

การสร้างภาพลายน้ำเพื่อพิสูจน์ลิขสิทธิ์สำหรับภาพถ่ายดาวเทียม

DIGITAL WATERMARKING FOR COPYRIGHT PROTECTION OF
REMOTE SENSING IMAGES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

รพ.

ร. 4457
1547

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

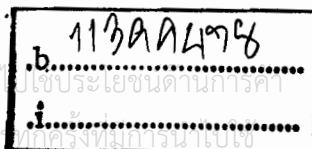
พ.ศ.2547

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 51884

ISBN 974-968-030-8

วัน,เดือน,ปี..... 1 ส.ค. 2547



ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร
b.....
i.....

**DIGITAL WATERMARKING FOR COPYRIGHT PROTECTION OF
REMOTE SENSING IMAGES**



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

2004

ISBN 974-968-030-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างภาพลายน้ำเพื่อพิสูจน์ลิขสิทธิ์สำหรับภาพถ่ายดาวเทียม
นักศึกษา	นาย มานะ ลัทธวิชพันธ์
รหัสนักศึกษา	44061734
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการแทรกลายน้ำดิจิทัลลงในภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้ในการพิสูจน์สิทธิ์ในความเป็นเจ้าของรูปภาพดิจิทัล โดยลายน้ำดิจิทัลที่แทรกเข้าไปจะต้องไม่ทำให้ความสามารถในการจำแนกพื้นที่ต่างๆ ในภาพถ่ายดาวเทียมลดลง ลายน้ำที่แทรกเข้าไปในรูปแบบดิจิทัลจะต้องไม่สามารถมองเห็นด้วยสายตามนุษย์และมีความคงทนต่อการโจมตีทางดิจิทัลแบบต่างๆ ได้ โดยลายน้ำจะแทรกลงในส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของภาพแบบหลายแบนด์ ซึ่งใช้เทคนิคการสร้างลายน้ำบนโดเมนความถี่ คือการแปลงแบบดิสครีตโคซายน์ ส่วนการจำแนกพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียมจะใช้เทคนิคการจำแนกภาพแบบ K-means และสุดท้ายได้ทำการทดสอบความคงทนของลายน้ำด้วยการโจมตีจากขบวนการทางดิจิทัลแบบต่างๆ ซึ่งพบว่าลายน้ำมีความคงทนต่อการโจมตีแบบต่างๆ ได้ และไม่ทำให้การจำแนกพื้นที่ของภาพดิจิทัลผิดพลาด

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจาก รศ.ดร. บุทรพงษ์ รังสรรค์เสรี ทั้งการดูแลและคำแนะนำต่างๆ ในการทำวิจัย ตลอดจนการใช้ห้องทดลอง และเครื่องมือในการวิจัยตลอดมา ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองวิศวกรรมระบบสื่อสารการเดินอากาศ บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด คุณฉลาด เสนดี และคุณบัญชา วัฒนโสภณวงศ์ ที่ได้ให้โอกาสและเวลาในการศึกษา วิจัย ในครั้งนี้อย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา คุณป้า นันทกา น้องวนิดา คุณเชลธิชา เพื่อนๆ และ น้องๆ ที่ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ด้วยดีตลอดมา

มานะ ถัทธวนิชพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพถ่ายระยะไกล.....	5
2.1 แหล่งที่มาและคุณสมบัติของข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียม.....	5
2.1.1 คุณลักษณะของข้อมูลภาพดิจิทัล.....	5
2.1.2 แถบคลื่นที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบระยะไกล.....	6
2.1.3 การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้งานภาพถ่ายผ่านดาวเทียม.....	12
2.2 แหล่งข้อมูลภาพถ่ายในระบบไมโครเวฟ.....	13
2.3 การแบ่งประเภทและการจำแนกภาพถ่ายผ่านดาวเทียม.....	14
2.3.1 ฟีเจอร์ เวกเตอร์ (Featur vector) และต้นแบบ (Prototypes).....	15
2.4 การแบ่งคลัสเตอร์ด้วยอัลกอริทึม k-means.....	17
2.4.1 การทำงานของอัลกอริทึม k-means แบบ Forgy.....	17
2.4.2 จำนวน k ของคลาสและคลัสเตอร์ที่มีอยู่.....	19
บทที่ 3 ลักษณะและคุณสมบัติของลายน้ำดิจิทัล.....	21
3.1 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างลายน้ำ.....	21
3.2 เทคโนโลยีการซ่อนลายน้ำดิจิทัล.....	22
3.3 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล.....	24
3.3.1 ลายน้ำแบบมองเห็น.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ผลการทดสอบความคงทนของภาพลายน้ำ	60
5.3.1 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยการกรองแบบมัลติฐาน	60
5.3.2 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ	61
5.3.3 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์	62
5.3.4 ผลการโจมตีภาพด้วยวิธีการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG	63
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
6.1 สรุปผลการวิจัย	65
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	69
ประวัติผู้เขียน	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.2 คุณลักษณะของระบบดาวเทียมวงโคจรอิสระ SAR.....	14
4.1 การคำนวณค่า Covariance และเมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์.....	37
5.1 แสดงผลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร L และ α ตามการทดลอง.....	59
5.2 แสดงผลการตรวจแยกलयน้ำจากการบีบอัดภาพลายน้ำแบบ JPEG ด้วยอัตราส่วนค่า ต่างๆ กันในภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์	64



สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10	49
5.1	55
5.2	56
5.3	57
5.4	57
5.5	58
5.6	58
5.7	60
5.8	58
5.9	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 (ก) ภาพลายน้ำขนาด 3 แบนด์ที่ถูกบีบอัดแบบ JPEG 20%	
(ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.831$	
(ค) ภาพลายน้ำขนาด 5 แบนด์ที่ถูกบีบอัดแบบ JPEG 20%	
(ง) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.635$	63
5.11 กราฟเปรียบเทียบผลจากการตรวจแยกลายน้ำ จากการบีบอัดภาพลายน้ำแบบ JPEG	
ที่อัตราส่วนต่างๆ ของภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์	64



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การที่จะวางแผนในการบริหาร จัดการ วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อมของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องอาศัยข้อมูลข้อเท็จจริงที่ทันต่อสถานการณ์ปัจจุบัน การสำรวจระยะไกล หรือ ภาพถ่ายผ่านดาวเทียม เป็นวิทยาการอีกแขนงหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม เนื่องจากสามารถให้รายละเอียดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อเหตุการณ์ และประหยัดค่าใช้จ่ายจากการที่ต้องเดินทางไปสำรวจจริง อีกทั้งข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียมเป็นข้อมูลทางดิจิทัลรูปแบบหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบเช่น ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ หรือข้อมูลทางทรัพยากรธรรมชาติ โดยปกติภาพถ่ายผ่านดาวเทียมมักจะถูกนำไปผ่านขบวนการแปลความหมายของภาพแบบต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปใช้งาน หรือการใช้คอมพิวเตอร์ทำการจำแนกภาพถ่ายผ่านดาวเทียม สำหรับการบ่งบอกถึงลักษณะต่างๆ กันจากภาพซึ่งอาจจะแยกแยะด้วยสายตาของมนุษย์ไม่ได้ โดยใช้อัลกอริธึมแบบต่างๆ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการจำแนกที่แตกต่างกันด้วย

ปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วของอินเทอร์เน็ต ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสื่อดิจิทัลได้ง่าย ข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียมซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของสื่อดิจิทัล จึงสามารถถูกนำไปใช้หรือแจกจ่ายผ่านเน็ตเวิร์คได้ เนื่องจากสื่อดิจิทัลนั้นสามารถที่จะผลิตซ้ำได้โดยไม่เกิดการสูญเสียลักษณะหรือคุณภาพของต้นฉบับ ดังนั้นสำเนาของสื่อดิจิทัลจึงเป็นการแสดงถึงรูปต้นฉบับด้วยเมื่อเกิดการเผยแพร่ผ่านเน็ตเวิร์คจึงสามารถผลิตสำเนาต้นฉบับของสื่อดิจิทัลได้โดยไม่จำกัดจำนวนอย่างผิดกฎหมาย ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะพิสูจน์ถึงความเป็นเจ้าของที่แท้จริง ดังนั้นเพื่อป้องกันและบังคับให้เป็นไปตามกฎหมาย การพิสูจน์สิทธิ์ในการเป็นเจ้าของสื่อจึงเป็นเรื่องจำเป็นในโลกดิจิทัล และวิธีการป้องลิขสิทธิ์ซึ่งเป็นที่นิยมกัน คือการผสมสัญญาณบางชนิดลงในรูปภาพซึ่งรู้จักกันในชื่อ “ลายน้ำดิจิทัล (Digital watermark)” ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียมเหล่านี้มีคุณค่าและประโยชน์ดังที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นต้องหาวิธีการป้องกันข้อมูลจากการแอบอ้างสิทธิ์ การคัดลอก และการทำซ้ำจากบุคคลอื่น โดยลายน้ำดิจิทัลนี้จะต้องไม่ทำให้ภาพถ่ายผ่านดาวเทียมสูญเสียความสามารถในการจำแนกภาพ (Classification และ Clustering) และมีความคงทนต่อการโจมตีด้วยวิธีการทางดิจิทัลแบบต่างๆ

เทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลเป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (Key Information) หรือรหัสส่วนตัวที่ถูกฝังลงบนภาพเพื่อใช้แสดงความเป็นเจ้าของข้อมูลดิจิทัลเหล่านั้น เทคนิคการสร้างลายน้ำได้มีผู้เสนอแนวทางไว้มากมาย แต่พอจะแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ตามชนิดของการแทรกลายน้ำลงบนสื่อดิจิทัลได้ 2 แบบคือวิธีการทำลายน้ำบนโดเมนความถี่ (Frequency Domain) และวิธีการทำลายน้ำบนโดเมนสเปเชียล (Spatial Domain) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้เทคนิคการแทรกลายน้ำบนโดเมนความถี่ซึ่งมีความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำด้วยกระบวนการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ และการลดทอนทางเรขาคณิตได้มากกว่าวิธีการทำลายน้ำบนโดเมนสเปเชียล

ข้อสำคัญคือเมื่อทำการแทรกลายน้ำลงในภาพถ่ายผ่านดาวเทียมแล้วจะต้องไม่ทำให้ความสามารถในการจำแนกข้อมูลของภาพเกิดการผิดเพี้ยนมากเกินไป ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์หรือประเมินผลภาพถ่ายผิดไปจากความจริงได้ ในงานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึมการจำแนกภาพแบบ K-means โดยจะทำการเปรียบเทียบผลจากการจำแนกภาพ ระหว่างภาพเดิมที่ไม่มีลายน้ำกับภาพที่ถูกแทรกลายน้ำเพื่อหาจำนวนของพิกเซลที่ถูกจำแนกผิดไปจากภาพต้นฉบับ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการแทรกลายน้ำลงในภาพถ่ายผ่านดาวเทียม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเสนอเทคนิคการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ โดยการแทรกลายน้ำลงในรูปภาพดิจิทัลโดยทั่วไปจะใช้กับรูปภาพสีเทาขนาด 256 บิต แต่การแทรกลายน้ำลงในรูปภาพหลายแบนด์จะนำเสนอแนวทางการแทรกลายน้ำดิจิทัลอีกรูปแบบ โดยทำการแปลงภาพแบบ KLT เพื่อหาส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของรูปภาพก่อนทำการแทรกลายน้ำ ทำให้สามารถแทรกลายน้ำลงในภาพถ่ายผ่านดาวเทียมแบบหลายแบนด์ได้ โดยลายน้ำจะไม่ทำให้ความสามารถในการจำแนกพื้นที่ซึ่งเป็นการใช้งานที่สำคัญของภาพถ่ายผ่านดาวเทียมที่สำคัญถูกลดทอนลง หลังจากการแทรกลายน้ำภาพถ่ายจะต้องสามารถนำไปจำแนกภาพออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ และทำการคำนวณประสิทธิภาพของลายน้ำได้จากค่าพิกเซลที่ผิดพลาดจากการจำแนกภาพ นอกจากนี้ลายน้ำดิจิทัลที่แทรกในภาพยังต้องมีความทนทานต่อการโจมตีด้วยขบวนการทางดิจิทัลต่างๆ อีกด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในภาพถ่ายผ่านดาวเทียม ซึ่งมีจำนวนแบนด์ของภาพมากกว่า 1 แบนด์ ด้วยเทคนิคการแปลงแบบ KLT และทำการแทรกลายน้ำด้วยวิธีการแปลงคิสดรีด โทซายน์ ลายน้ำจะถูกแทรกในโดเมนความถี่ของภาพดิจิทัลต้นฉบับ ซึ่งมี

และจากนั้นจะเป็นการตรวจหาหลายน้ำคิจิตอลกลับคืน ในตอนท้ายจะกล่าวถึง การวัดค่าความผิดพลาด และการเปรียบเทียบสัญลักษณ์ที่แทรกลงในลายน้ำกับสัญลักษณ์เดิม เพื่อหาประสิทธิภาพของอัลกอริธึมที่ได้สร้างขึ้น

บทที่ 5 ผลการทดลอง

กล่าวถึง ผลที่ได้จากการใช้อัลกอริธึมทั้งหมดที่กล่าวมาในบทก่อนหน้านี้ รูปภาพแบบหลายแบนด์จะถูกนำไปแทรกหลายน้ำบนโคเมนความถี่แบบเบบดิสคริต โคซายน์ทรานฟอร์ม โดยใช้ตราสัญลักษณ์ของสถาบันฯ เป็นลายน้ำ ทำการตรวจแยกหลายน้ำออกจากรูปภาพ ทำการทดสอบความคงทนของลายน้ำด้วยการโจมตีแบบต่างๆ และนำไปทำการจำแนกส่วนต่างๆ ของภาพแบบไม่มีการกำกับดูแล (Unsupervised Clustering) โดยวิธีการแบบ K-means ในภาพถ่ายผ่านดาวเทียมก่อนการแทรกหลายน้ำ และหลังการแทรกหลายน้ำเพื่อนำมาคำนวณหาจำนวนของพิกเซลที่ถูกจำแนกผิดเนื่องจากการแทรกหลายน้ำ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลที่ได้จากการแทรกหลายน้ำลงในรูปภาพแบบหลายแบนด์ ตามอัลกอริธึมที่นำเสนอ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้รูปภาพเดิมในการตรวจแยกหลายน้ำ และผลสำเร็จในการทำให้การจำแนกรูปภาพหลายน้ำมีค่าพิกเซลผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับรูปภาพต้นฉบับ พร้อมกับข้อเสนอแนะในการพัฒนาและประยุกต์การใช้งานอัลกอริธึมนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

บทที่ 2

การประมวลผลภาพถ่ายผ่านดาวเทียม

2.1 แหล่งที่มาและคุณสมบัติของข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียม

2.1.1 คุณลักษณะของข้อมูลภาพดิจิทัล

ข้อมูลภาพถ่ายระยะไกลของพื้นผิวโลกที่ได้จาก เครื่องบินหรือยานอวกาศส่วนมากมักจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล ส่วนของข้อมูลจะเกิดจากการรวมกันของชิ้นส่วนของรูปหรือพิกเซล (Pixel) และระดับความเข้มของสัญญาณวิทยุจะถูกควอนไทซ์ (Quantized) เป็นช่วงของระดับความสว่าง แม้ว่าข้อมูลจะไม่ได้ถูกบันทึกในรูปแบบดิจิทัล จากการเก็บข้อมูลครั้งแรก แต่ก็สามารถแปลงเป็นข้อมูลไม่ต่อเนื่องได้จากอุปกรณ์แปลงข้อมูล เช่น เครื่องสแกนไมโครเดนซิโตมิเตอร์ (Microdensitometer)

ข้อดีของการที่มีข้อมูลเป็นรูปแบบดิจิทัลคือ มันสามารถถูกนำไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์สำหรับการแยกข้อมูลหรือสำหรับการตกแต่งภาพถ่ายก่อนนำไปใช้งาน นอกจากนี้คือการนำไปแปลความหมายภาพถ่ายด้วยการใช้วิธีการจำแนกภาพแบบต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์[1]

คุณลักษณะสำคัญของภาพถ่ายระยะไกลคือ ย่านของความยาวคลื่นที่มันแสดง ภาพถ่ายบางภาพได้จากการวัดระดับของการสะท้อนจากการแผ่คลื่นอุลตราไวโอเลตของดวงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และใกล้กับกึ่งกลางของย่านอินฟราเรด หรือการวัดค่าอย่างอื่นซึ่งเกิดจากการแพร่กระจายพลังงานจากผิวโลกเอง (ส่วนมากนิยมเรียกว่าย่านความยาวคลื่นเทอมอลอินฟราเรด) ส่วนในย่านความยาวคลื่นไมโครเวฟ จะใช้การวัดความสัมพันธ์ของค่าพลังงานที่ได้จากผิวโลกจริงที่ถูกส่งมาจากตัวยานพาหนะ ระบบนี้จะถูกเรียกว่า “แอคทีฟ (Active)” คือเมื่อแหล่งพลังงานถูกจ่ายโดยระบบตรวจจับระยะไกล การวัดระยะทางโดยใช้การเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายพลังงานภาพนอก เช่น ดวงอาทิตย์จะถูกเรียกว่า “พาสซีฟ (Passive)”

จากการจัดการข้อมูลและการวิเคราะห์จุดที่ใช้พิจารณาคุณสมบัติสำคัญของข้อมูลภาพถ่ายคือ จำนวนและที่ตั้งของการวัดแถบความถี่ (หรือย่านของแถบความถี่) ที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ ส่วนความละเอียดของภาพจะถูกกำหนดด้วยขนาดของพิกเซล ซึ่งเทียบเท่ากับเป็นระยะทางบนพื้นดิน และความละเอียดของความยาวคลื่นวิทยุ การกำหนดย่าน และจำนวนที่ลดลงของค่าความสว่าง บางครั้งเทียบได้กับค่าไดนามิกเรนจ์ (Dynamic range) ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: S/N) ความละเอียดของความถี่คลื่นวิทยุจะหาค่าได้ในเทอมของเลขฐานสองหรือ บิต (bits) นั้นจำเป็นต่อการแสดงย่านของค่าความสว่างที่มีอยู่เช่น เมื่อข้อมูลความละเอียดคลื่นวิทยุขนาด 8 บิต จะมีค่าความสว่าง 256 ระดับเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

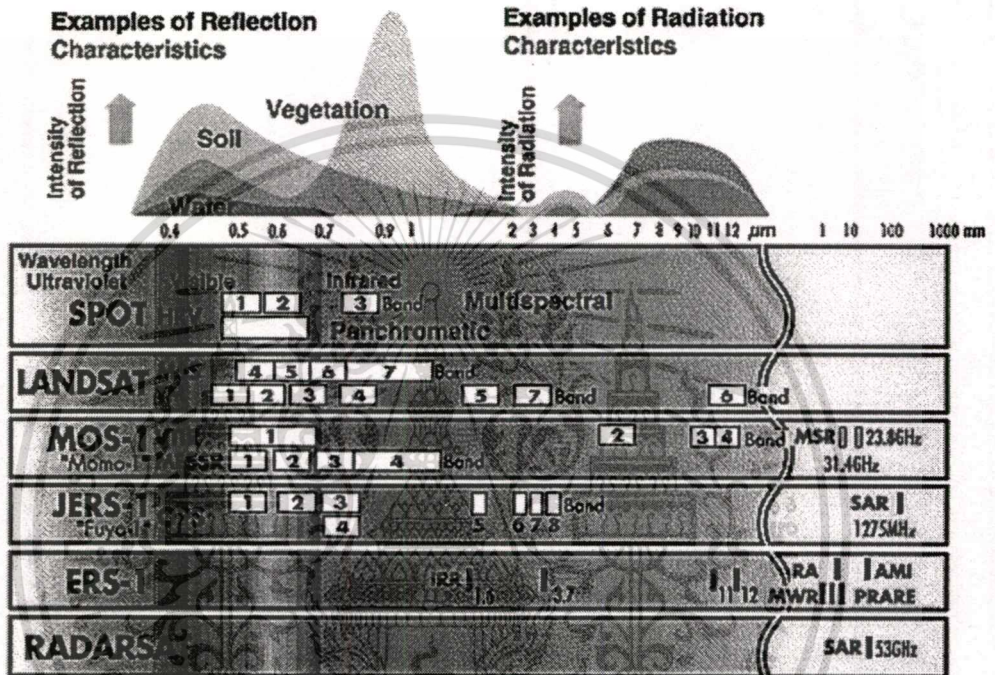
ขนาดความกว้าง ความยาว ของรูปภาพจะมีขนาดเสมือนเป็นระยะของพื้น โลกมีขนาดเป็นกิโลเมตร จำนวนของแบนด์ (Band) เป็นข้อมูลซึ่งได้มาจากเซนเซอร์แต่ละตัวรวมเข้าด้วยกัน ความละเอียดจากคลื่นวิทยุ และความละเอียดในระยะแต่ละช่องของรูป จะถูกนำไปใช้พิจารณาปริมาณของข้อมูล เพื่อสร้างจำนวนของข้อมูลอย่างน้อยที่สุด เพื่อนำไปประมวลผลตามทฤษฎี เครื่องมือวัด Landsat Thematic Mapper ซึ่งมีย่านความยาวคลื่นขนาด 7 แบนด์ มีความละเอียดของสัญญาณวิทยุ 8 บิต ความละเอียดของช่องในภาพ 6 แบนด์ จะเท่ากับความละเอียดบนพื้นดิน 30 เมตรและอีกแบนด์ที่เหลือจะมีค่าความละเอียด 120 เมตร (ในย่านเทอร์มอล จะมีความยาวคลื่นที่ความยาวมาก จึงต้องใช้ตัวรับคลื่น ขนาดใหญ่ในการเก็บสัญญาณค่าพลังงานที่สำคัญ เพื่อรักษาความละเอียดของสัญญาณวิทยุ) ดังนั้นรูปที่มีกรอบขนาด 185x185 กิโลเมตร จะมีจำนวนพิกเซลในย่านเทอร์มอลเท่ากับ 2.37 ล้านพิกเซล และมีจำนวนพิกเซลเท่ากับ 38 ล้านพิกเซล ใน 6 แบนด์ที่เหลือซึ่งมีขนาด 8 บิตต่อ 1 พิกเซล รูปขนาด 7 แบนด์จึงมีขนาด 1.848×10^9 บิตหรือ 1.848 กิกะบิต หรือโดยทั่วๆ ไป ข้อมูลนี้มักจะถูกเรียกเป็นขนาด 231 เมกะไบต์ เมื่อ 1 ไบต์มีขนาดเท่ากับ 8 บิต

2.1.2 แบนด์คลื่นที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบระยะไกล

โดยหลักการระบบตรวจจับระยะไกล นั้นสามารถวัดพลังงานที่แพร่ออกมาจากผิวโลกในย่านของความยาวคลื่นที่สามารถตรวจจับได้ อย่างไรก็ตามพิจารณาจากการที่มีวัตถุที่บ่งแสงของชั้นบรรยากาศบนโลก จะทำให้การแตกตัว (Scattering) จากอนุภาคในบรรยากาศและส่วนสำคัญของข้อมูลที่ได้เกิดจากความยาวคลื่นบางย่าน ย่านที่สำคัญต่อความสมบูรณ์ของโลกที่ตรวจจับได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.4 และ 12 ไมโครเมตร (เทียบได้กับย่านที่มองเห็นได้และย่านอินฟราเรด ซึ่งมองไม่เห็นด้วยสายตามนุษย์) และระหว่าง 30 ถึง 300 มิลลิเมตร (เทียบได้กับย่านที่ต่ำกว่าความยาวคลื่นไมโครเวฟ) ย่านความถี่ไมโครเวฟมักถูกใช้กันมากกว่าการเรียกตามค่าความยาวคลื่น ดังนั้นจึงนิยมเรียกความยาวคลื่นย่าน 30 ถึง 300 มิลลิเมตร เป็นย่านความถี่ 1 GHz ถึง 10 GHz ส่วนความถี่ที่ใช้ในการการตรวจจับชั้นบนบรรยากาศมักจะใช้ความถี่ย่าน 2 GHz ถึง 60 GHz ในการตรวจสอบ

ความสำคัญของย่านความถี่ที่แตกต่างกันเหล่านี้ จะเป็นกลไกที่สอดคล้องกันระหว่างการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) และการตอบสนองของวัสดุในย่านที่มองเห็นได้ และในย่านอินฟราเรด พลังงานที่สะท้อนกลับมาจะถูกวัดจากเซนเซอร์ที่ขึ้นกับคุณสมบัติของมัน เช่น สีต่างๆ โครงสร้างของพืช ชั้นแร่ ความชื้น ส่วนประกอบของดิน และชั้นตะกอนของน้ำ ด้านปลายของย่านอินฟราเรด จะเป็นส่วนประกอบของความร้อนและคุณสมบัติทางอุณหภูมิต่างๆ ของบริเวณพื้นผิวและใกล้พื้นผิว ซึ่งควบคุมการตรวจจับที่ถูกแพร่ออกมาว่ามีความเข้มมากน้อยเพียงใด ในย่านไมโครเวฟจะใช้ระบบการตรวจจับแบบเรดาร์ ในการสร้างระบบภาพแบบแอกทีฟ รอยขรุขระของสิ่งที่ถูกตรวจและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมันจะถูกหาค่าในเทอมของ

Permittivity แบบซับซ้อน (ซึ่งจะมีมากในกรณีที่มีความชื้นอยู่มาก) โดยพิจารณาจากขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับไปที่แหล่งกำเนิด ในย่าน 20-60 GHz ออกซิเจนในบรรยากาศและไอน้ำ จะมีผลการรบกวนเป็นอย่างมากในการส่งสัญญาณ และจะทำการวัดค่าในย่านนี้ผิดพลาดได้ แม้ว่าแต่ ละย่านของความยาวคลื่นจะมีข้อดี ในเทอมของข้อมูลมันสามารถใช้ประโยชน์ได้ ในกระบวนการตรวจจักระยะไกล กระนั้นก็ตามเราพบว่าระบบที่มีอยู่นั้นเหมาะสมสำหรับทำงานในย่านที่เป็น ชั้นๆ และชุดข้อมูลที่สมบูรณ์จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์หลายตัวรวมกัน



รูป 2.1 แสดงการแบ่งพื้นผิวของโลกออกเป็นค่าดิน, บริเวณเพาะปลูก และน้ำ จากการสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งพื้นผิวของโลกออกเป็นค่า ดิน บริเวณเพาะปลูก และน้ำ จากการสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์ ในย่านความยาวของคลื่นที่มองเห็นได้ และในย่านอินฟราเรดจะเห็นว่าน้ำจะมีการสะท้อนกลับมาแค่ 10% หรือน้อยกว่า ในย่านแสงสีน้ำเงิน-เขียว มีสีแดงเล็กน้อย และไม่มีพลังงานในย่านอินฟราเรดเลย น้ำที่มีชั้นของตะกอนหรือมีความขุ่นมากพอจะให้เกิดการสะท้อนจากด้านล่าง ซึ่งเป็นค่าเล็กน้อย แต่เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการสะท้อนพลังงานจากด้านที่ใกล้ย่านอินฟราเรด ซึ่งเป็นผลของการสะท้อนจากวัตถุที่อยู่ใต้น้ำ

จากรูปจะเห็นว่าดินจะมีการสะท้อนเพิ่มขึ้น โดยเป็นค่าเดียวตามความยาวคลื่น อย่างไรก็ตามที่จุดเว้าที่ประมาณ 1.4 ไมโครเมตร 1.9 ไมโครเมตร และ 2.7 ไมโครเมตร แสดงถึงการมีความชื้นในดิน ซึ่งเป็นย่านที่คลื่นถูกน้ำดูดซับ ซึ่งแทบจะไม่มีในดินที่มีความแห้งมากและในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะเลทราย นอกจากนั้น พบว่าในชั้นดินเหนียวจะมีการดูดซับไฮดรอกไซด์มากที่ย่าน 1.4 ไมโครเมตร และย่าน 2.2 ไมโครเมตร

ส่วน โคนึ่งของพื้นที่เพาะปลูกจะประกอบด้วยส่วนที่ซับซึ้นกว่าย่านอื่น จุดว่าในย่านกึ่งกลางความยาวคลื่นอินฟราเรดเกิดจากการดูดซับน้ำที่ย่าน 1.4 ไมโครเมตร 1.9 ไมโครเมตรและ 2.7 ไมโครเมตร ที่ราบสูงจะอยู่ระหว่างย่าน 0.7 ไมโครเมตรและย่าน 1.3 ไมโครเมตร เกิดจากโครงสร้างของพืช ขณะที่การตอบสนองในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ เกิดจากเม็ดสีของพืชเป็นส่วนประกอบหลักเส้น โคนึ่งในรูป 2.1 คือบริเวณเพาะปลูกที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งมีย่านที่ดูดซึ้นย่านสีน้ำเงินและสีแดง โดยคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบพืช เหลือเพียงสีเขียวที่สะท้อนส่วนสำคัญกลับมา เป็นการยืนยันถึงที่มาว่าเหตุใดสารคลอโรฟิลล์ในพืชจึงมีสีเขียว

มีการพิจารณาตัดสินใจที่เหมาะสมมากของคุณสมบัติในการสะท้อนของบริเวณเพาะปลูกดิน น้ำ หิมะ และเมฆ ในงานของ [2] ที่รวมถึงการพิจารณาทางกายภาพ และตัวแปรทางชีวภาพในรูปแบบต่างๆ ของส่วน โคนึ่งและการทำงานถึงความหลากหลายของส่วนต่างๆที่เกิดในรูปภาพที่ถูกบันทึกในย่านความยาวคลื่นต่างๆ

ในย่านความยาวคลื่นระหว่าง 3 ถึง 14 ไมโครเมตร ระดับของพลังงานแสงอาทิตย์ที่แพร่มายังผิว โลกจะมีค่าน้อย ทำให้จำนวนพลังงานที่สะท้อนจากดวงอาทิตย์มีจำนวนน้อยด้วยเช่นกัน การเปรียบเทียบกับระดับที่มองเห็นได้ และย่านใกล้อินฟราเรด (รูปที่ 2.2) แสดงให้เห็นว่ามีการดูดซับย่านความยาว 2.6 และ 3.0 ไมโครเมตร 4.2 และ 4.4 ไมโครเมตร และ 5 ถึง 8 ไมโครเมตรเกิดขึ้นมากในชั้นบรรยากาศ [3] ในทางกลับกัน ตัวตรวจจับจำนวนมากในย่านนี้จะจับพลังงานที่แพร่ออกมากจากผิวโลกหรือวัตถุบนพื้นดิน ได้มากกว่าการสะท้อนกลับของพลังงานสุริยะ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เสมือนสื่อกลางส่งผ่านระหว่างวัตถุและเครื่องมือวัดประกอบไปด้วยย่านพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่างๆ เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศในลักษณะเป็นคลื่นเท่าความเร็วแสง โดยช่วงคลื่นที่ใช้ประโยชน์ในการสำรวจระยะไกลจะอยู่ในช่วง 0.3-14 ไมโครเมตรและช่วง 0.1-30 เซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือรับและบันทึกข้อมูลได้หลายอย่างรูปที่ 2.1 แสดงความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสำรวจระยะไกล ส่วนตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกความยาวช่วงที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

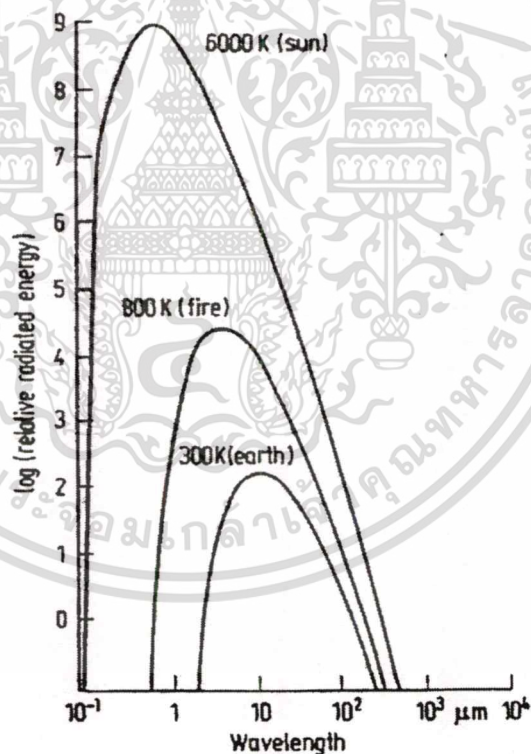
ตาราง 2.1 การจำแนกความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ช่วงคลื่น	ความยาวช่วงคลื่น	รายละเอียด
รังสีแกมมา (Gamma)	0.03 nm	รังสีแกมมาถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยบรรยากาศ ชั้นบนจึงไม่ได้ใช้ในการสำรวจระยะไกล
รังสีเอ็กซ์ (X-ray)	0.03-3.0 nm	รังสีเอ็กซ์ถูกดูดกลืนทั้งหมดเช่นกัน
รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) Photographic UV band	0.03-0.4 μm 0.3-0.4 μm	ช่วงคลื่นสั้นกว่า 0.3 ไมโครเมตร ถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยโอโซน (O_3) ช่วงคลื่นสามารถผ่านชั้นบรรยากาศ สามารถถ่ายภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป แต่การกระจายในชั้นบรรยากาศเป็นอุปสรรคมาก
ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible)	0.4-0.7 μm	บันทึกภาพด้วยฟิล์มและอุปกรณ์บันทึกภาพได้ รวมทั้งช่วงคลื่นที่โลกมีการสะท้อนพลังงานสูงสุดที่ 0.5 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นแคบที่มีผลตอบสนองต่อตามนุษย์แบ่งได้ 3 ช่วงย่อย คือ 0.4-0.5 ไมโครเมตร สีน้ำเงิน 0.5-0.6 ไมโครเมตร สีเขียว 0.6-0.7 ไมโครเมตร สีแดง
อินฟราเรด (Infrared) อินฟราเรดใกล้ หรือ อินฟราเรดสะท้อน (Reflected IR Band) อินฟราเรดความร้อน (Thermal IR Band)	0.7-100 μm 0.7-3 μm 3-5 μm และ 8-14 μm	มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุตามความยาวคลื่นและการส่งผ่านชั้นบรรยากาศ มีการดูดกลืนในบางช่วงคลื่น สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับช่วงความร้อนของวัตถุ ช่วงคลื่น 0.70-0.90 ไมโครเมตร สามารถถ่ายรูปด้วยฟิล์มเรียกว่า Photographic IR band การบันทึกภาพต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น สแกนเนอร์
ไมโครเวฟ (Microwave)	0.1-100 cm	ช่วงคลื่นยาวสามารถทะลุผ่านเมฆหมอกและฝนได้ใช้ประโยชน์ในการถ่ายภาพเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนพลังงานที่ถูกแผ่ออกมาจากวัตถุดำสนิทที่มีอุณหภูมิต่างกัน ดังจะเห็นว่าดวงอาทิตย์ที่แผ่ค่าเต็มที่ 6000 K ซึ่งมีค่าสูงสุดในการมองเห็นและใกล้ย่านอินฟราเรด แต่เมื่อเทียบกับการแผ่กระจายเล็กน้อยที่เกิดขึ้นในย่านประมาณ 10 ไมโครเมตร จากรูปแสดงให้เห็นว่าไม่มีเหตุการณ์ใดทำให้ระดับของการแผ่รังสีสุริยะถูกลดทอนลงจากระบวนการของกฎราก็ที่สอง ในการเดินทางของรังสีสุริยะจากดวงอาทิตย์มายังโลก ในทางตรงข้าม ถ้าต้องการจะเปรียบเทียบส่วนโค้งดังกล่าวกับการตอบสนองแบบอื่นที่เป็นโครงสร้างสีดำบนผิวโลก จะพิจารณาได้ว่าพวกมันถูกลดทอนลงทั้งย่าน

ที่ผิวโลกจะมีอุณหภูมิประมาณ 300 K ซึ่งมีการแผ่รังสีความยาวคลื่นสูงสุด 10 ถึง 12 ไมโครเมตร ดังนั้นเซนเซอร์ที่ตอบสนองในย่านนี้จะทำการวัดจำนวนของความร้อนที่ปล่อยออกมาจากผิวของโลก วัตถุร้อนบนผิวโลกเช่น ไฟป่า ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 800 K จะมีย่านการแผ่กระจายคลื่นประมาณ 3 ถึง 5 ไมโครเมตร ในทางกลับกันในการบอกจุดที่เกิดไฟไหม้ป่า เซนเซอร์ตัวที่ทำงานในย่านดังกล่าวจะถูกนำมาใช้



รูป 2.2 พลังงานจากการแผ่รังสีสมบูรณ์ (วัตถุดำ) ในฟังก์ชันของความยาวคลื่น

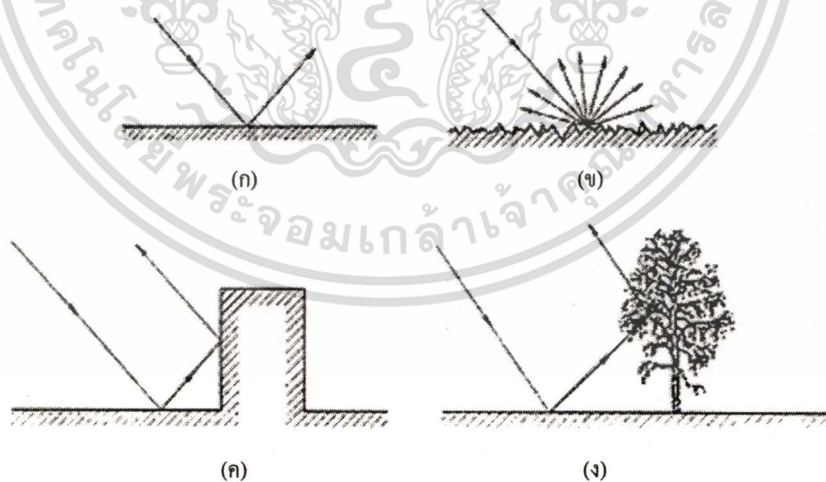
ในวัตถุจริงๆ นั้น ไม่ได้เป็นวัตถุดำสมบูรณ์ แต่มันสามารถจะปล่อยพลังงานในระดับที่ต่ำกว่าดังในรูปที่ 2.2 ความเข้มที่แผ่ออกมาของวัตถุเทียบกับวัตถุดำสมบูรณ์ ถูกนำไปเทียบกับค่าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันปล่อยออกมา ตัวตรวจจับอุณหภูมิระยะไกลจะตอบสนองกับค่านี้ได้ ดังนั้นจะเกิดการรวมกันของอุณหภูมิของวัตถุและการแผ่กระจาย และสุดท้ายจะได้ค่าความยาวคลื่นที่เป็นอิสระต่อกัน

ข้อมูลภาพจากการใช้คลื่นไมโครเวฟจะถูกสร้าง โดยการวัดความเข้มของพลังงานที่สะท้อนกลับมาที่ดาวเทียมหรือยานอวกาศ ซึ่งเป็นการตอบสนองจากพลังงานที่ถูกส่งออกไป มุมของการสะท้อนจะถูกระบุลักษณะโดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของพื้นผิวที่ถูกถ่ายภาพ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่า Permittivity แบบซับซ้อนทางไฟฟ้าของวัตถุ และรอยขรุขระของผิวเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของการแผ่กระจายที่ถูกนำมาใช้ [4]

บนพื้นผิวเรียบหรือเรียกว่าการสะท้อนแบบกระจก ในทิศทางที่สะท้อนจะออกไปจากทิศทางตกกระทบดังในรูปที่ 2.3 (ก) จะปรากฏเป็นแถบสีดำในรูปภาพ ผิวที่ขรุขระจะทำให้เกิดการสะท้อนแบบแตกกระจาย คลื่นของพลังงานที่ตกกระทบจะกระจายออกทุกทิศทาง ดังรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งเกือบจะเป็นแถบสีดำในภาพการตรวจจับระยะไกล ชนิดของผิวที่ตกกระทบแบบที่ 3 ที่มักจะรวบรวมข้อมูลภาพไมโครเวฟ ผลที่ปรากฏในรูปภาพจะเป็นสีจางๆ คือสิ่งก่อสร้างจากมนุษย์ เช่น อาคาร ซึ่งจะเกิดผลการสะท้อนด้านข้าง ดังรูปที่ 2.3 (ค) เป็นผลจากมุมฉากที่เกิดระหว่างโครงสร้างแนวตั้ง เช่น พุ่มไม้ ตึก หรือเรือ และพื้นที่แนวนอนเช่น ผิวของ โลกหรือทะเล ซึ่งจะให้ผลการตอบสนองบนรูปภาพเป็นความสว่างมากๆ

สิ่งของเช่นพื้นที่เพาะปลูก และภูเขา น้ำแข็งมักถูกเรียกว่า พฤติกรรมการแตกกระจายแบบปริมาตร พลังงานการสะท้อนกลับจากพื้นที่เหล่านี้ยากต่อการตีความหมายในเชิงปริมาณเหมือนรูปที่ 2.3 ซึ่งจะเกิดเป็นบริเวณที่มีแสงมืดหรือสว่างในภาพถ่ายเรดาร์



รูปที่ 2.3 (ก) การตกกระทบ (ข) การแตกกระจาย (ค) ทางสะท้อนมุมทึบ และ (ง) พฤติกรรมการสะท้อนเชิงปริมาตร ซึ่งมีผลกระทบต่อข้อมูลภาพถ่ายผ่านดาวเทียมเป็นอย่างมาก

การแปลความหมายข้อมูลภาพที่ได้จากย่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของไมโครเวฟ มีความสำคัญต่อการจำแนกกระบวนการสะท้อนกลับสี่แบบจากรูปที่ 2.3 ได้ถูกแสดงและปรับปรุงค่าที่สูงต่ำที่แตกต่างกัน จากความซับซ้อนของพื้นผิว ด้วยการเปรียบเทียบรูปภาพในย่านที่มองเห็น และย่านอินฟราเรด ในแต่ละแหล่งกำเนิดของดวงอาทิตย์ ผลที่ได้จะเป็นค่าการแตกกระจายที่สะท้อนกลับมาซึ่งทำให้นักแปลข้อมูลได้พิจารณาความแตกต่างใน ค่าแสงที่มีหรือสว่าง จากค่าต่างๆ ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1

2.1.3 การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้งานภาพถ่ายผ่านดาวเทียม

จุดมุ่งหมายสำคัญของการถ่ายภาพทางไกล คือความสามารถในการบ่งชี้และประเมินค่าจากภาพถ่ายด้วยค่าเฉพาะบางอย่าง เช่น วัสดุพื้นผิว หรือคุณสมบัติในช่องว่างของมัน การวิเคราะห์รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นรูปแบบการบ่งชี้ที่เป็นไปได้ ถ้าเซนเซอร์ให้ข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละความยาวคลื่นเช่น ถ้าการวัดค่าในแต่ละพิกลเซลมีการสะท้อนที่ 0.65 ไมโครเมตร และ 1.0 ไมโครเมตร (สมมุติว่าเป็นภาพระบบ 2 แบนด์) จะง่ายต่อการแบ่งแยกระหว่างพื้นผิวพื้นฐาน 3 อย่างในค่าที่สัมพันธ์กันระหว่าง 2 แบนด์ ตัวอย่างเช่น พื้นที่ป่าไม้จะสว่างที่ย่าน 1.0 ไมโครเมตร และมีมืดมากที่ 0.65 ไมโครเมตร ส่วนที่เป็นดินจะสว่างทั้ง 2 ย่าน ส่วนที่เป็นน้ำจะมีด้านมืดที่ 1.0 ไมโครเมตร และพรมน้ำที่ 0.65 ไมโครเมตร เห็นได้ชัดว่าถ้ามีการวัดมากกว่า 2 ความยาวคลื่น ถูกนำมาใช้เพื่อความแม่นยำในการแยกพื้นผิว แม้ว่าประเภทของผิวที่ถูกปกคลุมจะมีความคล้ายกับส่วนอื่นๆ ก็ตาม หรืออีกนัยหนึ่งระบบภาพถ่ายระยะไกลถูกออกแบบให้มีย่านความยาวคลื่นที่ให้ข้อมูลตัวอย่างเหมือนรูปโค้งของการสะท้อนกลับเหมือนรูปที่ 2.1 แต่ละพิกลเซลจะมีเซตของจำนวนตัวอย่างที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ โดยใช้การแปลความหมายภาพหรือเทคนิคอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถทำการแบ่งประเภทของกลุ่มพิกลเซลแปลความหมายให้เป็นวัสดุที่อยู่บนผิวโลกได้

ด้วยวิธีการเดียวกัน เมื่อใช้ข้อมูลภาพถ่ายไมโครเวฟ ด้วยการส่งสัญญาณที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันสามารถถูกนำไปใช้เพื่อบ่งบอกลักษณะพื้นผิว ด้วยค่าของความแตกต่างจากการกระจายของคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่างกัน อย่างไรก็ตามมิติของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายไมโครเวฟนั้น ใช้กฎธรรมชาติของการแพร่คลื่นออกไปเท่านั้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าโพลาไรซ์ (Polarized) ของการส่งสัญญาณและการแตกกระจายของคลื่น โพลาไรซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เทียบได้กับจุดเริ่มต้นของสนามไฟฟ้าระหว่างการแพร่กระจายคลื่น มักจะใช้สำหรับภาพเรดาร์ของเครื่องบิน ซึ่งบินขนานกับพื้นโลกในการส่งสัญญาณ ซึ่งอาจเรียกเป็นโพลาไรซ์แนวอน (Horizontal Polarization) การแตกกระจายของการเปลี่ยนโพลาไรซ์สามารถทำได้ และสามารถรับพลังงานได้จากโพลาไรซ์แนวอน หรือมุมของการหมุนโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการบอกถึงวัสดุที่พื้นผิวได้

ในการใช้การแพร่กระจายในระบบตรวจระยะไกลแบบเรดาร์ มีสิ่งที่สำคัญต่อกระบวนการแปลความ ซึ่งภาพถ่ายจะแสดงมุมของ จุดต่าง (Speckle) ซึ่งเป็นผลการรบกวนแบบเป็นโครงสร้าง และ ไม่เป็นโครงสร้าง จากการสะท้อนกลับจากพื้นผิวที่ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งมีความหลากหลายของลำดับของค่าครึ่งความยาวคลื่น ($1/2\lambda$) ไม่ว่าจะอย่างไร ความยาวคลื่นที่ถูกใช้ร่วมกันในระบบตรวจระยะไกลแบบเรดาร์ที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 30 มิลลิเมตร ถึง 300 มิลลิเมตร จะถูกใช้เพื่อหาภาพถ่ายที่มีพื้นที่ปกคลุมร่วมกัน ซึ่งจะแสดงค่าของ “จุดต่าง” ที่เกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะจากตัวอย่าง เช่น ไร่ข้าวโพค ซึ่งภาพเรดาร์จะให้ความสว่างหลายแบบ ค่าตัวแปรเหล่านี้จะถูกนำไปใช้กับเครื่องมือที่ใช้ในการแปลความหมายภาพ โดยเฉพาะ

2.2 แหล่งข้อมูลภาพถ่ายในระบบไมโครเวฟ

2.2.1 ERS-1

ดาวเทียมสำรวจระยะไกล (The European Remote Sensing Satellite; ERS-1) ถูกปล่อยในเดือนกรกฎาคม 1991 บรรจุเซนเซอร์ซึ่งเป็น synthetic Radar ที่เหมาะสำหรับพื้นผิวที่เป็นทะเลและงานถ่ายภาพมหาสมุทร คุณลักษณะของเรดาร์ที่ได้ถูกรวมใช้ในตาราง 2.1

2.2.2 JERS-1

ดาวเทียมสำรวจระยะไกล JERS-1 (The Japanese Earth Resource Satellite) ถูกปล่อยในเดือนกุมภาพันธ์ 1992 บรรจุเครื่องมือถ่ายภาพ 2 ชนิด คือ เซนเซอร์แสง (Optical Sensor) และอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยเรดาร์ เซนเซอร์แสงถูกเรียกว่า OPS (Optical Sensor) มีความยาวคลื่นต่างกัน 8 ย่าน ระหว่าง 0.52 ไมโครเมตร ถึง 2.40 ไมโครเมตร มีความกว้างการถ่ายภาพ 75 กิโลเมตร และมีไดนามิคเรนจ์ 6 บิต มีเลนซ์ฟิสิกเซลถ่ายภาพขนาดกว้าง 18.3 เมตร ยาว 24.2 เมตร ซึ่งรวมถึงการถ่ายภาพแบบ Stereoscopic ด้วย

2.2.3 Radarsat

ประเทศแคนาดาตั้งใจให้ดาวเทียม Synthetic Aperture Radar (SAR) ซึ่งรู้จักกันในชื่อ Radarsat โคจรได้ในเดือน ธันวาคม 1994 ข้อมูลที่ได้รับจะมีค่าเท่ากับที่ได้จาก ERS-1 และ JERS-1 ตาราง 2.2 ได้แสดงการเปรียบเทียบไว้ Radarsat นั้นสามารถทำงานในโหมดคนนอกเหนือจากโหมดมาตรฐานได้ รวมทั้งให้ความกว้างการถ่ายภาพถึง 512 กิโลเมตร

ตาราง 2.2 คุณลักษณะของระบบดาวเทียมวงโคจรอิสระ SAR

	ERS-1	JERS-1	Radarsat
ความสูง	785 Km	568 Km	739 - 821 Km
ความยาวคลื่น	0.057 m	0.235 m	0.057 m
โพราไลซ์	VV	HH	HH
มุมถ่ายภาพ	23°	35°	20 - 49°
ความกว้างภาพถ่าย	100 Km	75 Km	100 Km
ความละเอียด	30 m	18 m	25 m
ความละเอียด Azimuth	30 m	18 m	28 m

2.3 การแบ่งประเภทและการจำแนกภาพถ่ายผ่านดาวเทียม

หลักการคิดเกี่ยวกับสิ่งของหรือวัตถุที่ถูกจัดอยู่ในประเภทต่างๆ คือแกนหลักของการเริ่มเรียนรู้ของมนุษย์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามประเภทของวัตถุต่างๆ นั้น อาจอยู่ในใจของมนุษย์ตั้งแต่แรกเห็น และมีวิธีการมากมาย ที่จะใช้แบ่งประเภทของกลุ่มวัตถุ โดยรวมแล้วหลักการแบ่งกลุ่มวัตถุ มักจะอยู่ในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ

การจำแนกรูปแบบวัตถุเกี่ยวข้องกับ 2 ขบวนการคือ 1) “การจำแนกประเภท (Classification)” เมื่อตัวอย่างจากจำนวนสมาชิกทั้งหมดของวัตถุถูกแยกออกเป็นกลุ่มซึ่งเรียกว่า “คลาส (class)” และ 2) “การจำแนก (Recognition)” เมื่อวัตถุซึ่งไม่มีการบ่งบอกลักษณะ ที่ได้จากจำนวนสมาชิกทั้งหมดในชุดเดียวกันนี้ ถูกจำแนกเข้ากลุ่มที่ได้จัดประเภทไว้แล้ว การจำแนกนี้ บางครั้งสามารถแบ่งออกเป็นการจำแนกและการบ่งชี้ (Identification) ซึ่งหมายถึงการจำแนกลักษณะพิเศษต่างๆ ของวัตถุออก คำว่าการแบ่งประเภทและการจำแนกบางครั้งถูกใช้สลับกัน ในบทความต่างๆ [5]

ขั้นตอนการแบ่งประเภทจะทำการตรวจสอบของตัวอย่างวัตถุ ซึ่งเป็นตัวแทนของจำนวนสมาชิกทั้งหมดของวัตถุนั้นๆ และทำการจัดแต่ละส่วนให้อยู่ในเซตย่อย (หรือคลาส) ที่สอดคล้องกับความคลึงคล้ายกันภายในวัตถุประเภทนั้นๆ และแยกแยะความแตกต่างของวัตถุระหว่างคลาสต่างๆ ด้วย รูปแบบขั้นตอนนี้ถูกเรียกว่า การแบ่งกลุ่มตัวอย่างด้วยการเรียนรู้ด้วยตนเอง หรือการแบ่งกลุ่มโดยไม่กำกับดูแล (Unsupervised Clustering) หรือการแบ่งกลุ่มของตัวอย่างให้เป็นคลัสเตอร์ (Cluster; คลาสหรือคลัสย่อย) อีกนัยหนึ่งเมื่อทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็นคลัสเตอร์ และกำหนดฉลาก (Label) ให้กับวัตถุแต่ละชนิด คำดัชนีซึ่งถูกออกแบบไว้เฉพาะในแต่ละคลาส ผู้จำแนก (Recognizer) สามารถถูกฝึกสอนเพื่อทำการจัดฉลากของคลาสให้กับแต่ละวัตถุไม่รู้จักได้

(การจำแนกรูปแบบ) ขั้นตอนการฝึกสอนจะถูกเรียกว่าการเรียนรู้แบบกำกับดูแล (Supervised learning) หรือการฝึกสอนให้กับผู้จำแนก ซึ่งผู้จำแนกจะสามารถทำการจำแนกรูปแบบได้ทันที

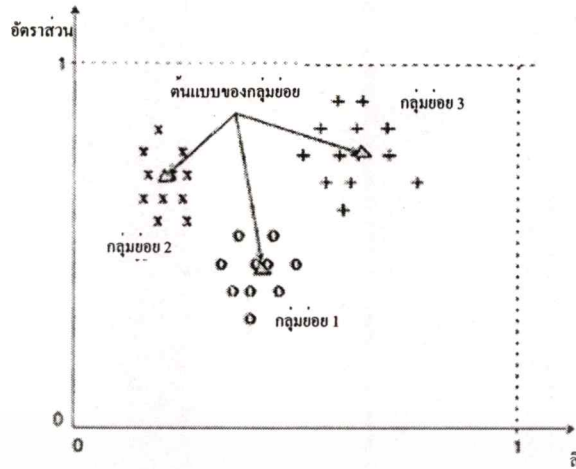
2.3.1 ฟีเจอร์เวกเตอร์ (Feature Vector) และต้นแบบ (Prototypes)

วัตถุที่จะถูกจำแนกให้อยู่ในคลาสใดคลาสนึง จะมีลักษณะเฉพาะซึ่งจะต้องทำการแยกแยะระหว่างประเภทคุณสมบัติของคลาสนี้ ซึ่งมีความเด่นชัดในตัวเอง เมื่อทำการสังเกตวัตถุใดๆ จะได้ค่าของคุณสมบัติในแต่ละเซต เซตที่มีคุณสมบัติแน่นอนจะถูกใช้สำหรับสมาชิกที่มีค่าเฉพาะ และเซตของค่าสำหรับวัตถุเหล่านั้นจะถูกพิจารณาว่ามันจะอยู่ในคลาสหรือไม่ คุณสมบัติเฉพาะนี้ถูกเรียกว่า “ฟีเจอร์” ของจำนวนสมาชิกทั้งหมด สมมติให้สมาชิกทั้งหมดมีจำนวน N ฟีเจอร์ที่จะถูกใช้สำหรับการจำแนก ฟีเจอร์จำนวน N เหล่านี้จะถูกเรียงลำดับเป็นแถว (Tuple) N ดังนั้นเซตของค่าที่ถูกสังเกตจะสร้างเวกเตอร์ขึ้นเรียกว่า “ฟีเจอร์เวกเตอร์” ดังนั้นฟีเจอร์เวกเตอร์จึงใช้สำหรับแสดงวัตถุในจำนวนสมาชิกทั้งหมด การจำแนกรูปแบบจะกระทำได้โดยการใช้ค่าฟีเจอร์เวกเตอร์เหล่านี้

ตัวอย่างเช่น ชนิดของแมลงเต่าทองในย่านที่มีภูมิประเทศแบบเดียวกัน จะมีแมลงเต่าทอง 3 จำพวก พวกแรกเป็นชนิดจอมตะกละ ซึ่งจะเป็นพวกที่ทำลายพืชผลทางการเกษตร ลักษณะจะมีหลังสีเขียวเทาเมื่อโตเต็มที่ ขณะที่อีก 2 พวกจะมีหลังสีเขียวอ่อนและสีเขียวเข้มเมื่อโตเต็มที่ นอกจากนั้นสมมติให้ แมลงเต่าทองสีเขียวเทาจะมีลำตัวสั้นกว่าแต่กว้างกว่าแมลงเต่าทองสีเขียวอ่อนและสีเขียวแก่ และพันธุ์สีเขียวเข้มจะมีหนวดยาวกว่าพันธุ์อื่น ทำการเลือกคุณสมบัติเหล่านี้ให้เป็นค่าฟีเจอร์ และทำการกำหนดจำนวนของมัน ตัวอย่างสำหรับฟีเจอร์แรก จะสามารถกำหนดคากลุ่มที่ 1 ให้กับสีเขียวเทา กลุ่มที่ 2 ให้กับสีเขียวอ่อน และกลุ่มที่ 3 ให้กับสีเขียวแก่ นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดความกว้างและความยาวเป็นฟีเจอร์ที่ 2 และ 3 ซึ่งฟีเจอร์เวกเตอร์เหล่านี้จะใช้สำหรับการเฝ้าดูแมลงเต่าทองแบบ 3 แถว (n, w, l)

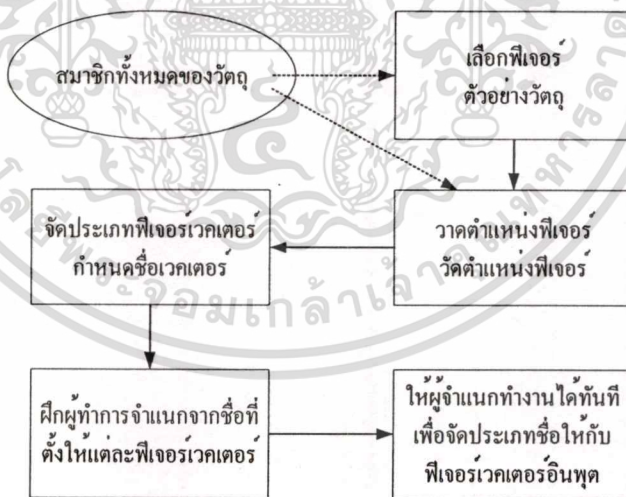
ในความเป็นจริงสถานการณ์จะสลับซับซ้อนมากกว่านี้ โดยสมมติให้แมลงเต่าทองที่อายุน้อย จะมีสีที่ไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงจะไม่ชัดเจนในการคัดแยกสีเขียวเทา เขียวอ่อนและเขียวเข้มได้ นอกจากนั้นแมลงเต่าทองอายุน้อยยังมีตัวเล็กกว่า ดังนั้นทั้งความกว้างและความยาวจึงมีขนาดเล็กด้วย หนทางหนึ่งที่จะให้ความแม่นยำในการแยกมากกว่าคือใช้ค่า $x = 0$ แทนพวกสีเขียวเทา $x = 0.5$ แทนพวกสีเขียวอ่อน และ $x = 1.0$ แทนพวกสีเขียวแก่ ทำให้ผู้สังเกตจะสามารถกำหนดค่าเช่น 0.3 ให้กับสีที่อ่อนกว่าเขียวอ่อนไปเขียวเทาได้ ในการจัดอายุกับค่ากว้างและยาวที่ได้ให้เป็นอัตราส่วน ความกว้างต่อความยาว $r = w/l$ จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่แคบกว่าซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของมัน ถ้าตอนนี้พิจารณาแมลงเต่าทองอายุน้อยในฤดูใบไม้ผลิ เพื่อสร้างค่าฟีเจอร์เวกเตอร์ $\{(x,r)\}$ เราสามารถใช้การวัดค่านี้ในการจำแนกประเภทย่อยๆ เพื่อใช้พิจารณาว่าจะกำจัดแมลงชนิดไหนซึ่งจำเป็นต่อการป้องกันผลผลิตซึ่งทำให้เรารู้ถึงฟีเจอร์เวกเตอร์ของแมลงแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 พีเจอร์เวกเตอร์จากการสังเกตลักษณะของแมลงเต่าทอง

รูปที่ 2.3 แสดงเซตของเวกเตอร์ในระนาบที่บอกถึงตัวอย่างของแมลงเต่าทอง ตัวอย่างของเวกเตอร์แต่ละชนิดย่อยคือเวกเตอร์ต้นแบบ ซึ่งเป็นตัวแทนของชนิดย่อย หรือกลุ่มของเต่าทอง กำหนดให้พีเจอร์เวกเตอร์เป็นค่า (x,r) ทำการทดสอบแต่ละต้นแบบ เพื่อพิจารณาค่าที่คล้ายกันมากที่สุด การวัดระยะจะถูกนำมาใช้ เช่น Euclidean Distance หรือ Maximum Component Magnitude Distance ดังนั้นต้นแบบที่ใกล้จุด (x,r) มากที่สุดจะถูกพิจารณาให้อยู่ในกลุ่มของค่า (x,r) นั้นๆ



รูปที่ 2.5 แสดงขั้นตอนในการพัฒนาระบบการจำแนกรูปแบบ

ลองสุ่มตัวอย่างจากจำนวนสมาชิกทั้งหมดของวัตถุ และพิจารณาเซตของพีเจอร์เพื่อทำการจัดกลุ่มให้มัน จากนั้นทำการวัดตัวอย่างแบบสุ่มสำหรับการจัดกลุ่ม และเพื่อการสังเกตแต่ละพีเจอร์ของแต่ละตัวอย่างของวัตถุ เพื่อให้ได้พีเจอร์เวกเตอร์ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างเหล่านี้จะเป็น

ตัวแทนของสมาชิกที่สนใจ ทำการแบ่งกลุ่มของพีเจอร์เวคเตอร์และกำหนดชื่อกลุ่มให้แต่ละกลุ่ม ชื่อกลุ่มนี้สามารถถูกใช้ในการตัดสินใจเพื่อกำหนดค่าโดยมนุษย์ได้ทันทีแต่ แต่ปกติมักจะใช้อัลกอริทึมของคอมพิวเตอร์ในการตัดสินใจมากกว่า การเรียนรู้ด้วยตนเองมักจะดีกว่า ในกรณีที่ค่าของพีเจอร์เวคเตอร์ถูกรบกวนมากๆ หรือกลุ่มต่างๆ ไม่เป็นที่รู้จักมากนัก ในหลายๆ กรณีจำนวน k ของกลุ่มมักจะเป็นสิ่งที่ไม่รู้ค่า แต่บางครั้งอาจจะรู้ค่าได้เช่น ค่า $k = 2$ สำหรับลักษณะของเสียหรือไม่เสีย หรือสำหรับเนื้อเยื่อร้ายหรือเนื้อเยื่อดี หรือค่า $k = 3$ สำหรับเส้นขอบแบบแข็ง เส้นขอบแบบอ่อนหรือไม่มีเส้นขอบในการตรวจจับเส้นขอบ (Edge Detector) ของรูปภาพ

หลังจากทำการแบ่งกลุ่มและกำหนดชื่อให้กลุ่มของพีเจอร์เวคเตอร์ตัวอย่างแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการฝึกสอนขบวนการ โดยการเรียนรู้แบบการกำกับดูแล เพื่ออ่านค่าพีเจอร์เวคเตอร์อินพุตจากจำนวนทั้งหมดและให้เอาต์พุตเป็นกลุ่มที่แม่นยำ หรือการจำแนกมันนั่นเอง การจำแนกอาจจะต้องมีขบวนการจัดการข้อมูลดิบก่อนที่จะทำการแยกพีเจอร์พิเศษได้ ตัวอย่างเช่น การทำ FFT ของภาพถ่ายผ่านดาวเทียมเพื่อให้ได้พลังงานที่พอเพียงในย่านความถี่ เช่นค่าของ Texture พีเจอร์สำหรับการจำแนกพื้นที่เพาะปลูก หรือความเร็วลมจากรูปแบบความถี่คลื่นในทะเล

การเลือกพีเจอร์มีความสำคัญมากสำหรับการจัดกลุ่มและการจำแนก [6] ถ้าพีเจอร์ 2 ตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก มันจะมีความแตกต่างของพีเจอร์เวคเตอร์เหมือนกันและเป็นการซ้ำซึ่งกันและกัน ซึ่งสามารถตรวจจับได้ โดยการหาความสัมพันธ์ของพีเจอร์ตัวอย่างทั้งหมด เราสามารถลดจำนวนพีเจอร์เวคเตอร์หนึ่งหรือสองคู่ลงได้ เพื่อให้ได้ชุดค่าสุดท้ายที่สำคัญคือสำหรับทุกคู่ของกลุ่มมันจะมีพีเจอร์อย่างน้อยหนึ่งตัวที่สามารถใช้แยกมันออกจากกันได้ (แม้ว่ามันอาจจะมากกว่าหนึ่งซึ่งแยกพีเจอร์ในแต่ละคู่ของกลุ่มก็ตาม)

2.4 การแบ่งคลัสเตอร์ด้วยอัลกอริทึม k-means

การแบ่งคลัสเตอร์เป็นขบวนการภายในตัวเอง ซึ่งจะแยกกลุ่มตัวอย่างของพีเจอร์เวคเตอร์ให้เป็นคลัสเตอร์ (กลุ่มย่อย) ที่แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจน อัลกอริทึมการแบ่งคลัสเตอร์แบบ k-means เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาโดย [7] และ [8] โดยให้เซตของ Q เป็นพีเจอร์เวคเตอร์ที่ยังไม่มีข้อบ่งชี้ใดๆ เมื่อแต่ละส่วนมีจำนวนพีเจอร์เป็น $x^{(q)} = (x_1^{(q)}, \dots, x_N^{(q)})$ สิ่งที่ต้องการคือการแบ่งกลุ่มเป็นจำนวน k -คลัสเตอร์ เมื่อ k เป็นอินพุตที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานอัลกอริทึม k-means มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เมื่อศูนย์กลางหรือคั่นแบบ ซึ่งแสดงค่ากลุ่มของคลัสเตอร์ ซึ่งเท่ากับค่าเวคเตอร์เฉลี่ยของคลัสเตอร์เหล่านั้น

2.4.1 การทำงานของอัลกอริทึม k-means แบบ Forgy

ขั้นตอนที่ 1: ทำการสุ่มระดับของเวคเตอร์พีเจอร์ Q และ อินพุต K (จำนวนของคลัส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 2: เลือกค่า K อันดับแรกของพีเจอร์เวคเตอร์ Q เป็น Seed (ค่าต้นแบบเริ่มต้นของคลาส)
- ขั้นตอนที่ 3: กำหนดแต่ละเวคเตอร์พีเจอร์ Q ให้ใกล้ที่สุดกับต้นแบบเพื่อสร้าง k คลาส (ใช้ดัชนี $c[q]=k$ เพื่อออกแบบ $X(q)$ ซึ่งอยู่ในคลาส K และนับขนาดคลัสเตอร์ด้วย $S[k]$ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่เวคเตอร์ถูกกำหนดไว้ในคลาส K)
- ขั้นตอนที่ 4: ทำการเฉลี่ยค่าพีเจอร์เวคเตอร์ในแต่ละคลาสเพื่อหาจุดศูนย์กลางของ k ค่าใหม่ ในการเฉลี่ยค่าเวคเตอร์ทั้งหมดในคลาส k โดยใช้เทคนิคต่อไปนี้ เริ่มด้วย $a[n][k]=0.0$ เมื่อ $a[n][k]$ คือค่าของคอมโพเนนท์ n ของคลาส k ซึ่งเป็นเวคเตอร์เฉลี่ยและ $x[n][q]$ คือคอมโพเนนท์ลำดับที่ n^{th} ของ $x^{(q)}$

```

for k=1 to k do // จำแนกแต่ละคลาส k
for n=1 to N do a[n][k]=0.0 // เริ่มต้นทำการเฉลี่ย
for q=1 to Q do // สำหรับคลาส k ที่กำหนดเริ่มหาค่า
if (C[q]==k) then // เวคเตอร์ทั้งหมดในคลาส k
for n=1 to N do // และแต่ละคอมโพเนนท์ n
a[n][k]=a[n][k]+x[n][q] // ผลรวมของคอมโพเนนท์ทั้งหมด
if (S[k]>1) then //
a[n][k]=a[n][k]/s[k] // เฉลี่ยค่าคลัสเตอร์ k

```

- ขั้นตอนที่ 5 : ถ้า {(ครั้งแรกไม่ผ่าน) และ (ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคลาส)} ให้ออกจากโปรแกรม ถ้าไม่ไข่งกลับไปขั้นตอนที่ 3 ด้านบน หลาษาๆ อัลกอริธึม [9] ใช้ k -means เพื่อเริ่มต้นแต่ให้การปรับแต่งบางอย่างเพื่อใช้ช่วยการ Seeding และแสดงให้เห็นว่าการสุ่มของ Seed หลาษาๆ ค่าทำงานได้ดีกว่าการใช้เวคเตอร์ k -means ตัวแรกตัวเดียว เมื่อ [10] ได้แสดงให้เห็นว่าอัลกอริธึมถูกบรรจุเข้ากับค่าต่ำสุดใน Sum-Square-Error

$$E = \sum_{(k=1,K)} \sum_{\{q=k\}} \left\{ \sum_{n=1,N} (x[n][q] - a[n][k])^2 \right\} \quad (2.1)$$

อย่างไรก็ตามตัวอย่าง [11] ได้แสดงให้เห็นว่าไม่มีการรับประกันได้ถึงความสำเร็จในการแบ่งคลัสเตอร์ ซึ่งขึ้นกับค่า k เริ่มต้น

[12] ได้ทำการปรับอัลกอริธึมเพื่อคำนวณค่าจุดศูนย์กลางใหม่ทุกครั้งที่ทำการกำหนดพีเจอร์ในแต่ละคลัสเตอร์ [13] เสนอวิธีการหาค่าสูงสุด (Maximum Method) สำหรับการเลือกเซต

ย่อยของพีเจอร์เวกเตอร์สำหรับค่า Seed [14] ได้ใช้ค่ามัธยฐาน (Medium) ของคลัสเตอร์สำหรับ ต้นแบบ และทำการ Optimized ผลรวมของ Square distance (Error) ในแต่ละคลัสเตอร์

2.4.2 จำนวน k ของคลาสและคลัสเตอร์ที่มีอยู่

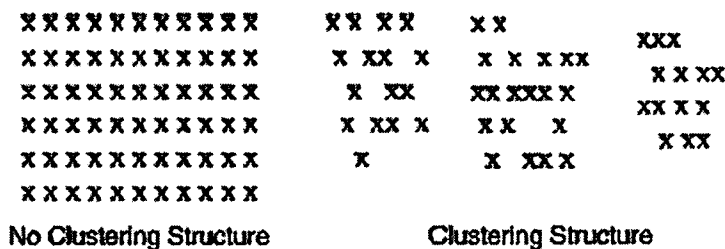
จำนวนของคลาส k อาจจะเป็นค่าที่ไม่รู้มาก่อนดังนั้นเราต้องทำการเรียงลำดับของพีเจอร์เวกเตอร์ Q ใหม่ และทำการแบ่งคลัสเตอร์ซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อหากลุ่มคลัสเตอร์ที่ดีที่สุดในการประมาณค่า $k, k+1, k-1$ ฯลฯ เพื่อหาคลัสเตอร์ที่ดีกว่า แต่เราจะรู้ได้อย่างไรว่าคลัสเตอร์นั้นๆ ที่หาได้จะดีกว่า เราสามารถใช้การวัดคลัสเตอร์ที่หาได้ดังนี้

การวัดอย่างมีเหตุผลเป็นเรื่องที่ยากต่อการแก้ปัญหา [15] แต่จะเป็นปัญหาที่ยากมากขึ้นเมื่อ k เป็นค่าที่ไม่รู้ซึ่งมีหลายค่า ดังนั้นเราจึงใช้ค่าที่ดีที่สุดเพียงค่าเดียวในการแก้ปัญหาการเลือกค่า k

การแบ่งคลัสเตอร์จะเหมาะสมดี ถ้าคลัสเตอร์มีความสัมพันธ์แบบรวมกลุ่ม (Compact) ใกล้กับจุดศูนย์กลางและสัมพันธ์กับการแบ่งแยกที่ดี (จุดศูนย์กลางของสองกลุ่มต้องไม่ใกล้กัน) ให้ σ_k^2 คือค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Variance) ของคลัสเตอร์ลำดับที่ k (ค่าคงที่ k ในสมการ 2.1) ถ้าค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์ไม่มากสำหรับทุกค่าของ k ดังนั้นคลัสเตอร์จะรวมกลุ่มกันซึ่งตรงตามความต้องการ ให้ D_{min} คือระยะทางต่ำสุดระหว่างทุกๆ คู่ในจุดศูนย์กลางของคลัสเตอร์เมื่อจุดศูนย์กลางมีต้นแบบค่าเดียวสำหรับคลัสเตอร์ มันจะตรงตามความต้องการ สำหรับระยะทางที่ใหญ่ขึ้น มากกว่าเล็กน้อยซึ่งกรณีของคลัสเตอร์จะมีการแบ่งแยกที่ดี การวัดค่าคลัสเตอร์อย่างมีเหตุผลแบบ Xie-Bani (XB) มีค่าดังนี้

$$XB = (\sigma_1^2 + \dots + \sigma_k^2) / D_{min} \tag{2.2}$$

การวัดที่ได้ค่าน้อยนี้จะได้คลัสเตอร์ที่ดีกว่า [16] ดังนั้นเราจึงย้าย k ในทิศทางที่จะลดค่า XB ลงจนกระทั่งได้ค่า XB สูงสุด และยอมรับการตอบสนองค่า k รูป 2.6 แสดงเวกเตอร์สองเซตซึ่งรูปหนึ่งคือโครงสร้างของคลัสเตอร์ที่แน่นอน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของข้อมูลพีเจอร์เวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างดังกล่าวจะทำให้เกิดปัญหาจากอัลกอริทึมนี้ ค่า Seed สองค่าเข้าใกล้กันมาก ดังนั้นผลที่จะเกิดจากสองคลัสเตอร์ที่เข้าใกล้กันมากจะถูกรวมเป็นคลัสเตอร์เดียว ขณะที่ Seed ที่ไกลจาก Seed อื่นๆ จะเป็นคลัสเตอร์ใหญ่ซึ่งสามารถแตกออกเป็น 2 คลัสเตอร์หรือมากกว่า วิธีการที่จะปรับปรุงเรื่องนี้ถูกพบโดย [17] โดยใช้วิธี Equalized Universe โดยการหาค่ากริด (Grid) ของ Seed เริ่มต้นและฟังก์ชันสมาชิก Fuzzy-Set รูปประฆัง (Bell Shaped Fuzzy-Set) ซึ่งมีจุดศูนย์กลางในแต่ละชั้นเท่ากับ 25% ซ้อนกันอยู่ แต่จำนวนฟังก์ชันจะโตแบบ Exponentially ด้วยจำนวนของขนาดของมัน วิธีการของ [18] จะมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแบบภูเขาของ [19] ซึ่งผลรวม Gaussians ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่บนพีเจอร์เวคเตอร์เพื่อสร้างผลรวมของฟังก์ชันรูปภูเขา (Mountain Function) ซึ่งทำให้ค่า Variant ของ Parzen Windows (ผลรวมของค่าเกาส์) อย่างไรก็ตามวิธีการทั้งหลายเหล่านี้จะยังต้องใช้การคำนวณราคาสูงอยู่



บทที่ 3

ลักษณะและคุณสมบัติของลายน้ำดิจิทัล

3.1 ความเป็นมาของแนวคิดการสร้างลายน้ำ

เทคนิคการซ่อนลายน้ำมีหลักการพื้นฐานอยู่บนหลายๆ สาขาการวิจัย เช่น สเตเกโนกราฟี คริปโตกราฟี ทฤษฎีการสื่อสาร และการประมวลผลสัญญาณ

สเตเกโนกราฟี เป็นศาสตร์ของการซ่อนข้อมูลข่าวสารในการสื่อสาร ซึ่งยังคงมีอยู่ในการสื่อสารปัจจุบัน ต่างจากคริปโตกราฟีที่ตั้งใจทำให้ข่าวสารนี้ไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถอ่านออกได้ จุดหมายของสเตเกโนกราฟีคือการซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัย ซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากที่จะตรวจหาได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับปรากฏซ่อนอยู่ภายใน ซึ่งคล้ายคลึงกับการซ่อนลายน้ำดิจิทัลในปัจจุบัน [20] โดยหนึ่งในเอกสารแรกๆ ที่บรรยายเกี่ยวกับเทคนิคสเตเกโนกราฟี คือพงศาวดารของ Herodotus เรื่องมีอยู่ว่า Demeratus ต้องการที่จะเตือน Sparta ว่า Xerxes มุ่งหมายที่จะบุกรุกดินแดนของกรีก โดยส่งข่าวสารด้วยวิธีเคลือบขี้ผึ้งไว้ที่บางส่วนของแผ่นปapyrus ที่ใช้สำหรับเขียนหนังสือ แล้วขูดขี้ผึ้งออกจากแผ่นปapyrus และเขียนข่าวสารไว้บนไม้ จากนั้นก็ปิดทับด้วยแผ่นปapyrus ที่เคลือบด้วยขี้ผึ้ง จึงนำผ่านทหารยามไปได้โดยง่าย อีกเรื่องหนึ่ง มีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ทำการ โกงผมทาสของเขาออกและสักข่าวสารไว้บนหัวของทาสผู้นั้น หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้นปกปิดข้อความเหล่านั้น Histiaeus ก็ส่งทาสผู้นี้ไปยังเป้าหมายของเขาโดยสั่งให้โกนหัวทาสผู้นั้นด้วย

สำหรับเทคนิคอีกแบบหนึ่ง คือคริปโตกราฟี คือการที่ผู้ส่งสามารถบิดเบือนข้อมูลในการส่ง เพื่อป้องกันการขโมยข้อมูลจากนักเจาะระบบ ส่วนผู้รับก็ต้องมีความสามารถในการแปลงข้อมูลที่บิดเบือนนั้นให้กลับเป็นข้อมูลเดิมที่ผู้ส่งต้องการส่งมาให้ได้ [21] Caesar Cipher เป็นอัลกอริทึมแบบกุญแจสมมาตร (Symmetric key) แบบง่ายๆ 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 อักษรแต่ละตัวจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษรที่ใช้แทนที่ที่ไม่ซ้ำกัน ดังนั้นวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพมากกว่า Caesar Cipher และมีความเป็นไปได้ในการจับคู่อักษรได้ถึง $25!$ หรือ 10^{26} ถ้านักเจาะระบบต้องการจะขโมยข้อมูลก็จะต้องใช้เวลานานมากในการค้นหาคู่อักษร แต่จากการวิเคราะห์ภาษาแล้ว อาจจะมีอักษรบางตัวที่ปรากฏบ่อยมาก เช่น 13% เป็น e และ 9% เป็น t และยังมีชุดอักษรที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ เช่น in, it, the, on ทำให้การขโมยข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น และถ้านักเจาะระบบรู้ว่าคำบางคำจะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ก็จะทำให้การถอดรหัสง่ายขึ้นอีก

ตัวอย่างเหตุการณ์เบื้องต้นทั้ง 3 แบบ [22] ถูกใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยแบบเก่าโดยได้ทำการศึกษาแต่ละแบบอย่างย่อๆ ทีละแบบ และตรวจสอบความบกพร่องของเทคนิคที่ใช้อยู่ ในการปกป้องข้อมูลมัลติมีเดีย เริ่มต้นด้วยการศึกษาปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ ซึ่งก็คือการทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือการนำข้อมูลดิจิทัลไปขายเพื่อผลทางการค้า ความง่ายในการคัดลอกข้อมูลศักยภาพในการคัดลอกได้เหมือนจริงรวมทั้งการใช้สื่อดิจิทัลในการสร้างข้อมูลและเผยแพร่ข้อมูลอย่างแพร่หลายทำให้การละเมิดลิขสิทธิ์ เป็นปัญหาสำคัญในระบบความปลอดภัยของข้อมูล

3.2 เทคโนโลยีการซ่อนลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลจะใช้เพื่อการแสดงความเป็นเจ้าของสิ่งต่างๆ 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 หรืออาจจะนำมาใช้

ในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต (E-Commerce) เพื่อที่ป้องกันมิให้รูปภาพที่มีการเผยแพร่หรือจำหน่ายถูกคัดลอกและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย เพราะบุคคลที่จะทำการคัดลอกก็ย่อมที่จะกลัวการถูกติดตามและฟ้องร้อง อันเนื่องมาจากลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในตัวรูปภาพ นอกจากนี้การใช้ภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีค่าธรรมเนียมกระวางมากขึ้นด้วย เพราะหากเจ้าของภาพนั้นมาพบและพิสูจน์โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในภาพถึงความเป็นเจ้าของได้ 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 เมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลได้ถูกลดรหัสออกมา ความปลอดภัยของข้อมูลนั้นก็ลดลง เนื่องจากข้อมูลสามารถถูกคัดลอกภายหลังขั้นตอนที่ผ่านการลดรหัสแล้ว ซึ่งจะไม่สามารถป้องกันปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นได้เลย ดังนั้นเราอาจนำเทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสเพื่อให้ข้อมูลมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น เมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลถูกลดรหัสออกมาแล้ว ตัวข้อมูลยังคงถูกป้องกันเอาไว้อีกชั้นหนึ่งจากการซ่อนลายน้ำดิจิทัล ดังนั้นหลังจากขั้นตอนการลดรหัสถ้ามีการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูลเกิดขึ้น เราจะสามารถหาตัวบุคคลที่จะทำความผิดนั้นได้ เพราะข้อมูลที่ถูกคัดลอกไป จะยังคงมีลายน้ำดิจิทัลติดอยู่ด้วยเช่นเดียวกับข้อมูลต้นฉบับที่ถูกคัดลอก เพราะฉะนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีการตรวจพบข้อมูลที่ถูกละเมิดลิขสิทธิ์ลายน้ำภายในข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อตามรอยย้อนกลับไปที่หาว่าข้อมูลที่ถูกคัดลอกนั้น เป็นข้อมูลที่ถูกเผยแพร่ให้กับลูกค้าคนไหน แนวความคิดเช่นนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลของข้อมูลมัลติมีเดียปัจจุบัน

การสื่อสารในวงกว้างของข้อมูลสื่อผสมทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปกป้องข้อมูลสื่อผสมจากการลอกเลียนแบบและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

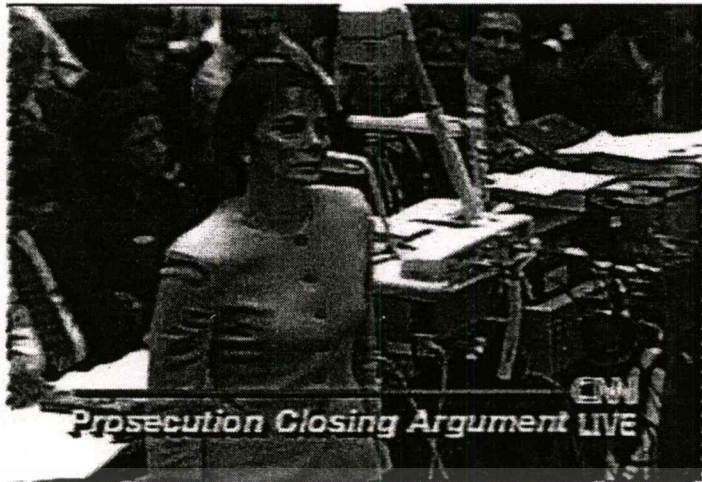
ขโมยและการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาเป็นไปโดยง่าย ระบบรักษาความปลอดภัยที่มีอยู่สำหรับการทำธุรกิจด้านข้อมูลจะช่วยรักษาความปลอดภัยให้กับช่องทางการสื่อสารระหว่างสองฝ่าย เทคนิคเหล่านี้นำเอาเครื่องมือรักษาความปลอดภัยที่ติดตั้งไว้มาควบคุมการเรียกใช้ข้อมูล การเข้ารหัส และการตรวจสอบข้อมูลภายใต้ข้อตกลง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการซื้อขายข้อมูลแบบดิจิทัล ปัญหาเกี่ยวกับของแท้ และความเป็นเจ้าของก็มักจะตามมาแต่นี้ไม่ใช่ปัญหาสำคัญสำหรับระบบอนาล็อก เพราะในระบบอนาล็อกนั้นการคัดลอกข้อมูลลงในฟิล์ม เทป และ VHS วิดีโอ จะมีคุณภาพไม่ตีเท่าต้นฉบับ ซึ่งข้อจำกัดเกี่ยวกับคุณภาพของเนื้อหาเนื้อสามารถช่วยป้องกันการเผยแพร่และเสนอขายข้อมูลที่ผิดกฎหมายได้ ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลดิจิทัลสามารถคัดลอกและเก็บไว้ได้อย่างสะดวกสบาย ซึ่งทำให้บทบังคับเกี่ยวกับลิขสิทธิ์และการใช้ข้อมูลสามารถทำได้ยากลำบาก ยิ่งไปกว่านั้น ขณะนี้ยังไม่มีกลไกใดๆ ที่สามารถตรวจหาการลอกเลียนแบบและการดัดแปลงเนื้อหาอย่างผิดกฎหมายได้เลย ปัญหาใหม่ๆ เกี่ยวกับความปลอดภัยของข้อมูลสื่อผสมเหล่านี้ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยระบบรักษาความปลอดภัยแบบกระจายอย่างเดิมได้

3.3 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล

การทำลายน้ำดิจิทัล เป็นวิธีเสมือนกับวิธีการที่จิตรกรที่มีฝีมือในอดีตใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของต่อรูปภาพ โดยพวกเขาจะใส่สัญลักษณ์ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของตนเองไว้ในตัวรูปภาพ โดยสัญลักษณ์ที่ใส่เข้าไปนั้นอาจจะมีลักษณะที่มองเห็นได้หรือไม่ก็ได้ ดังนั้นแนวคิดของการทำลายน้ำดิจิทัลจึงเป็นการใส่สัญลักษณ์ที่มีลักษณะเฉพาะเข้าไปในตัวข้อมูลรูปภาพ ซึ่งสัญลักษณ์ดังกล่าวจะแสดงถึงความเป็นเจ้าของต่อข้อมูลนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวเราอาจแบ่งประเภทของลายน้ำดิจิทัลออกเป็น 2 ชนิดได้ คือ ลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark)

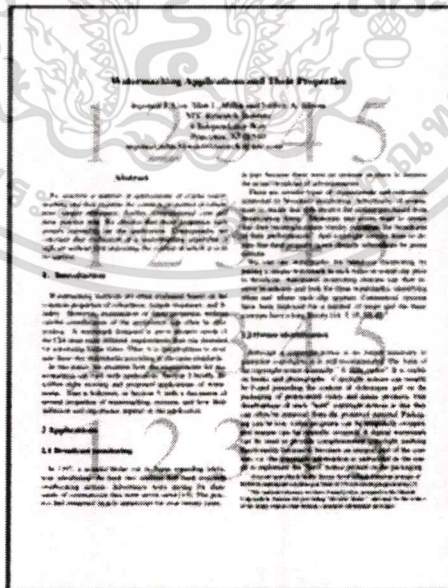
3.3.1 ลายน้ำแบบมองเห็นได้

ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ถูกออกแบบมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของผลงานในสื่อชนิดต่างๆ เช่นภาพถ่าย โดยตัวลายน้ำนี้จะมีลักษณะเป็นภาพซ้อนที่ถูกใส่เข้าไปในรูปภาพหลัก โดยเมื่อใส่เข้าไปแล้วตัวลายน้ำควรจะลดทอนคุณภาพของภาพหลักที่มีอยู่ให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ก็คือ โลโก้หรือตราประทับขององค์กร ซึ่งจะแสดงถึงสิทธิความเป็นเจ้าของได้อย่างดี ในทำนองเดียวกันกับการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ตรงมุมล่างขวาของหน้าจอโทรทัศน์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การใส่ลายน้ำดิจิทัลด้วยการคิดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN

การใส่ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้นั้นจะทำให้โดยการเขียน เติม หรือแทรกตัวข้อมูลที่ต้องการลงไปในตัวรูปภาพโดยตรง ซึ่งประโยชน์ของการทำลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ก็คือ เป็นการแสดงสิทธิ์ความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมัลติมีเดียชิ้นนั้นๆ บุคคลทั่วไปที่พบเห็นจะสามารถรู้ได้โดยทันทีว่าภาพนั้นๆ เป็นของผู้ใด นอกจากนี้ยังเป็นการยับยั้งการกระทำที่จะเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นๆ เช่น ความยากลำบากในการที่จะนำลายน้ำออกจากตัวรูปภาพก่อนที่จะนำไปเผยแพร่อย่างมิชอบ รูปที่ 3.2 ได้แสดงตัวอย่างของเอกสารที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้



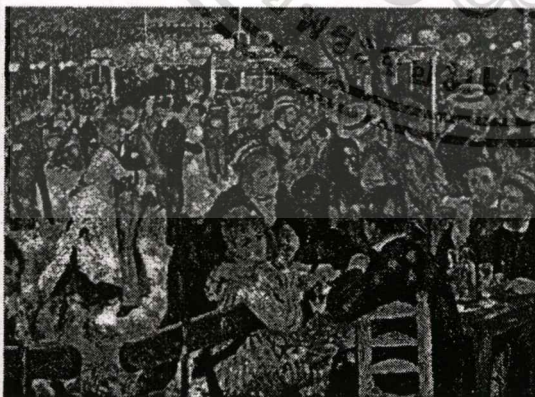
รูปที่ 3.2 การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในเอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้

การทำลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ จะเป็นกระบวนการที่เจ้าของข้อมูลทำการใส่สัญญาณลายน้ำลงไปในตัวข้อมูลภาพ ซึ่งในกระบวนการใส่ลายน้ำจะใช้กุญแจรหัสลับเป็นส่วนประกอบในการเข้ารหัสสัญญาณ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงแก้ไขจากบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยผู้ที่เป็นเจ้าของภาพเท่านั้นที่รู้กุญแจรหัสลับนี้ ดังนั้นบุคคลอื่นจึงไม่สามารถล่วงรู้ถึงสิ่งที่ซ่อนอยู่ภายในรูปภาพนั้นๆ ได้ แม้ว่าบุคคลนั้นจะรู้กลไกการทำงานในการใส่และถอดสัญญาณลายน้ำออกก็ตาม รูปที่ 3.3 (ก) เป็นภาพต้นฉบับ ซึ่งเมื่อผ่านการทำลายน้ำภาพดิจิทัลที่ไม่สามารถมองเห็นได้แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.3 (ข) โดยภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นฉบับเล็กน้อย ซึ่งเราแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าหากเรานำภาพมาพิจารณาอย่างละเอียด ก็จะพบว่าในความเป็นจริงแล้วภาพทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันอยู่ และจะมีเพียงผู้ที่เป็นเจ้าของข้อมูลเท่านั้นที่จะสามารถนำสัญญาณลายน้ำออกมาจากภาพดังกล่าวนี้ๆ ได้

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



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ (ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ

องค์ประกอบที่นำมาใช้ในการแยกประเภทนอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จุดประสงค์ในการใช้งานยังอาจนำมาใช้ในการแบ่งแยกประเภทของลายน้ำภาพดิจิทัลได้อีกด้วย เช่น ความทนทานในการใช้งานของสัญญาณลายน้ำซึ่งอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ เทคนิคที่มุ่งไปที่ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robust Watermarking) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ตัวข้อมูลจะมีความทนทานต่อการโจมตีแบบต่างๆ ลายน้ำประเภทนี้จะมีความเหมาะสมในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูล เนื่องจากความยากลำบากในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขทำลายสัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในนั่นเอง

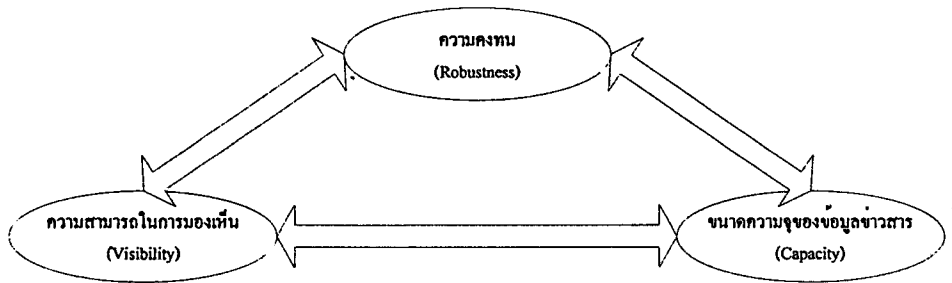
ประเภทที่สองคือเทคนิคที่มุ่งไปที่ ความเปราะบางของสัญญาณลายน้ำ (Fragile watermarking) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในตัวข้อมูลจะมีความไวและเสียหายง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแม้เพียงเล็กน้อย เช่นถ้าข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่ในถูกเปลี่ยนหรือแก้ไข สัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในก็จะเสียหายจนตรวจสอบไม่ได้ ลายน้ำประเภทนี้จะมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่าเป็นของแท้ที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ มาก่อน สำหรับวิธีการทำงานของเทคนิคดังกล่าว รวมทั้งรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติม ได้จาก [23]

3.4 คุณสมบัติสำคัญของลายน้ำภาพดิจิทัล

ในประเด็นของปัญหาการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคงทน (Robustness) ความสามารถในการมองเห็น (Visibility) และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร (Capacity) ดังรูปที่ 3.4 โดยค่าความคงทนนั้นเป็นความสามารถของข้อมูลข่าวสารที่ถูกใส่ลงในภาพและภาพนั้นทนต่อการตัดแปลงแก้ไขภาพอาจจะ โดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ อีกสิ่งหนึ่งที่น่าสนใจในการซ่อนข้อมูลข่าวสารนั้นก็คือ ความสามารถในการมองเห็นหรือ ความโปร่งใส (Transparency) โดยข่าวสารที่ซ่อนลงไปไม่ควรสังเกตเห็นความแตกต่างได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นฉบับ และสุดท้ายคือ ความจุของข้อมูลข่าวสารที่สามารถใส่ลงในรูปภาพ ในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นอย่างมาก [24]

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิทัลมีข้อกำหนดมากมายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ใช้งานในแต่ละชนิด ดังนั้นข้อกำหนดบางข้ออาจจะไม่มีในเทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิค อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำภาพดิจิทัลส่วนใหญ่ก็มีข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

มีความโปร่งใส (Transparency) อัลกอริทึมการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลต้นแบบหรือกล่าวอีกอย่างก็คือลายน้ำไม่ควรจะมองเห็นได้



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็นและความจุข้อมูลข่าวสาร

มีความคงทน (Robustness) เมื่อภาพที่มีลายน้ำถูกโจมตีโดยวิธีการประมวลผลสัญญาณต่างๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นรวมถึงการบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสียสัญญาณภาพบางส่วน วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ข้อมูลลายน้ำหายไปหรือถูกทำลายได้ แม้ข้อมูลลายน้ำบางส่วนจะหายไป ข้อมูลที่คงอยู่ต้องชัดเจนพอที่จะระบุเจ้าของที่แน่นอนได้

มีความปลอดภัย (Security) เทคนิคการทำลายน้ำในภาพต้องมี “ความปลอดภัย” ถึงแม้ว่าจะรู้อัลกอริทึมที่แท้จริงในการฝังหรือการแยกลายน้ำ บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตก็ไม่สามารถลบลายน้ำทิ้งไปได้ นอกจากเจ้าของผลงานเอง

การทำลายข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในภาพอาจทำได้ต่อเมื่อภาพถูกโจมตีด้วยวิธีการใดๆ จนคุณภาพของภาพลดต่ำลงจนไม่อาจใช้การใดๆ ได้อีก

3.5 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำคือการทำให้ข้อมูลลายน้ำซึ่งถูกฝังในภาพเกิดความเสียหาย โดยอาจเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ รวมถึงในกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพซึ่งข้อมูลลายน้ำในภาพถูกกระทำจนทำให้ลายน้ำลบเลือน หรือเกิดความเสียหายที่เกิดจากการโจมตีของผู้ประสงค์ร้าย ทำให้เกิดความต้องการลายน้ำที่มีความทนทานต่อการโจมตีต่างๆ เป็นอย่างมาก ลายน้ำที่ดีควรมีความทนทานต่อข้อกำหนดความคงทนเบื้องต้น ในหลายๆ บทความ [25, 26] การโจมตีลายน้ำได้แบ่งออกไปหลายแนวทางและที่นิยมแบ่งกันมีด้วยกัน 3 หัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้

3.5.1 การบีบอัดแบบ JPEG

เป็นการประมวลผลสัญญาณที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุดอัลกอริทึม JPEG จะทำการจำกัดส่วนที่มองเห็นได้ที่ไม่สัมพันธ์ในภาพ ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของลายน้ำ JPEG เป็นอัลกอริทึมการบีบอัดที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุดตัวหนึ่ง และระบบการทำลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรจะยึดหยุ่นกับระดับการบีบอัด ระดับการบีบอัดถูกควบคุมโดยแฟกเตอร์คุณภาพ นั่นคือ 90, 80, 70, ..., 10% แม้ว่าการบีบอัดภาพกับแฟกเตอร์คุณภาพต่ำไม่นิยมทำในเชิงพาณิชย์ แต่ระบบการฝังลายน้ำบางระบบยังคงใช้วิธีอยู่ ด้วยเหตุนี้การใช้ขนาดสเกลพารามิเตอร์การบีบอัดภาพ จึงยังให้การเปรียบเทียบที่ได้ประสิทธิภาพมากกว่า

3.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

มุ่งไปที่การเปลี่ยนลักษณะของภาพ โดยไม่มีการสูญเสียในเรื่องของคุณภาพ มีดังนี้ การย่อหรือขยายขนาดภาพ (Resizing) ขนาดของภาพถูกเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับต้นแบบ ซึ่งจะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวซึ่งจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping) เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ซึ่งทำให้มีผลกับอัลกอริทึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณาเกี่ยวกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป ถ้าหากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นแบบ ซึ่งทำให้เราไม่สามารถรู้ได้ว่าเกิดจากการตัดบางส่วนของภาพนี้ออกจากตำแหน่งใดจากภาพต้นแบบ ในกรณีที่ไม่มีภาพต้นแบบในการเปรียบเทียบหากมีการเคลื่อนย้ายส่วนย่อยของภาพที่ถูกค้นออกมาไปไว้ยังตำแหน่งอื่น การเคลื่อนย้ายภาพนี้จะมีผลต่ออัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

การหมุนภาพ (Rotation) เป็นกรณีที่สำคัญที่สุดหากพิจารณาในกรณีที่หมุนภาพไป 90 และ 180 องศา ซึ่งเหมือนกับปัญหาที่พบในการย่อหรือขยายขนาดของภาพ

การกลับด้านของภาพ (Flipping) คือเมื่อสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

3.5.3 การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณมีหลายประเภท ได้แก่

การปรับความสว่างและความแตกต่าง (Brightness and Contrast Enhancement) โดยทั่วไปแล้วไม่ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจหาลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม การปรับปรุงแบบนี้มักจะทำการก่อนการตรวจหา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า [24]

การปรับความคมชัด การทำให้เลือน การกรองแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Sharpening, Blurring, Linear and Non Linear Filtering) ถ้าทำแบบนี้ซ้ำหลายๆ ครั้ง สามารถทำให้ลายน้ำเสื่อมลงไปได้ แต่ในกรณีนี้ สิ่งที่ทำให้มีการลดคุณภาพของภาพไปอย่างมาก คือตัวกรองภาพที่เรียกว่า Despeckle ซึ่งมีกระบวนการแบบปรับเปลี่ยนได้ โดยลดรายละเอียดของภาพแบบสุ่มมากขึ้นน้อยต่างกันไปโดยยังคงรายละเอียดของภาพไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบคอรีเลทและแบบไม่เป็นคอรีเลท (Addition of Correlated or Uncorrelated noise) เข้าไปในเนื้อหาที่มีลายน้ำอยู่

การแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลและดิจิทัลเป็นอนาลอก เช่นการพิมพ์ และการสแกน หรือ การบันทึกเทป

3.6 การประเมินระบบลายน้ำ

ผู้คนส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับระบบลายน้ำจำเป็นต้องหาวิธีการประเมินและเปรียบเทียบวิธีการของตน ซึ่งการแทรกลายน้ำลงในงานต่างๆ จะต้องมีความเหมาะสมที่สุด จึงเกิดการพัฒนาระบบสร้างลายน้ำวิธีใหม่ๆ มากมายและจำเป็นต้องทำการประเมินวิธีการเหล่านั้นว่ามีการปรับปรุงอัลกอริทึมไปอย่างไร การวัดนี้ทำให้เราสามารถลดจำนวนคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละการใช้งานได้อีกด้วย

3.6.1 แนวคิดที่ดีที่สุด

ก่อนที่เราจะทำการประเมินระบบลายน้ำจำเป็นต้องนำแนวคิดของการทำให้ระบบหนึ่งดีกว่าระบบอื่นๆ ได้อย่างไร หรือระดับของสมรรถภาพที่ดีที่สุด ถ้าเราสนใจการใช้ลายน้ำสำหรับการใช้งานเฉพาะเจาะจง การประเมินค่าสำคัญควรขึ้นกับการใช้งานนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำลายน้ำไปแทรกในวีดีโอควบคุมการคัดลอกหรือทำสำเนา เราจะต้องทำการทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อการหมุนภาพด้วยมุมเล็กน้อยซึ่งเป็นรูปแบบการโจมตีภาพแบบหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ความคงทนต่อการหมุนภาพนี้อาจไม่ใช่ประเด็นในการพิจารณาสำหรับการเฝ้าฟังการออกอากาศ เนื่องจากการหมุนนั้นจะไม่เหมือนกันกับสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการออกอากาศ และไม่จำเป็นต้องกังวลกับการโจมตีแบบแอกทีฟ

ถ้าเราสนใจในการทดสอบข้อดีของระบบลายน้ำแบบใหม่ด้วยการเปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่เดิม เราจะทำให้เกิดการยืดหยุ่นในการเลือกเงื่อนไขการทดสอบที่มากขึ้น โดยปกติการแสดงว่าระบบใหม่จะมีการปรับปรุงมากขึ้นเพียงใด ซึ่งคุณสมบัติเบื้องต้นต่างๆ ควรจะมีค่าเท่ากัน เราสามารถแสดงว่าระบบเดิมนั้นมีข้อดีอย่างไร อย่างน้อยในการใช้งานซึ่งคุณสมบัติข้ออื่นๆ มีความสำคัญ

3.6.2 การวัดประสิทธิภาพของลายน้ำ (Benchmarking)

เมื่อเงื่อนไขของการทดสอบที่เหมาะสมถูกนำมาใช้พิจารณา เราสามารถจะทำการพัฒนาวิธีการทดสอบต่อไป ถ้าเราใช้ลายน้ำสำหรับงานต่างชนิดกัน แต่ละเงื่อนไขสามารถถูกนำมาใช้ตามความต้องการขั้นต่ำ สำหรับแต่ละคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และความเหมาะสมของการทดสอบสามารถถูกพัฒนาเพื่อทำการวัดค่า เมื่อระบบตอบสนองกับความต้องการเหล่านั้นได้ การทดสอบทั้งหมดถูกสร้างขึ้น โดยใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์เดียวกันทั้งหมด ทั้งตัวแทรกและตัวตรวจจับลายน้ำ (เช่น การแทรกความยาวของตัวแปร และค่าเธรโซลด์ของตัวตรวจจับ) ตัวอย่างเช่น การทดสอบด้วยโปรแกรมของ CPTWG จะเหมาะสมสำหรับการทดสอบลายน้ำ สำหรับการควบคุมการคัดลอกในเครื่องบันทึก DVD [27]

สำหรับวัตถุประสงค์การสร้างลายน้ำในงานวิจัย สิ่งที่น่าสนใจคือการพัฒนาเครื่องมือวัดประสิทธิภาพแบบครบวงจร เครื่องมือนี้สามารถใช้งานโดยนักวิจัยเพื่อกำหนด “คะแนน” ให้กับระบบลายน้ำที่สร้างได้ ซึ่งสามารถใช้คะแนนนี้ในการเปรียบเทียบกับลายน้ำระบบอื่นๆ ที่นำมาทดสอบได้ วัดดูประสงค์ในการวัดประสิทธิภาพสำหรับระบบลายน้ำสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่ [25]

3.6.3 ขอบเขตของการทดสอบ

โดยปกติระบบลายน้ำจะถูกทดสอบด้วยประเภทของการทำงานส่วนใหญ่ที่มาจากงานแจกจ่ายที่คล้ายกับความต้องการใช้งาน เช่น เราไม่ได้หวังว่าอัลกอริธึมการแทรกภาพลายน้ำที่ใช้กับภาพ “LENA” จะเหมาะสมกับภาพถ่าย X-Ray ภาพถ่ายผ่านดาวเทียม หรือภาพยนตร์การ์ตูน ถ้าระบบถูกทดสอบโดยปราศจากคุณสมบัติการใช้งานในความคิดของเราแล้วงานที่ถูกทดสอบควรจะให้ค่าที่เป็นย่านเหมาะสมกับการใช้งานของเรา

3.7 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอการใช้งานของลายน้ำและติดตั้งในระบบต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ ต่อไปนี้ คือ ลักษณะการใช้งานต่างๆ ของภาพลายน้ำดิจิทัล

- การใช้งานส่วนใหญ่ของลายน้ำสามารถถูกนำไปใช้กับเทคโนโลยีอื่นๆ ได้ อย่างไรก็ตามเทคนิคการแทรกลายน้ำจะมีข้อดี ที่ต่างจากเทคนิคการเข้ารหัสอื่นๆ ดังนี้
 - จะสังเกตเห็นไม่ได้ว่ามีลายน้ำอยู่ (Imperceptible)
 - ลายน้ำจะไม่ถูกถอดออกเมื่องานถูกแสดงหรือถูกแบ่งเป็นรูปแบบอื่นๆ
 - ลายน้ำจะผ่านการแปลงแบบเดียวกันกับงานที่พวกมันได้ฝังอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

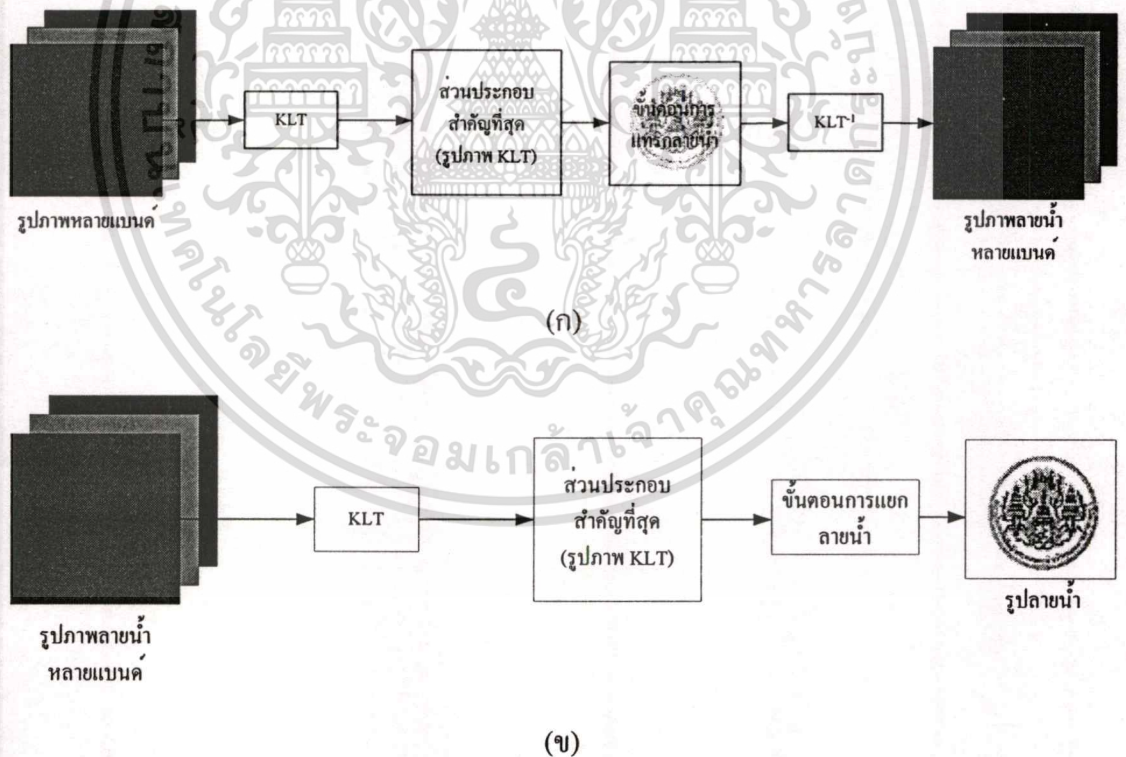
- แนวคิดการใช้งานลายน้ำในแบบต่างๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน
 - การแสดงความเป็นเจ้าของ : การฝังคุณลักษณะของลิขสิทธิ์ในงานให้เป็นลายน้ำ
 - การพิสูจน์ความเป็นเจ้าของ : ใช้ลายน้ำเพื่อแสดงหลักฐานในการเป็นเจ้าของผลงาน
 - การติดตามทางธุรกิจ : ใช้ลายน้ำในการระบุบุคคลซึ่งได้รับสิทธิ์ถูกต้องแต่ทำการเผยแพร่ งานโดยไม่ได้รับอนุญาต
 - การบรรจุ Authentications: การฝังข้อมูลลายเซ็นในงานซึ่งสามารถใช้ตรวจสอบว่าไม่ได้มีการรบกวนลายเซ็นภายหลัง
 - การควบคุมการคัดลอก : ใช้ลายน้ำเพื่อบอกให้อุปกรณ์บันทึกสัญญาณรู้ว่าไม่สามารถบันทึกได้

- คุณสมบัติของลายน้ำที่ต้องการขึ้นอยู่กับการใช้งาน ดังนั้นเงื่อนไขการประเมินที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับการใช้งานลายน้ำว่าอยู่ในประเภทใด
- การหาประสิทธิภาพเป็นเหตุผลในการหาค่าความแตกต่างของระบบลายน้ำ อย่างไรก็ตามไม่มีการหาประสิทธิภาพแบบใดที่สามารถใช้ได้กับทุกการใช้งานของลายน้ำ
- ถ้าระบบลายน้ำถูกปรับปรุงขึ้น ดังนั้นมันจะต้องมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าในคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาแสดงให้เห็นถึงข้อดีของมันเทียบกับคุณสมบัติอื่นๆ ได้

นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการทดสอบความคงทนของลายน้ำที่แทรกในรูปภาพโดยลายน้ำจะต้องไม่ถูกทำลายเสียหายเมื่อผ่านกระบวนการทางดิจิทัลแบบต่างๆ และสุดท้ายการวัดประสิทธิภาพของลายน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก่าว่ามีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่าใด

วิธีการแทรกถ่ายน้ำในภาพดิจิทัลแบบหลายแบนด์

ในการศึกษาวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการแทรกถ่ายน้ำลงในภาพถ่ายดิจิทัลระยะไกลแบบหลายแบนด์ โดยใช้การฝังภาพสัญลักษณ์ลับ 2 มิติแบบไบนารีลงในส่วนที่สำคัญที่สุดของภาพดิจิทัลต้นฉบับแบบหลายแบนด์ ที่เกิดจากการแปลงแบบ KLT จากนั้นทำการแทรกถ่ายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงแบบโคไซน์รีตโคซายน์ทรานฟอร์ม (Discrete Cosine Transform; DCT) โดยลายน้ำจะถูกฝังลงในโดเมนความถี่ของภาพดิจิทัลต้นฉบับ จากนั้นจะทำการแปลง KLT กลับเพื่อสร้างรูปภาพแบบหลายแบนด์ตามโครงสร้างเดิมกลับคืน เพื่อให้สามารถนำภาพไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้เช่นเดิม ดังในรูปที่ 4.1(ก) ส่วนขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำที่ฝังไว้จะทำการหาค่าที่สำคัญที่สุดของภาพก่อนที่จะนำส่วนสำคัญที่สุดของภาพมาทำการตรวจลายน้ำ ดังในรูปที่ 2 (ข) ในส่วนท้ายจะเป็นการตรวจสอบความผิดพลาด และการเปรียบเทียบลายน้ำของภาพสัญลักษณ์ลับที่ทำการฝังไว้ เพื่อให้การวิจัยมีความน่าเชื่อถือ สามารถวัดผลและเปรียบเทียบเพื่อพัฒนาต่อไปได้



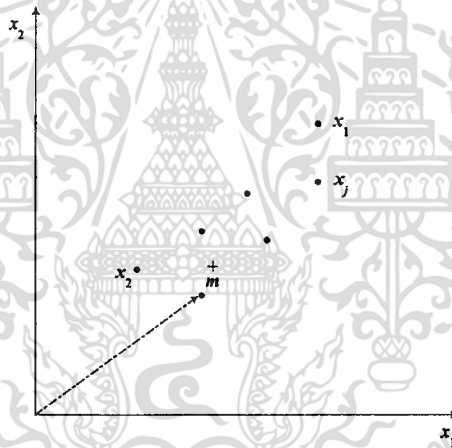
รูปที่ 4.1 (ก) ขั้นตอนในการแทรกถ่ายน้ำลงในภาพดิจิทัลแบบหลายแบนด์

(ข) ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำ

4.1 การลดจำนวนแบนด์ของรูปภาพด้วยวิธี KLT

ภาพ Multispectral หรือภาพแบบหลายมิติ เป็นรูปแบบโดยธรรมชาติของข้อมูลสำรวจระยะไกล ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้โดยสะดวก ด้วยการคิดค้นระนาบเวกเตอร์ที่มีหลายแกน หรือหลายมิติของส่วนประกอบในแต่ละชั้นของมัน ซึ่งถูกจัดไว้ในแต่ละพิกเซล เช่น ในกรณีข้อมูลของ LANDSAT Multispectral ตัวสแกน (Scan) จะมีขนาดระนาบ 4 มิติ แต่ละพิกเซลของภาพเหล่านั้นจะถูกพล็อตเป็นจุดในแต่ละระนาบ ซึ่งเป็นพิกัดที่สอดคล้องกับค่าความสว่างของพิกเซลในแต่ละชั้นของภาพ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ หัวข้อนี้จะกล่าวถึงภาพที่มีระนาบ 2 มิติ เพื่อง่ายต่อการเข้าใจและทำให้สมการคณิตศาสตร์ง่ายต่อการพิจารณา โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะนำไปใช้กับข้อมูลของแต่ละมิติ

4.1.1 เวกเตอร์เฉลี่ย และเมทริกซ์ Covariance



รูปที่ 4.2 ระนาบในระบบ Multispectral แบบ 2 มิติ ซึ่งแสดงพิกเซลที่ไม่ขึ้นต่อกันและตำแหน่งของค่าเฉลี่ยที่แสดงค่าโดยเวกเตอร์ m

ตำแหน่งของจุดพิกเซลในระบบ Multispectral สามารถอธิบายได้โดยเวกเตอร์ ส่วนประกอบของพวกมันจะแยกกันตอบสนองอย่างอิสระในแต่ละแบนด์ ซึ่งโดยแท้จริงแล้วเวกเตอร์เหล่านี้ถูกวาดมาจากจุดเริ่มต้นไปยังพิกเซลนั้นๆ แต่แนวคิดนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้จริงๆ พิจารณาระนาบ Multispectral เป็นจำนวนขนาดใหญ่ของพิกเซลที่ถูกพล็อต ดังในรูปที่ 4.2 ซึ่งแต่ละพิกเซลถูกกำหนดตำแหน่งไว้ด้วยเวกเตอร์ x ตำแหน่งค่าเฉลี่ยของพิกเซลในระนาบถูกหาค่าโดยค่า Expectation ของพิกเซล เวกเตอร์ x ซึ่งมีค่าดังนี้

$$m = E(x) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j \quad (4.1)$$

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

ขณะที่เวกเตอร์เฉลี่ยจะถูกใช้เพื่อกำหนดค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่ง Expectation ของพิกเซลในระนาบ Multispectral เวกเตอร์ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่มีอยู่ในแต่ละการแพร่กระจายที่ถูกอธิบายไว้ เป็นค่าเมทริกซ์ Covariance ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\sum_x = E \left\{ (x_j - m)(x_j - m)' \right\} \quad (4.2a)$$

เมื่อ t คือทราน โปส (Transpose) เวกเตอร์ การประมาณค่าที่ไม่มี การไบอัสของเมทริกซ์ Covariance จะเป็น

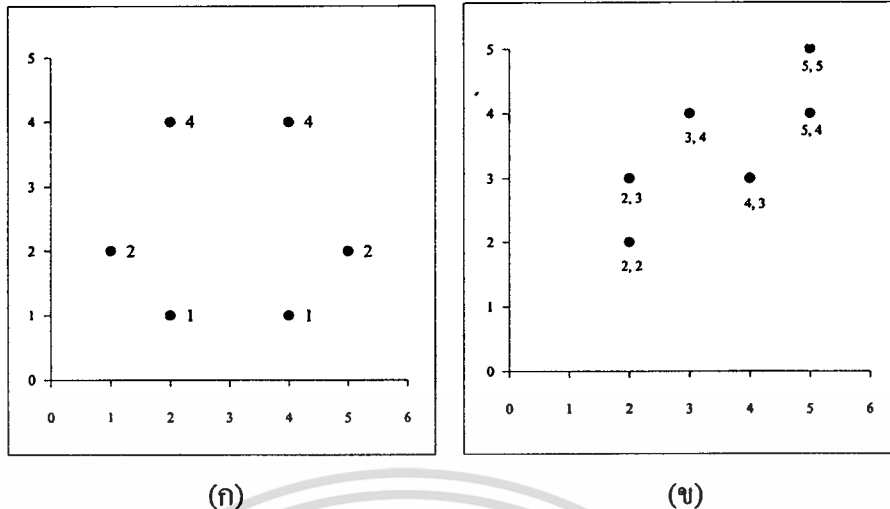
$$\sum_x = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (x_j - m)(x_j - m)' \quad (4.2b)$$

ค่า Covariance เมทริกซ์เป็นหนึ่งในแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจระบบไกลแบบ multispectral เป็นผลของแต่ละค่าที่พิจารณาตัวอย่างที่หาค่าเพื่อทำให้คุณสมบัติของมันถูกทำให้สำคัญมากขึ้น กรณีนี้จะเห็นว่าถ้ามีความสัมพันธ์กันระหว่างการตอบสนองในกลุ่มของแบนด์ในแต่ละชั้นของภาพ ผลการตอบสนองแบบ Off-diagonal ใน Covariance เมทริกซ์ จะมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับเทอม diagonal อีกนัยหนึ่ง ถ้ามีความสัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อยเทอม Off-diagonal จะมีค่าใกล้ศูนย์ลักษณะเช่นนี้สามารถอธิบายได้ในเทอมของเมทริกซ์ความสัมพันธ์ R ซึ่งแต่ละอีลิเมนต์ของมันจะมีความสัมพันธ์กับ Covariance เมทริกซ์ดังกล่าวโดย

$$Q_{ij} = v_{ij} / \sqrt{v_{ii} v_{jj}} \quad (4.3)$$

เมื่อ Q_{ij} คือค่าอีลิเมนต์ของ Covariance 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 Q_{ij} จะใช้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ i และแบนด์ j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ก) ข้อมูล 2 มิติแสดงความไม่สัมพันธ์กันระหว่างคอมโพเนนต์ และ (ข) แสดงค่าความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างคอมโพเนนต์

พิจารณาเซตขนาด 2 มิติของข้อมูล ในรูปที่ 4.3 ซึ่งรูปที่ 4.3(ก) แสดงความสัมพันธ์กันเล็กน้อยระหว่างคอมโพเนนต์ 2 ตัว ในทางกลับกัน คอมโพเนนต์ทั้งคู่จำเป็นต้องกำหนดเมื่อพิกเซลถูกเรียงในระนาบ ข้อมูลในรูปที่ 4.3(ข) แสดงค่าความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างคอมโพเนนต์ 2 ชุด หลักฐานคือการกระจายของข้อมูลที่มุม ไปยังแกน หนึ่งในมิติของมันจะเป็นค่าสำคัญที่สุดที่ใช้ทำนายว่าพิกเซลเรียงตัวแบบใดในระนาบและการเพิ่มหรือลดลงในแต่ละคอมโพเนนต์จะเป็นตัวบอกการเริ่มต้นหรือลดลงในพิกเซลอื่นๆ ซึ่งไม่เหมือนกับรูป 4.3(ก) ในเทอมของค่าเฉลี่ยที่ต่างกันตามแบนด์ของข้อมูล multispectral ความสัมพันธ์ที่มากกว่าดังรูป 4.3(ข) จะทำให้ส่วนประกอบของรูปภาพมีความคล้ายกันมากในการปรากฏของมัน เช่น เมื่อแบนด์หนึ่งมีค่าน้อยกว่าแบนด์อื่นๆ จะมีค่าน้อยเป็นต้น ส่วนประกอบของภาพการตอบสนองในรูปที่ 4.3(ก) จะไม่ได้แสดงความคล้ายกันในแต่ละแบนด์เหมือนรูปที่ 4.3(ข)

ตาราง 4.1 แสดงตัวอย่างเซตของการคำนวณด้วยมือเพื่อใช้หาค่า Covariance และ เมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์สำหรับ รูปที่ 4.3(ก) โดยปกติจะใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ โดยเฉพาะข้อมูลที่มีระนาบมิติมากกว่านี้ จากเมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างแต่ค่าส่วนประกอบของข้อมูล ซึ่งเรารู้ว่ามันจะมีค่าเป็น off-diagonal เป็นศูนย์ ใน Covariance เมทริกซ์ได้ค่า 2.40 ในช่องบนซ้ายของ Covariance เมทริกซ์ ซึ่งแสดงค่าสำคัญที่ชี้ไปที่ข้อมูล 2.40 ตามแกนนอนหรือค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 1.55 เท่าของค่าเฉลี่ย เช่นเดียวกับค่า Variance และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวตั้งคือ 1.87 และ 1.37 ตามลำดับ

สำหรับข้อมูลในรูปที่ 4.3(ข) แสดงเซตที่มีลักษณะเดียวกันในการคำนวณจากตาราง 4.1 ซึ่งมีค่า

$$m = \begin{bmatrix} 3.05 \\ 3.50 \end{bmatrix} \quad \sum_x \begin{bmatrix} 1.900 & 1.100 \\ 1.100 & 1.100 \end{bmatrix}$$

และ

$$R = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.761 \\ 0.761 & 1.000 \end{bmatrix}$$

ตาราง 4.1 การคำนวณค่า Covariance และเมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์

เวกเตอร์เฉลี่ยคือ $m = \begin{bmatrix} 3.00 \\ 2.33 \end{bmatrix}$

x	$x-m$	$[x-m][x-m]^t$
[1]	[-2.00]	$\begin{bmatrix} 4.00 & 0.66 \\ 0.66 & 0.11 \end{bmatrix}$
[2]	[-0.33]	$\begin{bmatrix} 1.00 & 1.33 \\ 1.33 & 1.77 \end{bmatrix}$
[2]	[-1.00]	$\begin{bmatrix} 1.00 & -1.33 \\ -1.33 & 1.77 \end{bmatrix}$
[1]	[-1.33]	$\begin{bmatrix} 4.00 & -0.66 \\ -0.66 & 0.11 \end{bmatrix}$
[4]	[1.00]	$\begin{bmatrix} 1.00 & 1.67 \\ 1.67 & 2.79 \end{bmatrix}$
[1]	[-1.33]	$\begin{bmatrix} 1.00 & -1.67 \\ -1.67 & 2.79 \end{bmatrix}$
[5]	[2.00]	$\begin{bmatrix} 2.40 & 0 \\ 0 & 1.87 \end{bmatrix}$
[2]	[-0.33]	$\begin{bmatrix} 1.00 & 0 \\ 0 & 1.00 \end{bmatrix}$
[4]	[1.00]	
[4]	[1.67]	
[4]	[-1.00]	
[2]	[1.67]	

ดังนั้น $\sum_x = \begin{bmatrix} 2.40 & 0 \\ 0 & 1.87 \end{bmatrix}$

และ $R = \begin{bmatrix} 1.00 & 0 \\ 0 & 1.00 \end{bmatrix}$

เมื่อ R คือเมทริกซ์สัมพันธ์

ดังนั้นคอมโพเนนต์ 1 และ 2 ของข้อมูลจะมีความสัมพันธ์กันเท่ากับ 76%

ซึ่งควรจะถูกระบุไว้ว่าค่าเมทริกซ์ Covariance และค่าความสัมพันธ์ทั้งคู่เป็นสมมาตรกัน และเซตข้อมูลของรูปภาพก็ต้องสมมาตรกันด้วย ซึ่งจะทำให้ไม่มีความสัมพันธ์กันในระหว่างคอมโพเนนต์ต่างๆ ของ Multispectral ซึ่งมีเมทริกซ์ diagonal Covariance (และค่าความสัมพันธ์)

4.1.2 ค่าความสัมพันธ์เป็นศูนย์ การแปลงโดยการหมุน (Rotational Transform)

ค่าความสัมพันธ์เป็นศูนย์การแปลง โดยการหมุนเป็นพื้นฐานเพื่อการพัฒนาของการแปลง ส่วนประกอบที่สำคัญ เพื่อค้นหาว่าระบบพิกัดใหม่ในระนาบเวกเตอร์ Multispectral ของข้อมูลจะถูกแสดงอย่างไร โดยปราศจากความสัมพันธ์กันหรืออีกนัยหนึ่ง เมื่อเมทริกซ์ Covariance ในระบบพิกัดใหม่คือค่า Diagonal สำหรับระนาบเวกเตอร์ 2 มิติ เช่น ระบบพิกัดใหม่ในรูปที่ 4.4 ถ้าเวกเตอร์แสดงค่าจุดพิกเซลที่ถูกแสดงโดย y ในระบบพิกัดใหม่ดังนั้นจึงต้องทำการหาการแปลงเชิงเส้น G ของพิกัดเก่าดังนี้

$$y = Gx \quad (4.4)$$

ในการบังคับให้ Covariance เมทริกซ์ ของข้อมูลพิกเซลในระนาบ y เป็น diagonal ในระนาบ y จะมีนิยามของ Covariance เมทริกซ์ ดังนี้

$$\sum y = E\{(y - m_y)(y - m_y)^t\}$$

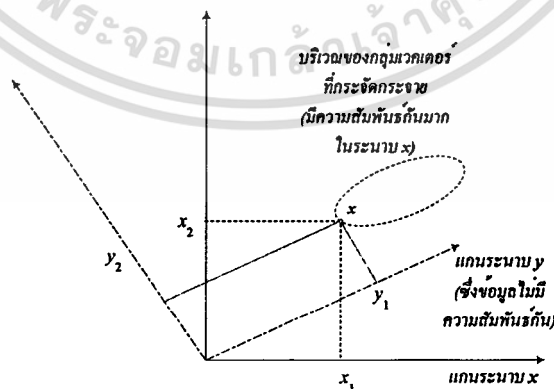
เมื่อ m_y คือ เวกเตอร์เฉลี่ยซึ่งถูกหาค่าในเทอมของ พิกัด y ซึ่งแสดงค่าที่ได้เป็น

$$m_y = E\{y\} = E\{Gx\} = GE\{x\} = Gm_x$$

$$\text{หมายเหตุ}^1 E\{Gx\} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k Gx_j = G \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j = Gm_x$$

นั่นคือ G เป็นเมทริกซ์ค่าคงที่ สามารถนำออกจากตัว Expectation ได้

เมื่อ m_x คือ ข้อมูลเฉลี่ยในระนาบ x



รูปที่ 4.4 แสดงระบบระนาบที่ถูกตัดแปลงแล้วในแต่ละพิกเซล จะแสดงเวกเตอร์เป็นคอมโพเนนต์ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\Sigma y = E\{(Gx - Gm_x)(Gx - Gm_x)'\}$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็น

$$\Sigma y = GE\{(x - m_x)(x - m_x)'\}G'^2$$

หมายเหตุ² เมื่อ $[Gx]' = x'G'$ และอื่นๆ

นั่นคือ

$$\Sigma y = G\Sigma x G' \quad (4.5)$$

เมื่อ Σx คือค่า Covariance ของข้อมูลพิกเซลในระนาบ x ดังนั้น Σy จึงเป็นค่า diagonal ตามความต้องการ G สามารถถูกจำแนกเป็นทรานโพสแมทริกซ์ของ eigen เวกเตอร์ของ Σx นั่นจะทำให้ G เป็น Orthogonal แมทริกซ์และ Σy จะเป็นการบอกถึงค่า diagonal แมทริกซ์ ของค่า eigen ของ Σx

$$\Sigma y \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & & \\ 0 & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_N \end{bmatrix}$$

เมื่อ N คือขนาดมิติของข้อมูล Σy คือ Covariance แมทริกซ์ ตามนิยามและเป็น diagonal อีลิเมนต์ของมันจะเป็นค่า Variance ของข้อมูลพิกเซลในการแปลงพิกัดมันจะถูกนำมาเรียงเป็น $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$ ดังนั้นข้อมูลที่แสดงค่า Variance สูงสุดคือ λ_1 ค่า Variance ที่ใหญ่รองลงมาคือ λ_2 และต่อไป ซึ่งมีค่า Variance น้อยที่สุดใน λ_N

การแปลงส่วนประกอบสำคัญที่สุด ได้ถูกนิยามไว้ในสมการ (4.4) การแทนที่ในค่า Diagonal ด้วยสมการ (4.5) เป็นที่รู้จักกันในเรื่องของการแปลงแบบ Karhunen Loève หรือการแปลงแบบ Hostelling

ก่อนที่จะดำเนินการต่อไปจะเป็นค่าของภาคแรก ได้แสดงตัวอย่างของรูปที่ 4.3 โดยแสดงหลักเกณฑ์การวิเคราะห์แบบส่วนประกอบสำคัญให้จุดเริ่มต้น x ในระนาบ Covariance แมทริกซ์ สำหรับข้อมูลรูปภาพที่มีความสัมพันธ์กันสูงจากรูปที่ 4.3(ข) จะเป็น

$$\Sigma x \begin{bmatrix} 1.90 & 1.10 \\ 1.10 & 1.10 \end{bmatrix}$$

ในการพิจารณาการแปลงส่วนประกอบสำคัญจำเป็นต้องหาค่า Eigen และ Eigenvector ของเมทริกซ์นี้ค่า Eigen จะหาได้โดยการแก้ปัญหасสมการคุณลักษณะ

$$|\Sigma x - \lambda I| = 0 \quad , I \text{ เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์}$$

นั่นคือ

$$\begin{vmatrix} 1.90 - \lambda & 1.10 \\ 1.10 & 1.10 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

หรือ

$$\lambda^2 - 3.0\lambda + 0.88 = 0$$

จะได้

$$\lambda = 2.67 \text{ และ } 0.33$$

เมื่อตรวจสอบจากการวิเคราะห์จะต้องอ้างอิงผลรวมของค่า eigen ทั้งหมดจะต้องเท่ากับตรงจุดตัดของ เมทริกซ์ Covariance ซึ่งเป็นผลรวมของอีลิเมนต์ Diagonal ทั้งหมด

Covariance เมทริกซ์ในระบบพิกัด y ที่เหมาะสม (ด้วยส่วนประกอบสำคัญที่ใช้เป็นแกน) จะเป็นดังนี้

$$\Sigma y \begin{bmatrix} 2.67 & 0 \\ 0 & 0.33 \end{bmatrix}$$

สังเกตว่าในส่วนประกอบสำคัญอันดับแรกจะมีค่าเป็น $2.67/(2.67+0.33) \equiv 89\%$ ของค่า Variance ทั้งหมดของข้อมูลในตัวอย่างนี้ การหาค่าที่แท้จริงของการแปลงส่วนประกอบสำคัญหรือเมทริกซ์ G คือค่าทรานโพสเมทริกซ์ของ eigenvector ของ Σx อันดับแรกพิจารณา eigenvector ที่สอดคล้องกับ $\lambda_1 = 2.67$ ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหасสมการ

$$[\Sigma x - \lambda_1 I] g_1 = 0$$

เมื่อ

$$g_1 = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{22} \end{bmatrix} \quad \text{สำหรับการคำนวณด้วยมือจากตัวอย่าง 2 มิติ}$$

แทนค่า Σx และ λ , ทำให้ได้คู่สมการ

$$-0.77g_{11} + 1.10g_{21} = 0$$

$$1.10g_{11} - 1.57g_{21} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นสมการที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน หรือมีคุณสมบัติเหมือนกัน (Homogeneous) ซึ่งมีการแก้ปัญหาแบบตายตัว อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของเมทริกซ์มีค่าเป็นศูนย์จากสมการทั้ง 2 จะได้

$$g_{11} = 1.43g_{21} \quad (4.6)$$

ตอนนี้ แต่ละค่าของ g_{11} และ g_{21} จะถูกเลือกได้โดยง่าย และคำนวณค่าได้ในแต่ละตัว อย่างไรก็ตามผลของเมทริกซ์ G ยังเป็นค่า Orthogonal ดังนั้น $G^{-1} \equiv G'$ ซึ่งจะต้องใช้ Eigenvector ในการลดรูปลง (Normalised) ดังนั้น

$$g_{11}^2 + g_{21}^2 = 1 \quad (4.7)$$

นี่คือสมการที่สองซึ่งสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้พร้อมกับสมการที่ (4.6) ซึ่งจะได้

$$g_1 = \begin{bmatrix} 0.82 \\ 0.57 \end{bmatrix}$$

เช่นเดียวกันค่า Eigenvector ที่สอดคล้องกับ $\lambda_2 = 0.33$ จะเป็น

$$g_2 = \begin{bmatrix} -0.57 \\ 0.82 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ของการแปลงส่วนประกอบสำคัญที่ต้องการจะเป็น

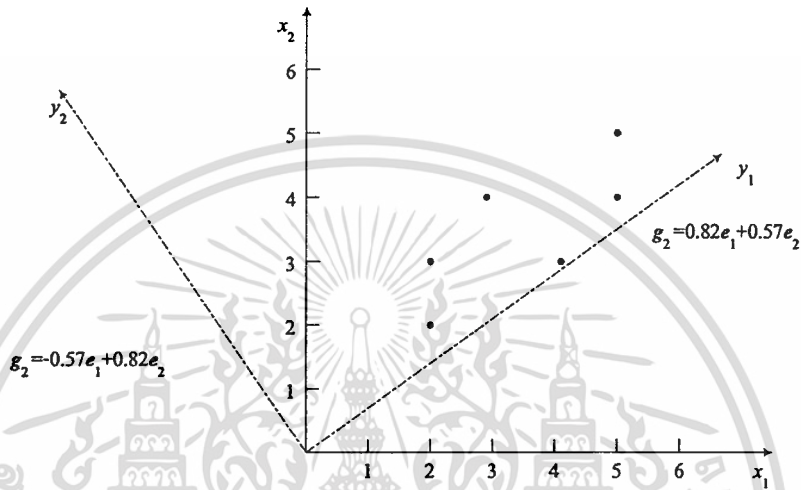
$$G = \begin{bmatrix} 0.82 & -0.57 \\ 0.57 & 0.82 \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} 0.82 & 0.57 \\ -0.57 & 0.82 \end{bmatrix}$$

พิจารณาว่าค่าเหล่านี้ถูกนำไปแปลความหมายว่าอย่างไร อันดับแรก Eigenvector ที่เป็นอิสระต่อกัน g_1 และ g_2 เป็นเวกเตอร์ ซึ่งถูกกำหนดในแกนของส่วนประกอบสำคัญในเทอมของระนาบพิกัดเดิม ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 จะเป็นการยืนยันว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันในแกนใหม่ และแกนใหม่นี้จะหมุนไปรอบเซตเดิม (แม้ว่าจะมากกว่า 2 มิติก็ตาม) ด้วยเหตุนี้การแปลงส่วนประกอบสำคัญจึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มของการแปลงโดยการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับต่อมา พิจารณาการใช้งานของ เมทริกซ์การแปลง G เพื่อหาตำแหน่ง (ค่าความสว่าง) ของพิกเซลในระบบพิกัดใหม่ที่ไม่สัมพันธ์กัน เมื่อ $y = Gx$ จากตัวอย่างนี้จะได้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.82 & 0.57 \\ -0.57 & 0.82 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$



รูป 4.5 แกน ส่วนประกอบสำคัญของชุดข้อมูล รูป 2b : e_1 และ e_2 คือทิศทางของเวกเตอร์แนวนอนและแนวตั้ง

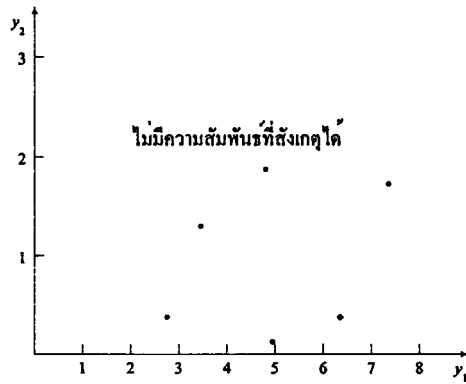
การแปลงส่วนประกอบสำคัญที่แท้จริงเพื่อใช้กับข้อมูลรูปภาพจะได้

$$x = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 5 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 5 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น

$$y = \begin{bmatrix} 0.78 \\ 0.50 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 4.99 \\ 0.18 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 6.38 \\ 0.43 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 6.95 \\ 1.25 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 4.74 \\ 1.57 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3.35 \\ 1.32 \end{bmatrix}$$

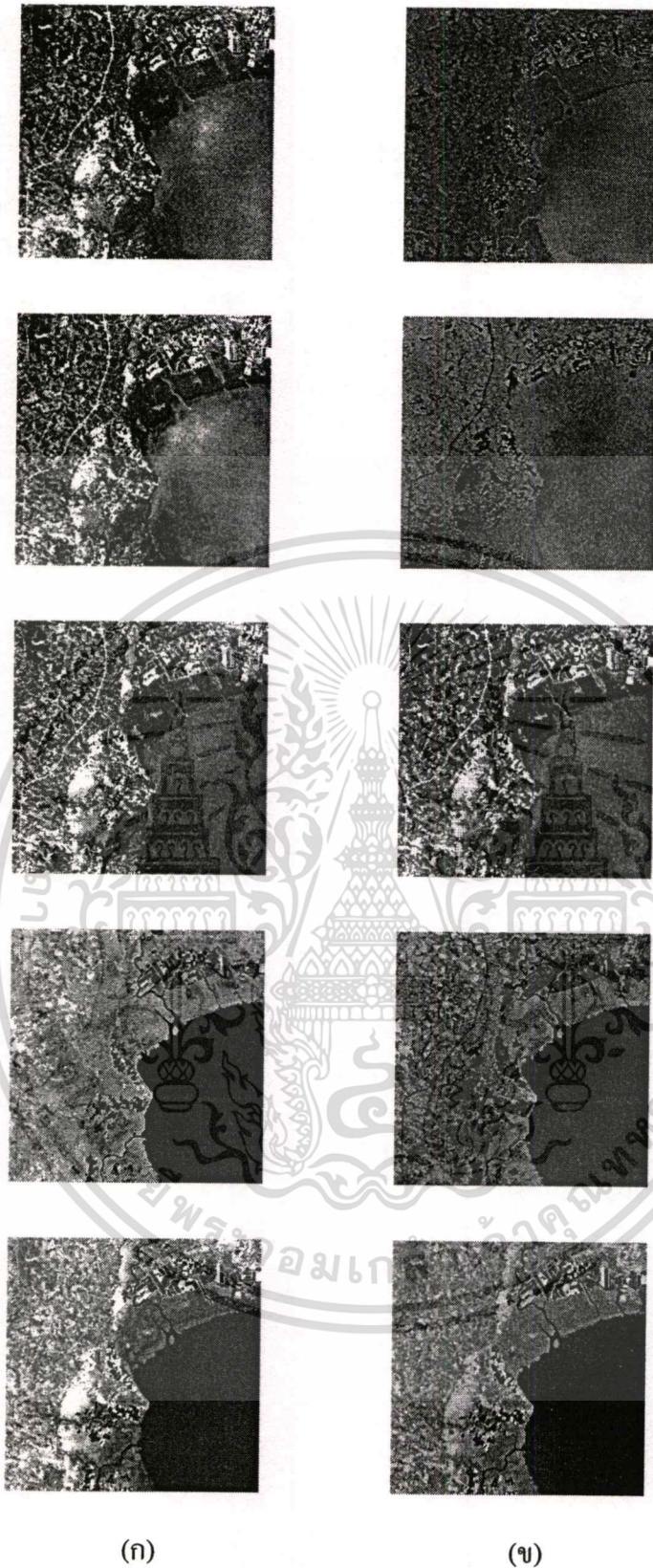
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงจุดที่พิกเซล (ไม่มีความสัมพันธ์กัน) อยู่ในระนาบส่วนประกอบสำคัญ

พิกเซลจะถูกนำไปพล็อตในระนาบ y ดังแสดงในรูปที่ 4.6 หลายๆ จุดจะมีการกระจายออกเนื่องจาก อย่างแรกข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันระหว่างคู่ที่มองเห็นในแกนใหม่ (ซึ่งคือแกนส่วนประกอบสำคัญ) อย่างที่สองข้อมูลส่วนใหญ่จะกระจายในทิศทางของส่วนประกอบสำคัญค่าแรก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าส่วนประกอบเหล่านี้จะบรรจุข่าวสารส่วนใหญ่ของภาพไว้ สุดท้ายถ้าคู่ของภาพส่วนประกอบสำคัญถูกสร้างโดย y_1 และ y_2 ค่าความสว่างของส่วนประกอบสำหรับพิกเซลในรูปส่วนประกอบสำคัญลำดับแรก จะแสดงค่าความแตกต่างสูงสุด (High Contrast) แม้ว่าในลำดับที่ 2 จะแสดงแต่ค่าที่ถูกจำกัดความสว่างที่เหลืออยู่ในย่านก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนประกอบสำคัญค่าแรก ในลำดับที่ 2 ยังใช้ประโยชน์จากค่าระดับความสว่างเล็กน้อยนี้ได้ ซึ่งจะมองเห็นรายละเอียดน้อยลงจากเดิมเล็กน้อยเท่านั้น

แม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะไม่ได้แสดงให้เห็นได้ชัดเจนในตัวอย่างรูป 2 มิติ แต่ในส่วนประกอบสำคัญลำดับที่ 5 ที่ถูกแปลงมาจากภาพของดาวเทียม LANDSAT จะแสดงให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ดังในรูปที่ 4.7



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ขนาด 5 แบนด์ (ข) ส่วนประกอบสำคัญของภาพถ่าย
ทั้ง 5 แบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

กระบวนการสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ประกอบด้วย ภาพสัญลักษณ์ลับแบบไบนารี (s_i) ที่ทำการแปลงบริเวณพิกเซลที่เป็นข้อมูลภาพให้มีค่าเป็น 1 และพิกเซลที่เป็นพื้นหลัง (Background) ให้มีค่าเป็น -1

$$S = \{S_i, 1 \leq i \leq M\}, \quad S_i \in \{-1, 1\} \quad (4.9)$$

ลำดับของ S_i จะถูกขยายด้วยแฟกเตอร์ของแอมพลิจูดที่ปรับได้ ($\alpha \geq 0$) เป็นค่าคงที่ โดยกำหนดจากความคงทนของสัญลักษณ์ที่ใช้ ค่าของ α จะถูกเลือกเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดระหว่างความคงทนกับการไม่ปรากฏให้เห็น ในการเลือกค่าของ α จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบสองด้าน คือมีผลกระทบต่อการทำให้สังเกตเห็นได้ เมื่อ α มีค่าสูงจะทำให้ลายน้ำปรากฏเด่นชัดมากขึ้น หมายถึงทำให้สังเกตเห็นได้มากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนมากขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้าม หาก α มีค่าน้อยจะทำให้ลายน้ำไม่ปรากฏให้เห็นเด่นชัดมากหมายถึงทำให้สังเกตเห็นได้ยากขึ้น แต่ก็ทำให้ระบบมีความคงทนน้อยลงด้วย นำค่าที่ได้ไปมอดูเลท ด้วยลำดับสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม (Pseudo-Random Sequence : P_i) ซึ่งสร้างขึ้นมาโดยใช้ค่า Seed เป็นกุญแจลับในการสร้างสัญญาณรบกวนแบบสุ่มนี้ขึ้นมา โดยการเพิ่มลำดับแบบสุ่มลงไปในการที่จะฝังลายน้ำ และการตรวจหาลายน้ำ จะต้องทำการสร้างลำดับสัญญาณรบกวนแบบสุ่มขึ้นมาใหม่โดยใช้ค่า Seed ที่ถูกต้องโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นแบบ โดยแต่ละจำนวนมีค่าเป็น 1 และ -1 ดังนั้นลำดับที่ใช้ นั้นจึงไม่ควรง่ายเกินไป เพื่อให้การจะคาดเดาทำได้ยากและเป็นการรักษาความปลอดภัยจากผู้ที่ไม่ได้รับสิทธิ์

$$P = \{P_i, 1 \leq i \leq M\}, \quad P_i \in \{-1, 1\} \quad (4.10)$$

4.2.1 การฝังลายน้ำด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโคไซน์ทรานฟอร์ม

ในขั้นตอนแรกจะนำภาพต้นฉบับที่จะทำการฝังลายน้ำทำการแปลง DCT 2 มิติ ขนาด $N \times N$ โดยมีสมการในการแปลงดังนี้

สมการ Forward DCT

$$C(u,v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \cos\left[\frac{(2x+1)v\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)u\pi}{2N}\right] \quad (4.11)$$

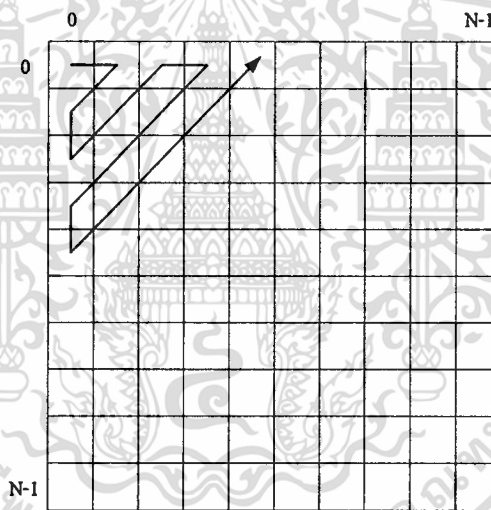
เมื่อ

$c(u,v)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ DCT

$f(x,y)$ คือค่าระดับสีในพิกเซล

$\alpha(i) = 1/\sqrt{2}$ เมื่อ $i = 0$ และ $\alpha(i) = 1$ เมื่อ $i > 0$

หลังจากผ่านการแปลง DCT แล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ DCT จะถูกนำมาจัดเป็นลำดับ 1 มิติ โดยเรียงลำดับจากความถี่ต่ำไปยังความถี่สูงด้วยรูปแบบซิกแซกสแกน เช่นเดียวกับอัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลของ JPEG ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากในการถอดรหัสถ้าไม่มีภาพต้นฉบับอยู่ด้วย



รูปที่ 4.8 การเรียงลำดับของสัมประสิทธิ์ DCT ใหม่ในรูปแบบของซิกแซกสแกน

ในการฝังลายน้ำ เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในระหว่างการไม่ปรากฏให้เห็นและความคงทน ค่าสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ลำดับแรกถึงลำดับที่ L จะถูกข้ามไป โดยเหตุที่ระดับพลังงานของลายน้ำที่สูงจะทำให้สามารถตรวจหาได้ง่าย ลายน้ำที่ถูกสังเกตเห็นได้มีผลมาจากตำแหน่งของลายน้ำที่อยู่ในสเปกตรัมของ DCT ด้วยเหตุผลนี้ ทำให้ได้ช่วงที่เหมาะสมระหว่างการที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้ ซึ่งหมายถึงการแทรกรหัสลงในองค์ประกอบความถี่สูงหรือความถี่กลางของภาพจะมีความคงทนต่อการเสียหายของภาพ และทำให้ง่ายในการตรวจหาลายน้ำกว่าลายน้ำถูกฝังอยู่ในสเปกตรัมความถี่ต่ำ จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ $\alpha=30$ และข้ามสัมประสิทธิ์ DCT ค่าแรกไปประมาณ $L=50,000$ ค่า คือทำการฝังลายน้ำลงไปที่สัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ $50,001 + M$ จะทำให้ได้ช่วงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมระหว่างการทำที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้และความคงทนต่อการเสียหายของภาพ ที่จริงแล้วค่า α ที่สูงขึ้นจำเป็นต้องแทรกลายน้ำในความถี่ที่สูงขึ้น ทำให้ความคงทนต่อเทคนิคการประมวลผลภาพจะลดลงซึ่งเทคนิคแบบนี้จะนำไปเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบความถี่สูงของภาพ เช่น การกรองความถี่ต่ำ การบีบอัดภาพ ในอีกทางหนึ่งค่า α ไม่สามารถทำให้ต่ำลงมากเกินไปได้ เพราะจะทำให้สูญเสียความคงทนของลายน้ำไป และ L ต้องไม่ควรต่ำกว่า 50,000 เพราะจะทำให้สามารถสังเกตเห็นลายน้ำได้มากขึ้นและค่า M เท่ากับจำนวนพิกเซลของภาพสัญญาณที่จะทำการฝัง ซึ่งทำให้ได้ช่วงและตำแหน่งที่เหมาะสม การกำหนดค่าที่แน่นอนให้กับ α และ L ทำให้เรามุ่งประเด็นไปที่ค่า PSNR ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว สำหรับค่า L และ M ได้ข้อสรุปสำหรับการทำลายน้ำด้วยวิธีนี้ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับขนาดของภาพ เพื่อความสะดวกในการทำลายน้ำกับภาพในขนาดอื่นๆ โดยเปอร์เซ็นต์คิดจากจำนวนลำดับทั้งหมดของภาพขนาด $N \times N$ จึงได้ $L = 20\%$ และ $M = 6.25\%$ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ลำดับที่ $L+1$ ถึง $L+M$ ในลำดับซิกแซกสแกน จะถูกเลือกขึ้นมาเพื่อสร้างเวกเตอร์ $T = \{t_i, 1 \leq i \leq M\}$ และลายน้ำจะถูกฝังในเวกเตอร์ T เพื่อให้ได้เวกเตอร์ใหม่ $T' = \{t'_i, 1 \leq i \leq M\}$ เป็นเวกเตอร์ที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว โดยมีรูปแบบการคำนวณดัง สมการนี้

$$t'_i = t_i + \alpha \cdot p_i \cdot s_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (4.12)$$

เวกเตอร์ T' จะถูกแทรกกลับลงไปในซิกแซกสแกนอีกครั้ง และทำการแปลง DCT กลับเพื่อให้ได้ภาพที่ฝังลายน้ำ ดังแสดงขั้นตอนการฝังลายน้ำในรูปที่ 4.7

สมการ Inverse DCT

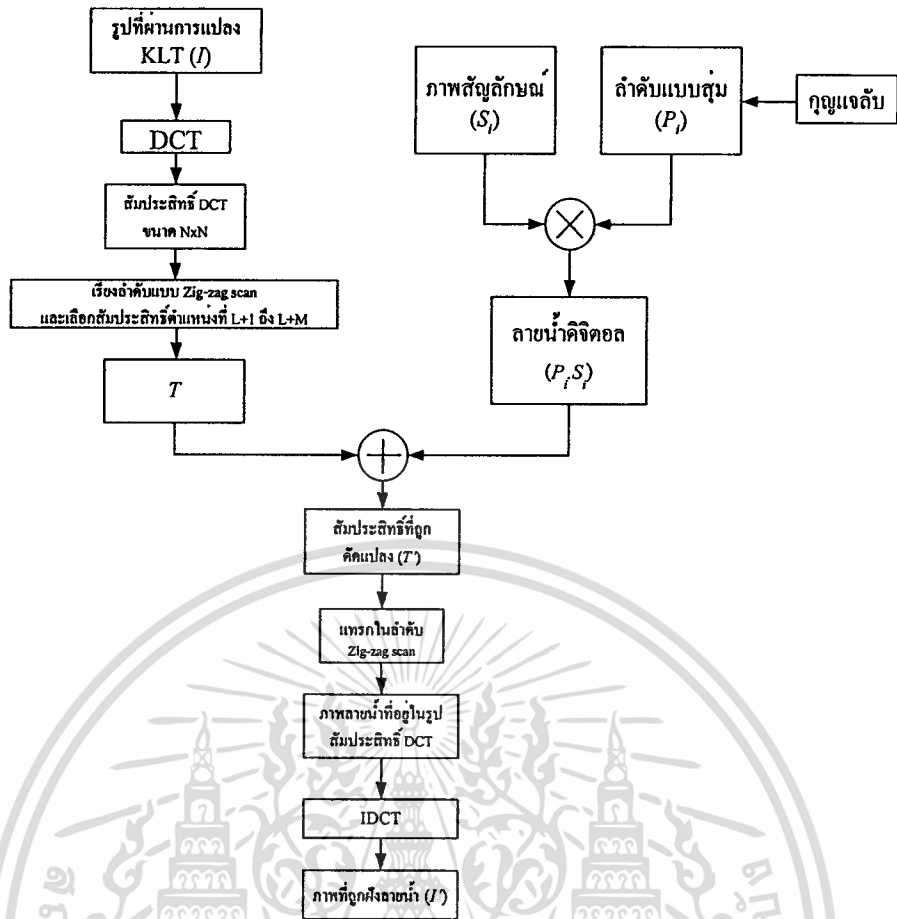
$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u) \alpha(v) C(u, v) \cos \left[\frac{(2x+1)v\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (4.13)$$

เมื่อ

$c(u, v)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ DCT

$f(x, y)$ คือค่าระดับสีในพิกเซล

$\alpha(i) = 1/\sqrt{2}$ เมื่อ $i = 0$ และ $\alpha(i) = 1$ เมื่อ $i > 0$

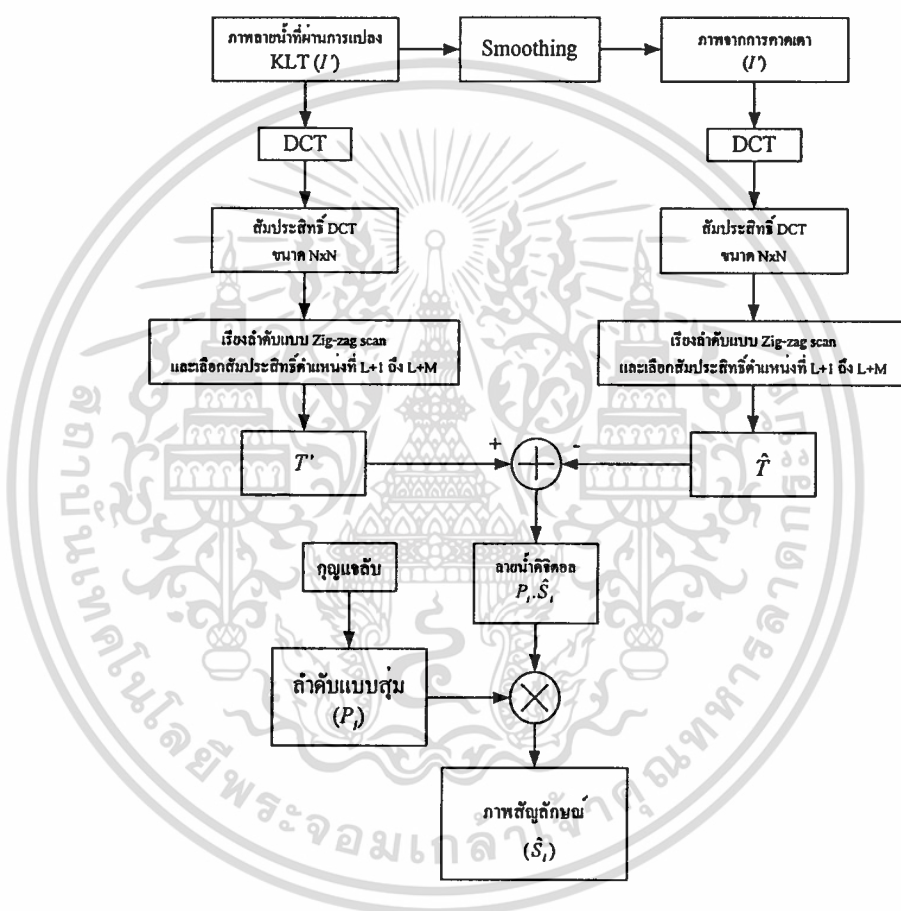


รูปที่ 4.9 กระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิค ดิสครีต โคซายน์ทรานฟอร์ม

เพื่อระบุนรายละเอียดของอัลกอริธึมในการทำลายน้ำให้สมบูรณ์ ดังนั้นพารามิเตอร์บางตัว ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ โดยเฉพาะความยาว M ของรหัสและตำแหน่งที่ทำการฝังลงในสเปกตรัม ความถี่ต้องมีค่าแน่นอน นอกจากนี้ ค่าของ α ต้องถูกกำหนดไว้ด้วย โดยเป็นตัวกำหนดค่าพลังงาน ของรหัสที่ฝังลงไป โดยทั้งหมดนี้เราตั้งสมมุติฐานในการทำงานบนภาพโทนาสีเทาขนาด 512×512 พิกเซล

4.2.2 การตรวจหาลายน้ำจากการฝังลายน้ำด้วยเทคนิคคิสตรีคโคซายน์ทรานฟอร์ม

รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำ ซึ่งผู้ที่ได้รับอนุญาตสามารถนำข้อมูลที่ซ่อนไว้กลับมาได้โดยง่าย แม้ว่าจะไม่มีภาพต้นฉบับแต่ก็สามารถนำกลับมาได้ด้วยการคาดเดาภาพต้นฉบับ โดยภาพที่ถูกฝังลายน้ำอาจพิจารณาได้ว่าเป็นภาพต้นฉบับที่ถูกรบกวน โดยสัญญาณแบบสุ่ม การคาดเดาภาพต้นฉบับจริงจึงทำได้โดยใช้เทคนิคของการกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกตัวกรองสัญญาณแบบเฉลี่ยข้อมูล (Average Filtering) หรือที่ใช้ในการทำภาพให้เลือน (Smoothing)



รูปที่ 4.10 กระบวนการตรวจหาลายน้ำจากการฝังลายน้ำด้วยเทคนิคคิสตรีคโคซายน์ทรานฟอร์ม

การ Smoothing ทำได้ง่าย โดยการคอนโวลูชัน (Convolution) ภาพกับมาสก์ (Mask) ขนาดเล็กๆ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

$$f_f(i, j) = \frac{1}{k^2} \sum_{m=1}^k \sum_{n=1}^k f_{raw}(m, n) \quad (4.14)$$

โดยที่ $f_f(i, j)$ คือจุดภาพตำแหน่งที่ i, j ที่ประมวลผลได้จากการกำจัดสัญญาณรบกวน

$f_{raw}(m, n)$ คือจุดภาพเริ่มต้นที่นำมาประมวลผลโดยรวมจุดภาพ i, j

k^2 คือ ขนาดของจุดจำนวนของจุดภาพรอบข้างของจุดภาพ i, j ที่นำมาเฉลี่ยข้อมูล

กรณีที่มีมาสก์มีขนาด 3×3 จะได้ว่า

$$f_f(i, j) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times f_{raw}(m, n) \quad (4.15)$$

กรณีที่มีมาสก์มีขนาด 5×5 จะได้ว่า

$$f_f(i, j) = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times f_{raw}(m, n) \quad (4.16)$$

นั่นคือเป็นการทำตัวกรองแบบเฉลี่ยข้อมูลที่มีมาสก์ขนาดต่าง ๆ มาทำคอนโวลูชันกับภาพที่ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนนั่นเอง

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกมาสก์ขนาด 5×5 ซึ่งสัมพันธ์ทุกตัวมีค่าเท่ากันคือ $1/25$ การคาดเดาภาพต้นฉบับ v_i จึงคำนวณได้ด้วยสูตร ดังนี้

$$v_i = \frac{1}{c \times c} \sum_{i=1}^{c \times c} v_i' \quad (4.17)$$

เมื่อ c เป็นขนาดของคอนโวลูชันมาสก์

การ Smoothing ทำได้โดยการคอนโวลูชันภาพกับมาสก์ขนาดเล็กๆ เช่น 5×5 ซึ่งสัมประสิทธิ์ทุกตัวมีค่าเท่ากันเท่ากับ $1/25$ ดังนั้นภาพที่ได้จากการคาดเดาจะได้รับการ Smoothing ภาพที่ฝังลายน้ำซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$i_k = \frac{1}{c \times c} \sum_{k=1}^{c \times c} i_k^* \quad (4.18)$$

นำภาพที่ฝังลายน้ำมาทำการแปลง DCT หลังจากนั้นทำสัมประสิทธิ์ DTC ทำได้ทำการ Smoothing เพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์ DCT ที่ได้รับการคาดเดาและเลือกค่าสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ลำดับที่ $L+1$ ถึง $L+M$ ในลำดับซิกแซกสแกน ขึ้นมาเพื่อสร้างเวกเตอร์ T' และ T ตามลำดับ

ค่าผลต่าง (δ) ระหว่างค่าของภาพที่ฝังลายน้ำกับค่าของภาพที่ได้จากการคาดเดาคือ ค่าของบิตที่ฝังไว้นั่นเอง อธิบายได้ด้วยสูตรดังนี้

$$\delta_i = t_i' - t_i = \alpha \cdot p_i \cdot s_i \quad (4.19)$$

หลังจากนั้นสามารถทำการคำนวณหาค่าบิตลายน้ำที่ฝังไว้ได้โดยพิจารณาจากเครื่องหมายของค่าผลต่าง (δ) ที่หาได้ ซึ่งอธิบายด้วยสูตรได้ดังนี้

$$\text{sgn}(\delta_i) = p_i \cdot s_i \quad (4.20)$$

ลำดับบิตของสัญลักษณ์ดิจิทัลที่ถูกฝังไว้สามารถนำกลับคืนได้ด้วยการคูณกับลำดับแบบสุ่ม P_i ซึ่งสร้างจากกุญแจลับที่ผู้ฝังลายน้ำทราบนั่นเอง แต่ถ้าหากว่าลำดับแบบสุ่มที่ใช้ผิดหรือไม่สอดคล้องกับลำดับแบบสุ่มที่ใช้ฝังลายน้ำ มันก็จะไม่สามารถใช้งานได้และบิตที่นำกลับคืนมาก็จะเป็นบิตแบบสุ่ม

สุดท้ายนำลำดับบิตของสัญลักษณ์ดิจิทัลที่ได้มาจัดเรียงในรูปแบบ 2 มิติดั้งเดิม ก็จะได้ภาพสัญลักษณ์ลับดิจิทัลที่แทรกไว้กลับคืนมาได้

4.3 การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริธึม

ความสำเร็จของประสิทธิภาพอัลกอริธึมที่ดี สามารถประเมินได้จากใช้เครื่องมือวัดคุณภาพ แต่เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นคือประสิทธิภาพมักเกี่ยวข้องกับด้านการรับรู้ ดังนั้นการจะวัดเป็นจำนวนตัวเลขจึงอาจมีการคลาดเคลื่อนได้บ้าง แต่ในที่นี้เราจะนำเสนอวิธีการวัดที่เป็นที่นิยมที่สุดทั้งหมดเพื่อนำมาประเมินถึงประสิทธิภาพของอัลกอริธึมที่ดี

4.3.1 การวัดโดยใช้สายตา

การวัดคุณภาพโดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพภายหลังการทำลายน้ำเป็นวิธีการพื้นฐานแต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือมาก ในฐานะที่เป็นผู้ใช้ธรรมดาและยังใช้สายตาของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้าม ในการตัดสินใจอาจใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ เช่น การตัดสินใจจากภาพทดสอบแล้วให้ระดับคะแนนเมื่อผู้ทดสอบได้มองภาพทดสอบแล้วระบุระดับคุณภาพตามที่ได้ระบุไว้ โดยอาจมีชุดภาพมาตรฐานที่มีระดับคะแนนระบุไว้อ้างอิงด้วยก็ได้ ระดับคุณภาพสามารถแสดงได้ทั้งระดับความถูกต้องและระดับความผิดพลาด หรือการตัดสินใจจากชุดภาพทดสอบแล้วเรียงลำดับคุณภาพของภาพซึ่งผู้ใช้จะเรียงลำดับภาพทดสอบตามคุณภาพของภาพที่เห็นผู้ทดสอบจะตัดสินใจในลักษณะเปรียบเทียบว่าดีกว่าหรือแย่กว่า

4.3.2 Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

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

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2 \quad (4.21)$$

โดยที่

M คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างของภาพ

N คือ จำนวนพิกเซลตามความสูงของภาพ

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

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

เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดที่สามารถวัดที่เป็นตัวเลขที่ชัดเจนขึ้น เราเลือกใช้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) ในการวัดสัญญาณรบกวนที่ถูกฝังลงในภาพต้นฉบับเนื่องจากการซ่อนลายน้ำภาพดิจิทัล ซึ่งถึงแม้ว่าเครื่องมืออื่นจะไม่เที่ยงตรงนักแต่ก็เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัด การไม่ปรากฏให้เห็นและประสิทธิภาพของอัลกอริธึมการฝังลายน้ำ ค่า PSNR หาได้จาก

$$PSNR = 10 \log \frac{peak^2}{MSE} \quad (dB) \quad (4.22)$$

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

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (dB) \quad (4.23)$$

ดังนั้นภาพขนาด 8 บิต หรือมีระดับความเข้มเท่ากับ 256 ระดับ จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (dB) \quad (4.24)$$

4.3.3 Normalize Correlation (NC)

นอกจากการคำนวณค่า PSNR ในการวัดค่าความผิดพลาดของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วการเปรียบเทียบลายน้ำที่ตรวจหาได้กับลายน้ำที่ทำการฝังยังสามารถทำการเปรียบเทียบได้ โดยหลังจากที่นำลายน้ำกลับคืนได้แล้ว ผู้ใช้สามารถเปรียบเทียบผลกับลายน้ำที่อ้างอิง การวัดสามารถนิยามได้ดังนี้

$$Normalize\ Correlation\ (NC) = \frac{\sum_{i=1}^M s_i s'_i}{\sum_{i=1}^M s_i^2} \quad (4.25)$$

เมื่อ s_i คือภาพสัญญาณดิจิทัลต้นฉบับ และ s'_i คือ ภาพสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการนำลายน้ำกลับคืน

ค่า NC ที่ได้ แสดงถึงความเหมือนของภาพสัญลักษณ์ที่ได้ทำการฝังกับภาพที่ตรวจหา กลับมาได้ ไม่ว่าจะภาพที่ได้ทำการฝังลายน้ำจะผ่านการบิดเบือนอย่างไรก็ตาม โดยค่าที่ได้หากจะมีค่า ใกล้เคียง 1 แสดงว่าลายน้ำที่ได้มีความเหมือนกันมาก เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าภาพที่ทำการตรวจหาลาย น้ำอยู่นั้นเป็นภาพของผู้ตรวจลายน้ำจริงๆ

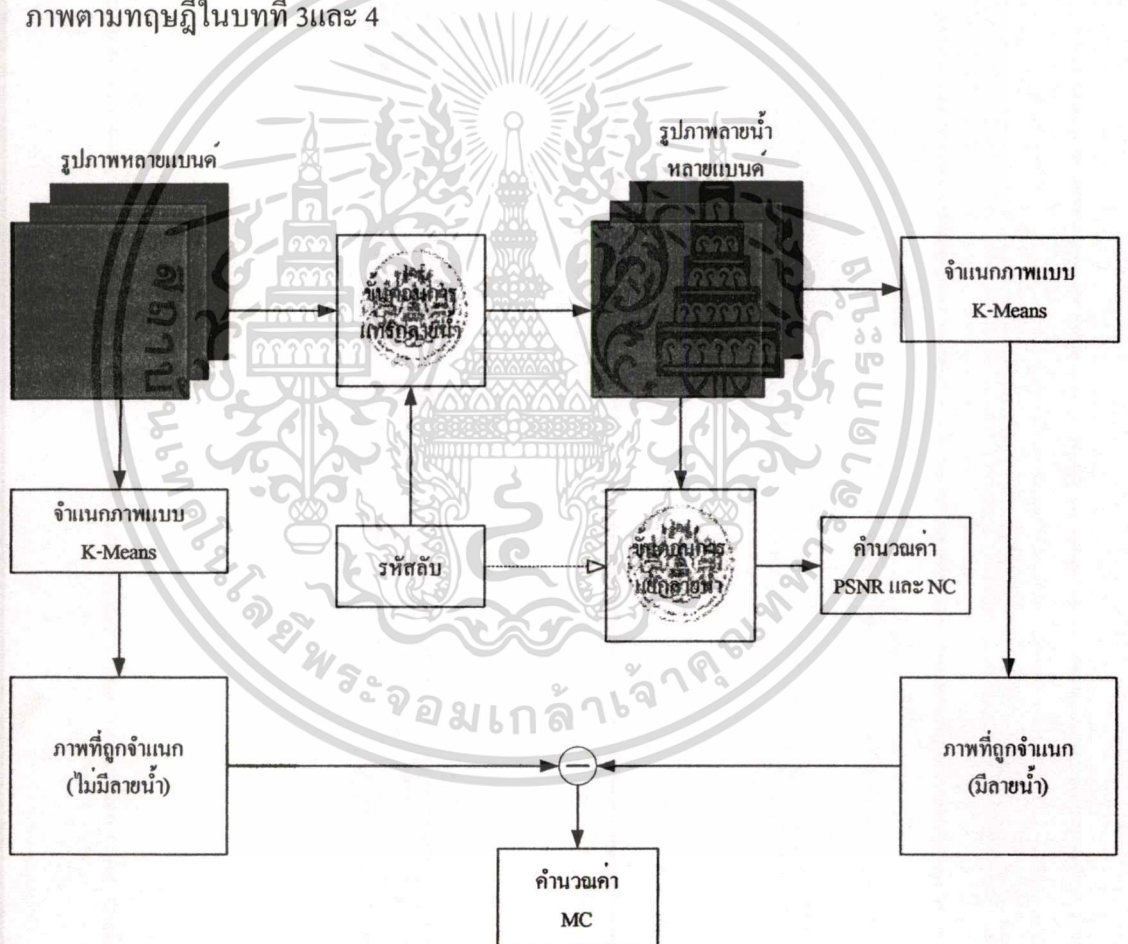


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

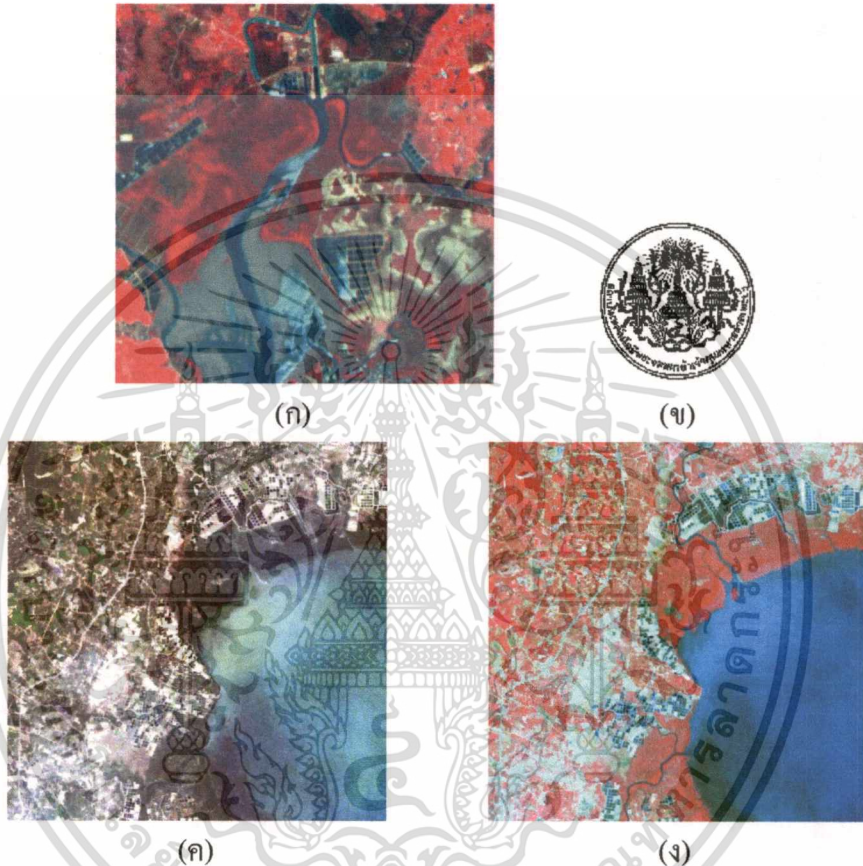
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นผลจากการแทรกलयน้ำและการตรวจหาลายน้ำในภาพถ่ายดาวเทียมขนาด 3 แบนด์และ 5 แบนด์ ส่วนที่สองจะเป็นการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมด้วยอัลกอริทึม K-means โดยจะนำผลจากการจำแนกภาพก่อนทำการแทรกलयน้ำ มาเปรียบเทียบกับผลจากการจำแนกภาพหลังการแทรกलयน้ำ เพื่อหาค่าของการจำแนกผิดพลาดที่ผิดเพี้ยนเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Misclassification; %MC) ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการทดสอบความคงทนของลายน้ำที่สร้าง ด้วยการโจมตีทางขบวนการดิจิทัลแบบต่างๆ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 5.1 ซึ่งใช้อัลกอริทึมการสร้างลายน้ำและการจำแนกภาพตามทฤษฎีในบทที่ 3 และ 4



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนในการแทรกलयน้ำและการจำแนกภาพแบบหลายแบนด์

การทดลองนี้จะใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม JERS-1/OPS ซึ่งเป็นภาพขนาด 3 แบนด์ และภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ซึ่งเป็นภาพขนาด 5 แบนด์ ภาพทั้ง 2 มีขนาด 512×512 พิกเซล ในการทดลองแทรกกลายน้ำ ดังในรูปที่ 5.2 (ก) (ค) และ (ง) โดยใช้ตราสัญลักษณ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นสัญลักษณ์กลับในรูปที่ 5.2 (ข) ซึ่งเป็นภาพแบบไบนารี 2 บิต ขนาด 128×128 พิกเซล แทรกลงในภาพถ่ายผ่านดาวเทียมทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 5.2 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม JERS-1/OPS (ข) ภาพตราสัญลักษณ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ค) ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ที่แสดงผลเฉพาะย่าน RGB และ (ง) ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ที่แสดงผลเฉพาะย่านไคส์อินฟราเรด

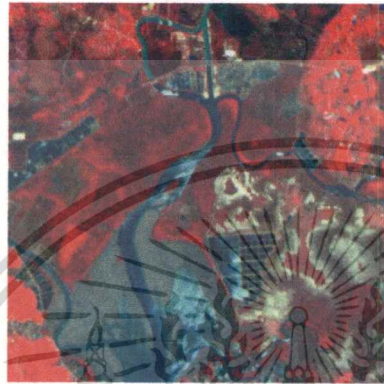
5.1 ผลการแทรกกลายน้ำโดยเทคนิคคิสคริตโคซายน์ทรานฟอร์ม

โดยก่อนที่จะทำการแทรกกลายน้ำจะต้องทำการลดความสัมพันธ์ภายในแบนด์ของรูปภาพด้วยการแปลงแบบ Karhunen Loève เพื่อหาแบนด์ที่มีค่าความสำคัญสูงที่สุดนำมาแทรกกลายน้ำเพื่อให้ได้ภาพลายน้ำที่มีความคงทนสูงสุด แล้วจึงทำการฝังลายน้ำตามเทคนิคคิสคริตโคซายน์ทรานฟอร์มจากนั้นทำการแปลง Karhunen Loève ย้อนกลับ ซึ่งจะช่วยให้ลายน้ำที่แทรกกระจายตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Convolution Mask; $c = 5$ ค่า $L=30$ และค่า $\alpha = 20$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมจากการทดลองแทรกกลายน้ำด้วยพารามิเตอร์ L และ α ด้วยค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

5.1.1 ผลการแทรกกลายน้ำลงในภาพถ่าย 3 แบนด์

เมื่อทำการแทรกกลายน้ำลงในรูปภาพทั้ง 3 แบนด์ จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.3



(ก)

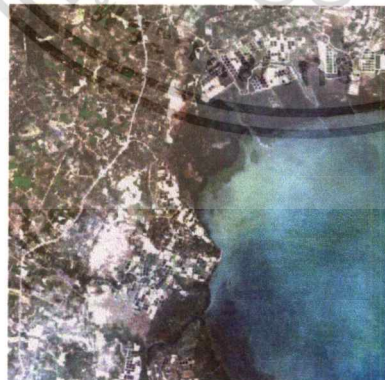


(ข)

รูปที่ 5.3 (ก) ภาพลายน้ำบนภาพถ่ายขนาด 3 แบนด์มีค่า PSNR=32.98 dB
(ข) ภาพสัญลักษณ์ลับที่ตรวจแยกได้มีค่า NC=1.000

5.1.2 ผลการแทรกกลายน้ำลงในภาพถ่าย 5 แบนด์

เมื่อทำการแทรกกลายน้ำลงในรูปภาพทั้ง 5 แบนด์ จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.4



(ก)



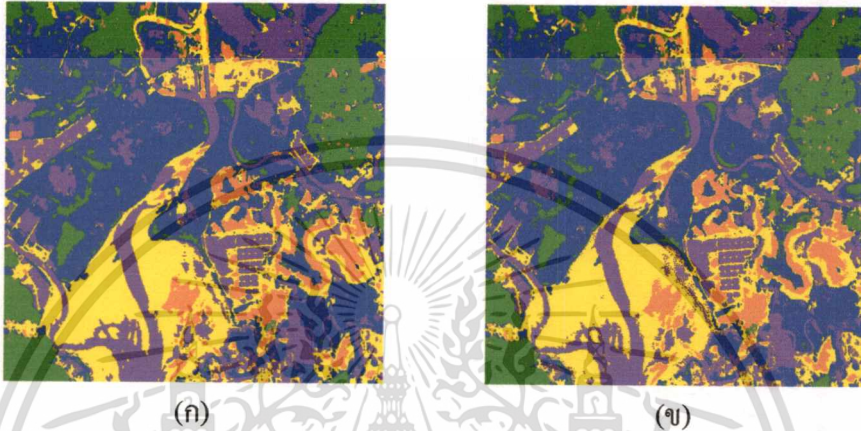
(ข)

รูปที่ 5.4 (ก) ภาพลายน้ำบนภาพถ่ายขนาด 5 แบนด์มีค่า PSNR=25.18 dB โดยแสดงผลเฉพาะย่าน RGB (ข) ภาพสัญลักษณ์ลับที่ตรวจแยกได้มีค่า NC=0.941

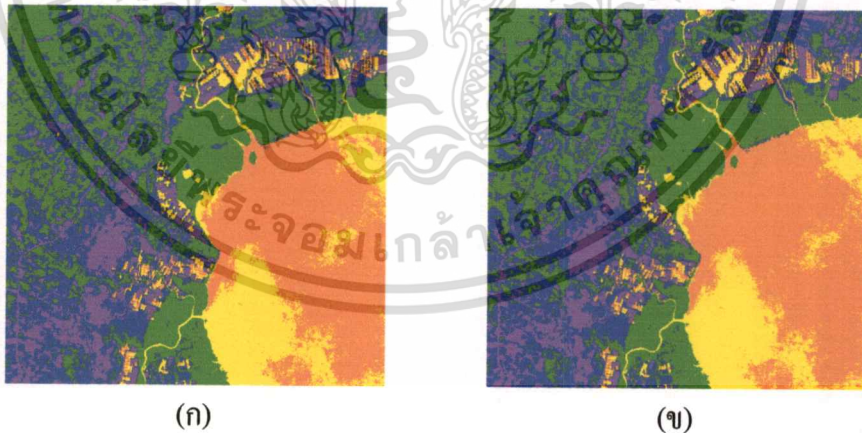
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการจำแนกพื้นที่ด้วยอัลกอริทึม K-means

ในส่วนนี้จะแสดงผลการทดลองการจำแนกพื้นที่ภาพโดยใช้วิธี K-means ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกแบบอัตโนมัติ ในการทดลองจะแบ่งพื้นที่ที่แตกต่างกันออกเป็น 5 ส่วน โดยจะเริ่มจากการแบ่งพื้นที่ของภาพดั้งเดิมก่อน แล้วจึงนำภาพที่แทรกกลายนำมาทำการแบ่งพื้นที่ จากนั้นนำภาพทั้ง 2 มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าความแตกต่างคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด



รูปที่ 5.5 (ก) รูปการจำแนกพื้นที่ภาพถ่ายดาวเทียม JERS-1/OPS ออกเป็น 5 ส่วนด้วยอัลกอริทึม K-means (ข) รูปที่ได้จากการจำแนกพื้นที่ภาพถ่ายดาวเทียม JERS-1/OPS หลังจากการแทรกกลายนำมีค่า MC=4.17%



รูปที่ 5.6 (ก) รูปการจำแนกพื้นที่ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ออกเป็น 5 ส่วนด้วยอัลกอริทึม K-means (ข) รูปที่ได้จากการจำแนกพื้นที่ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat หลังจากการแทรกกลายนำมีค่า MC=6.46%

และเมื่อทำการแทรกกลายน้ำในรูปหลายแบนด์ด้วยพารามิเตอร์ค่าต่างๆ จะได้ผลของค่า PSNR และค่า NC ตามตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 แสดงผลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร L และ α ตามการทดลอง

L	α	PSNR (dB)		NC		MC (%)	
		3 แบนด์	5 แบนด์	3 แบนด์	5 แบนด์	3 แบนด์	5 แบนด์
10%	10	40.54	35.91	0.501	0.020	2.22	15.13
	20	34.56	30.17	0.816	0.658	4.18	18.91
	30	31.38	36.93	0.945	0.821	6.09	19.02
	40	29.37	24.71	0.986	0.914	7.99	20.06
	50	27.75	23.00	0.995	0.960	10.00	19.06
20%	10	35.89	38.05	0.828	0.554	2.23	5.07
	20	33.80	32.30	0.985	0.860	4.13	7.40
	30	31.28	29.02	0.999	0.964	6.12	8.95
	40	28.50	26.77	1.000	0.993	8.01	9.13
	50	26.31	25.09	1.000	0.999	9.99	9.29
30%	10	37.75	36.40	0.958	0.665	2.09	4.14
	20	34.53	30.66	1.000	0.941	4.17	6.46
	30	31.63	27.41	1.000	0.995	6.09	7.46
	40	29.38	25.18	1.000	1.000	8.10	9.20
	50	27.45	23.49	1.000	1.000	10.04	12.62
40%	10	40.23	38.63	0.990	0.769	2.12	4.19
	20	34.39	32.84	1.000	0.980	4.21	7.64
	30	29.38	29.54	1.000	0.999	8.10	11.42
	40	28.22	27.31	1.000	1.000	8.81	15.13
	50	28.22	25.63	1.000	1.000	10.07	18.91
50%	10	39.33	37.07	0.999	0.845	2.20	14.30
	20	33.76	31.35	1.000	0.988	4.13	16.84
	30	30.66	28.10	1.000	0.999	6.07	18.82
	40	28.57	25.85	1.000	1.000	8.01	19.86
	50	26.96	24.15	1.000	1.000	9.95	27.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดสอบความคงทนของภาพลายน้ำ

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบความคงทนของลายน้ำที่แทรกลงในภาพ โดยจะใช้ขบวนการโจมตีทางดิจิทัลแบบต่างๆ กับภาพลายน้ำ เช่น การทำให้ภาพเลือน การกรองด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ การแทรกสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian Noise) และการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG

5.3.1 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยการกรองแบบมัลติฐาน

จากรูปที่ 5.7 (ก) และ (ค) เป็นภาพลายน้ำขนาด 3 และ 5 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยการกรองแบบมัลติฐานขนาด 3×3 พิกเซล ซึ่งได้ผลการตรวจลายน้ำตามรูปที่ 5.7 (ข) และ (ง) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ลายน้ำมีความคงทนต่อการกรองแบบมัลติฐานได้ดี



(ก)



(ข)



(ค)

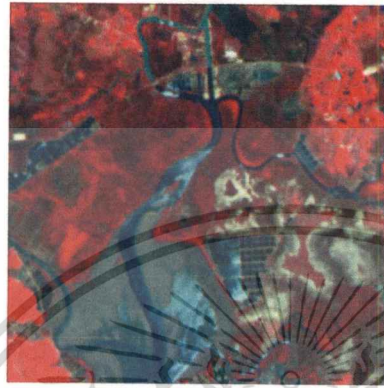


(ง)

รูปที่ 5.7 (ก) ภาพลายน้ำขนาด 3 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานขนาด 3×3 (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.898$ (ค) ภาพลายน้ำขนาด 5 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานขนาด 3×3 (ง) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.880$

5.3.2 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ

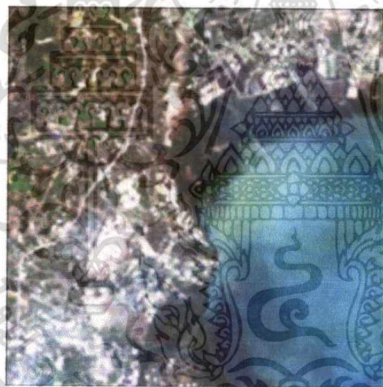
จากรูปที่ 5.8 (ก) และ (ค) เป็นภาพลายน้ำขนาด 3 และ 5 แบนด์ที่ถูกโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ ซึ่งได้ผลการตรวจลายน้ำตามรูปที่ 5.8 (ข) และ (ง) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าลายน้ำมีความคงทนต่อตัวกรองความถี่ต่ำได้ดี



(ก)



(ข)



(ค)

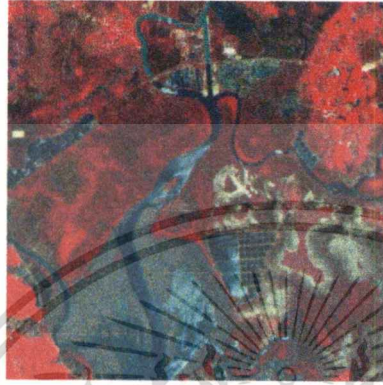


(ง)

รูปที่ 5.8 (ก) ภาพลายน้ำขนาด 3 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองความถี่ต่ำขนาด 3×3 พิกเซล (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.850$ (ค) ภาพลายน้ำขนาด 5 แบนด์ที่ถูกทำให้เลือนด้วยตัวกรองความถี่ต่ำขนาด 3×3 พิกเซล (ง) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.810$

5.3.3 ผลการโจมตีภาพลายน้ำด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian Noise)

เป็นการทดสอบความคงทนด้วยการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เข้าไปในภาพลายน้ำ รูปที่ 5.9 (ก) และ (ค) ส่วนรูปที่ 5.9 (ข) และ (ง) เป็นผลการตรวจลายน้ำ ซึ่งพบว่าลายน้ำมีความคงทนต่อการรบกวนแบบเกาส์ได้ดี



(ก)



(ข)



(ค)

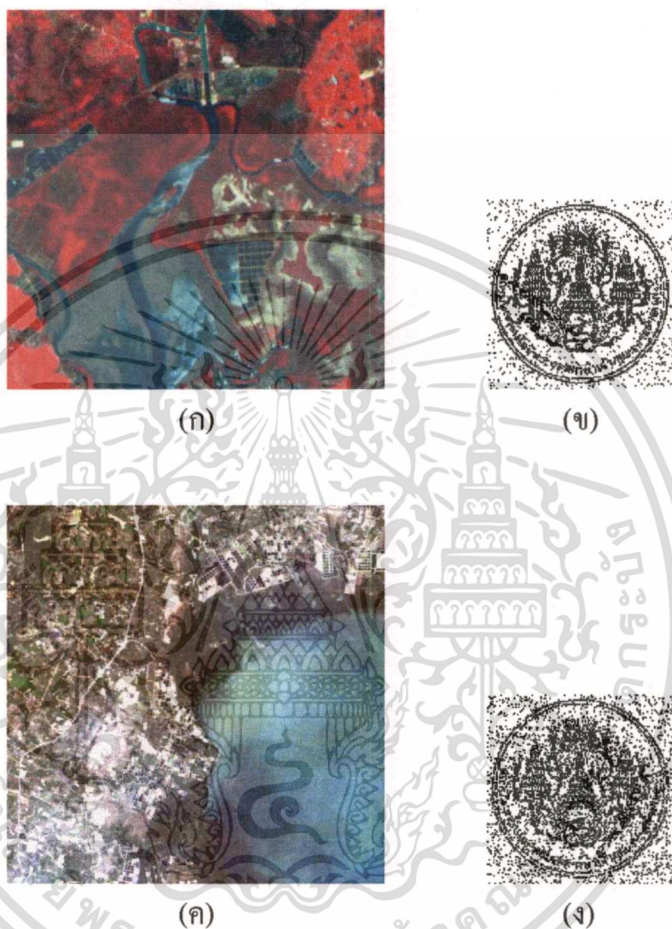


(ง)

รูปที่ 5.9 (ก) ภาพลายน้ำขนาด 3 แบนด์ที่ถูกแทรกด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.893$ (ค) ภาพลายน้ำขนาด 5 แบนด์ที่ถูกแทรกด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (ง) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.885$






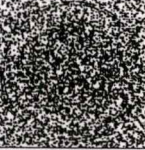





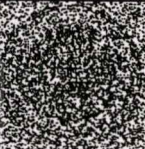
5.3.4 ผลการโจมตีภาพด้วยวิธีการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

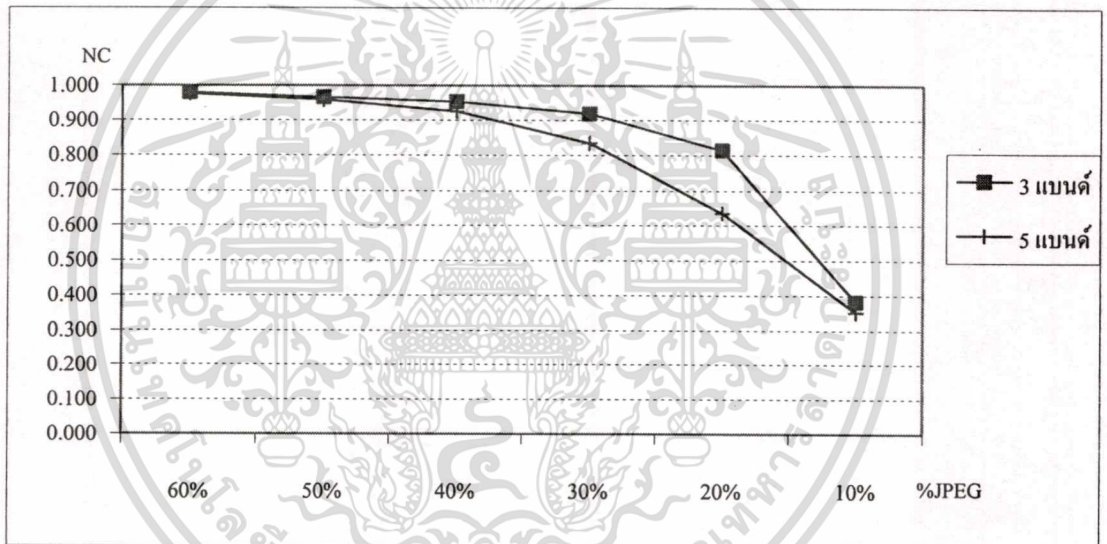
เมื่อลายน้ำถูกบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG จะทำให้คุณภาพของลายน้ำลดลงตามขนาดการบีบอัด ซึ่งผลการทดสอบพบว่าลายน้ำสามารถทนต่อการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG นี้ได้จนถึงการบีบอัดที่ค่า 10%



รูปที่ 5.10 (ก) ภาพลายน้ำขนาด 3 แบนด์ที่ถูกบีบอัดแบบ JPEG 20% (ข) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.831$ (ค) ภาพลายน้ำขนาด 5 แบนด์ที่ถูกบีบอัดแบบ JPEG 20% (ง) รูปลายน้ำที่ตรวจแยกได้มีค่า $NC=0.635$

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการตรวจแยกलयน้ำจากการบีบอัดภาพลายน้ำแบบ JPEG ด้วยอัตราส่วนค่าต่างๆ กันในภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์

% JPEG	60%	50%	40%	30%	20%	10%
รูป 3 แบนด์						
NC	0.980	0.966	0.954	0.918	0.813	0.382
รูป 5 แบนด์						
NC	0.976	0.959	0.925	0.835	0.635	0.352



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบผลจากการตรวจแยกलयน้ำ จากการบีบอัดภาพลายน้ำแบบ JPEG ที่อัตราส่วนต่างๆ ของภาพ 3 แบนด์และ 5 แบนด์

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ เทคนิคการนำลายน้ำดิจิทัลลงในโดเมนความถี่ โดยลายน้ำจะใช้สัญลักษณ์ลับ ซึ่งเป็นรูปโลโก้หรือตราสัญลักษณ์ขนาด 2 มิติ แบบไบนารี แทรกลงในภาพถ่ายหลายแบนด์ ผ่านกระบวนการลดความสัมพันธ์ภายในภาพหลายแบนด์แบบ KLT เพื่อฝังลายน้ำลงในโดเมนความถี่ของส่วนสำคัญที่สุดของภาพ โดยแฟคเตอร์แอมปริจูด (α) ที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความคงทนของลายน้ำในภาพ ค่าแอมปริจูด α ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสมดุลกันระหว่างความคงทนของภาพกับการไม่ปรากฏให้เห็นในภาพ ซึ่งทำให้ภาพถูกรบกวนมากและมีผลต่อการนำไปจำแนกภาพและการ โจมตีภาพ ด้วยวิธีการทางดิจิทัลแบบต่างๆ ค่า α ที่สูงเกินไปทำให้รูปลายน้ำ มีความคงทนสูงแต่จะทำให้การจำแนกภาพมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นสูงเช่นกัน ส่วนค่า α ที่ต่ำเกินไปจะทำให้การจำแนกภาพมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นน้อยลง แต่จะทำให้ลายน้ำขาดความคงทนจากการ โจมตีทางดิจิทัลแบบต่างๆ

ลายน้ำสามารถตรวจแยกออกมาได้โดยง่ายและสะดวก เพียงแค่ผู้ใช้งานทราบรหัสลับและขั้นตอนการตรวจแยกลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการสร้างลายน้ำขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการแทรกลายน้ำวิธีนี้ มีความคงทนต่อการ โจมตีทางดิจิทัลด้วยการประมวลผลแบบต่างๆ จากการทดสอบประสิทธิภาพต่อการ โจมตีแบบการกรองความถี่ต่ำ การทำให้ภาพเลือน สัญลักษณ์รบกวนแบบเกาส์ และการบีบอัดแบบ JPEG ที่ค่าต่างๆ แสดงให้เห็นว่าลายน้ำสามารถตรวจแยกจากภาพได้ นอกจากนี้การแทรกลายน้ำยังไม่ทำให้ความสามารถในการจำแนกภาพถ่ายผ่านดาวเทียมสูญเสียมากเกินไปอีกด้วย จากการทดลองการจำแนกภาพแสดงให้เห็นว่า จำนวนพิกเซลที่คลาดเคลื่อนไปจากการจำแนกภาพปกติมีค่าไม่มาก หลังจากการแทรกลายน้ำลงในภาพ ซึ่งค่าพิกเซลที่ผิดพลาดจากการจำแนกพื้นที่นี้สามารถปรับลดได้จากค่า α ในขั้นตอนการแทรกลายน้ำ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบลายน้ำที่ตรวจจับได้จากลายน้ำที่ไม่ถูก โจมตีกับลายน้ำที่ตรวจจับได้หลังจากการ โจมตีภาพลายน้ำออกมาเป็นค่า NC ทำให้สามารถช่วยในการตัดสินใจเพื่อการยอมรับภาพที่ตรวจจับได้ว่าเป็นภาพของเจ้าของลิขสิทธิ์จริง

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

เทคนิคการทำลายน้ำบนภาพถ่ายหลายแบนด์ เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากเทคนิคการทำลายน้ำบนภาพสีเทา (Grayscale) ซึ่งมีโครงสร้างของอัลกอริทึมที่ดี คงทนต่อการโจมตีทางดิจิทัลได้ดีกว่าลายน้ำที่สร้างบนโดเมนสเปเชียล แต่ปัญหาที่พบคือ ค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมในการสร้างลายน้ำซึ่งไม่สามารถกำหนดตายตัวได้ ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานกำหนดตามลักษณะของการใช้งาน เช่น ถ้าผู้ใช้ต้องการภาพถ่ายน้ำที่มีคุณภาพดีไม่ต้องการให้ลายน้ำไปรบกวนภาพมากเกินไป จำเป็นต้องลดค่า α ลง แต่ผลเสียคือลายน้ำจะไม่ทนต่อการโจมตีเป็นต้น

นอกจากนั้นการแปลงแบบ KLT เพื่อหาส่วนประกอบสำคัญที่สุดของภาพก่อนทำการแทรกลายน้ำยังทำให้ลายน้ำในภาพมีความคงทนลดลง เนื่องจากลายน้ำจะกระจกระบายอยู่ในส่วนต่างๆ ของรูปภาพหลังจากการแปลง KLT ย้อนกลับ เมื่อภาพถูกโจมตีก่อนการแยกลายน้ำจะทำให้ค่าการแปลง KLT เกิดความผิดเพี้ยนไปด้วยทำให้ได้ส่วนประกอบสำคัญที่สุดของภาพเสียหาย จึงส่งผลให้ลายน้ำที่ได้เสียหายมากขึ้น และยังทำให้ไม่สามารถทำการแยกลายน้ำโดยใช้ภาพแต่ละแบนด์แยกเป็นอิสระได้เนื่องจากต้องใช้ภาพทุกๆ แบนด์ในการนำไปตรวจแยกลายน้ำ

ในการวิจัยนี้เน้นหนักไปทางภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งการนำภาพเหล่านี้ไปใช้งานนั้นจะมีลักษณะอ่อนไหวต่อการรบกวนในภาพมาก จึงจะต้องเลือกค่า α ให้เหมาะสมในการแทรกลายน้ำเพื่อไม่ทำให้ผลจากการจำแนกภาพ หรือพื้นที่จากภาพผิดเพี้ยนมากเกินไป ส่วนข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของลายน้ำประเภทนี้คือ การที่ไม่สามารถลบลายน้ำออกจากภาพที่แทรกลายน้ำได้ ซึ่งการใช้งานบางประเภทอาจไม่สามารถยอมรับผลเสียข้อนี้ได้ เช่นภาพถ่ายเอกซเรย์ของผู้ป่วย ซึ่งแพทย์ผู้รักษาจำเป็นต้องอ่านภาพที่มีความถูกต้อง 100% เพื่อวินิจฉัยโรคผู้ป่วย ภาพทางทหารที่ต้องการความแม่นยำสูงเพื่อบอกพิกัดของศัตรู หรือการใช้งานอื่นๆ ที่ไม่สามารถยอมรับการเปลี่ยนแปลงของพิกเซลในภาพได้

การพัฒนาอัลกอริทึมนี้ ไปใช้กับภาพเคลื่อนไหวเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะประยุกต์ใช้งานการแทรกลายน้ำประเภทนี้ ส่วนการป้องกันข้อมูลให้มีความปลอดภัยมากขึ้นอาจใช้ร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสลับอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งถึงแม้ว่ารหัสจะถูกถอดออกได้ก็ยังมี การป้องกันข้อมูลจากขั้นตอนการแทรกลายน้ำดิจิทัลอยู่อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการลักลอบละเมิดลิขสิทธิ์ได้ยากมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีแนวทางการพัฒนาเรื่องของความสามารถในการลบลายน้ำออกจากภาพที่แทรกลายน้ำได้ เพื่อลดข้อจำกัดของลายน้ำประเภทนี้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Richard, J.A. 1993. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Second Revised and Enlarge Edition. Berlin : Springer-Verlag.
- [2] Hoffer, R.M. 1978. **Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data**. N.Y. McGraw-Hill.
- [3] Ulaby, F.T. et. al. 1985. **Microwave Remote Sensing Active and Passive**. Vol. 1, 2, 3 Reading Mass. Addison-Wesley.
- [4] Looney, C.G. 2003. **Opto-Mechatronic System Handbook Technical and Applications**. CRC Press LLC.
- [5] Looney, C. G. 2002. "Interactive clustering and merging with a new fuzzy expected value" **Pattern Recognition Lett.** pp. 35, 187–197.
- [6] Looney, C. 1997. **Pattern Recognition Using Neural Networks**. New York. Oxford University Press.
- [7] Forgy, E. 1965. **Cluster analysis of multivariate data**. efficiency versus interpretability of classifications. *Biometrics*. pp. 21, 768–776.
- [8] MacQueen, J. B. 1967. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations**. Proc. 5th Berkeley Symp. Probability Statistics, University of California Press, Berkeley. pp.281–297.
- [9] Pena, J. M., Lozano, J. A., and Larranago, P. 1999. **An empirical comparison of four initialization methods for the k-means algorithm**. *Pattern Recognition Lett.* pp.20, 1027–1040.
- [10] Selim, S. Z. and Ismail, M. A. 1984. **k-means type algorithms: a generalized convergence theorem and characterization of local optimality**. *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*. Vol.6, pp.81–87.
- [11] Gose, E. et. al. 1996. **Pattern Recognition and Image Analysis**. Upper Saddle.River: NJ. Prentice-Hall.
- [12] Maturino L. et. al. 2000. **Handoff algorithms based on fuzzy classifiers**. *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, 49(6), 2286–2294.
- [13] Snarey, M. and et al. 1997. **Comparison of algorithms for dissimilarity-based compound selection**. *J. Mol. Graphics Modeling*. Vol.15. pp.3782–3785.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Kaufman, L. and Rousseeuw, P. 1990. **Finding Groups in Data: an Introduction to Cluster Analysis**. NY. John Wiley & Sons.
- [15] Dubes, R. C. and Jain, A. K. 1998. **Algorithms for Clustering Data**. Englewood Cliffs, NJ. Prentice-Hall.
- [16] Xie, X. L. and Beni, G. 1991. **A validity measure for fuzzy clustering**. IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence. 13(8). pp. 841–847.
- [17] Chen, M. S. and Wang, S. W. 1999. **Fuzzy clustering analysis for optimizing fuzzy membership functions**. Fuzzy Sets Systems. pp. 103, 239–254.
- [18] Chiu, S. L. 1994. **Fuzzy model identification based on cluster estimation**. J. Intelligent Fuzzy Sys. pp. 2-3.
- [19] Yager, R. R. and Filev, D. P. 1991. **Approximate clustering via the mountain method**. IEEE Trans. Sys., Man Cybernetics. pp. 24, 1279–1284.
- [20] Anderson, R.J. and Petricolus, F. May 1998. **On the Limits of Stenography**. IEEE Journal on Selected Areas in Communication. Vol. 16, No.4. pp. 474-481.
- [21] Kurose, J.F. and Ross, K.W. 2000. **Computer Networking**. Addison Wesley Longman.
- [22] Kunder, D. 1999. **“Multiresolution Digital Watermarking: Algorithms and Implications for Multimedia Signals”** Ph.D. Thesis. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada.
- [23] Peticolus, F.A.P. et al. July 1999. **Information hiding – A Survey**. Proceeding of the IEEE, Special issue on protection of multimedia contents. 89(7). pp. 1062-1078.
- [24] Cox, I.J. Killian, J. et al. 1997. **Secure Spread Spectrum Water-marking or Multimedia**. IEEE Trans. Image Proc. Vol.6, No.12, pp. 1673-1687.
- [25] Kutter, M. and Petitcolas, F.A.P. 25-27 January 1999. **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.
- [26] Hartung, F. et. al. January 1999. **Spread Spectrum Watermarking: Malicious attacks and counter attacks**. Proc. SPIE 3657: Security and Watermarking of Multimedia contents. pp. 25-27. San Jose, CA, U.S.A.
- [27] Bell, A.E. 1999. **The Dynamic Digital Disk**. IEEE Spectrum. 36 (10), pp.28-35.



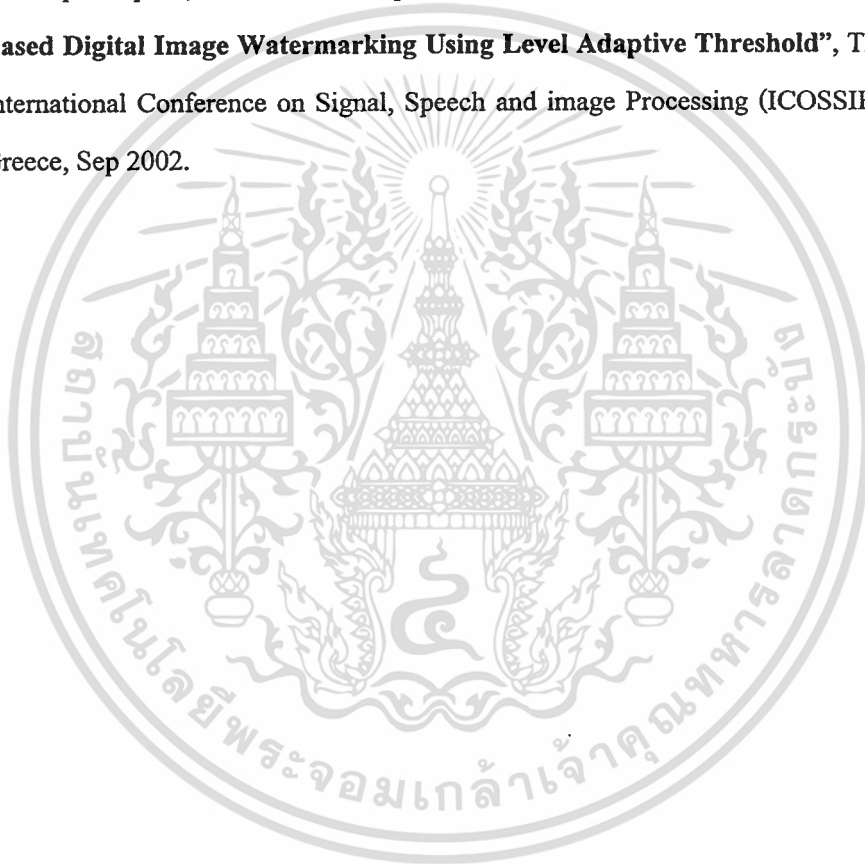
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. M. Ladhawanidphan, Y. Rangsaneri “**Wavelet-Based Watermarking of Multispectral Images**”, IASTED International Conference on Computer Graphics and Imaging (CGIM 2003), Honolulu, Hawaii, Aug 2003.
2. P. Rakpratanporn, M. Ladhawanidphan, Y. Rangsaneri, and P. Thitimajshima “**Wavelet-Based Digital Image Watermarking Using Level Adaptive Threshold**”, The 2nd WSEAS International Conference on Signal, Speech and image Processing (ICOSSIP 2002), Athens Greece, Sep 2002.



ประวัติผู้เขียน

นายมานะ ลัทธวิชพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2517 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม (ต่อเนื่อง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

ปี 2540 เข้าทำงานที่ บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด สังกัด กองวิศวกรรมระบบสื่อสารการบิน (วส.) ปัจจุบันตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส มีหน้าที่รับผิดชอบดูแลทางด้านการติดต่อสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ กับนักบินทางความถี่วิทยุคลื่น VHF และ UHF (Air Traffic Control Communication System Engineering) ซึ่งปัจจุบันมีพื้นที่ความรับผิดชอบครอบคลุมทั่วทั้งอาณาเขตประเทศไทย (Bangkok Flight Information Region หรือ Bangkok FIR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้