

247555

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



247555

รหัสโครงการ SUT 7-709-53-12-19



รายงานการวิจัย

การทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Digital Watermarking for Electron Microscope Images)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

b 00251942

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



247555

รหัสโครงการ S



รายงานการวิจัย

การทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (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 อัดถกิจมงคล และรองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวกษมา ภาสิตวิไลธรรม นักศึกษาปริญญาโทที่ช่วยงานวิจัย ทำการทดลอง เก็บข้อมูลการวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นอย่างดี

ประโยชน์ คำสวัสดิ์

247555

บทคัดย่อ

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

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำลายน้ำสัญญาณภาพดิจิทัลแบบทนทาน โดยออกแบบอัลกอริทึมการทำลายน้ำสัญญาณภาพในโดเมนของการแปลงโคไซน์แบบคิรคิตและการแปลงเวฟเลตแบบคิรคิต สัญญาณลายน้ำจะถูกฝังลงในสัมประสิทธิ์ของการแปลงสัญญาณด้วยเทคนิคการกระจายแถบความถี่ วิธีการที่นำเสนอสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้โดยไม่ต้องใช้สัญญาณภาพต้นฉบับแต่อย่างใด ผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดของความแกร่งสัญญาณลายน้ำโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ภาพเอาต์พุตที่มีคุณภาพดีและลายน้ำมีความทนทานมากขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พัฒนาเทคนิคการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของการโจมตีเชิงเรขาคณิตด้วยเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ โดยใช้โมเมนต์ภาพซึ่งเป็นข้อมูลลักษณะเฉพาะของภาพที่สกัดออกมาได้เพื่อที่จะใช้ในการปรับแก้ภาพที่ถูกโจมตีเชิงเรขาคณิตให้กลับมาอยู่ในลักษณะเดิมก่อนจะเริ่มทำการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ จากการทดสอบคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุตและการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้คุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุตที่ดีและสัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงต่อการโจมตีแบบต่าง ๆ ดังได้นำเสนอไว้ในรายงานฉบับนี้

คำหลัก : การทำลายน้ำสัญญาณภาพดิจิทัล การแปลงโคไซน์แบบคิรคิต การแปลงเวฟเลตแบบคิรคิต เครือข่ายประสาทเทียม

Abstract

247555

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 เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Cox et 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 เมื่อผ่านการโจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	52
4.4 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image2 เมื่อผ่านการโจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	54
4.5 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image3 เมื่อผ่านการโจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	54
4.6 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image4 เมื่อผ่านการโจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	55
4.7 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image5 เมื่อผ่านการโจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	55
4.8 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image6 เมื่อผ่านการโจมตี พื้นฐานแบบต่าง ๆ ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของ Saeed et.al. [18]	56
4.9 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image7 เมื่อผ่านการโจมตี 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 ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	67
4.21 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image8 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	68
4.22 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image9 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	69
4.23 ค่า <i>NC</i> และค่า <i>BER</i> ของภาพ SEM_image10 เมื่อผ่านการ โจมตี ด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิตของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการของ Saeed et.al. [18]	70
4.24 ค่าเฉลี่ยค่า <i>NC</i> และ <i>BER</i> ของภาพ SEM ทั้ง 10 ภาพของวิธีการที่นำเสนอ เมื่อผ่านการ โจมตีด้วยการดัดแปลงเชิงเรขาคณิต และวิธีการของ Saeed et.al. [18] โดยคำนวณค่าเฉลี่ยจากผลในตารางที่ 4.14 – 4.23	71

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิตอล	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 ภาพต้นฉบับที่ผ่านการแปลงคีสกรีตเวฟเล็ด 3 ระดับ	34
4.5 แผนภาพการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอล	35
4.6 แผนภาพการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิตอล 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