

การป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพโดยใช้ลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้

COPYRIGHT PROTECTION OF IMAGES USING
ADAPTIVE DCT-BASED WATERMARKING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-425-7

การป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพโดยใช้ลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้

COPYRIGHT PROTECTION OF IMAGES USING
ADAPTIVE DCT-BASED WATERMARKING



เลขที่.....
เลขทะเบียน 40802
วัน, เดือน, ปี 26 พ.ย. 2544

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2544

ISBN 974-648-425-7

101123306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT PROTECTION OF IMAGES USING
ADAPTIVE DCT-BASED WATERMARKING**



**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**

2001

ISBN 974-648-425-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพโดยใช้ลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้
COPYRIGHT PROTECTION OF IMAGES USING ADAPTIVE
DCT-BASED WATERMARKING

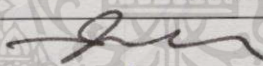

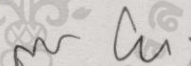
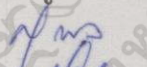
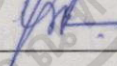
ชื่อนักศึกษา นายวีรณัฐ ภาษามาก

รหัสประจำตัว 40061022

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สุทธิชัย	นพนาถิพงษ์	
ผศ.ดร.ปัญญา	ฐิติมัทธินา	
รศ.สมยศ	จุลณะปิยะ	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 กันยายน 2544 เวลา 13.30-15.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๔.....เดือน.....๕.....พ.ศ.....๒๕๔๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพโดยใช้ลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้
นักศึกษา	นายวีรณัฐ ภาษามาก
รหัสประจำตัว	40061022
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

การทำลายน้ำดิจิทัลถูกเสนอขึ้นมา เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลมัลติมีเดียในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายซึ่งสามารถกระจายส่งต่อถึงกันอย่างรวดเร็วและ ง่ายดาย โดยเหตุที่ลายน้ำสามารถบ่งบอกถึงความเป็นเจ้าของสื่อเหล่านั้นได้ การทำลายน้ำมีด้วยกันหลายวิธี แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอเทคนิคในการใส่ลายน้ำลงในภาพดิจิทัล ในโดเมนความถี่โดยทำการฝังลายน้ำซึ่งในที่นี้ใช้ลำดับแบบสุ่มของจำนวนจริงลงในชุดของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ทำการเลือกไว้ในช่วงที่เหมาะสม และใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System ในการทำให้สังเกตเห็นลายน้ำที่ฝังไว้ได้ยากขึ้น ด้วยวิธีนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบมาเปรียบเทียบในการตรวจหาลายน้ำ เทคนิคที่นำเสนอนี้ได้ปรับปรุงวิธีการตรวจหาลายน้ำระหว่างภาพที่มีลายน้ำอยู่กับภาพต้นแบบ โดยต้องมีความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลภาพและการลดทอนทางเรขาคณิตต่างๆ

Thesis Title	Copyright Protection of Images Using Adaptive DCT-based Watermarking.
Student	Mr. Weeranat Phasamak
Student ID.	40061022
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Yuttapong Rangsanseri

ABSTRACT

Digital watermarking has been proposed as a viable solution to the need of copyright protection of multimedia data in a networked environment, since it makes possible to identify the owner of a document. In this thesis a new watermarking technique to add a code to digital images is presented: the method operates in the frequency domain embedding a pseudo-random sequence of real numbers in a selected set of DCT coefficients. Exploiting the masking characteristics of the Human Visual System, to ensure watermark invisibility. The embedded sequence is extracted without resorting to original image, so that the proposed technique represents a major improvement to methods relying on the comparison between the watermarked and original images. The watermark is robust to most of the signal processing techniques and geometric distortions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายๆ ฝ่าย ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีส่วนร่วมสนับสนุนช่วยเหลือและแนะนำให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนห้องทดลองและการทำงานต่อผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปัญญา จิตมิมขิมา ที่ให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน เสมอมา ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณ พื้หนิง พื้ตุ๊กตา โป่ง เล็ก ประพนธ์ อ็อค ริน ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณภัทรวรรณ และครอบครัวที่คอยดูแลให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วีรณัฐ ภาษามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการฝังลายน้ำ	4
2.1 สื่อดิจิทัล	4
2.2 สเตกโนกราฟี	5
2.3 การทำลายน้ำดิจิทัล	6
2.4 การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำ	7
2.5 สิ่งที่ต้องการสำหรับแบบแผนความคงทนของการทำลายน้ำ	11
2.6 ข้อกำหนดของความคงทน	15
2.7 การจำแนกเทคนิคการทำลายน้ำภาพ	17
2.8 สรุป	22
บทที่ 3 การทำลายน้ำภาพโดยใช้ DCT	23
3.1 การทำลายน้ำในโดเมนความถี่	23
3.2 ลำดับของลายน้ำ	24
3.3 การฝังลายน้ำ	25
3.4 การตรวจหาลายน้ำ	28
3.5 การปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำในภาพ	31
3.6 สรุป	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 การวัดคุณภาพของภาพภายหลังการใส่ลายน้ำ.....	33
4.2 ผลการทดลองขณะไม่มีสัญญาณรบกวนใดๆ	35
4.3 การทดสอบความคงทนของลายน้ำ.....	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผลการวิจัย	44
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก. การเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	50
ภาคผนวก ข. คุณสมบัติทางสถิติของค่าคอร์รีเลชัน	56
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	61
ประวัติผู้เขียน	62

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการเข้ารหัสลายน้ำ	6
2.2 การแพร่กระจายของข้อมูลที่มีการฝังลายน้ำ.....	7
2.3 กระบวนการตรวจหาลายน้ำจากข้อมูลที่อาจเกิดความเสียหายมา.....	8
2.4 การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำ.....	9
2.5 การประมวลผลสัญญาณหรือความผิดเพี้ยนต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับข้อมูล	16
2.6 การแบ่งเทคนิคของการทำลายน้ำ.....	18
2.7 บล็อกโคอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้แบบส่วนตัว	21
2.8 บล็อกโคอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้แบบส่วนตัว	22
3.1 การเรียงลำดับของสัมประสิทธิ์ DCT ใหม่ในรูปแบบของ ซิกแซกสแกน	26
3.2 กระบวนการฝังลายน้ำในอัลกอริธึมที่นำเสนอ	27
3.3 บล็อกโคอะแกรมการฝังลายน้ำในอัลกอริธึมที่นำเสนอ.....	27
3.4 กระบวนการตรวจหาลายน้ำในอัลกอริธึมที่นำเสนอ	30
3.5 บล็อกโคอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในอัลกอริธึมที่นำเสนอ.....	30
3.6 บล็อกโคอะแกรมที่ใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System.....	32
4.1 (ก) ภาพต้นแบบ Lenna ขนาด 512x512 (ข) ภาพที่ใส่ลายน้ำแล้วโดยยังไม่ผ่าน การปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS (PSNR=38.82 dB) (ค) ภาพที่ผ่านการ ปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS (PSNR=39.77 dB)	36
4.2 ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพในรูปที่ 4 (ค) โดยมีค่าเรโซลต์ $T_p = 0.7571$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 1.1866.....	36
4.3 (ก) ภาพต้นแบบ Boat ขนาด 512x512 (ข) ภาพที่ใส่ลายน้ำแล้วโดยยังไม่ผ่าน Visual Masking (PSNR=40.12 dB) (ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ด้วย HVS (PSNR=42.10 dB)	37
4.4 ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพในรูปที่ 4.3 (ค) โดยมีค่าเรโซลต์ $T_p = 1.1980$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 2.6360.....	37
4.5 (ก) ภาพ Lenna ที่ผ่านการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_p = 0.7803$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 1.2628	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 (ก) ภาพ Boat ที่ผ่านการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 1.1625$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 1.6651	39
4.7 (ก) ภาพ Lenna ที่ใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 1.8652$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 2.1870	40
4.8 (ก) ภาพ Boat ที่ใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 2.0387$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 3.1672	40
4.9 (ก) ภาพ Lenna ที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 1.2852$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 3.0689	41
4.10 (ก) ภาพ Boat ที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 2.3079$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 7.9915	41
4.11 (ก) ภาพ Lenna ที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพ โดยมีพื้นที่ของภาพเหลือ 50% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 0.6405$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 0.8386	42
4.12 (ก) ภาพ Boat ที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพ โดยมีพื้นที่ของภาพเหลือ 50% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 0.7650$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 0.9315	42
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำระหว่าง ค่าสูงสุดลำดับแรกและลำดับที่สอง กับ ค่าเรโซลต์	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทำให้ข้อมูลดิจิทัล อาทิ วิดีโอ เสียง รูปภาพ ต่างๆ สามารถกระจายส่งต่อกันอย่างรวดเร็วและ ง่ายดายขึ้น ทำให้เกิดปัญหา การคัดลอกสื่อ โดยมีได้รับอนุญาตจากเจ้าของสื่อต่างๆ เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน การป้องกัน ปัญหาเหล่านี้เราสามารถนำใช้เทคนิคแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า ลายน้ำดิจิทัล (Digital Watermarking) ซึ่งจะ ถูกฝังอยู่อย่างถาวรในข้อมูลดิจิทัลและสามารถตรวจสอบได้ในภายหลัง โดยที่ลายน้ำดิจิทัลจะใช้ เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของสื่อต่างๆ เหล่านี้ได้ การทำลายน้ำกับข้อมูลภาพดิจิทัล ประกอบด้วย ข้อมูลภาพกับลายน้ำดิจิทัล โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (key information) หรือรหัสส่วนตัวที่ฝัง ลงไปบนภาพ และต้องไม่เห็นความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่มีลายน้ำ โดยทั่วไป เทคนิคลายน้ำในภาพดิจิทัลต้องการให้ผลเป็นไปตามคุณสมบัติดังนี้ การฝังลายน้ำต้องไม่ทำให้ คุณภาพของภาพด้อยลงและไม่ควรสังเกตเห็นได้ง่าย คุณสมบัติของลายน้ำของภาพควรกำจัด ทิ้งได้ยาก ควรมีความคงทนต่อกระบวนการประมวลผลสัญญาณต่างๆ และการลดทอนทาง เรขาคณิต โดยสามารถทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำภาพดิจิทัลด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การบีบอัดข้อมูลภาพ, การกรองภาพ, การตัดบางส่วนของภาพ, การย่อหรือขยายขนาดภาพ เป็นต้น

ได้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ มากมายเพื่อทำการฝังลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำ ซึ่งเทคนิค เหล่านี้ได้มีการนำเสนอในบทความต่างๆ เสมือนเป็นกลไกอย่างหนึ่งในขั้นตอนของการปรับปรุง วิธีในการฝังลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำให้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคในการ ฝังลายน้ำลงในข้อมูลดิจิทัลชนิดอื่นๆ ได้ทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่ในการเพิ่มลายน้ำเข้าไปในภาพดิจิทัล โดยเสนออัลกอริทึมที่ ทำงานในโดเมนความถี่ ซึ่งการฝังลายน้ำกระทำโดยใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System (HVS) เข้ามาช่วยในการปรับเปลี่ยนระดับของลายน้ำที่ฝังลงไปบนภาพดิจิทัลให้เหมาะสม ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มระดับของลายน้ำในขั้นตอนของการฝังลายน้ำได้อีก เพื่อให้มีความคงทนต่อเทคนิค การประมวลผลภาพและการลดทอนทางเรขาคณิตได้มากขึ้น และการตรวจหาลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ ภาพต้นแบบ จุดประสงค์หลักของเทคนิคนี้เสนอการปรับปรุงวิธีการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่มี

ลายน้ำและภาพต้นแบบ ซึ่งอัลกอริธึมมีความคงทนเพียงพอต่อการนำเสนอในจุดเริ่มต้นที่ดีในการป้องกันข้อมูลภาพในสภาพแวดล้อมของเครือข่าย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในส่วนของการวิจัยได้เสนอการฝังลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้เพื่อป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพดิจิทัล จากการคัดลอกภาพดิจิทัลโดยมิได้รับอนุญาตจากเจ้าของภาพนั้นๆ และเพื่อให้มีความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลภาพ เช่น การบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG และการลดทอนทางเรขาคณิตต่างๆ เช่น การตัดบางส่วนของภาพออกไป ในส่วนของการทดลอง ได้ทำการทดลองกับเทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG การใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและการตัดบางส่วนของภาพออก ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ภาพเกิดความเสียหาย และผิดเพี้ยนไปจากเดิมค่อนข้างมาก

วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็น 5 บท ในแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงที่มาของปัญหางานวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำวิจัยและขอบเขตเนื้อหาของการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการฝังลายน้ำ

กล่าวถึงเทคโนโลยีของการฝังลายน้ำ ความเป็นมา การประยุกต์ใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ในด้านต่างๆ และความต้องการต่างๆ ของการทำลายน้ำซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ลายน้ำควรมี เช่น ความปลอดภัย ความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลสัญญาณต่างๆ และการผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต การไม่สามารถสังเกตเห็นได้ การวิเคราะห์ทางทฤษฎี และการแบ่งประเภทของการทำลายน้ำโดยจะแยกเป็นสองลักษณะคือตามลักษณะการฝังลายน้ำลงไปภาพ และลักษณะในการตรวจหาลายน้ำจากภาพ

บทที่ 3 ระบบการทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพระดับเทา

กล่าวถึง การทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพระดับเทาในโดเมนความถี่ซึ่งมีขั้นตอนการฝังลายน้ำที่เลือกฝังลำดับแบบสุ่มที่เป็นจำนวนจริงลงในชุดสัมประสิทธิ์ของ DCT (Discrete Cosine Transform) ที่ได้เลือกไว้ การตรวจหาลายน้ำด้วยอัลกอริธึมใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ การเลือกค่าแรมโซลด์ในการตรวจหาลายน้ำให้เหมาะสมกับภาพแต่ละประเภท และการปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำในภาพด้วย HVS ซึ่งในส่วนนี้ลายน้ำที่ผ่านการปรับปรุงจะสามารถปรับเปลี่ยนระดับของตัวเองได้จากการฝังในขั้นตอนแรกเพื่อให้มีความเหมาะสมกับแต่ละช่วงของภาพ

บทที่ 4 ผลการทดลอง

กล่าวถึง การทำลายน้ำกับภาพดิจิทัลด้วยอัลกอริธึมที่นำเสนอ จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำด้วยเทคนิคต่างๆ ที่มีใช้กันมากในปัจจุบัน หลังจากผ่านกระบวนการการฝังลายน้ำแล้ว ซึ่งผ่านการปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำที่ทำให้ลายน้ำปรับเปลี่ยนระดับพลังงานของตัวเองได้ และการตรวจหาลายน้ำ ที่ผ่านเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณภาพแบบต่างๆ และความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดสอบของการทำลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำแบบใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบตามอัลกอริธึมที่ได้นำเสนอ ที่ฝังลงบนภาพระดับเทาที่ผ่านการทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการวิจัยที่สามารถพัฒนาต่อไปได้ เพื่อให้นำไปใช้งานในงานจริงได้หลากหลายมากขึ้น

และในส่วนสุดท้ายเป็นภาคผนวก เป็นรายละเอียดของคุณสมบัติทางสถิติของสัญญาณคอร์รีเลชัน เพื่อเป็นรายละเอียดสำหรับผู้สนใจและต้องการเข้าใจในเนื้อหาได้มากขึ้นเพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยต่อไปได้

บทที่ 2

หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการฝังลายน้ำ

การแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของเอกสารสื่อดิจิทัลในระบบเครือข่ายเปิด เนื่องจากข้อดีหลายๆ อย่าง ของสื่อดิจิทัลเมื่อเทียบกับสื่ออื่นๆ ที่ผ่านมาซึ่งถูกจำกัดด้วยค่าแพ็คเกจต่างๆ โดยข้อมูลดิจิทัลสามารถทำสำเนาขึ้นมาใหม่ให้เหมือนกับต้นฉบับได้ง่าย ซึ่งทำให้เกิดการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ง่าย แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เราสามารถนำการฝังลายน้ำดิจิทัลซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่น่าหลักการในการวิจัยหลายๆ แขนงมาใช้ อย่างเช่น สเตเกโนกราฟี คริปโตกราฟี ทฤษฎีการสื่อสารและการประมวลผลสัญญาณ ในบทนี้จะนำเสนอเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการป้องกันลิขสิทธิ์ของสื่อดิจิทัล โดยพิจารณาในส่วนของการใช้ที่ไปได้ ความต้องการในด้านต่างๆ ของการฝังลายน้ำดิจิทัล กฎเกณฑ์ความคงทนที่มีผลต่อลายน้ำ และอื่นๆ โดยจะแยกออกเป็นประเภทต่างๆ ตามเทคนิคการฝังลายน้ำกับภาพดิจิทัล ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.1 สื่อดิจิทัล

ไม่กี่ปีที่ผ่านมาระบบมัลติมีเดีย (Multimedia) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากจำนวนของข้อมูลข่าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมากมายซึ่งถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของดิจิทัล ในทางอุตสาหกรรมมีการจัดส่งข้อมูลเสียง ภาพ และ วิดีโอ ในรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์ไปยังลูกค้า และการแพร่ภาพโทรทัศน์ ในองค์กรส่วนใหญ่ และการเก็บรูปภาพด้วยการแปลงข้อมูลจากในรูปของแอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล อย่างเช่น เอกสารที่อยู่ในกระดาษ การบันทึกเสียงแบบแอนาล็อก ฟิล์มเซลลูลอยด์ ไปอยู่ในรูปแบบของสื่อดิจิทัล เนื่องจากข้อดีหลายๆ อย่างของสื่อดิจิทัลเมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลในรูปแบบเดิมๆ คุณภาพของสัญญาณดิจิทัลสูงกว่าสัญญาณแอนาล็อกซึ่งจะเสื่อมลงไปตามกาลเวลา และข้อมูลแบบแอนาล็อกต้องการระบบที่มีราคาแพงเพื่อทำสำเนาให้ได้คุณภาพสูงเหมือนต้นแบบ ในขณะที่ข้อมูลดิจิทัลสามารถทำสำเนาได้โดยง่ายโดยปราศจากการสูญเสียความคมชัดซึ่งทำให้เหมือนต้นแบบได้อย่างสมบูรณ์ ยิ่งไปกว่านั้น สัญญาณเสียง ภาพ และวิดีโอดิจิทัลสามารถส่งผ่านระบบเครือข่ายได้โดยง่าย อย่างเช่น อินเทอร์เน็ต เมื่อเป็นเช่นนี้ในปัจจุบันข้อมูลมัลติมีเดียจำนวนมากจึงมีอยู่ให้เลือกใช้ได้จากทุกหนทุกแห่งในโลก ซึ่งมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่สูงผ่านบริการด้านมัลติมีเดียที่มีอยู่ เช่น การทำพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การโฆษณา อินเทอร์เน็ตทีวี ห้องสมุดดิจิทัล การทำงานทางไกล การปรึกษาทางไกล หนังสือพิมพ์ผ่านเวปวารสารออนไลน์ และอื่นๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นไปได้ที่เราจะซ่อนข้อมูลบางอย่างไว้ในข้อมูลดิจิทัลเหล่านี้ ด้วยวิธีเปลี่ยนแปลงข้อมูลในส่วนที่ไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยสายตามนุษย์ เทคนิคการฝังข้อมูลดิจิทัลมีใช้ในหลายๆ งานประยุกต์ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้ อย่างไรก็ตามก่อนหน้านี้สำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ถูกจำกัดด้วยแพ็คเกจในการพัฒนาด้านการบริการเครือข่ายมัลติมีเดีย ซึ่งก็คือผู้แต่ง ผู้ตีพิมพ์ และ ผู้จัดทำข้อมูลมัลติมีเดียไม่ยินดีจะอนุญาตให้มีการเผยแพร่เอกสารข้อมูลของตนเองในระบบเครือข่าย เพราะว่าในการทำสำเนาของข้อมูลดิจิทัลขึ้นมาใหม่ให้เหมือนกับข้อมูลต้นแบบไม่ใช่เรื่องยาก ซึ่งถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ การขั้กขอกข้อมูล และการโจรกรรม เป็นต้น ในความเป็นจริง การพัฒนาในอนาคตของระบบมัลติมีเดียในเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเครือข่ายเปิดอย่างอินเทอร์เน็ต ซึ่งต้องพัฒนาวิธีการป้องกันและจัดการลิขสิทธิ์ของเจ้าของข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากผู้ไม่ประสงค์ดีและการเผยแพร่ข้อมูลเหล่านี้ไปในเครือข่าย การป้องกันลิขสิทธิ์ของข้อมูลมัลติมีเดียจะเป็นผลสำเร็จได้โดยอัลกอริธึมคริปโตกราฟี เพื่อจัดการการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลทั้งหมดและทำให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต ไม่สามารถอ่านข้อมูลเหล่านี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบเอนคริปชันไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้สมบูรณ์ เพราะว่าเมื่อใดก็ตามที่เอนคริปชันถูกลบออกไปก็จะไม่สามารถควบคุมการแพร่กระจายของข้อมูลได้อีกต่อไป แนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้จากวิธีเผชิญหน้าด้วยการฝังลายน้ำดิจิทัลของงานมัลติมีเดีย โดยอนุญาตให้ข้อมูลเหล่านี้ถูกเผยแพร่ออกไปได้โดยสามารถติดตามตรวจสอบในภายหลังได้ ด้วยวิธีนี้จำนวนในการทำสำเนาจะไม่ถูกจำกัด แต่เป็นไปได้ที่ยังสามารถควบคุมไม่ให้งานต้นแบบเผยแพร่ออกไป

2.2 สเตเกโนกราฟี

เทคนิคการฝังลายน้ำมีหลักการพื้นฐานอยู่บนหลายๆ สาขาการวิจัย เช่น สเตเกโนกราฟี, คริปโตกราฟี ทฤษฎีการสื่อสาร และการประมวลผลสัญญาณ

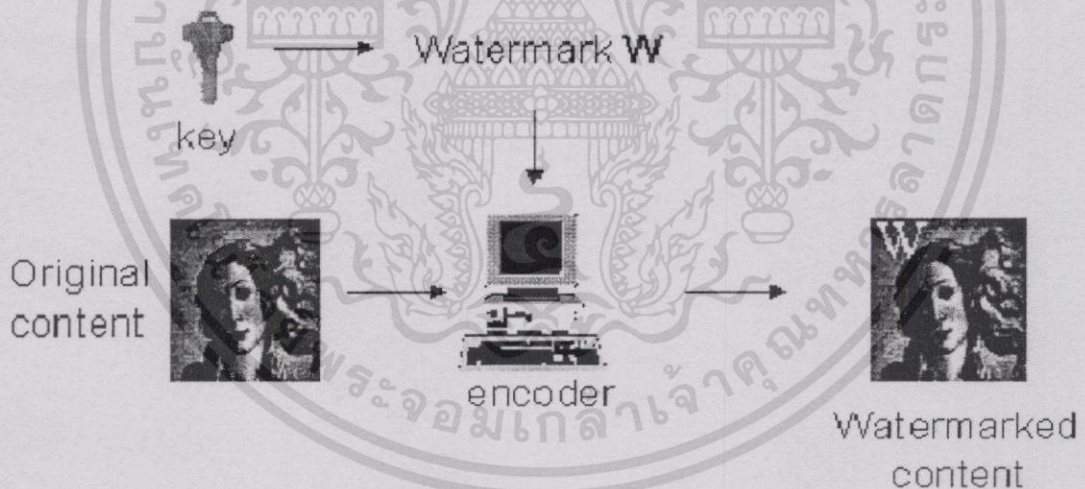
ส่วนใหญ่แล้วเทคนิคเหล่านี้มีกำเนิดโดยตรงมาจาก สเตเกโนกราฟี (steganography) ที่มีความหมายว่า *covered writing* (จากคำในภาษากรีก "Stegano" หรือ "Covered" และ "graphos" หรือ "to write") สเตเกโนกราฟีเป็นศาสตร์ของการซ่อนข้อมูลข่าวสารในการสื่อสารซึ่งยังคงมีอยู่ในการสื่อสารปัจจุบัน ซึ่งต่างจากคริปโตกราฟีที่ตั้งใจทำให้ข่าวสารนี้ไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถอ่านออกได้ จุดหมายของสเตเกโนกราฟีคือการซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัย ซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากในการตรวจหาได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับปรากฏซ่อนอยู่ภายใน โดยหนึ่งในเอกสารแรกๆ ที่บรรยายเกี่ยวกับเทคนิคสเตเกโนกราฟฟิก คือพงศาวดารของ Herodotus เรื่องมีอยู่ว่า Demeratus ต้องการเตือน Sparta ว่า Xerxes มุ่งหมายจะบุกรุกดินแดนของกรีก โดยส่งข่าวสารด้วยวิธีเคลือบแว็กซ์ที่บางส่วนของแผ่นป้าย (ที่ใช้สำหรับเขียนหนังสือ) แล้วขูดแว็กซ์ออกจากแผ่นป้ายและเขียนข่าวสารไว้บนไม้ จากนั้นก็ปิดทับด้วยแผ่นป้ายที่เคลือบด้วยแว็กซ์

จึงนำผ่านทหารยามไปได้โดยง่าย อีกเรื่องหนึ่ง มีผู้ดีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ทำการโกนผมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนหวนกลับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทาสของเขาออกและสักข่าวสารไว้บนศีรษะของทาสผู้นั้น หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้น ปกปิดข้อความเหล่านั้น Histiaeus ก็ส่งทาสผู้นี้ไปยังเป้าหมายของเขาโดยสั่งให้โกนศีรษะทาสผู้นั้น ด้วย ในรูปแบบอื่นๆ ของการสื่อสารในแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ที่เคยใช้กัน อย่างเช่น น้ำหมึก ล่องหน ไมโครดอท การเลื่อนคำและเปลี่ยนช่องว่างระหว่างบรรทัดในเอกสาร ซึ่งอธิบายรายละเอียดใน [1] ปัจจุบันเราสามารถซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ในเสียง วิดีโอ ภาพดิจิทัล และตัวหนังสือ สำหรับอัลกอริทึม สเตกโนกราฟฟิกสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้ใน [2]

2.3 การทำลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลเป็นสัญญาณที่ถูกฝังอยู่ในข้อมูลดิจิทัล อาทิ เสียง ภาพ วิดีโอ และ ตัวหนังสืออย่างถาวรซึ่งสามารถตรวจหาหรือแยกออกมาได้ในภายหลัง โดยทำการคำนวณตามวิธีที่กำหนดไว้เพื่อแสดงสิทธิ์ในการถือครองข้อมูลนั้นๆ [3] ลายน้ำถูกซ่อนในข้อมูลต้นแบบโดยรวมเข้ากับข้อมูล ซึ่งทำให้มันสามารถทนทานต่อกระบวนการต่างๆ ซึ่งหมายความว่า การฝังลายน้ำทำให้ยังคงสามารถเข้าถึงงานนั้นได้อยู่ แต่จะถูกฝังอยู่ในงานชิ้นนั้นอย่างถาวร



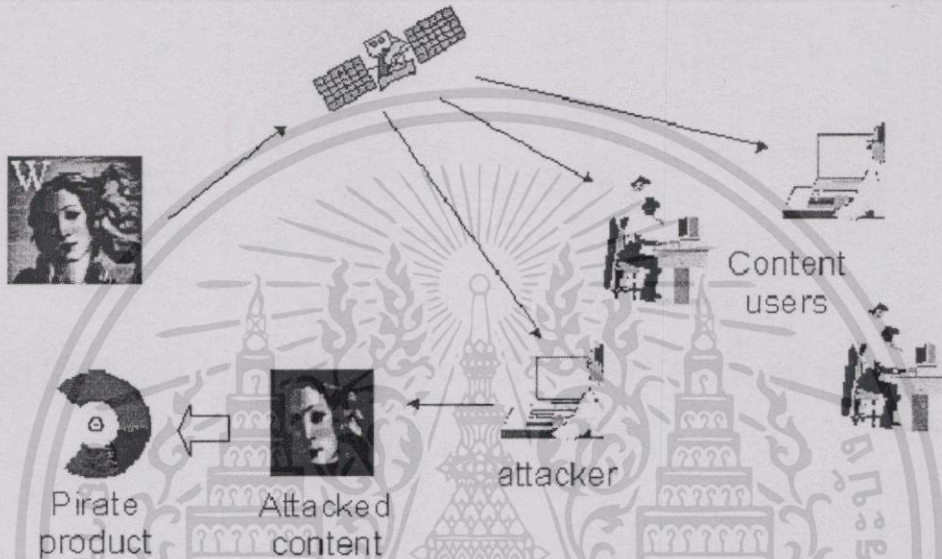
รูปที่ 2.1 กระบวนการเข้ารหัสลายน้ำ

ระบบการฝังลายน้ำประกอบด้วยตัวเข้ารหัสและตัวถอดรหัส ตัวเข้ารหัสทำหน้าที่แทรก ลายน้ำเข้าไปในข้อมูลมัลติมีเดีย ในกรณีของการประยุกต์ใช้การป้องกันลิขสิทธิ์ประกอบด้วย รหัส ข้อมูลที่มีลิขสิทธิ์ของเจ้าของ ผู้สร้างงาน ผู้ที่ได้รับสิทธิ์หรือใครก็ตามที่ได้สิทธิ์ในการครอบครอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลนั้นอย่างถูกต้องดังรายละเอียดในรูปที่ 2.1 การทำงานของการเข้ารหัสต้องการกุญแจรหัสคริปโตกราฟีในการฝังลงไปในสัญญาณ

เมื่อฝังลงนํ้าลงไปแล้วก็สามารถเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปในระบบเปิดได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งผู้ไม่ประสงค์ดีอาจมีความมุ่งหมายในการลบลายนํ้าที่ฝังอยู่ในงานที่เผยแพร่ เพื่อนำไปขายหรือเผยแพร่ต่อโดยไม่ได้รับอนุญาตได้

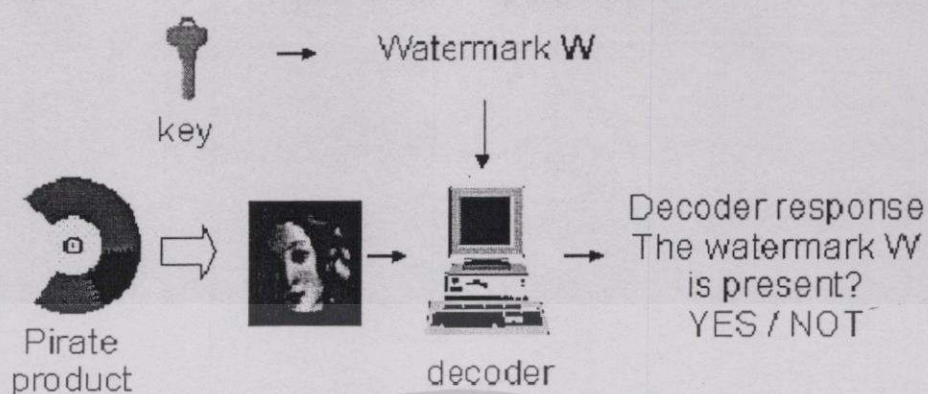


รูปที่ 2.2 การแพร่กระจายของข้อมูลที่มีการฝังลายนํ้า

ท้ายที่สุด ในขั้นตอนการถอดรหัส ซึ่งสามารถตรวจหาหรือแยกรหัสออกจากข้อมูลที่สงสัยว่าเป็นงานที่เราได้ฝังลายนํ้าเพื่อแสดงสิทธิ์ความเป็นเจ้าของไว้ ในบางระบบจำเป็นต้องใช้งานต้นแบบสำหรับการตรวจหาลายนํ้า ด้วยกุญแจรหัสคริปโตกราฟีดังแสดงในรูปที่ 2.3 เพื่อตรวจสอบว่ามีลายนํ้าที่เราฝังไว้หรือไม่

2.4 การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายนํ้า

แม้ว่าอัลกอริธึมของการฝังลายนํ้าดิจิทัลยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น ในการพัฒนาสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ ในงานวิจัยที่มีอยู่ในสาขานี้ได้พบงานประยุกต์ที่สำคัญมากมายที่ใช้ลายนํ้าดิจิทัลเข้ามาช่วยในงานเหล่านี้ โดยเฉพาะใน 4 หัวข้อนี้ ดังแสดงใน [3-5]



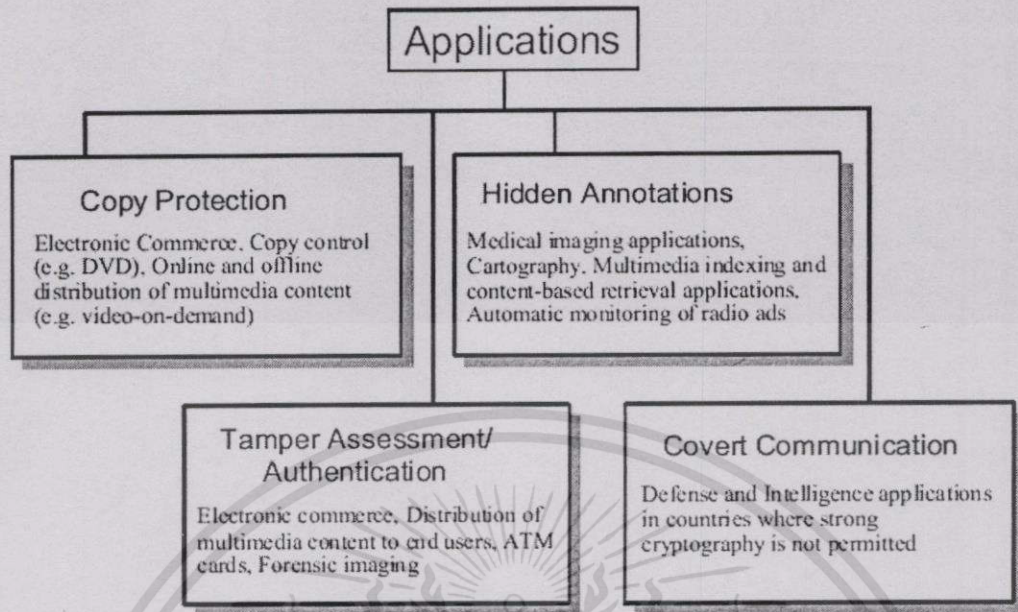
รูปที่ 2.3 กระบวนการตรวจหาลายน้ำจากข้อมูลที่อาจเกิดความเสียหายมา

- การป้องกันลิขสิทธิ์ (Copyright protection)
- การติดฉลากข้อความ และ การซ่อนหมายเหตุ (Content labeling and hidden notations)
- การรับรองและการตรวจสอบความถูกต้อง (Authentication and integrity verification)
- ความปลอดภัยและการไม่ปรากฏในการสื่อสาร (Secure and invisible communication)

ในแต่ละสาขาของงานประยุกต์ ถูกกำหนดด้วยลักษณะพิเศษในความต้องการด้านต่างๆ ของเทคโนโลยีการฝังลายน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ความปลอดภัย (Security) การสังเกตเห็นได้ (Perceptibility) และปริมาณของข้อมูลที่ทำให้การฝังลงไป ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดของทั้ง 4 งานประยุกต์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.4.1 การทำลายน้ำสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์

ในงานประยุกต์ประเภทนี้ ข้อมูลที่อยู่ในกระบวนการทำลายน้ำจะเกี่ยวกับผู้สร้าง ผู้เผยแพร่ ผู้ซื้อ หรือเงื่อนไขในลิขสิทธิ์ระหว่างพวกเขาสามารถฝังลงไปในส่วนของคุณสมบัติที่เฉพาะได้ เมื่อได้ทำการฝังข้อมูลลงไปแล้ว เราสามารถตรวจหากรรมสิทธิ์ได้ในภายหลังว่าได้มาอย่างถูกต้องหรือไม่ สมมุติว่าเจ้าของข้อมูลได้จัดหาภาพให้แก่ลูกค้าไปเพื่อตีพิมพ์ โดยได้รับค่าธรรมเนียมสำหรับการใช้ภาพนั้นๆ [4] แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ที่นำภาพไปพิมพ์มีโอกาสละเลยไม่จ่ายค่าธรรมเนียมนี้ได้ เพื่อยับยั้งการละเมิดลิขสิทธิ์นี้ เจ้าของสามารถฝังลายน้ำซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถแสดงถึงความเป็นเจ้าของของผู้ที่ได้รับสิทธิ์ในการตีพิมพ์ได้ ในกรณีแรกลายน้ำใช้สำหรับยืนยันความเป็นเจ้าของได้ (ownership assertion) ซึ่งเจ้าของสามารถควบคุมและตรวจสอบข้อมูลที่ถูกตีพิมพ์ที่น่าสงสัยได้โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำ

ตรวจหาลายน้ำที่แสดงความเป็นเจ้าของที่ถูกฝังไว้ได้ ถ้าปรากฏว่ามีลายน้ำปรากฏอยู่อย่างชัดเจนก็สามารถใช้เป็นหลักฐานในการแสดงความเป็นเจ้าของได้ ในกรณีที่สอง ลายน้ำใช้สำหรับการพิมพ์ลายนิ้วมือ (fingerprinting) เพื่อป้องกันผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตทำสำเนาและทำการแจกจ่ายภาพ โดยเจ้าของสามารถฝังข้อมูลที่ระบุถึงผู้ที่ได้รับอนุญาตให้ตีพิมพ์ภาพนั้นๆ ได้ ถ้าหากมีการตรวจพบการทำสำเนาภาพโดยไม่ได้รับอนุญาตซึ่งเจ้าของสามารถระบุผู้รับต้นแบบและทำการยกเลิกการทำธุรกรรมกับผู้นั้นได้ ในบางเหตุการณ์สำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์อาจจะใช้ลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้หรือไม่สามารถมองเห็นได้ก็ได้โดยรายละเอียดใน [6]

2.4.2 การทำลายน้ำสำหรับการติดตามข้อความ และการซ่อนหมายเหตุ

การทำลายน้ำดิจิทัลสามารถใช้ในการซ่อนข้อความและหมายเหตุไว้ในข้อมูลมัลติมีเดีย โดยใช้ในการติดตามข้อความ การทำครรชนและติดตามข้อมูลมัลติมีเดีย ใช้ในการควบคุมในงานที่ต้องการควบคุมระดับในการเข้าถึงข้อมูล หรือในแผนที่ และภาพถ่ายทางการแพทย์ ในการทำลาย [3] รหัสที่ฝังเข้าไปประกอบด้วยคำอธิบายของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อความภายใน ดังตัวอย่าง ภาพถ่ายที่สามารถใส่รายละเอียดเกี่ยวกับวัน เวลา สถานที่ในภาพได้โดยอัตโนมัติเมื่อทำการถ่ายภาพ ลายน้ำสามารถใช้ในการป้องกันข้อมูลดิจิทัลวิดีโอในระบบปิดได้ โดยใช้ฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับทำสำเนาและดูรายละเอียด ซึ่งจะมีรหัสที่แสดงถึงจำนวนครั้งที่อนุญาตให้ทำสำเนา ดังนั้นทุกครั้งเมื่อมีการทำสำเนาฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรหัสและเมื่อจำนวนเท่ากับศูนย์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจะไม่สามารถดูข้อมูลได้อีก เช่น DVD (digital video disc) ในงานประยุกต์ใหม่ๆ จะสามารถกำหนดระดับในการเข้าถึงข้อมูลมัลติมีเดียได้หลายระดับ โดยใช้การทำลายน้ำ [5] การควบคุมรายละเอียดของภาพ ถ้าผู้ใช้มีระดับในการเข้าถึงสูงรายละเอียดของภาพก็จะปรากฏออกมา แต่ถ้าผู้ใช้มีระดับในการเข้าถึงต่ำก็จะไม่สามารถเห็นรายละเอียดของภาพได้ อีกกรณีหนึ่ง สำหรับข้อมูลเพิ่มเติม อย่างในการแสดงระบบแทร็กซ์หลายภาษา (multilingual tracks) สามารถฟังลงในไฟล์วีดีโอได้ ในการแพร่ภาพ ในงานเกี่ยวกับทางการแพทย์ ระบบการทำลายน้ำสามารถฝังการบันทึกข้อมูลของผู้ป่วยลงในภาพเอ็กซเรย์ได้ เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการดูข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ และป้องกันความผิดพลาดที่ไม่ตรงกันระหว่างข้อมูลของคนไข้และภาพ

2.4.3 การรับรองและการตรวจสอบความถูกต้อง

ในบางงานประยุกต์ อย่างเช่นพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับข้อมูลมัลติมีเดีย ภาพถ่ายทางการแพทย์ ภาพข่าว ซึ่งมีความสำคัญมากถ้าหากมีการปรับเปลี่ยนหรือแต่งเติมรายละเอียดข้อมูลลงไปให้แตกต่างจากต้นฉบับ โดยการแก้ไขนี้มีผลไปในทางลบแล้วถูกเผยแพร่ออกไปจะเกิดผลเสียหายอย่างมาก ซึ่งป้องกันได้โดยใช้อัลกอริทึมของลายเซ็นดิจิทัลและคริปโตกราฟีแต่อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคการทำลายน้ำสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ง่าย โดยเหตุที่ผู้ที่มีสิทธิ์รับรองถูกฝังข้อมูลโดยตรงลงในเนื้อหา ลายน้ำถูกแยกจากวัตถุที่อาจเกิดความเสียหายได้ ถ้าตรงกับรหัสที่ฝังเอาไว้ ดังนั้นข้อมูลนั้นตั้งสันนิษฐานได้ว่าไม่เกิดความเสียหายมาก่อนและระบุถึงผู้สร้างได้ด้วยรหัสนี้ ถ้าลายน้ำไม่ตรงกับรหัสที่ฝังไว้แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้นในข้อมูล ดังนั้นลายน้ำแบบนี้ถูกเรียกว่า *fragile* [4] โดยในกรณีที่รหัสถูกแก้ไขได้ง่ายโดยการแก้ไขเนื้อหา ซึ่งแตกต่างจากงานประยุกต์ก่อนนี้ซึ่งลายน้ำจำเป็นต้องมีความคงทน (*robust*) สูง

2.4.4 ความปลอดภัยและการไม่ปรากฏในการสื่อสาร

ลายน้ำดิจิทัลถูกใช้ในวงกว้างเหมือนกับการซ่อนแซนแนลของการสื่อสาร ซึ่งซ่อนข้อมูลจำนวนมากไว้ในข้อมูลเสียง ภาพ และวีดีโอ งานประยุกต์เหล่านี้ถูกใช้ในทางทหารและบริการข่าวสาร โดยใช้เทคนิคของคริปโตกราฟฟีคและสเตกโนกราฟฟีค [7-8]

2.5 สิ่งที่ต้องการสำหรับแบบแผนความคงทนของการทำลายน้ำ

แม้ว่าโดยทั่วไปสิ่งที่ต้องการสำหรับเทคนิคการทำลายน้ำใช้ในงานประยุกต์ที่สนองความต้องการที่ให้ความน่าเชื่อถือสูง บางความต้องการถูกใช้ร่วมกันในงานประยุกต์โดยมากในทางปฏิบัติ โดยสิ่งที่ต้องการทั่วไปเหล่านี้จะแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.1 ความปลอดภัย

เป็นที่รู้จักกันว่าคริปโตกราฟฟีเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ได้ผล แต่ไม่ได้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่เป็นไปได้ว่าผู้ไม่ประสงค์ดีจะไม่รู้วาระหัสถูกฝังลงในเอกสารมัลติมีเดียอย่างไร [9] แต่กระนั้น ความคงทนที่กล่าวถึงโดยแท้จริงของสินค้าที่อยู่ในตลาดตั้งอยู่บนสมมุติฐานแบบนี้ แม้ว่าบางส่วนจะถูกอ้างสิทธิ์โดยวิธีพิเศษ โดยรู้ว่าตัวเข้ารหัสและถอดรหัสลายน้ำทำงานอย่างไร ซึ่งเป็นเรื่องง่ายในการทำให้ลายน้ำนี้ไม่สามารถอ่านออกได้ [10] ยิ่งไปกว่านั้น บางเทคนิคโดยมากแล้วจำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นแบบที่ยังไม่ผ่านการฝังรหัสมาใช้ในการกระบวนการถอดรหัส ซึ่งจะพิจารณาต่อไป บ่อยครั้งในการถอดรหัสเพื่อตรวจหาลายน้ำไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้เอกสารที่ผ่านการฝังรหัสและเอกสารที่ยังไม่ฝังรหัสมาใช้ในการเปรียบเทียบ

2.5.2 การไม่ปรากฏของการมองเห็นได้

แม้ว่าในบางงานประยุกต์จะต้องการลายน้ำที่มองเห็นได้ แต่จากนี้เราจะมุ่งไปที่ลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ใช้ในเงื่อนไขในการทำลายน้ำกับภาพ) นักวิจัยพยายามซ่อนลายน้ำโดยที่ทำให้เป็นไปไม่ได้ซึ่งถูกสังเกตเห็นได้มาเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามความต้องการอันนี้ขัดแย้งกับความต้องการอื่นๆ เช่น ความต้านทานต่อแทมเปอร์ (tamper) และ ความคงทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องคงทนต่ออัลกอริทึมของการบีบอัดข้อมูลที่มีการสูญเสีย สำหรับความมุ่งหมายนี้ เราใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System (HVS) และ Human Auditory System (HAS) มาใช้ในกระบวนการฝังลายน้ำ

2.5.3 การไม่ปรากฏทางสถิติ

ลายน้ำไม่ควรถูกตรวจหาได้โดยผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตซึ่งอาจใช้วิธีทางสถิติ เช่น งานดิจิทัลจำนวนมากที่ผ่านการฝังลายน้ำด้วยรหัสเดียวกันที่มีอยู่ ไม่ควรทำให้สามารถแยกรหัสที่ฝังไว้ได้โดยใช้วิธีทางสถิติ วิธีทางแก้ปัญหาคือเป็นไปได้นี้ประกอบด้วยการใช้ลายน้ำที่ฝังรวมอยู่กับเนื้อหา [11]

2.5.4 บิทเรท

บิทเรทที่ใช้ขึ้นอยู่กับงานประยุกต์ที่นำไปใช้ โดยอัลกอริทึมในการทำลายน้ำควรอนุญาตให้มีการกำหนดจำนวนของบิทที่ทำการซ่อน ซึ่งไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของภาพ ควรใช้จำนวน 300 ถึง 400 บิท ที่ฝังลงไปในการภาพ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ ในกรณีอื่นๆ ผู้ออกแบบระบบควรระลึกไว้ว่าจำนวนของบิทที่สามารถซ่อนในข้อมูลนั้นไม่จำกัด โดยใช้ให้เหมาะสมกับงาน

2.5.5 การตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ

แม้ว่าจะไม่มีการทำลายหรือความเพี้ยนของสัญญาณ ความน่าจะเป็นของข้อบกพร่องในการตรวจหาที่มีลายน้ำที่ฝังอยู่ (false-negative error probability) และการตรวจหาลายน้ำเมื่อไม่มีลายน้ำฝังอยู่ (false-positive error probability) ต้องมีค่าน้อยมากๆ โดยทั่วไปอัลกอริทึมทางสถิติไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความต้องการเหล่านี้ แต่อย่างไรก็ตาม ต้องสามารถพิสูจน์ได้ว่าการทำลายน้ำนี้มีความน่าเชื่อถือได้ในทางกฎหมาย

2.5.6 ความคงทน

การใช้สัญญาณดิจิทัลในรูปของเพลง ภาพและวิดีโอ โดยทั่วไปมักจะเกิดความเพี้ยนของสัญญาณหลายชนิด เช่น การบีบอัดแบบมีการสูญเสีย ในกรณีของภาพ เช่น การกรอง การเปลี่ยนแปลงขนาด การปรับปรุงความคมชัด การตัดบางส่วน การหมุนภาพ และอื่นๆ สำหรับการทำลายน้ำให้เกิดประโยชน์นั้น ลายน้ำควรจะสามารถตรวจหาได้แม้ว่าหลังจากเกิดการเพี้ยนทางสัญญาณเหล่านี้ ในความเห็นทั่วไป [12-14] ความคงทนที่ต่อต้านการเพี้ยนของสัญญาณได้ดีกว่าถ้าลายน้ำถูกฝังในส่วนที่สังเกตเห็นได้ของสัญญาณ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของอัลกอริทึมในการบีบอัดข้อมูลแบบมีการสูญเสีย ซึ่งทำงานโดยตัดข้อมูลที่ไม่สำคัญบางส่วนที่ไม่มีผลกระทบกับคุณภาพของภาพ เสียงหรือวิดีโอหลังผ่านการบีบอัดออก ดังนั้น การซ่อนลายน้ำไว้ในส่วนของข้อมูลที่ไม่สำคัญดูเหมือนว่าจะไม่สามารถคงอยู่ได้ในการบีบอัดข้อมูล ในกรณีของการทำลายน้ำภาพ ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาด การหมุน และการตัดบางส่วนของภาพยังคงเป็นประเด็นสำคัญอยู่ ซึ่งก่อนจะนำการทำลายน้ำมาใช้ในการป้องกันลิขสิทธิ์ [15] ได้อย่างสมบูรณ์จำเป็นจะต้องแก้ปัญหาเหล่านี้ได้เสียก่อน ข้อกำหนดบางอย่างที่ใช้ในการวัดความคงทนของเทคนิคการทำลายน้ำกับภาพจะอธิบายในส่วนถัดไป

2.5.7 การทำลายน้ำแบบซ่อนลายน้ำ

ควรเป็นไปได้ที่จะฝังลายน้ำที่แตกต่างกันหลายๆ ชุดลงในภาพเดียวกัน โดยเหตุที่แต่ละรหัสสามารถตรวจหาได้โดยผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาต ลักษณะนี้มีประโยชน์มากในงานประเภทการพิมพ์ลายนิ้วมือ (fingerprinting) ซึ่งคุณสมบัติของลิขสิทธิ์ถูกถ่ายโอนจากเนื้อหาของเจ้าของไปยังลูกค้าอื่นๆ ได้ ยิ่งกว่านั้นเราไม่สามารถป้องกันผู้อื่นจากการทำลายน้ำในงานที่มีการฝังลายน้ำไว้เรียบร้อยแล้ว [11] ในบางกรณี อาจจะต้องการแก้ไขลายน้ำหลังจากมันถูกฝังไปแล้ว ตัวอย่างเช่น ในกรณีของ Digital Video Disc (DVD) รหัสสามารถใช้เพื่อแสดงจำนวนของการทำสำเนาที่สามารถทำได้ เมื่อมีการทำสำเนาครั้งหนึ่งรหัสจะเปลี่ยนไปโดยลดจำนวนของการทำสำเนาที่คงเหลือลง การแก้ไขนี้สามารถทำได้โดยลบรหัสเดิมออกและฝังรหัสใหม่ลงไป หรือฝังรหัสใหม่ทับลงไป ซึ่งอย่างที่สงสัยดีกว่า โดยเหตุที่สามารถลบลายน้ำที่ไม่สมบูรณ์ออกไปเพื่อต่อต้านการทำแทมเปอร์ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.8 การทำลายน้ำแบบใช้และไม่ใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาและลายน้ำแบบเปิดเผยและส่วนตัว

ในบางกรณี เพื่อพัฒนาอัลกอริธึมที่มีความคงทนมาก ๆ ลายน้ำที่ถูกแยกออกมาโดยการเปรียบเทียบระหว่างเอกสารที่มีลายน้ำและต้นแบบ เช่น ภาพที่มีลักษณะในกรณีที่มีอยู่ใน [13, 16-20] ซึ่งมีการเสนอไว้หลายๆ วิธีในการต่อต้านเทคนิคการประมวลผลภาพที่หลากหลายและการลบลายน้ำหรือทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงแล้วเราไม่อาจหาภาพต้นแบบ รวมถึงไฟล์เสียงและวิดีโอ ได้ตลอดเวลาที่ต้องการทำการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเป็นการสร้างอัลกอริธึมที่จำเป็นในการกู้ลายน้ำที่ไม่เหมาะสมสำหรับหลายๆ งานประยุกต์ในทางปฏิบัติ นอกจากอัลกอริธึมประเภทนี้จะไม่สามารถใช้ในการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของได้อย่างถูกต้อง เทคนิคที่ใช้ในการกู้ลายน้ำกลับคืนมาโดยไม่ต้องใช้การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่มีลายน้ำและสัญญาณที่ไม่มีลายน้ำอยู่ในบางครั้งถูกเรียกว่า oblivious หรือ blind [7] ในกรณีอื่นเงื่อนไขของการทำลายน้ำแบบสาธารณะก็จะตรงกันข้ามกับการทำลายน้ำแบบส่วนตัว [12, 21] ในที่นี้เราจะใช้เงื่อนไขในการทำลายน้ำแบบเปิดเผย และ แบบส่วนตัวในการแสดงถึงความแตกต่างของหลักการในการทำเทคนิคที่กล่าวถึงแบบส่วนตัว ผู้ที่เป็นเจ้าของเอกสาร หรือผู้ที่ได้รับสิทธิเท่านั้นที่สามารถแยกลายน้ำออกมาได้ เพราะว่าจะสามารถเข้าถึงภาพต้นแบบได้ หรือมีเพียงผู้รู้รหัสที่ถูกต้องเท่านั้นที่ทำได้ ตรงกันข้าม เทคนิคที่อนุญาตให้ใครก็ได้สามารถอ่านลายน้ำได้เรียกว่าแบบเปิดเผย มีความเชื่อถือว่าการทำลายน้ำแบบส่วนตัวจะมีความคงทนมากกว่าแบบเปิดเผย เพราะเมื่อลายน้ำสามารถถูกอ่านได้ มันก็ง่ายมากต่อการถูกลบลายน้ำหรือทำให้ลายน้ำไม่สามารถอ่านได้ สำหรับตัวอย่าง โดยทำกระบวนการในการเข้ารหัสแบบผกผัน หรือ โดยเข้ารหัสลายน้ำแบบย้อนกลับ (watermark reversibility) โดยทั่วไปสามารถพูดได้ว่า ในงานวิจัยโดยมากแล้วจะมุ่งไปที่การทำลายน้ำแบบส่วนตัวมากกว่า

ไม่นานมานี้ มีการเสนออัลกอริธึมในการทำลายน้ำแบบ blind กับภาพอยู่มาก [2, 7, 15, 22-27] แต่ไม่มีอัลกอริธึมใดที่ลายน้ำสามารถคงอยู่ได้ต่อวิธีการกระทำต่อภาพในหลายๆ อย่างพร้อมกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการทำวิจัยในสาขานี้อีกมาก

2.5.9 การทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้และตรวจสอบได้

ลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้ โดยรู้เพียงรายละเอียดของมัน ซึ่งจะเรียกว่าการทำลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้ ในทางตรงกันข้าม ในเทคนิคที่ยอมให้สามารถอ่านลายน้ำได้โดยไม่สนใจรายละเอียดของมันจะถูกเรียกว่าการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้ สำหรับการทำลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้ซึ่งมันเพียงสามารถตัดสินใจได้ว่าในข้อมูลนี้มีลายน้ำปรากฏอยู่หรือไม่ ในทางตรงกันข้ามซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะวิเคราะห์ลายน้ำของเอกสารมัลติมีเดีย ถ้าเราไม่รู้รายละเอียดเกี่ยวกับลายน้ำ ซึ่งไม่

ใช้กรณีของเทคนิคของการสามารถอ่านได้ ซึ่งกลไกในการฝังและการกู้ลายน้ำซึ่งใครก็สามารถอ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ แน่แน่นอนว่า ลักษณะของการที่สามารถอ่านได้และการที่สามารถตรวจหาลายน้ำได้นั้น มีผลกระทบอย่างมากในทางปฏิบัติ ดังตัวอย่าง ให้เราพิจารณาสถานการณ์ที่ใครคนหนึ่งต้องการจะรู้ว่าภาพที่เขาพบในอินเทอร์เน็ตเนี่ยเจ้าของภาพนี้อยู่ที่ใด ดังนั้นสมมุติว่ามีการฝังรหัสที่ระบุถึงเจ้าของไว้ในภาพโดยใช้รูปแบบของการทำลายน้ำแบบสามารถตรวจหาได้ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะอ่านรหัสนี้ได้ ถ้าไม่มีรายละเอียดของเจ้าของ โดยเหตุที่ลักษณะของลายน้ำแบบสามารถตรวจหาได้นั้นมีเพียงผู้ที่เป็นเจ้าของภาพเท่านั้นที่รู้รหัสที่ระบุรายละเอียด

2.5.10 ความสามารถในการทำลายน้ำแบบย้อนกลับและแบบผกผัน

แม้ว่าความคงทนเป็นเครื่องแสดงถึงความต้องการหลักของการทำลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ควรมีอยู่ใน watermark invertibility ด้วย ในทางอักษรศาสตร์คำว่า *invertibility* ถูกใช้ในหลายๆ ความหมาย ในที่นี้จะหมายถึงสิ่งที่ยังบอกถึงลายน้ำที่สามารถทำผกผันได้ ซึ่งผู้ที่มีสิทธิ์สามารถลบลายน้ำนี้ออกจากเอกสารได้ ในหลายๆ งานประยุกต์ ที่จำเป็นต้องใช้ความสามารถนี้ โดยเหตุที่วิธีนี้อนุญาตให้เปลี่ยนแปลงสถานะของเอกสารไปตามประวัติการใช้งานของมัน โดยไม่จำเป็นต้องฝังจำนวนบิตของข้อมูลที่มากลงไป

เพื่อหลีกเลี่ยงความคลุมเครือของการทำลายน้ำแบบผกผันได้ มีการเสนอแบบการทำลายน้ำ *reversibility* เพื่อแสดงว่าลายน้ำสามารถถูกลบออกจากภาพเริ่มต้นได้ถ้ารู้รายละเอียดของมัน

2.5.11 สเตลอะบิลิตี้

การพิจารณาในความต้องการของการคำนวณของอัลกอริทึมของการทำลายน้ำ สามารถพบได้ใน [12] โดยกล่าวถึง งานประยุกต์เชิงพาณิชย์ ต้นทุนในการคำนวณของตัวเข้ารหัสและตัวถอดรหัสเป็นสิ่งสำคัญ ในบางงานประยุกต์ การแทรกลายน้ำทำเพียงครั้งเดียวและสามารถทำได้ขณะ Off-line ดังนั้น ต้นทุนของการเข้ารหัสอาจจะสำคัญน้อยกว่าต้นของการถอดรหัสมาก ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่เป็นการถอดรหัสวิดีโอในแบบเวลาจริง ตัวอย่างเช่น ความต้องการในการคำนวณลายน้ำถูกบังคับให้ทำได้ง่าย แต่ในความง่ายนี้อาจจะเป็นตัวสำคัญที่ทำให้ความทนทานต่อการแทมเปอร์ลงได้ ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าความเร็วของคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวในทุกๆ 18 เดือน ดังนั้นถ้าเรามองในส่วนของการคำนวณที่เกินพอในวันนี้อาจจะเป็นจริงได้เร็วมาก เพราะฉะนั้นในการออกแบบลายน้ำซึ่งตัวถอดรหัสควรถูกลดลงไปในแต่ละยุคของคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างเช่น ในยุคแรกของตัวถอดรหัสอาจจะมีต้นทุนในการคำนวณที่แพงแต่อาจไม่น่าเชื่อถือเมื่อเทียบกับตัวถอดรหัสในยุคต่อมาซึ่งสามารถทำให้การคำนวณทำได้เร็วขึ้น อย่างเช่นในกรณีของความเพี้ยนทางเรขาคณิต

2.6 ข้อกำหนดของความคงทน

เครื่องมือในการทำลายน้ำต้องสามารถฝังข้อมูลที่ไม่สามารถถอดออกได้ โดยการแก้ไขภาพ โดยบังเอิญหรือโดยคอลลูชัน (collusion) และการปลอมลายน้ำ เครื่องมือหลายๆ ตัวที่มีอยู่อย่างแพร่หลายสำหรับการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัล มุ่งไปที่การปรับปรุงหรือแก้ไขภาพ เทคนิคการประมวลผลที่มีอยู่สามารถแยกออกได้เป็นสองประเภท คือ การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณและความเพี้ยนแบบเรขาคณิต ซึ่งมีรายละเอียดของการประมวลผลสัญญาณหรือความผิดเพี้ยนต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับข้อมูล ได้ดังรูปที่ 2.5

2.6.1 การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณมีหลายอย่าง ซึ่งมีดังนี้

การปรับความสว่างและความแตกต่าง (brightness and contrast enhancement) : โดยทั่วไปแล้วไม่ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจหาลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม การทำปรับปรุงแบบนี้มักจะมาก่อนการตรวจหา ซึ่งทำเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า [13]

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

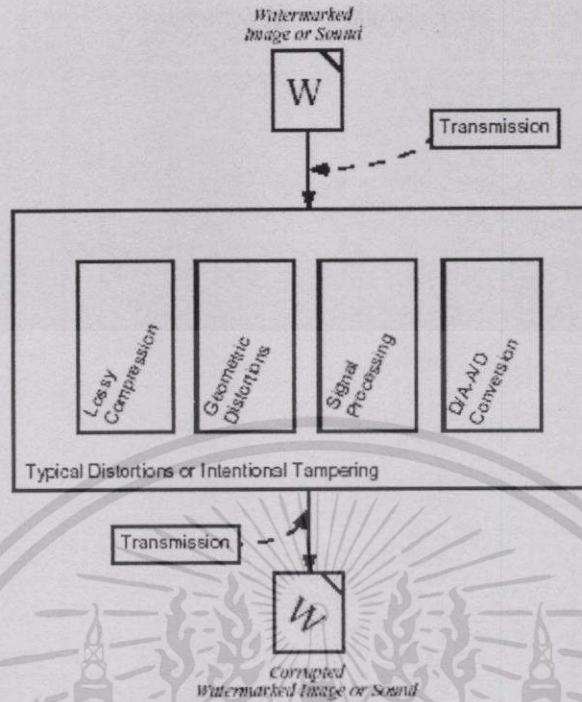
การแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิทัลและดิจิทัลเป็นแอนาล็อก (digital-analog (D/A) and analog-digital (A/D) conversions) เช่น การพิมพ์ และการสแกน หรือการบันทึกเทป

การบีบอัดแบบ JPEG ที่มีการสูญเสีย (lossy JPEG compression) : กล่าวได้ว่าเป็นการประมวลผลสัญญาณที่ใช้กับภาพมากที่สุด JPEG ทำการกำจัดส่วนที่มองเห็นได้ที่ไม่สัมพันธ์กันในภาพ ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของลายน้ำ ยิ่งกว่านั้น JPEG เป็นอัลกอริทึมในการบีบอัดที่ใช้กับภาพมากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นตัวบังคับสำหรับอัลกอริทึมของการทำลายน้ำที่ต้องคงทนต่อการบีบอัดแบบนี้

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต (Geometric manipulations) มุ่งไปที่การเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพโดยไม่มีการสูญเสียในเรื่องของคุณภาพ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การประมวลผลสัญญาณหรือความผิดเพี้ยนต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับข้อมูล

การย่อหรือขยายขนาดภาพ (resizing) ขนาดของภาพถูกเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับต้นแบบ ซึ่งจะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวซึ่งจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

การตัดบางส่วนของภาพ (cropping) เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ซึ่งทำให้มีผลกับอัลกอริทึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

การเคลื่อนย้ายภาพ (translation) จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณา ร่วมกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป ถ้าหากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นแบบ ซึ่งทำให้เราไม่สามารถรู้ได้ว่าเกิดจากตัดบางส่วนของภาพนี้ออกจากตำแหน่งใดจากภาพต้นแบบ ในกรณีที่ไม่มีภาพต้นแบบในการเปรียบเทียบหากมีการเคลื่อนย้ายส่วนย่อยของภาพที่ถูกตัดออกมาไปไว้ยังตำแหน่งอื่น การเคลื่อนย้ายภาพนี้จะมีผลต่ออัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

การหมุนภาพ (rotation) เป็นกรณีที่สำคัญที่สุดหากพิจารณาในกรณีที่หมุนภาพไป 90 และ 180 องศา ซึ่งเหมือนกับปัญหาที่พบในการย่อหรือขยายขนาดของภาพ

การกลับด้านของภาพ (flip) คือเมื่อสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

2.6.3 แทมเปอร์ริงและคอลลูชัน

มีข้อตกลงกันอย่างแพร่หลายว่า อัลกอริทึมของการทำลายน้ำควรจะยอมให้มีการฝังรหัส

หลายๆ รหัสลงในข้อมูลเดียวกันได้ โดยที่ลายน้ำก่อนหน้าไม่ควรถูกทำให้คุณภาพลดลงไปเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการฝังรหัสใหม่ลงไป สิ่งนี้เป็นลักษณะพิเศษสุดท้ายที่สำคัญสำหรับความคงทนต่อการทำลาย น้ำปอลมขึ้นมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลกอริทึมต้องทนทานต่อการทำแทมเปอร์ เช่น การพยายาม เปลี่ยนลายน้ำ และการทำคอลลูชัน เช่น บุคคลหลายๆ คนร่วมกันพยายามทำลายลายน้ำ การทำแทมเปอร์อาจมีจุดมุ่งหมายไปที่การลบลายน้ำ โดยใช้การประมวลผลสัญญาณหรือการทำทางด้าน เรขาคณิต หรือทำการแก้ไขลายน้ำ ซึ่งเป็นเรื่องง่ายถ้าหากทำการฝังรหัสที่สามารถอ่านได้แบบเปิด เผย ส่วนคอลลูชันมุ่งไปที่การลบลายน้ำเป็นหลักและสามารถทำได้ง่าย ซึ่งยังไม่ปรากฏว่ามีวิธีใด สามารถจัดการกับการลบลายน้ำด้วยวิธีนี้ได้

โดยทั่วไปแล้ว ดูเหมือนว่าการทำให้การตรวจหาหรือการอ่านลายน้ำจากภาพควรจะชัดเจน ดั่งนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ขอมให้ฝ่ายจัดซื้อสามารถตรวจหาและอ่านลายน้ำได้ แต่ควรป้องกันฝ่ายจัดซื้อไม่ให้ลบลายน้ำออกไปโดยการทำการประมวลผลบางอย่างกับภาพ โดยบังเอิญ

2.7 การจำแนกเทคนิคการทำลายน้ำภาพ

แม้ว่าการทำลายน้ำกับภาพจะเป็นงานวิจัยในสาขาที่เพิ่งมีได้ไม่นาน แต่ก็ยังมีหลายๆ เทคนิค ถูกเสนอออกมาทั้งในทางการศึกษาและในทางอุตสาหกรรม ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงข้อกำหนด ต่างๆ ที่ใช้ในการแบ่งเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการทำลายน้ำ โดยเฉพาะของเครื่องมือในการทำลายน้ำ ทั้งสองลักษณะพิเศษที่ได้เลือกขึ้นมา โดยแสดงดังรูปที่ 2.6

- กำหนดให้การทำลายน้ำกับภาพ เป็นกระบวนการของการแก้ไขข้อมูลของภาพเพื่อ แทรกรหัสที่ใช้สำหรับนำข้อมูลที่ต้องการใส่ลงไป ซึ่งเป็นข้อกำหนดตัวแรก สำหรับแบ่งแยกเทคนิคการทำลายน้ำบนพื้นฐานของลักษณะชนิดของภาพที่ถูกแก้ไข โดยมีวิธี 3 ประเภทหลักๆ ที่ใช้ระบุวิธีในการฝังรหัสลงในข้อมูลภาพ เช่น เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียล เทคนิคที่ทำในโดเมนความถี่ และเทคนิคแบบไฮบริดจ์
- การแบ่งแยกวิธีที่สองจะพิจารณาจากการตรวจหาลายน้ำ โดยเหตุที่ลายน้ำที่ถูกกู้ กลับมาจากข้อมูลเป็นข้อกำหนดหลักว่าเครื่องมือที่ใช้ในการป้องกันลิขสิทธิ์นี้ได้ ผลเพียงใดในงานที่ต้องการนำไปใช้

ส่วนในรายละเอียดของแบบแผนในการแบ่งแยกจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

2.7.1 การจำแนกโดยพิจารณาจากการฝังลายน้ำ

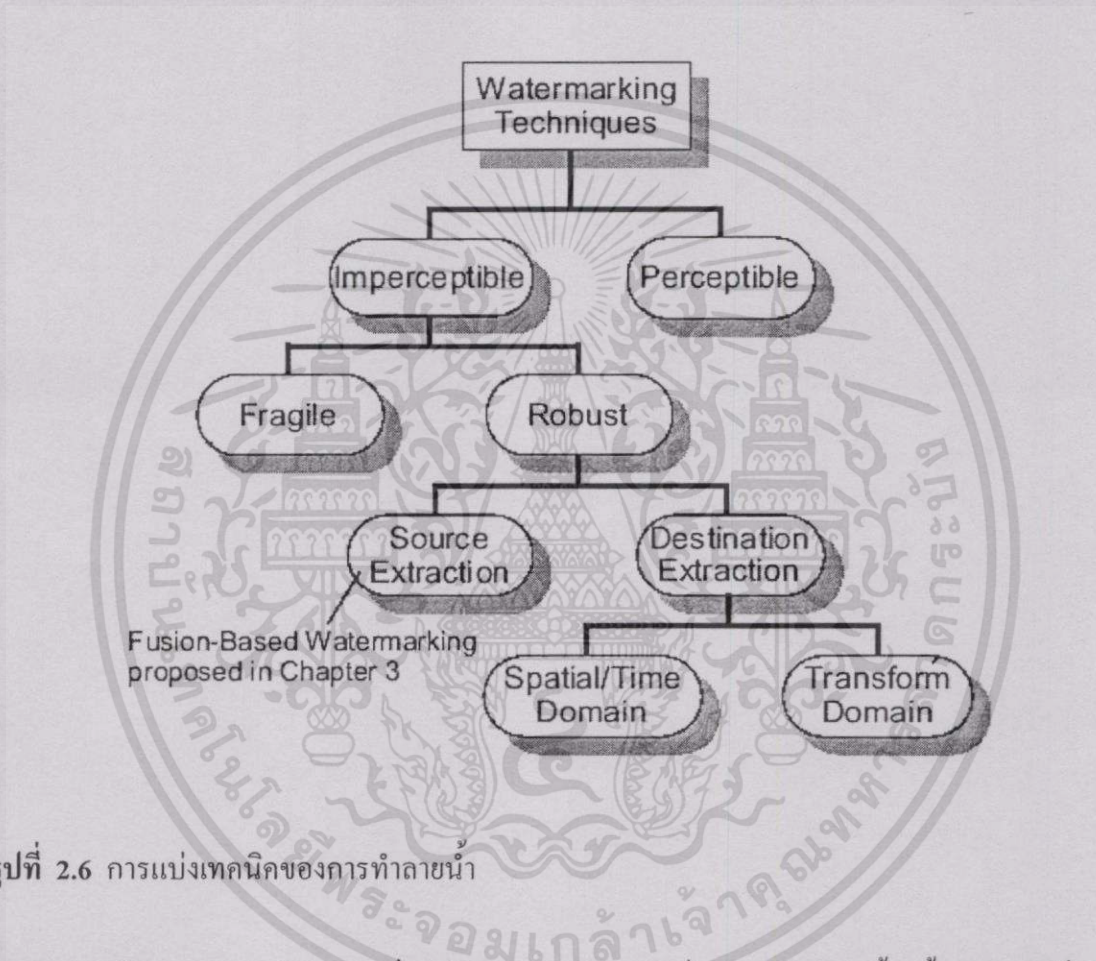
เป้าหมายของเทคนิคการทำลายน้ำคือแก้ไขข้อมูลภาพเพื่อฝังรหัสที่ระบุถึงข้อมูลต่างๆ ที่ ต้องการลงไปภาพ ข้อมูลภาพสามารถถูกแก้ไขได้โดยตรงหรืออาจจะแปลงไปอยู่ในโดเมนอื่นก่อน ทำการแก้ไขข้อมูลก็ได้แล้วแปลงกลับเพื่อให้ได้ภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำ สำหรับเทคนิคแบบไฮบริดจ์ ลักษณะพิเศษหลักของอัลกอริทึมที่นำมาใช้จะกล่าวถึงไปส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียล

สำหรับเทคนิคประเภทนี้ ค่าของพิกเซลในภาพจะถูกแก้ไขโดยตรงตามรหัสที่ทำการฝังลงไป โดยทั่วไปในการแก้ไขแบบนี้จะประกอบด้วยการเพิ่มสัญญาณที่ถูกมอดูเลตไปปรับความสว่างของภาพหรือในย่านสีใดสีหนึ่งหรือรวมๆ กัน วิธีหนึ่งที่ใช้แก้ไขค่าของพิกเซลคือการเพิ่มจำนวนแบบสุ่มขนาดเล็กเข้าไปในพิกเซล เช่น จาก 1D [18] หรือ 2D [28-29] ลำดับแบบสุ่ม ใน [2] ได้



รูปที่ 2.6 การแบ่งเทคนิคของการทำลายน้ำ

เสนอการใช้จำนวนแบบสุ่มในการเพิ่มหรือลดค่าของพิกเซล ซึ่งลำดับแบบสุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับคีย์ที่ใช้ในการสร้างลำดับจะแตกต่างกันออกไป โดยจำเป็นต้องรู้คีย์ตัวนี้เพื่อการตรวจหาลายน้ำในภายหลัง (การทำลายน้ำแบบส่วนตัว) คีย์นี้จะป้องกันให้เฉพาะบุคคลที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่สามารถตรวจหาลายน้ำได้ เทคนิคดั้งเดิมถูกพัฒนาให้ใช้สำหรับการสื่อสารแบบกระจายสเปกตรัม (spread spectrum communications) โดยปกติการตรวจหาลายน้ำจะกระทำโดยใช้ค่าคอร์รีเลชันในการตัดสินใจ โดยทั่วไปเทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียลจะทำให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System ซึ่งจะพิจารณาในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน สำหรับการฝังข้อมูลที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ สำหรับการป้องกันการตัดบางส่วนของภาพออกไปทำได้โดยฝังข้อมูลเดิม

ในหลายๆ ส่วนของภาพ เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียลจะไม่ค่อยมีความคงทนต่อการเปลี่ยนขนาดของภาพ

เทคนิคที่ทำในโดเมนการแปลง

สำหรับเทคนิคนี้ จะทำการแปลงภาพด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อนทำการฝังลายน้ำ ข้อมูลภาพในโดเมนนี้จะแตกต่างจากภาพในโดเมนสเปเชียล ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในโดเมนความถี่ ซึ่งการกระทำในโดเมนนี้จะไม่มีการสูญเสียข้อมูลใดๆ สัมประสิทธิ์ในโดเมนการแปลงนี้จะถูกแก้ไขเพื่อเก็บลายน้ำไว้ และเมื่อทำการฝังลายน้ำเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการแปลงกลับเพื่อให้ได้ภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่ มีการแปลงอยู่ 2 แบบที่ใช้กันมากที่สุดการทำลายน้ำคือ Discrete Fourier Transform (DFT) และ Discrete Cosine Transform (DCT) โดยเทคนิคในโดเมนการแปลงนี้อัลกอริทึมในการทำลายน้ำเหล่านี้จะกระทำการแปลงภาพแบบเต็มเฟรมเท่านั้น โดยเทคนิคการแปลงภาพแบบเป็นบล็อกจะพิจารณาในส่วนของไฮบริดจ์ ซึ่งมีเทคนิคเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ใช้การแปลงแบบบล็อกได้ ข้อดีของการใช้การแปลงแบบเต็มเฟรมคือลายน้ำจะกระจายไปทั่วทั้งภาพ โดยฝังลายน้ำลงในขนาดของสัมประสิทธิ์ DFT ซึ่งเทคนิคเหล่านี้จะให้ความคงทนต่อการหมุนภาพ การย่อหรือขยายขนาดของภาพและการเคลื่อนย้ายภาพได้ดี ข้อเสียหลักของเทคนิคที่ทำในโดเมนการแปลงคือต้นทุนในคำนวณ เพื่อให้ยากในการแปลงสัญญาณที่มีลายน้ำให้กลับไปเป็นภาพดั้งเดิม ดังนั้นจึงนำลักษณะพิเศษของ Human Visual System มาใช้ในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน

เทคนิคไฮบริดจ์

เทคนิคไฮบริดจ์ จะใช้การแปลงทางคณิตศาสตร์ก่อนทำการฝังลายน้ำลงไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ใช้ JPEG-like block-DCT และเวฟเล็ต ส่วนใหญ่ JPEG เป็นวิธีที่ใช้กันมากในการบีบอัดภาพ ดังนั้นเทคนิคการทำลายน้ำต้องทนทานต่อการบีบอัดแบบนี้ โดยภาพจะถูกแบ่งเป็นบล็อกๆ (เท่ากับขนาดบล็อกของ JPEG) จากนั้นทำการแปลง DCT สัมประสิทธิ์ DCT บางตัวในบล็อกจะถูกแก้ไขเพื่อเก็บลายน้ำไว้ [27, 30] ผลการทำวิจัยก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการลดการมองเห็นของลายน้ำและปรับปรุงความคงทนของลายน้ำ บางงานวิจัยทำการฝังลายน้ำลงไปเฟสของสัมประสิทธิ์ DCT ของแต่ละบล็อก การแปลงแบบอื่นที่มักจะใช้ในการบีบอัดข้อมูล เช่นการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตมีความเหมาะสมกับระบบ Human Visual System [30] มาก เทคนิคไฮบริดจ์ค่อนข้างไวต่อการเคลื่อนย้ายภาพ และการย่อหรือขยายขนาดของภาพ

2.7.2 การจำแนกโดยพิจารณาจากการตรวจหาลายน้ำ

การแบ่งประเภทแบบที่สองจะทำการพิจารณาจากการตรวจหาลายน้ำ ซึ่งมี 3 วิธีที่ต่างกักันสำหรับอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจหาลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ใช้ภาพต้นแบบและไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ

เราสามารถแบ่งอัลกอริธึมได้เป็นสองประเภทหลักๆ คืออัลกอริธึมที่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบสำหรับการตรวจหาลายน้ำ และอัลกอริธึมที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบ อัลกอริธึมที่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำนั้น โดยทั่วไปจะมีความคงทนมากกว่าแต่มีข้อกำหนดค่อนข้างมาก เช่น มีเพียงเจ้าของภาพต้นแบบเท่านั้นที่สามารถอ่านหรือตรวจหาลายน้ำได้ แต่ผู้ซื้อควรจะได้รับสิทธิ์ในการอ่านและตรวจหาลายน้ำได้ด้วย เพื่อเป็นการรับประกันว่าภาพนั้นได้ถูกขายไปอย่างถูกต้องตามกฎหมาย ในกรณีของการทำลายน้ำกับภาพ มีอัลกอริธึมแบบนี้จำนวนมาก ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบในการอ่านและตรวจหาลายน้ำ แต่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบในบางกรณีที่เกิดการแปลงภาพทางเรขาคณิต เช่น การเลือนย้ายภาพ การย่อหรือขยายขนาดของภาพ และการตัดบางส่วนของภาพออกไป จึงจะทำให้สามารถแยกรหัสที่ฝังไว้ออกมาได้อย่างถูกต้อง ในปัจจุบันไม่มีการเสนอวิธีแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพสำหรับเทคนิคการฝังลายน้ำที่สมบูรณ์ออกมา

เทคนิคแบบเปิดเผยและแบบส่วนตัว

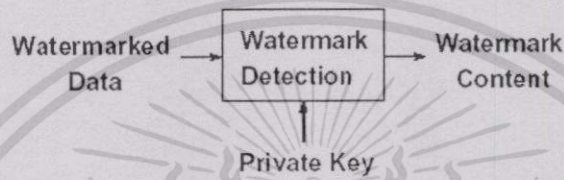
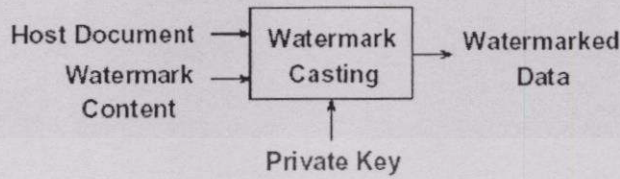
ลายน้ำจะถูกกล่าวได้ว่าเป็นแบบส่วนตัวเมื่อผู้ที่มีสิทธิ์เท่านั้นที่สามารถตรวจหาลายน้ำออกมาได้ ซึ่งกลไกนี้ทำให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตจะไม่มีทางแยกลายน้ำออกมาได้ ตัวอย่างเช่น โดยกำหนดรหัสแบบสุ่มให้กับแต่ละผู้ใช้ในขั้นตอนการฝังลายน้ำ ซึ่งทำให้สามารถแยกลายน้ำออกจากเอกสารนั้นๆ ได้ ในทางตรงกันข้ามกับเทคนิคการฝังลายน้ำแบบส่วนตัวจะอนุญาตให้ผู้ใดก็ได้สามารถอ่านลายน้ำได้ ซึ่งเรียกว่าแบบเปิดเผย โดยเหตุที่ในด้านความปลอดภัยการทำลายน้ำลายแบบส่วนตัวจะมีความคงทนสูงกว่าแบบเปิดเผยมากด้วยการเลือกใช้รหัสลับ สำหรับวิธีแบบเปิดเผยลายน้ำหากว่ารหัสที่ฝังลงไป เป็นการทำลายหรือทำให้ลายน้ำไม่สามารถอ่านได้

ลายน้ำที่สามารถอ่านได้และลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้

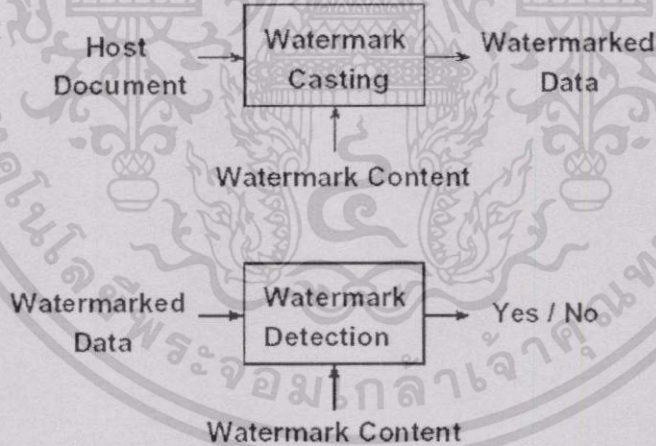
ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างอัลกอริธึมที่สามารถอ่านได้ที่ฝังรหัสให้สามารถอ่านได้ และที่สามารถตรวจหาได้ ซึ่งรหัสที่ฝังไว้ทำได้เพียงการตรวจหาเท่านั้น ในขณะที่อัลกอริธึมอื่น เช่นแบบเปิดเผยซึ่งอนุญาตให้ผู้ใดก็ได้สามารถอ่านรหัสที่แทรกอยู่ในข้อมูลได้ ซึ่งในกรณีหลังจะอนุญาตให้ตรวจสอบได้เพียงว่ามีรหัสฝังอยู่หรือไม่เท่านั้น ซึ่งต้องรู้รหัสที่แทรกลงไป ข้อสังเกตว่าอัลกอริธึมในการฝังลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้จะเป็นแบบส่วนตัวเสมอ

เพื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างสองอัลกอริธึมนี้ ให้เราพิจารณาแบบแผนในรูปที่ 2.7 แสดงบล็อกโคเดสแกรมของระบบการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้แบบส่วนตัว ซึ่งลายน้ำจะถูกฝังลงในข้อมูลโดยใช้รหัสลับ ซึ่งรหัสเดียวกันนี้จะถูกใช้ในการถอดรหัสเพื่ออ่านบิตที่ถูกเขียนไว้ในเอกสารที่ถูกฝังลายน้ำไว้ เมื่อพิจารณาการทำลายน้ำแบบสามารถตรวจหาได้ในสถานการณ์ที่ค่อนข้าง

ข้างแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ข้อความที่ถูกแทรกลงในข้อมูลโดยไม่ใช้คีย์ใดๆ การถอดรหัสจะพิจารณาเพียงตัดสินว่าเอกสารนี้มีลายน้ำอยู่หรือไม่เท่านั้น



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้แบบส่วนตัว



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้แบบส่วนตัว

2.8 สรุป

ในปัจจุบันมีการแพร่กระจายของเอกสารสื่อดิจิทัลอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ง่าย จึงมีการวิจัยเพื่อหาทางป้องกันการคัดลอกสื่อโดยไม่ได้รับอนุญาตกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีการเสนอวิธีการในการฝังข้อมูลที่สามารถระบุถึงข้อมูลของเจ้าของงาน หรือผู้ที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิทธิ์อย่างถูกต้องในงานนั้นๆ ขึ้นมา ข้อมูลที่ฝังลงไปในงานนี้เรียกว่า ลายน้ำดิจิทัล โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานว่าวิธีใดเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานนั้นๆ การแบ่งประเภทจะแบ่งด้วยวิธีในการฝังลายน้ำ และ วิธีในการตรวจหาลายน้ำ ซึ่งมีการพัฒนาไปในหลายๆ ทาง ในวิทยานิพนธ์นี้จะเน้นที่วิธีการทำลายน้ำที่ทำในโดเมนความถี่ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ และมีการปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำให้มีความคงทนยิ่งขึ้น

การประมวลผลสัญญาณ ในบทนี้จะนำเสนอเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการป้องกันลิขสิทธิ์ของสื่อดิจิทัล โดยพิจารณาในส่วนของ การประยุกต์ใช้ที่เป็นไปได้ ความต้องการในด้านต่างๆ ของการฝังลายน้ำดิจิทัล และกฎเกณฑ์ของความคงทน และอื่นๆ โดยจะแยกออกเป็นประเภทต่างๆ ของเทคนิคการฝังลายน้ำกับภาพดิจิทัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทำลายน้ำภาพโดยใช้ DCT

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้พัฒนาอัลกอริธึมแบบใหม่ของการทำลายน้ำสำหรับภาพดิจิทัลระดับเทาที่ทำงานในโดเมนความถี่ โดยการฝังลำดับแบบสุ่มของจำนวนจริงลงในชุดของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ได้เลือกไว้ หลังจากทำการฝังลายน้ำแล้ว ลายน้ำในภาพจะถูกปรับเปลี่ยนโดยใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System เพื่อให้แน่ใจว่าลายน้ำจะไม่สามารถถูกสังเกตเห็นได้ การนำคุณสมบัติทางสถิติของลำดับที่ได้ฝังลงไปมาใช้ ทำสามารถตรวจหาลายน้ำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นแบบ ในบทนี้ จะพิจารณาแบบแผนของการทำลายน้ำกับภาพที่มีความคงทนที่ทำงานในโดเมนความถี่ โดยเฉพาะวิธีที่ถูกเสนอใน [13] โดยเหตุที่งานวิจัยนี้มีบางส่วนมีแนวทางจากงานนี้ ในรายละเอียดของการฝังลายน้ำด้วยวิธีนี้จะนำเสนอในส่วนถัดไป โดยมีรายละเอียดในส่วนของการวิเคราะห์การสร้างลายน้ำ การฝังลายน้ำ และการตรวจหาลายน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์ทฤษฎีสำหรับการใช้ในการเลือกค่าแรมโซลด์ในการตรวจหาลายน้ำ ท้ายที่สุด จะกล่าวถึงปัญหาของลายน้ำในภาพที่อาจสังเกตเห็นได้

3.1 การทำลายน้ำในโดเมนความถี่

เพื่อจะกำหนดเทคนิคในการทำลายน้ำให้สมบูรณ์ในการทำงานในโดเมนความถี่ จะกล่าวถึง 3 ขั้นตอนหลักดังนี้ การแปลงภาพ การฝังลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเทคนิคที่น่าเสนอส่วนใหญ่ที่ใช้ DCT ในการแปลงภาพ ซึ่งมีข้อยกเว้นในบางส่วนเหมือนใน [17] ที่ซึ่งลายน้ำถูกฝังอยู่ในเฟสของ DFT และใน [31] ซึ่งใช้การแปลงแบบ DCT Walsh หรือเวฟเลต ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงความแตกต่างของการแปลงในแบบต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามจะใช้การแปลงแบบทั้งภาพ หรือแบบบล็อก ในการฝังรหัสลายน้ำลงในภาพ สัมประสิทธิ์บางตัวในโดเมนการแปลงที่ถูกเลือกขึ้นมา เพื่อแก้ไขให้เป็นไปตามกฎของการทำลายน้ำ สัมประสิทธิ์ที่ถูกแก้ไขสามารถทำได้ทั้งหรือแก้ไขเพียงบางบล็อกก็ได้ ซึ่งในกรณีที่สองจะใช้สำหรับเทคนิคแบบไฮบริดจ์ โดยทั่วไปชุดของสัมประสิทธิ์ที่ถูกเปลี่ยนจะอยู่ในช่วงกลางของสเปกตรัมความถี่ ดังนั้นทำให้ได้คุณสมบัติที่กระหว่างการไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ความคงทนต่อการบีบอัดข้อมูล และเทคนิคการประมวลผลสัญญาณแบบอื่นๆ ซึ่งมีอยู่ 2 เทคนิค เทคนิคแรกจะฝังลายน้ำโดยตรงในองค์ประกอบสเปกตรัมของสัญญาณที่สำคัญ หรือฝังลายน้ำลงในเฟสของ DFT ซึ่งค่อนข้างคงทนต่อการแอมเพอร์และสัญญาณรบกวนเมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณรบกวน ใน [13] ลายน้ำถูกแทรกอยู่ในสัมประสิทธิ์ DCT 1000 ค่าที่มีค่ามากที่สุด ไม่รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ใน

ส่วนของ DC ในการตรวจหาลายน้ำ ในบางอัลกอริทึม [13, 16, 19, 31-33] ต้องใช้ภาพต้นแบบมาเปรียบเทียบกับภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่เพื่อให้ได้ความคงทนเพิ่มขึ้น โดยเหตุที่ลายน้ำถูกตรวจหาโดยเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์ของภาพต้นแบบ

ลายน้ำประกอบด้วยลำดับแบบสุ่ม 1000 จำนวน ที่เป็นแบบ normal distribution ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง คือ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{1000}\}$ จากนั้นทำการคำนวณ DCT ทั้งภาพ และทำการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของ DCT ที่มีค่ามากที่สุดมา 1000 ค่า ไม่รวมถึงในส่วนของ DC ซึ่งลายน้ำจะถูกเพิ่มเข้าไปในชุดของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ได้เลือกไว้ $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{1000}\}$ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$t'_i = t_i + \alpha t_i x_i \quad (3.1)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, 1000$ และ $\alpha = 0.1$

โดยให้ภาพต้นแบบ I และภาพที่อาจผิดเพี้ยนมาก่อน I^* และลายน้ำที่อาจผิดเพี้ยนเป็น X^* ที่ถูกแยกออกมาโดยกระบวนการย้อนกลับจากการฝังลายน้ำ องค์ประกอบของ n DCT ซึ่งเลือกค่าแมกนิจูดสูงสุดในภาพต้นแบบและคำนวณความแตกต่างของสัมประสิทธิ์ระหว่างที่ยังไม่ได้ฝังลายน้ำและลายน้ำจากภาพที่ผิดเพี้ยน ด้วยวิธีนี้ จะได้ผลการประมาณค่า X^* ของลำดับลายน้ำ จากนั้นความเหมือนระหว่าง X และ X^* ถูกคำนวณจากสมการ

$$\text{sim}(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} \quad (3.2)$$

โดยที่ $X \cdot X^*$ เป็น scalar product ระหว่างเวกเตอร์ X และ X^* รายงานผลการทดลองใน [1] เป็นผลที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง โดยที่อัลกอริทึมนี้สามารถแยกลายน้ำออกจากภาพได้ดีแม้ว่าภาพจะเกิดความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตและเทคนิคการประมวลผลภาพ เช่น การย่อขนาดของภาพเหลือ 75% การบีบอัดแบบ JPEG โดยลดคุณภาพลงเหลือ 10% การทำดิเชอริง การตัดบางส่วนของภาพลำดับของการพิมพ์

บางครั้ง เช่นใน [19, 33-34] ลักษณะพิเศษของ Human Visual System (HVS) ถูกนำมาใช้ในการปรับลายน้ำเพื่อปรับปรุงลายน้ำที่มองเห็นได้และปรับปรุงความคงทน

3.2 ลำดับของลายน้ำ

ลายน้ำ (Watermark) ประกอบด้วย ลำดับแบบสุ่ม (pseudo-random sequence) ของจำนวนจริงยาว M ลำดับ คือ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ แต่ละค่าของ x_i เป็นตัวเลขแบบสุ่มที่เป็นแบบ normal เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

distribution ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวนมีค่าเท่ากับหนึ่ง กระบวนการทำลายน้ำดิจิทัลประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ การฝังลายน้ำ โดยการเพิ่มลำดับแบบสุ่มลงไปในภาพที่ต้องการจะฝังลายน้ำ และการตรวจหาลายน้ำ โดยหาผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากลำดับที่สร้างขึ้นใหม่โดยใช้ค่า Seed (key) ที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ

3.3 การฝังลายน้ำ

ในขั้นตอนนี้ จะทำการแปลง DCT 2 มิติ ภาพระดับเทา I ขนาด $N \times N$ โดยมีสมการในการแปลงดังนี้

สมการ Forward DCT

$$C(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)v\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)u\pi}{2N} \right] \quad (3.3)$$

สมการ Inverse DCT

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u) \alpha(v) C(u, v) \cos \left[\frac{(2x+1)v\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)u\pi}{2N} \right] \quad (3.4)$$

เมื่อ

$C(u, v)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ DCT
 $f(x, y)$ คือค่าระดับสีในพิกเซล
 $\alpha(i) = 1/\sqrt{2}$ เมื่อ $i = 0$ และ $\alpha(i) = 1$ เมื่อ $i > 0$

หลังจากผ่านการแปลง DCT แล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ DCT จะถูกนำมาเรียงลำดับใหม่ในรูปแบบของ ซิกแซกสแกน เหมือนอัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลของ JPEG [35] ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สิ่งที่แตกต่างกันจากอัลกอริทึมที่ผ่านมาคือเป็นไปได้ยากในการถอดรหัสเพื่อหาตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ด้วยค่าแมกนิจูดที่มากที่สุด ถ้าไม่มีภาพต้นแบบอยู่ด้วย โดยทั่วไปลายน้ำมักถูกแทรกอยู่ชุดของสัมประสิทธิ์เดิมๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ค่าสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ลำดับที่ $L+1$ ถึง $L+M$ ในลำดับของซิกแซกสแกนในสัมประสิทธิ์ของ DCT ที่เลือกขึ้นมาเพื่อนำมาสร้างเวกเตอร์ $T = \{t_1, t_2, \dots, t_L, t_{L+1}, \dots, t_{L+M}\}$ จากนั้นเพื่อให้ได้ช่วงที่เหมาะสมระหว่างการไม่สามารถสังเกตเห็นได้และความทนทานต่อเทคนิคของการประมวลผลภาพ ค่าสัมประสิทธิ์ลำดับแรกของ L จะถูกข้ามไป และ ลายน้ำ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ จะถูกฝังลงในลำดับจำนวนสุดท้ายของลำดับ M

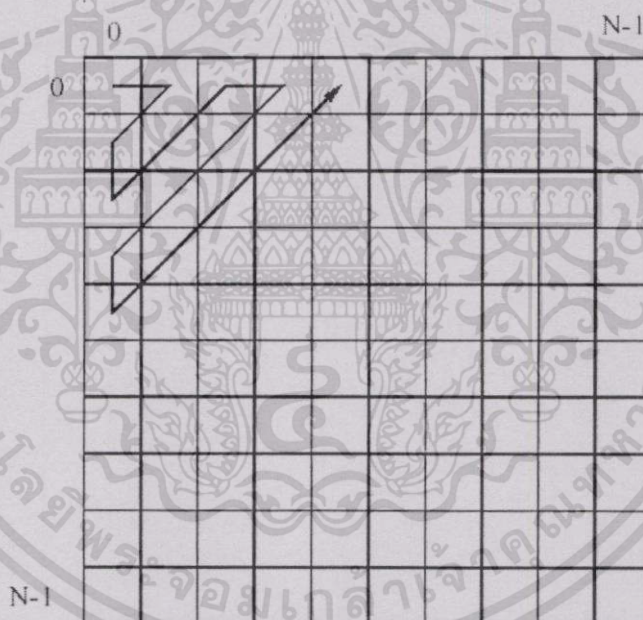
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้เวกเตอร์ใหม่ $T' = \{t_1, t_2, \dots, t_L, t'_{L+1}, \dots, t'_{L+M}\}$ เป็นเวกเตอร์ที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว โดยมีรูปแบบการคำนวณดังสมการนี้

$$t'_{L+i} = t_{L+i} + \alpha |t_{L+i}| x_i \quad (3.5)$$

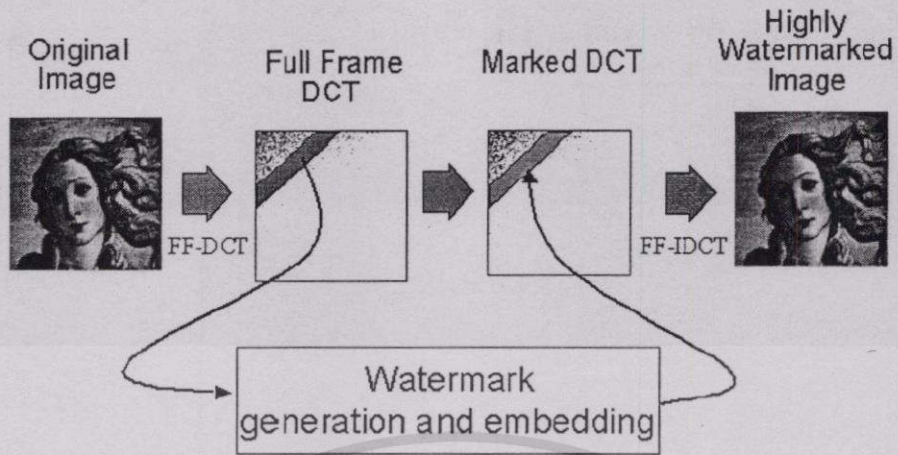
ซึ่ง $i = 1, \dots, M$, x_i คือลายน้ำที่ฝังลงไป และ t_{L+i} คือค่าสัมประสิทธิ์ DCT ของภาพต้นแบบ จากนั้นเวกเตอร์ T' จะถูกแทรกกลับลงไปในลำดับ ซิกแซกสแกน อีกครั้ง และทำการแปลงกลับ DCT ทำให้ได้ภาพที่มีลายน้ำ I' ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.3

เหตุผลสำหรับการถ่วงน้ำหนักลายน้ำด้วยค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์การแปลงแทนค่าเดิม เหมือนในสมการที่ 3.1 ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนของกรวิเคราะห์ทางทฤษฎี

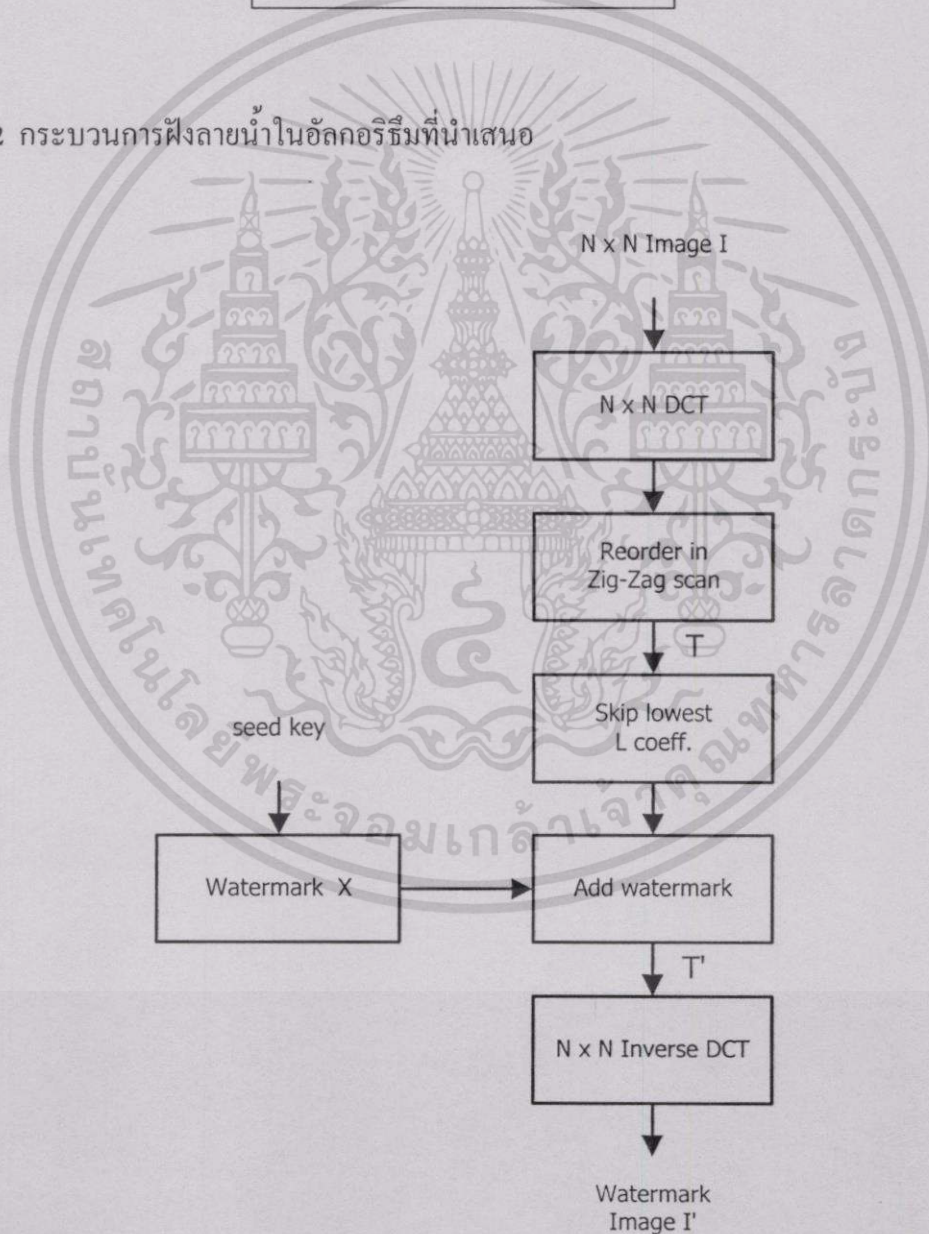


รูปที่ 3.1 การเรียงลำดับของสัมประสิทธิ์ DCT ใหม่ในรูปแบบของ ซิกแซกสแกน

เพื่อระบุรายละเอียดของอัลกอริทึมในการทำลายน้ำให้สมบูรณ์ ดังนั้นพารามิเตอร์บางตัว ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ โดยเฉพาะความยาว M ของรหัสและตำแหน่งที่ทำการฝังลงในสเปกตรัม ความถี่ต้องมีค่าแน่นอน นอกจากนี้ ค่าของ α ต้องถูกกำหนดไว้ด้วย โดยเป็นตัวกำหนดค่าพลังงานของรหัสที่ฝังลงไป โดยทั้งหมดนี้เราตั้งสมมุติฐานในการทำงานบนภาพระดับเทาขนาด 512×512



รูปที่ 3.2 กระบวนการฝังลายน้ำในอัลกอริธึมที่นำเสนอ



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการฝังลายน้ำในอัลกอริธึมที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกค่าของ α ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบสองด้าน คือมีผลกระทบต่อ การทำให้สังเกตเห็นได้ เมื่อ α มีค่าสูงจะทำให้ลายน้ำปรากฏเด่นชัดมากขึ้นหมายถึงทำให้สังเกตเห็นได้มากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนมากขึ้นด้วย โดยเหตุที่ระดับพลังงานของลายน้ำที่สูง จะทำให้สามารถตรวจหาได้ง่าย ลายน้ำที่ถูกสังเกตเห็นได้มีผลมาจากตำแหน่งของลายน้ำที่อยู่ใน สเปกตรัมของ DCT ด้วยเหตุผลนี้ ทำให้ได้ช่วงที่เหมาะสมระหว่างการทำที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำ ได้ ซึ่งหมายถึงการแทรกหัสลงในองค์ประกอบความถี่สูงของภาพและมีความคงทนต่อการเสียหายของภาพ ทำให้ง่ายในการตรวจหาลายน้ำถ้าลายน้ำถูกฝังอยู่ในสเปกตรัมความถี่ต่ำ จากการ ทดลองพบว่าเมื่อให้ $\alpha = 0.05 - 0.2$ และข้ามสัมประสิทธิ์ DCT ค่าแรกไป $L = 16000$ ค่า คือทำการ ฝังลายน้ำลงไปที่สัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 16001 ไปจนถึง $(16000 + M)$ ซึ่งทำให้ได้ช่วงที่เหมาะสม ระหว่างการทำที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้และความคงทนต่อการเสียหายของภาพ ที่จริงแล้วค่า α ที่สูงขึ้นจำเป็นต้องแทรกลายน้ำในความถี่ที่สูงขึ้น ทำให้ความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลภาพ จะลดลงซึ่งเทคนิคแบบนี้จะไปเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่ความถี่สูงของภาพ เช่น การกรองความถี่ ต่ำ การบีบอัดภาพ ในอีกทางหนึ่งค่า α ไม่สามารถทำให้ต่ำลงมากเกินไปได้เพราะจะทำให้สูญเสีย ความคงทนของลายน้ำไป และ L ต้องไม่ต่ำกว่า 16000 เพราะจะทำให้สามารถสังเกตเห็นลายน้ำได้ มากขึ้นและค่า M อยู่ที่ประมาณ 25000 ซึ่งทำให้ได้ช่วงและตำแหน่งที่เหมาะสม การกำหนดค่าที่แน่นอนให้กับ α และ L ทำให้เรามุ่งประเด็นไปที่ความยาวของลายน้ำ สำหรับค่า L และ M ได้ข้อสรุปสำหรับการทำลายน้ำด้วยวิธีนี้โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับขนาดของภาพ เพื่อความ สะดวกในการทำลายน้ำกับภาพในขนาดอื่นๆ โดยเปอร์เซ็นต์คิดจากจำนวนลำดับทั้งหมดของภาพ ขนาด $N \times N$ จึงได้ $L = 10\%$ และ $M = 6\%$

3.4 การตรวจหาลายน้ำ

ในการตรวจหาลายน้ำ (Watermark Detection) จากภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.5 โดยภาพอาจจะเกิดความเสียหายหรือผิดเพี้ยนมาก่อนซึ่งเราแทนด้วย I^* ทำการคำนวณ $N \times N$ DCT กับภาพ I^* ค่าสัมประสิทธิ์ DCT จะถูกนำมาเรียงใหม่ในรูปแบบของ ซิกแซกสแกน และเลือกค่าสัมประสิทธิ์จากลำดับที่ $L + 1$ ถึง $L + M$ เพื่อสร้างเวกเตอร์ $T^* = \{t_{L+1}^*, t_{L+2}^*, \dots, t_{L+M}^*\}$ ค่าคอร์รีเลชันระหว่างลายน้ำกับค่าสัมประสิทธิ์ T^* ที่มีโอกาสผิดเพี้ยนหรือเสียหายได้ จะบอกได้ว่าภาพที่นำมาทดสอบมีลายน้ำอยู่หรือไม่ ค่าคอร์รีเลชัน z ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่มีลายน้ำของ X และลายน้ำอื่น Y หาได้จาก

$$z = \frac{Y \cdot T^*}{M} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i t_{L+i}^* \quad (3.6)$$

สำหรับการหาค่าเรโซลต์ สมมติให้ $\bar{\mu}_{|t|} = 0.7$ ซึ่งเป็นสมมุติฐานที่สมเหตุสมผล (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก.) แต่อย่างไรก็ตามถ้าภาพที่มีการฝังลายน้ำสำหรับค่าสัมบูรณ์เฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ DCT มีค่าน้อยกว่า 0.7 หรือน้อยไปกว่านี้ ถ้ามีการประมวลผลบางอย่างถูกใช้กับภาพ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของ $|t|$ จะถูกพิจารณาให้มีค่าลดลง ความผิดพลาดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าของ $\rho(X,T)$ กับ $T\rho = \frac{\alpha}{2} \bar{\mu}_{|t|}$ ในการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ เป็นสิ่งที่ดีกว่าสำหรับตัวถอดรหัสที่ใช้ค่าเรโซลต์ $T\rho$ ซึ่งเป็นค่าในการประมาณของภาพที่มีลายน้ำอยู่ สมมติให้

$$\bar{\mu}_{|t|} \approx \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M |t_l| \quad (3.7)$$

ดังนั้น

$$T\rho = \frac{\bar{\alpha}}{2M} \sum_{l=1}^M |t_l| \quad (3.8)$$

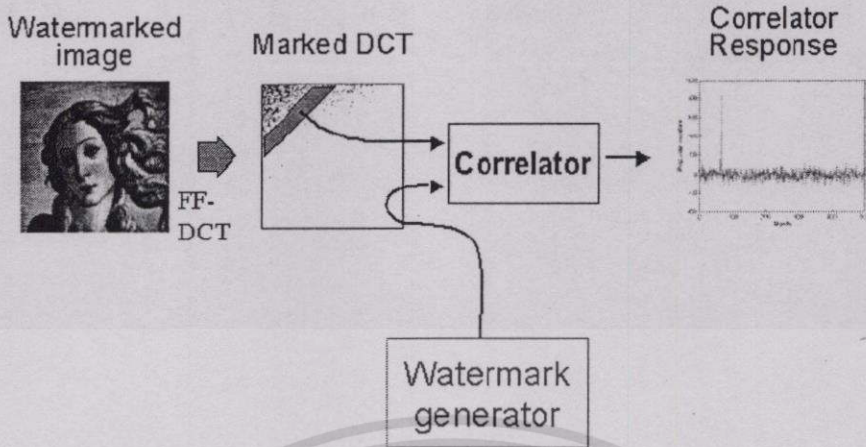
การพิจารณาในกรณีที่สองเกี่ยวกับการเลือกค่าของ $T\rho$ เมื่อภาพเกิดความเสียหายโดยความบังเอิญหรือความตั้งใจก็ตาม ในกรณีเช่น โดยเหตุที่ค่ากลางและความแปรปรวนของ $\rho(X,T)$ อาจเปลี่ยนแปลงไปโดยวิธีใดๆ เนื่องจากอาจมีโอกาสนั้นเป็นไปได้ที่ภาพจะเกิดความเสียหายเนื่องด้วยสาเหตุมากมาย ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้โดยค่าของ $\sigma_{\rho(X,T)}$ และ $\sigma_{\rho(X,T_Y)}$ ควรจะยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ $\sigma_{\rho(X,T_X)}$ น่าจะเพิ่มนัยสำคัญขึ้น ดังนั้นเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ $\rho(X,T)$ เราสมมติให้ $\mu_{\rho(X,T)}$ และ $\mu_{\rho(X,T_Y)}$ ไม่มีผลแม้ว่าจะมีความเสียหายปรากฏอยู่ และค่า $\mu_{\rho(X,T_X)}$ สามารถประมาณได้โดยการสังเกตจากภาพที่มีลายน้ำ และภาพที่เกิดความเสียหาย เพราะฉะนั้น เมื่ออ้างอิงจากรูปที่ 3.3 เราสามารถกล่าวได้ว่าเพราะความเสียหายของภาพ เนื่องจากยังคงมีเกาส์เซียนปรากฏอยู่ แต่ตัวหนึ่งมีค่ากึ่งกลางอยู่ที่ $\bar{\mu}_{|t|}$ ซึ่งมีความแปรปรวนมากกว่า ดังนั้นค่าของ $T\rho$ ควรจะกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงแทนที่จะให้ค่ากึ่งกลางระหว่างศูนย์และ $\bar{\mu}_{|t|}$

โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าคอร์รีเลชัน z ของช่วงลำดับที่ฝังลายน้ำไว้และช่วงลำดับของภาพดิจิทัลที่ต้องการทดสอบกับค่าเรโซลต์ $T\rho$ ที่คำนวณไว้จากภาพดิจิทัลที่มีลายน้ำฝังอยู่ [2] ว่ามีลายน้ำอยู่ในภาพหรือไม่ ในทางปฏิบัติค่าเรโซลต์ $T\rho$ หาได้โดยตรงจากภาพที่มีลายน้ำอยู่ ดังนี้

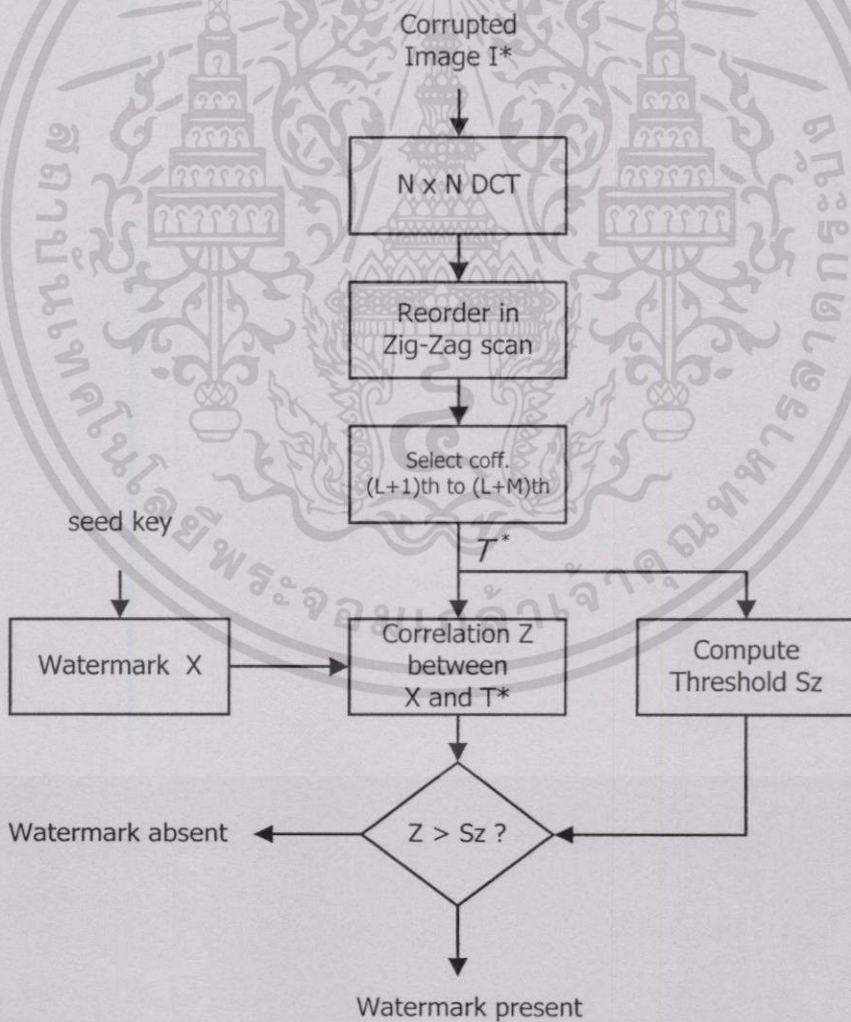
$$T\rho = \frac{\bar{\alpha}}{3M} \sum_{l=1}^M |t_{L+i}^*| \quad (3.9)$$

ค่าเรโซลต์ $T\rho$ ที่ได้สามารถดูได้จากผลการทดลองว่าสามารถกำหนดและตัดสินใจว่าข้อ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กระบวนการตรวจหาลายน้ำในอัลกอริทึมที่นำเสนอ



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในอัลกอริทึมที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำในภาพ

เทคนิคที่มีประสิทธิภาพของการทำลายน้ำกับภาพ ให้มีความสมดุลระหว่างความต้องการในที่ตรงข้ามกันสองอย่าง สิ่งแรก ลายน้ำไม่ควรถูกสังเกตเห็นได้ คือไม่ถูกสังเกตเห็นได้โดยระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) และอีกสิ่งหนึ่ง ลายน้ำไม่ควรถูกแทรกอยู่ในพื้นที่ของภาพซึ่งมีความสำคัญที่สังเกตเห็นได้ ซึ่งมีผลต่อเทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพและการปรับปรุงภาพที่ออกแบบมาสำหรับลักษณะพิเศษของ HVS เช่น JPEG ตัวกรองแบบ median และ despeckle ดังนั้นการนำลักษณะพิเศษของ HVS มาใช้ จึงเป็นสิ่งสำคัญมากและเป็นส่วนที่ละเอียดอ่อนต่อการทำลายลายน้ำสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทำลายน้ำกับภาพที่มีประสิทธิภาพ [36]

ปัญหาของการปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำที่สังเกตเห็นได้ใน Discrete Cosine Transform (DCT) แบบเต็มเฟรมจะกล่าวถึงในส่วนนี้ โดยเฉพาะ ในบางการปรับปรุงภาพที่เหมาะสมสำหรับการลดระดับของลายน้ำในพื้นที่ของภาพที่ไวต่อสัญญาณรบกวนจะถูกนำเสนอ

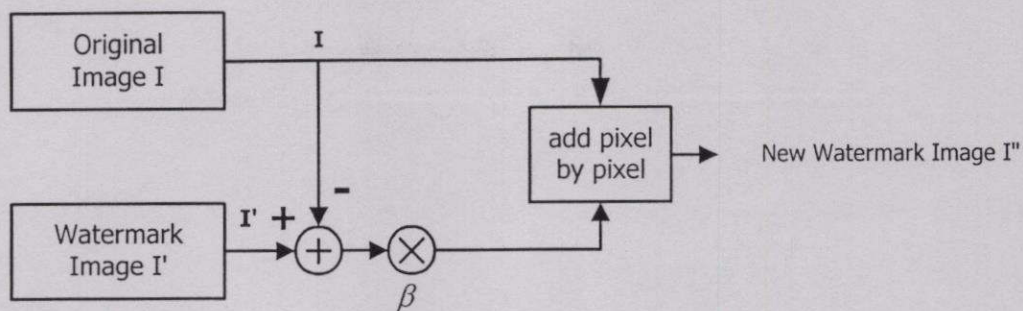
ลักษณะพิเศษของ HVS

การปรับปรุงคุณภาพของลายน้ำในภาพ (Visual masking) เพื่อปรับปรุงความคงทนของลายน้ำ และซ่อนลายน้ำไม่ให้เป็นที่สังเกตเห็นได้โดยง่าย เราจะใช้ลักษณะพิเศษของ HVS ซึ่งจะใช้ภาพต้นแบบ I และภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำ I' นำมาบวกกันแบบพิกเซลต่อพิกเซลตามค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $\beta_{i,j}$ เพื่อให้ได้ภาพที่มีลายน้ำใหม่ I'' ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.6 โดยมีการคำนวณตามสมการที่ 3.10

$$I''_{i,j} = I_{i,j}(1 - \beta_{i,j}) + \beta_{i,j}I'_{i,j} = I_{i,j} + \beta_{i,j}(I'_{i,j} - I_{i,j}) \quad (3.10)$$

วิธีนี้ทำให้สามารถเพิ่มระดับของลายน้ำ α ซึ่งทำให้ยากในการลบลายน้ำออกไปมากขึ้น แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $\beta_{i,j}$ ได้จากลักษณะพิเศษของ HVS ดังนั้นในช่วงที่มีความไวต่อสัญญาณรบกวนต่ำที่ซึ่งจะสามารถฝังข้อมูลลายน้ำได้ง่าย (เช่น ในช่วงที่มีลักษณะเป็นเท็กซ์เจอร์) ค่า $\beta_{i,j} \approx 1$ และ $I''_{i,j} \approx I'_{i,j}$ ซึ่งลายน้ำไม่ถูกทำให้ลดน้อยลงไป แต่ในช่วงที่มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก (เช่น ในช่วงที่มีลักษณะราบเรียบเหมือนกัน) ค่า $\beta_{i,j} \approx 0$ และ $I''_{i,j} \approx I_{i,j}$ จึงมีการใส่ลายน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะเป็นช่วงที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงนั้น วิธีเลือกค่า $\beta_{i,j}$ ได้จากการหาความแปรปรวนของบล็อก $I_{i,j}$ ที่มีขนาดเท่ากับ $R \times R$ (ในที่นี้เท่ากับ $R = 8$) และทำการนอร์มอลไลซ์ด้วยค่าสูงสุดของทุกบล็อก โดยวิธีนี้ค่าพารามิเตอร์ α ในสมการที่ (1) สามารถเลือกได้จากค่าเฉลี่ยของทั้งภาพ หลังจากถ่วงน้ำหนักด้วยแฟคเตอร์ $\beta_{i,j}$ จะได้ $\alpha = 0.2$ โดยปราศจากการลดคุณภาพของภาพที่มองเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System

3.6 สรุป

ในเนื้อหาของบทนี้ จะกล่าวถึงระบบการฝังลายน้ำที่พัฒนาอัลกอริธึมใหม่สำหรับภาพระดับเทาที่ทำงานในโดเมนความถี่ ซึ่งกล่าวถึงขั้นตอนต่างๆ ในการฝังลายน้ำ การตรวจหาลายน้ำ โดยหาค่าคอร์รีเลชันแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเชรโซลด์ และการนำลักษณะพิเศษของ Human Visual System (HVS) เข้ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพและเพิ่มความคงทนให้กับลายน้ำ จากการเทคนิคการประมวลผลสัญญาณและความคิดเพี้ยนทางเรขาคณิตต่างๆ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการทดลองด้วยวิธีการฝังลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำจากภาพที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยในการเปรียบเทียบเบื้องต้นของการฝังลายน้ำจะเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว โดยทำการสังเกตด้วยตาเปล่าถึงความแตกต่างระหว่างก่อนขั้นตอนการฝังลายน้ำและหลังการฝังลาย และทำการวัดค่า PSNR ของภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว จากนั้นในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำ โดยทำการทดลองกับภาพที่ผ่านเทคนิคการประมวลผลสัญญาณ และความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตต่างๆ เพื่อวัดความคงทนของลายน้ำ

4.1 การวัดคุณภาพของภาพภายหลังการใส่ลายน้ำ

เพื่อทดสอบอัลกอริทึมแบบใหม่ของการฝังลายน้ำ ในขั้นตอนแรกสำหรับการทำลายน้ำกับภาพระดับเทาซึ่งมีวิธีการดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และได้ทำการทดสอบกับเทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลต่างๆ และ ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต ในการทดลองได้ใช้ภาพระดับเทา Lenna และ Boat ขนาด 512 x 512 พิกเซล จำนวน 8 บิต/พิกเซล สำหรับภาพ Lenna ที่เป็นภาพต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) และทำการใส่ลายน้ำลงในภาพด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ค่า Seed = 100, $\alpha = 0.2$, L = 10% และ M = 6% สำหรับค่า L และ M จากในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงความยาวของลายน้ำและตำแหน่งที่ทำการฝังลายน้ำลงไป ซึ่งได้ข้อสรุปสำหรับการทำลายน้ำด้วยวิธีนี้โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับขนาดของภาพ เพื่อความสะดวกในการทำลายน้ำกับภาพในขนาดอื่นๆ โดยเปอร์เซ็นต์คิดจากจำนวนลำดับทั้งหมดของภาพขนาด $N \times N$ ในกรณีนี้ $N = 512$ จะได้ $L = 26,214$ และ $M = 15,729$ ซึ่งในการทำลายน้ำเราจะวัดคุณภาพของภาพหลังการทำลายน้ำได้ดังนี้

การวัดคุณภาพของภาพภายหลังการทำลายน้ำเป็นวิธีการพื้นฐานแต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือมาก โดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพในฐานะที่เป็นผู้ใช้ธรรมดาและยังใช้สายตาของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้าม ในการตัดสินใจอาจใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1. การตัดสินใจจากภาพทดสอบแล้วให้ระดับคะแนน เมื่อผู้ทดสอบได้มองภาพทดสอบแล้วระดับคุณภาพตามที่ได้ระบุไว้ โดยอาจมีชุดภาพมาตรฐานที่มีระดับคะแนนระบุไว้อ้างอิงด้วยก็ได้ ระดับคุณภาพสามารถแสดงได้ทั้งระดับความถูกต้องและระดับความผิดพลาด

2. การตัดสินใจจากชุดภาพทดสอบแล้วเรียงลำดับคุณภาพของภาพ ซึ่งผู้ใช้จะเรียงลำดับภาพทดสอบตามคุณภาพของภาพที่เห็นผู้ทดสอบจะตัดสินใจในลักษณะเปรียบเทียบว่าดีกว่าหรือแย่กว่า

การวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำลายน้ำสามารถกระทำได้หลายวิธีการ คือ

ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย

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

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2 \quad (4.1)$$

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 หาได้จาก

$$PSNR = 10 \log \frac{Peak^2}{MSE} \quad (dB) \quad (4.2)$$

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

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (dB) \quad (4.3)$$

ดังนั้นภาพขนาด 8 บิต หรือมีจำนวนระดับความเทาเท่ากับ 256 ระดับ จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (dB) \quad (4.4)$$

4.2 ผลการทดลองขณะไม่มีการรบกวนใดๆ

โดยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.1 (ข) และรูปที่ 4.1 (ค) เป็นภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS แล้ว โดยใช้ค่า $R = 8$ (ขนาดของบล็อก) จากการทดลองได้ค่า $PSNR = 38.82$ dB สำหรับภาพในรูปที่ 4.1 (ข) และ $PSNR = 39.77$ dB สำหรับภาพในรูปที่ 4.1 (ค) โดยมีผลการตอบสนองการตรวจหาลายน้ำในรูปที่ 4.2

สำหรับภาพ Boat ที่เป็นภาพต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และทำการใส่ลายน้ำลงในภาพด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยมีค่าพารามิเตอร์เหมือนกับที่ทำกับภาพ Lenna โดยที่ยังไม่ได้การปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.3 (ข) และรูปที่ 4.3 (ค) เป็นภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS แล้ว โดยใช้ค่า $R = 8$ (ขนาดของบล็อก) จากการทดลองได้ค่า $PSNR = 40.12$ dB สำหรับภาพในรูปที่ 4.3 (ข) และ $PSNR = 42.10$ dB โดยมีผลการตอบสนองการตรวจหาลายน้ำในรูปที่ 4.4

ในรูปที่ 4.1 และ 4.3 แสดงผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำบนภาพ Lenna และ Boat ที่ฝังลายน้ำดิจิทัล และ ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย Visual System แล้วตามลำดับ ขณะที่ยังไม่มีการลดทอนทางเรขาคณิต และ ยังไม่ผ่านเทคนิคของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลใดๆ โดยลายน้ำได้จากค่าเลขสุ่ม 1,000 ค่า (วนซ้ำกระทั่งได้จำนวนเท่ากับ M) และกำหนดให้ค่าลายน้ำ (Seed) เท่ากับ 100 และเส้นปะเป็นค่าเรโซลต์ T_p ที่ใช้ในการวัดระดับของผลการตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ จะเห็นว่าผลการตอบสนองที่ได้สูงกว่าระดับเรโซลต์อยู่ในระดับที่ชัดเจนและถูกต้อง



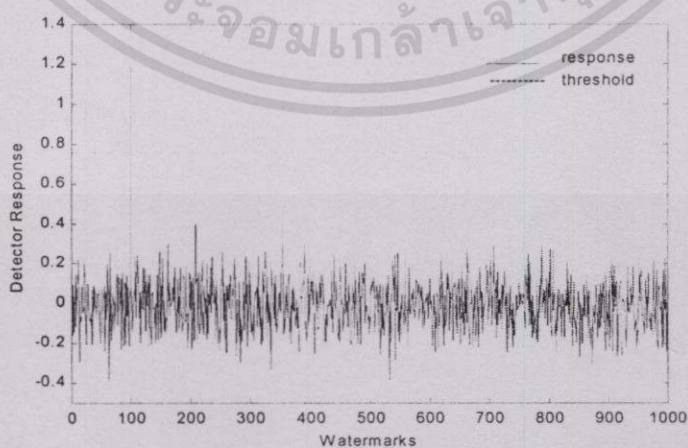
(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 4.1 (ก) ภาพต้นแบบ Lena ขนาด 512x512 (ข) ภาพที่ใส่ลายน้ำแล้วโดยยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS (PSNR=38.82 dB) (ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS (PSNR=39.77 dB)



รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพในรูปที่ 4 (ค) โดยมีค่าเชรโซลด์ $T_p = 0.7571$

และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 1.1866

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

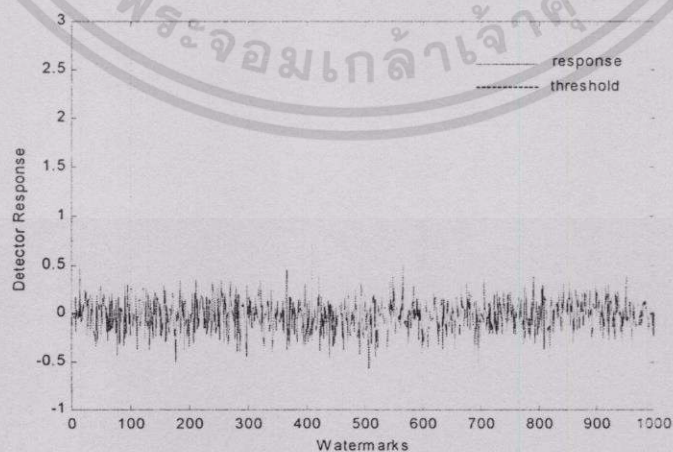


(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 (ก) ภาพต้นแบบ Boat ขนาด 512x512 (ข) ภาพที่ใส่ลายน้ำแล้วโดยยังไม่ผ่าน Visual Masking (PSNR=40.12 dB) (ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วย HVS (PSNR=42.10 dB)



รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพในรูปที่ 4.3 (ค) โดยมีค่าเรโซลต์ $T_p = 1.1980$

และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 2.6360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบความคงทนของลายน้ำ

เพื่อทดสอบอัลกอริทึมของเทคนิคการทำลายน้ำกับภาพระดับเทา ด้วยเทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต ซึ่งได้ทำการทดสอบกับเทคนิคดังต่อไปนี้

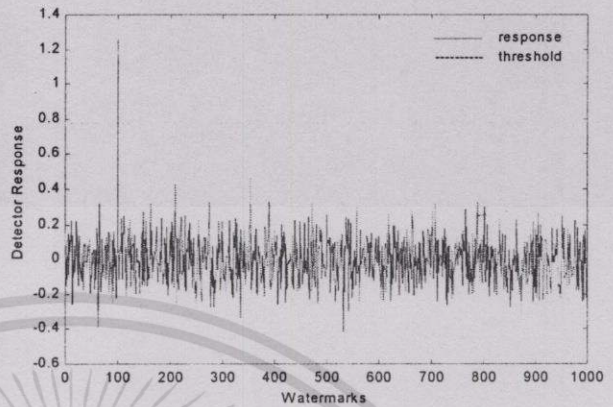
4.3.1 ความคงทนของลายน้ำต่อเทคนิคการประมวลผลสัญญาณภาพ

เพื่อทำการทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อเทคนิคการประมวลผลสัญญาณภาพ โดยนำภาพที่มีลายน้ำไปผ่านเทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันโดยมากกับภาพ ดังนั้นลายน้ำควรมีความคงทนต่อเทคนิคนี้ โดยลดคุณภาพของภาพลงเหลือเพียง 10% ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) และ 4.6 (ก) ซึ่งได้ผลตอบสนองการตรวจวัดลายน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ข) และ 4.6 (ข) ซึ่งเห็นได้ว่าแม้จะผ่านการบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราที่สูง และปรับค่า Smoothing = 0 ก็ยังสามารถตรวจหาลายน้ำได้ในระดับที่ดี

เมื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำจากความเสียหายรูปแบบอื่น โดยทดลองใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) และ 4.8 (ก) ซึ่งได้ผลตอบสนองการตรวจวัดลายน้ำแสดงในรูปที่ 4.7 (ข) และ 4.8 (ข) ซึ่งเห็นได้ว่ายังสามารถตรวจหาลายน้ำได้ แสดงว่าลายน้ำมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี และทดสอบกับภาพที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน ซึ่งมีใช้กันค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก) และ 4.10 (ก) ซึ่งได้ผลตอบสนองการตรวจวัดลายน้ำแสดงในรูปที่ 4.9 (ข) และ 4.10 (ข) ซึ่งเห็นได้ว่ายังสามารถตรวจหาลายน้ำได้ แสดงว่าลายน้ำมีความคงทนต่อปรับปรุงความสว่างและความคมชัดของภาพได้ดี

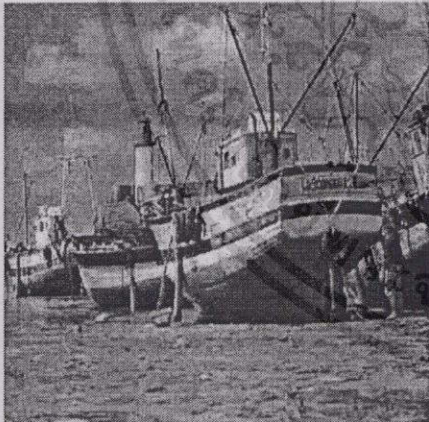


(ก)

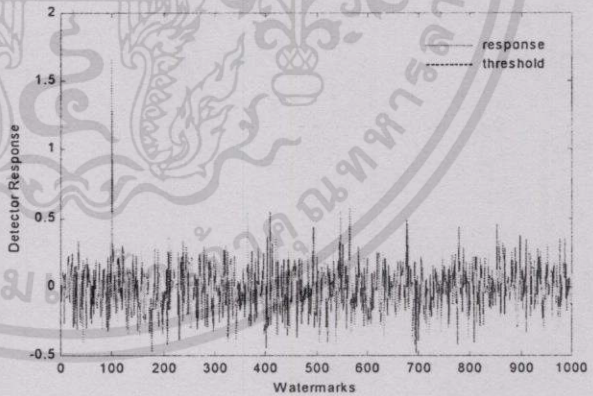


(ข)

รูปที่ 4.5 (ก) ภาพ Lenna ที่ผ่านการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_p = 0.7803$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 1.2628



(ก)

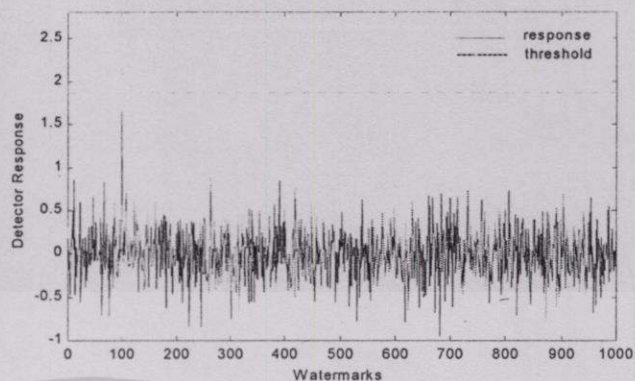


(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) ภาพ Boat ที่ผ่านการบีบอัดแบบ JPEG โดยคุณภาพของภาพเท่ากับ 10% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_p = 1.1625$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 1.6651



(ก)

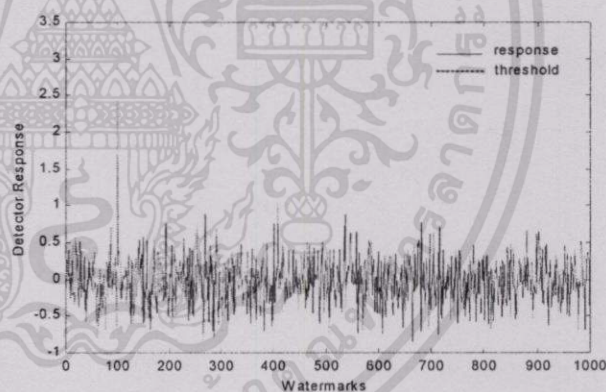


(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) ภาพ Lena ที่ได้สัญญาณรบกวนเกาซ์เซียน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_D = 1.8652$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 2.1870



(ก)

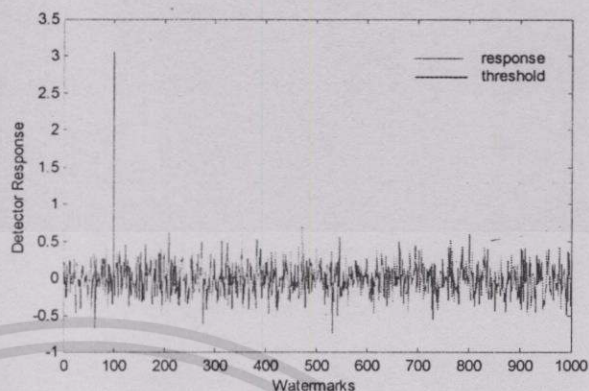


(ข)

รูปที่ 4.8 (ก) ภาพ Boat ที่ได้สัญญาณรบกวนเกาซ์เซียน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_D = 2.0387$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 3.1672



(ก)

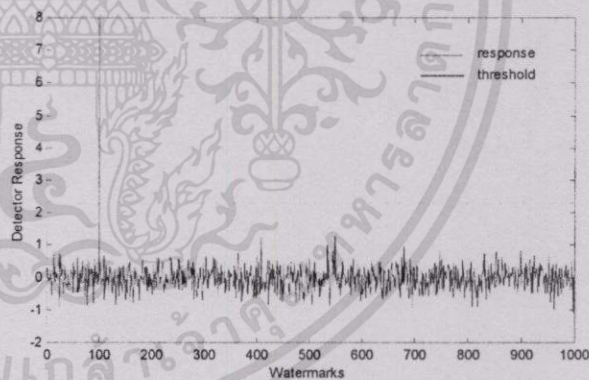


(ข)

รูปที่ 4.9 (ก) ภาพ Lenna ที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหา
ลายน้ำจากภาพโดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 1.2852$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ =
3.0689



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 (ก) ภาพ Boat ที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน (ข) ผลตอบสนองการตรวจหา
ลายน้ำจากภาพโดยมีค่าเรโซลต์ $T_{\rho} = 2.3079$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ =
7.9915

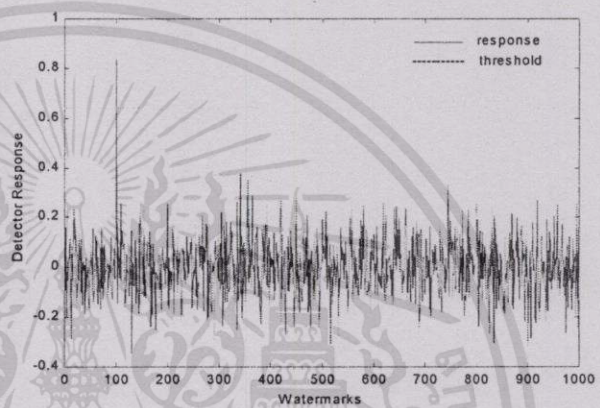
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความคงทนของลายน้ำต่อความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต

และเมื่อทำการทดสอบการตรวจหาลายน้ำ จากภาพที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพลง ด้านละ 256 พิกเซล จนเหลือพื้นที่เพียง 50% จากขนาดของภาพเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ก) และ 4.12 (ก) จำนวนลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพก็จะลดตามลงไปด้วย และผลตอบสนองในการตรวจหาลายน้ำ แสดงในรูปที่ 4.11 (ข) และ 4.12 (ข) จากผลจะเห็นว่าแม้ภาพจะถูกลดพื้นที่ของภาพลงไป 50% ก็ยังสามารถตรวจหาลายน้ำได้อยู่ในระดับที่ชัดเจน

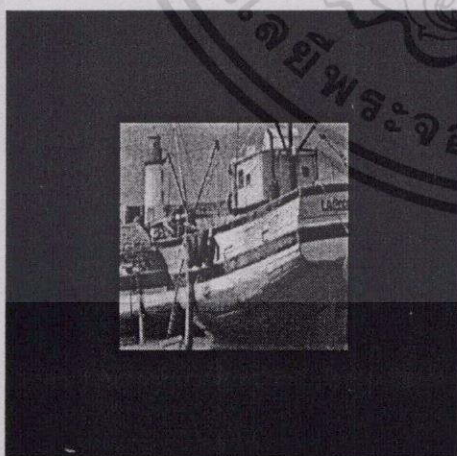


(ก)

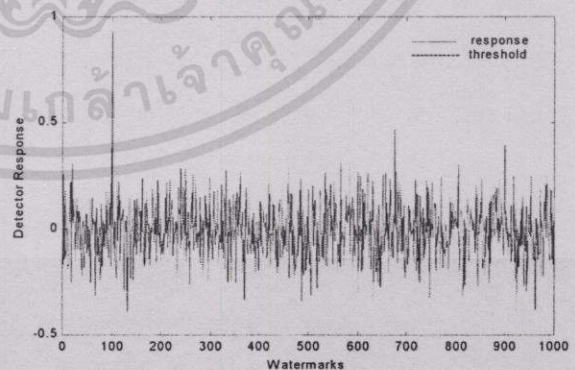


(ข)

รูปที่ 4.11 (ก) ภาพ Lenna ที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพ โดยมีพื้นที่ของภาพเหลือ 50% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_D = 0.6405$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 0.8386



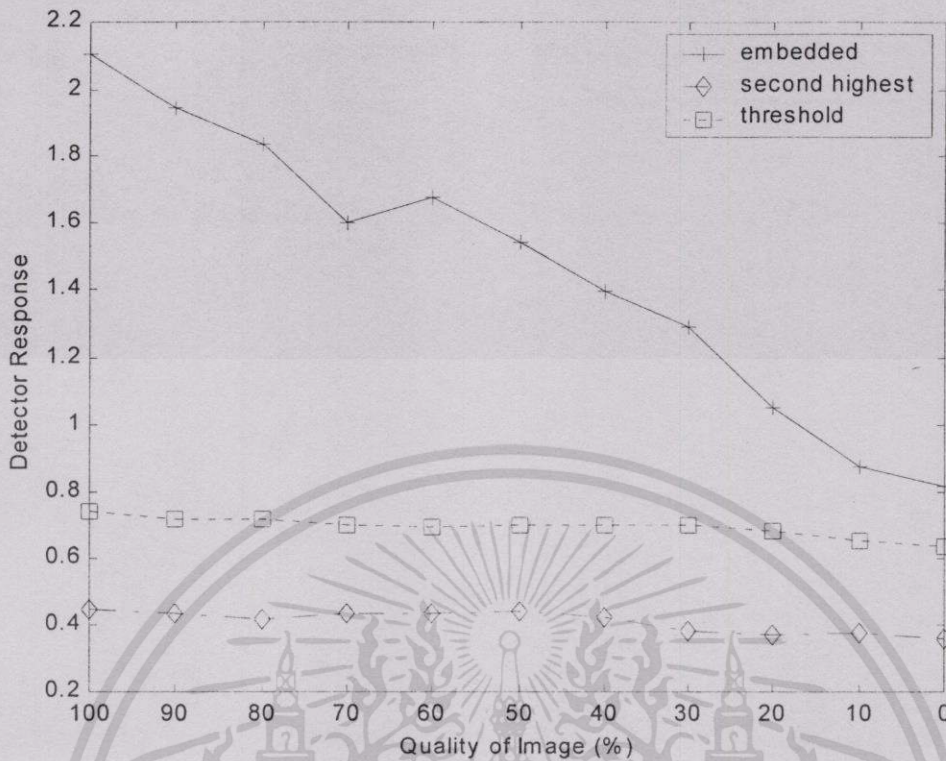
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) ภาพ Boat ที่ผ่านการตัดบางส่วนของภาพ โดยมีพื้นที่ของภาพเหลือ 50% (ข) ผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำจากภาพ โดยมีค่าเรโซลต์ $T_D = 0.7650$ และผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำ = 0.9315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบสนองการตรวจหาลายน้ำระหว่างค่าสูงสุดลำดับแรกและลำดับที่สอง กับ ค่าเรโซลต์

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของผลการตอบสนองการตรวจหาลายน้ำระหว่างค่าสูงสุดลำดับแรกและลำดับที่สอง กับค่าเรโซลต์ โดยเป็นสัมพันธ์ที่ใช้แสดงระดับของผลตอบสนองกับการประมวลผลภาพด้วยการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG โดยลดคุณภาพของภาพลงเรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นว่าค่าเรโซลต์ยังคงสามารถแยกและตัดสินระหว่างค่าสูงสุดและค่าที่สูงเป็นลำดับที่สองได้อย่างชัดเจน แสดงถึงความทนต่อเทคนิคการบีบอัดข้อมูลได้ดี

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

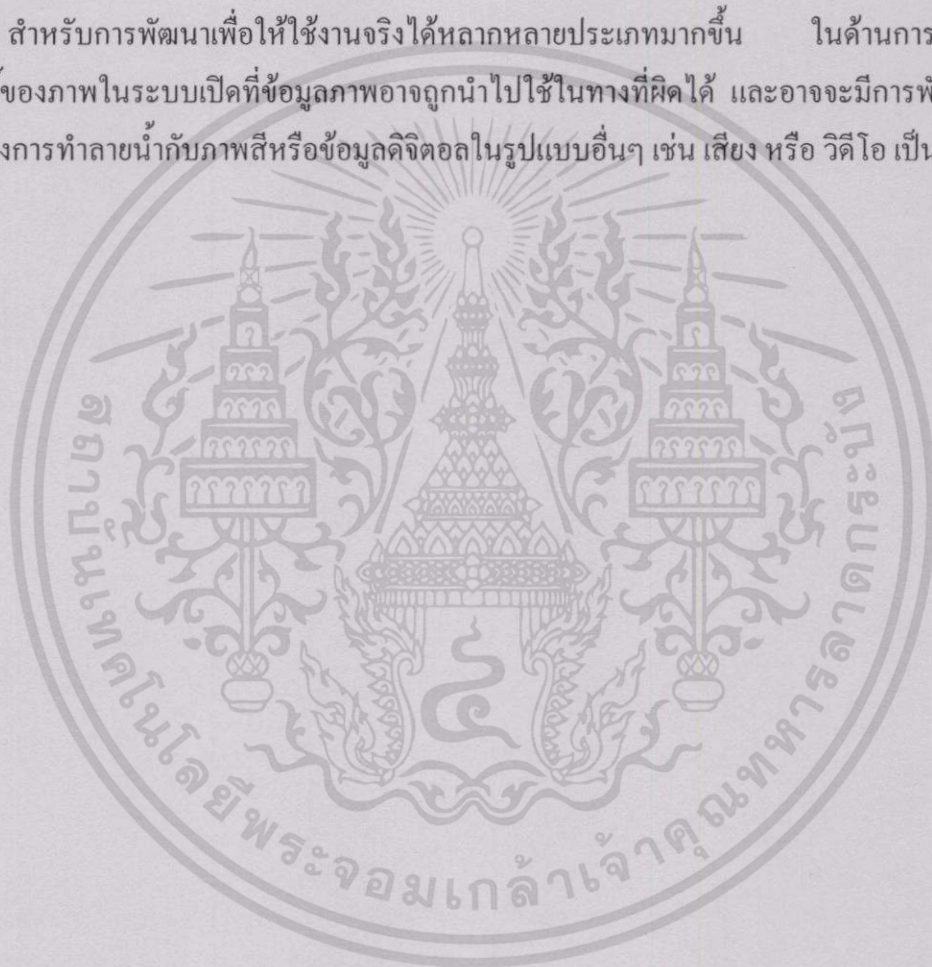
การพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทำให้ข้อมูลดิจิทัล อาทิ วิดีโอ เสียง รูปภาพ ต่างๆ สามารถกระจายส่งต่อกันอย่างรวดเร็วและ ง่ายด้ายขึ้น ทำให้เกิดปัญหา การคัดลอกสื่อโดยมิได้รับอนุญาตจากเจ้าของสื่อต่างๆ เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน การป้องกัน ปัญหาเหล่านี้เราสามารถนำเทคนิคแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า ลายน้ำดิจิทัล (Digital Watermarking) ซึ่งจะ ถูกฝังอยู่อย่างถาวรในข้อมูลดิจิทัลและสามารถตรวจสอบได้ในภายหลัง โดยที่ลายน้ำดิจิทัลจะใช้ เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของสื่อต่างๆ เหล่านั้นได้ การทำลายน้ำกับข้อมูลภาพดิจิทัล ประกอบด้วยข้อมูลภาพกับลายน้ำดิจิทัล โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (key information) หรือรหัสส่วนตัวที่ ฝังลงไปบนภาพ และต้องไม่เห็นความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่มีลายน้ำ โดยทั่วไป เทคนิคลายน้ำในภาพดิจิทัลต้องการให้ผลเป็นไปตามคุณสมบัติดังนี้ การฝังลายน้ำต้องไม่ทำให้ คุณภาพของภาพด้อยลงและไม่ควรสังเกตเห็นได้โดยง่าย คุณสมบัติของลายน้ำของภาพควรกำจัด ทิ้งได้ยาก ควรมีความคงทนต่อกระบวนการประมวลผลสัญญาณต่างๆ และการลดทอนทาง เรขาคณิต โดยสามารถทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำภาพดิจิทัลด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การบีบอัดข้อมูลภาพ, การกรองภาพ, การตัดบางส่วนของภาพ, การย่อหรือขยายขนาดภาพ เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลทำงาน ในโดเมนความถี่แบบใหม่โดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบในการตรวจหาลายน้ำ โดยเพิ่มรหัสที่เป็น ลำดับสุ่มที่เป็นจำนวนจริงลงในชุด ของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ได้เลือกไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำลายน้ำมารวมเข้ากับสัมประสิทธิ์ DCT โดยกระทำในโดเมนความถี่ การฝังลายน้ำ (Watermark Casting) จะใช้ลักษณะพิเศษของ Human Visual System เพื่อให้แน่ใจว่าลายน้ำจะไม่ สามารถถูกสังเกตเห็นได้โดยง่าย ลายน้ำที่ถูกฝังไว้สามารถแยกออกมาโดยไม่ต้องอาศัยภาพต้นแบบ ดังนั้นเทคนิคที่เสนอได้ปรับปรุงวิธีการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่มีลายน้ำและภาพต้นแบบ ผลการ ทดลองได้แสดงให้เห็นว่าลายน้ำมีความคงทนต่อเทคนิคของการประมวลผลสัญญาณ และการลด ทอนทางเรขาคณิตต่างๆ โดยที่ลายน้ำยังคงอยู่ จากการทดลองพบว่าเทคนิคการทำลายน้ำตามอัลกอ ริธึมที่เสนอมีความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลสัญญาณ เช่น การบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG การ ใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน การทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน และการผิเคพื้นทางเรขาคณิต เช่นการตัดบางส่วนของภาพออกซึ่งทำให้ภาพขาดรายละเอียดของข้อมูลลายน้ำที่ฝังลงไปในภาพถึง 50% ซึ่งทั้งหมดนี้ยังคงสามารถทำการตรวจหาลายน้ำจากภาพอย่างชัดเจน

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบในการทำลายน้ำท่วมไปคือข้อจำกัดและคุณสมบัติต่างๆ ในความคงทนของลายน้ำที่สร้างขึ้นจากอัลกอริธึมที่มีการนำเสนอขึ้นมา ไม่ว่าจะเป็นการเลือกวิธีในการทำลายน้ำหรือวิธีการตรวจหาลายน้ำให้เหมาะสมกับงานประเภทต่างๆ ซึ่งได้มีการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริธึมในหลายๆ แนวทาง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งไปที่การป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพโดยใช้ลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งอาจสามารถใช้วิธีการแปลงภาพไปยังโดเมนความถี่ด้วยเวฟเลตที่เป็นที่นิยมใช้กันอีกวิธีหนึ่ง

สำหรับการพัฒนาเพื่อให้ใช้งานจริงได้หลากหลายประเภทมากขึ้น ในด้านการป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพในระบบเปิดที่ข้อมูลภาพอาจถูกนำไปใช้ในทางที่ผิดได้ และอาจจะมีการพัฒนาในส่วนของการทำลายน้ำกับภาพสีหรือข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบอื่นๆ เช่น เสียง หรือ วิดีโอ เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Kahn. 1967. **The Codebreakers**. New York: The Macmillan Company.
- [2] R.J. Anderson and F. Petitcolas. "On the Limits of Steganography" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 4, May 1998, pp. 474-481.
- [3] N. Memon and P. W.Wong. "Protecting Digital Media Content" *Communications of the ACM*, vol. 41, no. 7, July 1998, pp. 34-43.
- [4] F. Mintzer, G. Braudaway and A. Bell. "Opportunities for Watermarking Standards." *Communications of the ACM*, vol. 41, no. 7, July 1998, pp. 56-64.
- [5] M. D. Swanson, M. Kobayashi and A. H. Tewfik. "Multimedia Dataembedding and Watermarking Technologies." *Proc. of the IEEE*, vol. 86, no. 6, June 1998, pp. 1064-1087.
- [6] F. Mintzer, G. Braudaway and M. Yeung. "Elective and Inelective Digital Watermarks." in *Proc. IEEE Internat. Conf. Image processing'97*, Santa Barbara, CA, vol. 3, October 1997, pp. 9-12.
- [7] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini and A. Piva. "A DCT-domain System for Robust Image Watermarking." *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, May 1998, pp. 357-372.
- [8] T. Aura. "Practical Invisibility in Digital Communication." in *Proc. First Int. Workshop on Information Hiding* R. Anderson ed., *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag, 1996.
- [9] A. Kerkhols. "La Cryptographie Militaire" *Journal des Sciences Militaires*, vol. 9th series, no. IX, January; February 1883, pp. 5-38; 161-191.
- [10] F. Petitcolas, R. Anderson and M. Kuhn. "Attacks on Ccopyright Marking Systems." in *Proc. Second Int. Workshop on Information Hiding*, Portland, Oregon, 1998.
- [11] G. Voyatzis, N. Nikolaidis and I. Pitas. "Digital Watermarking: An Overview." in *Proc. EUSIPCO '98*, Rhodes, Greece, September 1998.
- [12] I. J. Cox and L. Miller. "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling." in *Proc. Electronic Imaging '97*, February 1997.
- [13] I. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton and T. Shamoon. "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia." *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 12, December 1997, pp. 1673-1687.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] J. J. K. O Ruanaidh, W. J. Dowling and F. M. Boland. "Watermarking Digital Images for Copyright Protection." Proc. of the IEE Proc. Vis.Image Signal Processing, vol. 143, no. 4, August 1996, pp. 250-256.
- [15] J. O Ruanaidh and T. Pun. "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image processing '97, Santa Barbara, CA, vol. 1, October 1997, pp. 536-539.
- [16] C. Hsu and J. Wu. "Hidden Signatures in Images." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '96, Lausanne, Switzerland, September 1996, pp. 223-226.
- [17] J. O Ruanaidh, F. Boland and W. Dowling. "Phase Watermarking of Digital Images." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '96, Lausanne, Switzerland, September 1996d, pp. 239-242.
- [18] R. Van Schyndel, A. Tirkel and C. Osborne. "A Digital Watermark." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '94, Austin, Texas, November 1994, pp. 86-90.
- [19] M. Swanson, B. Zhu and A. Tewfik. "Transparent Robust Image Watermarking." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '96, Lausanne, Switzerland, September 1996, pp. 211-214.
- [20] P. Wolfgang and E. Delp. "A Watermark for Digital Images." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '96, Lausanne, Switzerland, September 1996, pp. 219-222.
- [21] S. Craver, B. Yeo and M. Yeung. "Technical trials and legal tribulations." Communications of the ACM, vol. 41, no. 7, July 1998, pp. 44-54.
- [22] J. Smith and B. Comiskey. "Modulation and Information Hiding in Images." in Proc. First Int. Workshop on Information Hiding R. Andersoned., Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 1996, pp. 207-226.
- [23] A. Bors and I. Pitas. "Image Watermarking Using DCT Domain Constraints." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '96, Lausanne, Switzerland, September 1996, pp. 231-234.
- [24] G. C. Langelaar, J. C. A. Van der Lubbe and J. Biemond. "Copyright Protection for Multimedia Data Based on Labeling Techniques." in 17th Symp. Information Theory in the Benelux, Enschede, The Netherlands, May 1996.
- [25] N. Nikolaidis and I. Pitas. "Copyright Protection of Images Using Robust Digital Signatures." in Proc. IEEE Internat. Conf. Acoustics, Speech & Signal Processings '96, Atlanta, GA, May 1996, pp. 2168-2171.

- [26] I. Pitas. "A Method for Signature Casting on Digital Images." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image Processing '96, Lausanne, Switzerland, vol. III, September 1996, pp. 215-218.
- [27] J. Zhao and E. Koch. "Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection." in Proc. Internat. Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies, Vienna, Austria, August 1995, pp. 242-251.
- [28] A. Piva, M. Barni and F. Bartolini. "Copyright Protection of Digital Images by means of Frequency Domain Watermarking." in Proc. SPIE's Int. Symposium on Optical Science, Engineering and Instrumentation, San Diego, CA, USA, July 1998.
- [29] P. Wolfgang and E. Delp. "A Watermarking Technique for Digital Imagery: Further Studies." in Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology, Las Vegas, June 1997, pp. 279-287.
- [30] D. Kundur and D. Hatzinakos. "A Robust Digital Image Watermarking Method Using Wavelet-based Fusion." in Proc. IEEE Internat. Conf. Image processing '97, Santa Barbara, CA, vol. 1, October 1997, pp. 544-547.
- [31] F. M. Boland, J. J. K. O Ruanaidh and C. Dautzenberg "Watermarking Digital Images for Copyright Protection." in Proc. IEE Conf. On Image Processing and Its Applications, July 1995, pp. 326-331.
- [32] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan. "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia." Tech. Rep. 95-10, NEC Research Institute, 1995.
- [33] B. Tao and B. Dickinson. "Adaptive Watermarking in the DCT Domain." in Proc. IEEE Internat. Conf. Acoustics, Speech & Signal Processings'97, Munich, Germany, April 1997.
- [34] C. Podilchuk and W. Zeng. "Perceptual Watermarking of Still Images." in Proc. The First IEEE Signal Processing Society Workshop on Multimedia Signal Processing, Princeton, New Jersey, June 1997.
- [35] G. Wallace. "The JPEG Still Picture Compression Standard." Communications of the ACM, vol. 34, no. 4, April 1991, pp. 30-40.
- [36] A. H. Tewfik and M. Swanson. "Data hiding for multimedia personalization, interaction, and protection." IEEE Signal Processing Magazine, vol. 14, no. 4, July 1997, pp. 41-44.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

สำหรับการเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยพิจารณาในเงื่อนไขการถอดรหัสภาพระดับเทา ขนาด 512x512 โดยให้ T' เป็นชุดของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ได้เลือกไว้ ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำการฝังลายน้ำ X ลงไปในภาพ สมมุติว่าเหตุการณ์เหล่านี้มีโอกาสเกิดขึ้นในเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง

Hp.A: $T' = T$, แสดงว่าภาพไม่มีลายน้ำฝังอยู่

Hp.B: $T' = T + \alpha Y|T|$, แสดงว่าปรากฏว่าลายน้ำ $Y \neq X$

Hp.C: $T' = T + \alpha X|T|$, แสดงว่ามีลายน้ำ X ปรากฏอยู่

สำหรับจุดมุ่งหมายนี้ ทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่ามีลายน้ำ X ฝังอยู่ในภาพหรือไม่

กำหนดให้ I, I' และ I^* คือภาพต้นแบบ ภาพที่มีลายน้ำ และภาพที่มีลายน้ำและอาจมีการผิดเพี้ยนมา ตามลำดับ ในการเข้ารหัสจะเลือกเวกเตอร์ T ของสัมประสิทธิ์ DCT จำนวน M ตัว เป็นช่วงที่จะใช้ในการฝังลายน้ำทำให้ได้เวกเตอร์ T' ในการตรวจหาลายน้ำ เราเลือกเวกเตอร์ T^* และทำการคำนวณค่าคอร์รีเลชันระหว่าง T^* และลายน้ำทั่วไป Y ตามสมการที่ 4 ถ้าเราสมมุติว่าลายน้ำในภาพไม่มีการผิดเพี้ยนไป เราจะได้ จากสมมุติฐาน A และ B เทียบเท่ากัน ดังนั้นสามารถที่จะรวมไว้ในกลุ่มเดียวกันได้

Hp.0 = Hp.A หรือ Hp.B: , แสดงว่าภาพไม่ได้ถูกฝังด้วยลายน้ำ X

Hp.1 = Hp.C: , แสดงว่ามีลายน้ำ X ฝังอยู่ในภาพ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่าง Hp.0 และ Hp.1 โดยตัวถอดรหัสทำการคำนวณ $\rho(X, T')$ และเปรียบเทียบกับค่าเชรโซลด์ T_p ถ้า $\rho(X, T')$ ต่ำกว่า T_p ดังนั้น Hp.0 ถูกสันนิษฐานได้ว่าอยู่ในกรณีนี้ ในขณะที่ถ้า $\rho(X, T')$ มีค่าสูงกว่าเชรโซลด์การถอดรหัสสันนิษฐานได้ว่าภาพนี้มีลายน้ำ X ฝังอยู่ เพื่อที่จะคำนวณค่า T_p และเลือกความยาวของ n เพื่อให้แน่ใจว่าได้ระดับความคงทนที่สูง โดยตัวถอดรหัสของความน่าจะเป็นของความคิดพลาดจะถูกนำมาใช้ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด P_e คือความน่าจะเป็นของการตัดสินใจสำหรับสมมุติฐานที่ผิด สามารถเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_e = P(0 | 1)P(1) + P(1 | 0)P(0) \quad (1)$$

โดยที่ $P(0|1)$ คือความน่าจะเป็นของความผิดพลาดว่ามีลายน้ำปรากฏอยู่ (false negative) และ $P(1|0)$ เป็นความน่าจะเป็นของการปรากฏอยู่ของ X เมื่อ X ไม่ปรากฏอยู่จริง (false positive) อนึ่ง $P(0)$ และ $P(1)$ เป็นความน่าจะเป็นแบบ *a priori* ของ $H_{p.0}$ และ $H_{p.1}$ ตามลำดับ โดยสมมติให้ $H_{p.0}$ และ $H_{p.1}$ มีความน่าจะเป็นเท่ากัน เมื่อนำไปแทนในสมการ x สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_e = \frac{1}{2} [P(0 | 1) + P(1 | 0)] = \frac{1}{2} [P(\rho(X, T') < T_\rho | 1) + P(\rho(X, T') > T_\rho | 0)] \quad (2)$$

เมื่อทำการคำนวณค่า P_e ซึ่งจะพิจารณาจากค่าทางสถิติของ $\rho(X, T')$ ในการคำนวณ $P(\rho(X, T') > T_\rho | 0)$ จากสมมติฐาน $H_{p.A}$ และ $H_{p.B}$ ควรถูกพิจารณาแยกกันโดยถือว่าค่าของ $\rho = 0$ ทำให้ได้

$$\sigma_{\rho|H_{p.A}}^2 = \sigma_{\rho(X, T')}^2 = \frac{\bar{\sigma}_t^2}{n} \quad (3)$$

$$\sigma_{\rho|H_{p.B}}^2 = \sigma_{\rho(X, T_r)}^2 = (1 + \alpha^2) \frac{\bar{\sigma}_t^2}{n} \quad (4)$$

โดยที่

$$\bar{\sigma}_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] \quad (5)$$

ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของ $\sigma_{t_i}^2$ ของสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของลายน้ำ สำหรับ $\alpha^2 \ll 1$ จากสมการที่ 3 และ 4 ทำให้ได้

$$\sigma_{\rho|H_{p.0}}^2 \approx \sigma_{\rho|H_{p.B}}^2 \approx \sigma_{\rho|H_{p.A}}^2 = \frac{\bar{\sigma}_t^2}{n} \quad (6)$$

โดยพิจารณาในทำนองเดียวกัน ในกรณีของสมมติฐาน $H_{p.1}$ ซึ่งจะแสดงไว้ในส่วนของภาคผนวก ทำให้ได้

$$\mu_{\rho|Hp.1} = \mu_{\rho(X,T_x)} = \alpha \bar{\mu}_{|t|} \quad (7)$$

และ

$$\sigma_{\rho|Hp.1}^2 = \sigma_{\rho(X,T_x)}^2 = \frac{1+2\alpha^2}{n} \bar{\sigma}_t^2 + \frac{\alpha^2}{n} \bar{\sigma}_t^2 \quad (8)$$

โดยที่

$$\bar{\mu}_{|t|} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[t_i] \quad (9)$$

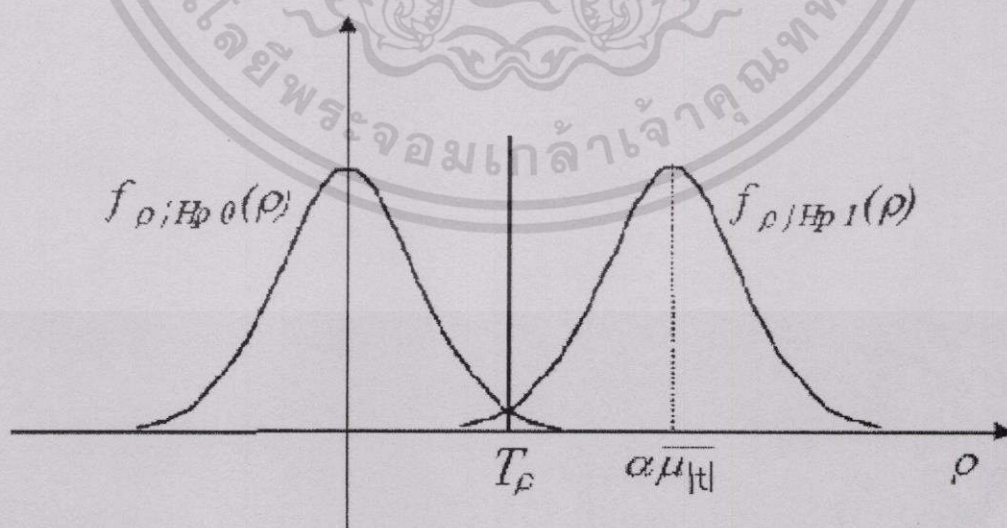
เป็นค่าเฉลี่ยของ $\mu_{|t_i|}$ ทั้งหมดของสัมประสิทธิ์ถายน้ำ และ

$$\bar{\sigma}_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[(|t_i| - E[|t_i|])^2] \quad (10)$$

คือค่าเฉลี่ยของ $\sigma_{|t_i|}^2$

โดย $\bar{\sigma}_{|t|}^2 < \bar{\sigma}_t^2$ และสมมติให้ $\alpha^2 \ll 1$ เราสามารถเขียนได้ว่า

$$\sigma_{\rho|Hp.0}^2 \approx \sigma_{\rho|Hp.1}^2 \approx \frac{\bar{\sigma}_t^2}{n} = \sigma_{\rho}^2 \quad (11)$$



รูปที่ 1 ค่า pdfs ของ ρ ภายใต้สมมติฐาน 0 และ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 1 แสดงค่าของ pdfs ของ ρ ภายใต้สมมติฐาน 0 และ 1 เพื่อที่จะให้ได้ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดที่น้อยที่สุด เมื่อเราได้เลือกค่าเรโซลต์ T_ρ ซึ่งเป็นค่าที่ $P(0|1) + P(1|0)$ มีค่าต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไข $\alpha^2 \ll 1$ และ $P(0|1) = P(1|0)$ และค่าเรโซลต์ที่เหมาะสมที่สุดที่อยู่กึ่งกลางระหว่าง 0 และ $\mu_{\rho|H_{p,1}}$ นั่นก็คือ $T_\rho = \frac{\alpha}{2} \bar{\mu}_{t|}$ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดที่แท้จริงสามารถหาค่าได้โดยการประมาณค่า $\bar{\mu}_{t|}$ และ $\bar{\sigma}_t^2$ ดังนั้นจะได้

$$P_e = P(\rho < T_\rho | 1) = P(\rho < T_\rho | 0) \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\rho^2}} \int_{T_\rho}^{\infty} e^{-x^2/2\sigma_\rho^2} dx = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{T_\rho}{\sqrt{2\sigma_\rho^2}} \right) \quad (12)$$

โดย $\operatorname{erfc}(x)$ คือ complementary error function โดยกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดมีค่าต่ำกว่า 10^{-6} ทำให้ได้ค่าตามสมการที่ 12

$$\frac{T_\rho}{\sqrt{2\pi\sigma_\rho^2}} = \frac{\alpha \bar{\mu}_{t|} \sqrt{n}}{2\sqrt{2\bar{\sigma}_t^2}} \approx 3.3 \quad (13)$$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปที่ง่ายได้ดังนี้

$$n = 87.12 \frac{\bar{\sigma}_t^2}{\alpha^2 \bar{\mu}_{t|}^2} \quad (14)$$

เพื่อให้ได้ค่าของ n จากสมการที่ 14 จำเป็นต้องประมาณค่าของ $\bar{\sigma}_t^2$ และ $\bar{\mu}_{t|}$ ซึ่งเป็นการคำนวณที่ยากมากโดยเหตุที่ค่าของ t_i โดย i มีช่วงตั้งแต่ 16000 ถึง 16000 + n ซึ่งต้องคำนวณจากภาพที่สามารถเป็นไปได้อย่างทั้งหมด จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พยายามอธิบายลักษณะคุณสมบัติทางสถิติของสัมประสิทธิ์ DCT ซึ่งได้มีการทำการทดสอบกับฐานข้อมูลประกอบด้วยภาพระบบเทาจำนวน 170 ภาพจากหลากหลายสาขาของงานประยุกต์ เราสามารถกำหนดได้ว่าเมื่อ n มีช่วงตั้งแต่ 10000 ถึง 20000 เป็นช่วงโดยประมาณที่ดีที่สุดโดยกำหนดให้ $\bar{\mu}_{t|} = 0.7$ และ $\bar{\sigma}_t^2 = 1$ จากนั้นแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการที่ 14 และสมมติให้ $\alpha = 0.1$ ทำให้ได้ค่า $n \approx 17000$ โดยเลือกค่า $\alpha \approx 0.15$ และฝังรหัสลงในสัมประสิทธิ์ DCT จำนวน 16000 โดยมีช่วงตั้งแต่สัมประสิทธิ์ตัวที่ 16001 ถึง 32000 ทำให้ได้ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดโดยประมาณเท่ากับ 10^{-6}

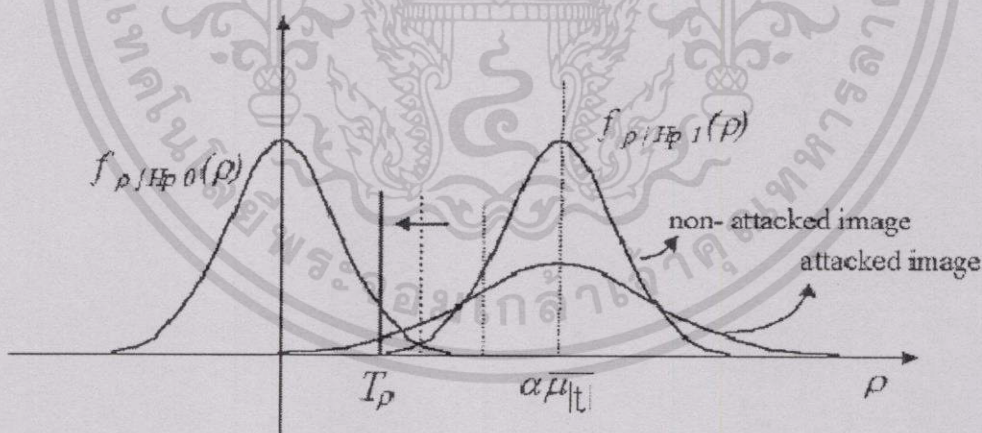
การพิจารณาเลือกค่าเรโซลต์ในทางปฏิบัติ

จากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ผ่านมาซึ่งนำมาประยุกต์ใช้งานในสถานการณ์ทางปฏิบัติ ซึ่งจะพิจารณาในสองหัวข้อ ในการวิเคราะห์หลักการทางสถิติ สมมติให้ $\bar{\mu}_{|t|} = 0.7$ ซึ่งเป็นสมมุติฐานที่สมเหตุสมผล แต่อย่างไรก็ตามถ้าภาพที่มีการฝังลายน้ำสำหรับค่าสัมบูรณ์เฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ DCT มีค่าน้อยกว่า 0.7 หรือน้อยไปกว่านี้ ถ้ามีการประมวลผลบางอย่างถูกใช้กับภาพ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของ $|t|$ จะถูกพิจารณาให้มีค่าลดลง ความผิดพลาดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าของ $\rho(X,T)$ กับ $T_\rho = \frac{\alpha}{2} \bar{\mu}_{|t|}$ ในการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ เป็นสิ่งที่ดีกว่าสำหรับตัวถอดรหัสที่ใช้ค่าเรโซลต์ T_ρ ซึ่งเป็นค่าในการประมาณของภาพที่มีลายน้ำอยู่ สมมติให้

$$\bar{\mu}_{|t|} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i| \quad (15)$$

ดังนั้น

$$T_\rho = \frac{\alpha}{2n} \sum_{i=1}^n |t_i| \quad (16)$$



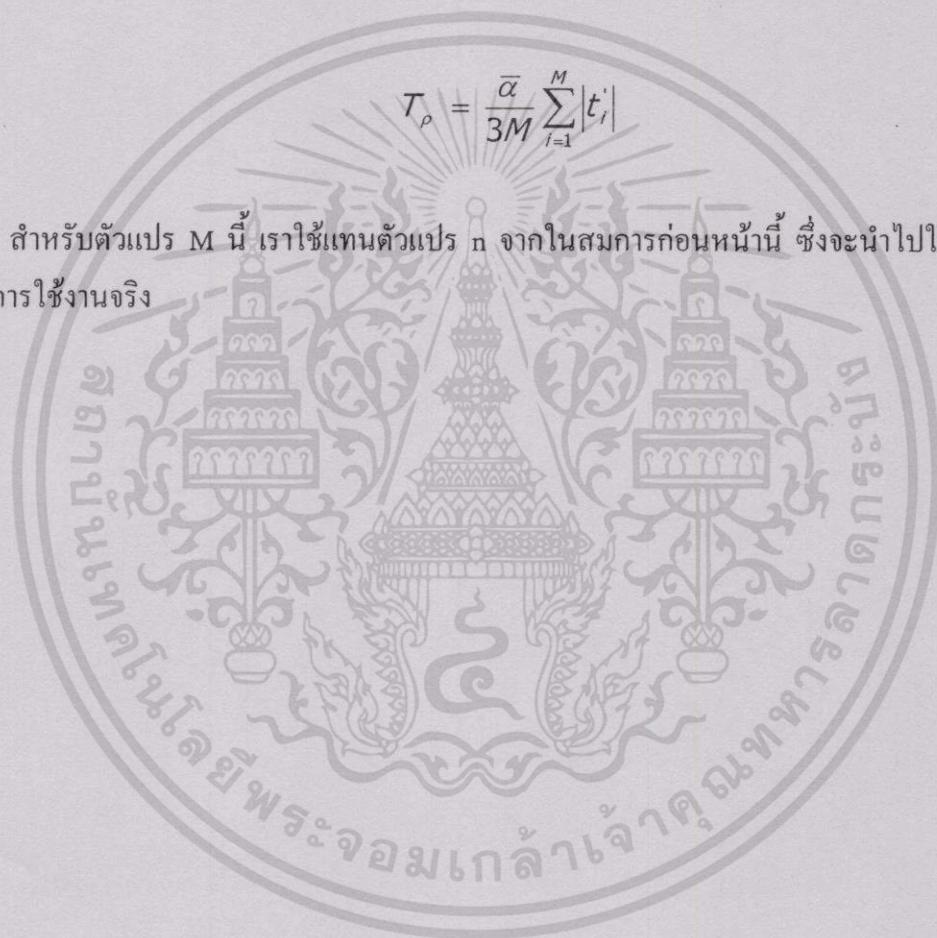
รูปที่ 2 ค่า pdfs ของ ρ ภายใต้สมมุติฐาน 0 และ 1 เมื่อพิจารณาให้มีความเสียหายเกิดขึ้น

การพิจารณาในกรณีที่สองเกี่ยวกับการเลือกค่าของ T_ρ เมื่อภาพเกิดความเสียหายโดยความบังเอิญหรือความตั้งใจก็ตาม ในกรณีเช่น โดยเหตุที่ค่ากลางและความแปรปรวนของ $\rho(X,T)$ อาจเปลี่ยนแปลงไปโดยวิธีใดๆ เนื่องจากอาจมีโอกาสนั้นเป็นไปได้ที่ภาพจะเกิดความเสียหายเนื่องด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุมากมาย ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้โดยค่าของ $\sigma_{\rho}(X,T)$ และ $\sigma_{\rho}(X,T_V)$ ควรจะยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ $\sigma_{\rho}(X,T_X)$ น่าจะเพิ่มนัยสำคัญขึ้น ดังนั้นเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ $\rho(X,T)$ เราสมมติให้ $\mu_{\rho}(X,T)$ และ $\mu_{\rho}(X,T_V)$ ไม่มีผลแม้ว่าจะมีความเสียหายปรากฏอยู่ และค่า $\mu_{\rho}(X,T_X)$ สามารถประมาณได้โดยการสังเกตจากภาพที่มีลายน้ำ และภาพที่เกิดความเสียหาย เพราะฉะนั้น เมื่ออ้างอิงจากรูปที่ 2 เราสามารถกล่าวได้ว่าเพราะความเสียหายของภาพ เนื่องจากยังคงมีเกาซ์เซียนปรากฏอยู่ แต่ตัวหนึ่งมีค่ากึ่งกลางอยู่ที่ $\bar{\mu}_{t_i}$ ซึ่งมีความแปรปรวนมากกว่า ดังนั้นค่าของ T_{ρ} ควรจะกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงศูนย์ แทนที่จะให้ค่ากึ่งกลางระหว่างศูนย์และ $\bar{\mu}_{t_i}$ ดังนั้นค่า T_{ρ} ถูกสมมติให้เท่ากับ

$$T_{\rho} = \frac{\bar{\alpha}}{3M} \sum_{i=1}^M |t_i| \quad (17)$$

สำหรับตัวแปร M นี้ เราใช้แทนตัวแปร n จากในสมการก่อนหน้านี้ ซึ่งจะนำไปใช้ในสมการในการใช้งานจริง



ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติทางสถิติของค่าคอร์รีเลชัน

1. คุณสมบัติทางสถิติของค่าคอร์รีเลชัน $\rho(X, T)$

ในภาคผนวกนี้ จะแสดงถึงที่มาของคุณสมบัติทางสถิติ ของค่าคอร์รีเลชัน $\rho(X, T)$ ในกรณีนี้จะพิจารณาภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่และภาพที่ไม่มีลายน้ำ และทำการประมาณค่าที่คาดหวังและความแปรปรวนของ ρ

1.1 ค่าที่คาดหวังของ $\rho(X, T)$

ให้ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นรหัสของลายน้ำ และ $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ เป็นชุดสัมประสิทธิ์ของ DCT ที่ไม่มีลายน้ำอยู่ เราจะได้

$$\mu_\rho(X, T) = E[\rho(X, T)] = \frac{1}{n} E\left[\sum_{i=1}^n x_i t_i\right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i t_i] \quad (1)$$

โดยให้สัมประสิทธิ์ของลายน้ำเป็นอิสระต่อกัน และสมมติให้ x_i และ t_i เป็นอิสระต่อกันทางสถิติ สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\mu_\rho(X, T) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i] E[t_i] = 0 \quad (2)$$

โดยที่ $E[x_i] = 0$ สำหรับแต่ละค่าของ i

1.2 ความแปรปรวนของ $\rho(X, T)$

ให้ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นรหัสของลายน้ำ และ $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ เป็นชุดสัมประสิทธิ์ของ DCT ที่ไม่มีลายน้ำอยู่ เราจะได้

$$\sigma_\rho^2(X, T) = E[\rho(X, T)^2] = \frac{1}{n^2} E\left[\sum_{i=1}^n x_i t_i \sum_{j=1}^n x_j t_j\right] = \frac{1}{n^2} \sum_{i,j} E[x_i x_j t_i t_j] \quad (3)$$

โดยสมมติให้ x_i และ x_j เป็นอิสระต่อ t_i และ t_j ซึ่งทำให้ได้

$$\begin{aligned}\sigma_\rho^2(X, T) &= \frac{1}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i]E[x_j]E[t_i t_j] + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2]E[t_i^2] \\ &= \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] = \frac{1}{n} \bar{\sigma}_t^2\end{aligned}\quad (4)$$

โดยที่

$$\bar{\sigma}_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] \quad (5)$$

จากสมการที่ 5 เป็นค่าเฉลี่ยของ $\sigma_{t_i}^2$ ของชุดสัมประสิทธิ์ที่มีลายน้ำทั้งหมด และ $\sigma_x^2 = 1$ เป็นความแปรปรวนของลายน้ำ

1.3 ค่าที่คาดหวังของ $\rho(X, T_X)$

ให้ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นรหัสของลายน้ำ และ $T_X = \{t_{x,1}, t_{x,2}, \dots, t_{x,n}\}$ เป็นชุดสัมประสิทธิ์ของ DCT ที่มีลายน้ำ X อยู่ เราจะได้

$$\begin{aligned}\mu_\rho(X, T_X) &= E[\rho(X, T_X)] = \frac{1}{n} E\left[\sum_{i=1}^n x_i(t_i + \alpha|t_i|x_i)\right] \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i]E[t_i] + \frac{\alpha \sigma_x^2}{n} \sum_{i=1}^n E[|t_i|] = \alpha \bar{\mu}_{|t|}\end{aligned}\quad (6)$$

โดยที่

$$\bar{\mu}_{|t|} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[|t_i|] \quad (7)$$

โดยสมการที่ 7 เป็นค่าเฉลี่ยในชุดสัมประสิทธิ์ของลายน้ำทั้งหมดของ $\mu_{|t_i|}$

1.4 ความแปรปรวนของ $\rho(X, T_X)$

ให้ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นรหัสของลายน้ำ และ $T_X = \{t_{x,1}, t_{x,2}, \dots, t_{x,n}\}$ เป็นชุดสัมประสิทธิ์ของ DCT ที่มีลายน้ำ X อยู่ เพื่อที่จะคำนวณความแปรปรวนของ $\rho(X, T_X)$ โดยเริ่มต้นที่การคำนวณ

ค่าเฉลี่ยกำลังสองของ $\rho(X, T_X)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
E[\rho(X, T_x)^2] &= \frac{1}{n^2} E\left[\sum_{i=1}^n x_i(t_i + \alpha|t_i|x_i) \sum_{j=1}^n x_j(t_j + \alpha|t_j|x_j)\right] \\
&= \frac{1}{n^2} E\left[\sum_{i,j} x_i x_j t_i t_j + 2\alpha \sum_{i,j} x_i x_j^2 t_i |t_j| + \alpha^2 \sum_{i,j} x_i^2 x_j^2 |t_i| |t_j|\right] \\
&= \frac{1}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i] E[x_j] E[t_i t_j] + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[t_i^2] + \\
&\quad \frac{2\alpha}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i] E[x_j^2] E[t_i |t_j|] + \frac{2\alpha}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^4] E[t_i |t_i|] + \\
&\quad \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i^2] E[x_j^2] E[|t_i| |t_j|] + \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^4] E[t_i^2] \\
&= \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[t_i^2] + \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i^2] E[x_j^2] E[|t_i| |t_j|] + \\
&\quad \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^4] E[t_i^2] \\
&= \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] + \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i \neq j} E[|t_i| |t_j|] + \frac{3\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] \quad (8)
\end{aligned}$$

จากผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ของสมการ สำหรับค่า *zero-mean Gaussian pdf's* $E[x^4] = 3\sigma^4$ และความแปรปรวนของ $\rho(X, T_x)$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\sigma_{\rho(X, T_x)}^2 = E[\rho(X, T_x)^2] - \mu_{\rho(X, T_x)}^2 \quad (9)$$

โดยสมมติให้แต่ละค่าของ i $E[|t_i| |t_j|] = E[|t_i|] E[|t_j|]$ โดยสมมติจากสภาพในความเป็นจริงที่ t_i และ t_j สามารถถูกพิจารณาให้เป็นตัวแปรแบบสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน และเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 6, 8 และ 9 ทำให้สามารถใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}
\sigma_{\rho(X, T_x)}^2 &= \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] + \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i \neq j} E[|t_i|] E[|t_j|] + \frac{3\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] - \\
&\quad \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i,j} E[|t_i|] E[|t_j|] - \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[|t_i|^2] \\
&= \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] + \frac{3\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] - \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[|t_i|^2] \\
&= \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[|t_i|^2] + \frac{2\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] + \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n (E[t_i^2] - E[|t_i|^2]) \\
&= [1 + 2\alpha^2 \sigma_x^2] \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] + \frac{\alpha^2 \sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n \sigma_{t_i}^2 \quad (10)
\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเขียนให้อยู่ในรูปที่ดูได้ง่ายเมื่อแทนด้วยสัญลักษณ์ต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงเขียนได้เป็น

$$\sigma_{\rho(X,T_X)}^2 = \frac{1+2\alpha^2}{n} \bar{\sigma}_t^2 + \frac{\alpha^2}{n} \bar{\sigma}_{|t|}^2 \quad (11)$$

1.5 ค่าที่คาดหวังของ $\rho(X,T_Y)$

ในส่วนนี้จะแสดงการหาค่าที่คาดหวังของ ρ สำหรับแต่ละกรณีซึ่งสัมพันธ์กับ DCT ที่มีลายน้ำฝังอยู่เมื่อเทียบกับลำดับรหัสของ Y และการตรวจสอบลายน้ำ X ที่แตกต่างกันว่ามีปรากฏอยู่หรือไม่ โดยให้ $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ เป็นรหัสลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพ, $T_Y = \{t_{Y,1}, t_{Y,2}, \dots, t_{Y,n}\}$ เป็นชุดของสัมประสิทธิ์ DCT ที่มีลายน้ำอยู่ และ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นลายน้ำที่จะแสดงออกมาเมื่อมีลายน้ำปรากฏอยู่ ซึ่งเราจะได้

$$\begin{aligned} \mu_{\rho(X,T_Y)} &= E[\rho(X,T_Y)] = \frac{1}{n} E\left[\sum_{i=1}^n x_i(t_i + \alpha |t_i| y_i)\right] \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i t_i] + \frac{\alpha}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i y_i |t_i|] \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i] E[t_i] + \frac{\alpha}{n} \sum_{i=1}^n E[x_i] E[y_i] E[|t_i|] = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

นั่นก็คือ เมื่อเราตรวจหาลายน้ำว่ามีปรากฏอยู่หรือไม่ โดยค่าที่คาดหวังของค่าคอร์รีเลชัน ρ จะไม่มีผลแม้ว่าลายน้ำ Y ค่าอื่นๆ จะถูกฝังอยู่ในภาพก็ตาม

1.6 ความแปรปรวนของ $\rho(X,T_Y)$

เพื่อให้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของ ρ เสร็จสิ้นลงโดยสมบูรณ์ ซึ่งจำเป็นต้องหาความแปรปรวนของ $\sigma_{\rho(X,T_Y)}^2$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับลายน้ำที่ถูกฝังอยู่และถูกตรวจหาในกรณีต่างๆ กัน ก่อนหน้านี้นี้เราให้ $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ เป็นรหัสลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพ, $T_Y = \{t_{Y,1}, t_{Y,2}, \dots, t_{Y,n}\}$ เป็นชุดของสัมประสิทธิ์ DCT ที่มีลายน้ำอยู่ และ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ เป็นลายน้ำที่ตัวถอดรหัสต้องการตรวจหาออกมา เราสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}
\sigma_{\rho(X,T_Y)}^2 &= E[\rho(X,T_Y)^2] \\
&= \frac{1}{n^2} E\left[\sum_{i=1}^n x_i(t_i + \alpha y_i | t_i) \sum_{j=1}^n x_j(t_j + \alpha y_j | t_j)\right] \\
&= \frac{1}{n^2} E\left[\sum_{i,j} x_i x_j t_i t_j + 2\alpha \sum_{i,j} x_i x_j y_j t_i | t_j| + \alpha^2 \sum_{i,j} x_i x_j y_i y_j | t_i | t_j|\right] \\
&= \frac{1}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i] E[x_j] E[t_i t_j] + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[t_i^2] + \\
&\quad \frac{2\alpha}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i] E[x_j] E[y_j] E[t_i | t_j] + \frac{2\alpha}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[y_i] E[t_i | t_j] + \\
&\quad \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i \neq j} E[x_i] E[y_i] E[x_j] E[y_j] E[t_i | t_j] + \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[y_i^2] E[t_i^2] \\
&= \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[t_i^2] + \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[x_i^2] E[y_i^2] E[t_i^2] \\
&= \frac{\alpha^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] + \frac{\alpha^2 \sigma_x^4}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] \\
&= (1 + \alpha^2 \sigma_x^2) \frac{\sigma_x^2}{n^2} \sum_{i=1}^n E[t_i^2] = \frac{(1 + \alpha^2) \bar{\sigma}_t^2}{n}
\end{aligned} \tag{13}$$

สังเกตได้ว่านิพจน์ของ $\sigma_{\rho(X,T)}$, $\sigma_{\rho(X,T_Y)}$ และ $\sigma_{\rho(X,T_X)}$ มีค่าคล้ายกันมาก ในกรณีที่ $\alpha \ll 1$

$$\sigma_{\rho(X,T_X)}^2 \approx \sigma_{\rho(X,T_Y)}^2 \approx \sigma_{\rho(X,T)}^2 = \frac{\bar{\sigma}_t^2}{n} \tag{14}$$

โดยเทียบได้กับ

$$\sigma_{\rho(X,T)}^2 \leq \sigma_{\rho(X,T_Y)}^2 \leq \sigma_{\rho(X,T_X)}^2 \leq \frac{1 + 3\alpha^2}{n} \bar{\sigma}_t^2 \tag{15}$$

ภาคผนวก ค.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. W.Phasamak, P.Thitimajshima, and Y.Rangsanseri. "Architectural Design of Two Dimensional Discrete Cosine Transform" ISIC-99 8th International Symposium on Integrated Circuit, Device & Systems, 8-10 September 1999.
2. วีรณัฐ ภาษามาก และ ผศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี. "การออกแบบสถาปัตยกรรมของดิสครีตโคไซน์สองมิติ (Architectural Design of Two Dimensional Discrete Cosine Transform)" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37, พ.ศ. 2542
3. วีรณัฐ ภาษามาก และ รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี. "การป้องกันลิขสิทธิ์ของภาพโดยใช้ลายน้ำแบบ DCT ที่ปรับเปลี่ยนได้ (Copyright Protection of Images Using Adaptive DCT-based Watermarking)" The 24th Electrical Engineering Conference (EECON-24) การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24, พ.ศ. 2544

ประวัติผู้เขียน

นาย วีรณัฐ ภาษามาก เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2540 เคยทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัยที่ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2540 จากนั้นทำงานในตำแหน่ง Sale Executive (HP PC and NetServer) ที่บริษัทคิเจิลแลนด์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี พ.ศ. 2542 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง Product Manager บริษัทออกัสตราคอมพิวติ้ง จำกัด ปี พ.ศ. 2544

