

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างลายน้ำภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงแบบเวฟเล็ต

WAVELET-BASED WATERMARKING FOR DIGITAL IMAGES



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 47899
วัน, เดือน, ปี 27 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ISBN 974-324-217-1 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WAVELET-BASED WATERMARKING FOR DIGITAL IMAGES



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-217-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างลายน้ำภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงแบบเวฟเล็ต
นักศึกษา	นายประพนธ์ รักประทานพร
รหัสประจำตัว	41061166
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต และไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ โดยลายน้ำเป็นลำดับชุดข้อมูลที่ได้จากการสุ่ม ด้วยการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และค่าความแปรปรวนเป็นหนึ่ง นำไปรวมเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแถบความถี่สูงที่มากกว่าค่าเทรโซลด์ ที่ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต ในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำภาพดิจิทัล สามารถตรวจหาโดยทำการหาค่าคอร์รีเลชันระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตกับลายน้ำเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเทรโซลด์ เพื่อพิจารณาว่ามีลายน้ำในข้อมูลภาพดิจิทัลหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองได้ทดสอบความคงทนของลายน้ำกับการประมวลผลข้อมูลภาพชนิดต่างๆ เช่น การกรองภาพแบบมัลติสเกล การตัดบางส่วนของภาพออก (crop) และการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอให้ผลภาพที่ดีและลายน้ำยังคงมีความคงทนต่อการโจมตีภาพชนิดต่างๆ ได้ดี

Thesis Title Wavelet-based Watermarking for Digital Images
Student Mr. Prapon Rakprathanporn
Student ID. 41061166
Degree Master of Engineering
Programme Electrical Engineering
Year 2003
Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Yuttapong Rangsanseri

ABSTRACT

This thesis proposes a method of digital watermarking for still image using multi-stage discrete wavelet transform which does not require the original image for watermark detection. The watermark, generated by pseudo-random sequence with a normalized distribution of zero mean and unit variance, is added to all high-frequency coefficients which are above a level adaptive threshold. By comparing the correlation between the wavelet coefficients of a possibly corrupted watermarked image and the watermark with a threshold, the embedded watermark can be detected. Experimental results show that the embedded watermark is robust against various signal processing and compression attacks.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จบรรลุได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในหลายๆ ด้านจาก รศ. ดร. บุทธพงษ์ รั้งสรรค์เสรี ซึ่งได้ให้คำแนะนำแนวทางในการทำวิจัยและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนห้องทดลองที่ใช้ในการวิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ปัญญา ฐิติมัทธมา ที่ช่วยชี้แนะและให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้องทุกคน เพื่อนๆ น้องๆ และ คุณอรุณี อยู่สบาย ที่ได้เป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนด้วยดีมาโดยตลอด

ประพนธ์ รักประทานพร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของลายน้ำภาพดิจิทัล.....	4
2.1 ประวัติการทำลายน้ำ.....	4
2.2 การซ่อนข้อมูลข่าวสาร สเตกาโนกราฟี และการทำลายน้ำ.....	6
2.3 ลายน้ำดิจิทัล.....	6
2.4 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล.....	7
2.4.1 ลายน้ำแบบมองเห็น.....	7
2.4.2 ลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้.....	9
2.5 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัล.....	11
2.5.1 ใช้เป็นลายเซ็น.....	11
2.5.2 ใช้แทนการพิมพ์ลายนิ้วมือ.....	11
2.5.3 การถ่ายทอดสัญญาณ และ แสดงสัญลักษณ์.....	12
2.5.4 การรับรองความถูกต้อง.....	12
2.5.5 ควบคุมการคัดลอก.....	12
2.5.6 การสื่อสารข้อมูลลับ.....	13
2.6 คุณสมบัติสำคัญของลายน้ำดิจิทัล.....	13
2.7 หลักการในการทำลายน้ำภาพดิจิทัล.....	15
2.8 การจำแนกเทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัล.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางเทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนสเปาเซียล ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ 18 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.2	เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนความถี่.....	19
2.9	การโจมตีลายน้ำดิจิทัล.....	20
2.9.1	การบีบอัดแบบ JPEG.....	20
2.9.2	การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต.....	20
2.9.3	การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ.....	21
2.10	สรุป.....	21
บทที่ 3	หลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต.....	22
3.1	ความเป็นมาของการแปลงเวฟเล็ต.....	22
3.2	หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเล็ต.....	25
3.3	การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด.....	27
3.3.1	ฟังก์ชันสเกลลิง.....	28
3.3.2	ฟังก์ชันเวฟเล็ต.....	30
3.4	การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต.....	32
3.4.1	การแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์.....	32
3.4.2	การแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์.....	33
3.5	การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลภาพใน 2 มิติ.....	34
บทที่ 4	วิธีการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยการแปลงเวฟเล็ต.....	38
4.1	การทำลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ.....	38
4.1.1	การฝังลายน้ำลงในภาพ.....	38
4.1.2	การตรวจหาลายน้ำในภาพ.....	39
4.2	การทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต.....	40
4.2.1	เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่.....	40
4.2.1.1	ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในภาพ.....	41
4.2.1.2	ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ.....	41
4.2.2	เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบปรับค่าตามระดับการแปลงเวฟเล็ต.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.1 อัลกอริทึม Set Partitioning in Hierarchical Tree (SPIHT).....	44
4.2.2.2 ขั้นตอนการฝังลายน้ำลงในภาพ.....	45
4.2.2.3 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ.....	47
4.3 สรุป.....	47
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	48
5.1 ข้อมูลภาพและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
5.2 ผลการทดลองโดยไม่ผ่านการโจมตีลายน้ำ.....	48
5.3 การทดสอบความคงทนลายน้ำ.....	51
5.3.1 ผลการทดสอบความคงทนกับการประมวลผลภาพ.....	51
5.3.1.1 การกรองภาพแบบมัลติสเกล.....	51
5.3.1.2 การใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน.....	51
5.3.2 ผลการทดสอบความคงทนต่อความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต.....	56
5.3.2.1 การตัดภาพบางส่วน.....	56
5.3.2.2 การลดขนาดภาพ.....	56
5.3.3 ผลการทดลองโดยการบีบอัดภาพแบบ JPEG.....	61
บทที่ 6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	65
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	67
ภาคผนวก ก. การวัดประสิทธิภาพของภาพ (PSNR).....	71
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบเทคนิคกำหนดค่าเทอร์ โคลด์คองที่ของภาพ Lena	63
5.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบเทคนิคกำหนดค่าเทอร์ โคลด์คองที่ของภาพ Peppers.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟแสดงจำนวนบทความเกี่ยวกับลายน้ำที่ถูกตีพิมพ์ในทศวรรษที่ 90.....	5
2.2 การใส่ลายน้ำดิจิทัลด้วยการติด โลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN	8
2.3 การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในเอกสาร.....	8
2.4 (ก) การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในบริเวณมุมขวาล่างของรูปภาพ (ข) การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในบริเวณกลางรูปภาพ.....	9
2.5 ตัวอย่างรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ (ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ.....	10
2.6 แสดงภาพที่ถูกดัดแปลง โดยผู้หญิงในภาพด้านซ้ายถูกลบออกไปอย่างง่ายดายด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop	13
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็น และความจุข้อมูลข่าวสาร.....	14
2.8 (ก) กระบวนการใส่ลายน้ำ และ (ข) กระบวนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล	16
2.9 รูปแบบการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่.....	19
3.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่ (Constant time-frequency plan).....	23
3.2 (ก) ระยะเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเลต (ข) การแยกองค์ประกอบสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ.....	24
3.3 ลักษณะของเวฟเลตแบบคาบปีซี 8.....	25
3.4 ลักษณะของเวฟเลตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่างๆ กัน.....	26
3.5 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง.....	29
3.6 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเลตกรณีตั้งฉากกัน.....	30
3.7 ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	32
3.8 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	33
3.9 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiple-level decomposition).....	33
3.10 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	34
3.11 การแปลงเวฟเลตของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงก์.....	35
3.12 การแปลงเวฟเลตแบบหลายระดับ.....	36
3.13 ภาพการแปลงเวฟเลตแบบดิสครีต 2 ระดับ (ก) ภาพต้นแบบ oldmill (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตแบบดิสครีต 2 ครั้ง.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ขั้นตอนการฝังลายน้ำ.....	39
4.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ.....	39
4.3 การกระจายพลังงานในโดเมนการแปลงของภาพ Lena (ก) การแปลงแบบ DCT (ข) การแปลงแบบ DWT 3 ระดับโดยใช้ตัวกรองเวฟเล็ต คาบิซี 10.....	40
4.4 บล็อกไดอะแกรมการฝังลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนด ค่าเทรโซลด์แบบคงที่.....	43
4.5 บล็อกไดอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนด ค่าเทรโซลด์แบบคงที่.....	43
4.6 โครงสร้างซีโรทรี (ก) โครงสร้างซีโรทรี (ข) ลำดับการสแกนแบบ EZW ในการแยกองค์ประกอบเวฟเล็ตใน 2 ระดับ.....	44
4.7 บล็อกไดอะแกรมการฝังลายน้ำโดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์ปรับตาม ระดับการแปลงเวฟเล็ต.....	46
4.8 บล็อกไดอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนด ค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต.....	46
5.1 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่	49
5.2 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต	50
5.3 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยทดสอบความคงทนกับตัวกรอง มัลติเรซขนาด 3x3 พิกเซล.....	51
5.4 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยทดสอบความ คงทนกับตัวกรองมัลติเรซขนาด 3x3 พิกเซล.....	53
5.5 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยทดสอบความคงทนด้วยการ ใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน.....	54
5.6 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยทดสอบความ คงทนด้วยการใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน.....	55
5.7 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยทดสอบความคงทนด้วยการ ตัดบางส่วนของภาพเหลือ 1/4 ของภาพเดิม	57
5.8 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยทดสอบ	

เอกสารนี้เป็นความคงทนด้วยการตัดบางส่วนของภาพเหลือ 1/4 ของภาพเดิม.....

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์แบบคงที่ โดยทำการลดขนาดของภาพลง 50 % ของภาพเดิม.....	59
5.10 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทอร์โซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต ที่ลดขนาดของภาพลง 50 % ของภาพเดิม.....	60
5.11 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์แบบคงที่ ด้วยการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10 %.....	61
5.12 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทอร์โซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ตด้วยการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10 %.....	62
5.13 กราฟเปรียบเทียบค่าคอร์รีเลชัน จากการบีบอัดแบบ JPEG ที่อัตราส่วนต่างๆ ของภาพ Lena.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลงานสร้างสรรค์ต่างๆ ได้เกิดขึ้นอย่างมากมายโดยใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกิดขึ้น แต่ปัญหาสำคัญที่ตามมาคือการเผยแพร่สิ่งสร้างสรรค์เหล่านั้นก็คือ การลอกเลียนแบบ การทำซ้ำ และการนำความคิดของผู้อื่นไปใช้หาผลประโยชน์โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของผลงาน หลายหน่วยงานได้เห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการละเมิดสิทธิทางปัญญาในสื่อประเภทต่างๆ และเล็งเห็นถึงความพยายามและความทุ่มเทเป็นอย่างมากในการสร้างสรรค์ผลงานในแต่ละชิ้นขึ้นมา จึงไม่เป็นการยุติธรรมที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งที่จะเห็นแก่ประโยชน์ส่วนตัวลบลอบนำทรัพย์สินทางปัญญาเหล่านี้ไปใช้ หรือนำไปเพื่อทำประโยชน์ทางการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ที่เป็นเจ้าของผลงาน วิธีป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น วิธีการหนึ่งก็คือการใช้ตัวบทกฎหมาย โดยให้ผู้ที่คิดค้นสร้างสรรค์ผลงานขึ้นมาทำการจดลิขสิทธิ์เพื่อให้ผลงานของตนได้รับการคุ้มครองทางกฎหมาย ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้แก้ปัญหาการละเมิดสิทธิทางปัญญาได้ในระดับหนึ่ง แม้ว่าในปัจจุบันจะมีกฎหมายปกป้องสิทธิทางปัญญาออกมาบังคับใช้อย่างชัดเจน แต่บางครั้งตัวบทกฎหมายที่มีอยู่ก็ไม่สามารถดำเนินการกับผู้กระทำผิดเหล่านั้นได้โดยง่ายเนื่องจากยังมีช่องโหว่สำคัญหลายประการ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการอื่นๆ เพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งเทคนิควิธีการต่างๆ มากมายได้ถูกคิดค้นและใช้ในการป้องกันการละเมิดสิทธิทางปัญญาของข้อมูลที่ได้จดลิขสิทธิ์เอาไว้ วิธีการหนึ่งที่มีการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพมากก็คือ การป้องกันการคัดลอกที่ตัวข้อมูลนั้นๆ โดยตรง

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีกลไกในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์หลากหลายวิธี เช่น การเข้ารหัส การลงทะเบียน หรือการใส่เลขทะเบียน (Serial numbers) ก็ยังไม่สามารถยับยั้งปัญหาดังกล่าวได้ ตัวอย่างเช่นในกรณีของการเข้ารหัสลับตัวข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านการถอดรหัสแล้วจะสามารถถูกคัดลอกหรือทำซ้ำได้ โดยที่เราไม่สามารถที่จะติดตามหาผู้ที่กระทำความผิดดังกล่าวมาลงโทษได้ ดังนั้นเพื่อที่จะยับยั้งหรือติดตามร่องรอยของการละเมิดลิขสิทธิ์ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking) ขึ้นมา โดยวิธีการนี้จะแตกต่างจากวิธีการเข้ารหัสลับทั่วไปที่ข้อมูลภายหลังจากการเข้ารหัสจะสามารถดูได้โดยผู้ที่มีกุญแจรหัสเท่านั้น แต่วิธีดังกล่าวนี้จะใช้หลักการในการซ่อนสิ่งที่เรียกว่าสัญญาณลายน้ำ (Watermark signal) ลงไปในข้อมูล โดยจะไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลนั้นๆ ลดต่ำจนเกินไป

เทคนิคการทำลายน้ำกับรูปภาพดิจิทัลเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมา โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (Key information) หรือรหัสส่วนตัวที่ฝังลงไปบนภาพเพื่อใช้แสดงสิทธิ์ความเป็นเจ้าของในสื่อข้อมูลภาพดิจิทัลเหล่านั้น เทคนิคการทำลายน้ำได้ถูกนำเสนอออกมาอย่างมากมายซึ่งพอจะแบ่งกรรมวิธีออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ก็คือ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล และ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่ ซึ่งวิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่จะมีความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำด้วยกระบวนการประมวลผลสัญญาณต่างๆ และการลดทอนทางเรขาคณิตมากกว่าวิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล ดังนั้นวิธีการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ต จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเสนอเทคนิคการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ โดยการฝังลายน้ำลงในภาพดิจิทัล วิธีการที่นำเสนอนี้เราทำลายน้ำดิจิทัลบน โดเมนความถี่ ด้วยการวิเคราะห์ความคงทนของลายน้ำดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Discrete wavelet transform : DWT) เข้ามาช่วยในการปรับเปลี่ยนระดับของลายน้ำที่ฝังลงไปบนภาพดิจิทัลให้เหมาะสม เพื่อให้มีความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลภาพและการลดทอนทางเรขาคณิตได้มากขึ้น และ ในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล วิธีการเดิมๆ [1, 2] ที่ผ่านมา มักจะใช้ภาพต้นแบบมาช่วยในการตรวจหาลายน้ำที่อยู่ในข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นขั้นตอนในการตรวจหาลายน้ำของภาพ ดังนั้นหากสามารถลดขั้นตอนนี้ได้ก็จะช่วยให้เกิดความสะดวกในการตรวจหาลายน้ำของภาพได้ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในส่วนของการวิจัยได้เสนอ วิธีการทำลายน้ำกับภาพดิจิทัลด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต โดยทดสอบความคงทนของลายน้ำกับเทคนิคการประมวลผลภาพ การลดทอนทางเรขาคณิตต่างๆ และการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ภาพเกิดความเสียหายและผิดเพี้ยนไปจากเดิมค่อนข้างมาก

สำหรับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บท ในแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหา ดังนี้
 บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำวิจัยและขอบเขตเนื้อหาของการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 หลักการเบื้องต้นของลายน้ำดิจิทัล กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของลายน้ำ ชนิดของลายน้ำดิจิทัล การประยุกต์ใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ในด้านต่างๆ คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำที่ควรมี เช่น ความปลอดภัย ความโปร่งใส และความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำ และการจำแนกเทคนิคการทำลายน้ำประเภทต่างๆ

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution analysis: MRA) ทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบสัญญาณ (Decomposition) และการรวมกลับของสัญญาณ (Reconstruction) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพขนาด 2 มิติ

บทที่ 4 วิธีการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต กล่าวถึงการทำลายลายน้ำดิจิทัล สำหรับภาพระดับเทาในโดเมนความถี่ ซึ่งมีขั้นตอนการฝังลายน้ำลงในชุดสัมประสิทธิ์ของ DWT และการตรวจหาลายน้ำด้วยอัลกอริทึมใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ

บทที่ 5 ผลการทดลอง กล่าวถึงผลที่ได้จากการทำลายน้ำกับภาพดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำ ที่ผ่านการโจมตีลายน้ำจากการประมวลผลสัญญาณภาพแบบต่างๆ ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต และจากการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงสรุปผลการทดสอบของการทำลายน้ำ และการตรวจหาลายน้ำที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบตามอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการวิจัยที่สามารถพัฒนาต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไปในอนาคต

ในส่วนสุดท้ายเป็นภาคผนวก ก. ซึ่งกล่าวถึง การทดสอบประสิทธิภาพของภาพ และภาคผนวก ข. กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานของลายน้ำภาพดิจิทัล

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติการทำลายน้ำ ชนิดลายน้ำดิจิทัล ข้อกำหนดในการทำลายน้ำดิจิทัล การประยุกต์ใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ในด้านต่างๆ คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำที่ควรมี เช่น ความปลอดภัย ความโปร่งใส และความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำ การจำแนกเทคนิคการทำลายน้ำประเภทต่างๆ และการโจมตีหรือการทำลายลายน้ำดิจิทัล

2.1 ประวัติการทำลายน้ำ

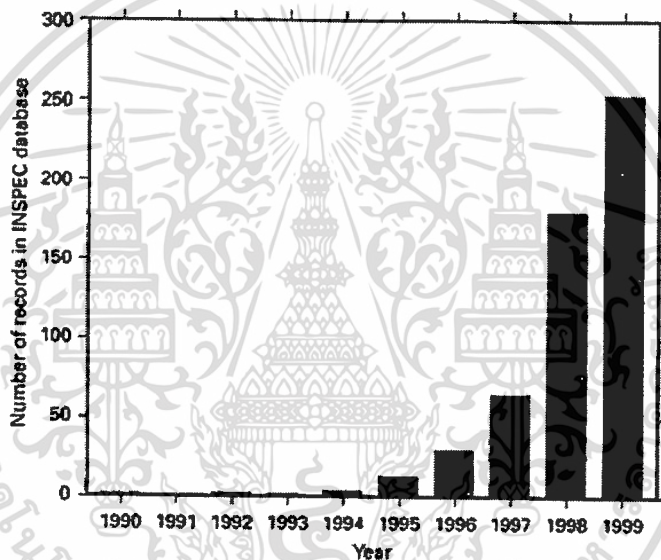
ถึงแม้ว่าศิลปะของการทำลายน้ำบนกระดาษถูกคิดขึ้นในประเทศจีนมากกว่า 1000 ปี ลายน้ำบนกระดาษไม่ปรากฏให้เห็นอีกเลยจนกระทั่งประมาณปี ค.ศ. 1282 ในประเทศอิตาลี [3] มีการทำเครื่องหมายโดยใส่ลายเส้นบางๆลงที่แม่พิมพ์ของกระดาษ แผ่นกระดาษจึงเกิดเป็นแถบเส้นบางๆที่มีความโปร่งใส จุดประสงค์การทำลายน้ำในอดีตยังไม่เป็นที่ชัดเจนนัก โดยลายน้ำอาจถูกนำมาใช้งานเพื่อพิสูจน์ว่าแม่พิมพ์กระดาษลายน้ำเป็นตัวเดียวกันกับแผ่นกระดาษที่ทำขึ้นมาหรือไม่ หรือใช้เป็นเครื่องหมายการค้าของผู้ทำกระดาษแผ่นนั้นขึ้นมา วัตถุประสงค์อื่นๆของลายน้ำอาจนำมาใช้เพื่อแสดงสัญลักษณ์พิเศษหรือเพื่อเอาไว้ประดับบนแผ่นกระดาษ

ในศตวรรษที่ 18 การทำลายน้ำบนกระดาษในทวีปยุโรปและทวีปอเมริกาเริ่มนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น พวกเขาใช้มันเหมือนเครื่องหมายการค้า เพื่อบันทึกวันที่กระดาษที่ผลิตและเพื่อบอกถึงขนาดของแผ่นต้นฉบับ. และเริ่มมีการนำลายน้ำมาใช้ป้องกันการปลอมแปลงธนบัตรและเอกสารชนิดอื่นๆ คำว่า "Watermark" ดูเหมือนจะเกิดขึ้นมาตอนปลายศตวรรษที่ 18 และอาจจะมาจากคำว่า "Wassermarke" [4] ในภาษาเยอรมัน

ตัวอย่างของแนวความคิดการทำลายน้ำโดยซ่อนข้อความที่มองไม่เห็น เกี่ยวกับวัตถุประสงค์ที่ฝังซ่อนไว้จากในหนังสือ The Codebreakers ของ David Kahn ได้บันทึกประวัติศาสตร์ที่น่าสนใจ [5] โดยเฉพาะเรื่องราวอ้างถึงข้อความซุกซ่อนอยู่ในหนังสือ Hypnerotomachia Poliphili ที่พิมพ์ขึ้น ในปี ค.ศ. 1499 ก็คือตัวอักษรแรกของในแต่ละบทสะกดคำว่า "Poliam Frater Franciscus Columna Peramavit " โดยสันนิษฐานว่าอาจหมายถึงความรักของหลวงพ่อ Francesco Columna ที่มีต่อผู้หญิงคนหนึ่งชื่อ Polia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

400 ปีต่อมา เราพบเทคโนโลยีตัวอย่างแรกคล้ายกับวิธีการดิจิทัลที่นำมาพิจารณาใน ปี 1954 Emil Hembrooke ของบริษัท Muzak Corporation ได้จดสิทธิบัตร "การทำลายน้ำ" ในงาน เพลง โดยใส่รหัสเฉพาะลงในเสียงเพลง มันเป็นเรื่องยากที่บอกได้ว่าการทำลายน้ำดิจิทัลได้เริ่มมี มาครั้งแรกเมื่อไหร่ ในปี ค.ศ. 1979 Szepanski [6] ได้กล่าวถึงเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถตรวจหา ลวดลายที่ใส่ในเอกสารเพื่อป้องกันจากการถูกปลอมแปลงขึ้น จากนั้น 9 ปีต่อมา Holt et al. [7] ได้ กล่าวถึงวิธีในการฝังรหัสเฉพาะลงไปนในสัญญาณเสียง อย่างไรก็ตาม ในปี 1988 Komatsu and Tominaga [8] เป็นผู้ที่เริ่มนำคำว่า "ลายน้ำดิจิทัล" มาใช้เป็นครั้งแรก แม้กระนั้นก็ยังไม่เป็นที่รู้จัก มากนัก จนกระทั่งต้นปี ค.ศ. 1990 คำว่า "การทำลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking)" จึง กลายเป็นที่นิยมอย่างแท้จริง



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงจำนวนบทความเกี่ยวกับลายน้ำที่ถูกตีพิมพ์ในทศวรรษที่ 90

ประมาณปี ค.ศ. 1995 ความสนใจในการทำลายน้ำดิจิทัลได้เริ่มมีขึ้นอย่างกว้างขวาง รูปที่ 2.1 แสดงจำนวนบทความที่ตีพิมพ์หัวข้อเกี่ยวกับลายน้ำดิจิทัลในทศวรรษที่ 90 [9] การสัมมนาครั้งแรกเกี่ยวกับการซ่อนข้อมูลข่าวสาร "The first Information Hiding Workshop : IHW" [10] ในปี ค.ศ. 1996 ได้มีการรวมหัวข้อเกี่ยวกับการทำลายน้ำดิจิทัลเข้าไปด้วย และ ในปี ค.ศ. 1999 การประชุมวิชาการของ SPIE ได้เริ่มมีการประชุมวิชาการในหัวข้อเกี่ยวกับ Security and Watermarking of Multimedia Contents ขึ้นมา [11, 12]

2.2 การซ่อนข้อมูลข่าวสาร สเตกาโนกราฟี และการทำลายน้ำ

การทำลายน้ำมีความสัมพันธ์กับสาขาการซ่อนข้อมูลข่าวสารและสเตกาโนกราฟี ทั้งสามสาขามีการซ้อนทับกันอยู่ อย่างไรก็ตาม นิยามพื้นฐานมีความแตกต่างกันในข้อกำหนดและการออกแบบทางเทคนิค โดยเราสามารถพิจารณาถึงความแตกต่างแต่ละสาขาดังนี้

การซ่อนข้อมูลข่าวสาร (Information Hiding) เป็นการฝังข่าวสารลงในเนื้อหาข้อมูล คำว่า *hiding* ในที่นี้อาจหมายถึงการทำให้ข้อมูลข่าวสารไม่สามารถมองเห็นได้ (ซึ่งคล้ายกับการทำลายน้ำ) หรือเป็นการเก็บรักษาความลับของข้อมูลข่าวสาร เช่น การรักษาความลับของฐานข้อมูลสำหรับผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต

สเตกาโนกราฟี (Steganography) มาจากคำในภาษากรีก "*Stegano*" ที่หมายถึง "*Covered*" และ "*graphia*" ที่หมายถึง "*writing*" สเตกาโนกราฟีเป็นศาสตร์ของการปกปิดข้อมูลข่าวสารในการสื่อสารซึ่งยังคงมีอยู่ในการสื่อสารปัจจุบัน จุดหมายของสเตกาโนกราฟีคือการซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัย ซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากในการตรวจหาได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับปรากฏซ่อนอยู่ภายใน ตัวอย่างเรื่องราวที่เกี่ยวกับเทคนิคสเตกาโนกราฟีก็คือพงศาวดารของ Herodotus [13] โดยมีผู้ตีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ต้องการส่งสารลับไปยังเมือง Miletus โดยทำการโกนผมทาสของเขาออกและสักข่าวสารไว้บนหัวของทาส หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้นปกปิดข้อความเหล่านั้น จึงให้ทาสผู้นี้เดินทางไปยังเมือง Miletus เมื่อไปถึงจึงให้โกนหัวทาสผู้นั้นเปิดเผยสารลับนั้นแก่ Aristagoras ผู้สำเร็จราชการแห่งเมือง Miletus จากนั้น Aristagoras จึงเริ่มก่อการจลาจลต่อกษัตริย์เปอร์เซีย ตัวอย่างความแตกต่างกันระหว่าง สเตกาโนกราฟีและการทำลายน้ำ สมมุติว่าข้อความที่สักบนหัวของทาสเขียนว่า "ทาสคนนี้เป็นของ Histiaeus." ข้อความนี้อ้างถึงทาส ถ้ามีบางคนอ้างถึงการเป็นเจ้าของทาสคนนั้น Histiaeus ก็สามารถโกนศีรษะทาสและพิสูจน์ถึงการเป็นเจ้าของทาสคนนั้นได้

2.3 ลายนําคิจิตอล

ทุกวันนี้สื่อคิจิตอลได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่มากมายถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของคิจิตอล เนื่องจากข้อดีหลายอย่างของสื่อคิจิตอลเมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลในรูปแบบเดิม นั่นคือ ข้อมูลคิจิตอลสามารถทำสำเนาได้โดยง่ายโดยปราศจากการสูญเสียความคมชัดซึ่งทำให้เหมือนต้นแบบได้อย่างสมบูรณ์ และในปัจจุบันระบบเครือข่ายทางอินเทอร์เน็ตมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่สูง บริการต่างๆ เช่น การทำพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การโฆษณา ห้องสมุดคิจิตอล การประชุมทางไกล วารสารออนไลน์ และอื่นๆ อีกมากมาย ทำให้การติดต่อสื่อสารและ

การเผยแพร่สื่อข้อมูลดิจิทัลสามารถกระทำได้อย่างสะดวกและง่ายดาย ถ้าหากข้อมูลดิจิทัลนั้นๆ ถูกคัดลอกและเผยแพร่ต่อไปโดยมิได้รับอนุญาตจากเจ้าของข้อมูลเสียก่อน ก็จะทำให้เจ้าของข้อมูล ที่แท้จริงเสียผลประโยชน์ที่พึงจะได้รับ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ และการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ตที่มีการพัฒนากันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อขยับขยายการละเมิดสิทธิของเจ้าของข้อมูลโดยมิชอบธรรม จึงจำเป็นที่จะต้องมิกฎเกณฑ์เพื่อควบคุมการใช้งานของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิทธิทางปัญญา โดยมิให้ผู้ที่ไม่ได้เป็นเจ้าของข้อมูลนั้นๆ นำข้อมูลไปใช้โดยมิได้รับอนุญาต จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี การทำลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking) ขึ้นมาเพื่อขยับขยายการกระทำที่จะเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาโดยอนุญาตให้ข้อมูลเหล่านี้ถูกเผยแพร่ออกไปได้โดยสามารถติดตามตรวจสอบในภายหลังได้ ด้วยวิธีนี้จำนวนข้อมูลในการทำสำเนาจึงไม่ถูกจำกัด แล้วยังสามารถควบคุมไม่ให้งานต้นแบบเผยแพร่ออกไปได้อีกด้วย

กล่าวโดยสรุปก็คือ ลายน้ำดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล หรือ ข้อมูลสำคัญ (Key information) ที่ถูกใส่เข้าไปในสื่อดิจิทัล โดยที่สื่อดิจิทัล เป็นได้ทั้ง รูปภาพ เสียง วิดีโอ เอกสารข้อความ หรือ ไฟล์มัลติมีเดีย ซึ่งผู้สร้างสรรค์หรือเจ้าของผลงานสามารถแสดงสิทธิในการแจกจ่าย ทำซ้ำ หรือเผยแพร่ ผลงานได้อย่างถูกต้องกฎหมาย

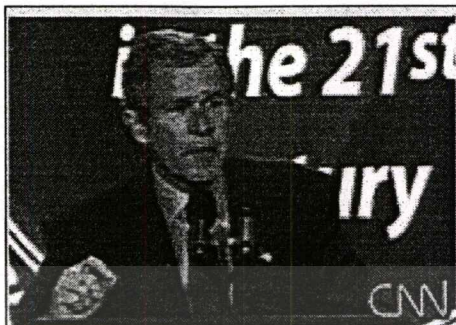
2.4 ชนิดของลายน้ำภาพดิจิทัล

การทำลายน้ำภาพดิจิทัล เป็นวิธีเสมือนกับวิธีการที่จิตรกรที่มีฝีมือในอดีตใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของต่อรูปภาพ โดยพวกเขาจะใส่สัญลักษณ์ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของตนเองไว้ในตัวรูปภาพโดยสัญลักษณ์ที่ใส่เข้าไปนั้นอาจจะมีลักษณะที่มองเห็นได้หรือไม่ก็ได้ ดังนั้นแนวคิดของการทำลายน้ำดิจิทัลจึงเป็นการใส่สัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะเข้าไปในตัวข้อมูลรูปภาพ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะแสดงถึงความเป็นเจ้าของต่อข้อมูลนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวเราอาจแบ่งประเภทของภาพลายน้ำดิจิทัลออกเป็น 2 ชนิดได้ คือ ลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark)

2.4.1 ลายน้ำแบบมองเห็น

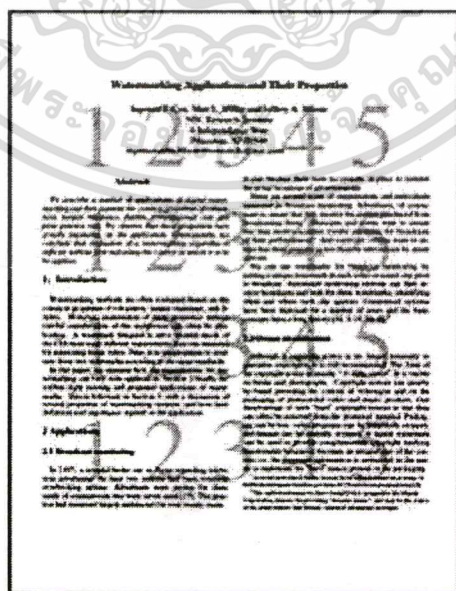
ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ถูกออกแบบมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของผลงานในสื่อชนิดต่างๆ เช่นภาพถ่าย โดยตัวลายน้ำนี้จะมีลักษณะเป็นภาพซ้อนที่ถูกละเอียดเข้าไปในรูปภาพหลัก โดยเมื่อใส่เข้าไปแล้วตัวลายน้ำควรจะลดทอนคุณภาพของภาพหลักที่มีอยู่ให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ก็คือ โล-

โก้หรือตราประทับขององค์กร ซึ่งจะแสดงถึงสิทธิความเป็นเจ้าของได้อย่างดี ในทำนองเดียวกันกับการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ตรงมุมล่างขวาของหน้าจอโทรทัศน์ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การใส่ลายน้ำดิจิทัลด้วยการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN

การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงชนิดที่มองเห็นได้นั้นจะทำให้โดยการเขียน เติม หรือแทรกตัวข้อมูลที่ต้องการลงไปในตัวรูปภาพโดยตรง ซึ่งประโยชน์ของการทำลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ก็คือ เป็นการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมีเดียชิ้นๆ บุคคลทั่วไปที่พบเห็นจะสามารถรู้ได้โดยทันทีว่าภาพนั้นๆ เป็นของผู้ใด นอกจากนี้ยังเป็นการยับยั้งการกระทำที่จะเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นๆ เช่น ความยากลำบากในการที่จะนำลายน้ำออกจากตัวรูปภาพก่อนที่จะนำไปเผยแพร่อย่างมิชอบ รูปที่ 2.3 ได้แสดงตัวอย่างของเอกสารที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้



รูปที่ 2.3 การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในเอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อด้อยอย่างหนึ่งก็คือ ข้อมูลภาพจะมีคุณภาพลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวลายน้้ำจะไปบดบังรายละเอียดของรูปภาพที่ใส่ แต่ถึงอย่างไรการทำลายน้้ำภาพดิจิทัลในรูปแบบนี้ยังคงเป็นที่นิยมใช้ในการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของ เพราะสามารถดำเนินการได้ง่ายและไม่ซับซ้อน และในบางครั้งความพยายามที่จะกำจัดลายน้้ำที่อยู่ในรูปภพนั้นๆ ออก อาจส่งผลกระทบต่อไปถึงคุณภาพของรูปซึ่งอาจจะเสียหาย และมีคุณภาพต่ำลง เช่นในรูปที่ 2.4 (ก) เป็นการใส่ภาพลายน้้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ลงไป ในบริเวณมุมขวาล่างของรูปภาพ ซึ่งการใส่ในบริเวณนี้จะไม่กระทบต่อรายละเอียดที่สำคัญของรูปภาพมากนัก แต่ในขณะเดียวกันตัวลายน้้ำดิจิทัลจะถูกกำจัดออกไปได้โดยง่ายโดยไม่กระทบต่อส่วนสำคัญของรูป ส่วนในรูปที่ 2.4 (ข) ลายน้้ำจะถูกใส่ลงไป ในบริเวณกลางรูปภาพ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญของรูปภาพ ทำให้ตัวลายน้้ำดิจิทัลมีความยากลำบากในการเอาออกโดยที่ไม่กระทบถึงคุณภาพของรูป ในขณะเดียวกันคุณภาพของรูปนั้นก็ลดลงไปมากเช่นกัน ในปัจจุบันมีโปรแกรมใช้งานหลายชนิดที่มีความสามารถในการทำภาพลายน้้ำดังกล่าวได้ ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม Adobe photoshop



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 (ก) การใส่ลายน้้ำดิจิทัลลงไปในบริเวณมุมขวาล่างของรูปภาพ (ข) การใส่ลายน้้ำดิจิทัลไปในบริเวณกลางรูปภาพ

2.4.2 ลายน้้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้

การทำลายน้้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ จะเป็นกระบวนการที่เจ้าของข้อมูลทำการใส่สัญญาณลายน้้ำลงไปในตัวข้อมูลภาพ ซึ่งในกระบวนการใส่ลายน้้ำจะใช้กุญแจรหัสลับเป็นส่วนประกอบในการเข้ารหัสสัญญาณ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงแก้ไขจากบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยผู้ที่เป็นเจ้าของภาพเท่านั้นที่จะรู้กุญแจรหัสลับนี้ ดังนั้นบุคคลอื่นจึงไม่สามารถล่วงรู้ถึงสิ่งที่ซ่อนอยู่ภายในรูปภพนั้นๆ ได้ แม้ว่าบุคคลนั้นจะรู้กลไกการทำงานในการใส่และถอดสัญญาณลายน้้ำออกก็ตาม รูปที่ 2.5 (ก) เป็นภาพต้นฉบับ ซึ่งเมื่อผ่านการทำลายน้้ำภาพดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.5 (ข) โดยภาพที่ผ่านการใส่ลายน้้ำแล้วจะมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นฉบับเล็กน้อย ซึ่งเราแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าหากเรานำภาพมาพิจารณาอย่างละเอียด ก็จะพบว่าในความเป็นจริงแล้วภาพทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันอยู่ และจะมีเพียงผู้ที่เป็นเจ้าของข้อมูลเท่านั้นที่จะสามารถนำสัญญาณลายน้ำออกมาจากภาพดังกล่าวนี้ๆ ได้

สำหรับลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองไม่เห็นมีข้อได้เปรียบคือไม่ทำให้ภาพมีตำหนิ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความกังวลของผู้ที่ต้องการจะทำการคัดลอก เนื่องจากไม่แน่ใจว่าสื่อสิ่งพิมพ์นั้นๆ ได้ถูกใส่ข้อมูลลายน้ำเอาไว้หรือไม่ เพราะถ้าสื่อสิ่งพิมพ์นั้นมีลายน้ำดิจิทัลติดอยู่ การจะนำไปใช้เพื่อผลประโยชน์ทางการค้าจำเป็นต้องลบตัวลายน้ำออกก่อน ซึ่งจะต้องใช้เวลาและวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อนทาง image processing เช่น scaling cropping หรือ rotation ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองไม่เห็นก็คือ ภาพที่ได้หลังจากถูกใส่ตัวลายน้ำไม่ถูกลดคุณค่าและความสวยงามลง ซึ่งคุณสมบัตินี้จะมีค่าแปรผกผันกับความคงทนของสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่เอาไว้ในตัวข้อมูล



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองไม่เห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ
(ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ

องค์ประกอบที่นำมาใช้ในการแยกประเภทนอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จุดประสงค์ในการใช้งานยังอาจนำมาใช้ในการแบ่งแยกประเภทของลายน้ำภาพดิจิทัลอีกด้วย เช่นความทนทานในการใช้งานของสัญญาณลายน้ำซึ่งอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ เทคนิคที่มุ่งไปที่ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (**Robust watermarking**) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในตัวข้อมูลจะมีความทนทานต่อการโจมตีแบบต่างๆ ลายน้ำประเภทนี้จะมีเหมาะสมในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูล เนื่องจากความยากลำบากในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขทำลายสัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในนั่นเอง

ประเภทที่สองคือเทคนิคที่มุ่งไปที่ **ความเปราะบางของสัญญาณลายน้ำ (Fragile watermarking)** ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในตัวข้อมูลจะมีความไวและเสียหายง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแม้เพียงเล็กน้อย เช่นถ้าข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่ภายในถูกเปลี่ยนหรือแก้ไข สัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในก็จะเสียหายจนตรวจสอบไม่ได้ ลายน้ำประเภทนี้จะมีความเหมาะสม ที่จะใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่าเป็นของแท้ที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ มาก่อน สำหรับวิธีการทำงานของเทคนิคดังกล่าว รวมทั้งรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติม ได้จาก [14]

2.5 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัล

การนำเสนอสื่อดิจิทัลที่มีการจดลิขสิทธิ์ เช่น ภาพยนตร์ เพลง และภาพถ่ายสำคัญๆ มีข้อได้เปรียบอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงยังไม่สามารถจัดการกับปัญหาการทำซ้ำผลงานโดยผิดกฎหมายได้อย่างจริงจัง จนกระทั่งมีเทคนิคที่ช่วยในการปกป้องสิทธิข้อมูลของเจ้าของผลงาน นั่นคือเทคนิคการเข้ารหัสลับ การเข้ารหัสลับเป็นการป้องกันเนื้อหาข้อมูลในระหว่างการส่งผ่านข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับ อย่างไรก็ตามหลังจากผู้รับทำการถอดรหัสข้อมูลแล้ว ข้อมูลนั้นก็ยังคงไม่สามารถป้องกันการคัดลอกได้อย่างถาวร การเข้ารหัสลายน้ำ โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลข่าวสารที่ซ่อนไว้ในเนื้อหาข้อมูลของสื่อต่างๆ โดยที่สายตาไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่ตรวจสอบได้ง่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อดีของวิธีการนี้นั้นคือเนื้อหาข้อมูลไม่สามารถแยกลายน้ำออกไปได้ การฝังลายน้ำ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากมาย เช่น

2.5.1 ใช้เป็นลายเซ็น

ลายน้ำเป็นสิ่งที่พิสูจน์ถึงการเป็นเจ้าของผลงาน ในข้อมูลข่าวสารเราสามารถนำมาใช้โดยที่ผู้ใช้ได้รับสิทธิที่ถูกต้องทางกฎหมายในการทำซ้ำ หรือตีพิมพ์ผลงานจากการติดต่อกับเจ้าของผลงาน ซึ่งในอนาคต ลายน้ำอาจจะถูกนำมาใช้ช่วยในการกำหนดข้อโต้แย้งในการแสดงสิทธิการเป็นเจ้าของ

2.5.2 ใช้แทนการพิมพ์ลายนิ้วมือ

ลายน้ำสามารถใช้พิสูจน์ผู้ซื้อผลงาน ซึ่งอาจใช้ช่วยตามรอยแหล่งที่ทำการทำซ้ำผลงานอย่างผิดๆ ตัวอย่างเช่นในธุรกิจสิ่งพิมพ์ หากการทำลายน้ำภาพดิจิทัลมีความทนทานต่อการแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to Analog) และจากระบบแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Analog to Digital) แล้ว การที่จะพิมพ์หน้าปกหนังสือ โดยใช้ภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลอยู่ก็จะเป็นไปได้ เพื่อป้องกันการคัดลอกภาพนั้นไปใช้อย่างผิดกฎหมาย หรืออาจจะนำมาใช้ในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต (E-Commerce) เพื่อที่ป้องกันมิให้รูปภาพที่ถูกคัดลอกมีการเผยแพร่หรือจำหน่ายและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย เพราะบุคคลที่จะทำการคัดลอกก็ย่อมที่จะกลัวการถูกติดตามและฟ้องร้องอันเนื่องมาจากลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในตัวรูปภาพ นอกจากนี้การใช้ภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีควมระมัดระวังมากขึ้นด้วย เพราะถ้าเจ้าของภาพนั้นมาพบและพิสูจน์โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในภาพถึงความเป็นเจ้าของได้ ก็จะสามารถฟ้องร้องต่อบุคคลที่นำภาพดังกล่าวมาใช้งานได้

2.5.3 การถ่ายทอดสัญญาณ และ แสดงสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ลายน้ำใช้บ่งบอกถึงการเป็นเจ้าของผลงาน แต่ไม่เป็นการตรวจสอบโดยระบบอัตโนมัติทางจอโทรทัศน์และการถ่ายทอดสัญญาณเสียงทางวิทยุ ในธุรกิจภาพยนตร์ การทำลายน้ำดิจิทัลจะช่วยลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการคัดลอกตัวข้อมูลลงในแผ่นซีดีหรือดีวีดี เพื่อจัดจำหน่ายอย่างผิดกฎหมาย เพราะหากมีตัวอย่างของข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่ เราก็จะสามารถตามจับผู้กระทำความผิดมาลงโทษได้ ยิ่งไปกว่านั้นการส่งผ่านข้อมูลวิดีโอผ่านทางระบบเครือข่ายยังได้รับการป้องกันได้อีกด้วย ตัวอย่างการใช้งานระบบวิดีโอผ่านเครือข่าย เช่น Video-on-demand และ Pay-per-view

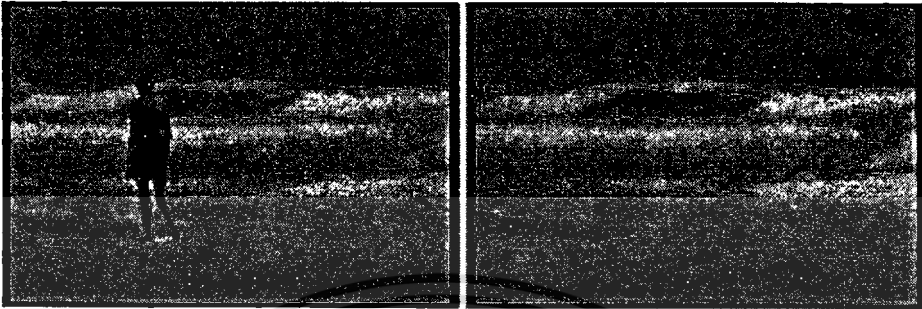
2.5.4 การรับรองความถูกต้อง

ในข้อมูลที่มีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น การทำ ธุรกรรมพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับข้อมูลมัลติมีเดีย ภาพถ่ายทางการแพทย์ ภาพข่าวสำคัญ ถ้าหากมีการปรับเปลี่ยนหรือแต่งเติมรายละเอียดข้อมูลลงไปให้แตกต่างจากต้นฉบับอาจก่อให้เกิดผลเสียหายอย่างมาก หรือภาพตัดต่อของคาราทีมีชื่อเสียง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ลายน้ำที่ถูกเข้ารหัสข่าวสารเพื่อใช้รับรองความถูกต้องในเนื้อหาข้อมูล จึงต้องถูกออกแบบให้มีความเปราะบาง (Fragile) สมมติว่าข้อมูลสำคัญถูกแก้ไขก็ทำให้ลายน้ำเสียหายได้ง่าย และระบุถึงผู้สร้างลายน้ำได้ด้วย หรือใช้รับรองสิทธิการฝังข้อมูลโดยตรงลงในเนื้อหาซึ่งง่ายต่อการตรวจสอบ ถ้าลายน้ำไม่ตรงกับรหัสที่ฝังไว้แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้นในข้อมูล

2.5.5 ความคุมการคัดลอก

ลายน้ำบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับกฎเกณฑ์การใช้งาน และการทำซ้ำของเจ้าของผลงานเพื่อบังคับใช้ทั่วไป เช่น “เนื้อหาข้อมูลไม่สามารถทำซ้ำได้อีก” อุปกรณ์ที่มีความสามารถคัดลอกข้อมูลเหล่านี้จะใช้ลายน้ำเพื่อป้องกันข้อมูลดิจิทัลวิดีโอในระบบปิด โดยใช้ฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับทำสำเนาและ

ดูรายละเอียด ซึ่งจะมียุทธศาสตร์ที่แสดงถึงจำนวนครั้งที่อนุญาตให้ทำสำเนา ดังนั้นทุกครั้งที่มีการทำสำเนา ฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรหัสและเมื่อจำนวนเท่ากับศูนย์ระบบจะไม่สามารถดูข้อมูลได้อีก เช่น เครื่องเล่น DVD (Digital versatile disc)



รูปที่ 2.6 แสดงภาพที่ถูกดัดแปลง โดยผู้หญิงในภาพด้านซ้ายถูกลบออกไปอย่างง่ายดายด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop

2.5.6 การสื่อสารข้อมูลลับ

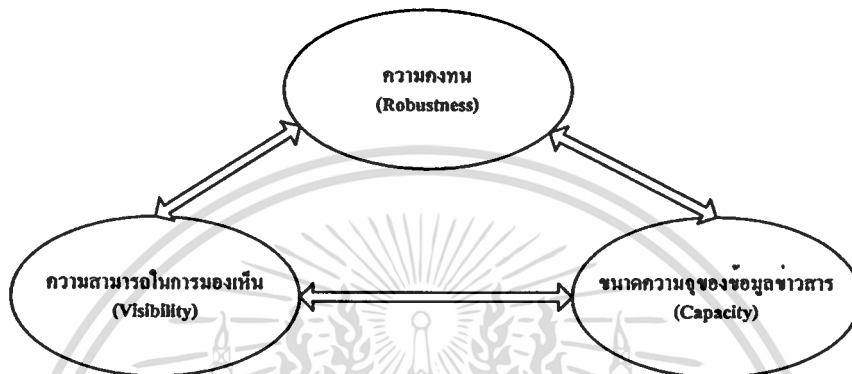
สัญญาณที่ฝังไว้ นำมาใช้ส่งข้อมูลลับจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งโดยไม่ทำให้บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องทราบถึงข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งออกไป วิธีนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคสเตกาโนกราฟีที่ใช้การซ่อนข้อมูลข่าวสารส่งไปให้บุคคลอื่น วิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากในการทหาร ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ก่อการร้ายตึกเวิลด์เทรดเซ็นเตอร์

2.6 คุณสมบัติสำคัญของลายนำภาพดิจิทัล

ในประเด็นของปัญหาการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่าง ความคงทน (Robustness) ความสามารถในการมองเห็น (Visibility) และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร (Capacity) ดังรูปที่ 2.7 โดยที่ความคงทนนั้นเป็นความสามารถของข้อมูลข่าวสารที่ถูกใส่ลงในภาพและภาพนั้นทนต่อการดัดแปลงแก้ไขภาพอาจจะ โดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ อีกสิ่งหนึ่งที่นำมาพิจารณาในการซ่อนข้อมูลข่าวสารนั้นก็คือ ความสามารถในการมองเห็นหรือ ความโปร่งใส (Transparency) โดยที่ข่าวสารที่ซ่อนลงไปไม่ควรสังเกตเห็นความแตกต่างได้เมื่อนำเปรียบเทียบกับต้นฉบับ และสุดท้ายนั้นคือ ความจุของข้อมูลข่าวสารที่สามารถใส่ลงในรูปภาพ ในการออกแบบ อัลกอริทึมเพื่อนำมาใช้งาน ได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นอย่างมาก

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิทัลมีข้อกำหนดมากมายขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละชนิด ดังนั้นข้อกำหนดบางข้ออาจจะไม่มีในเทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิค อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำภาพดิจิทัลส่วนใหญ่ก็มีข้อกำหนดต่างๆดังต่อไปนี้

- มีความโปร่งใส (Transparency) อัลกอริทึมการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลต้นแบบหรือกล่าวอีกอย่างก็คือลายน้ำไม่ควรจะมองเห็นได้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็น และความจุข้อมูลข่าวสาร

- มีความคงทน (Robustness) เมื่อภาพที่มีลายน้ำถูกโจมตีโดยวิธีการประมวลสัญญาณต่างๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นรวมถึงการบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสียสัญญาณภาพบางส่วน วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ข้อมูลลายน้ำหายไปหรือถูกทำลายได้
- แม้ข้อมูลลายน้ำบางส่วนจะหายไป ข้อมูลที่คงอยู่ต้องชัดเจนพอที่จะระบุเจ้าของที่แน่นอนได้
- มีความปลอดภัย (Security) เทคนิคการทำลายน้ำในภาพต้องมี “ความปลอดภัย” ถึงแม้ว่าจะรู้อัลกอริทึมที่แท้จริงในการฝังหรือการแยกลายน้ำ บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตก็ไม่สามารถลบลายน้ำทิ้งไปได้นอกจากเจ้าของผลงานเอง
- การทำลายข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในภาพอาจทำได้ต่อเมื่อภาพถูกโจมตีด้วยวิธีการใดๆ จนคุณภาพของภาพลดต่ำลงจนไม่อาจใช้การใดๆ ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการในการทำลายน้ำภาพดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลเราสามารถอธิบายได้จากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดดังสมการที่ 2.1

$$W = \{w(k); | w(k) \in U, k \in \hat{W}^d\} \quad (2.1)$$

เมื่อ \hat{W}^d เป็นโดเมนลายน้ำของมิติ $d = 1, 2, 3$ สำหรับ เสียง ภาพนิ่ง และ วิดีโอ ตามลำดับ ข้อมูลลายน้ำโดยปกติจะมีค่าอยู่ในเซตต่อไปนี้

$$U = \{0,1\} \quad (\text{ไบนารี } [15, 16])$$

$$U = \{-1,1\} \quad (\text{ไบโพลาร์ } [17, 18])$$

$$U = \{-\infty, \infty\} \in \square \quad (\text{เกาส์เซียนนอยส์ } [19, 20])$$

ในบางครั้งเราเรียก W ว่าเป็น “ลายน้ำต้นกำเนิด (original watermark)” เพื่อให้อยู่ในรูปของการแปลงลายน้ำ ($W' = F(W)$) ที่นำมาใช้สำหรับการสร้างลายน้ำ โครงสร้างการทำลายน้ำสามารถกำหนดจากตัวแปรเหล่านี้

1. X เป็นเซตของภาพดิจิทัล X ที่ถูกป้องกัน
2. W เป็นเซตสัญญาณลายน้ำที่กำหนดจากสมการที่ 2.1
3. K เป็นเซตของกุญแจลายน้ำ (หมายเลข ID)
4. G แทนอัลกอริทึมที่ใช้สร้างสัญญาณลายน้ำจากสมการที่ 2.1 โดยใช้ภาพดิจิทัลกับกุญแจลายน้ำ:

$$G: X \times K \rightarrow W, \quad W = G(X, K) \quad (2.2)$$

กำหนดให้ $A \times B$ หมายถึงผลคูณคาร์ทีเซียนของเซต A กับ เซต B

5. E เป็นอัลกอริทึมการฝังลายน้ำ W ลงในภาพต้นแบบ X_0

$$E: X \times W \rightarrow X, \quad X_w = E(X_0, W) \quad (2.3)$$

โดยที่ X_w เป็นภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว

6. D เป็นอัลกอริทึมการฝังลายน้ำ :

$$D: X \times K \rightarrow \{0,1\} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D(X,W) = \begin{cases} 1, & \text{if } W \text{ exist in } X \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

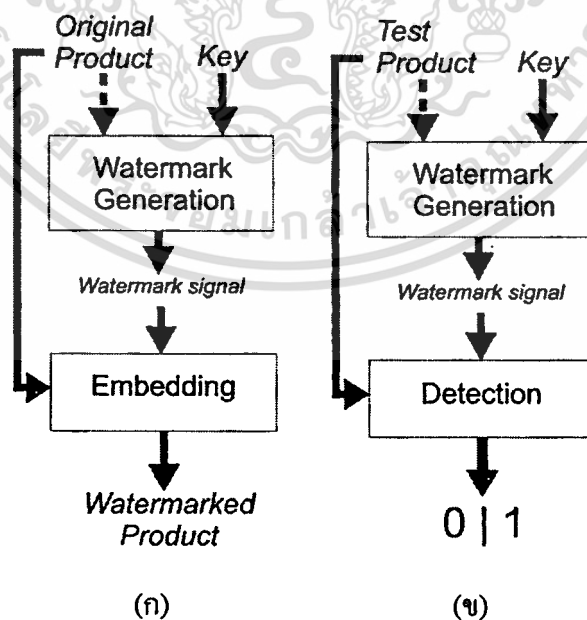
โดยทั่วไปเทคนิคในการทำลายน้ำภาพดิจิทัลทั้งหลาย ล้วนแต่มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือการใส่สัญญาณชนิดใดชนิดหนึ่งเข้าไปในตัวข้อมูลภาพก่อนที่จะทำการเผยแพร่ ซึ่งสัญญาณนี้อาจถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือตรวจสอบได้ โดยผู้ที่เป็นเจ้าของหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

หลักการทั่วไป

การทำลายน้ำดิจิทัลทุกประเภทจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ไปที่เหมือนกันคือ

1. การใส่ลายน้ำดิจิทัล (Watermark embedding)
2. การตรวจสอบ (Detection) หรือการนำลายน้ำดิจิทัลออก (Watermark retrieval)

ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) ข้อมูลภาพจะผ่านกระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำ โดยสัญญาณที่ใส่เข้าไปจะมีค่าขึ้นอยู่กับกุญแจลับ (Secret key) ที่ใช้ในการเข้ารหัส เพื่อที่ว่าจะได้มีเพียงผู้ที่ถือกุญแจลับนี้เท่านั้นที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขสัญญาณลายน้ำดังกล่าวได้ เช่นเดียวกันกับในกระบวนการตรวจสอบสัญญาณลายน้ำแสดงในรูปที่ 2.8 (ข) ซึ่งจำเป็นต้องใช้กุญแจลับในการนำสัญญาณลายน้ำที่ถูกต้องกลับคืนมาในการแบ่งแยกประเภทของเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลนั้น เราอาจใช้ตำแหน่งที่ทำการใส่สัญญาณลายน้ำเป็นหลักคือ ใช้ลักษณะวิธีการของกระบวนการใส่ลายน้ำดิจิทัล หรือกระบวนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลเป็นหลักก็ได้ [19]



รูปที่ 2.8 (ก) กระบวนการใส่ลายน้ำ และ (ข) กระบวนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล

2.8 การจำแนกเทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัล

เทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลถือเป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคการซ่อนข้อมูล (Information Hiding) ซึ่งนับว่าเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นใน ภาพ วิดีโอ และเสียง เทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลเราสามารถจำแนกได้มากมายหลายเทคนิคขึ้นอยู่กับขั้นตอนหรืออัลกอริทึมการทำลายน้ำ ใน [21] ได้จำแนกโดยพิจารณาแต่ละเทคนิคได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาจากการเทคนิคการฝังลายน้ำ

- Spatial domain
- Discrete Fourier Transform (DFT) domain
- Discrete cosine Transform (DCT) domain
- Discrete Wavelet Transform (DWT) domain
- โดเมนอื่นๆ เช่น fractal domain, Fourier-Mellin domain, Histogram specification, Complex Wavelet Transform (CWT) domain เป็นต้น

พิจารณาจากการใช้ภาพต้นแบบเพื่อแยกลายน้ำ

- ไม่ใช้ภาพต้นแบบ (blind)
- กึ่งใช้ภาพต้นแบบ (semi-blind)
- ใช้ภาพต้นแบบ (non-blind)

พิจารณาจากวิธีการแก้ไขข้อมูลต้นแบบ

- การรวมสัญญาณกระจายความถี่แบบเชิงเส้น
- การผสมภาพ (Image fusion) หรือการติดโลโก้
- กรรมวิธีแทนที่และแบ่งส่วนแบบไม่เชิงเส้น

พิจารณาจากจุดประสงค์ในการเอาลายน้ำไปประยุกต์ใช้

- การป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์
- การรับรองและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภาพ
- การซ่อนข้อมูลและการคิดฉลากรูปภาพ

พิจารณาจากชนิดของสื่อดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ภาพนิ่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิดีโอ

- สื่อมัลติมีเดีย เช่น ตัวการ์ตูน แผนที่ภาพ

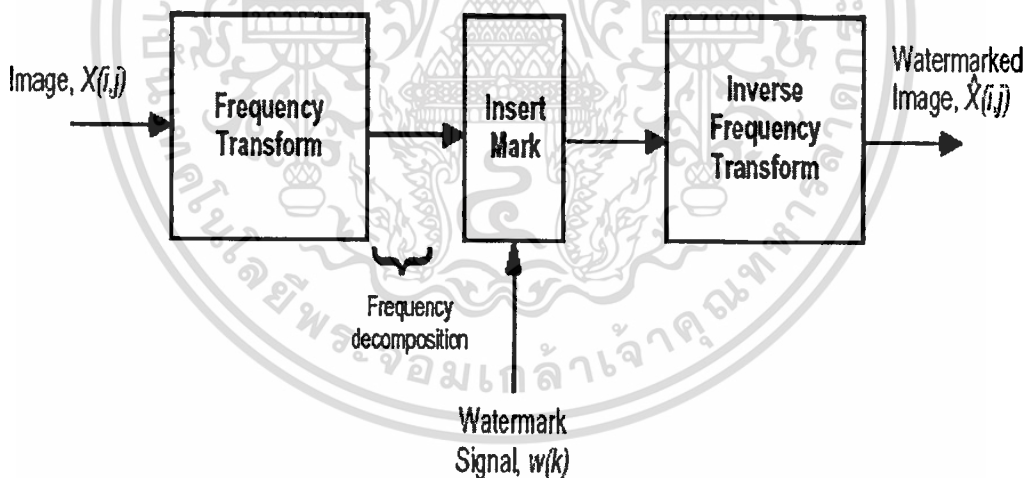
เทคนิคการทำลายน้ำได้ถูกนำเสนอออกมาอย่างมากมายซึ่งพอจะแบ่งกรรมวิธีออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ก็คือ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล (Spatial domain) และ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่ (Frequency domain) ซึ่งพบว่าในโดเมนความถี่จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเพราะว่าการประมวลผลสัญญาณส่วนใหญ่กระทำกับคุณลักษณะในโดเมนความถี่ได้ดี และมีหลายรูปแบบที่พัฒนาอยู่ในโดเมนความถี่โดยเทคนิคการทำลายน้ำที่ผ่านมามักจะวิเคราะห์ความคงทนของลายน้ำที่สร้างด้วยเทคนิค Discrete Fourier Transform (DFT), Discrete Cosine Transform (DCT) และ Discrete Wavelet Transform (DWT) โดยวิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียลส่วนใหญ่มักต้องการภาพต้นแบบเพื่อช่วยในการตรวจหาลายน้ำ เพราะลายน้ำนั้นจะถูกฝังลงในพื้นที่ว่างของรูปภาพโดยตรง

2.8.1 เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล

สำหรับเทคนิคประเภทนี้ ค่าของพิกเซลในภาพจะถูกแก้ไขโดยตรงตามรหัสที่ทำการฝังลงไป โดยทั่วไปในการแก้ไขแบบนี้จะประกอบด้วยการเพิ่มสัญญาณที่ถูกมอดูเลตไปปรับความสว่างของภาพหรือในย่านสีใดสีหนึ่งหรือรวมๆ กัน วิธีหนึ่งที่ใช้แก้ไขค่าของพิกเซลคือการเพิ่มจำนวนแบบสุ่มขนาดเล็กเข้าไปในพิกเซล เช่น จาก 1D [22] หรือ 2D [23, 24] ลำดับแบบสุ่ม ใน [25] ได้เสนอการใช้จำนวนแบบสุ่มในการเพิ่มหรือลดค่าของพิกเซล ซึ่งลำดับแบบสุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับคีย์ที่ใช้ในการสร้างลำดับจะแตกต่างกันออกไป โดยจำเป็นต้องรู้คีย์ตัวนี้เพื่อการตรวจหาลายน้ำในภายหลัง (การทำลายน้ำแบบส่วนตัว) คีย์นี้จะป้องกันให้เฉพาะบุคคลที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่สามารถตรวจหาลายน้ำได้ เทคนิคดั้งเดิมถูกพัฒนาให้ใช้สำหรับการสื่อสารแบบกระจายสเปกตรัม (Spread spectrum communications) โดยปกติการตรวจหาลายน้ำจะกระทำโดยใช้ค่าคอร์รีเลชันในการตัดสินใจ โดยทั่วไปเทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียลจะทำให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้ลักษณะพิเศษของ Human visual system ซึ่งจะพิจารณาในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน สำหรับการฝังข้อมูลที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ สำหรับการป้องกันการตัดบางส่วนของภาพออกไปทำได้โดยฝังข้อมูลเดิมในหลายๆ ส่วนของภาพ เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียลจะไม่ค่อยมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาพ

2.8.2 เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนความถี่

สำหรับเทคนิคนี้ จะทำการแปลงภาพด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อนทำการฝังลายน้ำลงไป ข้อมูลภาพในโดเมนนี้จะแตกต่างจากภาพในโดเมนสเปกตรัม ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในโดเมนความถี่ ซึ่งการกระทำในโดเมนนี้จะไม่มีการสูญเสียข้อมูลใดๆ สัมประสิทธิ์ในโดเมนการแปลงนี้จะถูกแก้ไขเพื่อเก็บลายน้ำไว้ และเมื่อทำการฝังลายน้ำเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการแปลงกลับเพื่อให้ได้ภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่ มีการแปลงอยู่ 2 แบบที่ใช้กันมากที่สุดการทำลายน้ำคือ DFT และ DCT โดยเทคนิคในโดเมนการแปลงนี้ อัลกอริทึมในการทำลายน้ำเหล่านี้จะทำการแปลงภาพแบบเต็มเฟรมเท่านั้น โดยเทคนิคการแปลงภาพแบบเป็นบล็อกจะพิจารณาในส่วนของไฮบริดจ์ ซึ่งมีเทคนิคเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ใช้การแปลงแบบบล็อกได้ ข้อดีของการใช้การแปลงแบบเต็มเฟรมคือลายน้ำจะกระจายไปทั่วทั้งภาพ โดยฝังลายน้ำลงในขนาดของสัมประสิทธิ์ DFT ซึ่งเทคนิคเหล่านี้จะให้ความคงทนต่อการหมุนภาพ การย่อหรือขยายขนาดของภาพและการเคลื่อนย้ายภาพได้ดี ข้อเสียหลักของเทคนิคที่ทำในโดเมนการแปลงคือต้นทุนในคำนวณ เพื่อให้ยากในการแปลงสัญญาณที่มีลายน้ำให้กลับไปเป็นภาพดั้งเดิม ดังนั้นจึงนำลักษณะพิเศษของ Human visual system มาใช้ในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.9 รูปแบบการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่

รูปที่ 2.9 แสดงรูปแบบทั่วไปของการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่ นำมาประยุกต์การแปลงความถี่โดยคำนวณหาสัมประสิทธิ์ส่วนที่สำคัญในสเปกตรัม ที่สามารถใส่ลายน้ำลงไปโดยปราศจากความเสียหาย โดยค่าแอมพลิจูดลายน้ำจะมีเจ้าของเท่านั้นที่รู้ ที่สำคัญคือผู้โจมตีอาจจะรู้ว่าลายน้ำอยู่ในช่วงไหน ซึ่งการหาลายน้ำอยู่ในช่วงจำกัด ผู้โจมตีจึงต้องสมมุติว่าลายน้ำอยู่ในช่วงไหน ซึ่งในความเป็นจริงไม่ใช่เรื่องง่ายในการตรวจหาลายน้ำ ผลจากการโจมตีที่ทำให้ข้อมูลเสียหายคล้ายกับไม่เจตนาสัญญาณรบกวนเนื่องจากการบีบอัด หรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพที่จะต้อง

กำจัดส่วนสเปกตรัมที่มีนัยสำคัญที่มีอยู่ อีกสิ่งหนึ่งก็คือรูปผลลัพธ์ต้องเน้นในเรื่องการถูกลดทอน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมถึงต้องให้ลายน้ำมีความคงทน

2.9 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำคือการทำให้ข้อมูลลายน้ำซึ่งถูกฝังในภาพเกิดความเสียหาย โดยอาจเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ รวมถึงในกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพซึ่งข้อมูลลายน้ำในภาพถูกระงับจนทำให้ลายน้ำลบเลือน หรือเกิดความเสียหายที่เกิดจากการโจมตีของผู้ประสงค์ร้าย ทำให้เกิดความต้องการลายน้ำที่มีความทนทานต่อการโจมตีต่างๆเป็นอย่างมาก ลายน้ำที่ดีควรมีความทนทานต่อข้อกำหนดความคงทนเบื้องต้น ในหลายๆบทความ [26, 27] การโจมตีลายน้ำได้แบ่งออกไปหลายแนวทางและที่นิยมแบ่งกันมีด้วยกัน 3 หัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้

2.9.1 การบีบอัดแบบ JPEG

กล่าวได้ว่าเป็นการประมวลผลสัญญาณที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุด JPEG ทำการกำจัดส่วนที่มองเห็นได้ที่ไม่สัมพันธ์กันในภาพ ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของลายน้ำ JPEG เป็นอัลกอริทึมการบีบอัดที่นิยมใช้กับภาพอันหนึ่งและระบบการทำลายน้ำควรจะยึดหยุ่นกับระดับการบีบอัด ระดับการบีบอัดถูกควบคุมโดยแฟกเตอร์คุณภาพ นั่นคือ 90, 80, 70, ... ,10% แม้ว่าการบีบอัดภาพกับแฟกเตอร์คุณภาพต่ำไม่มีผลในเชิงพาณิชย์ ระบบการฝังลายน้ำบางระบบยังคงใช้อยู่ ด้วยเหตุนี้การใช้ขนาดสเกลพารามิเตอร์การบีบอัดภาพยังให้การเปรียบเทียบที่แม่นยำมากกว่า

2.9.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

มุ่งไปที่การเปลี่ยนลักษณะของภาพ โดยไม่มีการสูญเสียในเรื่องของคุณภาพ มีดังนี้ การย่อหรือขยายขนาดภาพ (Resizing) ขนาดของภาพถูกเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับต้นแบบ ซึ่งจะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวซึ่งจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping) เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ซึ่งทำให้มีผลกับอัลกอริทึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณาพร้อมกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป ถ้าหากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นแบบ ซึ่งทำให้เราไม่สามารถรู้ได้ว่าเกิดจากการตัดบางส่วนของภาพนี้ออกจากตำแหน่งใดจากภาพต้นแบบ ในกรณีที่ไม่มีภาพต้นแบบใน

การเปรียบเทียบหากมีการเคลื่อนย้ายส่วนย่อยของภาพที่ถูกตัดออกมาไปไว้ยังตำแหน่งอื่น การเคลื่อนย้ายภาพนี้จะมีผลต่ออัลกอริทึมที่ฝังลายน้าลงในตำแหน่งที่ตายตัว

การหมุนภาพ (Rotation) เป็นกรณีที่สำคัญที่สุดหากพิจารณาในกรณีที่หมุนภาพไป 90 และ 180 องศา ซึ่งเหมือนกับปัญหาที่พบในการย่อหรือขยายขนาดของภาพ

การกลับด้านของภาพ (Flipping) คือเมื่อสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้าลงในตำแหน่งที่ตายตัว

2.9.3 การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณมีหลายประเภท ได้แก่

การปรับความสว่างและความแตกต่าง (brightness and contrast enhancement) โดยทั่วไปแล้วไม่ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจหาลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม การทำปรับปรุงแบบนี้ มักจะทำก่อนการตรวจหา ซึ่งทำเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า [19]

การปรับความคมชัด การทำให้เลือน การกรองแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น (sharpening, blurring, linear and non linear filtering) ถ้าทำแบบนี้มากๆ สามารถทำให้ลายน้ำเสื่อมลงไปได้ แต่ในกรณีนี้ สิ่งที่ทำให้มีการลดคุณภาพของภาพไปอย่างมาก คือตัวกรองภาพที่เรียกว่า despeckle ซึ่งมีกระบวนการแบบปรับเปลี่ยนได้ โดยลดรายละเอียดของภาพแบบสุ่มมากน้อยต่างกันไปโดยยังคงรายละเอียดของภาพไว้

การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบคอรีเลตและแบบไม่เป็นคอรีเลต (addition of correlated or uncorrelated noise) เข้าไปในเนื้อหาที่มีลายน้ำอยู่

การแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นแอนะล็อก (digital-analog (D/A) and analog-digital (A/D) conversions) เช่น การพิมพ์ และการสแกน หรือการบันทึกเทป

2.10 สรุป

ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายกลุ่มทั่วโลก ให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการทำลายน้ำภาพดิจิตอล หลายๆเทคนิคได้พัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยนำคุณสมบัติของระบบการมองของมนุษย์ หรือการแทนที่ลายน้ำในพื้นที่ส่วนสำคัญของรูปภาพมาใช้ ทำให้เป็นที่เชื่อว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง รวมไปถึงเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในอนาคตการทำลายน้ำจะมีขั้นตอนที่สลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น トラบดที่การละเมิดลิขสิทธิ์ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างจริงจัง

บทที่ 3

หลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและหลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต คุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Discrete Wavelet Transform: DWT) โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis: MRA) ทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบสัญญาณ (Decomposition) และ การรวมกลับของสัญญาณ (Reconstruction) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพขนาด 2 มิติ

3.1 ความเป็นมาของการแปลงเวฟเล็ต

การแปลงฟูรีเยร์เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการแปลงสัญญาณ $f(t)$ จากโดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณ $F(\omega)$ ซึ่งอยู่ในโดเมนความถี่หรือเรียกกันทั่วไปว่าการหาสเปกตรัมของสัญญาณ $f(t)$ นั้นเองโดยมีสมการเป็น

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (3.1)$$

สังเกตเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการแปลง จะมีตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง $+\infty$ ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ขณะเวลาใดๆ ก็จะทำให้ส่งผลกระทบต่อตลอดย่านของสเปกตรัม $F(\omega)$ ด้วย นอกจากนี้การแปลงฟูรีเยร์ยังไม่สามารถเลือกทำการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงเวลาหรือความถี่ใดๆ ได้ ดังนั้นวิธีการแปลงฟูรีเยร์จึงให้ข้อมูลที่มากเกินไปในการคำนวณใหม่ ในแต่ละครั้ง ดังนั้นการแปลงฟูรีเยร์จึงเหมาะสำหรับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stationary signal)

การแปลงกาบอร์ (Gabor transform) เป็นการแปลงที่ได้พัฒนาขึ้นมาเป็นแบบแรกเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะเป็นการแปลงฟูรีเยร์เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window function: wf) ซึ่งหน้าต่างนี้จะใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian function) เท่านั้น

$$g_a(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot a}} e^{-\frac{t^2}{4a}} \quad (3.2)$$

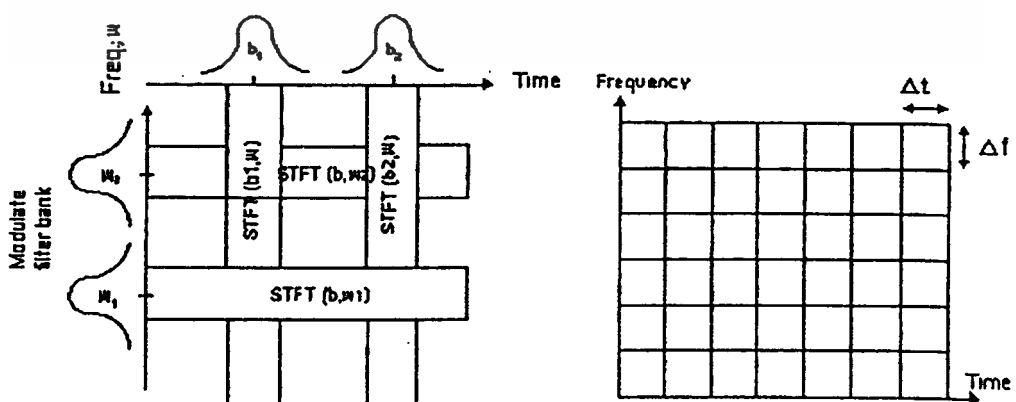
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{a,b}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) g_a(t-b) dt \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.2) เป็นฟังก์ชันหน้าต่างแบบเกาส์เซียน และสมการที่ (3.3) เป็นสมการของการแปลงคาร์บอร์จะเห็นว่าการแปลงแบบนี้ จะสามารถเลือกตำแหน่งการวิเคราะห์สัญญาณโดยกำหนดพารามิเตอร์ b และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a แต่เนื่องจากการแปลงคาร์บอร์ให้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเดียวจึงอาจไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาต่อมาเป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง (Short time Fourier transform: STFT) ซึ่งจะสามารถเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ทำให้เกิดความยืดหยุ่น ในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่จะวิเคราะห์ได้ดีขึ้น

$$G_{a,b}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} (e^{-i\omega t} f(t)) \overline{w(t-b)} dt \quad (3.4)$$

สมการที่ (3.4) เป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์จะกำหนดโดยค่า “ b ” และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์จะกำหนดด้วยความถี่ของฟังก์ชันหน้าต่างนั้นๆ จะสังเกตเห็นว่าทั้งการแปลงคาร์บอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง จะมีลักษณะของช่วงการวิเคราะห์ที่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แสดงช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่คงที่ (Fixed resolution transform) ทั้งนี้ฟังก์ชันหน้าต่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติขณะทำการแปลงซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติเนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีช่วงเวลาที่แคบ ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาที่กว้างกว่า ดังนั้นการแปลงคาร์บอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้งอาจจะให้ข้อมูลที่ได้จากการแปลงออกมามากเกินไป ดังนั้นช่วงเวลาควรจะมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับช่วงความถี่ที่จะทำการวิเคราะห์นั่นคือในช่วงความถี่ที่สูงขึ้นจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง และในช่วงความถี่ที่ต่ำลงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่มากขึ้น[28, 29]



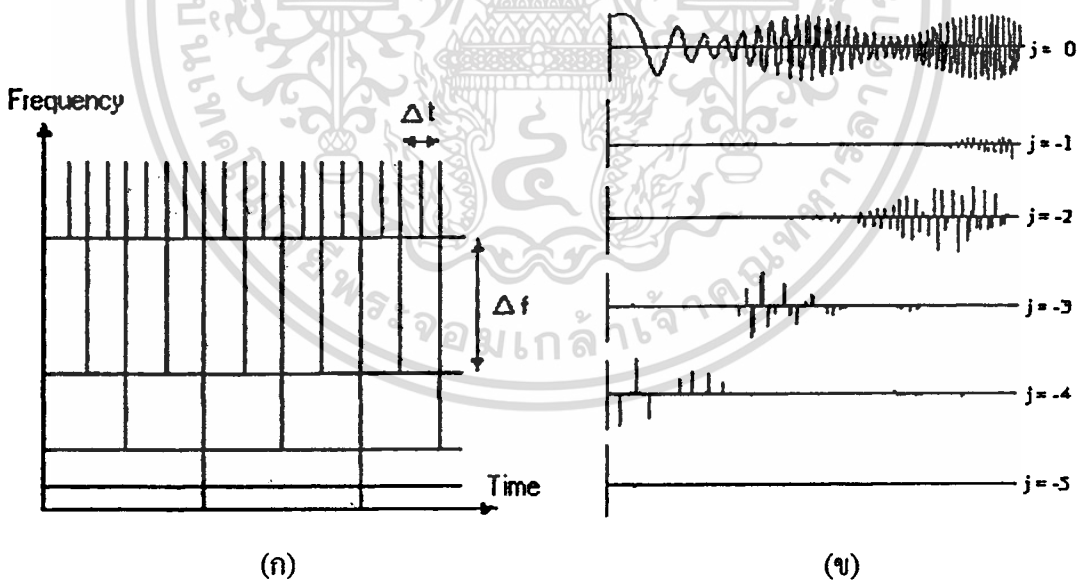
รูปที่ 3.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่ (Constant time-frequency plan)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการพัฒนาการแปลงในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ต” ซึ่งจะเป็นการแปลงผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง โดยฟังก์ชันหน้าต่างสามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างแบบนี้ว่า “ฟังก์ชันเวฟเล็ต” (Wavelet function)

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.5)$$

$\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ซึ่งจะถูกลดขนาดและเลื่อนตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ “a”, “b” ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 3.2 (ก) จะพบว่าระนาบเวลาและความถี่จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กัน ในช่วงความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์เพียงสั้นๆ (Δf สูง Δt ต่ำ) แต่ในช่วงความถี่ต่ำจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่นานกว่า (Δf ต่ำ Δt สูง) [30] ซึ่งจะเหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณในทางปฏิบัติ

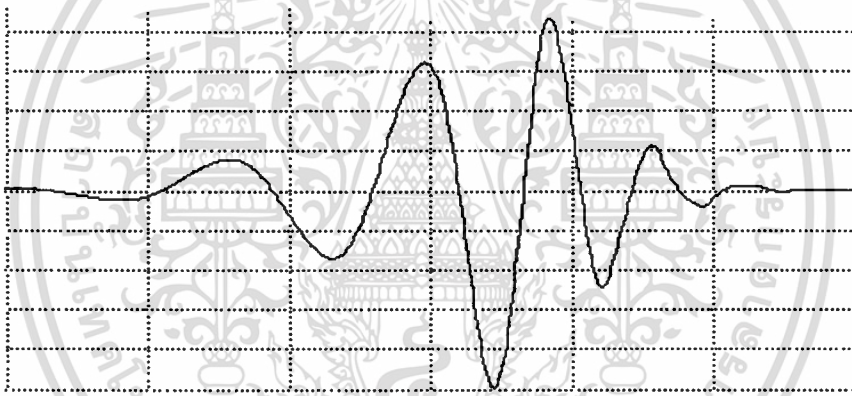
ในรูปที่ 3.2 (ข) เป็นการแสดงลักษณะการแยกองค์ประกอบสัญญาณออกไปในระดับความถี่ที่ต่างกัน โดยในระดับที่ $j = -1$ จะมีเฉพาะส่วนความถี่สูง และในระดับที่ j ต่ำลง สัญญาณจะมีความถี่ที่ต่ำลงด้วย ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับรูปของระนาบเวลาและความถี่



รูปที่ 3.2 (ก) ระนาบเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเล็ต (ข) การแยกองค์ประกอบสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ

3.2 หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเลต

ทฤษฎีเวฟเลตเป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการอธิบายลักษณะของสิ่งต่างๆ หรือระบบใดๆ เสมือนการแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ จะสามารถสร้างขึ้นมาได้ โดยมีคลื่นเวฟเลตฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) เป็นเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเลตแม่ (Mother wavelets) [31] คลื่นเวฟเลตแต่ละอันจะอยู่ในเขตของเวฟเลตแม่ คลื่นเวฟเลตแต่ละคลื่นเกิดจาก “การสเกล” (Scaling) คือการหดเข้าหรือขยายออก (Dilation) และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting) ของเวฟเลตแม่ โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ กันขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์เวฟเลตแต่ละตัว ลักษณะของเวฟเลตแม่จะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นเวฟเลตชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเวฟเลตคาบิชี 8



รูปที่ 3.3 ลักษณะของเวฟเลตแบบคาบิชี 8

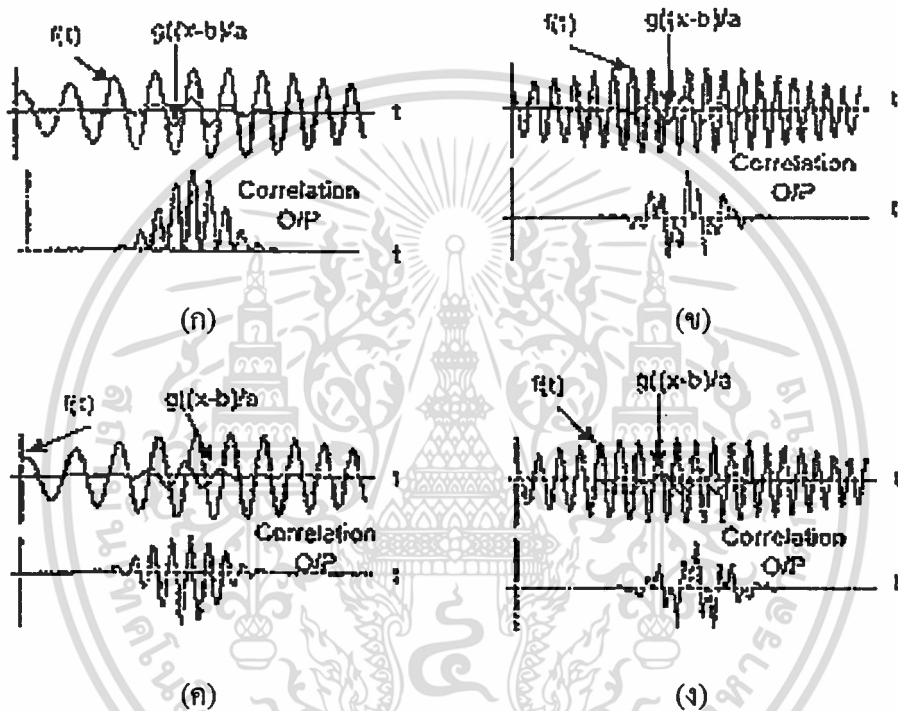
สมการทั่วไปของฟังก์ชันเวฟเลตที่ตำแหน่ง “ a ” และ “ b ” ใดๆ ที่สัมพันธ์กัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.6)$$

$\psi(t)$ จะเป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งและถูกสเกลโดยพารามิเตอร์ “ a ” และ “ b ” ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเลตถูกสเกลไปแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเลตแม่จึงต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (normalize) ด้วยค่า $\frac{1}{\sqrt{a}}$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 (ก) จะพบว่าเมื่อคลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมาก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทออกมามีค่าสูง แต่ในรูปที่ 3.4 (ข) คลื่นอินพุตที่มีสูงกว่าคลื่นเวฟเล็ดจะให้สัมประสิทธิ์เอาท์พุทที่มีค่าต่ำกว่ามาก และในขณะเดียวกันในรูปที่ 3.4 (ค) ถ้าสัญญาณอินพุตมีความถี่เดียวกันกับคลื่นเวฟเล็ด แต่มีเฟสความถี่ต่างกันจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทที่น้อยกว่าแบบ 3.4 (ก) ด้วย ซึ่งถ้าทั้งความถี่และเฟสความถี่ของสัญญาณอินพุตและคลื่นเวฟเล็ดไม่ตรงกันดังในรูปที่ 3.4 (ง) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทมีขนาดต่ำมาก



รูปที่ 3.4 ลักษณะของเวฟเล็ดแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่างๆ กัน

(ก) คลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุต (ข) คลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่ต่างกันแต่มีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุต (ค) คลื่นเวฟเล็ด มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณอินพุต แต่มีเฟสความถี่ต่างกัน (ง) ความถี่และเฟสของสัญญาณอินพุตและคลื่นเวฟเล็ดไม่ตรงกัน

จึงสรุปได้ว่า ถ้าคลื่นเวฟเล็ดมีความคล้ายกับสัญญาณอินพุตมากเท่าไรทั้งในด้านความถี่และตำแหน่งเวลา ก็จะทำให้ได้ค่าของสัมประสิทธิ์การแปลงที่มากนั่นเอง

3.3 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด [32]

การอธิบายทฤษฎีเวฟเล็ต สามารถอธิบายได้โดยใช้การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution analysis: MRA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สัญญาณจากคุณสมบัติการซ้อนทับกันของปริภูมิย่อยแสดงดังสมการที่ (3.7)

$$\dots V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset L^2 \quad (3.7)$$

พิจารณา a, b เป็นจำนวนจริงใด ๆ และ i, j เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (unit vector) ในปริภูมิเวกเตอร์ (vector space : V) ดังนั้นถ้า $ai + bj \in V$ แล้วจะได้ว่า เวกเตอร์ใด ๆ ที่ประกอบขึ้นจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตัวเดียวหรือหลายตัว แล้วเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ V นี้ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยดังกล่าวจะเรียกว่า เวกเตอร์พื้นฐาน (Basis vector) ถ้าเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์เป็นออร์โธกอนัลซึ่งกันและกันผลคูณภายในมีค่าเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ 3.8

$$\langle V, W \rangle = \sum_n v_n w_n^* = 0 \quad (3.8)$$

ในทำนองเดียวกัน เราจะพิจารณาเวกเตอร์เป็นฟังก์ชันคือจะเรียกเวกเตอร์พื้นฐานนี้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) โดยถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ทำผลคูณภายใน (Inner product) กัน แล้วมีค่าเป็นศูนย์ จะได้ว่าฟังก์ชันพื้นฐานดังกล่าวจะแสดงคุณสมบัติออร์โธกอนัล (Orthogonal) คือตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังสมการที่ 3.9

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \int_a^b f(t) \cdot g^*(t) dt = 0 \quad (3.9)$$

และถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ทำผลคูณภายในตัวเองแล้วมีค่าเป็นหนึ่ง ฟังก์ชันพื้นฐานที่มีคุณสมบัติทั้งสองก็จะเรียกว่าออร์โธนอนอร์มอล (Orthonormal)

ถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจกล่าวได้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐานเป็นสัญญาณพื้นฐานเล็ก ๆ ที่สามารถนำมาประกอบกันเป็นปริภูมิของสัญญาณใด ๆ ดังนั้น ถ้าให้ U_i เป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่ออร์โธนอนอร์มอล (Orthonormal basis function) ใด ๆ และ C_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของ U_i จะได้ว่า

สัญญาณ v ใด ๆ นั้นจะสามารถประกอบขึ้นจากฟังก์ชันพื้นฐานที่ออร์ทอนอร์มอลที่มีค่าขนาดต่าง ๆ มารวมกันดังสมการ

$$v = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_i U_i, \dots, v \in V \quad (3.10)$$

สมมติให้ V_j เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้น จากลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่าง ๆ ได้สรุปลักษณะคุณสมบัติได้ดังนี้

- 1) $V_{-\infty} \dots \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \dots \subset V_{\infty}$
- 2) $Close_{L^2}(\cup_{j \in \mathbb{Z}} V_j) = L^2(\mathbb{R})$; $j \in \mathbb{Z}$; \mathbb{Z} = เซตของจำนวนเต็ม; \mathbb{R} เป็นเซตของจำนวนจริง
- 3) $\lim_{j \rightarrow -\infty} V_j \cap V_j = \{0\}$
- 4) $V_j \oplus W_j = V_{j+1}$; $j \in \mathbb{Z}$
- 5) $f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2x) \in V_{j+1}$; $j \in \mathbb{Z}$

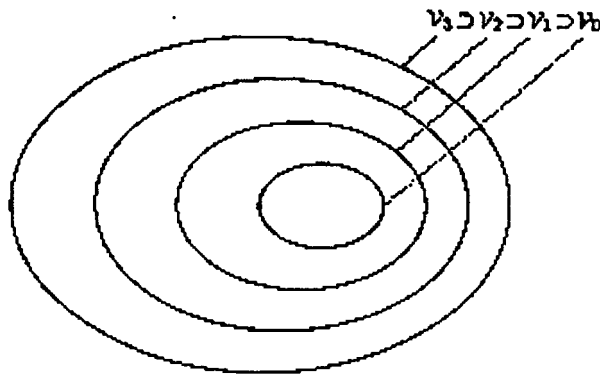
จากลักษณะคุณสมบัติทั้ง 5 ข้อ ถ้ากำหนดให้ $f(t) \in S$ เมื่อ S เป็นปริภูมิเวกเตอร์ของสัญญาณ เมื่อพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติข้อที่ 2) จะได้ว่า สัญญาณ $f(t)$ สามารถประมาณให้อยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด j ใด ๆ ได้โดยถ้าระดับความละเอียดเพิ่มขึ้นถึงอนันต์ สัญญาณที่ประมาณนั้นยังคงเข้าสู่สัญญาณต้นกำเนิด นั่นคือ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ และในทางตรงกันข้าม ถ้าระดับความละเอียดที่ระดับ j ลดน้อยลงเรื่อย ๆ จะทำให้สัญญาณที่ประมาณมีข่าวสารสูญหายไปมากขึ้น ตามลักษณะคุณสมบัติข้อที่ 3)

3.3.1 ฟังก์ชันสเกลลิง (scaling function)

พิจารณาปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด j จะมีฟังก์ชันพื้นฐานที่จะประกอบกันเป็นสัญญาณการประมาณของ $f(t)$ เมื่อ $f(t) \in V_j$ ซึ่งเรียกฟังก์ชันพื้นฐานเหล่านี้ว่า ฟังก์ชันสเกลลิง เป็นฟังก์ชันพื้นฐานย่อยๆ ที่จะเกิดที่เวลาต่างๆ กันภายใน V_j เดียวกัน ฟังก์ชันสเกลลิงที่ระดับปริภูมิสูง (ระดับความละเอียดสูง) จะมีความถี่สูงและที่ระดับต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า

เนื่องจากความถี่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของปริภูมิ j นั้น ๆ โดยอาศัยลักษณะคุณสมบัติที่ 5) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น สัญญาณที่นำไปใช้ประโยชน์ (3.11) ราคาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง

การซ้อนทับกันของปริภูมีย่อย V_j ในสมการที่ 3.7 และ 3.11 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงของแต่ละปริภูมิดังรูปที่ 3.5 นั่นคือที่ระดับ V_1 มีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ที่ระดับ V_0 ลักษณะดังกล่าวก็คือการสเกลลิงทางเวลาของฟังก์ชันสเกลลิง ดังนั้นเซตของฟังก์ชันสเกลลิงที่เกิดจากการทำสเกลและเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันสเกลลิงพื้นฐาน ที่ระดับ j และ $j+1$ ใดๆเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k) \quad (3.12)$$

$$V_j = \text{span}\{\varphi_k(2^j t)\} = \text{span}\{\varphi_{j,k}(t)\} \quad (3.13)$$

ทุกๆ ฟังก์ชัน $f(t)$ ที่อยู่ในปริภูมิ V_j สามารถเขียนอยู่ในรูปของผลรวมฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi_{j,k}(t)$

$$f(t) = \sum_k a_k \varphi(2^j t - k) \quad (3.14)$$

ปริภูมีย่อยที่มี $j > 0$ จะมีรูปร่างของสเกลลิงฟังก์ชัน $\varphi_{j,k}(t)$ ที่มีลักษณะแคบและช่วงการเลื่อน k จะเป็นช่วงสั้นๆ แต่สำหรับปริภูมีย่อยที่มี $j < 0$ จะมีรูปร่างของสเกลลิงฟังก์ชัน $\varphi_{j,k}(t)$ ที่มีลักษณะกว้างและช่วงการเลื่อน k จะเป็นช่วงยาว ดังนั้นฟังก์ชัน $f(t)$ ในปริภูมีย่อยที่มี $j < 0$ จะมีลักษณะข้อมูลที่หยาบและฟังก์ชัน $f(t)$ ในปริภูมีย่อยที่มี $j > 0$ จะมีลักษณะข้อมูลที่มีรายละเอียดมากกว่า

3.3.2 ฟังก์ชันเวฟเล็ด

ฟังก์ชันเวฟเล็ด $\varphi_{j,k}(t)$ คือเซตของฟังก์ชันมูลฐานที่แผ่ทั่วถึงปริภูมิย่อยที่เกิดจากผลต่างระหว่างปริภูมิย่อย V_{j+1} กับ V_j ได้จากสมการที่ 3.7 จากนิยามที่กำหนดให้เซตฟังก์ชันเวฟเล็ดแผ่ไปทั่วถึงปริภูมิย่อย \mathcal{W}_0 ดังนั้น

$$V_1 = V_0 \oplus \mathcal{W}_0 \quad (3.15)$$

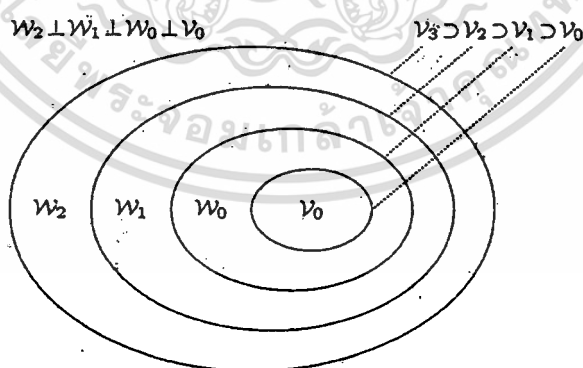
สามารถขยายออกเป็น

$$V_2 = V_0 \oplus \mathcal{W}_0 \oplus \mathcal{W}_1 \quad (3.16)$$

โดยสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$L^2 = V_0 \oplus \mathcal{W}_0 \oplus \mathcal{W}_1 \oplus \dots \quad (3.17)$$

เมื่อ V_0 เป็นปริภูมิเริ่มต้นที่แผ่ขยายออกไปโดยฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi(t-k)$ จากรูปที่ 3.6 แสดงฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเล็ดในปริภูมิต่างกัน เครื่องหมาย \oplus เป็นการรวมกันทางเชิงเส้นที่ตั้งฉากกัน



รูปที่ 3.6 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเล็ดกรณีตั้งฉากกัน

การเริ่มต้นของปริภูมิสามารถเริ่มที่ระดับ j ใดๆ เช่นเริ่มที่ $j=10$ สมการที่ 3.17 สามารถเขียนใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $L^2 = V_{10} \oplus \mathcal{W}_{10} \oplus \mathcal{W}_{11} \oplus \dots$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.18) ราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ ถ้า $j = -\infty$ จากสมการที่ 3.17 จะกลายเป็น

$$L^2 = \dots \oplus W_{-2} \oplus W_{-1} \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus W_2 \oplus \dots \tag{3.19}$$

ผลของสมการที่ 3.15 สามารถขยายไปที่ระดับความละเอียด $j+1$ หรือปริภูมิเวฟเล็ทจะแผ่
ทั่วถึงโดยปริภูมิสเกลลิงที่ระดับความละเอียดสูงกว่า $V_{j+1} = V_j + W_j$ ดังนั้นทุกฟังก์ชันเวฟเล็ทใน
ปริภูมิ W_j สามารถเขียนเป็นผลรวมเชิงเส้นของฟังก์ชันสเกลลิงใน V_{j+1} ได้

$$\psi(t) = \sum_n h_1(n) \sqrt{2} \varphi(2t - n), \quad n \in \mathbb{Z} \tag{3.20}$$

ชุดลำดับ $h_1(n)$ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ท และ $\psi(t)$ เรียกว่าเวฟเล็ทต้นแบบหรือเวฟเล็ทแม่
จากสมการที่ 3.18 ฟังก์ชันการกระจายเวฟเล็ทอยู่ในรูป

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \tag{3.21}$$

เมื่อ 2^j คือการยืดหดของตัวแปร t , $2^j k$ คือการเลื่อนของตัวแปร t และ $\psi_{j,k}(t)$ ฟังก์ชันเวฟเล็ทที่
ระดับความละเอียด j

เมื่อเราได้เซตของฟังก์ชัน $\varphi_{j,k}(t)$ และ $\psi_{j,k}(t)$ ที่แผ่ทั่วปริภูมิ $L^2(\mathbb{R})$ แล้ว ดังนั้นฟังก์ชัน
 $g(t)$ ที่อยู่ใน $L^2(\mathbb{R})$ สามารถเขียนได้ตามสมการที่ 3.22

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k) \varphi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j,k) \psi_{j,k}(t) \tag{3.22}$$

เทอมแรกของสมการที่ 3.22 แสดงส่วนประมาณของฟังก์ชัน $g(t)$ ส่วนเทอมที่สองจะ
แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันซึ่งเมื่อรวมกับส่วนประมาณจะทำให้ได้รับส่วนประมาณที่ระดับความ
ละเอียดสูงขึ้น ในกรณีเป็นเวฟเล็ทออร์ทอโกนัล ค่าสัมประสิทธิ์ $c(k)$ และ $d(j,k)$ คำนวณจากผลคูณ
ภายใน

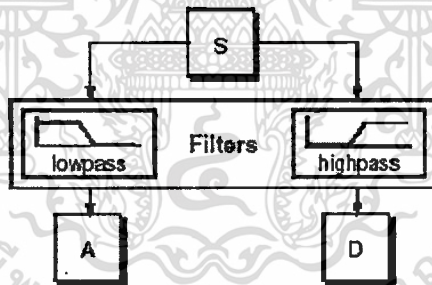
$$c(k) = c_0(k) = \langle g(t), \varphi_k(t) \rangle = \int g(t), \varphi_k(t) dt \tag{3.23}$$

$$d_j(k) = d(j,k) = \langle g(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \int g(t) \psi_{j,k}(t) dt \quad (3.24)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ $d(j,k)$ บางครั้งเขียนเป็น $d_j(k)$ เพื่อบอกความแตกต่างระหว่างการเลื่อนของเวลาที่ k และพารามิเตอร์ระดับที่ j ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ $c(k)$ บางครั้งเขียนอยู่ในรูป $c_j(k)$ หรือ $c(j,k)$ โดยทั่วไประดับสเกลเริ่มต้นมักเริ่มที่ $j=0$

3.4 การแปลงเวฟเล็ดแบบดิสคริต

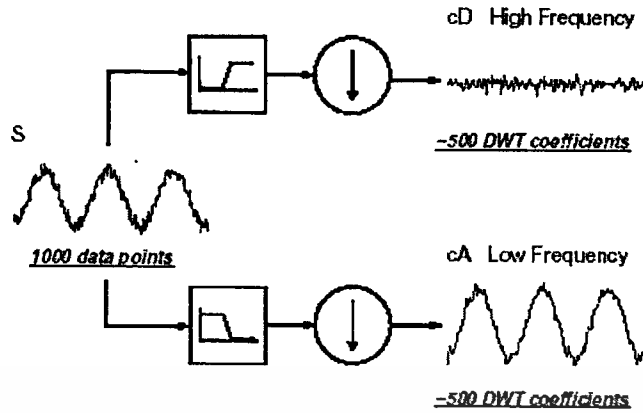
ขบวนการแปลงเวฟเล็ดจะมีลักษณะคล้ายกับขบวนการออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์ (Octave filter banks) เนื่องจากการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่างต่าง (Window function) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละสองเท่า ซึ่งเปรียบเสมือนการนำสัญญาณอินพุตผ่านวงจรกรองความถี่ที่มีแบนด์วิธที่มีอัตราการลดลงสองเท่าเหมือนกับแบนด์วิธของฟังก์ชันหน้าต่างในขณะนั้นนั่นเอง ดังนั้นจะสามารถนำเอาหลักการของฟิลเตอร์แบงก์มาใช้ในการแปลงเวฟเล็ดในทางปฏิบัติได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

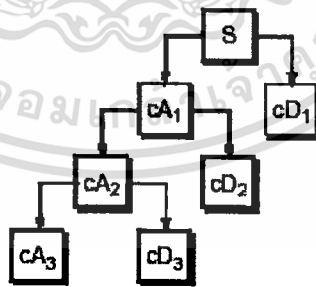
3.4.1 การแปลงเวฟเล็ดโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two channel filter banks) เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณจึงประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass filter : L) และ วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (Highpass filter : H) ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two-channel analysis filter banks) โดยนำสัญญาณ S ผ่านการแยกองค์ประกอบสัญญาณ (Decomposition) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง



รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์เบงค์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของการวิเคราะห์หอคอกเทฟฟิลเตอร์เบงค์ จะเป็น โครงสร้างแบบต้นไม้ (tree structure) ซึ่งเป็นการเอาฟิลเตอร์เบงค์แบบสองช่องสัญญาณมาเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาต์พุต (cA) ในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมาทำการแยกเบงค์ความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการแยกองค์ประกอบสามารถทำซ้ำต่อไปเรื่อยๆ ได้ด้วยการนำ successive approximations มาแยกองค์ประกอบอีกครั้ง ดังนั้นสัญญาณหนึ่งๆ สามารถแตกออกไปได้อีก ซึ่งจะได้ส่วนประกอบที่มีรายละเอียดที่ต่ำกว่า การทำแบบนี้เรียกว่า การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiple-level decomposition) ดังรูปที่ 3.9 ลักษณะของกระบวนการการวิเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์เบงค์จะเรียกว่า การแปลงเวฟเลตแบบดิสครีต (Discrete wavelet transform : DWT)



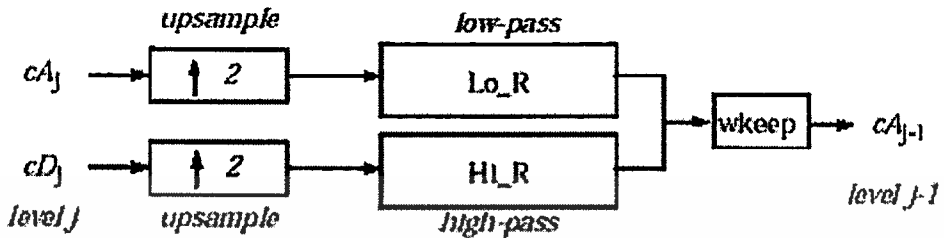
รูปที่ 3.9 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiple-level decomposition)

3.4.2 การแปลงกลับเวฟเลตโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์เบงค์

การแปลงเวฟเลตแบบดิสครีตเป็นการแตกกระจายสัญญาณลงไปในปริภูมิของ V_j และ W_j ซึ่งทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลง ดังนั้น การรวมสัญญาณในปริภูมิ V_j และ W_j กลับไปเป็นปริภูมิ V_{j+1} ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ $g(x)$ จากระดับ j ไปเป็นระดับ $j+1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าวนี้จะเหมือนกับ ขบวนการการสังเคราะห์การสร้างกลับฟิลเตอร์เบงค์แบบสองช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการหาค่าของ $c_{j+1}(n)$ จากค่า $cA_j(k)$ และ $cD_j(k)$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์เบงค์แบบสองช่องสัญญาณ

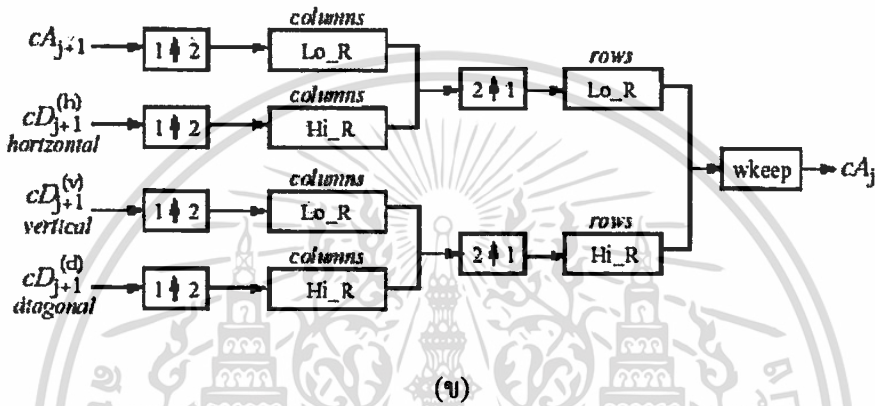
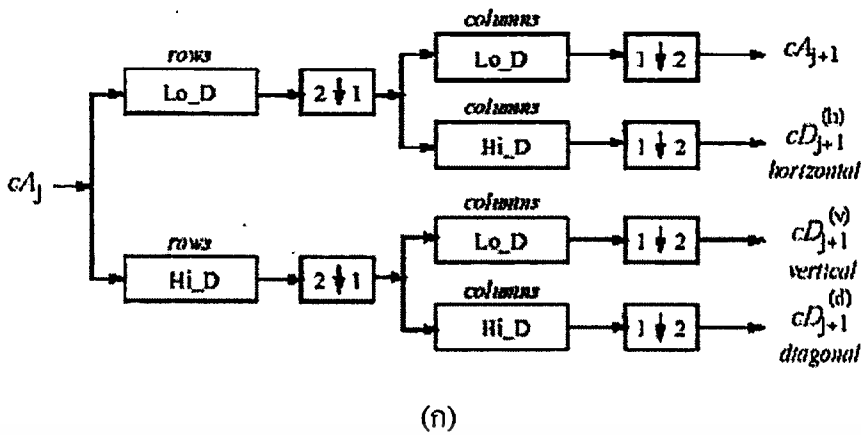
ลักษณะของฟิลเตอร์เบงค์ที่มีโครงสร้างแบบต้นไม้ เพื่อทำการรวบรวมสัมประสิทธิ์ $c_j(k)$ และ $d_j(k)$ กลับมาเป็น $c_{j+1}(n)$ อีกครั้ง ขบวนการนี้เรียกว่า การแปลงกลับเวฟเล็ต จากกระบวนการแปลงเวฟเล็ตและการแปลงกลับเวฟเล็ตจะสังเกตได้ว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการแปลงกลับจะมีค่าประมาณเท่ากับสัญญาณอินพุตของการแปลงเวฟเล็ต โดยที่รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) จะเป็นในลักษณะการสร้างกลับอย่างสมบูรณ์ของฟิลเตอร์เบงค์ (Perfectly reconstruction filter banks) จากที่กล่าวมานี้จะใช้เฉพาะในกรณีของออร์ทอนอร์มอลเวฟเล็ต หรือออร์ทอนอร์มอลฟิลเตอร์เบงค์เท่านั้น กระบวนการสังเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์เบงค์จะเรียกว่า การแปลงกลับเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Inverse discrete wavelet transform : IDWT)

3.5 การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลภาพใน 2 มิติ

การนำเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพที่เป็นข้อมูลสองมิติ ซึ่งเก็บค่าของแต่ละจุดภาพในรูปของเมตริกซ์ สามารถทำได้โดยทำการแปลงแถว (rows) ของภาพก่อน จากนั้นจึงทำการแปลงหลัก (columns) ของภาพในแถวที่ได้รับการแปลงแล้ว ดังรูปที่ 3.11 (ก)

จากรูปที่ 3.11 (ก) สามารถอธิบายได้ว่าการแปลงเวฟเล็ต 2 มิติ จะเป็นการแปลงในแนวแกนอน ตามจำนวนแถวของจุดภาพซึ่งทำให้ภาพถูกแบ่งออกเป็น 2 สับแบนด์ จากนั้นจะทำการแปลงในแนวแกนตั้ง ตามจำนวนคอลัมน์ของจุดภาพ ดังนั้นภาพในลักษณะ 2 มิติ เมื่อนำมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตหนึ่งครั้งจะถูกแบ่งออกเป็น 4 สับแบนด์ ซึ่งถือว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบระดับเดียว (Single level)

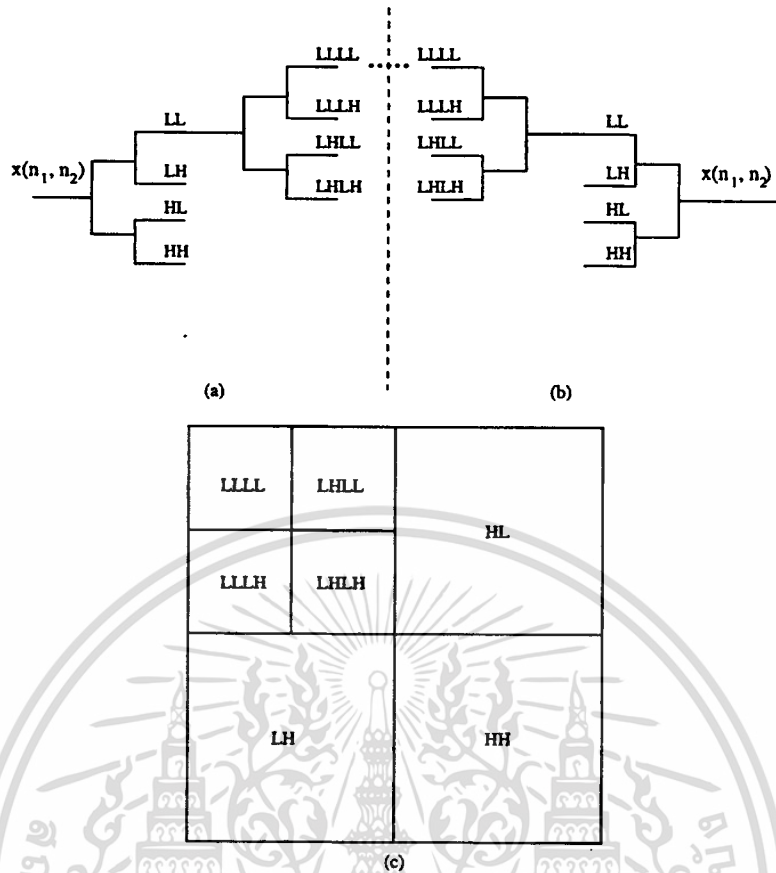
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การแปลงเวฟเล็ตของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงก์ (ก) การแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ต (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเล็ต

สับแบนด์แรก (Sb1) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านทั้งสองแนวแกนแทนด้วย LL สับแบนด์ที่ 2 (Sb2) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านในแนวนอน และกรองความถี่สูงผ่านในแนวตั้งแทนด้วย LH สับแบนด์ที่ 3 (Sb3) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่สูงผ่านในแนวนอน และกรองความถี่ต่ำผ่านในแนวตั้งแทนด้วย HL สับแบนด์สุดท้าย (Sb4) จะเป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่สูงผ่านทั้งสองแนวแกนแทนด้วย HH

เราสามารถการสร้างภาพกลับขึ้นมาใหม่จากสับแบนด์ย่อย แสดงดังรูปที่ 3.11 (ข) โดยนำสับแบนด์ย่อยทั้ง 4 มาเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็น 2 เท่า หลังจากเพิ่มจำนวนข้อมูลแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะถูกกรองไปตามแนวตั้งและบวกเข้าด้วยกันจากนั้นทำซ้ำไปตามแนวนอนจะได้ผลลัพธ์ที่สร้างกลับขึ้นมาใหม่



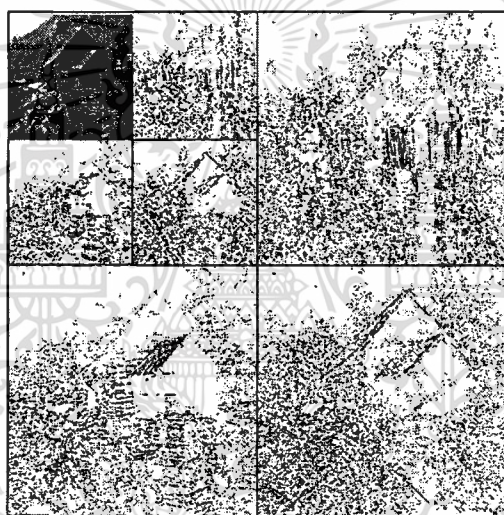
รูปที่ 3.12 การแปลงเวฟเลตแบบหลายระดับ

ผลจากการแปลงเวฟเลต ข้อมูลในสับแบนด์ที่ 1 จะเป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดต่ำที่สุด ส่วนที่แสดงรายละเอียดของภาพจะเป็นข้อมูลในสับแบนด์ที่ 2, 3 และ 4 และถ้าเราเอาสับแบนด์ที่ 1 ไปผ่านการแปลงเวฟเลตต่อไปอีกก็จะทำให้สามารถแยกภาพได้ออกเป็นหลายสับแบนด์เพิ่มมากขึ้น เรียกว่าการแปลงเวฟเลตแบบหลายระดับ (multilevel) ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการแยกองค์ประกอบของภาพ Oldmill โดยใช้การแปลงเวฟเลตแบบดิสครีต 2 ครั้งซึ่งใช้ฟิลเตอร์ Daubechies D8



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 ภาพการแปลงเวฟเล็ตแบบคิสครีต 2 ระดับ (ก) ภาพต้นแบบ Oldmill

(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบคิสครีต 2 ครั้ง

บทที่ 4

วิธีการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยการแปลงเวฟเล็ต

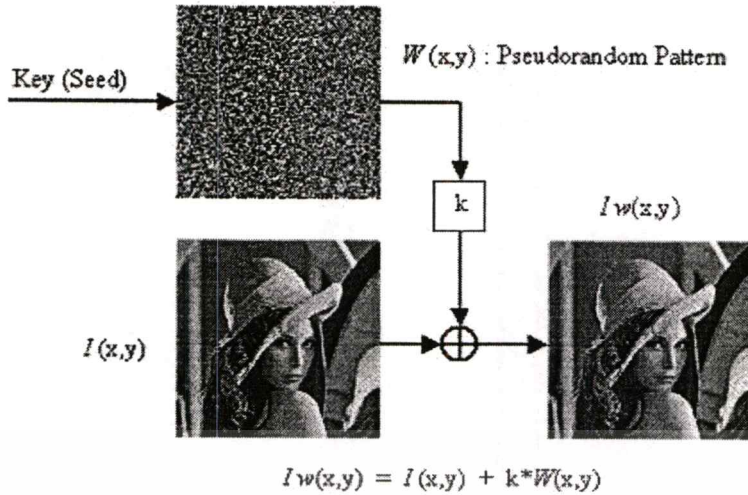
ในปัจจุบันเทคนิคการใส่ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่ เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง ได้มีความพยายามค้นหาเทคนิคต่างๆมากมายในการใส่ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่ ไม่ว่าจะเป็นการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต (DCT) หรือการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (DWT) ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีของการใส่ลายน้ำในโดเมนความถี่ คือรูปภาพหลังจากฝังลายน้ำดิจิทัลสามารถทนทานต่อการโจมตีส่วนใหญ่ได้ ในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการใส่ลายน้ำดิจิทัลและการตรวจหาลายน้ำโดยอาศัยหลักการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต และไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบมาช่วยในการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล

4.1 การทำลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ (Blind Watermark)

ในการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยทั่วไป สามารถที่จะแยกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆก็คือ ขั้นตอนการฝังลายน้ำลงในภาพ (Watermark insertion) และ ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำ (Watermark Detection) กระบวนการทำลายน้ำโดยใช้ชุดข้อมูลภาพต้นแบบในขั้นตอนการกู้คืน ในงานประยุกต์บางประเภท เช่น ในงานการทำลายน้ำในวิดีโอไม่เหมาะที่จะใช้ข้อมูลต้นแบบช่วยตรวจหาลายน้ำเพราะข้อมูลต้นแบบมีขนาดใหญ่มากที่ใช้ในขั้นตอนการประมวลผล ขณะที่เทคนิคการทำลายน้ำส่วนใหญ่ต้องการข้อมูลต้นแบบเพื่อนำมากู้คืนลายน้ำ ในอนาคตเทคนิคการทำลายน้ำที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นแบบ จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น

4.1.1 การฝังลายน้ำลงในภาพ

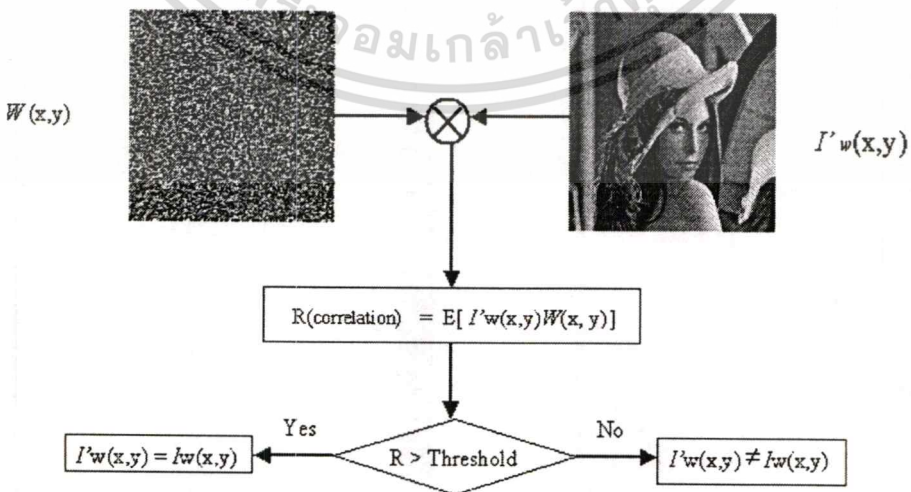
ขั้นตอนการฝังลายน้ำลงในภาพจะทำการสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัล (Watermark) ที่เป็นลำดับชุดข้อมูลสุ่ม (Pseudo-random sequence) ที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่า Seed (key) ที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการฝังลายน้ำโดยการรวมสัญญาณลายน้ำลงไปในรูปแบบต้นฉบับที่เปลี่ยนรูปให้อยู่ในโดเมนความถี่ที่ต้องการจะฝังลายน้ำ โดยมีค่า k เป็นค่าคงที่ในการปรับระดับสัญญาณลายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการฝังลายน้ำ

4.1.2 การตรวจหาลายน้ำในภาพ

ในส่วนของการตรวจสอบสัญญาณลายน้ำนั้นสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีขั้นตอนคร่าวๆ ก็คือ ขั้นแรกจะนำภาพที่มีลายน้ำที่ต้องการดูว่ามีสัญญาณลายน้ำอยู่หรือไม่ มาทำการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในโดเมนความถี่ ภาพที่มีลายน้ำดังกล่าวอาจจะผิดเพี้ยนไปเนื่องจากความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบสื่อสาร แต่ก็ยังมีความเหมือน (Similarity) กับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับที่เราทราบค่า key ที่ถูกต้อง จากนั้นเจ้าของรูปภาพจะนำสัญญาณลายน้ำต้นฉบับมาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความเหมือนระหว่างสัญญาณทั้งสอง ว่ามีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้ (Threshold) หรือไม่ ถ้ามากกว่าก็แสดงว่าเป็นสัญญาณลายน้ำตัวเดียวกัน ถ้าน้อยกว่าก็แสดงว่าเป็นคนละตัวกัน



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต

โดยทั่วไปแล้วงานวิจัยการทำลายน้ำภาพส่วนใหญ่ จะมุ่งเน้นไปที่ตำแหน่งที่จะใส่ สัญญาณลายน้ำดิจิทัล ซึ่งจะช่วยให้ลายน้ำที่ใส่มีความทนทานต่อการโจมตีพื้นฐาน ในขณะเดียวกัน ก็ยังรักษาคุณภาพของภาพที่ถูกใส่ลายน้ำให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ สำหรับการ ทำลายน้ำในโดเมนความถี่ ส่วนข้อมูลสำคัญของภาพมักจะอยู่ในแถบสลับแบนด์ความถี่ต่ำและ กลาง ดังนั้นการรวมลายน้ำเข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญในโดเมนความถี่ โดยทั่วไปแล้วจะทำให้ ลายน้ำมีความคงทน ตัวอย่างเช่น ในโดเมน DCT ค่าพลังงานของภาพมักจะไปรวมกันอยู่บริเวณ แถบความถี่ต่ำรอบๆ มุมบนสุดซ้ายมือ แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) ส่วนการทำลายน้ำโดยใช้ DWT มี องค์ประกอบความถี่ต่ำของสัญญาณภาพอยู่ในสลับแบนด์ค่าการประมาณ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งมุมบน ซ้ายแสดงดังรูปที่ 4.3 (ข) ขณะที่ในส่วนของความถี่สูงเป็นสลับแบนด์รายละเอียดที่มีหลายสลับแบนด์ พลังงานส่วนใหญ่ของสลับแบนด์รายละเอียดมีอยู่ในบริเวณขอบภาพและบริเวณเนื้อภาพ (texture) สังเกตว่ามีความเหมือนกันระหว่างสลับแบนด์ที่ต่างระดับความละเอียดและต่างสลับแบนด์อีกด้วย



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.3 การกระจายพลังงานในโดเมนการแปลงของภาพ Lena (ก) การแปลงแบบ DCT

(ข) การแปลงแบบ DWT 3 ระดับโดยใช้ ตัวกรองเวฟเล็ต คาบิชี 10

4.2.1 เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่

เป็นเทคนิคที่นำเสนอโดย Dugad [33] โดยที่ลายน้ำเป็นลำดับชุดข้อมูลสุ่มที่มีขนาดเท่ากับ ขนาดของสลับแบนด์รายละเอียด และลายน้ำจะถูกรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์นัยสำคัญที่ถูกเลือกจาก เอกสารทำเทรโซลด์ ขั้นตอนการฝังลายน้ำแสดงในหัวข้อ 4.2.1.1 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในภาพ

รูปที่ 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการฝังลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยนำข้อมูลภาพต้นแบบมาทำการแปลง DWT ซึ่งสามารถจำแนกออกมาเป็นแถบความถี่ย่อย LL_n, LH_n, HL_n, HH_n ($n = 1, 2, \dots, N$) โดยสามารถแยกองค์ประกอบได้ถึง N ระดับ จากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์ในส่วนของแถบความถี่ย่อย LH_n, HL_n, HH_n ยกเว้นในส่วนแถบความถี่ย่อย LL_n โดยที่ลายน้ำจะถูกรวมกับสัมประสิทธิ์ส่วนนี้เท่านั้น ลายน้ำที่ถูกสังเกตุเห็น ได้มีผลมาจากตำแหน่งของลายน้ำที่ใส่ในแต่ละสับแบนด์ของ DWT ด้วยเหตุผลนี้ เราจึงเลือกแทรกรหัสลงในองค์ประกอบความถี่สูงของภาพและมีความคงทนต่อการเสียหายของลายน้ำ

จากนั้นรวมลำดับสัญญาณลายน้ำ X เข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามาก ที่ไม่ได้อยู่ในส่วนของรายละเอียดต่ำสุด ดังในสมการที่ 4.1 ลายน้ำจะไม่ถูกรวมเข้าทุกตำแหน่งของภาพ ขนาดของลายน้ำถูกกำหนดลายน้ำอยู่ในแต่ละตำแหน่ง และเราไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับลำดับของสัมประสิทธิ์นัยสำคัญที่ถูกเลือก และ i เป็นตำแหน่งการฝังลายน้ำที่หาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ DWT ที่มากกว่าเทรโซลด์ $T1$ ซึ่งจาก [33] กำหนดให้เท่ากับ 40

$$V'_i = V_i + \alpha |V_i| x_i \quad (4.1)$$

โดยที่ V_i คือค่าสัมประสิทธิ์ DWT ของภาพต้นแบบ
 V'_i คือค่าสัมประสิทธิ์ DWT ของภาพลายน้ำ
 X เป็นชุดข้อมูลลายน้ำ
 α คือ พารามิเตอร์ที่ควบคุมระดับของลายน้ำ

ในการเลือกกำหนดค่า α ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ คือมีผลกระทบต่อการทำให้สังเกตุเห็นได้ เมื่อ α มีค่าสูงจะทำให้ลายน้ำปรากฏเด่นชัดมากขึ้นหมายถึงทำให้สังเกตุเห็นได้มากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนมากขึ้นด้วย ขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการแปลงข้อมูลกลับด้วย IDWT ก็จะได้ภาพที่มีลายน้ำ

4.2.1.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ

วิธีการตรวจหาลายน้ำแบบไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.1.2 ในการตรวจหาลายน้ำจากข้อมูลภาพที่มีลายน้ำดิจิทัล สามารถตรวจหาได้ด้วยขั้นตอนง่ายๆแต่จะยากลำบากต่อการโจมตีข้อมูลภาพโดยผู้ไม่หวังดี โดยภาพดิจิทัลอาจเกิดความเสียหายหรือผิดเพี้ยนมาก่อนซึ่งเราแทนด้วย \tilde{V} ขั้นตอนในการตรวจหาลายน้ำจะมีขั้นตอนที่คล้ายกับการฝังลายน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำดังแสดงในรูปที่ 4.5 ชั้นแรกเราทำภาพที่มีลายน้ำนำมาแยกองค์ประกอบภาพที่มีลายน้ำด้วย DWT ซึ่งจำแนกออกมาเป็นแถบความถี่ย่อย LL_n, LH_n, HL_n, HH_n โดยแยกองค์ประกอบถึงระดับเดียวกันกับขั้นตอนการฝังลายน้ำ จากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์ในส่วนย่อย LH_n, HL_n, HH_n ยกเว้นในส่วนแถบความถี่ย่อย LL_n และค่าเทรโซลด์เรากำหนดให้เป็น T_2 ซึ่งค่าเทรโซลด์ที่ได้จะทำการแยกสัมประสิทธิ์ส่วนที่มีลายน้ำออกมาเพื่อนำมาหาค่าคอร์รีเลชันระหว่างลายน้ำที่คิดเทียบกับลายน้ำต้นฉบับ

การกำหนดค่า T_2

เราได้กำหนดให้ค่า $T_2 \gg T_1$ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็น เพราะเราไม่ควรจะคอร์รีเลชันลายน้ำต้นฉบับ กับสัมประสิทธิ์ส่วนเกินที่ลายน้ำไม่ได้รวมเข้าไป และเราเลือก T_2 ให้มีค่ามากกว่า T_1 เพื่อความคงทน เพราะว่าค่าสัมประสิทธิ์บางค่าจากภาพต้นแบบอาจมีค่าต่ำกว่า T_1 หรือมากกว่า T_1 ภายหลังจากถูกโจมตีลายน้ำทำให้ข้อมูลภาพผิดเพี้ยนไป ในการทดลองได้กำหนดให้ $T_2 = 50$

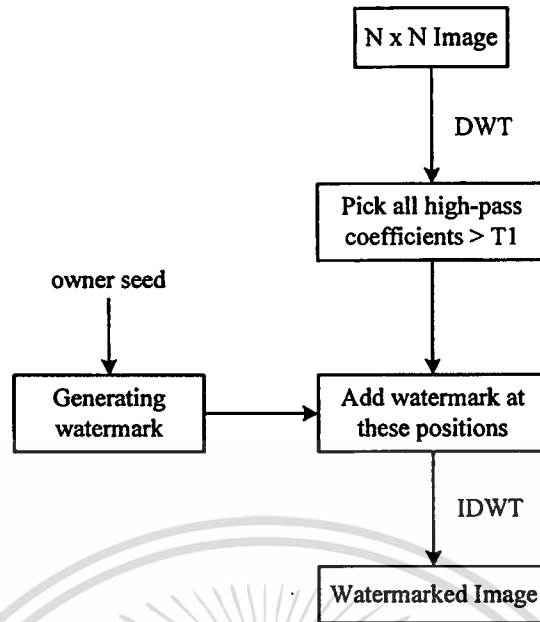
ค่าคอร์รีเลชันระหว่างลายน้ำกับค่าสัมประสิทธิ์ของ \hat{V} ที่มีโอกาสผิดเพี้ยนหรือเสียหายได้จะบอกได้ว่าภาพที่นำมาทดสอบมีลายน้ำอยู่หรือไม่ ค่าคอร์รีเลชัน z ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ DWT ที่มีลายน้ำของ X และลายน้ำอื่น Y หาได้จากสมการที่ 4.2

$$z = \frac{1}{M} \sum_i |\hat{V}_i| y_i \quad (4.2)$$

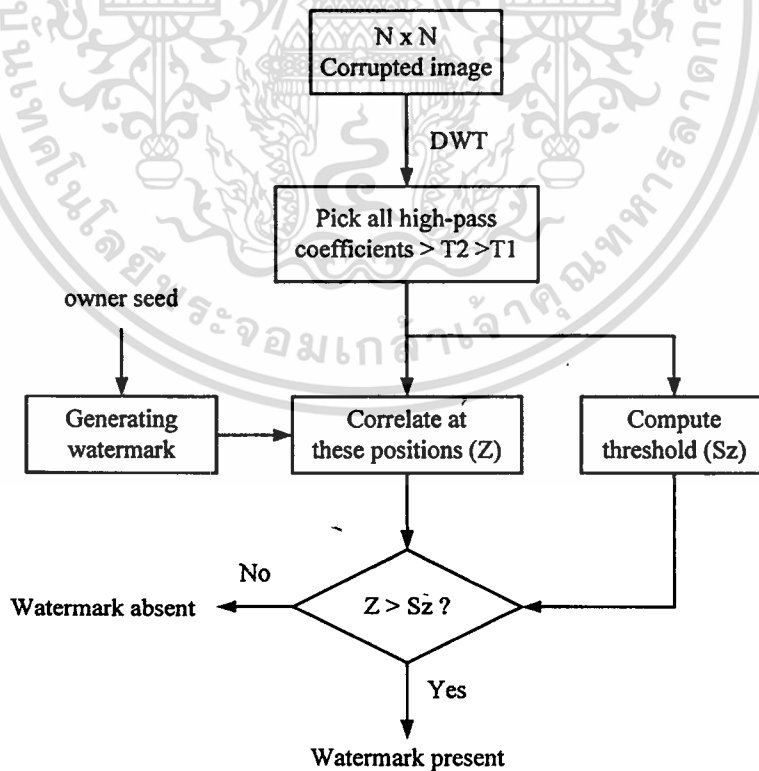
เมื่อ M เป็นจำนวนสัมประสิทธิ์ลายน้ำทั้งหมดที่ใส่เข้าไป

$$S_z = \frac{\alpha}{2M} \sum_i |\hat{V}_i| \quad (4.3)$$

ค่าเทรโซลด์ของการตรวจหาลายน้ำ S_z ในสมการที่ 4.5 ที่คำนวณได้จากผลการทดลองสามารถนำมากำหนดและตัดสินใจว่าข้อมูลภาพมีลายน้ำฝังอยู่ในภาพนั้นหรือไม่



รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมการฝังลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรชโอล์ดแบบคงที่



รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรชโอล์ดแบบคงที่

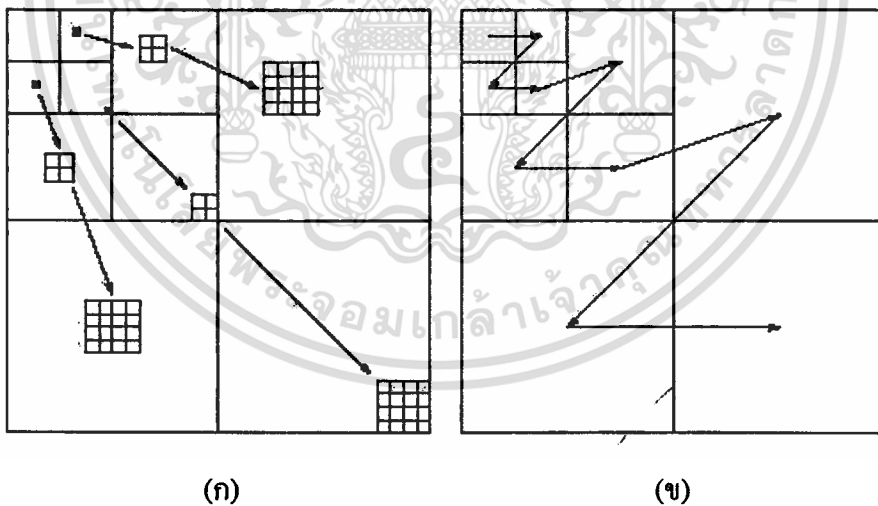
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เทคนิคการกำหนดค่าเทรโชลด์แบบปรับค่าตามระดับการแปลงเวฟเล็ต

จากเทคนิคกำหนดค่าเทรโชลด์แบบคงที่ ค่าเทรโชลด์เป็นค่าที่ได้มาจากการทดลอง ซึ่งไม่สะดวกในการคำนวณและ ลายน้ำอาจไม่ถูกฝังอยู่ในสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด ดังนั้น การฝังลายน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้ลายน้ำมีความคงทนมากขึ้น เราจึงสร้างค่าเทรโชลด์ที่ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ตดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4.2.2.1 อัลกอริทึม Set Partitioning in Hierarchical Tree (SPIHT)

ในการแยกองค์ประกอบแบบเวฟเล็ตที่แสดงโครงสร้างแบบซีโรทรี ดังรูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่าในสับแบนด์ความถี่สูงของการแปลงเวฟเล็ตมีค่าสัมประสิทธิ์ 4 ค่า ที่สอดคล้องกับตำแหน่งทางสเปซในสับแบนด์ความถี่ที่อยู่ระดับต่าง Shapiro [34] เรียกกระบวนการนี้ว่า ซีโรทรีของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต การเข้ารหัสซีโรทรีมาจากสมมุติฐานที่ว่าถ้าค่าสัมประสิทธิ์ที่สเกลหยาบ (coarse scale) ไม่มีนัยสำคัญกับค่าเทรโชลด์ T ที่ให้มา เมื่อนั้นสัมประสิทธิ์ทั้งหมดที่อยู่ในสับแบนด์เดียวกัน และในตำแหน่งที่สเกลละเอียดกว่าจะไม่มีนัยสำคัญกับค่าเทรโชลด์ T เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.6 โครงสร้างซีโรทรี (ก) โครงสร้างซีโรทรี (ข) ลำดับการสแกนแบบ EZW ในการแยกองค์ประกอบเวฟเล็ตใน 2 ระดับ

จากอัลกอริทึม SPIHT ที่ถูกนำเสนอโดย Said [35] เป็นผลขยายมาจาก Embedded zerotree wavelet (EZW) โดยวิธี SPIHT จะมีโครงสร้างแบบซีโรทรี แต่ใช้เทคนิคแตกต่างกันในการเก็บค่าเซตของตำแหน่งสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญและเซตของสัมประสิทธิ์ที่ไม่มีนัยสำคัญ ทั้ง EZW และ SPIHT เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาเบไซบระไซชชานการค้ำไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรูปแบบที่แบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วน (Multi-pass scheme) ที่แยกคุณภาพของภาพในขั้นตอนการเข้ารหัสแต่ละขั้นตอน โดยมีค่า T_0 เป็นค่าเทรโซลด์เริ่มต้น

$$T_0 = 2^{\lfloor \log_2 C_{\max} \rfloor} \quad (4.4)$$

โดยที่ C_{\max} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ค่าสัมบูรณ์สูงสุดในโดเมนการแปลงเวฟเล็ต และนำค่าเทรโซลด์เริ่มต้นลดลงอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะได้ค่าเทรโซลด์ดังสมการที่ 4.5

$$T = \frac{T_0}{2} \quad (4.5)$$

โดยสามารถเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ 4.6

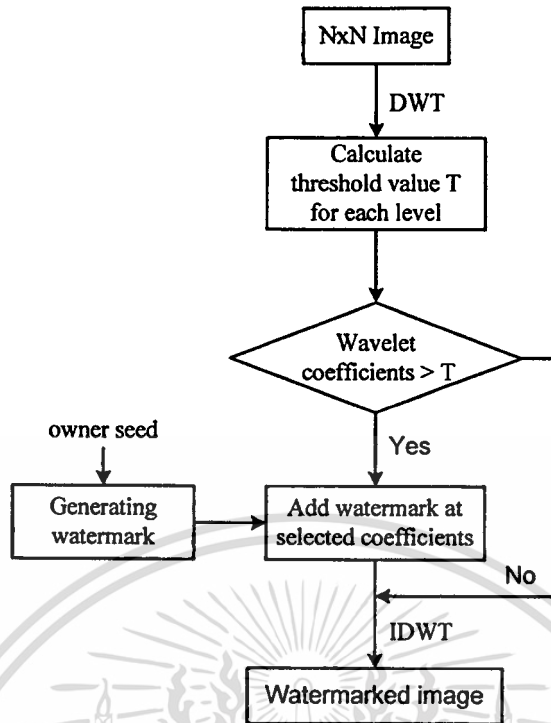
$$T = 2^{\lfloor \log_2 C_{\max} \rfloor - 1} \quad (4.6)$$

4.2.2.2 ขั้นตอนการฝังลายน้ำลงในภาพ

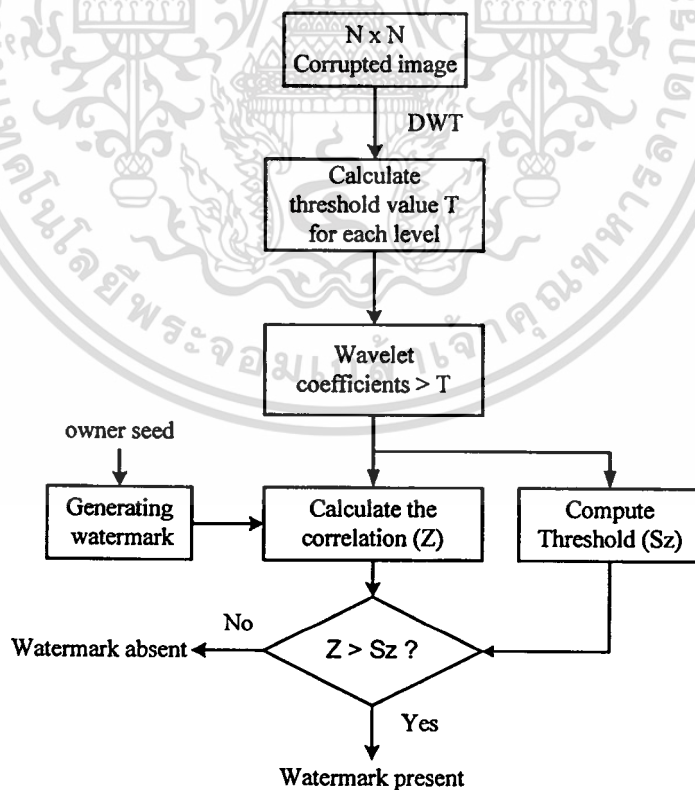
ขั้นตอนการฝังลายน้ำจะคล้ายกับเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ แต่ต่างกันตรงการหาค่าเทรโซลด์แสดงดังรูปที่ 4.7 โดยนำสมการที่ 4.6 นำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าเทรโซลด์เพื่อเลือกตำแหน่งในการใส่ลายน้ำ การฝังลายน้ำจะปรับตามพลังงานของสับแบนด์ในแต่ละระดับ โดยที่ n เป็นระดับในการแปลงเวฟเล็ต ค่าเทรโซลด์ในแต่ละระดับสามารถหาได้ดังสมการที่ 4.7

$$T_n = 2^{\lfloor \log_2 C_n \rfloor - 1} \quad (4.7)$$

เราจะใช้สัมประสิทธิ์ทั้งหมดที่มากกว่า T_n ในการเลือกจำนวนขนาดสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงสุด ซึ่งลายน้ำจะถูกรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญเหล่านี้ ค่าเทรโซลด์จะถูกคำนวณให้สอดคล้องกับระดับการแยกองค์ประกอบเวฟเล็ต ตัวอย่างเช่น การแยกองค์ประกอบใน 2 ระดับ ค่า C_n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่มากที่สุดจากสับแบนด์ทั้งสามสับแบนด์ ในแต่ละระดับ (LH_n , HL_n , HH_n) ซึ่งเราจะได้ค่าเทรโซลด์ 2 ค่า คือค่าเทรโซลด์ T_1 เป็นค่าเทรโซลด์ของระดับที่ 1 และ T_2 เป็นค่าเทรโซลด์ของระดับที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 บล็อกไดอะแกรมการฝังลายน้ำโดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต



รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมการตรวจวัดลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ

ในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำแสดงดังรูปที่ 4.8 จะคล้ายกับเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ แต่ต่างกันตรงการหาค่าเทรโซลด์ โดยนำสมการที่ 4.7 นำมาใช้ในการหาค่าเทรโซลด์ในแต่ละระดับ ต่อมานำสัมประสิทธิ์ที่มากกว่าค่าเทรโซลด์ในแต่ละระดับมาตรวจหาลายน้ำ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าคอร์รีเลชัน z ระหว่างสัมประสิทธิ์ DWT ของภาพที่มีลายน้ำที่อาจถูกโจมตีกับลายน้ำอื่น (Y) โดยหาได้จากสมการที่ 4.2 ค่าเทรโซลด์ของการตรวจหาลายน้ำ Sz ในสมการที่ 4.3 ที่คำนวณได้จากผลการทดลองสามารถนำมากำหนดและตัดสินใจว่าข้อมูลภาพมีลายน้ำฝังอยู่ในภาพนั้นหรือไม่

4.3 สรุป

เทคนิคการทำลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติในการแบ่งข้อมูลภาพของเป็นสับแบนด์ย่อย ทำให้สามารถเลือกใส่ลายน้ำในสับแบนด์ที่เลือกได้ตามต้องการ โดยเทคนิคที่นำเสนอ มี 2 เทคนิค นั่นคือเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่และ เทคนิคค่าเทรโซลด์ที่ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยทั้งสองเทคนิคเป็นการฝังลายน้ำร่วมกับสัมประสิทธิ์ค่ามากที่มักอยู่ในบริเวณของขอบภาพ จึงทำให้ลายน้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญนั่นก็คือ ลายน้ำมีความโปร่งใส และมีความคงทน และเทคนิคที่นำเสนอนี้เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบมาช่วยในการตรวจหาลายน้ำ (Blind watermark) ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการตรวจหาลายน้ำของภาพได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 5

ผลการทดลอง

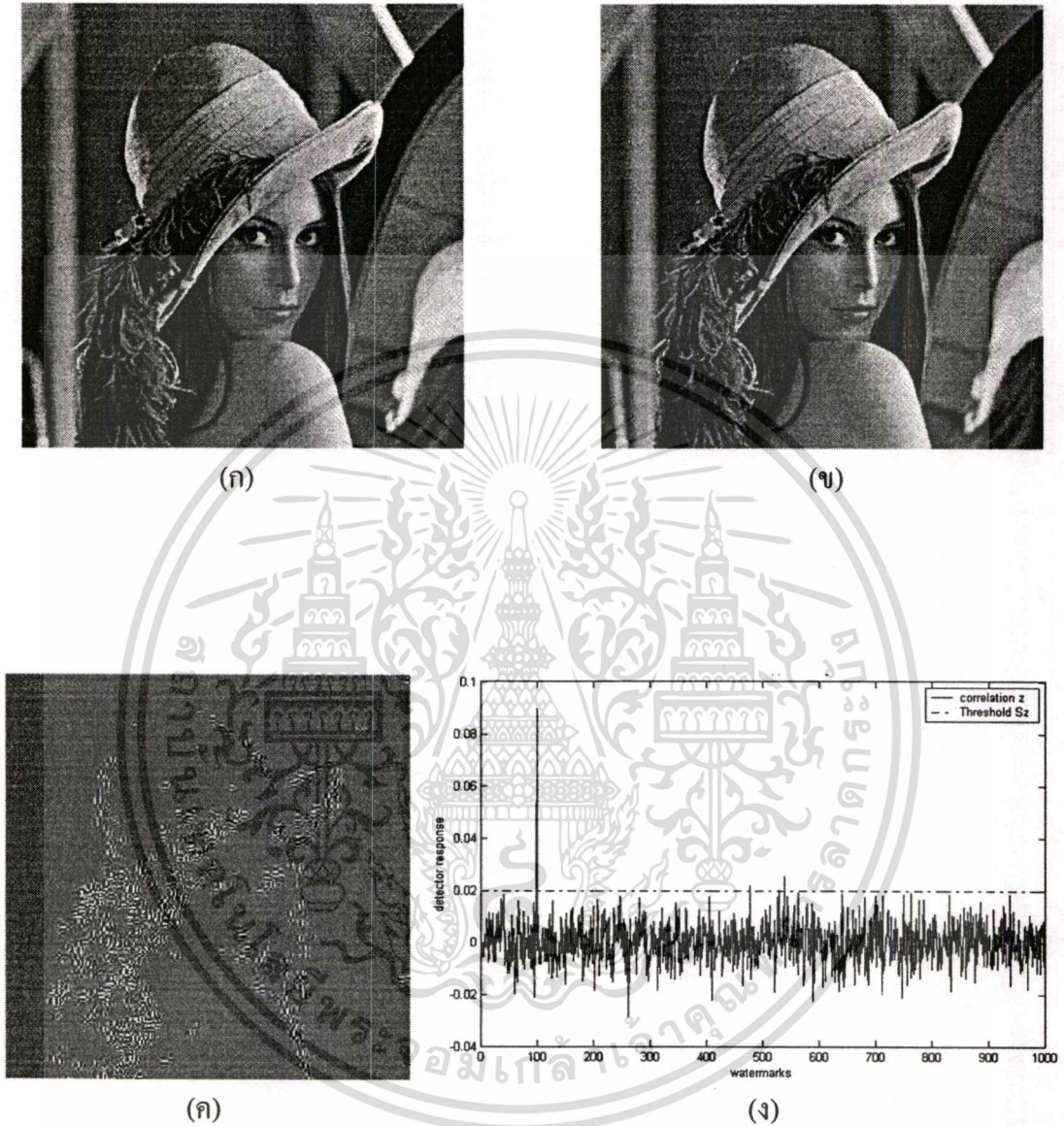
บทนี้กล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการฝังลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำจากข้อมูลภาพ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยในการเปรียบเทียบเบื้องต้นของการฝังลายน้ำจะเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว และวัดประสิทธิภาพของภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำด้วยค่า PSNR จากนั้นในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำ ทำการทดลองกับภาพที่ผ่านเทคนิคการประมวลผลสัญญาณ ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตต่างๆ และการบีบอัดภาพแบบ JPEG เพื่อวัดความคงทนของลายน้ำ และเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่กับเทคนิคที่นำเสนอ

5.1 ข้อมูลภาพและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

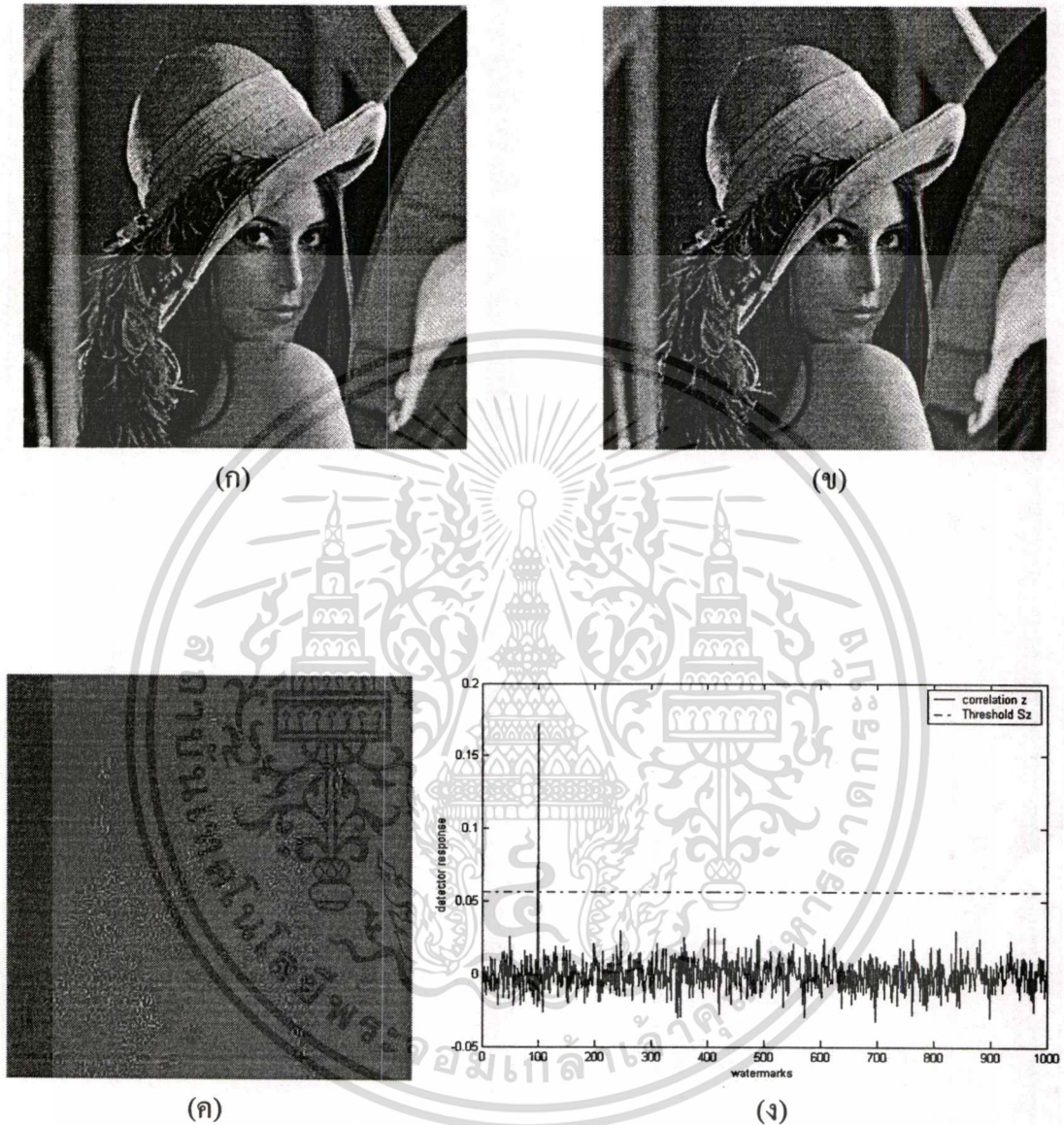
ในการทดลองได้ใช้ภาพระดับเทา Lena และ Peppers ขนาด 512 x 512 พิกเซล จำนวน 8 บิต/พิกเซล และทำการใส่ลายน้ำลงในภาพด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ในการแปลงเวฟเล็ตใช้ตัวกรองเวฟเล็ตแบบ Daubechies 8, $N = 2$ และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ดังนี้ ค่า Seed = 100, $\alpha = 0.2$ โดยลายน้ำที่ใช้ประกอบไปด้วยค่าจำนวนจริงและเราสร้างลายน้ำโดยใช้ค่าตัวแปรสุ่มที่ได้จากการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง

5.2 ผลการทดลองโดยไม่ผ่านการโจมตีลายน้ำ

ในรูปที่ 5.1 (ง) และ 5.2 (ง) แสดงผลการตรวจหาลายน้ำบนภาพมาตรฐาน Lena ที่ฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์คงที่ และเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต ตามลำดับ โดยภาพที่ถูกฝังลายน้ำยังไม่มีผลกระทบทางเรขาคณิต และ ยังไม่ผ่านเทคนิคของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลใดๆ จากการทดสอบลายน้ำที่ใช้ค่าเลขสุ่ม 1,000 ชุด ค่าลายน้ำ ที่ได้เท่ากับ 100 และเส้นปะเป็นค่าเทรโซลด์ตรวจหาลายน้ำ (Sz) ที่ใช้ในการวัดระดับของการตรวจหาลายน้ำ จะเห็นว่าผลการตอบสนองที่ได้จากทั้งสองเทคนิค สูงกว่าระดับเทรโซลด์อยู่ในระดับที่ชัดเจนและถูกต้อง และเมื่อเปรียบเทียบค่าคอร์รีเลชันของทั้งสองเทคนิค จะเห็นได้ว่าค่าคอร์รีเลชันของเทคนิคที่นำเสนอมีค่าสูงกว่า เทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ซึ่งแสดงว่าลายน้ำมีความคงทนมากขึ้น



รูปที่ 5.1 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ (ก) ภาพต้นแบบ Lena (ข) ภาพต้นแบบเมื่อถูกฝังลายน้ำแล้ว (ค) ภาพลายน้ำ (ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพโดยมีค่าเทรโซลด์ $S_z = 0.0198$ และ ค่าคอรัรัเลชัน = 0.0897



รูปที่ 5.2 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทอร์โซลต์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเลต (ก) ภาพต้นแบบ Lena (ข) ภาพต้นแบบเมื่อถูกฝังลายน้ำแล้ว (ค) ภาพลายน้ำ (ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพโดยมีค่าเทอร์โซลต์ $S_z = 0.056$ และ ค่าคอร์รีเลชัน = 0.172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบความคงทนลายน้ำ

โดยทั่วไปในการทดสอบความคงทนพื้นฐานของลายน้ำภาพดิจิทัล เราสามารถทดสอบกับเทคนิคที่เปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพชนิดต่างๆ ที่มีอยู่มากมายโดยสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท อาทิเช่น การประมวลผลภาพ ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต การบีบอัดภาพแบบ JPEG ในการทดลองฝังลายน้ำกับเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเลตนี้ ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้กับเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยเลือกทดสอบผลภาพกับการโจมตีข้อมูลภาพบางเทคนิคที่สำคัญและพบเห็นกันมากเท่านั้น ซึ่งมีดังนี้

5.3.1 ผลการทดสอบความคงทนกับการประมวลผลภาพ

5.3.1.1 การกรองภาพแบบมัลติสเกล

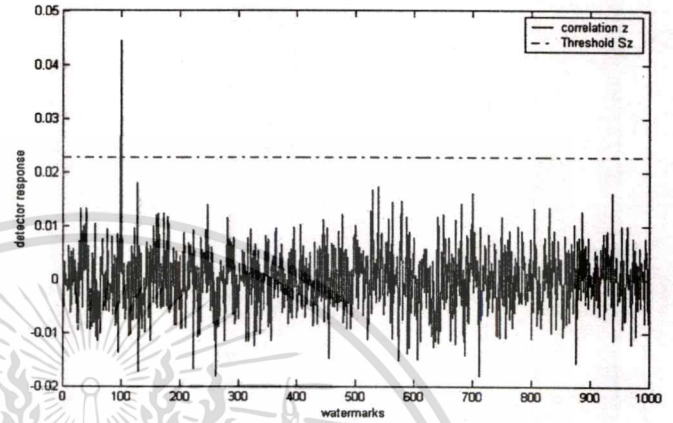
ในรูปที่ 5.3 (ก) และ 5.3 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยผ่านตัวกรองมัลติสเกลขนาด 3×3 พิกเซล ซึ่งได้ผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.3 (ข) และ 5.3 (ง) ส่วนในรูปที่ 5.4 (ก) และ 5.4 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเลตโดยผ่านตัวกรองมัลติสเกลขนาด 3×3 พิกเซล ซึ่งได้ผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.4 (ข) และ 5.4 (ง) จะเห็นได้ว่าทั้งสองเทคนิคสามารถตรวจหาลายน้ำได้ แสดงว่าลายน้ำมีความคงทนต่อตัวกรองมัลติสเกลได้ดี

5.3.1.2 การใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

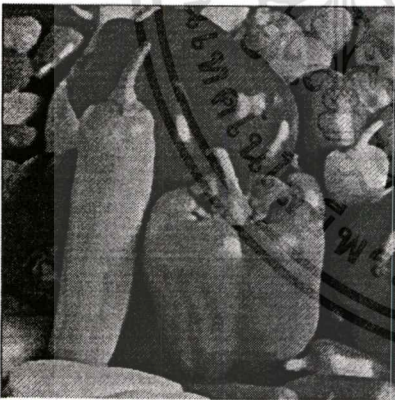
เป็นการทดสอบโดยการใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน รูปที่ 5.5 (ก) และ 5.5 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ ผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.5 (ข) และ 5.5 (ง) ส่วนในรูปที่ 5.6 (ก) และ 5.6 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเลต ซึ่งผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.5 (ข) และ 5.5 (ง) จะเห็นได้ว่าทั้งสองเทคนิคสามารถตรวจหาลายน้ำได้ แสดงว่าลายน้ำมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนได้ดีและเมื่อเปรียบเทียบค่าคอร์รีเลชันของทั้งสองเทคนิค จะเห็นได้ว่าค่าคอร์รีเลชันของเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเลตที่นำเสนอมีค่าสูงกว่า



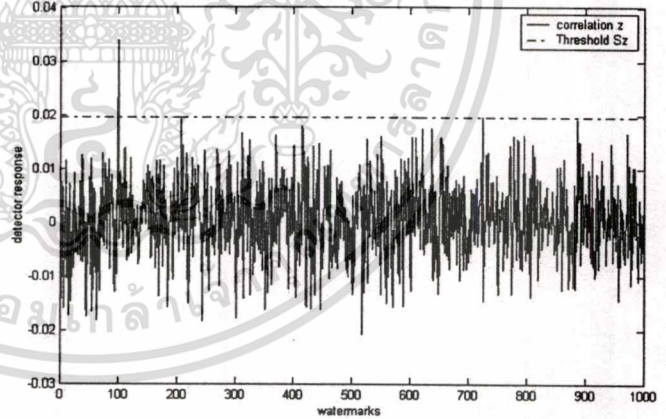
(ก)



(จ)



(ค)



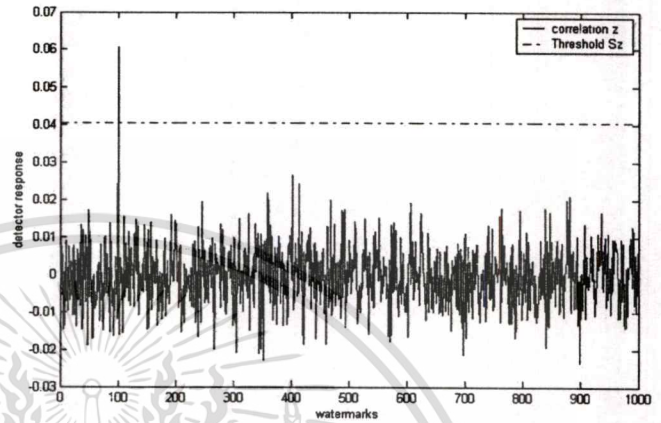
(ง)

รูปที่ 5.3 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยทดสอบความคงทนกับตัวกรองมัธยฐานขนาด 3x3 พิกเซล (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านตัวกรองมัธยฐาน (จ) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



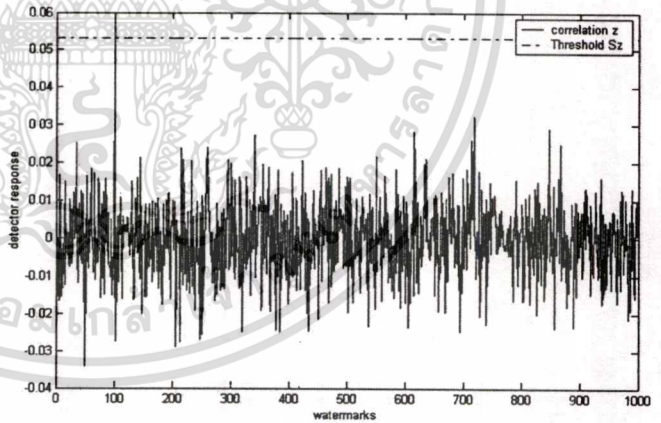
(ก)



(ข)



(ค)



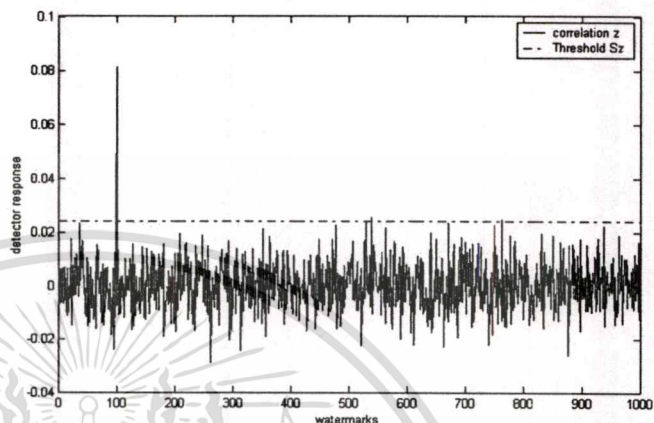
(ง)

รูปที่ 5.4 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยทดสอบความคงทนกับตัวกรองมัชฐานขนาด 3×3 พิกเซล (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านตัวกรองมัชฐาน (ข) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

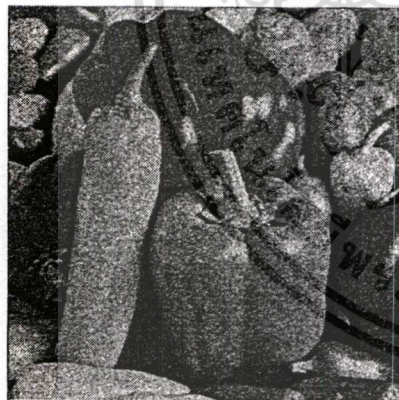
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



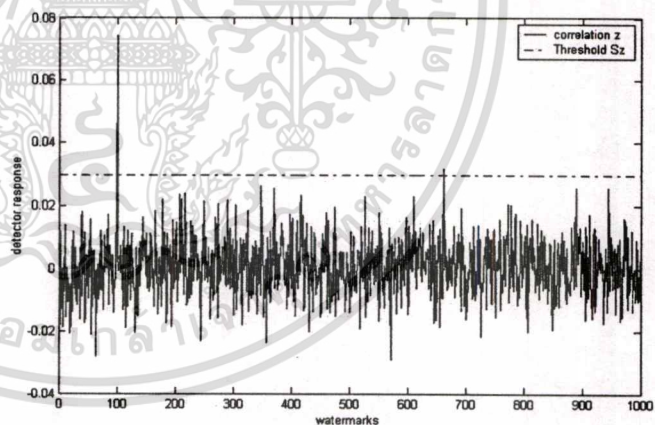
(ก)



(จ)



(ค)



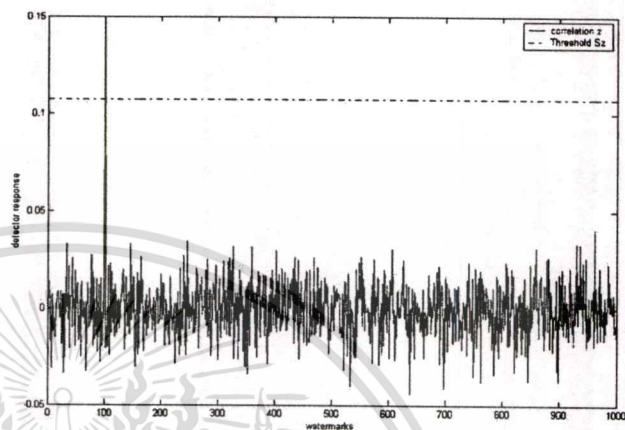
(ง)

รูปที่ 5.5 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทอร์ โชลด์แบบคงที่ โดยทดสอบความคงทนด้วยการใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านการใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (จ) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



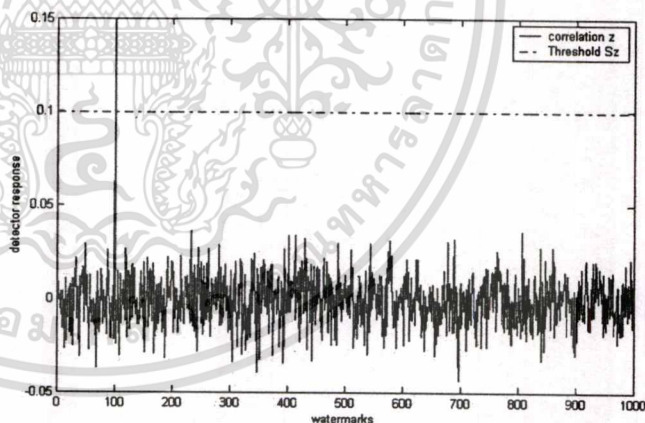
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5.6 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทอร์โซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยทดสอบความคงทนด้วยการใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านการใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ข) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

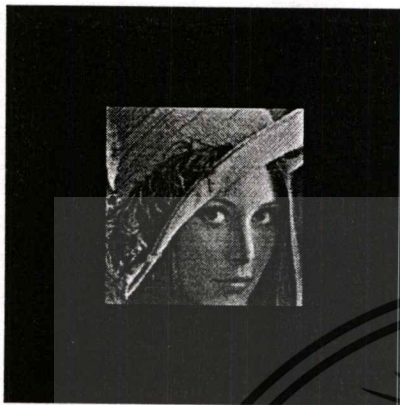
5.3.2 ผลการทดสอบความคงทนต่อความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต

5.3.2.1 การตัดภาพบางส่วน

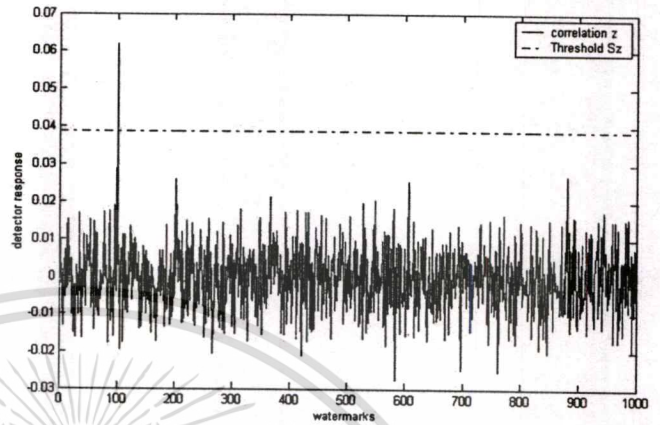
ผลการทดสอบโดยตัดบางส่วนของภาพลง ด้านละ 256 พิกเซล จนเหลือพื้นที่เพียง 1/4 จากขนาดของภาพเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5.7 (ก) และ 5.7 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยจำนวนลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพก็จะลดตามลงไปด้วย และผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.7 (ข) และ 5.7 (ง) ส่วนในรูปที่ 5.8 (ก) และ 5.8 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ด และผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.8 (ข) และ 5.8 (ง) จากผลจะเห็นว่าแม้ภาพจะถูกลดพื้นที่ของภาพลงไป 1/4 ก็ยังสามารถตรวจหาลายน้ำได้ จะเห็นได้ว่าทั้งสองเทคนิคสามารถตรวจหาลายน้ำได้อยู่ในระดับที่ชัดเจน

5.3.2.2 การลดขนาดภาพ

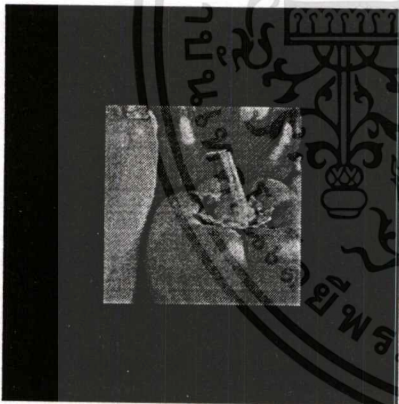
ผลการทดสอบโดยการลดขนาดภาพลงเหลือขนาด 256 x 256 พิกเซล จากขนาดของภาพเดิม ในรูปที่ 5.9 (ก) และ 5.9 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ จำนวนลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพก็จะลดตามลงไปด้วยและผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.9 (ข) และ 5.9 (ง) ส่วนในรูปที่ 5.10 (ก) และ 5.10 (ค) เป็นการถ่ายภาพลายน้ำที่ได้จากเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ด ซึ่งผลการตรวจหาลายน้ำแสดงในรูปที่ 5.10 (ข) และ 5.10 (ง) จากผลจะเห็นว่าแม้ภาพจะถูกลดขนาดลง จะเห็นได้ว่าทั้งสองเทคนิคสามารถตรวจหาลายน้ำได้อย่างชัดเจน แสดงว่าลายน้ำมีความคงทนจะเห็นได้ว่าค่าคอร์รัเลชันของเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ดที่นำเสนอมีค่าสูงกว่า



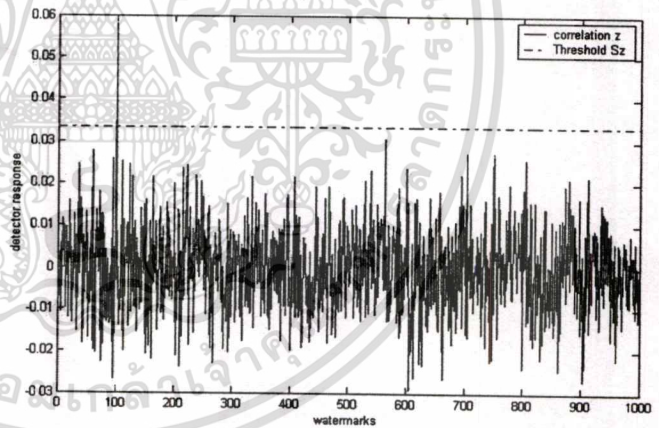
(ก)



(ข)

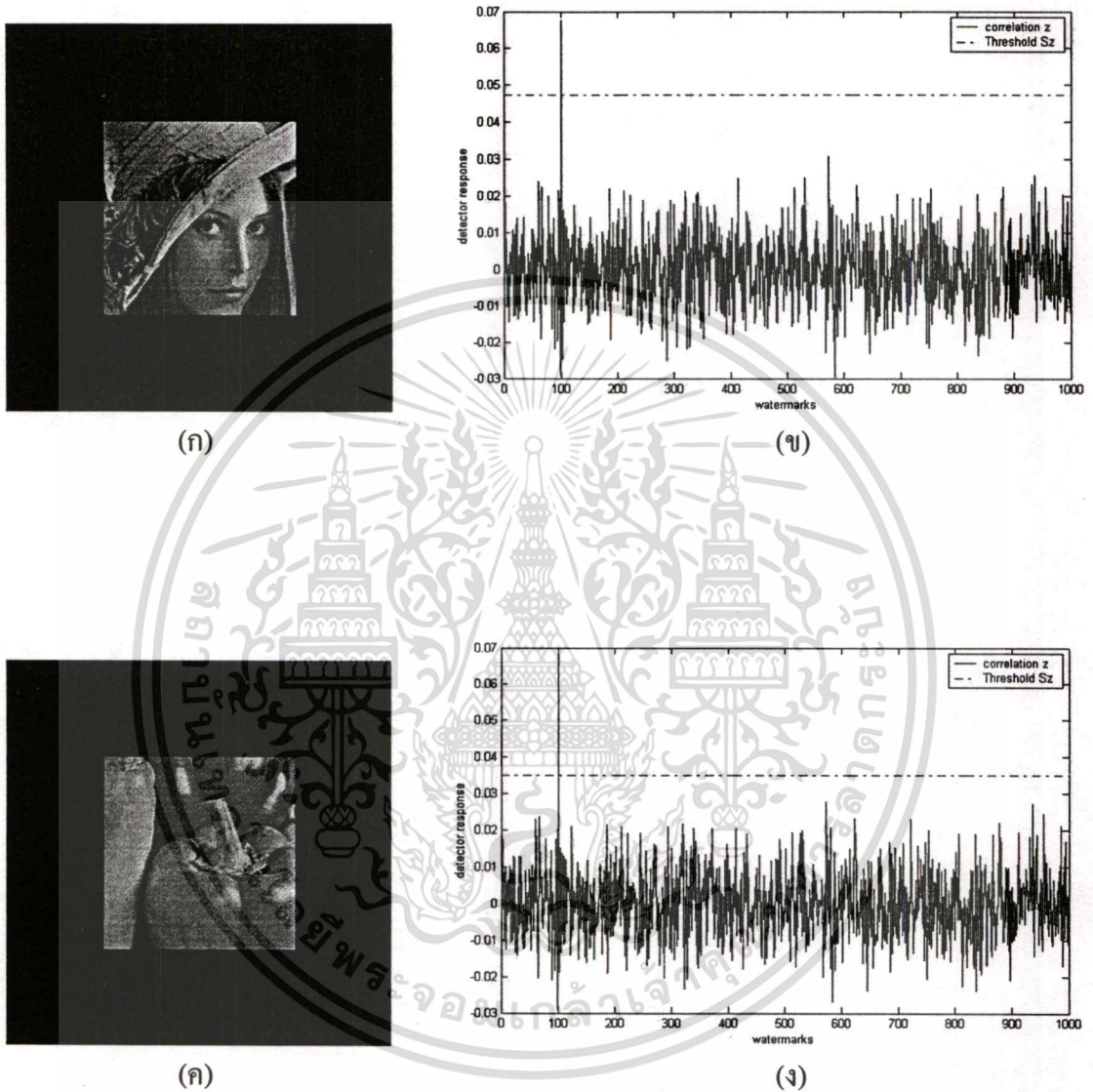


(ค)

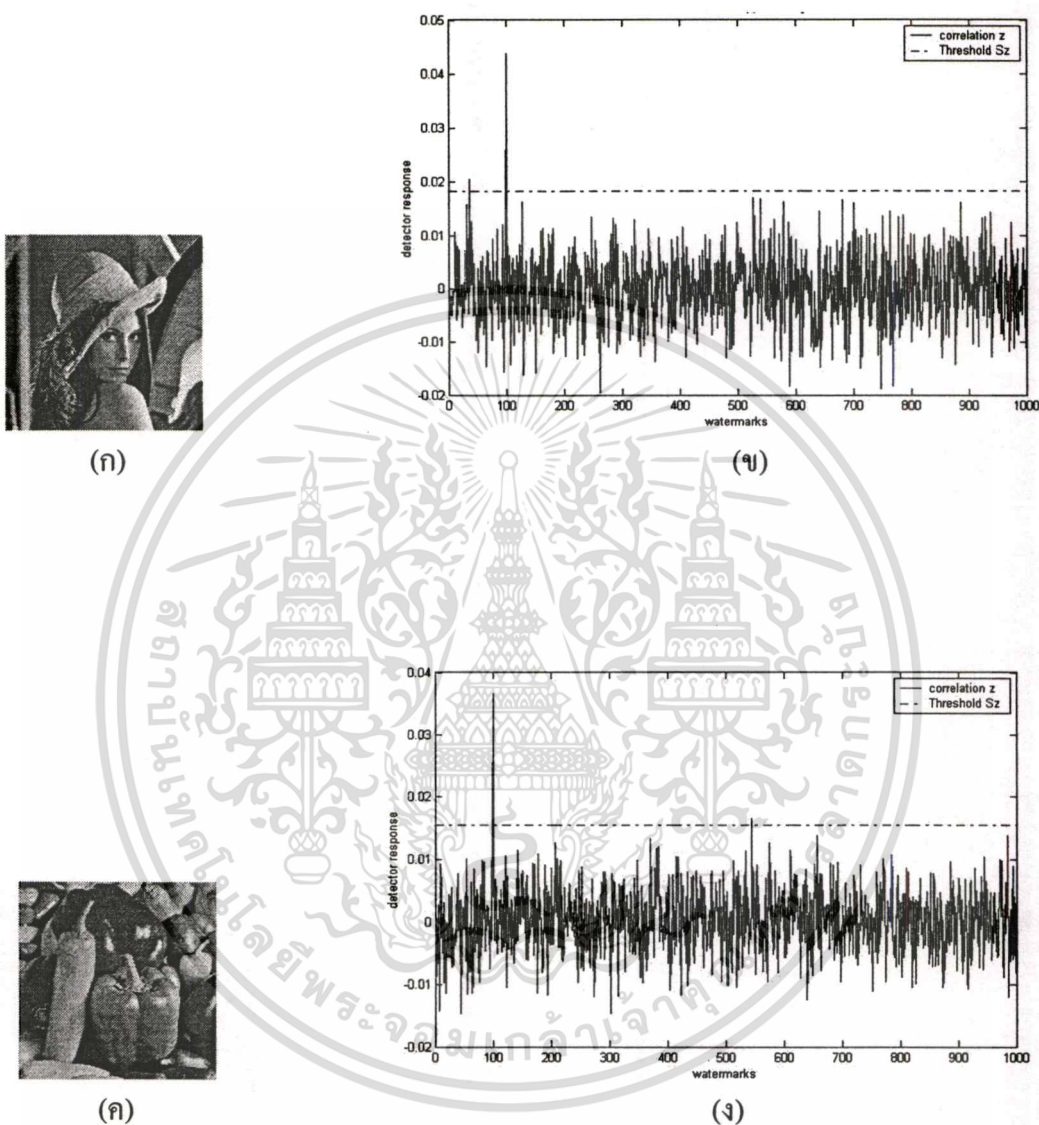


(ง)

รูปที่ 5.7 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทร โชลด์แบบคงที่ โดยทดสอบความคงทนด้วยการตัดบางส่วนของภาพเหลือ 1/4 ของภาพเดิม (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพออก (ข) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

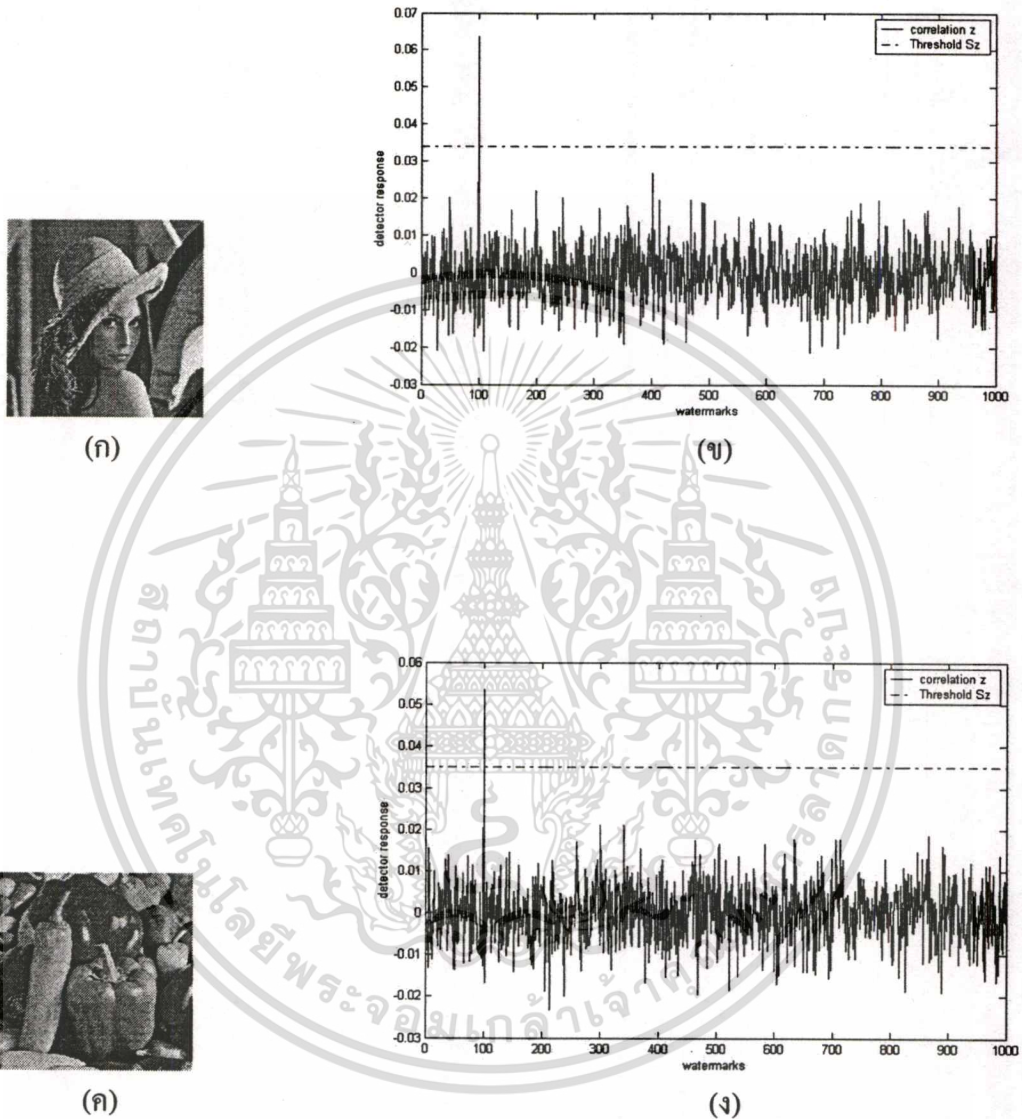


รูปที่ 5.8 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทร โชลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ท โดยทดสอบ ความคงทนด้วยการตัดบางส่วนของภาพเหลือ 1/4 ของภาพเดิม (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพออก (ข) และ(ง) ผลการ ตรวจสอบลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์แบบคงที่ โดยทำการลดขนาดของภาพลง 50 % ของภาพเดิม (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ที่มีลายน้ำที่ผ่านการลดขนาดของภาพลง (ข) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



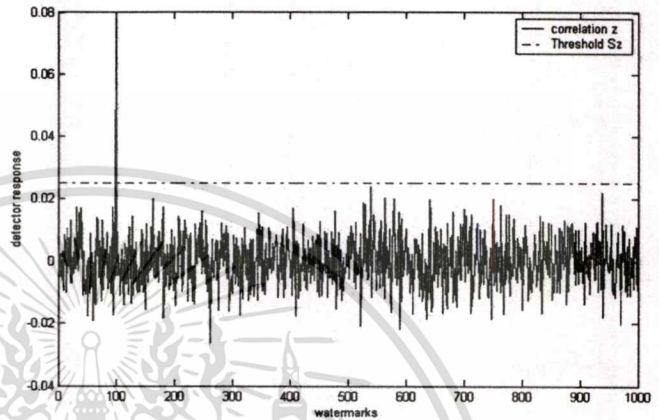
รูปที่ 5.10 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ต ที่ลดขนาดของภาพลง 50 % ของภาพเดิม (ก) และ (ค) ภาพ Lena และ ภาพ Peppers ภาพที่มีลายน้ำที่ผ่านการลดขนาดของภาพลง (ข) และ(ง) ผลการตรวจหาลายน้ำจากภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

5.3.3 ผลการทดลองโดยการบีบอัดภาพแบบ JPEG

เมื่อภาพลายน้ำถูกบีบอัดแบบ JPEG ผลการตอบสนองลดลง อย่างไรก็ตามผลตอบสนองจากการเข้ารหัส JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10% ยังคงมีค่าคอร์รีเลชันมากกว่าค่าเทรชโอล์ด



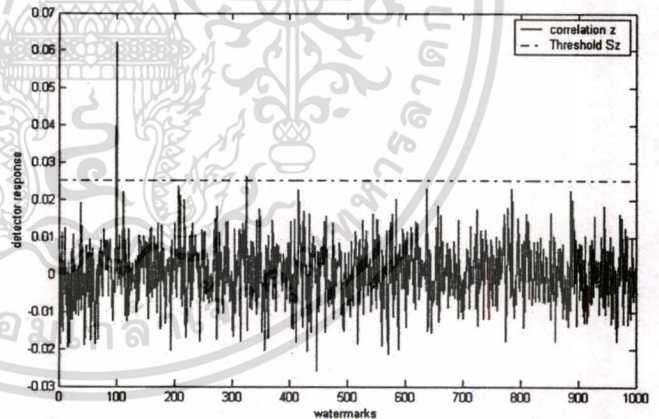
(ก)



(จ)



(ค)

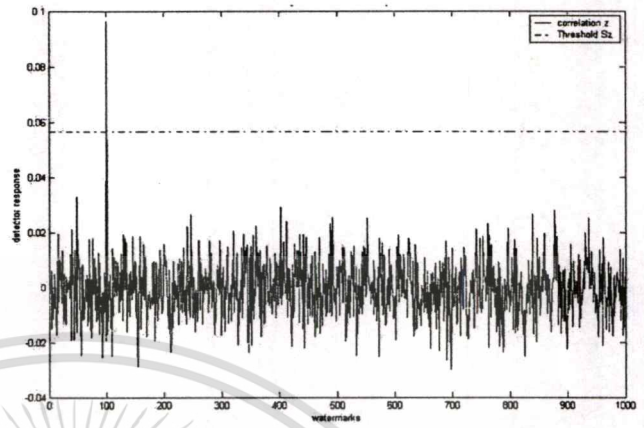


(ง)

รูปที่ 5.11 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกำหนดค่าเทรชโอล์ดแบบคงที่ ด้วยการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10 % (ก) และ (ค) ภาพ Lena และภาพ Peppers ที่ถูกฝังลายน้ำที่ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) และ (ง) ผลการตรวจหาลายน้ำของภาพ Lena และภาพ Peppers ตามลำดับ



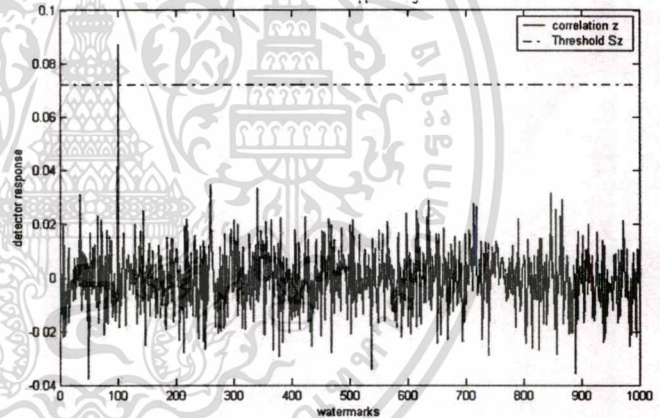
(ก)



(ข)



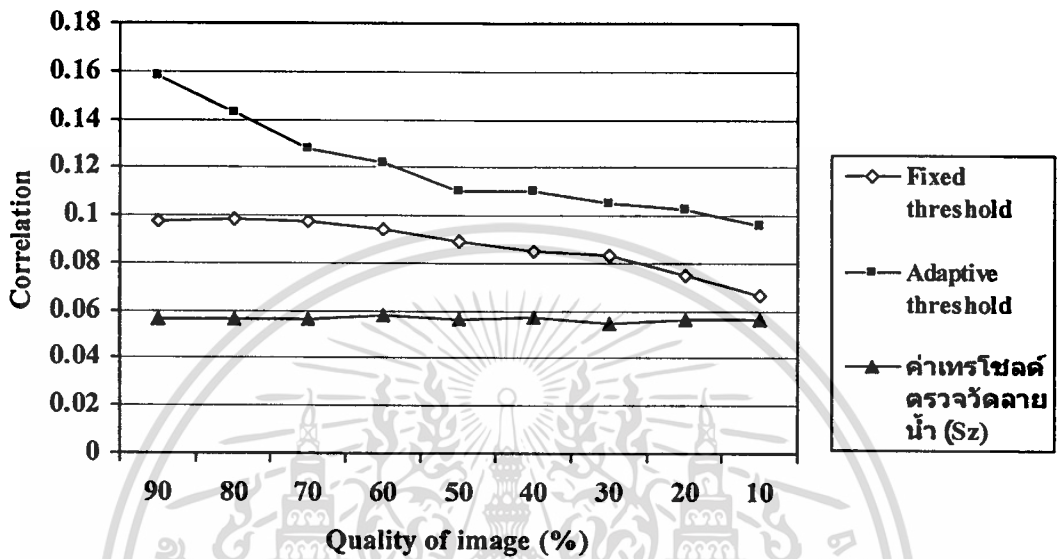
(ค)



(ง)

รูปที่ 5.12 ผลการทดลองด้วยเทคนิคค่าเทรโซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ตด้วยการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10 % (ก) และ (ค) ภาพ Lena และภาพ Peppers ที่ถูกฝังลายน้ำที่ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) และ (ง) ผลการตรวจหาลายน้ำของภาพ Lena และ ภาพ Peppers ตามลำดับ

รูปที่ 5.13 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์แบบคงที่กับเทคนิคที่นำเสนอจากการบีบอัดแบบ JPEG ที่อัตราส่วนต่างๆ จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าคอรีเลชัน (Z) จากเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ทมีค่ามากกว่าเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์แบบคงที่อย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบค่าคอรีเลชัน จากการบีบอัดแบบ JPEG ที่อัตราส่วนต่างๆ ของภาพ Lena

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบกับเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์คงที่ของภาพ Lena

Attacks	Fixed Threshold			Adaptive threshold				
	Z	Sz	PSNR (dB)	Z	Sz	PSNR (dB)	T1	T2
No attack	0.0897	0.0198	35.54	0.172	0.056	34.65	24.26	30.46
Median filter	0.044	0.022	25.94	0.06	0.046	25.93	9.73	18.55
Add Gaussian Noise	0.085	0.021	21.57	0.146	0.107	18.71	12.12	24.09
Cropping	0.041	0.018	14.89	0.069	0.035	14.88	10.40	19.87
resize	0.018	0.043	24.18	0.063	0.034	24.70	2.55	20.53
JPEG 10 %	0.078	0.025	24.56	0.096	0.056	24.54	15.8	22.60

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบเทคนิคกำหนดค่าเทอร์โซลด์คงที่ของภาพ Peppers

Attacks	Fixed Threshold			Adaptive threshold				
	Z	Sz	PSNR (dB)	Z	Sz	PSNR (dB)	T1	T2
No attack	0.072	0.02	40.24	0.160	0.074	38.94	20.58	26.28
Median filter	0.034	0.019	29.58	0.058	0.053	29.54	10.53	15.67
Add Gaussian Noise	0.072	0.026	23.38	0.150	0.10	23.48	13.00	18.03
Cropping	0.011	0.012	13.28	0.070	0.035	13.28	9.83	17.83
resize	0.036	0.015	26.09	0.035	0.052	26.08	2.83	15.5
JPEG 10 %	0.072	0.06	27.81	0.096	0.056	27.79	15.46	21.30

ตารางที่ 5.1 และ 5.2 ได้สรุปผลการคำนวณที่ได้จากการทดลองกับภาพ Lena และ ภาพ Peppers จากทั้งสองเทคนิคจะเห็นได้ว่าเมื่อนำภาพมาผ่านการ โจมตีลายน้ำแล้วก็ยังคงสามารถตรวจหาลายน้ำได้อย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบค่าคอร์รัชันของทั้งสองเทคนิคค่าคอร์รัชันจากเทคนิคค่าเทอร์โซลด์ปรับตามระดับการแปลงเวฟเล็ทก็ยังคงมีค่ามากกว่า ส่วนค่า PSNR จะมีค่าใกล้เคียงกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับ เทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลในโดเมนความถี่โดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ โดยลายน้ำเป็นรหัสลำดับข้อมูลสุ่มที่ได้จากการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ยศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง วิธีการที่นำเสนอได้เลือกฝังลายน้ำลงบนสัมประสิทธิ์ DWT ที่มีนัยสำคัญ โดยการหาค่าเทรโซลด์ที่ปรับเปลี่ยนตามระดับการแปลงเวฟเลต จึงทำให้ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลถูกฝังอยู่บริเวณขอบภาพ ซึ่งช่วยให้ภาพหลังการฝังลายน้ำดิจิทัลมีความโปร่งใส นั่นคือลายน้ำไม่สามารถสังเกตเห็นได้ และคุณภาพของภาพลดลงจากเดิมน้อยมาก

วิธีการทำลายน้ำภาพดิจิทัลที่ได้นำเสนอนี้ จะช่วยให้คุณภาพของภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำดิจิทัลมีความคงทนมากขึ้น เมื่อเทียบกับเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ ทั้งนี้แม้สัญญาณลายน้ำจะไม่ได้ถูกใส่จนครบทั้งภาพ แต่การที่ตำแหน่งของการใส่ลายน้ำนั้น เป็นไปในลักษณะเลือกฝังลายน้ำในสัมประสิทธิ์นัยสำคัญแต่ละระดับการแปลงเวฟเลตที่กระจายไปทั่วทั้งภาพ ลายน้ำจึงยังคงมีความปลอดภัยและช่วยเพิ่มความสะดวกในการใส่สัญญาณลายน้ำได้ดีขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคการทำลายน้ำตามอัลกอริทึมที่นำเสนอมีความคงทนต่อการโจมตีข้อมูลภาพ ด้วยเทคนิคการประมวลผลสัญญาณ เช่น การใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน การกรองภาพด้วยตัวกรองแบบมัลติเรสจัน รวมถึงการบิดเบือนทางเรขาคณิต เช่น การตัดบางส่วนออกจากภาพออกซึ่งทำให้ภาพขาดรายละเอียดของข้อมูลลายน้ำที่ฝังลงไปในภาพถึง 1 ใน 4 การลดขนาดภาพ และสุดท้ายคือการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG ซึ่งทั้งหมดนี้ยังคงสามารถทำการตรวจหาลายน้ำจากภาพอย่างถูกต้องและชัดเจน

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าเทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนความถี่จะมีความคงทนต่อการประมวลผลภาพหรือการบีบอัดภาพ JPEG ได้ดีกว่าเทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนสเปซเฟรควเ็นซี แต่ปัญหาที่พบในการทำลายน้ำทั่วไปคือข้อจำกัดและคุณสมบัติต่างๆ ในความคงทนของลายน้ำที่สร้างขึ้นจากอัลกอริทึมที่มีการนำเสนอขึ้นมา ไม่ว่าจะการเลือกวิธีการทำลายน้ำหรือวิธีการตรวจหาลายน้ำให้เหมาะสมกับงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทต่างๆ สำหรับการพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริงได้หลากหลายประเภทมากขึ้นอาจจะมีการพัฒนาโดยนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพชนิดอื่นๆ เช่น ภาพสี ภาพ 3 มิติ หรือภาพถ่ายดาวเทียม หรือข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบอื่นๆ เช่น ข้อมูลเสียง หรือ วิดีโอ เป็นต้น เราอาจนำเทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสลับเพื่อให้ข้อมูลมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลถูกลดรหัสออกมาแล้ว ตัวข้อมูลยังคงถูกป้องกันเอาไว้อีกชั้นหนึ่งจากการทำลายน้ำภาพดิจิทัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. J. Chae and B. S. Manjunath, 1998 **A robust embedded data from wavelet coefficients.** Proceedings of the SPIE International Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases VI, San Jose, CA, vol. 3312, pp. 308-317.
- [2] D. Kundur and D. Hatzinakos 1997 **A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion** Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, Oct. 26-29, , Santa Barbara, CA, vol. 1, pp. 544-547.
- [3] D. Hunter and B. Franklin. 1967. **Handmade paper and its watermarks : A bibliography.** New York :
- [4] J. Simpson and E. Weiner. 2000. **Oxford english dictionary.** New York : Oxford University Press.
- [5] D. Kahn, 1967. **The codebreakers: The story of secret writing.** New York : Scribner.
- [6] W. Szepanski. 1979. **A signal theoretic method for creating forgery-proof documents for automatic verification.** in J. S. Jackson Carnahan Conference on Crime Countermeasures, pp. 101-109.
- [7] L. Holt and et al. 1988. **Encoded marking of a recording signal.** U.K. Patent GB 2196167A
- [8] N. Komatsu and H. Tominaga. 1988 **Authentication system using concealed images in telematics.** Memoirs of the School of Science and Engineering, Waseda University, 52 : pp. 45-60.
- [9] C. Carr and P. E. O'Neill. 1995 **Adding INSPEC to your chemical search strategy: Let's get physical.** Database, 18(2): pp 99-102.
- [10] Anderson, R. 1996. **Information hiding** volume 1174 of Lecture Notes in Computer Science. Berlin; New York : Springer-Verlag
- [11] P. W. Wong and E. J. Delp, editors. 1999 **Security and watermarking of multimedia contents.** roceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, volume 3657.
- [12] P. W. Wong and E. J. Delp, 2000. **Security and watermarking of multimedia contents II.** Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, volume 3971.
- [13] Herodotus. 1996 **The histories.** Translated by Aubrey de Sélincourt. London: Penguin Books.

- [14] F. A. P. Petitcolas and et al. July 1999. **Information hiding-A survey**. Proceedings of the IEEE, Special issue on protection of multimedia contents, 89(7) : pp 1062-1078.
- [15] I.Pitas, **A method for signature casting on digital images**. Proceedings of ICIP' 96 IEEE, Newyork, 1996, Vol. III, pp.215-218.
- [16] N. Nikolaidis and I. Pitas 1998 **Robust image watermarking in the spatial domain**. Signal Process. 66, pp 385-4030.
- [17] W. Bender and et al. 1996 **Techniques for data hiding**. IBM Systems Journal, Vol. 35, Nos. 3&4, pp. 313-336.
- [18] A. Z. Tirkel and et al. 1998 **Image and watermark registration**. Signal Process. 66, pp 373-383.
- [19] I. J. Cox, J. Kilian and et al. 1997 **Secure spread spectrum watermarking for multimedia**. IEEE Trans. Image Proc., Vol. 6, No. 12.
- [20] M. D. Swanson and et al. 1998. **“Robust audio watermarking using perceptual masking**. Signal Process. 66, pp 337-355.
- [21] Patrick Loo and Nick G. Kingbury. August 1999. **Digital watermarking using complex wavelets**. Technical support, Department of Engineering, Cambridge University, UK
- [22] R. Van Schyndel and et al. **A digital watermark**. in Proc. IEEE internet. Conf. Image Processing'94, Austin, Texas, November 1994, pp.86-90.
- [23] A. Piva, M. Barni and F. Bartolini. July 1998. **Copyright protection of digital image by means of frequency domain watermarking**. In Proc. SPIE's Int. Symposium on Optical Science, Engineering and Instrumentation, San Diego, CA, USA.
- [24] P. Wolfgang and E. Delp June 1997 . **A watermarking technique for digital imagery: Further studies**. Proceedings of the International Conference on Imaging Science Systems and Technology, Las Vegas, pp. 544-547.
- [25] R.J. Anderson and F. Petitcolas. May 1998 **On the limits of steganography**. IEEE Journal on Selected Area in Communications, vol.16, no.4, pp.474-481.
- [26] M. Kutter and F.A.P. Petitcolas 25-27 January 1999. **A fair benchmark for image watermarking systems**. proceedings of Electronic Imaging '99, Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 3657, pp. 226-239, San Jose, California, U.S.A.

- [27] F. Hartung, J. K. Su, and B. Girod January 1999. **Spread spectrum watermarking: Malicious attacks and counterattacks**. Proc. SPIE 3657: Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, CA.
- [28] Chui, C. K. 1992. **An introduction to wavelets**. Boston : Academic Press.
- [29] Young, R. K. 1993. **Wavelet theory and its applications**. Boston : Kluwer Academic Publishers.
- [30] O. Rioul and P. Duhamel. **Fast algorithms for discrete and continuous wavelet transform**. IEEE Transactions on Information Theory. Vol.38. no.2, March 1992. pp. 569-586.
- [31] I. Daubechies. November 1988. **Orthonormal bases of compactly supported wavelets**. Communication in Pure and Applied Mathematics. Vol. 41, pp 909-996.
- [32] C. S. Burrus and et al. 1998. **Introduction to wavelets and wavelet transforms : A primer**. New Jersey : Prentice Hall International Inc.
- [33] Dugad, R. and et al. Oct 1998 **A new wavelet-based scheme for watermarking images**. Proc IEEE ICIP'98.
- [34] Jerome M. Shapiro. December 1993. **Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients**. IEEE Transactions on Signal Processing, 41(12) : pp 3445-3462.
- [35] Said, A. and William A. Pearlman. June 1996. **A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees**. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, volume 6, pages 243-250.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวัดประสิทธิผลของข้อมูลภาพ

เกณฑ์ในการวัดค่าประสิทธิผลของภาพสามารถหาได้จากค่าต่างๆดังนี้

ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error, MSE) ในการหาค่าความผิดพลาดเชิงเลข นิยมใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error, MSE) ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าภาพที่ได้กลับคืนมามีความผิดเพี้ยนจากภาพต้นแบบน้อย สามารถหาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลภาพขนาด $M \times N$ ได้ดังนี้

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2$$

โดยที่ M คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างของภาพ

N คือ จำนวนพิกเซลตามความสูงของภาพ

$f(x, y)$ คือ ค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (x, y) ของภาพต้นแบบ

$\hat{f}(x, y)$ คือ ค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (x, y) ของภาพที่สร้างกลับคืนมาใหม่

อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak signal-to-noise ratio, PSNR) ในการใช้งานบางประเภท นิยมใช้ค่า PSNR ซึ่งหาได้จาก

$$PSNR = 10 \log \frac{Peak^2}{MSE} \quad (dB)$$

โดยที่ Peak คือค่าสูงสุดของขอบเขตข้อมูล สำหรับภาพที่มีพิกเซลแทนด้วยขนาดข้อมูล n บิต จะมีจำนวนระดับความเทา (gray scale) เท่ากับ 2^n จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (dB)$$

ดังนั้นภาพขนาด 8 บิต หรือมีจำนวนระดับความเทาเท่ากับ 256 ระดับ จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (dB)$$

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. P. Rakprathanporn, M. Ladhawanidphan, Y. Rangsanseri and P. Thitimajshima “**Wavelet-Based Digital Image Watermarking Using Level Adaptive Threshold**”, The 2nd WSEAS International Conference on Signal, Speech and Image Processing (ICOSSIP 2002), Athens, Greece, Sep 2002.
2. P. Rakprathanporn, Y. Rangsanseri, P. Thitimajshima and T. Kusumavalee “**Unsupervised Texture Segmentation of Images Based on Local Energy of Gabor Features**”, The International Conference on Telecommunications (ICT'2002), Beijing, China, Jun 2002.
3. P. Rakprathanporn, Y. Rangsanseri and P. Thitimajshima “**Wavelet-based Watermarking for Digital Images**”, Proceedings 2000 Asia-Pacific Symposium on broadcasting Communications (APSBC' 2000), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, Dec 2000.
4. P. Rakprathanporn, Y. Rangsanseri and S. Dachasilaruk “**Comparative Study of Deblocking Techniques in JPEG Coded Images**”, Proceeding First National Symposium on Graduate Research, Chiangmai University, Chiangmai, Thailand, Jun 2000.
5. P. Rakprathanporn, Y. Rangsanseri “**Image De-noising by Wavelet Thresholding Technique**”, The 37th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, Feb 1999.
6. P. Rakprathanporn, Y. Rangsanseri and P. Thitimajshima “**A simple SAR Speckle Reduction by Wavelet Thresholding**”, Proceeding of the 19th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS'1998), Manila, Philippine, Nov 1998.

ประวัติผู้เขียน

นายประพนธ์ รักประทานพร เกิดเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2514 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ปีการศึกษา 2537

ปี 2546 เข้าทำงานในบริษัทเอ็นอีซี ซีเอสเอ็ม อินทิเกรชั่น แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด ในตำแหน่งผู้จัดการ แผนกติดตั้งอุปกรณ์ลูกข่ายโทรศัพท์พื้นฐานที่ใช้คลื่นวิทยุ ในโครงการ WLL (Wireless Local Loop)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้