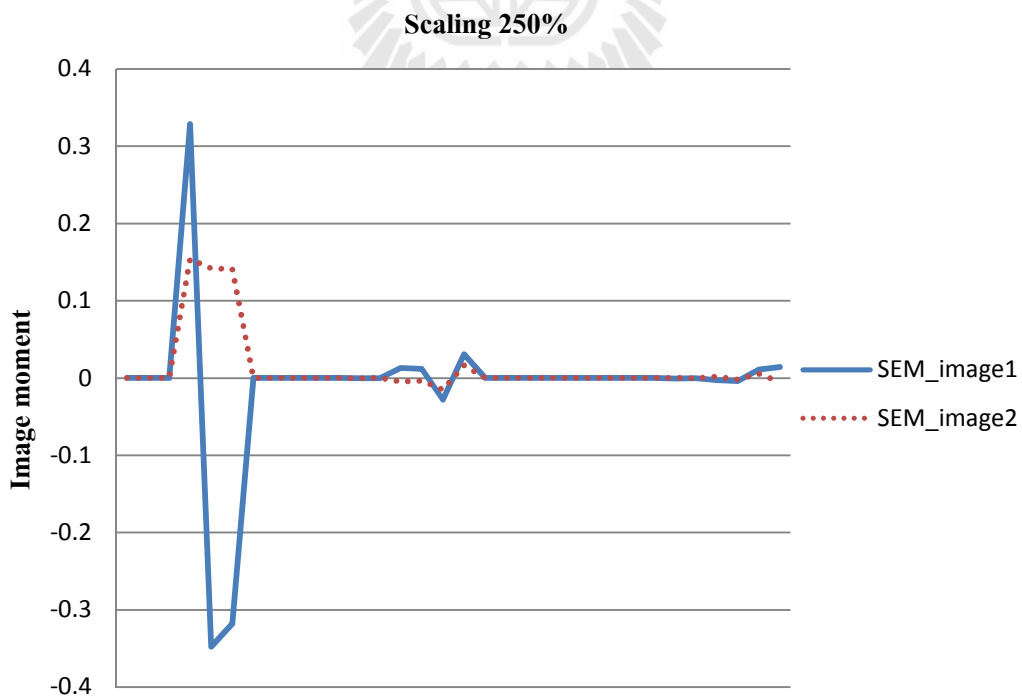
รูปที่ 4.15 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Scaling 50%



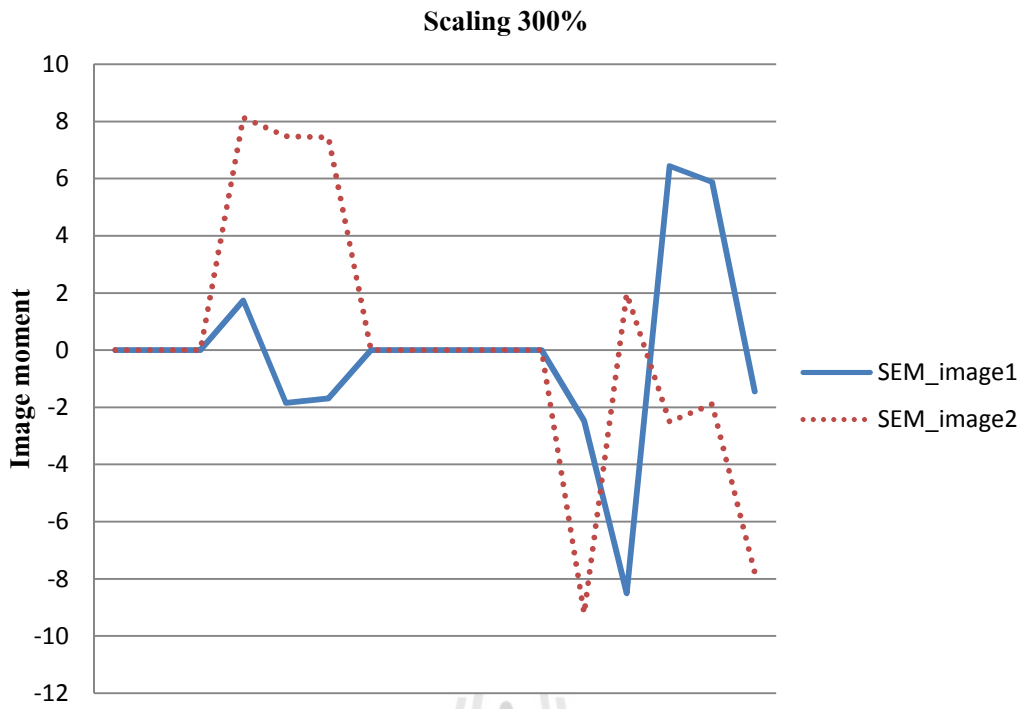
รูปที่ 4.16 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Scaling 150%



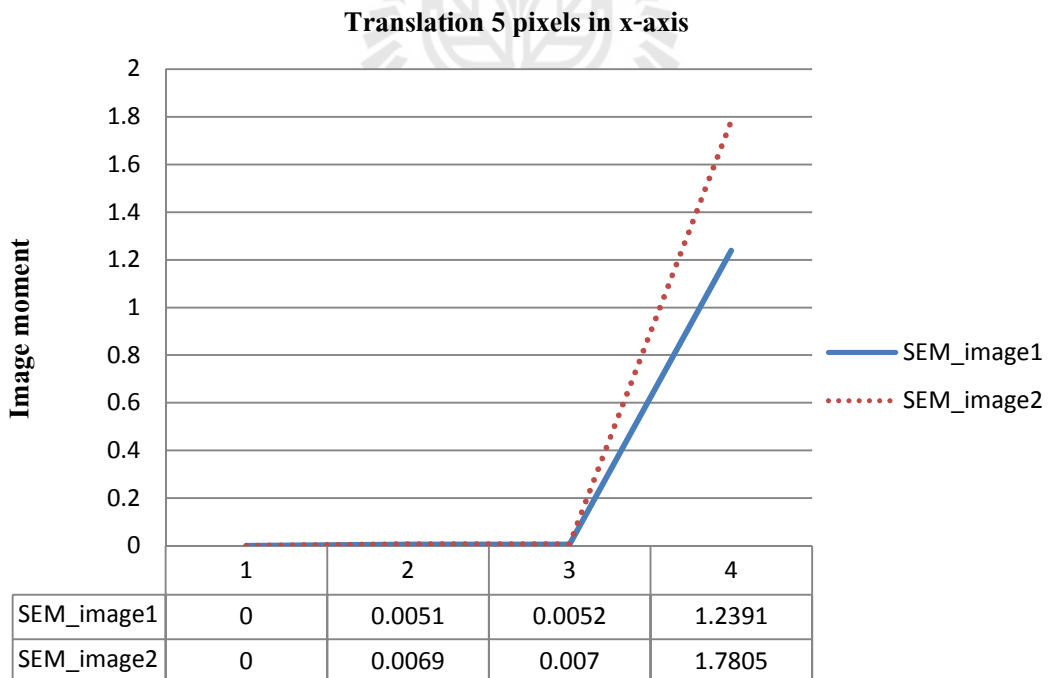
รูปที่ 4.17 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Scaling 200%



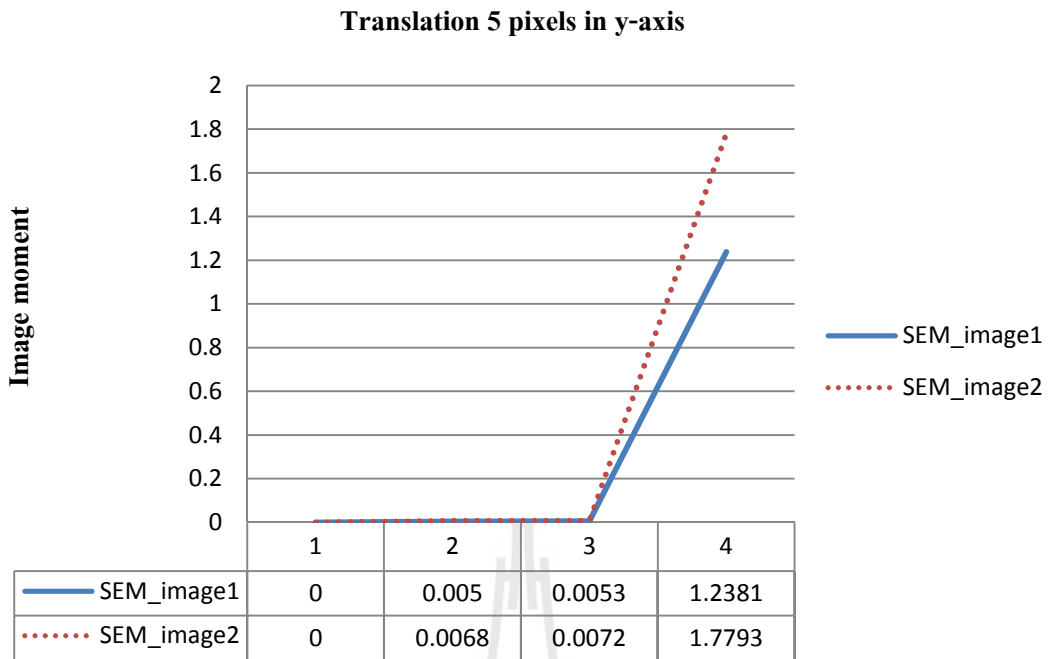
รูปที่ 4.18 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Scaling 250%



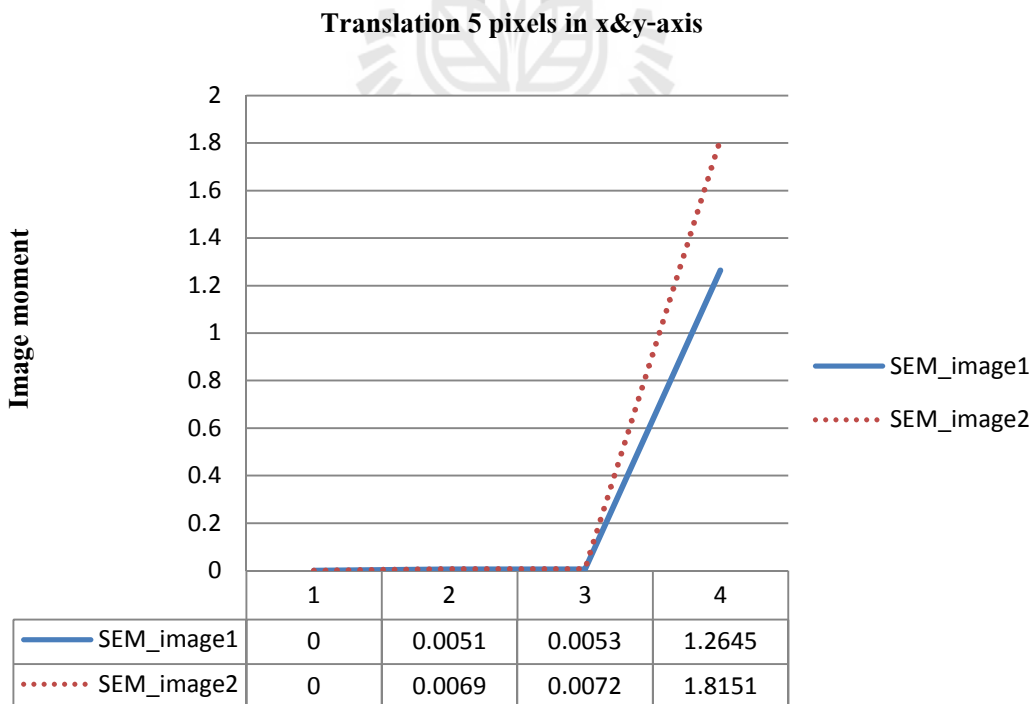
รูปที่ 4.19 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Scaling 300%



รูปที่ 4.20 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการ โจมตี Translation 5 pixels in x-axis



รูปที่ 4.21 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Translation 5 pixels in y-axis



รูปที่ 4.22 ค่าโมเมนต์ของภาพ ของภาพ SEM_image1และ SEM_image2 ต่อการโจมตี Translation 5 pixels in x&y-axis

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 ผลการทดสอบคุณภาพของภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำ

หลังจากทำการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลตามอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอไว้ข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่า $PSNR$ ของภาพเพื่อนำมาทำการเปรียบกับค่า $PSNR$ ของภาพจากอัลกอริทึมที่นำเสนอโดย Cox et.al. [5] และอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18]

ผู้วิจัยได้ทำการเขียน โปรแกรมจำลองการทำงานตามอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18] เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลของการทดลองกับวิธีการที่นำเสนอ โดยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมที่จำลองขึ้นจากการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลตามบทความซึ่งใช้ภาพมาตรฐานจากฐานข้อมูล The USC-SIPI Image database [2] ได้แก่ภาพ Barbara Baboon และภาพ Pepper ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.23 (ก), (ข) และ (ค) หลังจากทำการฝังสัญญาณลายน้ำแล้วผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่า $PSNR$ และค่า Mean absolute error (MAE) ตามสมการที่ (4.10) ดังนี้

$$MAE(w, w^*) = \frac{\sum_{i=0}^L \|w_i - w_i^*\|_1}{|w|} \quad (4.10)$$

ผลการเปรียบเทียบได้แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลจากบทความและผลการจำลองอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18] มีความใกล้เคียงกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ได้จำลองขึ้นตามบทความของ Saeed et.al. [18] มีความถูกต้อง โดยอัลกอริทึมดังกล่าวมีขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำและการกู้คืนสัญญาณลายน้ำของอัลกอริทึมดังนี้

ขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำของอัลกอริทึม Saeed et.al. [18]

1. ทำการแปลง DWT บนภาพต้นฉบับเพื่อจะได้แบนด์ย่อย ๆ ออกมาสี่แบนด์ คือ LL1 HL1 LH1 และ HH1
2. ทำการแปลง DWT บนแบนด์ HL1 และ LH1
3. ทำการแปลง DWT บนแบนด์ HL12 LH12 HL22 และ LH22
4. ทำการแบ่งสัมประสิทธิ์ของแบนด์ HL13 LH13 HL23 และ LH23 ออกเป็นบล็อกขนาด 4×4
5. ทำการแปลง DCT บนทุกๆบล็อกขนาด 4×4
6. ทำการเรียงสับเปลี่ยนสัญญาณลายน้ำที่จะนำมาฝังบนภาพต้นฉบับด้วยอัลกอริทึม Arnold transform
7. ทำการเรียงสัญญาณลายน้ำที่ทำการเรียงสับเปลี่ยนแล้วให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ 0 และ 1

8. สร้างลำดับสัญญาณสุ่ม Pseudo random sequence จากระยะสุ่ม จำนวน 2 ชุด ให้ลำดับชุดที่หนึ่งใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำบิตศูนย์ (PN_0) และอีกชุดหนึ่งใช้ฝังสัญญาณลายน้ำบิตหนึ่ง (PN_1) โดยที่จำนวนของลำดับสัญญาณสุ่มจะต้องเท่ากับจำนวนของสัมประสิทธิ์การแปลง DCT

9. ทำการฝังลำดับสัญญาณสุ่มทั้ง PN_0 และ PN_1 โดยใช้ค่าความถี่ของสัญญาณลายน้ำ (α) เท่ากับ 25 ลงในบล็อกรหัสของสัมประสิทธิ์การแปลง DCT ขนาด 4×4 ที่ได้จากภาพต้นฉบับ ตามสมการที่ (4.6)

10. ทำการแปลงกลับ DCT (IDCT)

11. ทำการแปลงกลับ DWT (IDWT) ก็จะได้ภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

ขั้นตอนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำของอัลกอริทึม Saeed et.al. [18]

1. นำสัญญาณภาพต้องสงสัยที่อาจมีสัญญาณลายน้ำมาทำการกรองด้วยฟิลเตอร์สองตัวคือ 3×3 spatial sharpening filter และ Laplacian of Gaussian filter

2. นำภาพที่ผ่านการกรองด้วยฟิลเตอร์ในขั้นตอนที่ 1 มาทำการแปลง DWT เพื่อจะได้แบนด์ย่อย ๆ ออกมาสี่แบนด์ คือ LL1, HL1, LH1 และ HH1

3. ทำการแปลง DWT บนแบนด์ HL1 และ LH1

4. ทำการแปลง DWT บนแบนด์ HL12 LH12, HL22 และ LH22

5. ทำการแบ่งสัมประสิทธิ์ของแบนด์ HL13 LH13 HL23 และ LH23 ออกเป็นบล็อกขนาด 4×4

6. ทำการแปลง DCT บนทุกๆบล็อกขนาด 4×4

7. ทำการสร้างลำดับสัญญาณสุ่มสองชุด (PN_0 และ PN_1) อันเดียวกันกับขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำ

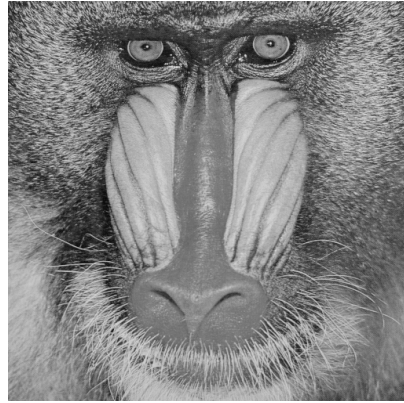
8. ทำการคำนวณค่า Correlation ระหว่างค่าของสัมประสิทธิ์การแปลง DCT ของบล็อกขนาด 4×4 ของภาพกับลำดับสัญญาณสุ่มทั้งสองชุด คือ PN_0 และ PN_1 ตามสมการที่ 4.7 ถ้าค่า Correlation ของภาพกับ PN_0 มีค่ามากกว่าค่า Correlation ของภาพกับ PN_1 แล้วสัญญาณลายน้ำที่กู้คืนได้เป็นบิต 0 แต่ถ้าน้อยกว่าก็จะให้สัญญาณลายน้ำที่กู้คืนได้เป็นบิต 1

9. นำเวกเตอร์ของบิตลายน้ำที่กู้คืนได้ทำการเรียงสับเปลี่ยนด้วยอัลกอริทึม Arnold transform ก็จะได้ภาพสัญญาณลายน้ำกลับคืนมา

ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าได้ค่า PSNR ของวิธีการที่นำเสนอสูงกว่าวิธีการของ Cox et.al. [5] และ ของ Saeed et.al. [18]



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.23 ภาพ Barbara Baboon และ Pepper ที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18]

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า *PSNR* และค่า *MAE* จากบทความของ Saeed et.al. [18] และของอัลกอริทึมที่ทำตามบทความ Saeed et.al. [18]

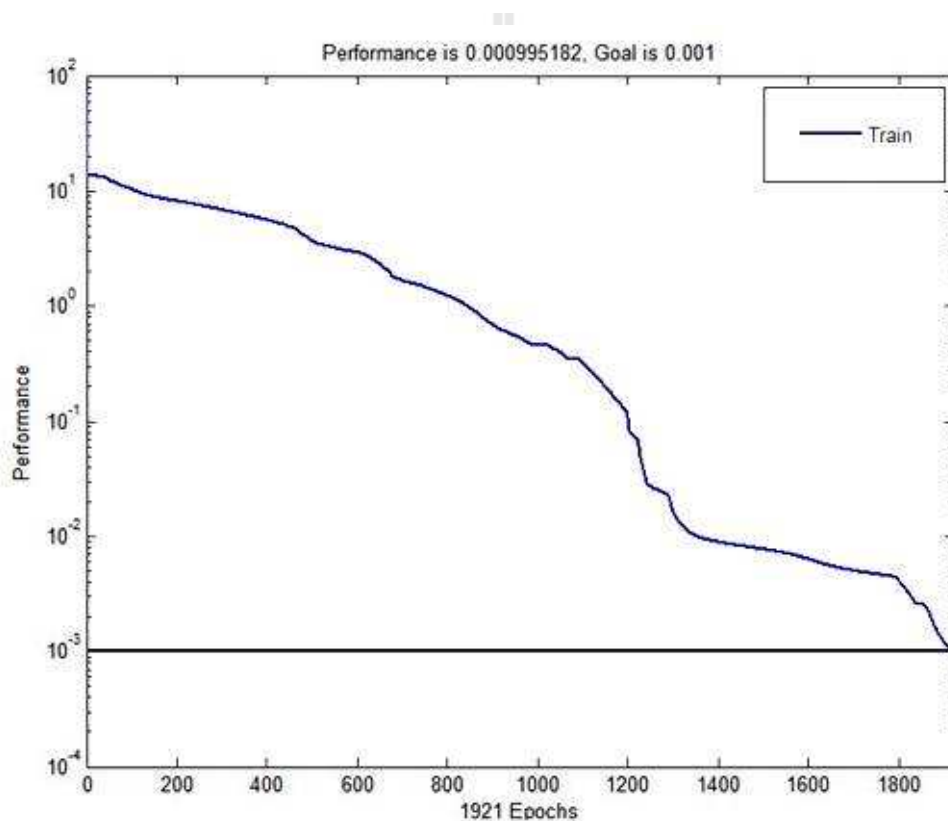
Image	<i>PSNR</i> (dB)		MAE	
	ผลจากบทความ [18]	ผลจากการจำลองอัลกอริทึม Saeed et.al. [18]	ผลจากบทความ[18]	ผลจากการจำลองอัลกอริทึม Saeed et.al. [18]
Barbara	37.88	36.72	0.0263	0.0176
Baboon	37.26	33.28	0.0322	0.0352
Peppers	37.45	37.29	0.0146	0.0039
ค่าเฉลี่ย	37.53	35.76	0.0243	0.0189

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า *PSNR* ของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการของ Cox et.al. [5] และวิธีการของ Saeed et.al. [18]

Image	<i>PSNR</i> (dB) วิธีการที่นำเสนอ	<i>PSNR</i> (dB) วิธีการ Cox et.al. [5]	<i>PSNR</i> (dB) วิธีการ Saeed et.al. [18]
SEM_image1	36.08	36.05	34.77
SEM_image2	35.45	35.32	34.54
SEM_image3	33.06	32.34	34.26
SEM_image4	36.33	36.12	34.47
ค่าเฉลี่ย	35.23	34.9575	34.51

4.5.2 ผลการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

หลังจากภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำไปคำนวณค่าโมเมนต์ภาพของภาพแต่ละภาพตามสมการที่ (4.3), (4.4) และ (4.5) แล้วค่าดังกล่าวได้ถูกนำไปทำการฝึกสอนให้กับเครือข่ายประสาทเทียมซึ่งรูปกราฟแสดงค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean square error) ของแต่ละรอบ (Epoch) ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม ผลการฝึกสอนของเครือข่ายแสดงไว้ดังภาพรูปที่ 4.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของเครือข่ายจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจนจนมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้คือค่า 0.001 แสดงให้เห็นได้ว่าเครือข่ายได้ทำการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของชุดข้อมูลว่าเป็นการโจมตีรูปแบบใด



รูปที่ 4.24 กราฟของการฝึกสอนของเครือข่ายประสาทเทียม

4.5.3 ผลการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ

เพื่อที่จะทำการตรวจสอบว่าสัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากน้อยเพียงใดต่อการโจมตี ผู้วิจัยจึงได้ทำการโจมตีภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยใช้วิธีการพื้นฐานต่าง ๆ เช่น การกรอง (Median filter) และการเพิ่มระดับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) เป็นต้น

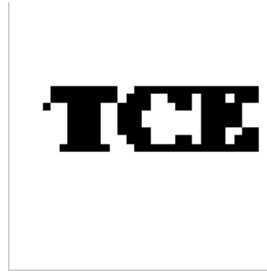
จากนั้นได้ทำการกู้คืนสัญญาณลายน้ำและทำการคำนวณค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพเปรียบเทียบกับของ Saeed et.al. [18] ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงได้ดังตารางที่ 4.3-4.12 และค่าเฉลี่ยของค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า *NC* ที่ได้มีค่าสูงกว่าของ Saeed et.al. [18] ส่วนค่า *BER* ของภาพมีค่าที่ค่อนข้างต่ำกว่าของ Saeed et.al. [18] ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นนี้มีความทนทานต่อการโจมตีแบบพื้นฐาน ต่างๆ นอกจากนี้ยังแสดงภาพ Logo ที่กู้คืนมาได้หลังจากผ่านการโจมตีต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.3 ของอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18] แสดงไว้ในรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.3 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image1 เมื่อผ่านการโจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.98	1.37 %	0.85	51.27 %
Gaussian Noise	0.97	2.92 %	1	0.00 %
Low pass Filter 3×3	0.95	5.17 %	0.71	73.73 %
JPEG 10%	0.95	4.98 %	0.89	48.63 %
JPEG 25%	0.96	3.32 %	0.95	30.77 %
JPEG 50%	0.98	1.66 %	0.99	4.30 %
JPEG 75%	1.00	0.00 %	1	0.19 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	1	0.10 %



(ก) Median Filter



(ข) Gaussian Noise



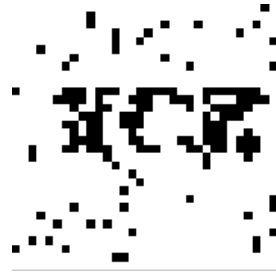
(ค) Low pass Filter



(ง) JPEG 10%



(จ) JPEG 25%



(ฉ) JPEG 50%



(ช) JPEG 90%



(ซ) JPEG 100%

รูปที่ 4.25 ภาพ Logo ที่กู้คืนมาได้หลังจากผ่านการ โจมตีต่าง ๆ ของอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18]

ตารางที่ 4.4 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image2 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.98	1.46 %	0.88	45.80 %
Gaussian Noise	0.97	3.12 %	1	0.09 %
Low pass Filter 3×3	0.97	5.46 %	0.70	73.92 %
JPEG 10%	0.95	5.17 %	0.89	47.75 %
JPEG 25%	0.98	2.53 %	0.96	20.50 %
JPEG 50%	1.00	0.78 %	0.99	4.68 %
JPEG 75%	1.00	0.09 %	1	0.39 %
JPEG 90%	1.00	0.09 %	1	0.09 %

ตารางที่ 4.5 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image3 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.96	3.80 %	0.86	49.80 %
Gaussian Noise	0.98	2.30 %	1	0.39 %
Low pass Filter 3×3	0.95	5.46 %	0.72	71.28 %
JPEG 10%	0.95	4.25 %	0.90	45.31 %
JPEG 25%	0.96	1.9 %	0.97	16.60 %
JPEG 50%	1.00	0.49 %	0.99	5.76 %
JPEG 75%	1.00	0.10 %	1	1.17 %
JPEG 90%	1.00	0.42 %	1	0.29 %

ตารางที่ 4.6 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image4 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.98	1.95 %	0.89	45.89 %
Gaussian Noise	0.98	2.34 %	1	0.48 %
Low pass Filter 3×3	0.94	6.15 %	0.87	46.09 %
JPEG 10%	0.94	6.15 %	0.89	43.06 %
JPEG 25%	0.96	3.61 %	0.93	32.42 %
JPEG 50%	0.98	1.66 %	0.96	9.37 %
JPEG 75%	1.00	0.09 %	0.99	2.14 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	1	0.39 %

ตารางที่ 4.7 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image5 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.96	3.22 %	0.90	43.75 %
Gaussian Noise	0.98	3.41 %	1	2.44 %
Low pass Filter 3×3	0.95	6.15 %	0.78	62.01 %
JPEG 10%	0.95	7.32 %	0.89	45.21 %
JPEG 25%	0.96	4.68 %	0.94	27.34 %
JPEG 50%	1.00	1.66 %	0.96	13.57 %
JPEG 75%	1.00	1.36 %	0.99	4.00 %
JPEG 90%	1.00	0.78 %	1	1.46 %

ตารางที่ 4.8 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image6 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.98	1.46 %	0.91	37.30 %
Gaussian Noise	0.97	2.44 %	1	0.68 %
Low pass Filter 3×3	0.96	5.37 %	0.80	58.78 %
JPEG 10%	0.94	5.27 %	0.88	45.70 %
JPEG 25%	0.97	2.73 %	0.92	31.34 %
JPEG 50%	0.99	0.68 %	0.96	7.51 %
JPEG 75%	1.00	0.00 %	0.99	1.26 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	1	0.29 %

ตารางที่ 4.9 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image7 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.96	3.81 %	0.88	47.85 %
Gaussian Noise	0.98	2.54 %	0.99	3.61 %
Low pass Filter 3×3	0.94	6.64 %	0.79	61.42 %
JPEG 10%	0.95	6.44 %	0.89	41.30 %
JPEG 25%	0.96	4.49 %	0.94	29.19 %
JPEG 50%	1.00	0.78 %	0.97	13.37 %
JPEG 75%	1.00	0.09 %	0.99	5.37 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	0.99	3.51 %

ตารางที่ 4.10 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image8 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.97	2.93 %	0.86	47.26 %
Gaussian Noise	0.97	2.73 %	1	0.58 %
Low pass Filter 3×3	0.96	5.37 %	0.78	61.52 %
JPEG 10%	0.93	6.64 %	0.87	45.31 %
JPEG 25%	0.97	3.12 %	0.94	26.66 %
JPEG 50%	0.98	1.95 %	0.96	13.08 %
JPEG 75%	1.00	0.09 %	0.99	3.12 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	1	0.39 %

ตารางที่ 4.11 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image9 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.97	3.22 %	0.81	58.69 %
Gaussian Noise	0.96	3.90 %	1	0.00 %
Low pass Filter 3×3	0.90	12.01 %	0.81	54.78 %
JPEG 10%	0.94	10.25 %	0.87	32.42 %
JPEG 25%	0.93	6.44 %	0.90	34.76 %
JPEG 50%	0.96	3.90 %	0.96	7.81 %
JPEG 75%	1.00	0.19 %	0.99	0.39 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	1	0.00%

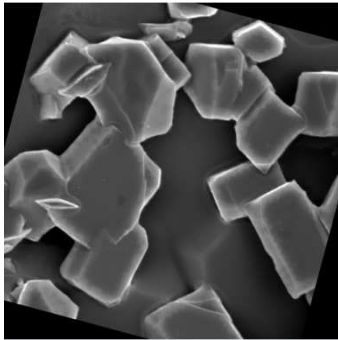
ตารางที่ 4.12 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image10 เมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.97	3.12 %	0.85	50.19 %
Gaussian Noise	0.97	3.02 %	1	1.46 %
Low pass Filter 3×3	0.94	7.51 %	0.79	58.69 %
JPEG 10%	0.95	4.88 %	0.87	43.94 %
JPEG 25%	0.95	4.88 %	0.92	34.96 %
JPEG 50%	0.99	0.97 %	0.96	9.96 %
JPEG 75%	1.00	0.00 %	0.99	2.73 %
JPEG 90%	1.00	0.00 %	1	0.78 %

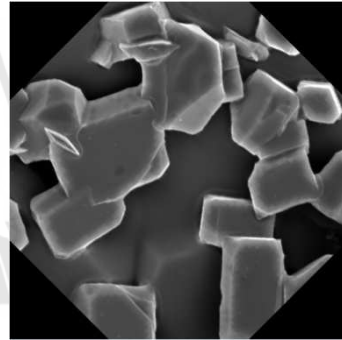
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยค่า *NC* และ *BER* ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพเมื่อผ่านการ โจมตีพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการ โจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Median Filter 3×3	0.970	2.634 %	0.869	47.775 %
Gaussian Noise	0.970	2.872 %	0.999	0.973 %
Low pass Filter 3×3	0.946	6.529 %	0.775	62.222 %
JPEG 10%	0.945	6.135 %	0.884	43.863 %
JPEG 25%	0.960	3.770 %	0.937	28.450 %
JPEG 50%	0.988	1.453 %	0.970	8.641 %
JPEG 75%	1.000	0.201 %	0.993	2.076 %
JPEG 90%	1.000	0.129 %	0.999	0.73 %
ค่าเฉลี่ย	0.972	2.965 %	0.928	24.341%

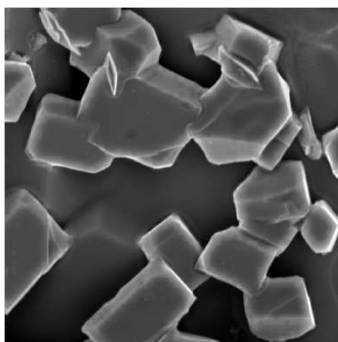
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดสอบความทนทานของลายน้ำดิจิทัลต่อการโจมตีจากการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต เช่น การหมุน การเลื่อนพิกัด และการย่อขยาย ตัวอย่างของการโจมตีภาพจากการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตของภาพ SEM_image1 แสดงไว้ในรูปที่ 4.26 โดยก่อนที่จะทำการกู้คืนสัญญาณลายน้ำจากภาพที่ถูกตัดแปลงเชิงเรขาคณิตนั้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้รูปแบบของภาพจากการโจมตี เพื่อทำการแก้ไขรูปแบบการจัดวางตัวของภาพทำให้สามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้อย่างถูกต้อง โดยภาพตัวอย่างสัญญาณลายน้ำที่สามารถกู้คืนกลับมาได้หลังจากการโจมตีด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตต่อภาพ SEM_image1 แสดงไว้ในรูปที่ 4.27 ผลการคำนวณค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพแต่ละภาพจากการโจมตีดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 4.14-4.23 ค่าเฉลี่ยค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพที่ถูกโจมตีด้วยวิธีการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตแสดงไว้ในตารางที่ 4.24



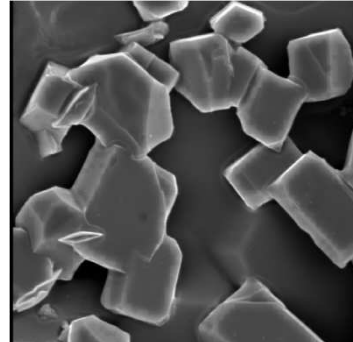
(ก)



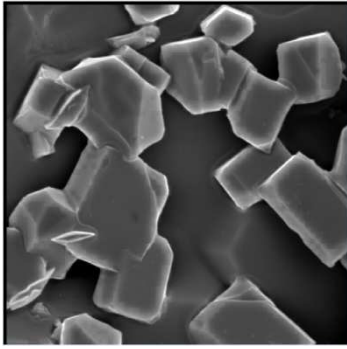
(ข)



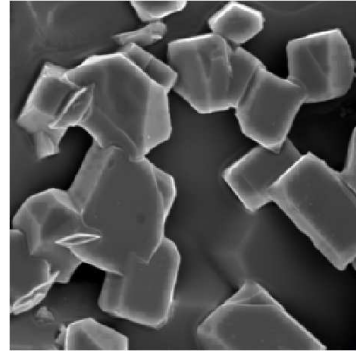
(ค)



(ง)

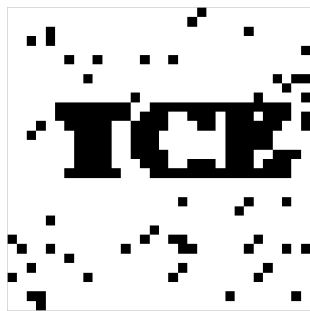


(จ)

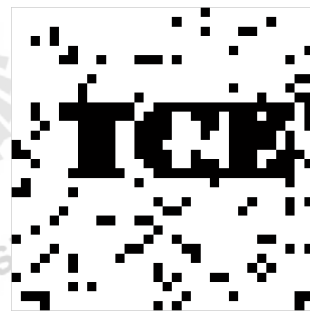


(ข)

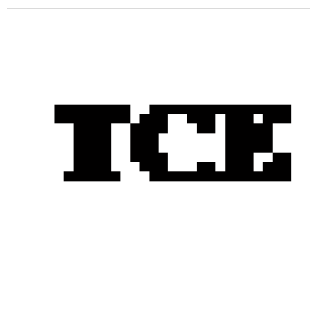
รูปที่ 4.26 ภาพผลลัพท์จากการโจมตีแบบต่าง ๆ ต่อภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล SEM_image1 (ก) การหมุน -15 องศา (ข) การหมุน -45 องศา (ค) การหมุน -90 องศา (ง) การเลื่อนทางพิกัดแกน x 5 พิกเซล (จ) การเลื่อนทางพิกัดแกน x และแกน y 5 พิกเซล (ฉ) การย่อ-ขยายภาพ 50 %



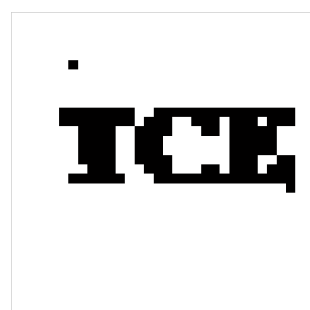
(ก)



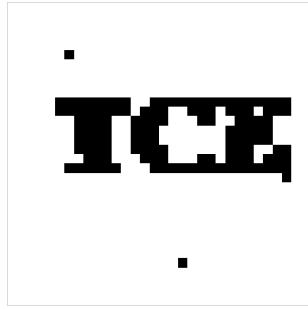
(ข)



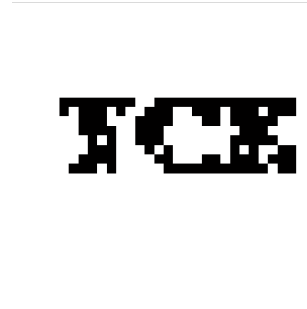
(ค)



(ง)



(จ)



(ข)

รูปที่ 4.27 สัญญาณลายน้ำที่สามารถกู้คืนมาได้จากการโจมตีแบบต่าง ๆ ของภาพ SEM_image1 (ก) การหมุน -15 องศา (ข) การหมุน -45 องศา (ค) การหมุน -90 องศา (ง) การเลื่อนทางพิกัดแกน x 5 พิกเซล (จ) การเลื่อนทางพิกัดแกน x และแกน y 5 พิกเซล (ฉ) การย่อ-ขยายภาพ 50 %

ตารางที่ 4.14 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image1 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.998866	1.269 %	0.86	51.17 %
Rotation +1	0.998857	1.953 %	0.87	51.07 %
Rotation -15	0.982710	5.761 %	0.87	47.66 %
Rotation +15	0.982952	6.933 %	0.87	45.12 %
Rotation -30	0.982632	8.984 %	0.85	50.09 %
Rotation +30	0.979525	12.597 %	0.85	50.09 %
Rotation -45	0.975175	11.425 %	0.86	48.53 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.86	50.48 %
Scaling 50%	0.981319	1.660 %	0.85	49.47 %
Scaling 150%	1.000000	0.000 %	0.86	50.73%

Scaling 200%	1.000000	0.000 %	0.85	49.89%
Scaling 250%	1.000000	0.000 %	0.86	49.75%
Scaling 300%	1.000000	0.000 %	0.86	49.24%
Translation 5 pixels in x-axis	0.998880	0.195 %	0.85	50.23%
Translation 5 pixels in y-axis	0.998879	0.292 %	0.84	50.64%
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.997758	0.488 %	0.85	50.35%

ตารางที่ 4.15 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image2 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.986783	3.515 %	0.86	50.78 %
Rotation +1	0.989243	2.148 %	0.86	51.46 %
Rotation -15	0.972543	12.695 %	0.87	50.78 %
Rotation +15	0.984963	9.082 %	0.86	46.87%
Rotation -30	0.963452	15.039 %	0.86	46.28 %
Rotation +30	0.981243	12.402 %	0.87	45.89 %
Rotation -45	0.969523	14.160 %	0.87	44.72 %
Rotation -90	1.000000	0.097 %	0.87	47.16 %
Scaling 50%	0.983462	1.562 %	0.85	49.00 %
Scaling 150%	1.000000	0.097 %	0.86	50.35%

Scaling 200%	1.000000	0.097 %	0.85	49.35%
Scaling 250%	1.000000	0.097 %	0.85	49.75%
Scaling 300%	1.000000	0.097 %	0.86	50.07%
Translation 5 pixels in x-axis	0.998875	0.585 %	0.86	50.33%
Translation 5 pixels in y-axis	1.000000	0.585 %	0.85	49.14%
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.998869	1.074 %	0.85	50.96%

ตารางที่ 4.16 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image3 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.951962	7.421 %	0.87	47.36 %
Rotation +1	0.925736	9.082 %	0.87	47.85 %
Rotation -15	0.900542	13.867 %	0.87	49.12 %
Rotation +15	0.899953	15.332 %	0.86	48.14 %
Rotation -30	0.875757	17.382 %	0.86	46.48 %
Rotation +30	0.868093	18.164 %	0.87	45.99 %
Rotation -45	0.858942	18.652 %	0.87	46.97 %
Rotation -90	0.955873	6.054%	0.87	49.80 %
Scaling 50%	0.968531	8.691 %	0.85	49.47 %
Scaling 150%	0.958473	5.957 %	0.86	50.73%

Scaling 200%	0.955873	6.054 %	0.85	50.64%
Scaling 250%	0.955873	6.054 %	0.86	49.06%
Scaling 300%	0.955873	6.054 %	0.85	49.28%
Translation 5 pixels in x-axis	0.866290	21.875 %	0.85	50.69%
Translation 5 pixels in y-axis	0.866541	21.582 %	0.86	50.23%
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.866541	21.582 %	0.86	50.11%

ตารางที่ 4.17 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image4 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.997725	1.757 %	0.86	49.31 %
Rotation +1	0.997753	0.683 %	0.87	48.04 %
Rotation -15	0.996893	4.882 %	0.87	47.26 %
Rotation +15	0.998241	1.855 %	0.87	49.51 %
Rotation -30	0.997218	5.664 %	0.86	49.51 %
Rotation +30	0.998836	3.515 %	0.87	46.87 %
Rotation -45	0.997843	4.394 %	0.84	47.85 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.87	47.26 %
Scaling 50%	0.966450	3.027 %	0.86	50.56 %
Scaling 150%	0.998881	0.097 %	0.87	50.75%

Scaling 200%	0.998881	0.097 %	0.87	50.67%
Scaling 250%	0.998881	0.097 %	0.86	50.89%
Scaling 300%	0.998881	0.097 %	0.86	51.03%
Translation 5 pixels in x-axis	1.000000	0.195 %	0.86	49.46%
Translation 5 pixels in y-axis	1.000000	0.097 %	0.85	49.56%
Translation 5 pixels in x&y-axis	1.000000	0.292 %	0.85	49.41%

ตารางที่ 4.18 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image5 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.998857	1.953 %	0.87	48.24 %
Rotation +1	0.997704	2.539 %	0.87	48.53 %
Rotation -15	0.997154	5.468 %	0.87	49.12 %
Rotation +15	0.986785	7.031 %	0.86	50.58 %
Rotation -30	0.989576	7.226 %	0.86	49.31 %
Rotation +30	0.979623	9.472 %	0.85	48.63%
Rotation -45	0.979989	8.789 %	0.87	43.35 %
Rotation -90	1.00000	0.039 %	0.86	48.92 %
Scaling 50%	0.954984	4.296 %	0.86	49.67%
Scaling 150%	1.000000	0.390 %	0.86	47.58%

Scaling 200%	1.000000	0.390 %	0.86	46.49%
Scaling 250%	1.000000	0.390 %	0.87	47.22%
Scaling 300%	1.000000	0.390 %	0.87	44.03%
Translation 5 pixels in x-axis	0.998871	0.878 %	0.85	48.49%
Translation 5 pixels in y-axis	0.996629	0.878 %	0.86	48.99%
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.995490	1.367 %	0.86	47.25%

ตารางที่ 4.19 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image6 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.998358	1.074 %	0.86	50.09 %
Rotation +1	0.991873	3.027 %	0.86	50.58 %
Rotation -15	0.986347	8.007 %	0.87	49.51 %
Rotation +15	0.981425	11.328%	0.87	49.60 %
Rotation -30	0.972758	16.796 %	0.87	48.14 %
Rotation +30	0.969746	15.820 %	0.86	47.85 %
Rotation -45	0.961432	18.652 %	0.86	46.77 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.87	49.41 %
Scaling 50%	0.973828	2.343 %	0.87	49.12 %
Scaling 150%	1.000000	0.000 %	0.86	49.53 %

Scaling 200%	1.000000	0.000 %	0.86	50.31 %
Scaling 250%	1.000000	0.000 %	0.85	49.63 %
Scaling 300%	1.000000	0.000 %	0.87	49.35 %
Translation 5 pixels in x-axis	0.998879	0.292 %	0.86	49.52 %
Translation 5 pixels in y-axis	0.997758	0.488 %	0.86	49.55 %
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.996633	0.781 %	0.86	50.88 %

ตารางที่ 4.20 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image7 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.995501	1.171 %	0.87	49.41 %
Rotation +1	0.995470	1.757 %	0.87	50.87 %
Rotation -15	0.997585	6.738 %	0.88	47.36 %
Rotation +15	0.996333	7.910 %	0.87	46.28 %
Rotation -30	0.997487	9.863 %	0.87	49.02 %
Rotation +30	0.996183	11.035 %	0.87	46.97 %
Rotation -45	0.996164	11.425 %	0.86	42.87 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.87	50.68 %
Scaling 50%	0.950959	4.589 %	0.87	48.52 %
Scaling 150%	0.996652	0.292 %	0.87	49.67 %

Scaling 200%	0.995541	0.390 %	0.87	50.45 %
Scaling 250%	0.995541	0.390 %	0.86	49.93 %
Scaling 300%	0.995541	0.390 %	0.87	49.85 %
Translation 5 pixels in x-axis	1.000000	0.195 %	0.87	49.22 %
Translation 5 pixels in y-axis	1.000000	0.488 %	0.87	49.48 %
Translation 5 pixels in x&y-axis	1.000000	0.683%	0.87	49.34 %

ตารางที่ 4.21 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image8 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.996508	3.906 %	0.88	48.73 %
Rotation +1	0.996587	1.953 %	0.87	50.09 %
Rotation -15	0.998674	13.769 %	0.85	51.17 %
Rotation +15	0.999897	9.863 %	0.86	49.21 %
Rotation -30	0.953089	18.554 %	0.86	46.58 %
Rotation +30	0.960375	16.796 %	0.87	46.38 %
Rotation -45	0.948620	20.410 %	0.87	47.07 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.86	50.00 %
Scaling 50%	0.964363	3.222 %	0.86	50.56 %
Scaling 150%	0.998881	0.097 %	0.87	50.75 %

Scaling 200%	0.998881	0.097 %	0.85	52.67 %
Scaling 250%	0.998881	0.097 %	0.86	50.43 %
Scaling 300%	0.998881	0.097 %	0.86	49.57 %
Translation 5 pixels in x-axis	1.000000	0.292 %	0.86	49.39 %
Translation 5 pixels in y-axis	0.996633	0.781 %	0.87	49.67 %
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.996622	1.074 %	0.86	50.31 %

ตารางที่ 4.22 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image9 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.997688	3.125 %	0.86	50.58 %
Rotation +1	0.996548	2.929 %	0.87	49.70 %
Rotation -15	0.998728	10.644 %	0.88	46.48 %
Rotation +15	0.998733	10.351 %	0.88	47.46 %
Rotation -30	0.998656	14.746 %	0.86	47.36 %
Rotation +30	0.998652	14.941 %	0.86	49.12 %
Rotation -45	0.997907	16.406 %	0.86	46.28 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.87	46.57 %
Scaling 50%	0.961249	3.515 %	0.86	50.53 %
Scaling 150%	0.998881	0.097 %	0.87	50.25 %

Scaling 200%	0.998881	0.097 %	0.87	50.65 %
Scaling 250%	0.998881	0.097 %	0.86	50.49 %
Scaling 300%	0.998881	0.097 %	0.86	48.55 %
Translation 5 pixels in x-axis	1.000000	0.000 %	0.86	49.34 %
Translation 5 pixels in y-axis	1.000000	0.000 %	0.85	49.56 %
Translation 5 pixels in x&y-axis	1.000000	0.000 %	0.85	49.41 %

ตารางที่ 4.23 ค่า *NC* และค่า *BER* ของภาพ SEM_image10 เมื่อผ่านการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.998856	2.050 %	0.87	48.92 %
Rotation +1	0.998844	2.929 %	0.87	49.31 %
Rotation -15	0.998901	8.203 %	0.86	48.92 %
Rotation +15	0.998793	10.449 %	0.89	46.87 %
Rotation -30	0.998609	11.718 %	0.86	46.87 %
Rotation +30	0.998182	14.648 %	0.86	46.67 %
Rotation -45	0.998302	14.160 %	0.85	47.46 %
Rotation -90	1.000000	0.000 %	0.88	48.33 %
Scaling 50%	0.965405	3.125 %	0.86	50.96 %
Scaling 150%	1.000000	0.000 %	0.86	50.54 %

Scaling 200%	1.000000	0.000 %	0.86	50.35 %
Scaling 250%	1.000000	0.000 %	0.86	50.44 %
Scaling 300%	1.000000	0.000 %	0.86	50.11 %
Translation 5 pixels in x-axis	1.000000	0.488 %	0.87	49.45 %
Translation 5 pixels in y-axis	0.998879	0.292 %	0.86	49.67 %
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.998873	0.781 %	0.86	49.35 %

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยค่า *NC* และ *BER* ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพของวิธีการที่นำเสนอเมื่อผ่านการโจมตีด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิตและวิธีการของ Saeed et.al. [18] โดยคำนวณค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองในตารางที่ 4.14 – 4.23

วิธีการโจมตี	วิธีการที่นำเสนอ		วิธีการ Saeed et.al. [18]	
	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)	<i>NC</i>	<i>BER</i> (%)
Rotation -1	0.992110	2.724 %	0.86	50.42 %
Rotation +1	0.988861	2.900%	0.87	50.09 %
Rotation -15	0.983007	9.003 %	0.87	48.40 %
Rotation +15	0.982807	9.013 %	0.86	47.26 %
Rotation -30	0.972923	12.597 %	0.86	48.62 %
Rotation +30	0.973045	12.935 %	0.86	47.61 %
Rotation -45	0.968389	13.847 %	0.86	48.36 %
Rotation -90	0.995587	0.619 %	0.87	48.16 %
Scaling 50%	0.967055	3.603 %	0.85	49.67 %

Scaling 150%	0.995176	0.702 %	0.86	50.61 %
Scaling 200%	0.994805	0.722 %	0.86	49.98 %
Scaling 250%	0.994805	0.722 %	0.86	50.13 %
Scaling 300%	0.994805	0.722 %	0.86	50.11 %
Translation 5 pixels in x-axis	0.986179	2.499 %	0.86	50.00 %
Translation 5 pixels in y-axis	0.985531	2.548 %	0.85	49.88 %
Translation 5 pixels in x&y-axis	0.985078	2.812 %	0.85	50.24 %
ค่าเฉลี่ย	0.985010	4.874 %	0.86	49.35 %

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 4.3 ถึง 4.24 พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่า NC ที่สูงกว่าวิธีการของ Saeed et.al. [18] และยังมีค่าความผิดพลาดของบิต (BER) ที่ต่ำกว่าวิธีการของ Saeed et.al. [18] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลของวิธีการที่นำเสนอมีความทนทานต่อการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตเป็นอย่างดีและมีความทนทานมากกว่าวิธีของ Saeed et.al. [18]

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ได้พัฒนาขึ้นจากอัลกอริทึมก่อนหน้านี้ เพื่อแก้ปัญหาความไม่ทนทานของสัญญาณลายน้ำต่อการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต ผู้วิจัยได้นำเอาเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหานี้ ด้วยการให้เครือข่ายประสาทเทียมจดจำรูปแบบการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตแบบต่าง ๆ ทำให้ทราบรูปแบบของการโจมตี และสามารถแก้ไขและกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับมาได้

ผลการทดสอบคุณภาพของภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำของภาพ SEM ที่แตกต่างกันทั้ง 10 ภาพ อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถเพิ่มค่า *PSNR* ให้สูงขึ้นและสูงกว่างานวิจัยของ Cox et.al. [1] และ Saeed et.al. [18] ซึ่งแสดงว่าภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำแล้วมีความผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับไม่มากจนที่สายตามนุษย์สามารถสังเกตเห็นได้

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยได้ทำการโจมตีภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยใช้วิธีการพื้นฐานต่าง ๆ เช่น การกรองและการเพิ่มระดับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน เป็นต้น หลังจากทำการโจมตีด้วยวิธีการข้างต้นแล้วทำการกู้คืนสัญญาณลายน้ำและคำนวณค่า *NC* และ *BER* ซึ่งค่าทั้งสองที่ได้คือ ได้ค่า *NC* ที่สูงกว่างานวิจัยที่นำมาเปรียบและค่า *BER* มีค่าที่ต่ำกว่างานที่นำมาเปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าสัญญาณลายน้ำมีความทนทานต่อการถูกโจมตีด้วยวิธีการพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่กู้คืนมาได้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ

การทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำต่อการโจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต เช่น การหมุน การเลื่อนพิกัด เป็นต้น ซึ่งพบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่า *NC* ที่มีค่าสูงและค่า *BER* ของสัญญาณลายน้ำที่กู้คืนมาได้ที่มีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอมีความทนทานต่อการโจมตีพื้นฐานและการโจมตีจากการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลแบบปรับตัวได้โดยใช้เครื่องถ่ายภาพสามเหลี่ยม โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ความต้องการหลักพื้นฐานสองอย่างของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล คือ คุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยภาพที่ใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลเป็นภาพที่ได้จากกล้อง SEM ซึ่งเป็นภาพระดับเทาขนาด 512×512 พิกเซล ในการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) วิธีการแปลงภาพที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลมีอยู่สองอย่าง คือ การแปลงดิสคริตโคไซน์ (DCT) และการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสคริต (DWT) ในงานวิจัยแรกผู้วิจัยใช้อัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำลงบนสเปกตรัมความถี่โดยใช้การแปลงสัญญาณดิสคริตโคไซน์ (DCT) และใช้ค่าความแรงแรงของสัญญาณลายน้ำที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพสามเหลี่ยมในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล ซึ่งจากผลการทดสอบคุณภาพของภาพหลังผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ พบว่าคุณภาพของภาพดีขึ้น และสัญญาณลายน้ำมีความทนทานต่อการโจมตีด้วยการประมวลผลสัญญาณภาพพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้อย่างถูกต้อง แต่มีข้อด้อยคือการทำภาพพิมพ์ลายน้ำจากอัลกอริทึมดังกล่าวยังคงต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใหม่ โดยใช้การแปลงดิสคริตเวฟเล็ต (DWT) และพัฒนาขั้นตอนของการกู้คืนสัญญาณลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำและพัฒนาความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยการนำเอาเครื่องถ่ายภาพสามเหลี่ยมมาใช้เพิ่มความทนทานของสัญญาณลายน้ำจากการโจมตีเชิงเรขาคณิต จากการทดสอบโดยใช้ภาพ SEM พบว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำจากอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นพบว่าคุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำมีคุณภาพที่ดีกว่าอัลกอริทึมก่อนหน้า และเมื่อทำการโจมตีภาพด้วยวิธีการพื้นฐาน และวิธีการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต ต่าง ๆ พบว่าสัญญาณลายน้ำของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้ มีความทนทานต่อการถูกโจมตีได้ดีมากยิ่งขึ้น และสามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้อย่างถูกต้อง

2) ผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคการค้นหาพารามิเตอร์ของการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อสนองความต้องการพื้นฐานของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ต้องการให้ภาพหลังจากการฝังสัญญาณลายน้ำมีความผิดเพี้ยนไปจากต้นฉบับน้อยที่สุด และยังต้องการให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานต่อการถูกโจมตีอีกด้วย ซึ่งความต้องการทั้งสองนี้มีความขัดแย้งซึ่งกันและกัน ทำให้จะต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยได้นำเครื่องถ่ายภาพสามเหลี่ยมมาใช้ใน

การหาค่าความแรงแรงของสัญญาณลายน้ำสำหรับภาพแต่ละภาพที่มีลักษณะเฉพาะของภาพที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะทำให้ได้ภาพพิมพ์ลายน้ำที่มีความเนียนของภาพที่สูงและมีความทนทานที่สุด โดยอินพุตของเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการฝึกสอนคือค่าโครงสร้างลักษณะเฉพาะของภาพ 5 อย่าง และเอาต์พุตที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียม คือ ค่าความแรงแรงของสัญญาณลายน้ำที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลและผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพของภาพหลังจากการฝังสัญญาณลายน้ำ ที่ใช้ค่าความแรงแรงของสัญญาณลายน้ำที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียม ให้คุณภาพของภาพที่ดี เมื่อพิจารณาคุณภาพของภาพหลังจากฝังสัญญาณลายน้ำกับภาพต้นฉบับจะแตกต่างกันไม่มากนัก นั่นคือ กระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นให้ค่าคุณภาพของภาพที่ดีขึ้นกว่างานวิจัยก่อนหน้านี้

3) จากการทดสอบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอพบว่าสัญญาณลายน้ำจะทนทานต่อการโจมตีด้วยการประมวลผลทางสัญญาณภาพได้ แต่จะไม่สามารถทนทานต่อการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต ด้วยเหตุนี้ในอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นจากเดิมที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องจึงได้เพิ่มเครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของการโจมตีด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต เพื่อที่จะได้แก้ไขภาพและทำให้สามารถกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับมาได้ โดยชุดข้อมูลที่จะให้เครือข่ายประสาทเทียมใช้ในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของภาพ คือค่าโมเมนต์ภาพ (Image moment) ของภาพที่ผ่านการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต เป็นค่าที่แสดงลักษณะเฉพาะของภาพในรูปแบบนั้น ๆ ผู้วิจัยจึงได้นำอัลกอริทึมของ Saeed et.al. [18] ที่ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตและการแปลงดิสครีตโคไซน์รวมกันนำมาเปรียบเทียบ หลังจากการทดสอบโจมตีภาพด้วยการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต สามารถแก้ไขและกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับมาได้ และค่าคุณภาพของภาพค่า NC ค่า BER ที่ดีกว่างานของ Saeed et.al. [18] ที่นำมาเปรียบเทียบแสดงว่า กระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำที่พัฒนาขึ้น มีความทนทานต่อการถูกโจมตี ทั้งการประมวลผลสัญญาณภาพ, การบีบอัดสัญญาณภาพ และการตัดแปลงเชิงเรขาคณิต ได้เป็นอย่างดี

5.2 แนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต

1) ในงานวิจัยที่นำเสนอเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลบนภาพที่ได้จากกล้อง SEM ที่เป็นภาพระดับเทา แต่ภาพที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปจะเป็นภาพสี ซึ่งจากการศึกษาถึงองค์ประกอบทางโครงสร้างและรายละเอียดของภาพสีพบว่าเราสามารถที่จะนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ได้

2) ศึกษาเพิ่มเติมการฝังสัญญาณลายน้ำและการกู้คืนสัญญาณลายน้ำ เพื่อนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปพัฒนาใช้กับภาพเคลื่อนไหวได้

- 3) พัฒนาอัลกอริทึมการฝังและการกู้คืนสัญญาณลายน้ำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ ให้ดีมากกว่าเดิม
- 4) เพิ่มจำนวนชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมให้ครอบคลุมชนิดของการโจมตีเชิงเรขาคณิตให้มากขึ้น
- 5) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อแสวงหารูปแบบของเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดกับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล
- 6) ประยุกต์ใช้เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับสื่อดิจิทัลรูปแบบอื่น ๆ เช่น สัญญาณเสียง ภาพวีดิทัศน์ รวมถึงภาพสี (color image) ที่ได้จากสื่อดิจิทัล



บรรณานุกรม

- [1] I. Cox, M. Miller, and J. Bloom, 2002. Digital watermarking. Morgan-Kaufmann, San Francisco, CA, ISBN: 1-55860-714-5.
- [2] A. Weber, The USC-SIPI Image database [On-line]. Available: <http://sipi.usc.edu/database/>
- [3] S. -J. Lee and S. -H. Jung, "A Survey of Watermarking Techniques Applied to Multimedia," In *Proc. IEEE ISIE*, vol. 1, pp. 272-277, June 2001.
- [4] F. Hartung and M. Kitter, "Multimedia Watermarking Techniques", *Proceedings of the IEEE*, vol. 87(7), pp. 1079-1107, July 1999.
- [5] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," Tech.Rep. 95-10, NEC Research Institute, 1995.
- [6] A. Piva et. al., "DCT Based Watermark Recovery Without Resorting to the Uncorrupted Original Signal," *Proc. IEEE International Conf. on Image Processing, ICIP-97*, vol.1, pp. 520-523, 1997.
- [7] C. F. Wu and W. S. Hsieh, "Digital Watermarking Using Zerotree of DCT," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 46 pp. 87 - 94, Feb. 2000.
- [8] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital Watermarking Using Multiresolution Wavelet Decomposition," *Proc. IEEE Int. Conf. On Acoustics, Speech and Signal Processing, Seattle, Washington*, vol. 5, pp. 2969-2972, May 1998.
- [9] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A New Wavelet-Based Scheme for Watermarking Images," *Proc. Conf. on Image Processing, ICIP-98*, vol. 2, pp. 419-423, Oct. 1998.
- [10] Wang, S.-H. and Lin, Y. -P., "Wavelet tree quantization for copyright protection watermarking," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 154-165, Feb. 2004.

- [11] K. -R. Kwon, K. -H. Kang, S.M-G. Kwon, K. -S. Moon, and J. -J. Lee, "Content Adaptive Watermarking Using Stochastic Visual Model Based on Multiwavelet Transform," The 2002 International Technical Conference On Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC-2002), July 16-19, 2002.
- [12] J. Zhao, Z. Liu and R. Laganieri, "Digital Watermarking by Using a Feature-Based Multiwavelet Fusion Approach," Proc. CCECE Vol. 1, p. 563-566, 2004.
- [13] L. Ghouti, A. Bouridane, S. Boussakta, "High Capacity Watermarking Using Balanced Multiwavelet Transforms" IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol. 1, pp. 977-980, Sept. 2005.
- [14] P. Kumsawat, K. Attakitmongcol and A. Srikaew, "A New Approach for Optimization in Image Watermarking by Using Genetic Algorithms," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 53, pp. 4707-4719, December 2005.
- [15] C. W. Tang and H. M. Hang, "A Feature-Based Robust Digital Image Watermarking Scheme," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 51(4), pp. 950-959, April 2003.
- [16] J. Weinheimer, Q. J. Q. Xiaojun, "Towards a Robust Feature-Based Watermarking Scheme," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 1, pp. 1401-1404, Oct. 2006.
- [17] S. Zheng, Y. Zhu and X. Wang, "A New RST-Invariant Watermarking Scheme Based on Texture Features," In *Proc. e-Forensic ICST 2008*, vol. 1, pp. 272-277, January 2008.
- [18] K. Saeed, Ahmad R. Naghsh-Nilchi, "Robust Digital Image Watermarking Based on Joint DWT-DCT" *International Journal of Digital Content Technolgt and its Applications*, vol. 3, Num. 2, June 2009
- [19] Ruizhen Liu and Tieniu Tan , " Theoretical framework for watermark capacity and energy estimation"

ภาคผนวก
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

กษมา ภาษิตวิไลธรรม และ ประโยชน์ คำสวัสดิ์. 2553. การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลแบบปรับตัว
ได้โดยใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON
33), DS 0208, โรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน จ. เชียงใหม่. 1-3 ธันวาคม 2553. หน้า 1225 - 1228

