

การใส่ลายน้ำของภาพหลายแถบความถี่โดยวิธีพีซีเอ/เวฟเล็ต  
PCA/WAVELET BASED WATERMARKING OF MULTISPECTRAL IMAGE

จันทนา ปัญญาวารสารณ์  
JANTANA PANYAVARAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2214-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใส่ลายน้ำของภาพหลายแถบความถี่โดยวิธีพีซีเอ/เวฟเล็ต

PCA/WAVELET BASED WATERMARKING OF MULTISPECTRAL IMAGE

จันทนา ปัญญาวรรณณ์

JANTANA PANYAVARAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2214-2

**PCA/WAVELET BASED WATERMARKING OF MULTISPECTRAL IMAGE**

**JANTANA PANYAVARAPORN**

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

**2006**

**ISBN 974-15-2214-2**

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใส่ลายน้ำของภาพหลายแถบความถี่โดยวิธีพีซีเอ/เวฟเล็ต
นักศึกษา	นางสาวจันทนา ปัญญาวราภรณ์
รหัสนักศึกษา	47061010
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.บุทรพงษ์ รังสรรค์เสรี

## บทคัดย่อ

การใส่ลายน้ำได้เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของสำหรับข้อมูลลิขสิทธิ์มีเดีย และได้มีการนำลายน้ำมาประยุกต์ใช้ในภาพหลายแถบความถี่เช่นเดียวกับในบทความนี้ ซึ่งจะนำเสนอเทคนิคการใส่ลายน้ำที่ไม่ต้องการภาพต้นแบบกลับคืน ขั้นแรกใช้วิธีการพีซีเอบนภาพหลายแถบความถี่ ก็จะได้ภาพพีซีเอออกมา หลังจากนั้นก็ทำการใส่ลายน้ำลงไปบนภาพพีซีเอ ลายน้ำที่ใส่ไปเป็นตัวเลขแบบสุ่มหรือภาพไบนารี ในขั้นตอนการใส่ลายน้ำจะทำในเวฟเล็ตโดเมนแล้วนำภาพที่ได้กลับไปรวมกับภาพพีซีเอ ในขั้นตอนสุดท้ายแปลงพีซีเอกลับจะได้ภาพที่ใส่ลายน้ำแล้วตามที่ต้องการ ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเมื่อมีการโจมตีแบบต่างๆ

<b>Thesis Title</b>	PCA/Wavelet Based Watermarking of Multispectral Image
<b>Student</b>	Ms. Jantana Panyavaraporn
<b>Student ID.</b>	47061010
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Telecommunication Engineering
<b>Year</b>	2006
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Yuttapong Rangsanseri

## **ABSTRACT**

Watermarking is widely being explored as a means of providing protection of ownership-right for multimedia data, and there has been increasing interest in applying digital watermarking to multispectral image for this same purpose. In this paper, we propose a new technique for watermarking that does not require the original image to recover the embedded signature. In this method, the Principal Component Analysis (PCA) is preliminarily applied on the multispectral image. The most principal component image is used for embedding with a watermark, which is a pseudo-random number (PN) sequence or binary image generated with a secret key. The embedding process is performed in the wavelet domain. The resulting image is then reinserted into the principal component images, and the final multispectral image containing the watermark can be produced by the inverse PCA. Experimental results are provided to illustrate the performance of the algorithm against various kinds of attacks.

## กิตติกรรมประกาศ

ก่อนอื่นต้องกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. บุทธพงษ์ รั้งสรรค์เสรี เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง และขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆในภาควิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณทางบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายนี้ขอให้คุณค่า และประโยชน์ที่มาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆท่าน

จันทนา ปัญญาวราภรณ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ตและการใส่ลายน้ำในภาพดิจิทัล.....	4
2.1 พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ต.....	4
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเล็ต.....	4
2.1.2 การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลภาพ 2 มิติ.....	6
2.2 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างลายน้ำ.....	9
2.3 เทคโนโลยีการใส่ลายน้ำดิจิทัล.....	10
2.4 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล.....	13
2.4.1 ลายน้ำแบบมองเห็นได้.....	13
2.4.2 ลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้.....	15
2.5 คุณสมบัติสำคัญของลายน้ำภาพดิจิทัล.....	16
2.6 การโจมตีลายน้ำ.....	17
2.6.1 การบีบอัดแบบ JPEG.....	17
2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต.....	18
2.6.3 การแก้ไขโดยการประมาณผลสัญญาณ.....	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการใส่ลายน้ำในภาพดิจิทัลแบบหลายแบนด์.....	20
3.1 การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม.....	20
3.1.1 ลักษณะภาพถ่ายดาวเทียม.....	20
3.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก.....	21
3.1.3 การใส่ลายน้ำของภาพหลายแถบความถี่.....	24
3.2 การใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล.....	26
3.2.1 ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม .....	26
3.2.2 ลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี.....	30
3.3 การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม.....	32
3.3.1 การวัดโดยใช้สายตา .....	33
3.3.2 Peak Signal-to-Noise Ratio.....	33
3.3.3 Normalized Correlation .....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 ผลการทดลองสำหรับลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่ม.....	36
4.1.1 ผลการใส่ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม.....	36
4.1.2 ผลการทดสอบความคงทนสำหรับลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่ม.....	40
4.2 ผลการทดลองสำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี.....	42
4.2.1 ผลการใส่ลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี.....	42
4.2.2 ผลการทดสอบความคงทนสำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	48
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	52
ประวัติผู้เขียน.....	67

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติของระบบการบันทึก TM และการนำมาใช้ประโยชน์.....	20
4.1 เปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า $\alpha$ ( ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่ม ).....	38
4.2 เปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า $\alpha$ ( ลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี ).....	44
4.3 ผลการตรวจแยกลายน้ำจากการบีบอัดภาพลายน้ำแบบ JPEG ด้วยอัตราส่วนต่างๆกันในภาพ 3 แบนด์.....	47

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเวฟเล็ดแบบคาบิซี 8.....	5
2.2 ลักษณะของเวฟเล็ดแม่ที่ถูกละเลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่างๆ กัน (ก)คลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุท (ข) คลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่ต่างกันแต่มีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุท (ค) คลื่นเวฟเล็ด มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณอินพุท แต่มีเฟสความถี่ต่างกัน (ง) ความถี่และเฟสของสัญญาณอินพุทและคลื่นเวฟเล็ด ไม่ตรงกัน.....	6
2.3 การแปลงเวฟเล็ดของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงค์ (ก) การแยก องค์ประกอบของเวฟเล็ด (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเล็ด.....	7
2.4 การแปลงเวฟเล็ดแบบหลายระดับ.....	8
2.5 ภาพการแปลงเวฟเล็ดแบบคิสคริต 2 ระดับ (ก) ภาพต้นแบบ Oldmill (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดแบบคิสคริต 2 ครั้ง.....	9
2.6 การใส่ลายน้ำดิจิตอลด้วยการติด โลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN.....	14
2.7 การใส่ลายน้ำดิจิตอลลงในเอกสาร.....	14
2.8 ตัวอย่างรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิตอลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ (ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ.....	15
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็น และความจุข้อมูลข่าวสาร.....	17
3.1 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ขนาด 5 แบนด์ (ข) ส่วนประกอบสำคัญของภาพถ่ายทั้ง 5 แบนด์.....	23
3.2 การใส่ลายน้ำในภาพหลายแถบความถี่.....	24
3.3 การตรวจหาลายน้ำในภาพหลายแถบความถี่.....	25
3.4 การกระจายพลังงานในโคไซน์เมนการแปลงของภาพ LENA (ก) การแปลงแบบ DCT (ข) การแปลงแบบ DWT 3 ระดับ โดยใช้ตัวกรองเวฟเล็ด คาบิซี 10.....	26

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 บล็อกโคอะแกรมการใส่ลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่.....	28
3.6 บล็อกโคอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่.....	29
3.7 บล็อกโคอะแกรมการใส่ลายน้ำในโดเมน DWT สำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี.....	31
3.8 บล็อกโคอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT สำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี.....	32
4.1 กราฟเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า $\alpha$ .....	36
4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1 – 5.....	37
4.3 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (ข) ภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว (ค) ภาพผลต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว (ง) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (จ) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์.....	39
4.4 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานขนาด 3x3 (ข) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (ค) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์.....	40
4.5 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ข) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (ค) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์.....	41
4.6 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG 50% (ข) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ JPEG 50% (ค) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ JPEG 30% (ง) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ JPEG 70% .....	42
4.7 กราฟเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า $\alpha$ .....	43
4.8 กราฟเปรียบเทียบค่า NC ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า $\alpha$ .....	43

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (ข) ภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว (ค) ภาพตราสัญลักษณ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ง) ภาพผลต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว (จ) ภาพตราสัญลักษณ์ที่ตรวจแยกได้จากภาพ 3 แบนด์ (ฉ) ภาพตราสัญลักษณ์ที่ตรวจแยกได้จากภาพ 5 แบนด์.....	45
4.10(ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานขนาด 3x3 (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ $NC = 0.906312$ (ค)รูปลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์ $NC = 0.474888$ .....	46
4.11(ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ $NC = 0.906312$ (ค)รูปลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์ $NC = 0.805816$ .....	46
4.12(ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG 50% (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ $NC = 0.594228$ .....	47
4.13 กราฟผลการตรวจแยกลายน้ำ จากการบีบอัดแบบ JPEG ของภาพ 3 แบนด์.....	47

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้มีการสร้างสรรค์ผลงานต่างๆ มากมาย ซึ่งสำรวจระยะไกล หรือภาพถ่ายผ่านดาวเทียม เป็นวิทยาการอีกแขนงหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจข้อมูลทรัพยากร ธรรมชาติและสภาพแวดล้อม เนื่องจากภาพถ่ายผ่านดาวเทียมสามารถให้รายละเอียดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อเหตุการณ์ และประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากไม่ต้องเดินทางไปสำรวจจริง อีกทั้งข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียมเป็นข้อมูลทางดิจิทัลรูปแบบหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบเช่น พยากรณ์อากาศ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ หรือข้อมูลทางทรัพยากรธรรมชาติ โดยปกติภาพถ่ายผ่านดาวเทียมมักจะถูกนำไปผ่านขบวนการแปลความหมายของภาพแบบต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปใช้งานในด้านต่างๆ หรือการใช้คอมพิวเตอร์ทำการจำแนกภาพถ่ายผ่านดาวเทียม สำหรับการบ่งบอกถึงลักษณะต่างๆ กันจากภาพซึ่งอาจจะจำแนกด้วยสายตาของมนุษย์ไม่ได้ การใช้อัลกอริทึมแบบต่างๆ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการจำแนกที่แตกต่างกันด้วย

ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นก็คือ การลอกเลียนแบบ การทำซ้ำ และการนำความคิดของผู้อื่นไปใช้หาผลประโยชน์โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของผลงาน หลายหน่วยงานได้เห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการละเมิดสิทธิทางปัญญาในสื่อประเภทต่างๆ และเห็นถึงความพยายามและความทุ่มเทเป็นอย่างมากในการสร้างสรรค์ผลงานในแต่ละชิ้นขึ้นมา จึงไม่เป็นการยุติธรรมที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งที่จะเห็นแก่ประโยชน์ส่วนตัวจะลักลอบนำทรัพย์สินทางปัญญาเหล่านี้ไปใช้ หรือนำไปเพื่อทำประโยชน์ทางการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ที่เป็นเจ้าของผลงาน วิธีป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น วิธีการหนึ่งก็คือการใช้ตัวบทกฎหมาย โดยให้ผู้ที่คิดค้นสร้างสรรค์ผลงานขึ้นมาทำการจดลิขสิทธิ์เพื่อให้ผลงานของตนได้รับการคุ้มครองทางกฎหมาย ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้แก้ปัญหาละเมิดสิทธิทางปัญญาได้ในระดับหนึ่ง แม้ว่าในปัจจุบันจะมีกฎหมายปกป้องสิทธิทางปัญญาออกมาบังคับใช้อย่างชัดเจน แต่บางครั้งตัวบทกฎหมายที่มีอยู่ก็ไม่สามารถดำเนินการกับผู้กระทำผิดเหล่านั้นได้โดยง่ายเนื่องจากยังมีช่องโหว่สำคัญหลายประการ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการอื่นๆ เพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งได้คิดค้นเทคนิควิธีการต่างๆ มากมายได้ถูกคิดค้นและใช้ในการป้องกันการละเมิดสิทธิทางปัญญาของข้อมูลที่ได้จดลิขสิทธิ์เอาไว้ วิธีการหนึ่งที่มีการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพมากก็คือ การป้องกันการคัดลอกที่ตัวข้อมูลนั้นโดยตรง

ของภาพ ดังนั้นหากสามารถลดขั้นตอนนี้ได้ก็จะช่วยให้เกิดความสะดวกในการตรวจหาลายน้ำของภาพได้ดียิ่งขึ้น

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในภาพถ่ายผ่านดาวเทียม ซึ่งมีจำนวนแบนด์ของภาพมากกว่า 1 แบนด์ ด้วยเทคนิคการแปลงแบบ PCA และทำการการใส่ลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต ลายน้ำจะถูกใส่ในโดเมนความถี่ของภาพดิจิทัลต้นฉบับ ซึ่งมีกระบวนการตรวจสอบลายน้ำที่สะดวกโดยไม่ต้องใช้รูปภาพต้นแบบ และทำการทดสอบความคงทนของลายน้ำกับเทคนิคการประมวลผลภาพ การลดทอนทางเรขาคณิตต่างๆ และการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ภาพเกิดความเสียหาย และผิดเพี้ยนไปจากเดิมค่อนข้างมาก

### 1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็น 5 บท ในแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ขอบเขตและเนื้อหาของการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ตและคุณสมบัติของลายน้ำดิจิทัล

กล่าวถึงพื้นฐานการแปลงเวฟเล็ต ความจำเป็นของแนวคิดการสร้างลายน้ำ เทคโนโลยีการใส่ลายน้ำ ชนิดของลายน้ำดิจิทัล คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำภาพดิจิทัลที่ควรมี เช่น ความปลอดภัย ความโปร่งใส และความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำ และการโจมตีลายน้ำประเภทต่างๆ

บทที่ 3 วิธีการแทรกลายน้ำในภาพดิจิทัลแบบหลายแบนด์

กล่าวถึงการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม วิธีพีซีเอ การสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัล และการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

บทที่ 4 ผลการทดลอง

กล่าวถึงผลที่ได้จากการทำลายน้ำกับภาพดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำ ที่ผ่านการโจมตีลายน้ำจากการประมวลผลสัญญาณภาพแบบต่างๆ ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต และจากการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

กล่าวถึงสรุปผลการทดสอบของการทำลายน้ำและ การตรวจหาลายน้ำที่ไม่จำเป็นต้องใช้  
ภาพต้นแบบตามอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการวิจัยที่สามารถพัฒนา  
ต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไปในอนาคต

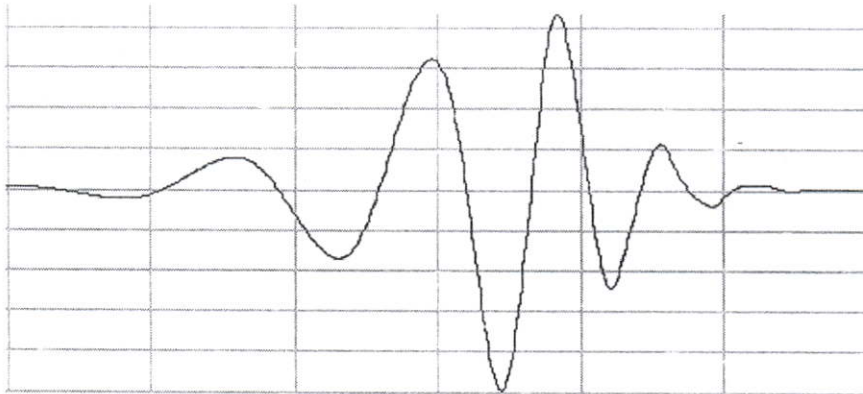
## บทที่ 2

# พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ตและการใส่ลายน้ำในภาพดิจิทัล

## 2.1 พื้นฐานการแปลงเวฟเล็ต

### 2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเล็ต

ทฤษฎีเวฟเล็ต[8] เป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการอธิบายลักษณะของสิ่งต่างๆ หรือระบบใดๆ เสมือนการแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ จะสามารถสร้างขึ้นได้ โดยมีคลื่นเวฟเล็ตฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) เป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelets) [9] คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันจะอยู่ในเซตของเวฟเล็ตแม่ คลื่นเวฟเล็ตแต่ละคลื่นเกิดจาก “การสเกล” (Scaling) คือการหดเข้าหรือขยายออก (Dilation) และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting) ของเวฟเล็ตแม่ โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ กันขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแต่ละตัว ลักษณะของเวฟเล็ตแม่จะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้านดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นเวฟเล็ตชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเวฟเล็ตคาบิชี 8



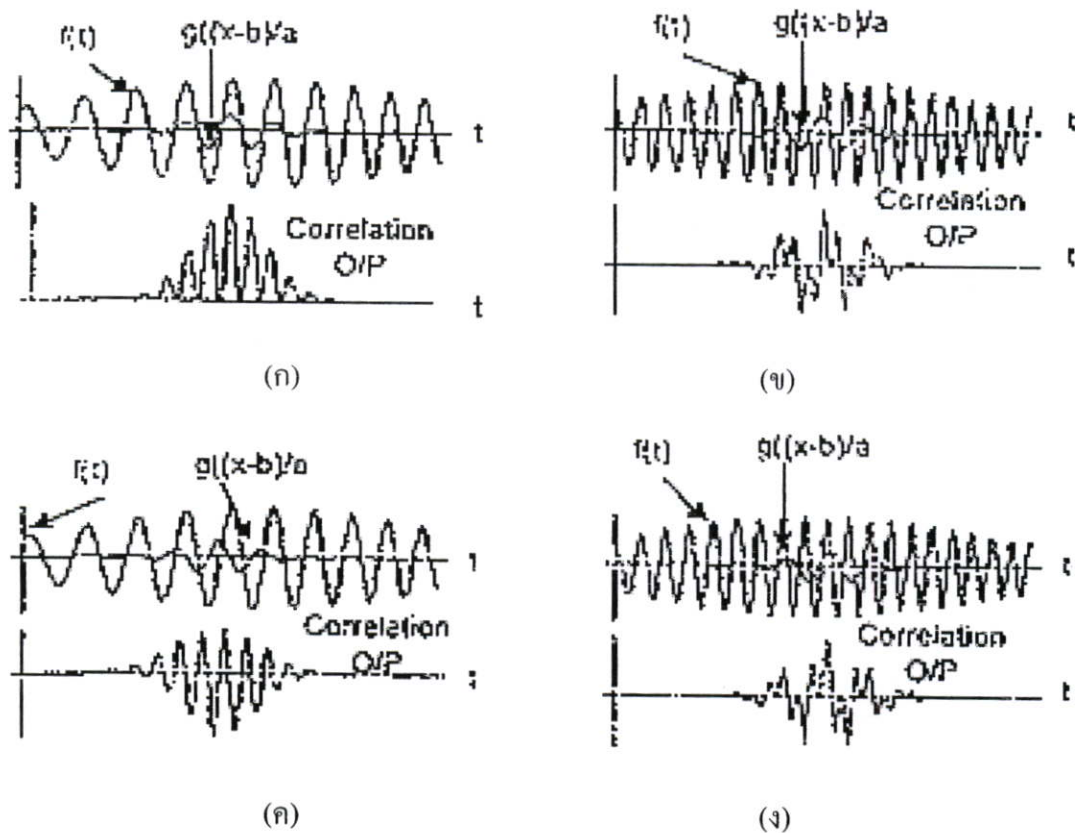
รูปที่ 2.1 ลักษณะของเวฟเล็ตแบบคาบิชี 8

สมการทั่วไปของฟังก์ชันเวฟเล็ตที่ตำแหน่ง  $a$  และ  $b$  ใดๆ ที่สัมพันธ์กัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.1)$$

$\psi(t)$  จะเป็นฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งและถูกสเกลโดยพารามิเตอร์  $a$  และ  $b$  ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเล็ดถูกสเกลไป แล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ดแม่จึงต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (normalize) ด้วยค่า  $\frac{1}{\sqrt{a}}$  เสมอ

จากรูปที่ 2.2 (ก) จะพบว่าเมื่อคลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมาก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทออกมามีค่าสูง แต่ในรูปที่ 2.2 (ข) คลื่นอินพุตที่มีสูงกว่าคลื่นเวฟเล็ดจะให้สัมประสิทธิ์เอาท์พุทที่มีค่าต่ำกว่ามาก และในขณะเดียวกันในรูปที่ 2.2(ค) ถ้าสัญญาณอินพุตมีความถี่เดียวกันกับคลื่นเวฟเล็ด แต่มีเฟสความถี่ต่างกันจะให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทที่น้อยกว่าแบบ 2.2(ก) ด้วย ซึ่งถ้าทั้งความถี่และเฟสความถี่ของสัญญาณอินพุตและคลื่นเวฟเล็ดไม่ตรงกันดังในรูปที่ 2.2(ง) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทมีขนาดต่ำมาก



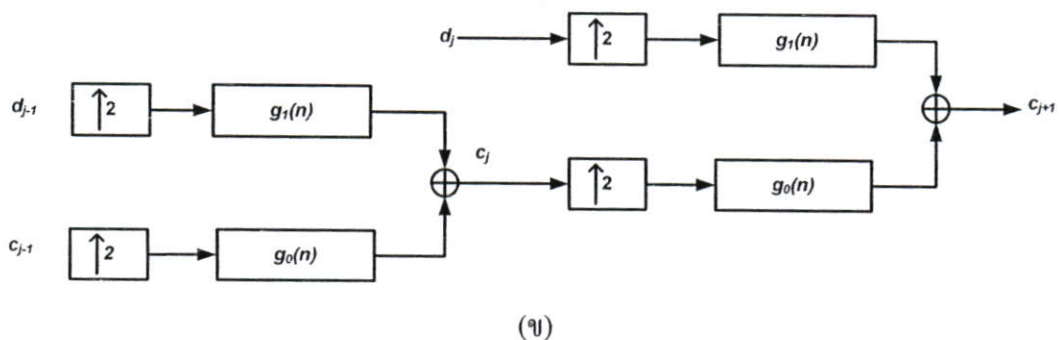
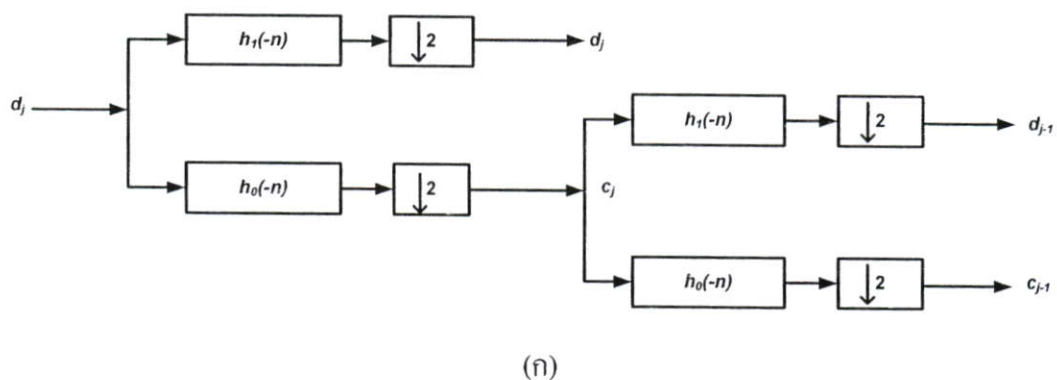
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเวฟเล็ดแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า  $a$  และ  $b$  ต่างๆ กัน

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

จึงสรุปได้ว่า ถ้าคลื่นเวฟเล็ดมีความคล้ายกับสัญญาณอินพุตมากเท่าไรทั้งในด้านความถี่และตำแหน่งเวลา ก็จะทำให้ได้ค่าของสัมประสิทธิ์การแปลงที่มากขึ้นเอง

### 2.1.2 การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลภาพ 2 มิติ

เวฟเล็ตใน 2 มิติเป็นการทำผลคูณภายในของฟังก์ชันสเกลลิง กับฟังก์ชันเวฟเล็ตใน 1 มิติ นั่นคือ เราจะได้ ฟังก์ชันเวฟเล็ต 2 มิติ 3 ฟังก์ชัน และฟังก์ชันสเกลลิง 2 มิติ 1 ฟังก์ชัน ที่แต่ละระดับของความละเอียด การนำเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพที่เป็นข้อมูลสองมิติ ซึ่งเก็บค่าของแต่ละจุดภาพในรูปของเมตริกซ์ สามารถทำได้โดยทำการแปลงแถว (rows) ของภาพก่อน จากนั้นจึงทำการแปลงหลัก (columns) ของภาพในแถวที่ได้รับการแปลงแล้วดังรูปที่ 2.3 (ก)



รูปที่ 2.3 การแปลงเวฟเล็ตของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงก์

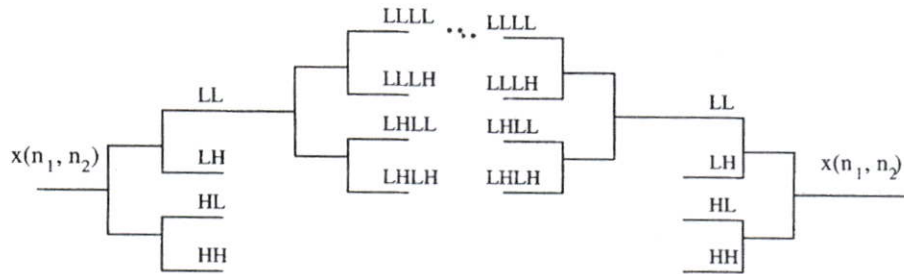
(ก) การแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ต (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเล็ต

จากรูปที่ 2.3 (ก) สามารถอธิบายได้ว่าการแปลงเวฟเล็ต 2 มิติ จะเป็นการแปลงในแนวแกนอน ตามจำนวนแถวของจุดภาพซึ่งทำให้ภาพถูกแบ่งออกเป็น 2 สับแบนด์ จากนั้นจะทำการแปลงในแนวแกนตั้ง ตามจำนวนคอลัมน์ของจุดภาพ ดังนั้นภาพในลักษณะ 2 มิติ เมื่อนำมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตหนึ่งครั้งจะถูกแบ่งออกเป็น 4 สับแบนด์ ซึ่งถือว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบระดับเดียว (Single level)

สับแบนด์แรก เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านทั้งสองแนวแกนแทนด้วย LL สับแบนด์ที่ 2 เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านในแนวนอน และกรองความถี่

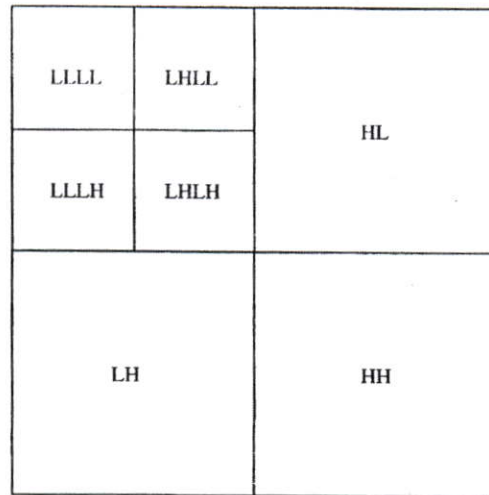
สูงผ่านในแนวตั้งแทนด้วย  $LH$  สับแบนด์ที่ 3 เป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่สูงผ่านในแนวนอน และกรองความถี่ต่ำผ่านในแนวตั้งแทนด้วย  $HL$  สับแบนด์สุดท้าย จะเป็นส่วนของภาพที่ผ่านการกรองความถี่สูงผ่านทั้งสองแนวแกนแทนด้วย  $HH$

เราสามารถการสร้างภาพกลับขึ้นมาใหม่จากสับแบนด์ย่อย ดังรูปที่ 2.4(ข) โดยนำสับแบนด์ย่อยทั้ง 4 มาเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็น 2 เท่า หลังจากเพิ่มจำนวนข้อมูลแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะถูกกรองไปตามแนวตั้งและบวกเข้าด้วยกันจากนั้นทำซ้ำไปตามแนวนอนจะได้ผลลัพธ์ที่สร้างกลับขึ้นมาใหม่



(ก)

(ข)



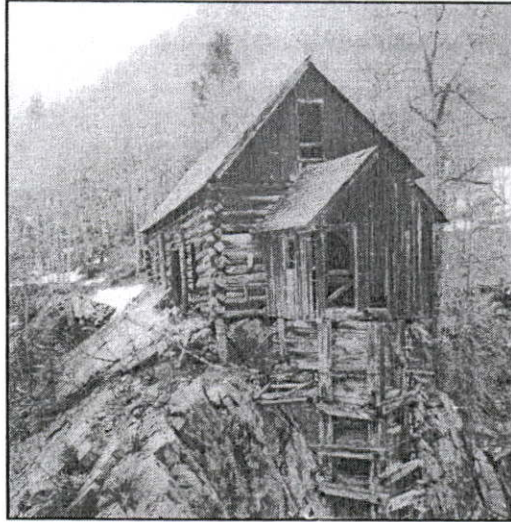
(ค)

### รูปที่ 2.4 การแปลงเวฟเล็ดแบบหลายระดับ

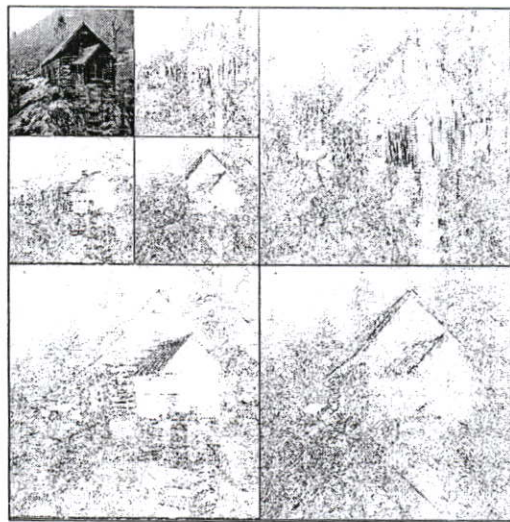
ผลจากการแปลงเวฟเล็ด ข้อมูลในสับแบนด์ที่ 1 จะเป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดต่ำที่สุด ส่วนที่แสดงรายละเอียดของภาพจะเป็นข้อมูลในสับแบนด์ที่ 2, 3 และ 4 และถ้าเราเอาสับแบนด์ที่ 1

ไปผ่านการแปลงเวฟเล็ตต่อไปอีกก็จะทำให้สามารถแยกภาพได้ออกเป็นหลายสับแบนด์เพิ่มมากขึ้น เรียกว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบหลายระดับ (multilevel) ดังในรูปที่ 2.4

และรูปที่ 2.5 ตัวอย่างการแยกองค์ประกอบของภาพ Oldmill โดยการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสคริต 2 ครั้งซึ่งใช้ฟิลเตอร์ Daubechies 8



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 ภาพการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสคริต 2 ระดับ (ก) ภาพต้นแบบ Oldmill

(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสคริต 2 ครั้ง

## 2.2 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างลายน้ำ

เทคนิคการซ่อนลายน้ำมีหลักการพื้นฐานอยู่บนหลายๆ สาขาการวิจัย เช่น สเตกโนกราฟี คริปโตกราฟี ทฤษฎีการสื่อสาร และการประมวลผลสัญญาณ

สเตกโนกราฟี เป็นศาสตร์ของการซ่อนข้อมูลข่าวสารในการสื่อสาร ซึ่งยังคงมีอยู่ในการสื่อสารปัจจุบัน ต่างจากคริปโตกราฟีที่ตั้งใจทำให้ข่าวสารนี้ไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถอ่านออกได้ จุดหมายของสเตกโนกราฟีคือการซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัยซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากที่จะตรวจหาได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับปรากฏซ่อนอยู่ภายใน ซึ่งคล้ายคลึงกับการซ่อนลายน้ำดิจิทัลในปัจจุบัน [10] โดยหนึ่งในเอกสารแรกๆ ที่บรรยายเกี่ยวกับเทคนิคสเตกโนกราฟี คือพงศาวดารของ Herodotus เรื่องมีอยู่ว่า Demeratus ต้องการที่จะเตือน Sparta ว่า Xerses มุ่งหมายที่จะบุกกรีกดินแดนของกรีก โดยส่งข่าวสารด้วยวิธีเคลือบขี้ผึ้งไว้ที่บางส่วนของแผ่นป้ายที่ใช้สำหรับเขียนหนังสือ แล้วขูดขี้ผึ้งออกจากแผ่นป้ายและเขียนข่าวสารไว้บนไม้ จากนั้นก็ปิดทับด้วยแผ่นป้ายที่เคลือบด้วยขี้ผึ้ง จึงนำผ่านทหารยามไปได้โดยง่าย อีกเรื่องหนึ่ง มีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ทำการ โกงมหาศาลของเขาออกและสักข่าวสารไว้บนหัวของทาสผู้นั้น หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้นปกปิดข้อความเหล่านั้น Histiaeus ก็ส่งทาสผู้นี้ไปยังเป้าหมายของเขาโดยสั่งให้โกนหัวทาสผู้นั้นด้วย

สำหรับเทคนิคอีกแบบหนึ่ง คือคริปโตกราฟี คือการที่ผู้ส่งสามารถบิดเบือนข้อมูลในการส่ง เพื่อป้องกันการขโมยข้อมูลจากนักเจาะระบบ ส่วนผู้รับก็ต้องมีความสามารถในการแปลงข้อมูลที่บิดเบือนนั้นให้กลับเป็นข้อมูลเดิมที่ผู้ส่งต้องการส่งมาให้ได้ [11] Caesar Cipher เป็นอัลกอริทึมแบบกุญแจสมมาตร (Symmetric key) แบบง่าย ๆ อย่างหนึ่ง ที่มีความเก่าแก่มากเป็นวิธีที่ Julius Caesar เป็นผู้คิดขึ้น หลักการของ Caesar Cipher สำหรับอักษรภาษาอังกฤษ คือการแทนที่อักษรแต่ละตัวใน Plaintext ด้วยอักษรตัวที่  $k$  ถัดไป เช่น ถ้า  $k = 4$  อักษร a จะถูกแทนที่ด้วยอักษร d และอักษร b จะถูกแทนที่ด้วยอักษร e ซึ่งค่า  $k$  ดังกล่าวจะถูกเรียกว่ากุญแจลับ หลังจากที่เข้ารหัสแล้วข้อความก็จะอ่านไม่รู้เรื่อง แต่มันก็ไม่ยากนักที่จะขโมยข้อมูล ถ้าเรารู้ว่าข้อความถูกเข้ารหัสด้วยวิธี Caesar Cipher เนื่องจากความเป็นไปได้มีเพียงแค่ 25 key เท่านั้น จึงได้คิดค้น Monoalphabetic Cipher เป็นวิธีการเข้ารหัสที่ถูกพัฒนามาจาก Caesar Cipher โดยมีหลักการ คือการแทนที่อักษรด้วยอักษรอีกตัวหนึ่ง แต่จะไม่แทนที่กันอย่างมีรูปแบบเหมือนกับ Caesar Cipher ที่แทนด้วยอักษรที่อยู่ห่างออกไป  $k$  ตัว สำหรับทุกอักษร ซึ่งวิธีนี้อักษรตัวหนึ่งสามารถถูกแทนที่ด้วยอักษรใดก็ได้ อักษรแต่ละตัวจะมีอักษรที่ใช้แทนที่ที่ไม่ซ้ำกัน ดังนั้นวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพมากกว่า Caesar Cipher และมีความเป็นไปได้ในการจับคู่อักษรได้ถึง  $25!$  ถ้านักเจาะระบบต้องการจะขโมยข้อมูลก็จะต้องใช้เวลานานมากในการค้นหาคู่อักษร แต่จากการวิเคราะห์ภาษาแล้ว อาจจะมีอักษรบางตัวที่ปรากฏบ่อยมาก เช่น 13% เป็น e และ 9% เป็น t และยังมีชุดอักษรที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ

เช่น in, it, the, on ทำให้การขโมยข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น และถ้านักเจาะระบบรู้ว่าคำบางคำจะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ก็จะทำให้การถอดรหัสง่ายขึ้นอีก

ตัวอย่างเหตุการณ์เบื้องต้นทั้ง 3 แบบ [12] ถูกใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยแบบเก่า โดยได้ทำการศึกษาแต่ละแบบอย่างย่อๆ ทีละแบบ และตรวจสอบความบกพร่องของเทคนิคที่ใช้ อยู่ในการปกป้องข้อมูลมัลติมีเดีย เริ่มต้นด้วยการศึกษาปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ ซึ่งก็คือการทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือการนำข้อมูลดิจิทัลไปขายเพื่อผลทางการค้า ความง่ายในการคัดลอกข้อมูลศักยภาพในการคัดลอกได้เหมือนจริงรวมทั้งการใช้สื่อดิจิทัลในการสร้างข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูลอย่างแพร่หลายทำให้การละเมิดลิขสิทธิ์ เป็นปัญหาสำคัญในระบบความปลอดภัยของข้อมูล

### 2.3 เทคโนโลยีการใส่ลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลจะใช้เพื่อการแสดงความเป็นเจ้าของสื่อต่างๆ การซ่อนลายน้ำกับข้อมูลภาพดิจิทัล ประกอบด้วยข้อมูลภาพกับลายน้ำดิจิทัล โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (Key Information) หรือรหัสส่วนตัวที่ฝังลงไปบนภาพ และต้องไม่เห็นความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่มีลายน้ำ ลายน้ำดิจิทัลเป็นการฝังข้อมูลอย่างถาวร แสดงว่ามันจะยังคงอยู่ในข้อมูลดั้งเดิมแม้จะถูกกระทำในรูปแบบต่างๆ ที่ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนก็ตาม

ในกรณีที่มีการละเมิดลิขสิทธิ์เกิดขึ้น ลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ภายในรูปภาพจะสามารถนำมาใช้ในการอ้างสิทธิ์เพื่อฟ้องร้องต่อการกระทำดังกล่าว อีกทั้งยังอาจนำมาใช้ในการหาตัวบุคคลที่กระทำการละเมิดลิขสิทธิ์ตัวข้อมูลได้อีกด้วย โดยในการใช้งานนั้นจะมีการใส่สัญญาณลายน้ำที่มีลักษณะเฉพาะที่แสดงถึงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลเสียก่อน จึงจะเผยแพร่ข้อมูลนั้นๆ ให้กับลูกค้า โดยในลายน้ำจะเป็นรหัสเฉพาะของสินค้าชิ้นนั้นๆ เพื่อที่ว่าเมื่อมีการละเมิดลิขสิทธิ์เกิดขึ้นเราจะสามารถสืบหาร่องรอยหลักฐานได้ว่าการกระทำผิดนั้นเริ่มต้นขึ้นจากบุคคลใด เนื่องจากลายน้ำและลูกค้าที่ได้รับข้อมูลนั้นจะถูกบันทึกเอาไว้ในระบบฐานข้อมูล เมื่อมีหลักฐานเช่นนี้แล้วการที่จะฟ้องร้องเพื่อเอาผิดบุคคลดังกล่าวย่อมสามารถกระทำได้โดยง่าย

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลอาจนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในธุรกิจสิ่งพิมพ์ เพราะหากการทำลายน้ำดิจิทัลมีความทนทานต่อการแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A) และจากระบบอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) แล้ว การที่จะพิมพ์หน้าปกหนังสือโดยใช้ภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลอยู่ก็จะเป็นไปได้ เพื่อป้องกันการคัดลอกภาพนั้นไปใช้อย่างผิดกฎหมาย หรืออาจจะนำมาใช้ในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต เพื่อที่ป้องกันมิให้รูปภาพที่มีการเผยแพร่หรือจำหน่าย ถูกคัดลอกและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย เพราะบุคคลที่จะทำการคัดลอกก็ย่อมที่จะกลัวการถูกติดตามและฟ้องร้อง อันเนื่องมาจากลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในตัวรูปภาพ นอกจากนี้การใช้ภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีค่าธรรมเนียมกระวังมากขึ้นด้วย เพราะหากเจ้าของภาพนั้นมาพบและพิสูจน์โดย

ใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในภาพถึงความเป็นเจ้าของได้ ก็จะสามารถฟ้องร้องต่อบุคคลที่นำภาพดังกล่าวมาใช้งานได้

ในส่วนการซ่อนลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณเสียง จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับดนตรี โดยหากทำการใส่สัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลเพลงที่อยู่ในรูปแบบ MPEG-1 Layer 3 (MP3) ก็จะสามารถที่จะใช้ยับยั้งปัญหาในการคัดลอก และเผยแพร่บทเพลงอย่างผิดกฎหมายได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการทำธุรกรรมทางอินเทอร์เน็ตให้มีความปลอดภัยมากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้การซ่อนลายน้ำดิจิทัลในข้อมูลวิดีโอ ซึ่งอาจพิจารณาเหมือนกับการนำรูปภาพหลายรูปมาเรียงต่อกัน จะช่วยป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ในหลายๆ ทาง ยกตัวอย่างเช่น ในธุรกิจภาพยนตร์ การซ่อนลายน้ำดิจิทัลจะช่วยลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการคัดลอกตัวข้อมูลลงในแผ่นซีดีหรือดีวีดี เพื่อจัดจำหน่ายอย่างผิดกฎหมาย เพราะหากมีตัวอย่างของข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่ เราก็จะสามารถตามจับผู้กระทำความผิดมาลงโทษได้ ยิ่งไปกว่านั้นการส่งผ่านข้อมูลวิดีโอผ่านทางระบบเครือข่ายยังได้รับการป้องกันได้อีกด้วย ตัวอย่างการใช้งานระบบวิดีโอผ่านเครือข่าย เช่น Video on demand และ Pay per view

ในกรณีของการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อป้องกันบุคคลอื่นที่ไม่มีกุญแจรหัสลับเข้ามาใช้งานข้อมูลนั้น เมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลได้ถูกถอดรหัสออกมา ความปลอดภัยของข้อมูลนั้นก็ลดลง เนื่องจากข้อมูลสามารถถูกคัดลอกภายหลังขั้นตอนที่ผ่านการถอดรหัสแล้ว ซึ่งจะไม่สามารถป้องกันปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นได้เลย ดังนั้นเราอาจนำเทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสเพื่อให้ข้อมูลมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น เมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลถูกถอดรหัสออกมาแล้ว ตัวข้อมูลยังคงถูกป้องกันเอาไว้อีกชั้นหนึ่งจากการซ่อนลายน้ำดิจิทัล ดังนั้นหลังจากขั้นตอนการถอดรหัสถ้ามีการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูลเกิดขึ้นเราจะสามารถหาตัวบุคคลที่จะทำความผิดนั้นได้ เพราะข้อมูลที่ถูกคัดลอกไป จะยังคงมีลายน้ำดิจิทัลติดอยู่ด้วยเช่นเดียวกับข้อมูลต้นฉบับที่ถูกคัดลอก เพราะฉะนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีการตรวจพบข้อมูลที่ถูกละเมิดลิขสิทธิ์ลายน้ำภายในข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อตามรอยย้อนกลับไปหาว่าข้อมูลที่ถูกคัดลอกนั้น เป็นข้อมูลที่ถูกเผยแพร่ให้กับลูกค้าคนไหน แนวความคิดเช่นนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลของข้อมูลมัลติมีเดียปัจจุบัน

การสื่อสารในวงกว้างของข้อมูลสื่อผสมทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปกป้องข้อมูลสื่อผสมจากการลอกเลียนแบบและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการคัดลอกและทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การขโมยและการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาเป็นไปได้โดยง่าย ระบบรักษาความปลอดภัยที่มีอยู่สำหรับการทำธุรกิจด้านข้อมูลจะช่วยรักษาความปลอดภัยให้กับช่องทางการสื่อสารระหว่างสองฝ่าย เทคนิคเหล่านี้นำเอาเครื่องมือรักษาความปลอดภัยที่ติดตั้งไว้มาควบคุมการเรียกใช้ข้อมูล การเข้ารหัส และการตรวจสอบข้อมูลภายใต้ข้อตกลง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการซื้อขายข้อมูลแบบดิจิทัลปัญหาเกี่ยวกับของแท้ และความเป็นเจ้าของก็มักจะตามมาแต่ไม่ใช่ปัญหาสำคัญสำหรับ

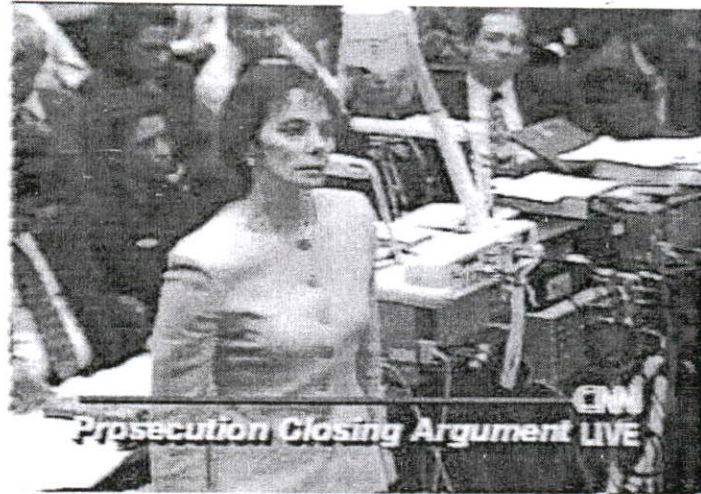
ระบบ อนาคต เพราะในระบบอนาคตนั้นการคัดลอกข้อมูลลงในฟิล์ม เทป และ VHS วิดีโอ จะ มีคุณภาพไม่ดีเท่าต้นฉบับ ซึ่งข้อจำกัดเกี่ยวกับคุณภาพของเนื้อหาสามารถช่วยป้องกันการ เผยแพร่และเสนอขายข้อมูลที่ผิดกฎหมายได้ ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลดิจิทัลสามารถคัดลอก และเก็บไว้ได้อย่างสะดวกสบาย ซึ่งทำให้บทบังคับเกี่ยวกับลิขสิทธิ์และการใช้ข้อมูลสามารถทำ ได้ยากลำบาก ยิ่งไปกว่านั้น ขณะนี้ยังไม่มียกเลิกใดๆ ที่สามารถตรวจหาการลอกเลียนแบบและ การคัดแปลงเนื้อหาอย่างผิดกฎหมายได้เลย ปัญหาใหม่ๆ เกี่ยวกับความปลอดภัยของข้อมูล สื่อผสมเหล่านี้ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยระบบรักษาความปลอดภัยแบบกระจายอย่างเดิมได้

## 2.4 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล

การทำลายน้ำดิจิทัล เป็นวิธีเสมือนกับวิธีการที่จิตรกรที่มีฝีมือในอดีตใช้ในการแสดง ความเป็นเจ้าของต่อรูปภาพ โดยพวกเขาจะใส่สัญลักษณ์ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของตนเองไว้ในตัว รูปภาพโดยสัญลักษณ์ที่ใส่เข้าไปนั้นอาจจะมีลักษณะที่มองเห็นได้หรือไม่ก็ได้ ดังนั้นแนวคิด ของการทำลายน้ำดิจิทัลจึงเป็นการใส่สัญลักษณ์ที่มีลักษณะเฉพาะเข้าไปในตัวข้อมูลรูปภาพ ซึ่งสัญลักษณ์ดังกล่าวจะแสดงถึงความเป็นเจ้าของต่อข้อมูลนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวเราอาจแบ่ง ประเภทของภาพลายน้ำดิจิทัลออกเป็น 2 ชนิดได้ คือ ลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark)

### 2.4.1 ลายน้ำแบบมองเห็นได้

ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ถูกออกแบบมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดง ความเป็นเจ้าของผลงานในสื่อชนิดต่างๆ เช่นภาพถ่าย โดยตัวลายน้ำจะมีลักษณะเป็นภาพซ้อนที่ ถูกใส่เข้าไปในรูปภาพหลัก โดยเมื่อใส่เข้าไปแล้วตัวลายน้ำควรจะลดทอนคุณภาพของภาพหลักที่ มีอยู่ให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ ก็คือ โลโก้หรือตราประทับขององค์กร ซึ่งจะแสดงถึงสิทธิความเป็นเจ้าของได้อย่างดี ในทำนอง เดียวกันกับการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ตรงมุมล่างขวาของหน้าจอโทรทัศน์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การใส่ลายน้ำดิจิทัลด้วยการติด โลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN

การใส่ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้นั้นจะทำได้โดยการเขียน เติม หรือแทรกตัวข้อมูลที่ต้องการลงไปในตัวรูปภาพโดยตรง ซึ่งประโยชน์ของการทำลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ก็คือ เป็นการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมัลติมีเดียต่างๆ บุคคลทั่วไปที่พบเห็นจะสามารถรู้ได้โดยทันทีว่าภาพนั้นๆ เป็นของผู้ใด นอกจากนี้ยังเป็นการยับยั้งการกระทำที่จะเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นๆ เช่น ความยากลำบากในการที่จะนำลายน้ำออกจากตัวรูปภาพก่อนที่จะนำไปเผยแพร่อย่างมิชอบ รูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างของเอกสารที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้



รูปที่ 2.7 การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในเอกสาร

## 2.4.2 ลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้

การทำลายน้ำดิจิทัลอลทชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ จะเป็นกระบวนการที่เจ้าของข้อมูลทำการใส่สัญญาณลายน้ำลงไปในตัวข้อมูลภาพ ซึ่งในกระบวนการใส่ลายน้ำจะใช้กุญแจรหัสลับเป็นส่วนประกอบในการเข้ารหัสสัญญาณ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงแก้ไขจากบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยผู้ที่เป็นเจ้าของภาพเท่านั้นที่จะรู้กุญแจรหัสลับนี้ ดังนั้นบุคคลอื่นจึงไม่สามารถล่วงรู้ถึงสิ่งที่ซ่อนอยู่ภายในรูปภาพนั้นๆ ได้ แม้ว่าบุคคลนั้นจะรู้กลไกการทำงานในการใส่และถอดสัญญาณลายน้ำออกก็ตาม รูปที่ 2.8 (ก) เป็นภาพต้นฉบับ ซึ่งเมื่อผ่านการทำลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.8 (ข) โดยภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นฉบับเล็กน้อย ซึ่งเราแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าหากเรานำภาพมาพิจารณาอย่างละเอียด ก็จะพบว่าในความเป็นจริงแล้วภาพทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันอยู่ และจะมีเพียงผู้ที่เป็นเจ้าของข้อมูลเท่านั้นที่จะสามารถนำสัญญาณลายน้ำออกมาจากภาพดังกล่าวนี้ๆ ได้

สำหรับลายน้ำดิจิทัลอลทชนิดที่มองไม่เห็นมีข้อได้เปรียบคือไม่ทำให้ภาพมีตำหนิ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความกังวลของผู้ที่ต้องการจะทำการคัดลอก เนื่องจากไม่แน่ใจว่าสื่อสิ่งพิมพ์นั้นๆ ได้ถูกใส่ข้อมูลลายน้ำเอาไว้หรือไม่ เพราะถ้าสื่อสิ่งพิมพ์นั้นมีลายน้ำดิจิทัลอยู่ การจะนำไปใช้เพื่อผลประโยชน์ทางการค้าจำเป็นต้องลบตัวลายน้ำออกก่อน ซึ่งจะต้องใช้เวลาและวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อนทาง image processing เช่น scaling, cropping หรือ rotation ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของลายน้ำดิจิทัลอลทที่มองไม่เห็นก็คือ ภาพที่ได้หลังจากถูกใส่ตัวลายน้ำไม่ถูกลดคุณค่าและความสวยงามลง ซึ่งคุณสมบัตินี้จะมีค่าแปรผกผันกับความคงทนของสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่เอาไว้ในตัวข้อมูล



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลอลทชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ (ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ

องค์ประกอบที่นำมาใช้ในการแยกประเภทนอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จุดประสงค์ในการใช้งานยังอาจนำมาใช้ในการแบ่งแยกประเภทของลายน้ำภาพดิจิทัลได้อีกด้วย เช่นความทนทานในการใช้งานของสัญญาณลายน้ำซึ่งอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ เทคนิคที่มุ่งไปที่ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robust Watermarking) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ตัวข้อมูลจะมีความทนทานต่อการโจมตีแบบต่างๆ ลายน้ำประเภทนี้จะมีความเหมาะสมในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูล เนื่องจากความยากลำบากในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขทำลายสัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในนั่นเอง

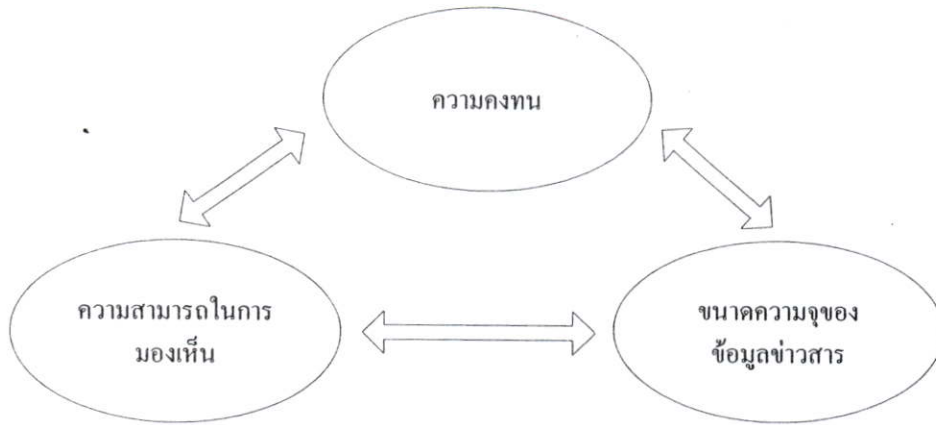
ประเภทที่สองคือเทคนิคที่มุ่งไปที่ ความเปราะบางของสัญญาณลายน้ำ (Fragile watermarking) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในตัวข้อมูลจะมีความไวและเสียหายง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแม้เพียงเล็กน้อย เช่นถ้าข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่ในถูกเปลี่ยนหรือแก้ไข สัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในก็จะเสียหายจนตรวจสอบไม่ได้ ลายน้ำประเภทนี้จะมีความเหมาะสม ที่จะใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่าเป็นของแท้ที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ มาก่อน สำหรับวิธีการทำงานของเทคนิคดังกล่าว รวมทั้งรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติม ได้จาก [13]

## 2.5 คุณสมบัติสำคัญของลายน้ำภาพดิจิทัล

ในประเด็นของปัญหาการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคงทน (Robustness) ความสามารถในการมองเห็น (Visibility) และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร (Capacity) ดังรูปที่ 2.9 โดยค่าความคงทนนั้นเป็นความสามารถของข้อมูลข่าวสารที่ถูกใส่ลงในภาพและภาพนั้นทนต่อการดัดแปลงแก้ไขภาพอาจจะโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ อีกสิ่งหนึ่งที่น่าสนใจในการซ่อนข้อมูลข่าวสารนั้นก็คือ ความสามารถในการมองเห็นหรือ ความโปร่งใส (Transparency) โดยข่าวสารที่ซ่อนลงไปไม่ควรสังเกตเห็นความแตกต่างได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นฉบับ และสุดท้ายคือ ความจุของข้อมูลข่าวสารที่สามารถใส่ลงในรูปภาพ ในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นอย่างมาก [14]

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิทัลมีข้อกำหนดมากมายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ใช้งานในแต่ละชนิด ดังนั้นข้อกำหนดบางข้ออาจจะไม่มีในเทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิค อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำภาพดิจิทัลส่วนใหญ่ก็มีข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

**ความโปร่งใส (Transparency)** อัลกอริทึมการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลต้นแบบหรือกล่าวอีกอย่างก็คือลายน้ำไม่ควรจะมองเห็นได้



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็นและความจุข้อมูลซ้ำสาร

**ความคงทน (Robustness)** เมื่อภาพที่มีลายน้ำถูกโจมตีโดยวิธีการประมวลผลสัญญาณต่างๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นรวมถึงการบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสียสัญญาณภาพบางส่วน วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ข้อมูลลายน้ำหายไปหรือถูกทำลายได้ แม้ข้อมูลลายน้ำบางส่วนจะหายไป ข้อมูลที่คงอยู่ต้องชัดเจนพอที่จะระบุเจ้าของที่แน่นอนได้

**ความปลอดภัย (Security)** เทคนิคการทำลายน้ำในภาพต้องมี “ความปลอดภัย” ถึงแม้ว่าจะรู้อัลกอริทึมที่แท้จริงในการฝังหรือการแยกลายน้ำ บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตก็ไม่สามารถลบลายน้ำทิ้งไปได้ นอกจากเจ้าของผลงานเอง

การทำลายข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในภาพอาจทำได้ต่อเมื่อภาพถูกโจมตีด้วยวิธีการใดๆ จนคุณภาพของภาพลดต่ำลงจนไม่อาจใช้การใดๆ ได้อีก

## 2.6 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำคือการทำให้ข้อมูลลายน้ำซึ่งถูกฝังในภาพเกิดความเสียหาย โดยอาจเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ รวมถึงในกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพซึ่งข้อมูลลายน้ำในภาพถูกระงับการทำงานทำให้ลายน้ำลบเลือน หรือเกิดความเสียหายที่เกิดจากการโจมตีของผู้ประสงค์ร้ายทำให้เกิดความต้องการลายน้ำที่มีความทนทานต่อการโจมตีต่างๆ เป็นอย่างมาก ลายน้ำที่ดีควรมีความทนทานต่อข้อกำหนดความคงทนเบื้องต้น ในหลายๆ บทความ [15][16] การโจมตีลายน้ำได้แบ่งออกไปหลายแนวทางและที่นิยมแบ่งกันมีด้วยกัน 3 หัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้

### 2.6.1 การบีบอัดแบบ JPEG

เป็นการประมวลผลสัญญาณที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุดอัลกอริทึม JPEG จะทำการจำกัดส่วนที่มองเห็นได้ที่ไม่สัมพันธ์ในภาพ ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของ

ลายน้ำ JPEG เป็นอัลกอริธึมการบีบอัดที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุดตัวหนึ่ง และระบบการทำลายน้ำควรจะยึดหยุ่นกับระดับการบีบอัด ระดับการบีบอัดถูกควบคุมโดยแฟกเตอร์คุณภาพ นั่นคือ 90, 80, 70, ..., 10% แม้ว่าการบีบอัดภาพกับแฟกเตอร์คุณภาพต่ำไม่นิยมทำในเชิงพาณิชย์ แต่ระบบการฝังลายน้ำบางระบบยังคงใช้วิธีอยู่ ด้วยเหตุนี้การใช้ขนาดสเกลพารามิเตอร์การบีบอัดภาพ จึงยังให้การเปรียบเทียบที่ได้ประสิทธิภาพมากกว่า

## 2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

มุ่งไปที่การเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพโดยไม่มีการสูญเสียในเรื่องของคุณภาพ มีดังนี้

**การย่อหรือขยายขนาดภาพ (Resizing)** ขนาดของภาพถูกเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับต้นแบบ ซึ่งจะมีผลกับอัลกอริธึมที่ฝังลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวซึ่งจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

**การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping)** เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ซึ่งทำให้มีผลกับอัลกอริธึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

**การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation)** จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณาร่วมกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป ถ้าหากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นแบบ ซึ่งทำให้เราไม่สามารถรู้ได้ ว่าเกิดจากตัดบางส่วนของภาพนี้ออกจากตำแหน่งใดจากภาพต้นแบบ ในกรณีที่ไม่มีภาพต้นแบบในการเปรียบเทียบหากมีการเคลื่อนย้ายส่วนย่อยของภาพที่ถูกค้นออกมาไปไว้ยังตำแหน่งอื่น การเคลื่อนย้ายภาพนี้จะมีผลต่ออัลกอริธึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

**การหมุนภาพ (Rotation)** เป็นกรณีที่สำคัญที่สุดหากพิจารณาในกรณีที่หมุนภาพไป 90 และ 180 องศา ซึ่งเหมือนกับปัญหาที่พบในการย่อหรือขยายขนาดของภาพ

**การกลับด้านของภาพ (Flipping)** คือเมื่อสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริธึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

## 2.6.3 การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณมีหลายประเภท ได้แก่

**การปรับความสว่างและความแตกต่าง (Brightness and Contrast Enhancement)** โดยทั่วไปแล้วไม่ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจหาลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม การปรับปรุงแบบนี้มักจะทำการก่อนการตรวจหา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

**การปรับความคมชัด การทำให้เลือน การกรองแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Sharpening, Blurring, Linear and Non Linear Filtering)** ถ้าทำแบบนี้ซ้ำหลายๆ ครั้ง สามารถทำให้ลายน้ำเสื่อมลงไปได้ แต่ในกรณีนี้ สิ่งที่ทำให้มีการลดคุณภาพของภาพไปอย่างมาก คือตัว

กรองภาพที่เรียกว่า Despeckle ซึ่งมีกระบวนการแบบปรับเปลี่ยนได้ โดยลดรายละเอียดของภาพแบบสุ่มมากน้อยต่างกันไปโดยยังคงรายละเอียดของภาพไว้

การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบคอรีเลทและแบบไม่เป็นคอรีเลท (Addition of Correlated or Uncorrelated noise) เข้าไปในเนื้อหาที่มีลายน้ำอยู่ การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นอนาลอก เช่นการพิมพ์ และการสแกน หรือการบันทึกเทป

### บทที่ 3

## วิธีการใส่ลายนำในภาพดิจิทัลแบบหลายแบนด์

### 3.1 การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับ ระบบการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม (ภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT) วัตถุประสงค์เพื่อให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบ, คุณสมบัติการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม และสามารถนำไปวิเคราะห์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

#### 3.1.1 ลักษณะภาพถ่ายดาวเทียม

ดาวเทียมLANDSAT เป็นดาวเทียมที่ใช้การบันทึกภาพระบบ Thematic Mapper(TM) ซึ่งออกแบบมาให้มีความไวเชิงคลื่นที่คี่ขึ้นในทุกแบนด์ จึงสามารถวัดค่าสีเทาได้ถึง 256 ระดับใน 7 ช่วงคลื่น นอกจากนี้แล้วเลนส์ของกล้องยังช่วยลดการกระจายของแสงและความพร่ามัวลงได้ คุณสมบัติที่ต้ออีกข้อหนึ่งคือได้รับการปรับปรุงความแยกต่างทางพื้นที่ และจะอธิบายคุณสมบัติของระบบ TM และการนำไปใช้ประโยชน์ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของระบบการบันทึก TM และการนำมาใช้ประโยชน์

ช่วงคลื่น	ความยาวช่วงคลื่น ( $\mu\text{m}$ )	การนำมาใช้งาน
B/G	0.45 – 0.52	ผ่านทะลุน้ำ ดูความแตกต่างของพืช แสดงความแตกต่างระหว่างป่าผลัดใบกับป่าสนซึ่งไม่ผลัดใบ
G	0.52 – 0.60	แยกประเภทพืชพันธุ์สีเขียว เพราะมีการสะท้อนสูง มีประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของพืช
R	0.63 – 0.69	มีการดูดกลืนคลอโรฟิลล์สูงมาก ใช้แยกชนิดของพืช
NI	0.76 – 0.90	แยกความแตกต่างระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำมีการสะท้อนจากพืชสูงมาก
Near MI	1.55 – 1.75	รายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณความชื้นของดินแตกต่างระหว่าง หิมะกับเมฆ
Thermal infrared	10.4 – 12.5	วิเคราะห์ความเครียดของพืชพรรณ เช่นการขาดน้ำ ดูการหาแหล่งความร้อน การจำแนกความชื้นในดิน
Middle infrared	2.08 – 2.35	จำแนกชนิดของหิน การทำแผนที่แสดง แหล่งความร้อนใต้พื้นดิน

ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่นซึ่งจะไม่สามารถแบ่งให้เหมือนกับช่วงคลื่นของฟิลเตอร์สีของแม่สี BGR ได้เสมอ จึงมักใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามาผสม ทำให้ภาพผสมสีธรรมชาติ เปลี่ยนเป็นภาพผสมสีเท็จ ซึ่งเป็นการแสดงภาพโดยใช้ช่วงคลื่นตั้งแต่ 3 ช่วงมาซ้อนกัน โดยใช้แม่สี 3 สี ผลที่ได้เป็นภาพสีเท็จ ซึ่งทำให้ใช้สามารถจำแนกวัตถุต่างชนิดได้ดีขึ้น

### 3.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นภาพที่เกิดจากภาพหลายแถบความถี่ ฉะนั้นก่อนที่จะนำมาใช้ในการใส่ลายน้ำจึงจำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการพีซีเอเพื่อหาแบนด์ที่มีความสำคัญมากที่สุดก่อน ภาพ Multispectral หรือภาพแบบหลายมิติ เป็นรูปแบบทั่วไปของข้อมูลสำรวจระยะไกล ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้โดยสะดวก ด้วยการติดตั้งระนาบเวกเตอร์ที่มีหลายแกนหรือหลายมิติของส่วนประกอบในแต่ละชั้น ซึ่งถูกจัดไว้ในแต่ละพิกเซล และแต่ละพิกเซลของภาพเหล่านั้นจะถูกพล็อตเป็นจุดในแต่ละระนาบ ซึ่งเป็นพิกัดที่สอดคล้องกับค่าความสว่างของพิกเซลในแต่ละชั้นของภาพ เพื่อทำให้ง่ายต่อการเข้าใจ หัวข้อนี้จะกล่าวถึงภาพที่มีระนาบ 2 มิติ เพื่อง่ายต่อการเข้าใจและทำให้สมการคณิตศาสตร์ง่ายต่อการพิจารณา โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะนำไปใช้กับข้อมูลของแต่ละมิติ

#### เวกเตอร์เฉลี่ย และเมทริกซ์การแปรปรวนร่วม

ตำแหน่งของจุดพิกเซลในระบบ Multispectral สามารถอธิบายได้โดยเวกเตอร์ส่วนประกอบของพวกมันจะแยกกันตอบสนองอย่างอิสระ ในแต่ละแบนด์ซึ่งโดยแท้จริงแล้วเวกเตอร์เหล่านี้ถูกวาดมาจากจุดเริ่มต้นไปยังพิกเซลนั้นๆ แต่แนวคิดนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้จริงๆ พิจารณาระนาบ Multispectral เป็นจำนวนขนาดใหญ่ของพิกเซลที่ถูกพล็อต ดังในรูปที่ 3.1 ซึ่งแต่ละพิกเซลถูกกำหนดตำแหน่งไว้ด้วยเวกเตอร์  $x$  ตำแหน่งค่าเฉลี่ยของพิกเซลในระนาบถูกหาค่าโดยค่า Expectation ของพิกเซล เวกเตอร์  $x$  ซึ่งมีค่าดังนี้

$$m = E(x) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j \quad (3.1)$$

เมื่อ  $m$  คือ เวกเตอร์เฉลี่ย,  $x_j$  คือ เวกเตอร์พิกเซลที่แยกต่างหากของจำนวน  $k$  ทั้งหมด และ  $E$  คือ ตัว Expectation Operator

ขณะที่เวกเตอร์เฉลี่ยจะถูกใช้เพื่อกำหนดค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่ง Expectation ของพิกเซลในระนาบ Multispectral เวกเตอร์ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่มีอยู่ในแต่ละการแพร่กระจายที่ถูกอธิบายไว้เป็นค่าเมทริกซ์ Covariance ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\sum_x = \mathbf{E}\{(x_j - m)(x_j - m)'\} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $t$  คือทรานโพส (Transpose) เวกเตอร์ การประมาณค่าที่ไม่มี การไปอัสของเมทริกซ์ Covariance จะเป็น

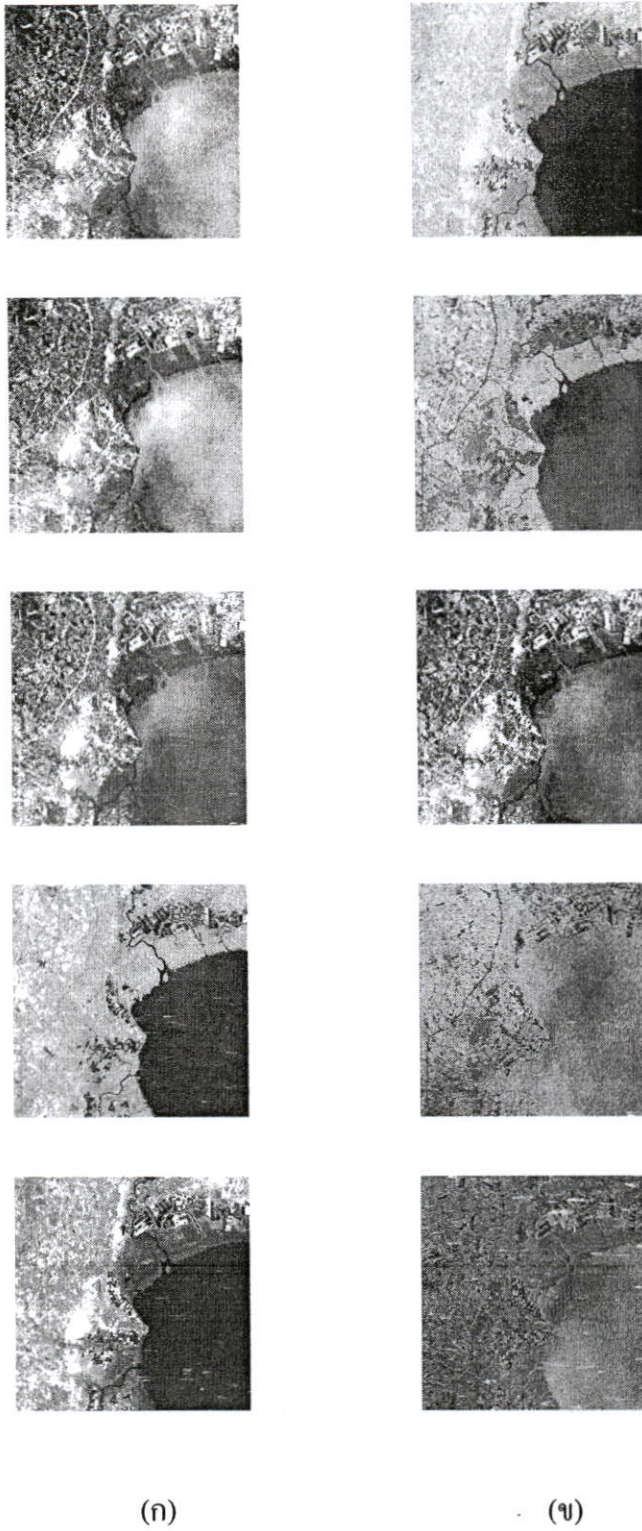
$$\sum_x = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (x_j - m)(x_j - m)' \quad (3.3)$$

ค่า Covariance เมทริกซ์เป็นหนึ่งในแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจระบบไกลแบบ multispectral เป็นผลของแต่ละค่าที่พิจารณาตัวอย่างที่หาค่าเพื่อทำให้คุณสมบัติของมันถูกทำให้สำคัญมากขึ้น กรณีนี้จะเห็นว่าถ้ามีความสัมพันธ์กันระหว่างการตอบสนองในกลุ่มของแบนด์ในแต่ละชั้นของภาพ ผลการตอบสนองแบบ Off-diagonal ใน Covariance เมทริกซ์ จะมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับเทอม diagonal อีกนัยหนึ่ง ถ้ามีความสัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อยเทอม Off-diagonal จะมีค่าใกล้ศูนย์ลักษณะนี้สามารถอธิบายได้ในเทอมของเมทริกซ์ความสัมพันธ์  $\mathbf{R}$  ซึ่งแต่ละอีลิเมนต์จะมีความสัมพันธ์กับ Covariance เมทริกซ์ดังกล่าวโดย

$$g_{ij} = v_{ij} / \sqrt{v_{ii}v_{jj}} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $g_{ij}$  คือค่าอีลิเมนต์ของการแปรปรวนร่วม เมทริกซ์ ส่วน  $v_{ij}$ ,  $v_{ii}$  และ  $v_{jj}$  คือ อีลิเมนต์ของ Covariance เมทริกซ์  $v_{ii}$  และ  $v_{jj}$  คือค่า Variance ในแบนด์ที่  $i$  และลำดับที่  $j$  ของข้อมูล ค่า  $g_{ij}$  จะใช้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์  $i$  และแบนด์  $j$

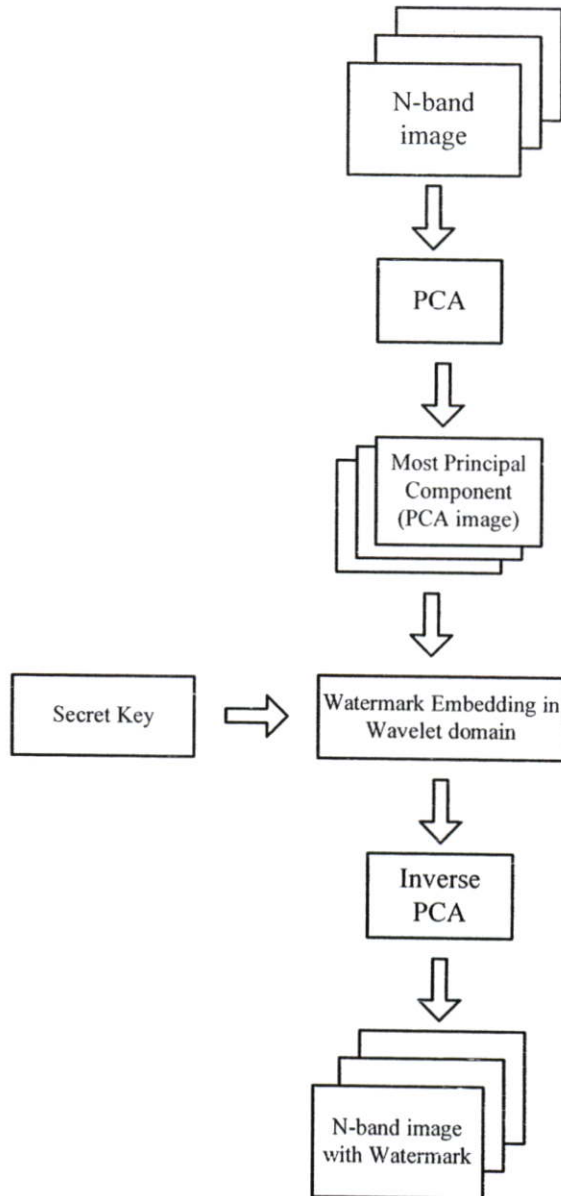
เมื่อทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบหลักเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ ก็คือ ข้อมูลที่มีองค์ประกอบมากที่สุดอยู่ในแบนด์แรก ซึ่งมีข้อมูลประมาณ 96% ของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งรูป 3.1(ข) แสดงส่วนประกอบสำคัญของภาพทั้ง 5 แบนด์ที่ผ่านการวิเคราะห์หองค์ประกอบแล้ว



รูปที่ 3.1 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ขนาด 5 แบนด์ (ข) ส่วนประกอบสำคัญของภาพถ่าย  
ทั้ง 5 แบนด์

### 3.1.3 การใส่ลายน้ำของภาพหลายแถบความถี่

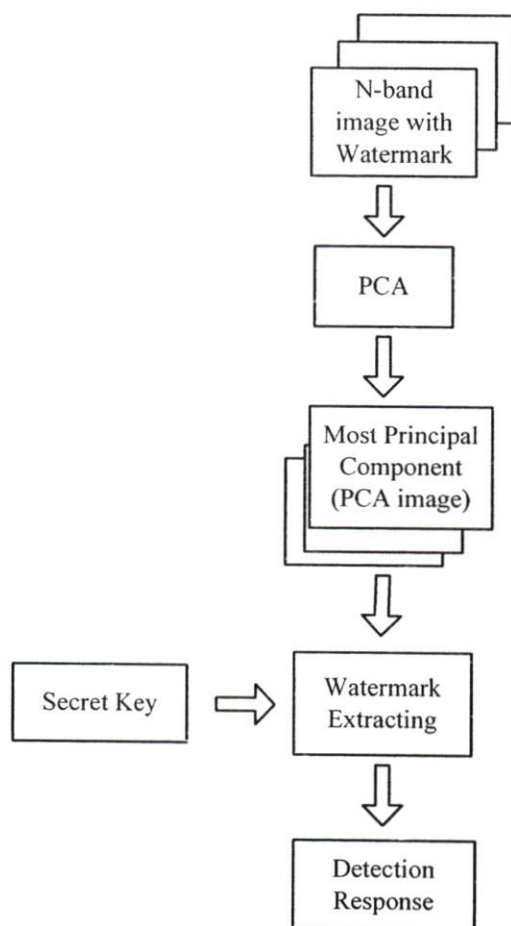
การใส่ลายน้ำในภาพหลายแถบความถี่ ในขั้นแรกจำเป็นที่จะต้องหาแบนด์ที่มีความสำคัญมากที่สุด โดยผ่านกระบวนการพีซีเอ ซึ่งภาพที่ได้เรียกว่าภาพพีซีเอ หลังจากนั้นนำภาพพีซีเอที่ได้ไปทำการใส่ลายน้ำในโดเมนเวฟเลต และเมื่อต้องการภาพที่ใส่ลายน้ำจำเป็นที่จะต้องเข้ากระบวนการแปลงกลับพีซีเอ ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การใส่ลายน้ำในภาพหลายแถบความถี่

### การตรวจหาลายน้ำของภาพหลายแถบความถี่

ขั้นตอนในการการตรวจหาลายน้ำ ในขั้นแรก คือนำภาพลายน้ำ มาเข้ากระบวนการพีซีเอเพื่อหาแบนด์ที่มีความสำคัญมากที่สุด และนำแบนด์ที่มีความสำคัญมากที่สุดนี้มาทำการตรวจหาลายน้ำ ซึ่งหลักสำคัญในการตรวจหาลายน้ำคือ ข้อมูลที่เป็นรหัสลับที่ใส่ไปในขั้นตอนการใส่ลายน้ำ แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3



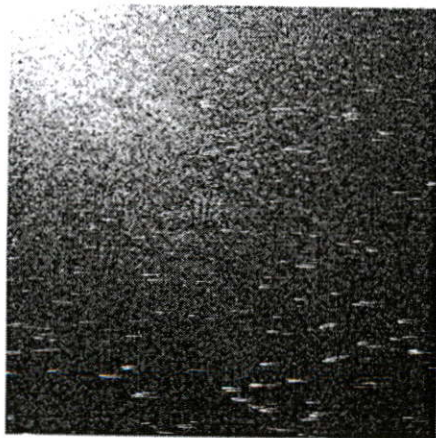
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนตรวจหาลายน้ำในภาพหลายแถบความถี่

### 3.2 การใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล

ในที่นี้จะนำเสนอการสร้างลายน้ำใน 2 รูปแบบ คือลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่มและลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี ซึ่งทั้งคู่แต่ละวิธีมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป ดังรายละเอียดตามหัวข้อถัดไป

#### 3.2.1 ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม

โดยทั่วไปแล้วงานวิจัยการทำลายน้ำภาพส่วนใหญ่ จะมุ่งเน้นไปที่ตำแหน่งที่จะใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล ซึ่งจะทำให้ลายน้ำที่ใส่มีความทนทานต่อการโจมตีพื้นฐาน ในขณะเดียวกันก็ยังคงรักษาคุณภาพของภาพที่ถูกใส่ลายน้ำให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ สำหรับการทำลายน้ำในโดเมนความถี่ ส่วนข้อมูลสำคัญของภาพมักจะอยู่ในแถบสลับแบนด์ความถี่ต่ำและกลาง ดังนั้นการรวมลายน้ำเข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญในโดเมนความถี่ โดยทั่วไปแล้วจะทำให้ลายน้ำมีความคงทน ตัวอย่างเช่น ในโดเมน DCT ค่าพลังงานของภาพมักจะไปรวมกันอยู่บริเวณแถบความถี่ต่ำรอบๆ มุมบนสุดซ้ายมือ แสดงดังรูปที่ 3.4 (ก) ส่วนการทำลายน้ำโดยใช้ DWT มีองค์ประกอบความถี่ต่ำของสัญญาณภาพอยู่ในสลับแบนด์ค่าการประมาณ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งมุมบนซ้ายแสดงดังรูปที่ 3.4 (ข) ขณะที่ในส่วนของความถี่สูงเป็นสลับแบนด์รายละเอียดที่มีหลายสลับแบนด์ พลังงานส่วนใหญ่ของสลับแบนด์รายละเอียดมีอยู่ในบริเวณขอบภาพและบริเวณเนื้อภาพ (texture) สังเกตว่ามีความเหมือนกันระหว่างสลับแบนด์ที่ต่างระดับความละเอียดและต่างสลับแบนด์อีกด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 การกระจายพลังงานในโดเมนการแปลงของภาพ Lena (ก) การแปลงแบบ DCT

(ข) การแปลงแบบ DWT 3 ระดับโดยใช้ ตัวกรองเวฟเล็ต คาบิซี 10

### 3.2.1.1 ขั้นตอนการใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในภาพ

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการใส่ลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่ โดยนำข้อมูลภาพต้นแบบมาทำการแปลง DWT ซึ่งสามารถจำแนกออกมาเป็นแถบความถี่ย่อย  $LL_n, LH_n, HL_n, HH_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) โดยสามารถแยกองค์ประกอบได้ถึง  $N$  ระดับ จากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์ในส่วนของแถบความถี่ย่อย  $LH_n, HL_n, HH_n$  ยกเว้นในส่วนแถบความถี่ย่อย  $LL_n$  โดยที่ลายน้ำจะถูกรวมกับสัมประสิทธิ์ส่วนนี้เท่านั้น ลายน้ำที่ถูกสังเกตุเห็น ได้มีผลมาจากตำแหน่งของลายน้ำที่ใส่ในแต่ละสับแบนด์ของ DWT ด้วยเหตุผลนี้ เราจึงเลือกแทรกรหัสลงในองค์ประกอบความถี่สูงของภาพและมีความคงทนต่อการเสียหายของลายน้ำ

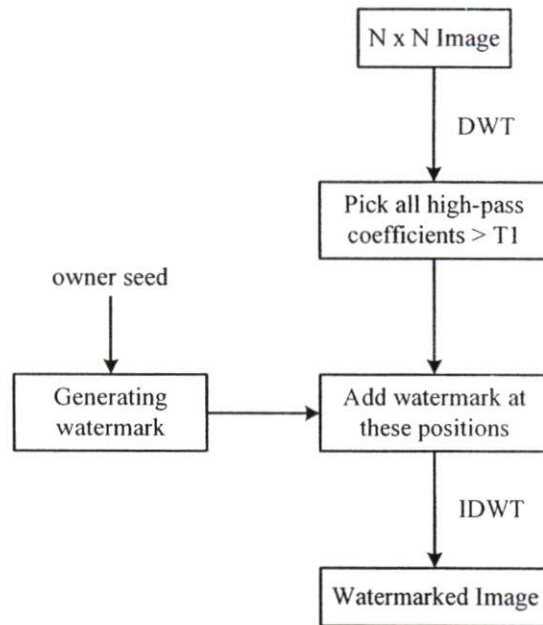
จากนั้นรวมลำดับสัญญาณลายน้ำ  $X$  เข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากที่สุดที่ไม่ได้อยู่ในส่วนจของรายละเอียดต่ำสุด ดังในสมการที่ 3.5 ลายน้ำจะไม่ถูกรวมเข้าทุกตำแหน่งของภาพ ขนาดของลายน้ำถูกกำหนดลายน้ำอยู่ในแต่ละตำแหน่ง และเราไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับลำดับของสัมประสิทธิ์ที่สำคัญที่ถูกเลือก และ  $i$  เป็นตำแหน่งการฝังลายน้ำที่หาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ DWT ที่มากกว่าเทรโซลด์  $T1$  ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 40

$$V'_i = V_i + \alpha \cdot |V_i| \cdot x_i \quad (3.5)$$

โดยที่  $V_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์ DWT ของภาพต้นแบบ  
 $V'_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์ DWT ของภาพลายน้ำ  
 $x_i$  เป็นชุดข้อมูลลายน้ำ  
 $\alpha$  คือ พารามิเตอร์ที่ควบคุมระดับของลายน้ำ

ในการเลือกกำหนดค่า  $\alpha$  ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ คือมีผลกระทบต่อการทำให้สังเกตุเห็นได้ เมื่อ  $\alpha$  มีค่าสูงจะทำให้ลายน้ำปรากฏเด่นชัดมากขึ้นหมายถึงทำให้สังเกตุเห็นได้มากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนมากขึ้นด้วย

ขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการแปลงข้อมูลกลับด้วย IDWT ก็จะได้ภาพที่มีลายน้ำ



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการใส่ลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่

### 3.2.1.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ

วิธีการตรวจหาลายน้ำแบบไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ ซึ่งในการตรวจหาลายน้ำจากข้อมูลภาพที่มีลายน้ำดิจิทัล สามารถตรวจหาได้ด้วยขั้นตอนง่ายๆ แต่จะยากลำบากต่อการโจมตีข้อมูลภาพ โดยผู้ไม่หวังดี โดยภาพดิจิทัลอาจจะเกิดความเสียหาย หรือผิดเพี้ยนมาก่อนซึ่งเราแทนด้วย  $\tilde{V}$  ขั้นตอนในการตรวจหาลายน้ำจะมีขั้นตอนที่คล้ายกับการฝังลายน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.6 ขั้นแรกเราทำภาพที่มีลายน้ำนำมาแยกองค์ประกอบภาพที่มีลายน้ำด้วย DWT ซึ่งจำแนกออกมาเป็นแถบความถี่ย่อย  $LL_n, LH_n, HL_n, HH_n$  โดยแยกองค์ประกอบถึงระดับเดียวกันกับขั้นตอนการฝังลายน้ำ จากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์ในส่วนของแถบความถี่ย่อย  $LH_n, HL_n, HH_n$  ยกเว้นในส่วนแถบความถี่ย่อย  $LL_n$  และค่าเทรโซลด์เรากำหนดให้เป็น  $T_2$  ซึ่งค่าเทรโซลด์ที่ได้จะทำการแยกสัมประสิทธิ์ส่วนที่มีลายน้ำออกมาเพื่อนำมาหาค่าคอร์รีเลชันระหว่างลายน้ำที่ผิดเพี้ยนไปกับลายน้ำต้นฉบับ

เราได้กำหนดให้ค่า  $T_2 \geq T_1$  ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็น เพราะเราไม่ควรจะคอร์รีเลชันสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ กับสัมประสิทธิ์ส่วนเกินที่ลายน้ำไม่ได้รวมเข้าไป และเราเลือก  $T_2$  ให้มีค่ามากกว่า  $T_1$  เพื่อความคงทน เพราะค่าสัมประสิทธิ์บางค่าจากภาพต้นแบบอาจมีค่าต่ำกว่า  $T_1$  หรือมากกว่า  $T_1$  ภายหลังจากถูกโจมตีลายน้ำทำให้ข้อมูลภาพผิดเพี้ยนไป ในการทดลองได้กำหนดให้  $T_2 = 50$

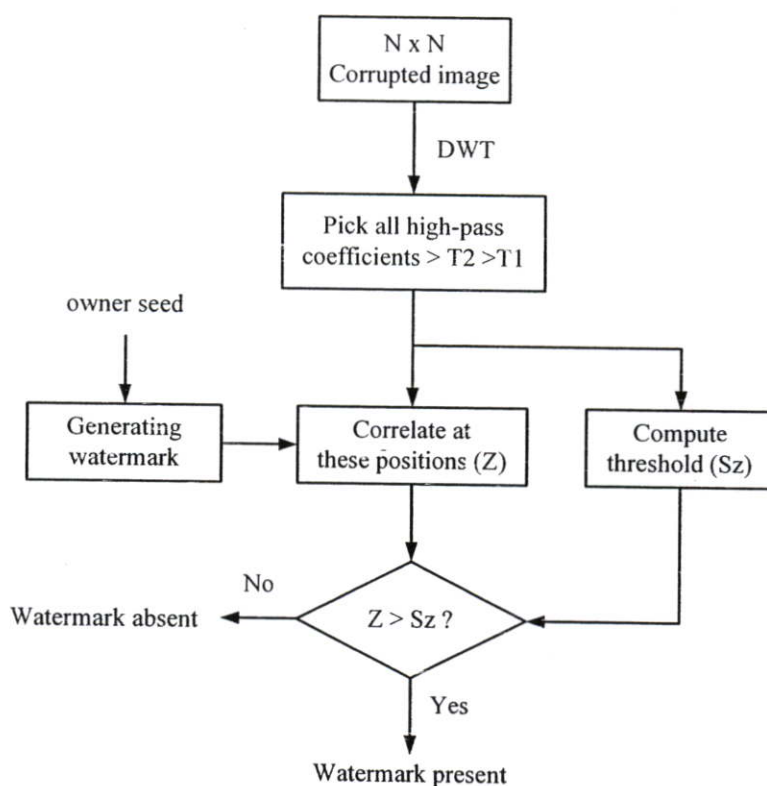
ค่าคอร์รีเลชันระหว่างลายน้ำกับค่าสัมประสิทธิ์ของ  $\tilde{V}$  ที่มีโอกาสผิดเพี้ยนหรือเสียหายได้ จะบอกได้ว่าภาพที่นำมาทดสอบมีลายน้ำอยู่หรือไม่ ค่าคอร์รีเลชัน  $z$  ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ DWT ที่มีลายน้ำของ  $X$  และลายน้ำอื่น  $Y$  หาได้จากสมการที่ 3.6

$$z = \frac{1}{M} \sum_i |\hat{V}_i| y_i \quad (3.6)$$

เมื่อ  $M$  เป็นจำนวนสัมประสิทธิ์ลายน้ำทั้งหมดที่ใส่เข้าไป

$$S_z = \frac{1}{2M} \sum_i |\hat{V}_i| \quad (3.6)$$

ค่าเทรโซลด์ของการตรวจหาลายน้ำ  $S_z$  ในสมการที่ 3.6 ที่คำนวณได้จากผลการทดลองสามารถนำมากำหนดและตัดสินใจว่าข้อมูลภาพมีลายน้ำฝังอยู่ในภาพนั้นหรือไม่



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลด์แบบคงที่

### 3.2.2 ลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี

#### 3.2.2.1 ขั้นตอนการใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในภาพ

กระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล ประกอบด้วย ภาพสัญลักษณ์ลับแบบไบนารี ( $s_i$ ) ที่ทำการแปลงบริเวณพิกเซลที่เป็นข้อมูลภาพให้มีค่าเป็น 1 และพิกเซลที่เป็นพื้นหลัง (Background) ให้มีค่าเป็น -1

$$S = \{s_i, 1 \leq i \leq M\}, s_i \in \{-1, 1\} \quad (3.7)$$

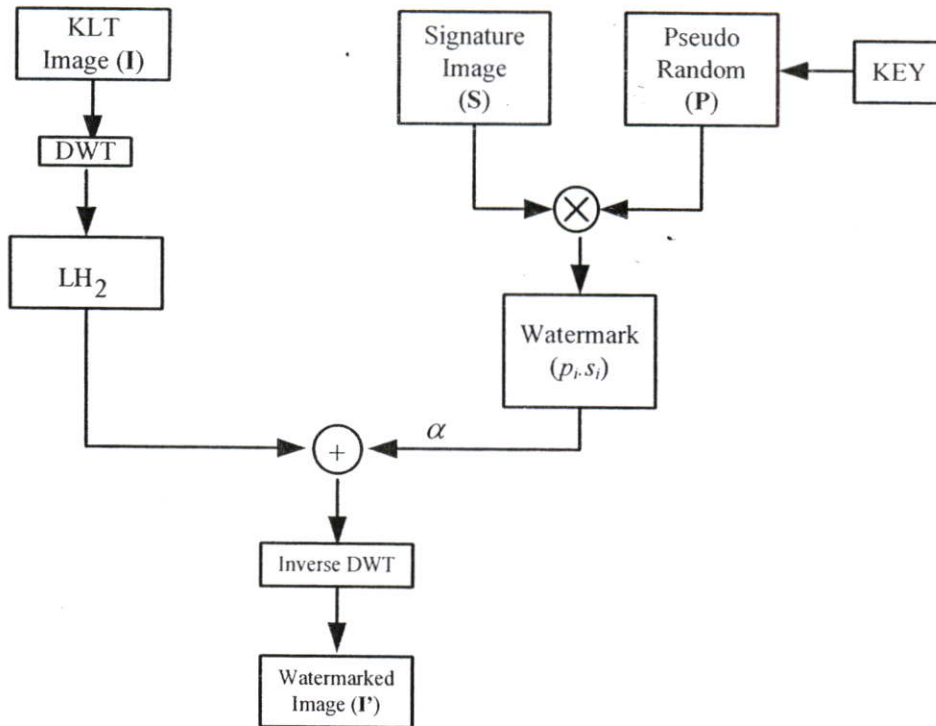
ลำดับของ  $s_i$  จะถูกขยายด้วยแฟกเตอร์ของแอมพลิจูดที่ปรับได้ ( $\alpha \geq 0$ ) เป็นค่าคงที่ โดยกำหนดจากความคงทนของสัญลักษณ์ที่ใช้ ค่าของ  $\alpha$  จะถูกเลือกเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในระหว่างความคงทนกับการไม่ปรากฏให้เห็น ในการเลือกค่าของ  $\alpha$  จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบสองด้าน คือมีผลกระทบต่อการทำให้สังเกตเห็นได้ เมื่อ  $\alpha$  มีค่าสูงจะทำให้ลายน้ำปรากฏเด่นชัดมากขึ้นหมายถึงทำให้สังเกตเห็นได้มากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนมากขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้ามหาก  $\alpha$  มีค่าน้อยจะทำให้ลายน้ำไม่ปรากฏให้เห็นเด่นชัดมากหมายถึงทำให้สังเกตเห็นได้ยากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนน้อยลงด้วย นำค่าที่ได้ไปมอดูเลต ด้วยลำดับสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม (Pseudo-Random Sequence :  $p_i$ ) ซึ่งสร้างขึ้นมาโดยใช้ค่า Seed เป็นกุญแจลับในการสร้างสัญญาณรบกวนแบบสุ่มนี้ขึ้นมา โดยการเพิ่มลำดับแบบสุ่มลงไปในการฝังลายน้ำ และการตรวจหาลายน้ำ จะต้องทำการสร้างลำดับสัญญาณรบกวนแบบสุ่มขึ้นมาใหม่โดยใช้ค่า Seed ที่ถูกต้องโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ โดยแต่ละจำนวนมีค่าเป็น 1 และ -1 ดังนั้นลำดับที่ใช้ นั้นจึงไม่ควรง่ายเกินไปเพื่อให้การจะคาดเดาทำได้ยากและเป็นการรักษาความปลอดภัยจากผู้ที่ไม่ได้รับสิทธิ์

$$P = \{p_i, 1 \leq i \leq M\}, p_i \in \{-1, 1\} \quad (3.8)$$

ในการกระจายลำดับเมื่อสัญญาณนอยส์แบบสุ่ม  $P_i$  คือกุญแจลับสำหรับการฝังและการสร้างลายน้ำกลับคืน ลำดับของการสร้างจะถูกนำไปใช้และมีความยากต่อการเดาเพื่อความปลอดภัย

ให้  $V = \{V_0, V_1, \dots, V_N\}$  เป็นลำดับของค่าสัมประสิทธิ์พิกเซลหรือแอมพลิจูดของลายน้ำที่จะฝังในรูปภาพ สัญญาณลายน้ำ  $p_i * s_i$  จะถูกรวมเข้ากับลำดับ  $V_i$ ,

$$V_i = V_i + \alpha \cdot p_i \cdot s_i, i = 1, 2, \dots, N \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการใส่ลายน้ำในโดเมนDWT สำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี

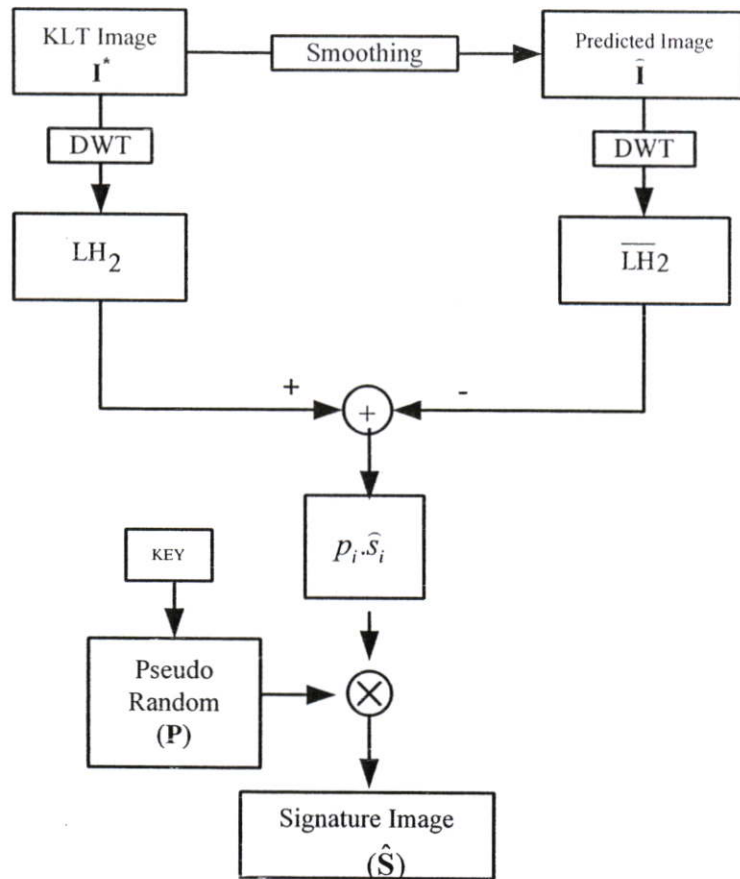
### 3.2.2.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ

ผู้ที่ได้รับอนุญาตจะสามารถแปลงข้อมูลที่ซ่อนไว้กลับได้โดยง่าย แม้ว่าจะไม่รู้ข้อมูลรูปภาพเดิมก็ตาม ในขั้นตอนการสร้างกลับคืนข้อมูลลับที่ซ่อนไว้ จำเป็นต้องใช้การทำนายค่าจริงของพิกเซลที่บรรจุข้อมูลไว้ โดยใช้วิธีการทำคอนโวลูชัน (Convolution) กับค่าแอมพลิจูดในตัวแปรรอบค่า  $V_i$  ค่าของการทำคอนโวลูชันที่ได้จะเป็นผลรวมของพิกเซลรอบๆ พิกเซลตั้งต้น ค่าน้ำหนักจะถูกพิจารณาโดยเมตริกเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า คอนโวลูชันมาสก์ (Convolution Mask) ในการทำนายค่าของ  $V_i$  จะใช้วิธีที่เรียกว่า Blurring Technique ทำได้โดยการทำคอนโวลูชัน วิธีการทำ Blurring Mask แบบง่ายๆ คือ การใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการทำคอนโวลูชันที่มีค่าเท่ากัน ในการทดลองจะใช้ค่าเมตริกซ์  $5 \times 5$  มาสก์ในทุกอิลิเมนต์จะมีค่าเท่ากับ  $1/25$  ค่าจากการทำนาย  $V_i$  ในการคำนวณจะเป็นดังนี้

$$\bar{V}_i = \frac{1}{c \times c} \sum (\bar{x}_i + \alpha \cdot p_i \cdot s_i) \quad (3.10)$$

เมื่อ  $c$  คือขนาดของคอนโวลูชันมาสก์

ในการแปลงลายน้ำกลับ จะใช้ค่าความแตกต่างของแอมพลิจูดระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริง สัญลักษณ์ของค่าความแตกต่าง  $\delta$  ที่ได้จะเป็นค่าของบิตที่ถูกฝังไว้,  $p_i \cdot s_i$  เมื่อ  $p_i$  สามารถที่จะสร้างขึ้นใหม่ได้โดยด้วยตัวสร้างแบบสุ่มเหมือนในตอนแรก และสุดท้ายรูปดิจิทัลกลับที่ถูกฝังไว้  $s_i$  สามารถสร้างกลับคืนมาโดยการคูณ  $p_i$  เข้ากับบิตที่ถูกฝังไว้,  $p_i \cdot s_i$  ถ้ารหัสลำดับแบบสุ่มถูกสร้างผิดจากครั้งแรก หรือไม่สัมพันธ์ (Synchronization) กับลำดับสุ่มแบบเดิมถูกนำมาใช้ ภาพที่แปลงกลับได้จะใช้ไม่ได้และบิต  $s_i$  ที่ได้กลับคืนจะเป็นบิตแบบสุ่ม (Random bit)



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการตรวจหาลายน้ำในโดเมน DWT สำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี

### 3.3 การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

ความสำเร็จของประสิทธิภาพอัลกอริทึมที่ดี สามารถประเมินได้จากใช้เครื่องมือวัดคุณภาพ แต่เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นคือประสิทธิภาพมักเกี่ยวข้องกับด้านการรับรู้ ดังนั้นการจะวัดเป็นจำนวนตัวเลขจึงอาจมีการคลาดเคลื่อนได้บ้าง แต่ในที่นี้เราจะนำเสนอวิธีการวัดที่เป็นที่นิยมที่สุดทั้งหมดเพื่อนำมาเน้นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ดี

### 3.3.1 การวัดโดยใช้สายตา

การวัดคุณภาพโดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพภายหลังการทำลายน้ำเป็นวิธีการพื้นฐานแต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือมาก ในฐานะที่เป็นผู้ใช้ธรรมดาและยังใช้สายตาของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้าม ในการตัดสินใจอาจใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ เช่น การตัดสินใจจากภาพทดสอบแล้วให้ระดับคะแนนเมื่อผู้ทดสอบได้มองภาพทดสอบแล้วระดับคุณภาพตามที่ได้ระบุไว้ โดยอาจมีชุดภาพมาตรฐานที่มีระดับคะแนนระบุไว้อ้างอิงด้วยก็ได้ ระดับคุณภาพสามารถแสดงได้ทั้งระดับความถูกต้องและระดับความผิดพลาด หรือการตัดสินจากชุดภาพทดสอบแล้วเรียงลำดับคุณภาพของภาพ ซึ่งผู้ใช้จะเรียงลำดับภาพทดสอบตามคุณภาพของภาพที่เห็นผู้ทดสอบจะตัดสินใจในลักษณะเปรียบเทียบว่าดีกว่าหรือแย่กว่า

### 3.3.2 Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

ในการหาค่าความผิดพลาดเชิงลบ นิยมใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error,  $MSE$ ) ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าภาพที่ได้กลับคืนมามีความผิดเพี้ยนจากภาพต้นแบบน้อย สามารถหาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลภาพขนาด  $M \times N$  ได้ดังนี้

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2 \quad (3.11)$$

โดยที่

$M$  คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างของภาพ

$N$  คือ จำนวนพิกเซลตามความสูงของภาพ

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

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

และสำหรับภาพหลายแบนด์ความถี่ การหาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย จะเป็นดังนี้

$$MSE = \frac{1}{n \times M \times N} \sum_{b=1}^n \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2 \quad (3.12)$$

โดยที่  $n$  คือ จำนวนแบนด์ของภาพ

เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดที่สามารถวัดที่เป็นตัวเลขที่ชัดเจนขึ้น เราเลือกใช้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal-to-Noise Ratio, *PSNR*) ในการวัดสัญญาณรบกวนที่ถูกฝังลงในภาพต้นฉบับเนื่องจากการซ่อนลายน้ำภาพดิจิทัล ซึ่งถึงแม้ว่าเครื่องมืออันนี้จะไม่เที่ยงตรงนักแต่ก็เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัด การไม่ปรากฏให้เห็นและประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการฝังลายน้ำ ค่า *PSNR* หาได้จาก

$$PSNR = 10 \log \frac{peak^2}{MSE} \quad (dB) \quad (3.13)$$

โดยที่ *Peak* คือค่าสูงสุดของขอบเขตข้อมูล สำหรับภาพที่มีพิกเซลแทนด้วยขนาดข้อมูล  $n$  บิต จะมีจำนวนระดับความเทา (Gray Scale) เท่ากับ  $2^n$  จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (dB) \quad (3.14)$$

ดังนั้นภาพขนาด 8 บิต หรือมีระดับความเข้มเท่ากับ 256 ระดับ จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (dB) \quad (3.15)$$

### 3.3.3 Normalized Correlation (NC)

นอกจากการคำนวณหาค่า *PSNR* ในการวัดค่าความผิดพลาดของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วการเปรียบเทียบลายน้ำที่ตรวจหาได้กับลายน้ำที่ทำการฝังยังสามารถทำการเปรียบเทียบได้ โดยหลังจากที่นำลายน้ำกลับคืนได้แล้ว ผู้ใช้สามารถเปรียบเทียบผลกับลายน้ำที่อ้างอิง ซึ่งการวัดประสิทธิภาพวิธีนี้ใช้เฉพาะลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี การวัดสามารถนิยามได้ดังนี้

$$Normalized\ Correlation\ (NC) = \frac{\sum_{i=1}^M S_i S'_i}{\sum_{i=1}^M S_i^2} \quad (3.16)$$

เมื่อ  $S_i$  คือภาพสัญญาณดิจิทัลต้นฉบับ และ  $S'_i$  คือ ภาพสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการนำลายน้ำกลับคืน

ค่า NC ที่ได้ แสดงถึงความเหมือนของภาพสัญลักษณ์ที่ได้ทำการฝังกับภาพที่ตรวจหา  
กลับมาได้ ไม่ว่าภาพที่ได้ทำการฝังลายน้ำจะผ่านการบิดเบือนอย่างไรก็ตาม โดยค่าที่ได้หากจะมี  
ค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าลายน้ำที่ได้มีความเหมือนกันมาก เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าภาพที่ทำการตรวจหา  
ลายน้ำอยู่นั้นเป็นภาพของผู้ตรวจลายน้ำจริงๆ

## บทที่ 4

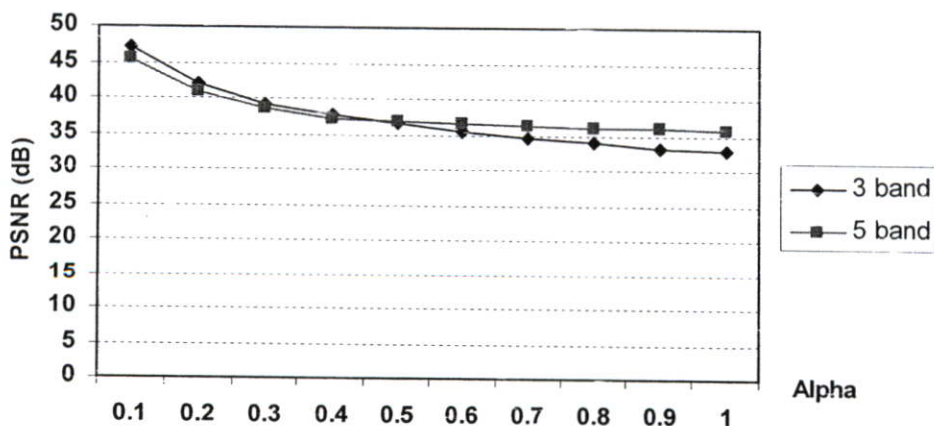
### ผลการทดลอง

บทนี้กล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการใส่ลายน้ำและการตรวจหาลายน้ำจากข้อมูลภาพที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 สำหรับลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่มและลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี จะทำการเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ใส่ลายน้ำแล้ว และทำการวัดประสิทธิภาพของภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำด้วยค่า PSNR ส่วนในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำได้ทำการทดลองกับภาพที่ผ่านเทคนิคการประมวลผลสัญญาณ ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตต่างๆ และการบีบอัดภาพแบบ JPEG เพื่อวัดความคงทนของลายน้ำ

#### 4.1 ผลการทดลองสำหรับลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม

##### 4.1.1 ผลการใส่ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม

ในการทดลองได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ขนาด 512 x 512 พิกเซลในรูปที่ 4.2 และทำการใส่ลายน้ำลงในภาพด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ในการแปลงเวฟเล็ตใช้ตัวกรองเวฟเล็ตแบบ Daubechies 1,  $n = 3$  และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ดังนี้ ค่า  $key = 100$ ,  $\alpha = 0.5$  เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ สามารถดูผลการเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์ โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$  ผลที่ได้ตามตารางที่ 4.1 หรือรูปที่ 4.1 และลายน้ำที่ใช้ประกอบไปด้วยค่าจำนวนจริง และสามารถสร้างลายน้ำโดยใช้ค่าตัวแปรสุ่มที่ได้จากการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์ โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1-5

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$

$\alpha$	PSNR ( dB )	
	3 band	5 band
0.1	47.06	45.35
0.2	42.02	40.88
0.3	39.14	38.67
0.4	37.65	37.09
0.5	36.47	36.75
0.6	35.47	36.51
0.7	34.62	36.33
0.8	33.88	22.15
0.9	33.24	35.92
1	32.73	35.71

ส่วนผลการทดลองเมื่อนำภาพถ่ายดาวเทียมมาทำการใส่ลายน้ำแล้วจะเป็นดังรูปที่ 4.3 (ข) โดยใช้จำนวนภาพ 3 แบนด์ ซึ่งเลือกใช้แบนด์ที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพก่อนและหลังการใส่ลายน้ำมีความคล้ายคลึงกันมาก



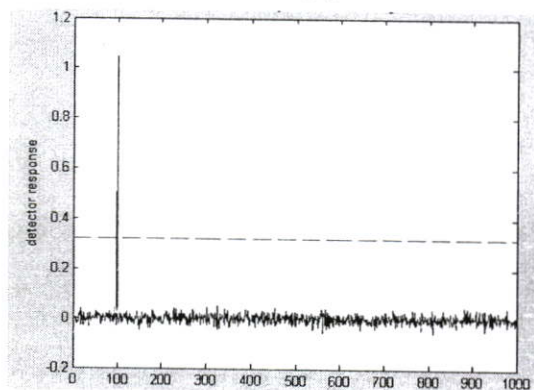
(ก)



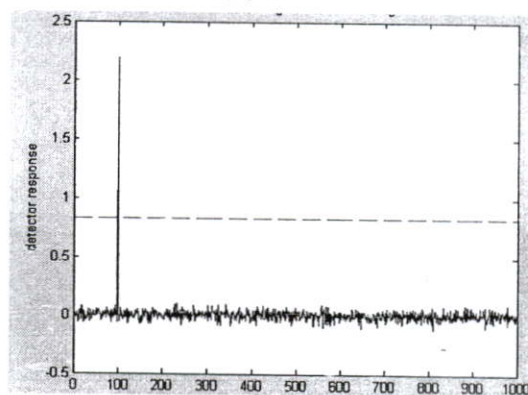
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.3(ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (ข) ภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว

(ค) ภาพผลต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว

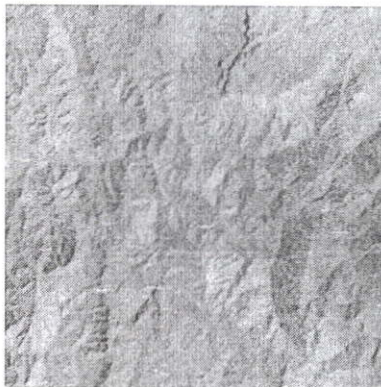
(ง) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์

(จ) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์

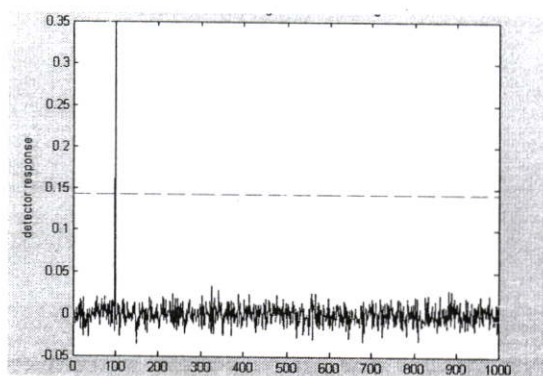
#### 4.1.2 ผลการทดสอบความคงทนสำหรับลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม

##### 4.1.2.1 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยตัวกรองแบบมัลติฐาน

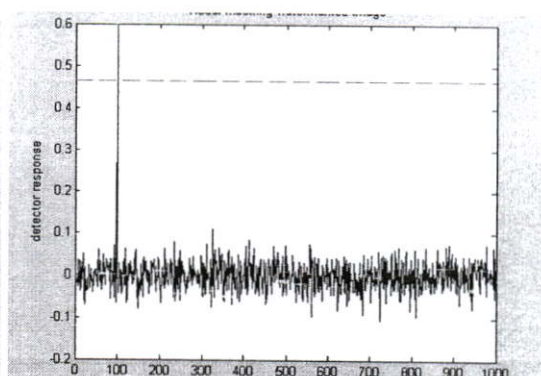
จากรูปที่ 4.4(ก) เป็นภาพลายน้ำที่มีจำนวน 3 แบนด์มัลติฐานขนาด 3x3 พิกเซล ซึ่งได้ผลการตรวจสอบลายน้ำของภาพลายน้ำ 3 แบนด์ตามรูปที่ 4.4 (ข) และ(ค) เป็นผลการตรวจสอบลายน้ำของภาพลายน้ำ 5 แบนด์ จากผลการทดลองพบว่า ลายน้ำมีความคงทนต่อการกรองแบบมัลติฐานได้ดี



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.4 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานขนาด 3x3

(ข) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์

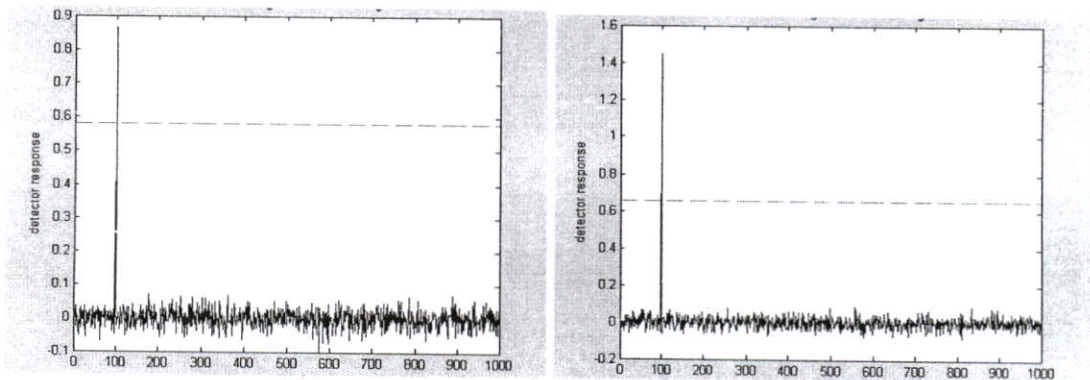
(ค) กราฟผลลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์

##### 4.1.2.2 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

จากรูปที่ 4.5(ก) เป็นภาพลายน้ำที่มีจำนวน 3 แบนด์ถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ซึ่งได้ผลการตรวจสอบลายน้ำของภาพลายน้ำ 3 แบนด์ตามรูปที่ 4.5 (ข) และ(ค) เป็นผลการตรวจสอบลายน้ำของภาพลายน้ำ 5 แบนด์ จากผลการทดลองพบว่า ลายน้ำมีความคงทนต่อการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนได้ดี



(ก)



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.5 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

(ข) กราฟผลลายนน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์

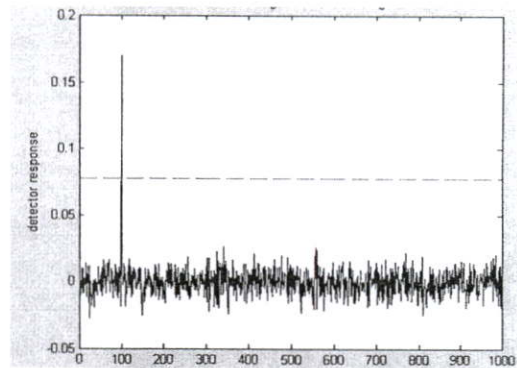
(ค) กราฟผลลายนน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์

#### 4.1.2.3 ผลการโจมตีภาพลายนน้ำด้วยวิธีการบีบอัดภาพแบบ JPEG

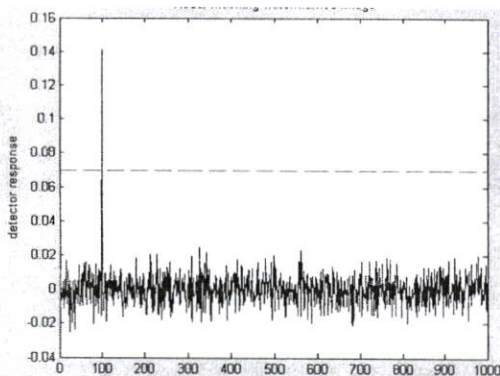
จากรูปที่ 4.6 (ก) เป็นภาพลายนน้ำที่มีจำนวน 3 แบนด์ถูกบีบอัดภาพแบบ JPEG 50% ซึ่งได้ผลการตรวจสอบลายนน้ำของภาพลายนน้ำ 3 แบนด์ตามรูปที่ 4.6 (ข) และ (ค) เป็นผลการตรวจสอบลายนน้ำของภาพลายนน้ำ 5 แบนด์ จากผลการทดลองพบว่า ลายนน้ำมีความคงทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ได้ดี



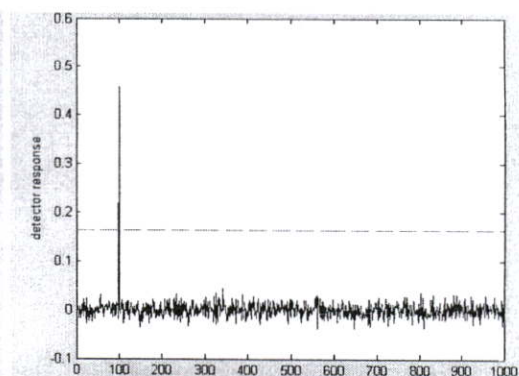
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.6 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG 50%

(ข) กราฟผลลายนน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ JPEG 50%

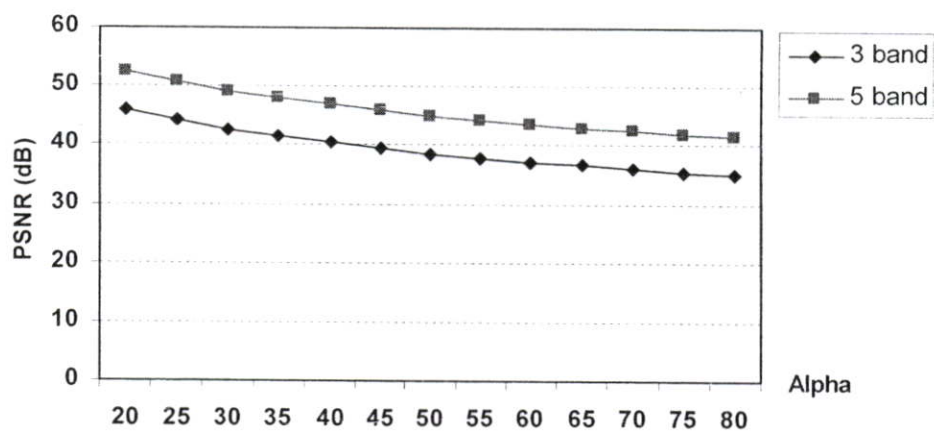
(ค) กราฟผลลายนน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ JPEG 30%

(ง) กราฟผลลายนน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ JPEG 70%

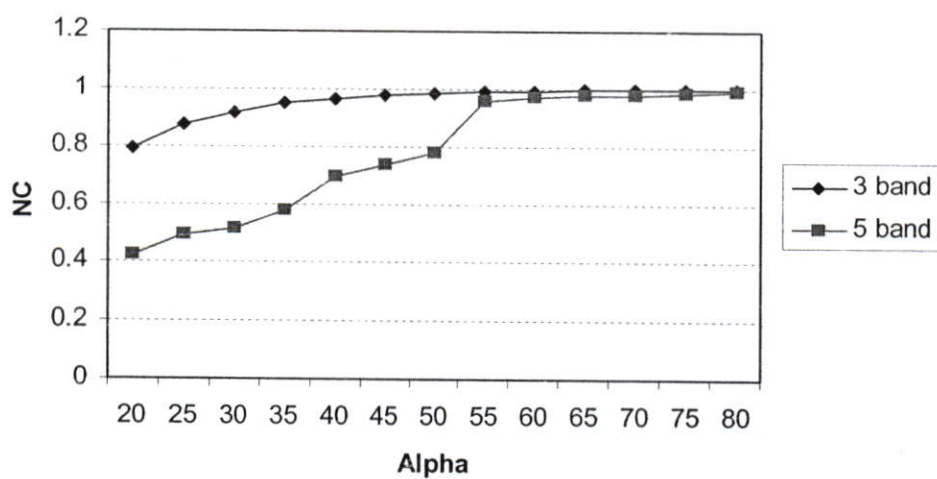
## 4.2 ผลการทดลองสำหรับลายนน้ำที่เป็นภาพไบนารี

### 4.2.1 ผลการใส่ลายนน้ำที่เป็นภาพไบนารี

ในการทดลองใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ขนาด 512 x 512 พิกเซลดังแสดงในรูปที่ 4.2 และทำการใส่ลายนน้ำลงในภาพด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ในการแปลงเวฟเล็ตใช้ตัวกรองเวฟเล็ตแบบ Daubechies 1,  $n = 2$  และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ดังนี้ ค่า  $key = 500$ ,  $\alpha = 55$  เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ สามารถดูผลการเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์ โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$  ตามตารางที่ 4.2 หรือรูปที่ 4.7 และผลการเปรียบเทียบค่า NC (Normalize Correlation) ระหว่างภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$  ตามตารางที่ 4.2 หรือรูปที่ 4.8 โดยลายนน้ำที่ใช้เป็นภาพไบนารี



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$

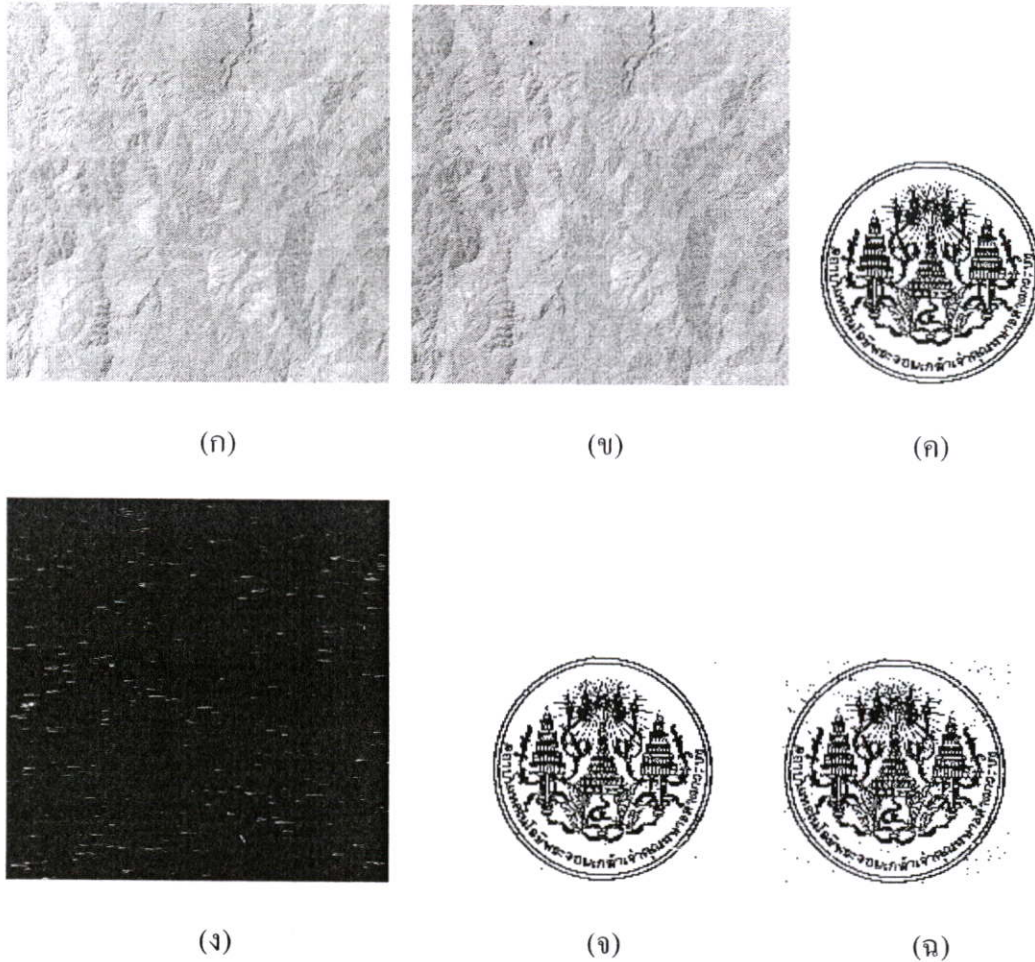


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่า NC ระหว่าง 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์โดยการเปลี่ยนค่า  $\alpha$

$\alpha$	PSNR ( dB )		NC	
	3 band	5 band	3 band	5 band
20	46.04	52.54	0.791359	0.420009
25	44.18	50.68	0.870537	0.494682
30	42.68	49.17	0.918899	0.511378
35	41.42	47.91	0.95029	0.576396
40	40.34	46.82	0.961962	0.695975
45	39.40	45.87	0.976201	0.736851
50	38.57	45.03	0.985797	0.774029
55	37.82	44.28	0.991821	0.959616
60	37.14	43.60	0.993113	0.971105
65	36.52	42.97	0.995695	0.977216
70	35.95	42.40	0.996845	0.980219
75	35.43	41.87	0.998279	0.984942
80	34.94	41.38	0.998853	0.988668

ส่วนผลการทดลองเมื่อนำภาพถ่ายดาวเทียมมาทำการใส่ลายน้ำแล้วจะเป็นดังรูปที่ 4.9 (ข) โดยใช้จำนวนภาพ 3 แบนด์ ซึ่งเลือกใช้แบนด์ที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพก่อนและหลังการใส่ลายน้ำมีความคล้ายคลึงกันมาก ส่วนลายน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นตราสัญลักษณ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในรูปแบบ (ค) ส่วนผลลัพธ์หลังจากที่ใส่ลายน้ำแล้ว จะสามารถตรวจแยกภาพตราสัญลักษณ์ดังรูป (ง) เมื่อทดลองกับภาพจำนวน 5 แบนด์ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากที่ใส่ลายน้ำแล้ว จะสามารถตรวจแยกภาพตราสัญลักษณ์ดังรูป (จ)



รูปที่ 4.9 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ (ข) ภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว

(ค) ภาพตราสัญลักษณ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(ง) ภาพผลต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้ว

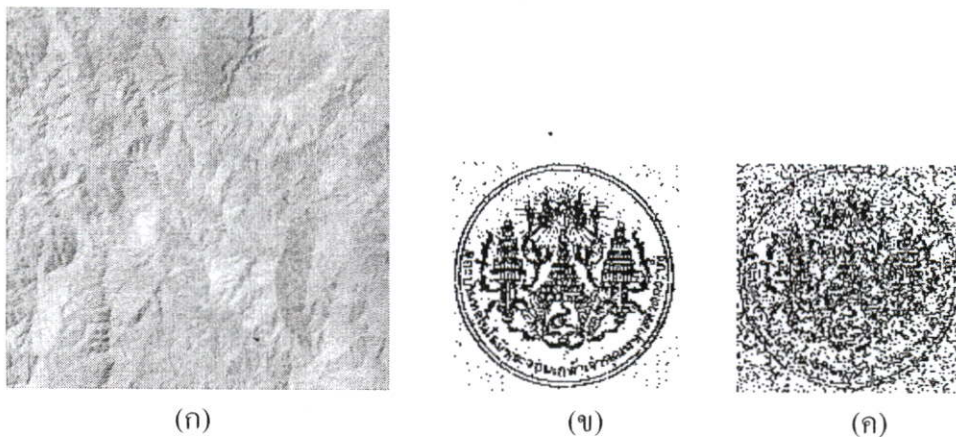
(จ) ภาพตราสัญลักษณ์ที่ตรวจแยกได้จากภาพ 3 แบนด์

(ฉ) ภาพตราสัญลักษณ์ที่ตรวจแยกได้จากภาพ 5 แบนด์

#### 4.2.2 ผลการทดสอบความคงทนสำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี

##### 4.2.2.1 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยตัวกรองแบบมัชยฐาน

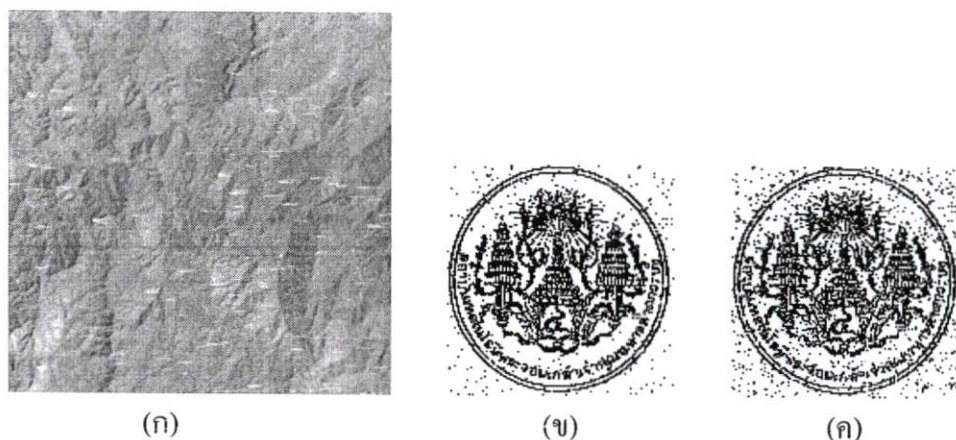
จากรูปที่ 4.10 (ก) เป็นภาพลายน้ำที่มีจำนวน 3 แบนด์มัชยฐานขนาด 3x3 พิกเซล ซึ่งได้ผลการตรวจสอบเป็นรูปลายน้ำของภาพลายน้ำ 3 แบนด์ตามรูปที่ 4.10 (ข) และ (ค) รูปลายน้ำของภาพลายน้ำ 5 แบนด์ จากผลการทดลองพบว่า ลายน้ำมีความคงทนต่อการกรองแบบมัชยฐานได้ดี



รูปที่ 4.10 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองแบบมัชฐานขนาด  $3 \times 3$   
 (ข) รูปถ่ายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์  $NC = 0.906312$   
 (ค) รูปถ่ายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์  $NC = 0.474888$

#### 4.2.2.2 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน

จากรูปที่ 4.11 (ก) เป็นภาพลายน้ำที่มีจำนวน 3 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ซึ่งได้ผลการตรวจสอบเป็นรูปถ่ายน้ำของภาพลายน้ำ 3 แบนด์ตามรูปที่ 4.11 (ข) และ (ค) รูปถ่ายน้ำของภาพลายน้ำ 5 แบนด์ จากผลการทดลองพบว่า ลายน้ำมีความคงทนต่อการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนได้ดี



รูปที่ 4.11 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน  
 (ข) รูปถ่ายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์  $NC = 0.906312$   
 (ค) รูปถ่ายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 5 แบนด์  $NC = 0.805816$

#### 4.2.2.3 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยวิธีการบีบอัดภาพแบบ JPEG

จากรูปที่ 4.12 (ก) เป็นภาพลายน้ำที่มีจำนวน 3 แบนด์ถูกบีบอัดภาพแบบ JPEG 50% ซึ่งได้ผลการตรวจสอบลายน้ำของภาพลายน้ำ 3 แบนด์ตามรูปที่ 4.12(ข) จากผลการทดลองพบว่า ลายน้ำมีความคงทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ได้ดี



(ก)

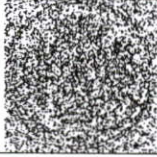
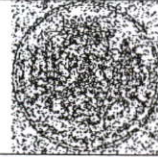

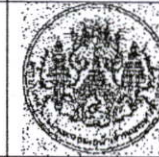




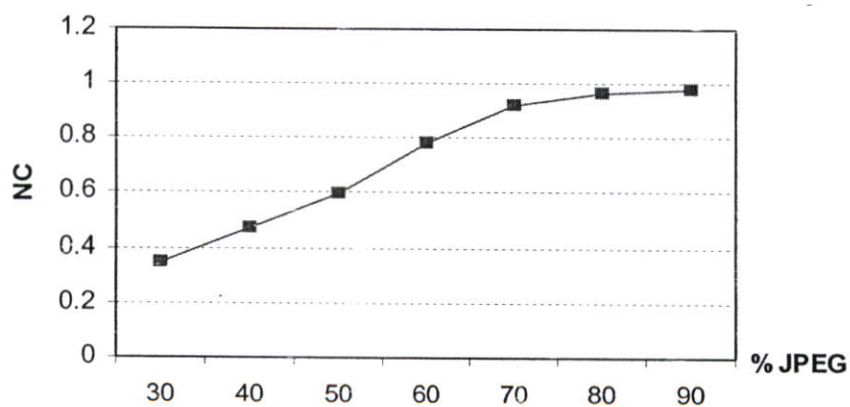
(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) ภาพต้นแบบ 3 แบนด์ที่ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG 50%

(ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกจากภาพต้นแบบ 3 แบนด์ NC = 0.594228

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจแยกลายน้ำจากการบีบอัดภาพลายน้ำแบบ JPEG ด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน  
ในภาพ 3 แบนด์

% JPEG	30%	40%	50%	60%	70%	80%
3 แบนด์						
NC	0.347006	0.470049	0.594228	0.777596	0.919752	0.963965



รูปที่ 4.13 กราฟผลการตรวจแยกลายน้ำ จากการบีบอัดแบบ JPEG ของภาพ 3 แบนด์

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการใส่ลายน้ำดิจิทัล ซึ่งลายน้ำที่ใช้มีทั้งสิ้น 2 แบบด้วยกัน คือ ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่ม และ ลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี โดยทั้งสองวิธีนี้มีขั้นตอนส่วนที่เหมือนกัน คือ ขั้นแรก นำภาพหลายแถบความถี่ มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) ซึ่งผลที่ได้ ได้ภาพ 1 แบนด์ที่มีความสำคัญมากที่สุด

จากนั้นนำผลที่ได้จากขั้นแรก นำไปใช้กับวิธีการใส่ลายน้ำทั้งสองวิธี โดยแบ่งเป็น

1. ลายน้ำที่เป็นตัวเลขลำดับสุ่ม โดยทำการใส่ลายน้ำในโดเมนเวฟเล็ต ใช้การสร้างตัวเลขลำดับสุ่มขึ้นมา โดยปริมาณของตัวเลขลำดับสุ่มที่สร้างขึ้นมานั้นขึ้นอยู่กับขนาดของภาพที่ใช้ ซึ่ง จะทำการใส่ตัวเลขลำดับสุ่มที่สร้างขึ้นไว้ในสัมประสิทธิ์ในส่วนของแถบความถี่สูง

2. ลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี โดยทำการใส่ลายน้ำในโดเมนเวฟเล็ต ซึ่งลายน้ำที่ใช้เป็นเลขฐานสอง และขนาดของภาพไบนารีจะต้องเท่ากับแบนด์ย่อยที่อยู่ในช่วง  $LH_2$  ที่มีขนาดเท่ากัน

จากทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้น ใช้ตัวกำหนดความคงทนของลายน้ำ ( $\alpha$ ) ค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดความสมดุลกันระหว่างความคงทนต่อการโจมตีทั้งในแบบการกรองแบบมัลติฐานสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน และการบีบอัดแบบ JPEG กับการไม่ปรากฏให้เห็นของลายน้ำในภาพต้นแบบ ถ้าค่า  $\alpha$  มีค่ามากจะทำให้สังเกตเห็นลายน้ำได้ชัดเจนมากขึ้นและมีความคงทนสูง แต่ถ้าค่า  $\alpha$  มีค่าน้อยจะทำให้การจำแนกภาพมีการผิดเพี้ยนน้อยลง แต่จะทำให้ลายน้ำขาดการคงทนต่อการโจมตีแบบต่างๆ

ข้อดีของงานวิจัยฉบับนี้ คือ ลายน้ำที่ใส่ลงไปนั้นสามารถตรวจหาได้ง่าย และสะดวก เพียงแค่ผู้ใช้รู้รหัสลับและรู้ขั้นตอนในการตรวจหาลายน้ำ โดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ

## 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

เทคนิคในการใส่ลายน้ำในภาพถ่ายดาวเทียมหลายแบนด์ความถี่ เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากเทคนิคการทำลายน้ำบนภาพสีเทา ซึ่งอัลกอริทึมที่ดีต้องคงทนต่อการ โจมตีทางดิจิทัลได้ดีกว่าลายน้ำที่สร้างบนโดเมนสเปกตรัม แต่ปัญหาที่พบคือ ค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมในการสร้างลายน้ำจะไม่สามารถกำหนดตายตัวได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของการทำงานเช่น ถ้าผู้ใช้ต้องการภาพถ่ายน้ำที่มีคุณภาพดีไม่ต้องการให้ลายน้ำไปรบกวนภาพมากเกินไป จำเป็นต้องลดค่า  $\alpha$  ลง แต่ผลเสียคือลายน้ำจะไม่ทนต่อการ โจมตี แต่ถ้าผู้ใช้ต้องการความคงทนในการถูก โจมตีก็จำเป็นต้องเพิ่มค่า  $\alpha$  ซึ่งจะส่งผลให้ภาพมีความผิดเพี้ยนจากภาพต้นแบบมากขึ้น เป็นต้น

นอกจากการแปลงแบบ PCA ใช้ในการหาส่วนประกอบสำคัญที่สุดของภาพก่อนทำการใส่ลายน้ำ ทำให้ความคงทนของลายน้ำในภาพลดลง เนื่องจากลายน้ำจะกระจัดกระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ของรูปภาพภายหลังจากการแปลง PCA ย้อนกลับ เมื่อภาพถูก โจมตีก่อนการแยกลายน้ำจะทำให้ค่าการแปลง PCA เกิดความผิดเพี้ยนไปได้ อาจทำให้ส่วนประกอบสำคัญที่สุดของภาพเสียหายจึงส่งผลให้ลายน้ำที่ได้เสียหาย

ในการวิจัยนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมจะมีลักษณะอ่อนไหวต่อการรบกวนในภาพมาก จึงจะต้องเลือกค่า  $\alpha$  ให้เหมาะสมในการใส่ลายน้ำ เพื่อไม่ทำให้ผลจากการจำแนกภาพ หรือพื้นที่จากภาพผิดเพี้ยนมากเกินไป ส่วนข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของลายน้ำประเภทนี้คือ การที่ไม่สามารถลบลายน้ำออกจากภาพที่ใส่ลายน้ำได้ เป็นเฉพาะในกรณีที่ลายน้ำเป็นตัวเลขลำดับแบบสุ่ม ซึ่งการใช้งานบางประเภทอาจไม่สามารถยอมรับผลเสียข้อนี้ได้ เช่นภาพถ่ายเอกซเรย์ของผู้ป่วย ซึ่งแพทย์ผู้รักษาจำเป็นต้องอ่านภาพที่มีความถูกต้อง 100% เพื่อวินิจฉัยโรคผู้ป่วยภาพทางการแพทย์ที่ต้องการความแม่นยำสูงเพื่อบอกพิกัดของศัตรู หรือการใช้งานอื่นๆ ที่ไม่สามารถยอมรับการเปลี่ยนแปลงของพิกเซลในภาพได้ แต่สำหรับลายน้ำที่เป็นภาพไบนารี จะสามารถลบภาพลายน้ำออกไปได้

แนวทางในการพัฒนาคือ สามารถพัฒนาอัลกอริทึมนี้ ไปใช้กับภาพเคลื่อนไหวหรือภาพวิดีโอ ส่วนการป้องกันข้อมูลให้มีความปลอดภัยมากขึ้นอาจใช้ร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัส (Cryptography) อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งถึงแม้ว่ารหัสจะถูกถอดออกได้ก็ยังมี การป้องกันข้อมูลจากขั้นตอนการใส่ลายน้ำดิจิทัลซ้อนอยู่อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการคัดลอกการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ยากมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] C. I. Podilchuk and E. J. Delp, "**Digital Watermark Algorithms and Applications,**" Proceeding of the IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 18, pp. 33-46, 2001.
- [2] W. N. Cheung, "**Digital Image Watermarking Using Multi-resolution Image Fusion,**" Proceeding of the TENCON, Vol. 3, pp. 374-378, 2000.
- [3] M. Barni, F. Bartolini, and G. Olmo, "**Near-lossless Digital Watermarking for Copyright Protection of Remote Sensing Images,**" Proceeding of the IGARSS, Vol. 3, pp. 1447-1449, 2002.
- [4] A. Kaarna and P. Toivanen, "**Digital Watermarking of Spectral Image in PCA/Wavelet Transform Domain,**" Proceeding of the IGARSS, Vol. 6, pp. 3564-3567, 2003.
- [5] A. Ho and A. Kot, "**Digital Image-in-Image Watermark for Copyright Protection of Satellite Images Using the Fast Hadamard Transform ,**" Proceeding of the IGARSS, Vol. 6, pp. 3311-3313, 2002.
- [6] J. J. Chae and B. S. Manjunath, "**A Robust Embedded Data from Wavelet Coefficients,**" Proceedings of the SPIE International Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases VI, San Jose, CA, Vol. 3312, pp. 308-317, 1998.
- [7] D. Kundur and D. Hatzinakos, "**A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion,**" Proceeding of the IEEE International Conference on Image Processing, Santa Barbara, CA, vol. 1, pp. 544-547, October 1997.
- [8] C. S. Burrur and R. A. Gopinath, **Introduction to Wavelet and Wavelet Transform.** New Jersey, Prentice-Hall, 1998.
- [9] I. Daubechies, "**Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets,**" Communication in Pure and Applied Mathematics, Vol. 41, pp 909-996, November 1988.
- [10] R. J. Anderson and F. Petitcolas, "**On the Limits of Stenography,**" IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 16, pp. 474-481, May 1998.
- [11] J. F. Kurose and K.W. Ross, **Computer Networking.** Addison Wesley Longman, 2000.

- [12] D. Kunder, **Multiresolution Digital Watermarking: Algorithms and Implications for Multimedia Signals.** Ph.D. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada, 1999.
- [13] F. A. Peticolas, "**Information Hiding – A Survey,**" Proceeding of the IEEE, Special issue on Protection of Multimedia Contents, Vol. 89, No.4, pp. 1062-1078, July 1999.
- [14] I. J. Cox and J. Killian, "**Secure Spread Spectrum Watermarking or Multimedia,**" IEEE Trans. Image Proc., Vol.6, No.12, pp. 1673-1687, 1997.
- [15] M. Kutter and F.A Petitcolas, "**A Fair Benchmark for Image Watermarking Systems,**" Proceeding of Electronic Imaging '99, Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol.3657, pp. 226-239, San Jose, California, U.S.A., January 1999.
- [16] F. Hartung, "**Spread Spectrum Watermarking: Malicious Attacks and Counter Attacks,**" Proceeding of SPI3657: Security and Watermarking of Multimedia contents, pp. 25-27, San Jose, CA, U.S.A., January 1999.
- [17] J. A. Richards, **Remote Sensing Digital Image Analysis : An Introduction.** Springer Verlag, 1994.

## ภาคผนวก ก.

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Y. Rangsanseri, J. Panyaveraporn and P. Thitimajshima, "**PCA/Wavelet Based Watermarking of Multispectral Images**," 2005 International Symposium on Remote Sensing, Korea, 12-14 Oct. 2005
2. J. Panyavaraporn and Y. Rangsanseri, "**Digital Image-in-Image Watermarking of Remote Sensing Images**," ACRS2005, Vietnam, 7-11 Nov. 2005.
3. Jantana Panyavaraporn and Yuttapong Rangsanseri, "**Image-in-Image Watermarking in PCA/Wavelet for Multispectral Image**," 2006 Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology, Ubon Ratchathani, Thailand, 10-13 May. 2006.

## PCA/WAVELET BASED WATERMARKING OF MULTISPECTRAL IMAGE

Y. RANGSANSERI, J. PANYAVARAPORN, P. THITIMAJSHIMA

Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
rangsanseri@yahoo.com, jippy26@hotmail.com, ktpunya@kmitl.ac.th

### ABSTRACT

In this paper, we propose a watermarking technique of multispectral images. In our method, the Principal Component Analysis (PCA) is preliminarily applied on the multispectral image. The most principal component image is used for embedding with a watermark, which is a pseudo-random number sequence generated with a secret key. The embedding process is performed in the wavelet domain. The resulting image is then reinserted into the principal component images, and the final multispectral image containing the watermark can be produced by the inverse PCA. Experimental results are provided to illustrate the performance of the algorithm against various kinds of attacks.

### 1. INTRODUCTION

The growth of new imaging technologies has created a need for techniques that can be used for copyright protection of digital images. Copyright protection involves the authentication of image content and/or ownership and can be used to identify illegal copies of a (possibly forged) image. One approach for copyright protection is to introduce an invisible signal known as a digital watermark in the image.

In order to be effective, an imperceptible watermark should meet the following requirements (Hsieh 2001):

*Invisibility:* Perceptual transparency. This concept is based on the properties of the human visual system or the human audio system.

*Security:* The embedded information cannot be removed beyond reliable detection by targeted attacks based on a full knowledge of the embedding algorithm and the detector (except a secret key), and the knowledge of at least one carrier with hidden message.

*Robustness:* The ability to extract hidden information after common image processing operations: linear and nonlinear filters, lossy compression, contrast adjustment, recoloring, resampling, scaling, etc.

*Undetectability:* Impossibility to prove the presence of a hidden message. This concept is inherently tied to the statistical model of the carrier image. The ability to detect the presence does not automatically imply the ability to read the hidden message. Undetectability should not be mistaken for invisibility, a concept related to human perception.

The digital image watermarking techniques can be classified into two categories, first techniques is in spatial domain watermark embedded by directly modifying the pixels values, the other techniques is in the frequency

domain watermark embedded in the transform space (e.g. DCT, FFT or wavelet transform) by modifying coefficients. These two techniques have different advantages because most the signal processing operations can be well characterized in the frequency domain and several good perceptual models are developed in the frequency domain. The technique proposed in this paper is also based on frequency domain.

In this paper, we propose a new technique in frequency domain for embedded watermark base on wavelet domain (Tay 2002, Wang 2000, Wei 1998, Xie 2004) that does not require the original image for the watermark detection. Watermark is inserted into all high frequency subbands. Furthermore, we discuss the threshold value used to determine whether the watermark is present or not. Finally, we will investigate the limitations of the watermarking techniques and discuss further research issues.

### 2. THE PROPOSED ALGORITHM

In our experiment, the watermark was embedded in the most principal component image resulted from PCA. Inverse PCA will reconstruct the multispectral image which already had the watermark. The watermark is supposed to be a pseudo-random number (PN). The watermarking process consists of three main steps: PCA process, watermark embedding and watermark detecting, to be described as follows.

#### 2.1 Watermarking in PCA image

Fig. 1 shows a block diagram of the watermark insertion process. First, the multispectral image is brought to the PCA process as  $N$  dimensional vectors being  $N$  the number of spectral bands. Let  $X$  be the vector containing the  $N$  components for a given pixel and  $U$  the mean vector  $U = E[X]$ . The covariance matrix  $C_x$  is defined as

$$C_x = E[(X - U)(X - U)'] \quad (1)$$

The PCA (or  $T$ ) is defined as the one that diagonalizes  $C_x$  in the following way:

$$C_y = TC_x T' = \Lambda \quad (2)$$

Being  $C_y$  the covariance of the transformed vector ( $Y$ ) and  $\Lambda$  the diagonal matrix representing eigenvalues.  $Y$  can then be obtained by:

$$Y = T(X - U) \quad (3)$$

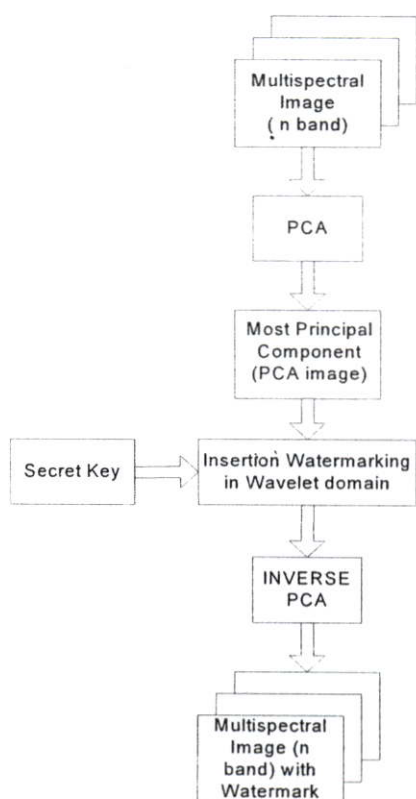


Fig. 1 Watermark insertion process

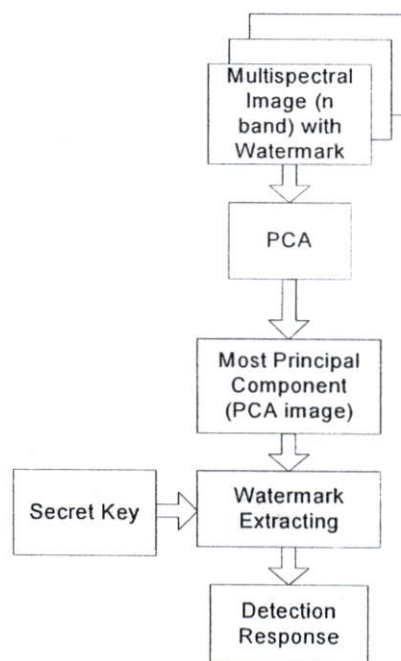


Fig. 2 Watermark detection process

Since the transformation optimally diagonalizes the co-variance matrix between spectral bands, the spectral correlation of the transformed components is removed. The images in the transformed domain are sorted in order of importance or with decreasing variance (Value of the eigenvalues). This energy compaction in the spectral axis is quite suitable for selection to insert the watermark.

Fig. 2 shows the block diagram of the watermark detection process. Before extracting the watermark the image will transform by PCA process to get most principal component as described.

## 2.2 Watermark Insertion

Fig. 3 shows a block diagram of the watermark insertion. We decompose an original image  $I$  until the scale  $N$  and obtain multiresolution representation (MRR)  $LH_n, HL_n, HH_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) and the multiresolution approximation (MRA)  $LL_N$ .

To find the perceptually significant wavelet coefficients for each subband, the threshold value is calculated according to the decomposition level. For example in the three-level decomposition, the largest coefficient  $C_i$  for the first-level subbands ( $LH_1, HL_1, HH_1$ ) is selected and the threshold  $T_1$  is calculated by (4) and  $T_2$  for the subsequent levels are respectively calculated using the same procedure.

$$T_i = 2^{\lfloor \log_2 C_i \rfloor - 1} \quad (4)$$

where  $i$  is the decomposition level and  $X$  represents the largest integer which is no greater than  $X$ . The watermark is embedded only to the selected coefficients.

The watermark ( $X$ ) is generated by the pseudo random sequence whose probability law has a normal distribution of zero mean and unit variance. The watermark is then inserted into the image by:

$$V'_i = V_i + \alpha |V_i| x_i \quad (5)$$

where we runs over all DWT coefficients  $> T_i$ .  $V_i$  and  $V'_i$  denote respectively the DWT coefficient of the original image, the watermarked image and  $\alpha$  is a scaling parameter. Finally, we reconstruct the watermarked image  $I'$  using the inverse DWT.

## 2.3 Watermark Detection

The watermark detection process is shown in Fig. 4. It is composed of DWT of watermarked image. We choose all the high-pass coefficients with amplitude greater than  $T_2$ , and correlate them with the original copy of the watermark.

The similarity between the DWT coefficients of the corrupted watermarked image and a possibly different watermark ( $Y$ ) can be measured by the correlation ( $z$ ):

$$z = \frac{1}{M} \sum_i |\hat{v}_i| y_i \quad (6)$$

If the similarity value is greater than a threshold value  $S_z$  in (7), it is possible to determine whether a given watermark is present.

$$S_z = \frac{\alpha}{2M} \sum_i |\hat{v}_i| \quad (7)$$

where  $M$  is the number of coefficients where the watermark is inserted.

### 3. EXPERIMENTAL RESULTS

A 3-band LANDSAT image, size of 256x256 pixels, was used for the experiments. Fig. 5(a) shows the color-

composite of the original multispectral image and Fig. 5(b) shows the watermarked image with parameter  $\alpha=0.5$  and key=100. The wavelet filter used is 3-tap Daubechies. Fig. 5(c) shows the response of the watermark detector using the key scanned from 1 to 1000. The dotted line shows the threshold  $S_z$ . We find that the positive response to the correct watermark is much stronger than the response to incorrect watermarks.

The robustness capability is very critical for watermarking. We tested the robustness with some attacks such as median filter, Gaussian noise and JPEG compression. Figs. 6 and 7 shows the results of watermark detection after smoothing with a 3x3 median filter and JPEG compression with quality factors of 50%. The robustness against Gaussian noise is illustrated in Fig. 8. We can see that in all cases the detector responses are still well above the threshold.

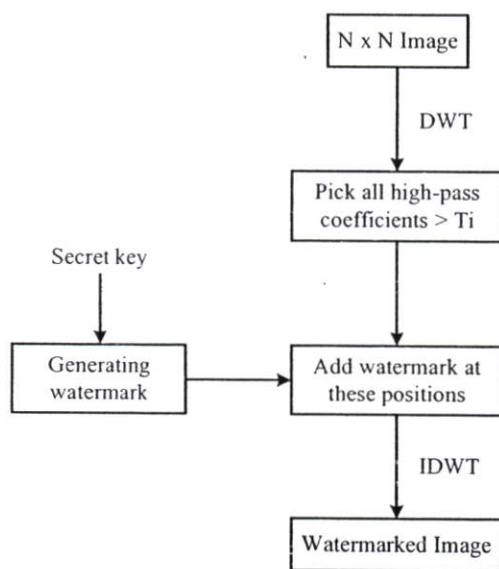


Fig. 3 Watermark insertion process in wavelet domain

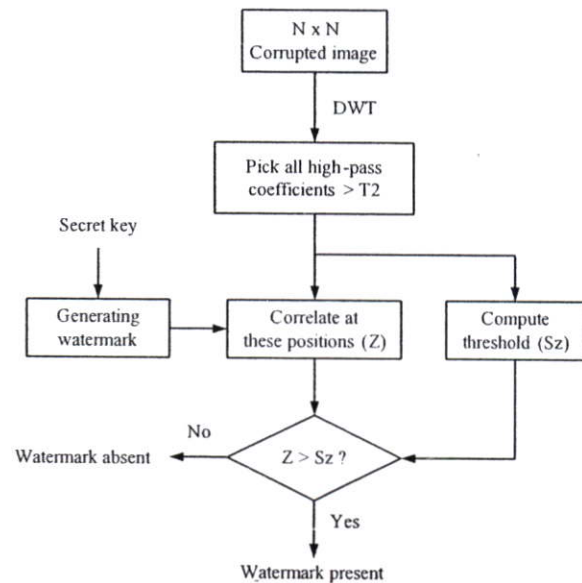


Fig. 4 Watermark detection process in wavelet domain

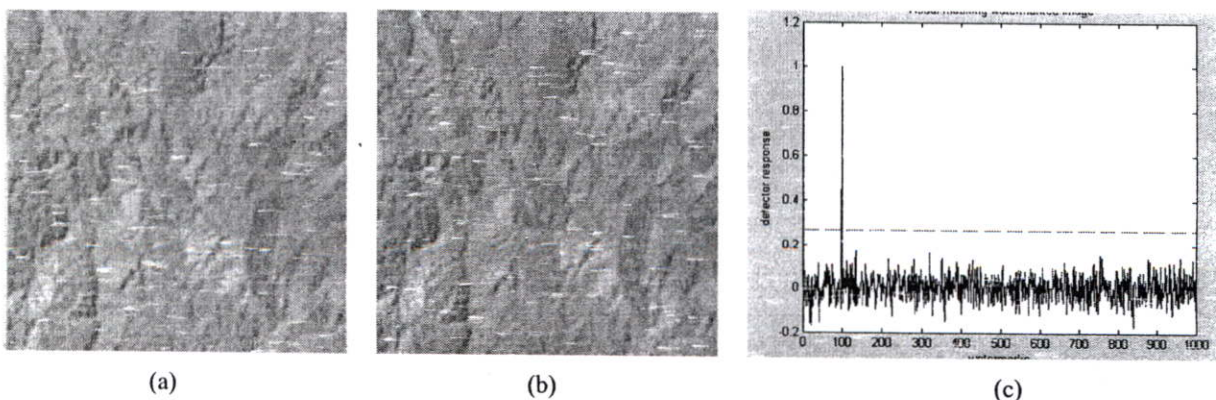


Fig. 5 Comparison between original image (a) and watermarked image (b) and the corresponding detector response (c)

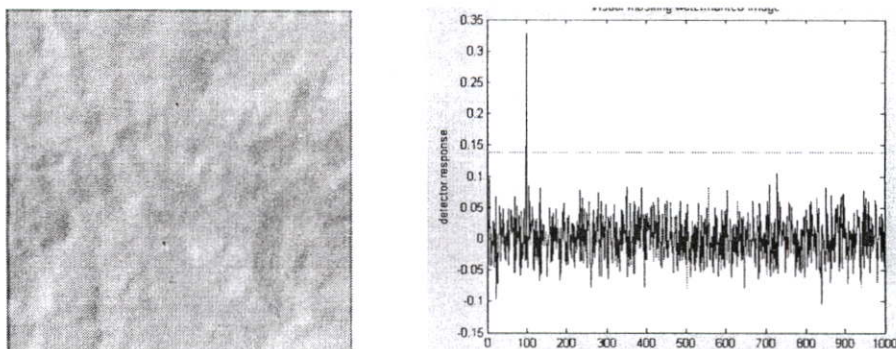


Fig. 6 Watermarked image after smoothing (*left*) and the corresponding detector response (*right*)

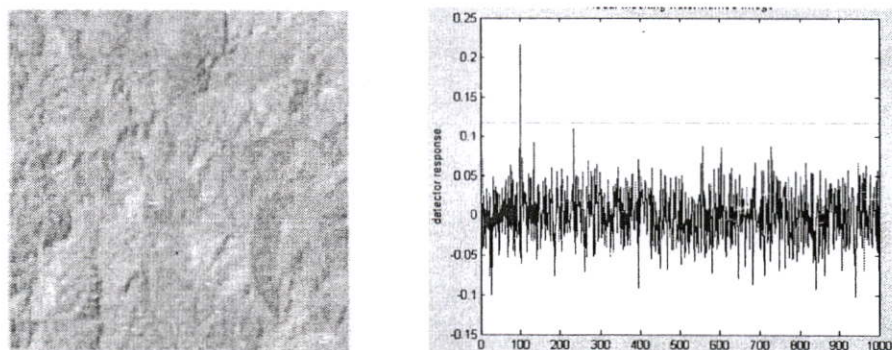


Fig. 7 JPEG image with quality at 50% (*left*) and the corresponding detector response (*right*)

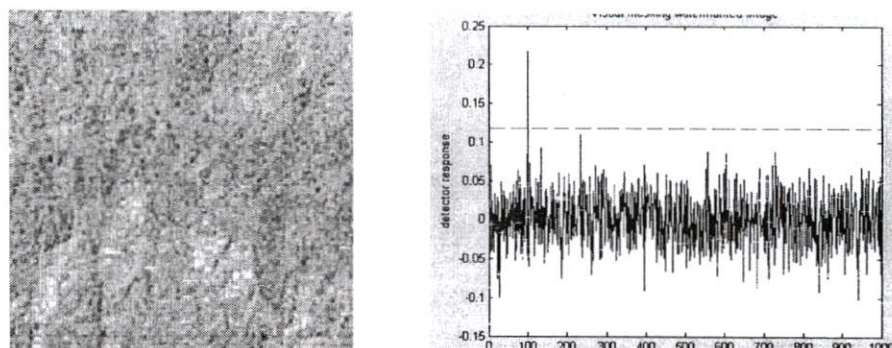


Fig. 8 Watermarked image disturbed by Gaussian noise (*left*) and the corresponding detector response (*right*)

#### 4. CONCLUSIONS

In this paper, we have presented a digital watermarking technique of multispectral images. The proposed method is achieved by applying a wavelet-based watermarking technique on the most principal component image resulted by PCA. The robustness against various attacks such as smooth with 3x3 median filter, JPEG compression and Gaussian noise are also presented.

#### REFERENCES

- M.S. Hsieh, D.C. Tscng and Y.H. Huang, 2001, Hiding digital watermarks using multiresolution wavelet transform, *IEEE Trans. Ind. Electronics*, 48(5):875–882.
- R. Tay and J.P. Havlicek, 2002, Image watermarking using wavelets, *45th Midwest Symp. Circuits and Systems*, 3:258-261.
- Y.P. Wang, M.J. Chen and P.Y. Cheng, 2000, Robust image watermark with wavelet transform and spread spectrum techniques, *34th Asilomar Conf. Systems and Computers*, 2:1846–1850.
- Z.H. Wei, P.Q. In and Y.Q. Fu, 1998, Perceptual digital watermark of images using wavelet transform, *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 44(4):1267–1272.
- G. Xie and H. Shen, 2004, Robust wavelet-based blind image watermarking against geometrical attacks, *IEEE Intl. Conf. Multimedia and Expo*, 3:2051–2054.

# Digital Image-in-Image Watermarking of Remote Sensing Images

Jantana Panyavaraporn

Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
jippy26@hotmail.com

Yuttapong Rangsanseri

Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
rangsanseri@yahoo.com

**Abstract:** In this paper, we present a watermarking technique for hiding an entire image or pattern as a watermark into remote-sensing images. In our technique, the Karhunen Loève Transform (KLT) is preliminarily applied on the multispectral image. The most principal component image is used for embedding with a watermark. The embedding process is performed in a middle-frequency subband resulted by a two-dimension wavelet transform. Finally, the multispectral image containing the watermark is obtained by the inverse KLT. Experimental results on LANDSAT images showed that the proposed watermarking technique is robust to various kinds of attacks.

**Keywords:** Karhunen Loève Transform, Wavelet, Watermarking, Remote Sensing, Multispectral Image

## 1. Introduction

The significance of image watermarking is increasing as the digital communication becomes more dominating. Through watermarking the owner of the image can authenticate the authorized use of the image [1]. In steganography, the purpose is to include the actual message as a watermark into the information carrying image [2].

In this study we consider the watermarking of remote-sensing images. In multispectral mode, the images contain multifold bands compared to the three bands in RGB-color images. Watermarking color images has been largely studied [3] [4]. Most promising methods include watermarking in transform domain [4] [5], but the watermark can be inserted also in the original spatial domain [6]. Also multispectral and satellite images have been considered for watermarking [7] [8] [9].

In [7], both the bandwise discrete Fourier transform and the bandwise discrete wavelet transform was applied in embedding the watermark. The invisibility constraint was satisfied by the near-lossless paradigm. The method is valid according to the experiments in clipping and classification. In [8], the grayscale watermark was embedded in the transform domain of the multispectral image. The Karhunen Loève Transform (KLT) provided the eigenimages and the watermark was embedded in one of the eigenimages. The reconstruction spreads the watermark into the whole spectral image according to the KLT.

## 2. The Proposed Method

In our research, a binary image such as a company's logo is considered as the watermark. The watermarking is performed on the most principal component image resulted by applying the KLT on the multispectral image. The image is decomposed by a multistage wavelet transform, and a middle-frequency subband is modified according to the content of the watermark. This method does not require the original image to recover the embedded signature.

The watermarking consists of three main steps: KLT process, watermark embedding and watermark detecting. We will describe the processes as follows.

### 1) Watermarking via KLT

Fig.1 shows the block diagram of the watermark embedding process. First, the multispectral image is brought to the KLT process as  $n$ -dimension vectors being  $n$  the number of spectral bands. Let  $\mathbf{X}$  be the vector containing the  $n$  components for a given pixel and  $\mathbf{U}$  the mean vector  $\mathbf{U}=\mathbf{E}[\mathbf{X}]$ . The covariance matrix  $\mathbf{C}_x$  is defined as:

$$\mathbf{C}_x = \mathbf{E}[(\mathbf{X}-\mathbf{U})(\mathbf{X}-\mathbf{U})^t] \quad (1)$$

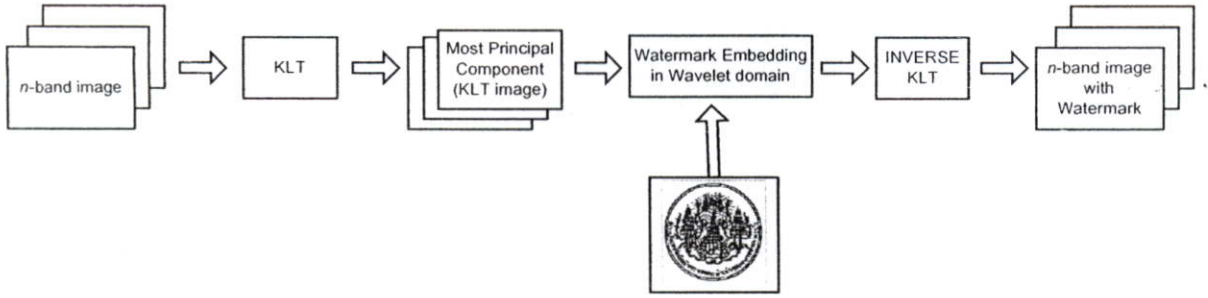


Fig. 1 Watermark Embedding process

The KLT ( $\mathbf{T}$ ) is defined as the one that diagonalizes  $\mathbf{C}_x$  in the following way:

$$\mathbf{C}_y = \mathbf{T}\mathbf{C}_x\mathbf{T}^t = \mathbf{\Lambda} \quad (2)$$

Being  $\mathbf{C}_y$  the covariance of the transformed vector ( $\mathbf{Y}$ ) and  $\mathbf{\Lambda}$  the diagonal matrix representing eigenvalues.  $\mathbf{Y}$  can then be obtained by the equation:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{T}(\mathbf{X} - \mathbf{U}) \quad (3)$$

Since the transformation optimally diagonalizes the co-variance matrix between spectral bands, the spectral correlation of the transformed components is removed. The images in the transformed domain are sorted in order of importance or with decreasing variance. This energy compaction in the spectral axis is quite suitable for selection to insert the watermark.

Fig. 2 shows the block diagram of the watermark extracting process. Before extracting the watermarked image will transform by KLT process to get most principal component as described.

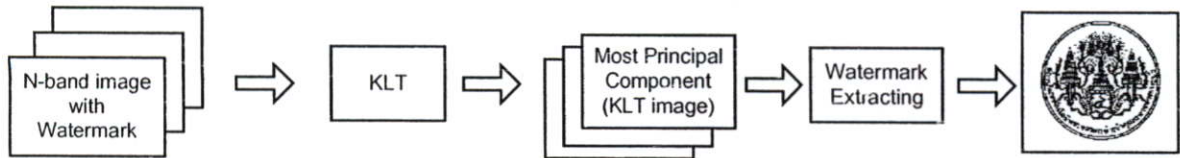


Fig.2 Watermark extracting process

## 2) Watermark Embedding

Fig. 3 shows the block diagram of the watermark embedding. First, the binary signature image is produced as a bit sequence of watermark  $\mathbf{S}$ . The data pixels are valued as 1 and the background pixels are valued as -1,

$$\mathbf{S} = \{s_i, 1 \leq i \leq M\}, s_i \in \{-1, 1\} \quad (4)$$

where  $M$  is the total number of pixel in the signature image ( $M$  is equal to  $1/16 N \times N$ )

The pseudo-random sequence  $\mathbf{P}$  which each number can take a value either 1 or -1 is equi-probably generated with a secret key for embedding and extracting of the watermark.

$$\mathbf{P} = \{p_i, 1 \leq i \leq M\}, p_i \in \{-1, 1\} \quad (5)$$

The two-level DWT of  $N \times N$  image ( $\mathbf{I}$ ) is computed. A binary signature is embedded only in  $LH_2$  subband.  $\mathbf{T} = \{t_i, 1 \leq i \leq M\}$  The watermark is embedded into the vector  $\mathbf{T}$ , to obtain a new vector  $\mathbf{T}' = \{t'_i, 1 \leq i \leq M\}$  according to the following rule:

$$t'_i = t_i + \alpha p_i \cdot s_i, i = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

where  $\alpha$  is a magnitude factor which is a constant determining the signature strength. The value is selected to offer a trade-off between robustness and unobtrusiveness. The inverse DWT is then performed to obtain the watermarked image  $\mathbf{I}'$ .

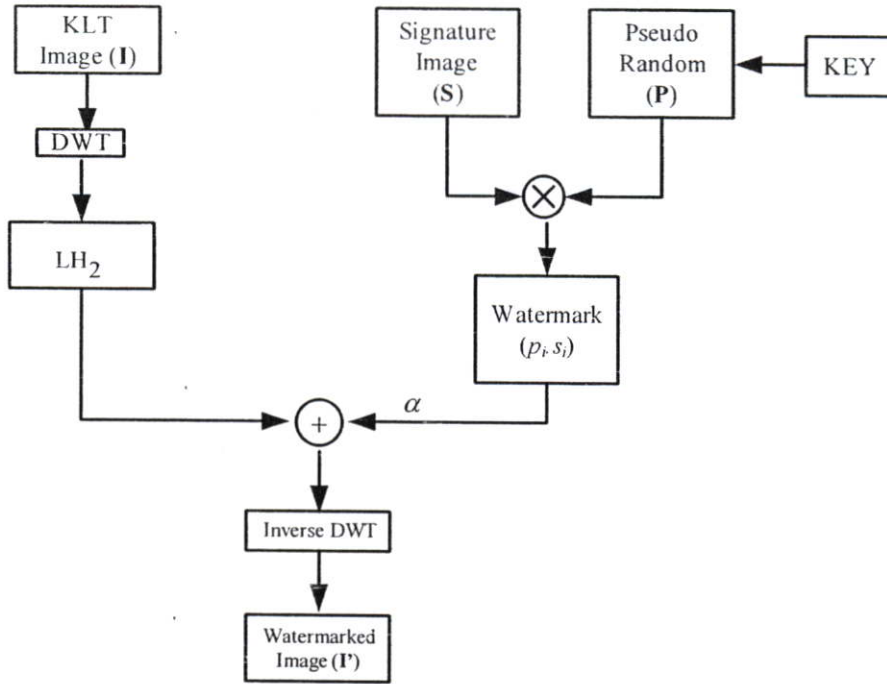


Fig. 3 Watermark embedding process in wavelet domain

### 3) Watermark Extracting

Fig. 4 shows the block diagram of the watermark extracting process. The watermark extracting can be performed without knowledge of the original image. Instead, a prediction of the original value of the pixels is needed. The watermarked image may be considered to be the original image that is perturbed by the pseudorandom noise. Thus, a prediction of the original value of the pixels is to use noise-elimination technique. In this paper we use a  $5 \times 5$  mask and all elements are equal to  $1/25$ . The predicted image  $\hat{\mathbf{I}}$  can be obtained by smoothing the input image  $\mathbf{I}^*$  with a spatial convolution mask. The prediction of the original value can be defined as:

$$\hat{i}_k = \frac{1}{c \times c} \sum_k^{c \times c} i_k^* \quad (7)$$

where  $c$  is the size of the convolution mask. The watermarked image and the predicted image are DWT transformed independently, and of each the  $LH_2$  subband is selected to generate a vector  $\mathbf{T}^*$  and  $\hat{\mathbf{T}}$  respectively.

From Eq. (6), the estimate of the watermark  $\hat{S}$  is indicated by the difference between  $\mathbf{T}^*$  and  $\hat{\mathbf{T}}$  the equation can be represented as:

$$\delta = t_i^* - \hat{t}_i = \alpha p_i \cdot \hat{s}_i \quad (8)$$

Therefore, the sign of the difference between the predicted and the actual value is the value of the embedded bit:

$$\text{sgn}(\delta_i) = p_i \cdot \hat{s}_i \quad (9)$$

The watermark can then be estimated by multiplying pseudo-random number to the embedded bit. If a wrong pseudo-random sequence is used, the scheme does not work.

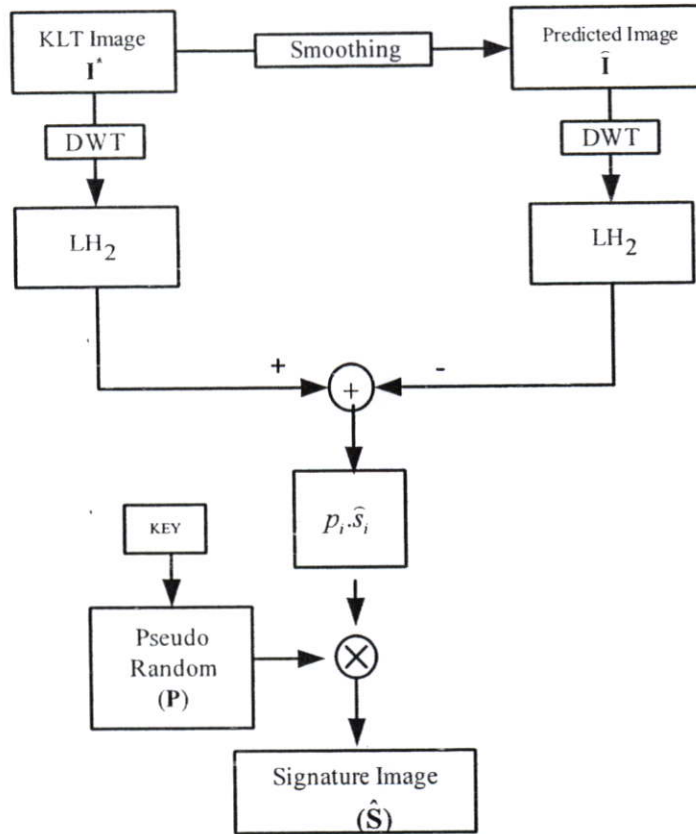


Fig. 4 Watermark extracting process in wavelet domain

### 3. Performance Evaluation

To evaluate the performance of the proposed algorithm, a similarity measurement between the original signature  $S$  and the extracted signature  $S'$  is computed by using the normalized correlation:

$$\text{Normalized Correlation (NC)} = \frac{\sum_{i=1}^M S_i S'_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^M S_i^2 \sum_{i=1}^M S_i'^2}} \quad (10)$$

Also, the quality of the watermarked image, compared to the original image, is measured based on the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) which is defined by:

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \log \left( \frac{255^2}{\text{MSE}} \right) \quad (11)$$

where

$$MSE = \frac{1}{n \times N \times N} \sum_{b=1}^n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\mathbf{X}(b,i,j) - \mathbf{Y}(b,i,j)]^2 \quad (12)$$

is the mean square error between the original image ( $\mathbf{X}$ ) and the watermarked result ( $\mathbf{Y}$ ) where  $(i, j)$  denotes the specific pixel value.

#### 4. Experimental Results

A 3-band LANDSAT image, size of 512x512 pixels, was used for the experiments. The watermark is taken from the logo of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) which is a binary image of size 128x128 pixels. Fig. 5(a) shows the color-composite of the original multispectral image along with the KMITL's logo. The watermarking is tested with the following parameters: the magnitude factor is 35, the key is 500. The result of the watermarked image and the extracted watermark are shown in Fig. 5(b). The PSNR of the resulted image is equal to 41.42 dB.

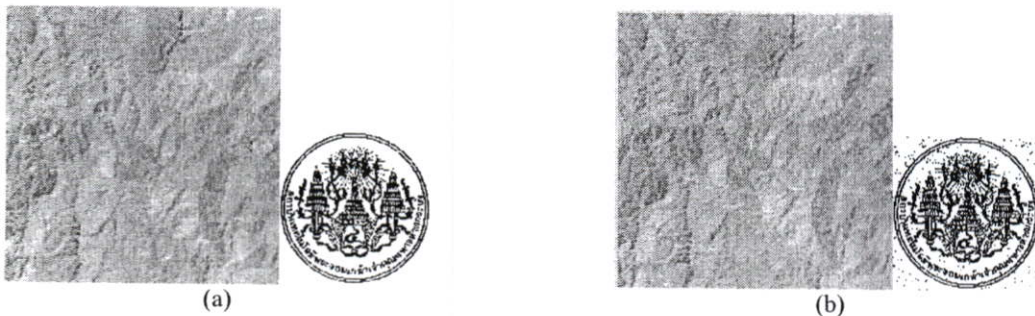


Fig. 5 (a) Original image and the signature image. (b) Watermarked and extracted watermark images. (PSNR = 41.42 dB, NC = 0.9503)

The robustness capability is very critical for watermarking. We tested the robustness of watermarking with some attacks such as median filter, Gaussian noise and JPEG compression. Fig. 6 and 7 shows the results of watermark detection after smoothing with 3x3 median filters and JPEG compression with quality factor 80%. The robustness against Gaussian noise is illustrated in Fig. 8.

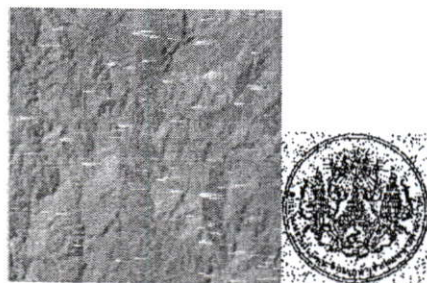


Fig. 6 Watermarked image smoothed with a 3x3 median filter and the extracted watermark images (PSNR = 36.69 dB, NC = 0.7850)

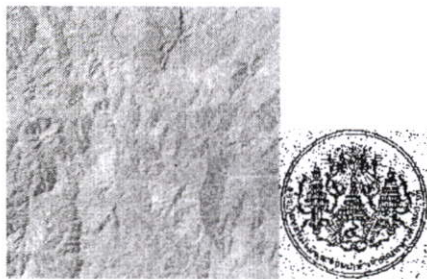


Fig. 7 Watermarked image JPEG compression with quality 80% and the extracted watermark images.  
(PSNR = 35.57 dB, NC = 0.8454)



Fig. 8 Watermarked image with Gaussian noise ( $mean = 0, \sigma = 0.01$ ) and the extracted watermark images.  
(PSNR = 26.40 dB, NC = 0.7481)

## 5. Conclusion

In this paper, we have presented a digital watermarking technique where a binary image can be used as a watermark. The proposed method is achieved by applying a wavelet-based watermarking technique on the most principal component image resulted by the KLT. The robustness against various attacks such as smoothing with 3x3 median filter, JPEG compression, and Gaussian noise are also presented. In all cases, the watermark can be detected with an acceptable visual quality.

## References

- [1] Podilchuk, C.I. and E.J. Delp, 2001. Digital Watermarking Algorithms and Applications, *Proc. IEEE Signal Processing Magazine*, 18(4): 33-46.
- [2] Artz, D., 2001. Digital Steganography, Hiding Data within Data, *Proc. IEEE Internet Computing*, 5(3): 75-80.
- [3] Wolfgang, R.B., C.I. Podilchuk and E.J. Delp, 1999. Perceptual Watermarks for Digital Images and Video, *Proc. IEEE*, 87(7): 1108-1126.
- [4] Kundur, D. and D. Hatzinakos, 2004. Toward Robust Logo Watermarking using Multiresolution Image Fusion, *IEEE Trans. Multimedia*, 6(1): 185-198.
- [5] Hsieh, M.-S., D.-C. Tseng and Y.-H. Huang, 2001. Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 48(5): 875-882.
- [6] Cheung, W.N., 2000. Digital Image Watermarking in Spatial and Transform Domains, *Proc. TENCON*, 3: 374-378.
- [7] Barni, M., F. Bartolini, V. Capellini, E. Magli and G. Olmo, 2002. Near-lossless Digital Watermarking for Copyright Protection of Remote Sensing Images, *Proc. IGARSS*, 3: 1447-1449.
- [8] Kaarna, A. and P. Toivanen, 2003. Digital Watermarking of Spectral Images in PCA/Wavelet Transform Domain, *Proc. IGARSS*, 6: 3564-3567.
- [9] Ho, A., J. Shen, S. Hie Tan and A. Kot, 2002. Digital Image-in-Image Watermarking for Copyright Protection of Satellite Images Using the Fast Hadamard Transform, *Proc. IGARSS*, 6: 3311-3313.

# Image-in-Image Watermarking in PCA/Wavelet for Multispectral Image

Jantana Panyavaraporn and Yuttapong Rangsaneri

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
e-mail:jippy26@hotmail.com, rangsaneri@yahoo.com

## ABSTRACT

Watermarking is widely being explored as a means of providing protection of ownership right for multimedia data, there has been increasing interest in applying digital watermarking to multispectral image, and a new technique for watermarking that does not require the original image to recover the embedded signature. In our method, the Principal Component Analysis (PCA) is preliminarily applied to the multispectral image. The most principal component image is used for embedding with a watermark. The visual, gray-scale watermark is embedded in a middle-frequency subband resulted by a two-dimension wavelet. Finally, the multispectral image containing the watermark is obtained by the inverse PCA. The experiments indicated that the watermark is robust against attacks.

**Keywords:** Watermark, Principal Component Analysis, Wavelet, Multispectral image

## 1. INTRODUCTION

With the advent of the internet, the online purchasing and distribution of multispectral images can be performed relatively easily. Over the past few years, the technology of digital watermarking has emerged as a leading candidate that could solve the problems of legal ownership and content authentications for digital multimedia data [1].

Digital watermarking makes it possible to identify the source, author, creator, owner, distributor or authorized consumer of a digital dataset by means of an identification code or image that is injected into the data. The watermark is permanently embedded into digital data for protecting copyright and determining if the data have been corrupted. The digital watermarking has two specific advantages [2]:

- Security: the locations where the watermark is embedded and how much modifications that are carried out in order to embed the mark are secret to anybody who does not know secret key.
- Robustness: the embedded watermark is resistant against any processing and attack that do not seriously affect the quality and value of digital data.

The digital image watermarking techniques can be classified into two categories, *i.e.*, spatial domain

watermark embedded by directly modifying the pixels values and the frequency domain watermark embedded in the transform space by modifying frequency coefficients. The technique proposed in this paper is therefore based on frequency domain.

Multispectral images are images of the same object (Earth or planetary surface), taken in different bands of visible or infrared region of electromagnetic continuum. This is the main type of images acquired by Remote sensing (RS) radiometers.

Before embedding the watermark into the multispectral image, we reduced the dimension of the image to only one which contains most significant information. The rapid and powerful technique capable of this dimension reduction is the Principal Component Analysis (PCA) [3]. The watermark was embedded only within the most principal component domain of the multispectral image. The watermarked image was subsequently reconstructed using the inverse PCA to recover its original dimension.

In this paper, we propose a new technique in the frequency domain for embedded watermark based on the wavelet transform [4-5]. The gray-scale watermark was transformed and then embedded within middle-frequency subband. The reconstruction spreads the watermark over the whole multispectral image according to the PCA.

## 2. THE PROPOSED METHOD

In our research, the watermark is a gray-scale image. The watermarking is performed on the most principal component image resulted by applying the PCA on the multispectral image. The image is decomposed by a multistage wavelet transform, and a middle-frequency subband is modified according to the content of the watermark.

The proposed method consists of three main steps: PCA processing, watermark embedding and watermark extracting, which are described as follows.

### 2.1 Watermark via PCA

*Fig.1* shows the block diagram of the watermark embedding process. First, the multispectral image is brought to the PCA stage as  $n$ -dimension vectors where  $n$  the number of spectral bands. Let  $X$  be the vector containing the  $n$  components of a given pixel and  $U$  their mean vector  $U=E[X]$ . The covariance matrix  $C_x$  is

defined as:

$$C_x = E[(X-U)(X-U)^T] \quad (1)$$

The PCA (or  $T$ ) is defined as the one that diagonalizes  $C_x$  as:

$$C_y = TC_x T^T = A \quad (2)$$

where  $C_y$  the covariance of the transformed vector ( $Y$ ) and  $A$  the diagonal matrix representing eigenvalues.  $Y$  can then be obtained by the equation:

$$Y = T(X-U) \quad (3)$$

Since the transformation optimally diagonalizes the co-variance matrix between spectral bands, the spectral correlation of the transformed components is removed. The images in the transformed domain are sorted in order to importance or with decreasing variance. This energy compaction in the spectral axis is therefore suitable for selection to insert the watermark.

Fig.2 shows the block diagram of the watermark extracting process. Before extracting the watermarked image was transformed by the PCA to get the most principal component as described above.

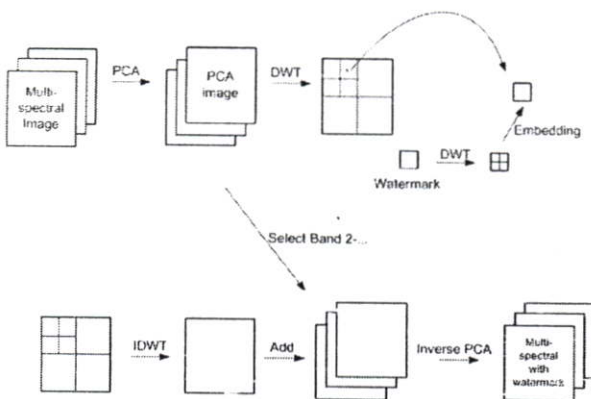


Fig.1: Watermark embedding process.

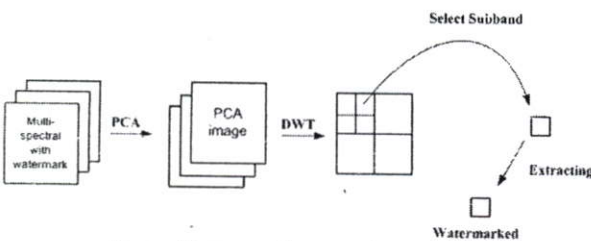


Fig.2: Watermark extracting process.

## 2.2 Watermark Embedding

In this study one-band gray-scale image is used as a watermark. The embedding procedure can be described as follows:

- 1) Compute a wavelet transform  $W_{wt}$  of the watermark  $W$ . In our experiment, only one level was used.

- 2) Compute a wavelet transform  $I_{wt}$  of the RCA image  $I$ . The number of levels is matched with the size of the watermark. At the highest level the spatial size of the transformed block is equal to the size of the watermark.
- 3) Add the transformed values of the watermark  $W_{wt}$  to transformed values of PCA image  $I$ . A watermark is embedded only in  $LH_2$  subband according to the following rule:

$$I_{wt,wm} = I_{wt} + \alpha \cdot p_i \cdot W_{wt} \quad (4)$$

Magnitude factor  $\alpha$  is a constant determining the strength of the watermark which was so empirically selected as to offer a trade-off between robustness and unobtrusive.

- 4) The inverse wavelet transform is then performed to obtain the watermarked image  $I'_{wm}$ .

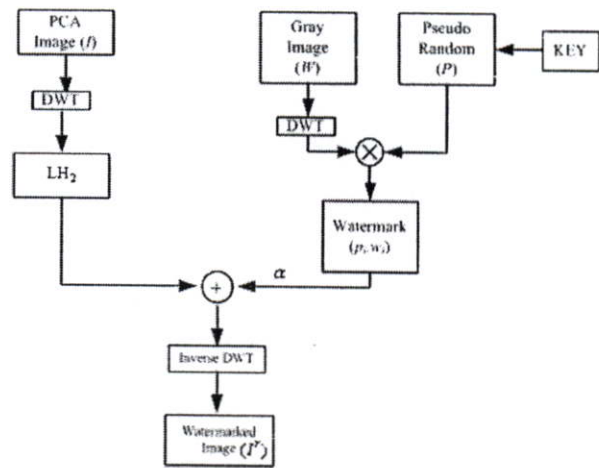


Fig.3: Watermark embedding process in wavelet domain.

## 2.3 Watermark Extracting

Fig.4 shows the block diagram of the watermark extracting process. The watermark extracting can be performed without knowledge of the original image. Instead, a prediction of the original value of the pixels is needed. The watermarked image may be considered to be the original image that is perturbed by the pseudorandom noise. Thus, a prediction of the original value of the pixels is to use noise-elimination technique. In this paper we use a  $5 \times 5$  mask and all elements are equal to  $1/25$ . The predicted image  $\hat{I}$  can be obtained by smoothing the input image  $I'$  with a spatial convolution mask. The prediction of the original value can be defined as:

$$\hat{i}_k = \frac{1}{c \times c} \sum_k i'_k \quad (5)$$

where  $c$  is the size of the convolution mask.

From Eq.4, the estimate of the watermark  $\hat{W}$  is indicated by the difference between  $I'$  and  $\hat{I}$ , the equation can be represented as:

$$\delta = I_i^r - \hat{I}_i = \alpha \cdot \hat{p}_i \cdot \hat{w}_i \quad (6)$$

The watermark can then be estimated by multiplying a pseudo-random sequence to the embedded bit. If a wrong sequence is used, the scheme does not work.

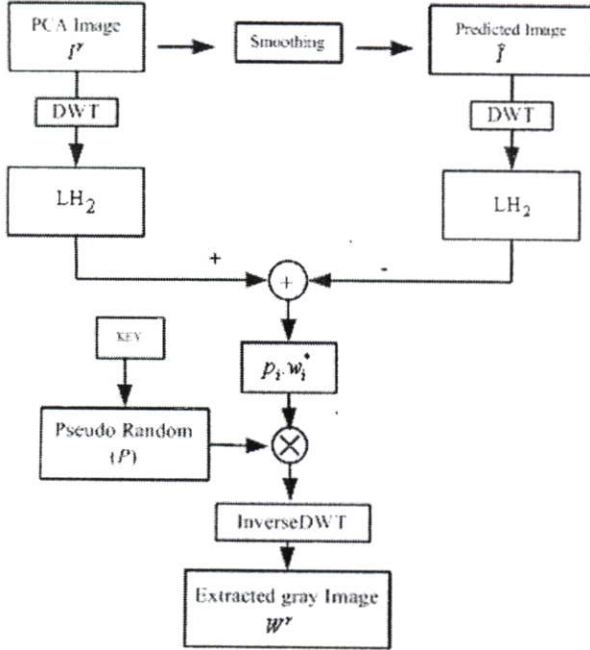


Fig.4: Watermark extracting process in wavelet domain

### 3. PERFORMANCE EVALUATION

To evaluate the performance of the proposed algorithm, a similarity measurement between the watermark image  $W$  and extracted watermark image  $W^r$  was computed by using the normalized correlation:

$$\text{Normalized Correlation (NC)} = \frac{\sum_{i=1}^M W W^r}{\sum_{i=1}^M W} \quad (7)$$

In addition, the relative quality of the watermarked image, compared to the original image, is measured based on the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) which is defined by:

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \log \left( \frac{255^2}{\text{MSE}} \right) \quad (8)$$

where  $\text{MSE}$  is the mean square error between the original image  $I$  and the watermarked result  $I^r$ :

$$\text{MSE} = \frac{I}{n \times N \times N} \sum_{b=1}^n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [I(b, i, j) - I^r(b, i, j)]^2 \quad (9)$$

and  $(i, j)$  denotes the specific pixel value.

### 4. EXPERIMENT RESULTS

The experiments had two purposes. Both the embedding/extracting procedure, and then the robustness of the watermarking against compression were studied.

Initially, a 3-band LANDSAT image [6], size of 512x512 pixels, was used in the experiments. The watermark was taken from the gray-scale image of size 128x128 pixels. Fig.5(a) shows the color-composite of the original multispectral image along with gray-scale image. The watermarking was tested with the following parameters: magnitude factor was 0.40 (see Table 1), the key was 500. The result of the extracted watermark is show in Fig 5(b). The PSNR of the resultant image equal to 34.99 dB

Table 1: PSNR and NC with various magnitude factor.

Magnitude factor	PSNR (dB)	NC
0.10	42.42	0.937731
0.15	39.87	0.971794
0.20	38.37	0.984887
0.25	37.29	0.990667
0.30	36.40	0.993475
0.35	35.66	0.995022
0.40	34.99	0.995829
0.45	34.40	0.995838
0.50	33.86	0.992421
0.55	33.38	0.983896
0.60	32.93	0.971054
0.65	32.48	0.955175

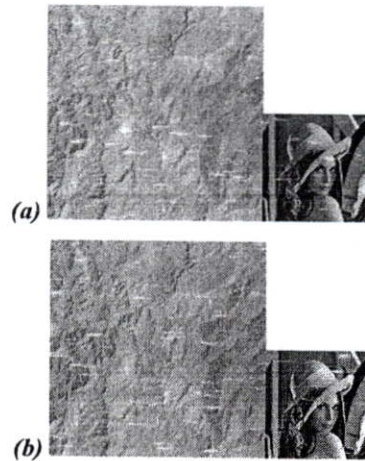


Fig.5: Watermarking Result (a) Original LANDSAT image and gray-scale watermark. (b): Watermarked image and extracted watermark.

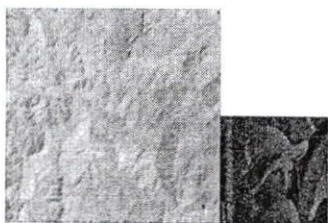


Fig.6: Watermarked image smoothed with 3x3 median filter and extracted watermark. (PSNR=36.34 dB, NC=0.728618)

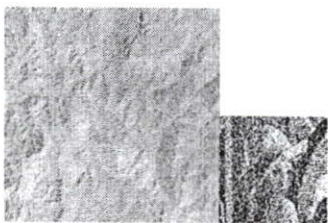


Fig.7: Watermarked image with Gaussian noise (mean = 0,  $\sigma = 0.01$ ) and extracted watermark. (PSNR=26.36 dB, NC=0.623405)



Fig.8: Watermarked image JPEG compression with quality 80% and extracted watermark. (PSNR=34.50 dB, NC=0.872282)

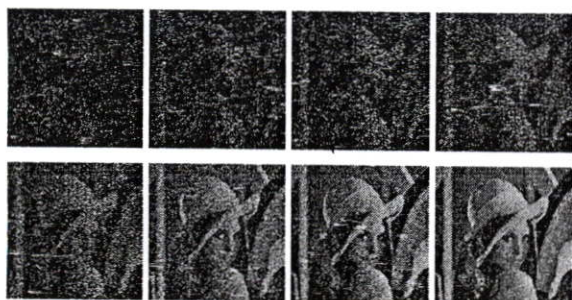


Fig.9: Watermarks extracted after JPEG compression with quality from 20% to 90%

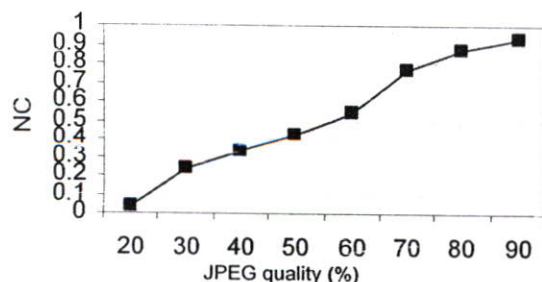


Fig.10: Robustness against JPEG compression.

The robustness capability is very critical for watermarking. We tested the robustness of watermarking with some attacks such as median filter, Gaussian noise and JPEG compression. Fig. 6 and Fig.7 show the results of watermark detection after smoothing with 3x3 median filters and Gaussian noise. The robustness against JPEG compression with quality factor 80% is illustrated in Fig.8 and compare quality when vary quality factor show the results in Fig.9 and Fig.10.

## 5. CONCLUSION

Watermarking technique constitutes to a new area in controlling authorized exploitation of multispectral images. In our proposed method, the watermark was embedded in wavelet domain of a multispectral image. The PCA/Wavelet was used to derive the transformed domain. The strength of watermark applied to embedding affects the perceived quality of the image and that of the detected watermark after the attacks. The quality of the extracted watermark is good and at the same time, the worse the watermark survives from the attacks. Thus, the watermark process should maintain the balance between the strength of the embedding and the survival of the watermark in the attacks.

Our experiments indicate that the watermark is robust against the median filter, JPEG compression, and Gaussian noise. In all cases, the watermark can be detected with an acceptable visual quality.

## 6. REFERENCES

- [1] C.I. Podilchuk and E.J. Delp, "Digital Watermark and Application," *Proceeding of IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.18, No.4, pp.33-46, 2001.
- [2] M.S. Hsieh, D.C. Tseng and Y.H. Huang, "Hiding Digital Watermarks using Multiresolution Wavelet Transform," *Proceeding of IEEE Transactions on Industrial Electronic*, Vol.48, No.5, pp.875-882, 2001.
- [3] A. Kaarna and P. Toivanen, "Digital Watermarking of Spectral Images in PCA/Wavelet Transform Domain," *Proceeding of IGARSS*, Vol.6, pp.3564-3567, 2003.
- [4] R. Tay and J.P. Havlicek, "Image Watermarking using Wavelet," *The 45<sup>th</sup> Midwest Symposium on Circuit and System*, Vol.3, pp.258-261, 2002.
- [5] G. Xie and H. Shen, "Robust Wavelet-based Blind Image Watermarking Against Geometrical Attacks," *proceeding of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Vol.3, pp.2051-2054.
- [6] J.A. Richards, *Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction*, Berlin, Springer, 1994.

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวจันทนา ปัญญาวราภรณ์ เกิดวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2545

ในปี พ.ศ.2546 ได้เข้าทำงานที่บริษัทไทยซัมซุง อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกร และในปีการศึกษา 2547 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง