



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลท
โดย นายธาดา สิริโชติ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรณปัญญา)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุ่ง มีสัจ)

ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลข

นายธาดา ศิริโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายธาดา ศิริโชติ

ชื่อวิทยานิพนธ์ : ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลท

สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรณปัญญา

ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในวิดีโอ โดยเลือกบางเฟรมที่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของแต่ละเฟรม มาทำการแปลงเวฟเลทระดับ 2 จากนั้นนำจุดภาพลายน้ำมาเลือกกระจายลงในเฟรมวิดีโอที่ถูกเลือก การทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อการโจมตีชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย การบีบอัดวิดีโอ และการเปลี่ยนแปลงของอัตราเฟรมวิดีโอ การวัดประสิทธิภาพลายน้ำจะใช้ค่า PSNR และการหาความเหมือนของลายน้ำที่ถูกแกะคืนกลับมาจะใช้ค่า NC ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่า PSNR ที่ดีกว่าวิธีการฝังลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด และมีความคงทนต่อการโจมตีโดยการบีบอัดวิดีโอได้ดีอีกด้วย

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 58 หน้า)

คำสำคัญ : ภาพพิมพ์ลายนำดิจิทัล สัญญาวิดีโอ การแปลงเวฟเลข

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr:Tada Sirichote
Thesis Title : Digital Watermarking on Video Signal Using Wavelet Transform
Major Field : Computer Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr.Supot Nitsuwat
Assistant Professor Dr.Kuntpong Woraratpanya
Academic Year : 2006

Abstract

In this research we proposed digital video watermarking techniques by using brightness of each frame the sampling frame then were selected. The 2-level discrete wavelet transform was performed on the gray scale video frame. The seal data is embedded. The experience of attract by video compression, video frame rate and video changes. Digital video watermarking was evaluated by using PSNR. The reconstruction of watermarked data was evaluated by using NC. The experimental results showed that the proposed method gains higher PSNR and robust against compression attacks.

(Total 58 pages)

Keywords : Digital Watermarking, Video Signal, Wavelet Transform

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความเรียบร้อย เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันพงษ์ วรรณปัญญา ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนแนวความคิดในการแก้ปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจเป็นอย่างดีแก่ผู้วิจัยเสมอมา ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขออุทิศเพื่อบูชาพระคุณ บิดามารดา และครูอาจารย์ทุกท่าน

ธาดา ศิริโชติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความในการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ระบบวิดีโอ	4
2.2 ภาพลายน้ำดิจิทัล	10
2.3 การแปลงเวฟเล็ต	20
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	31
3.1 การฝังลายน้ำดิจิทัล	31
3.2 การแกะลายน้ำดิจิทัล	38
3.3 การทดสอบการ โจมตีวิดีโอลายน้ำ	40
3.4 การวัดประสิทธิภาพ	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง	41
4.1 คุณภาพของวิดีโอที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ	41
4.2 คุณภาพของวิดีโอลายน้ำที่ได้รับการ โจมตี	42
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	47
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลงานวิจัย	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก วิธีโอดันฉบับและภาพลายน้ำที่ใช้ในการทดลอง	52
ภาคผนวก ข ตารางแสดงภาพลายน้ำที่เรียกคืนมาได้	55
ประวัติผู้วิจัย	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	คุณภาพของสัญญาณวิดีโอที่ผ่านการฝังลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ในอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	41
4-2	คุณภาพของสัญญาณวิดีโอที่ผ่านการฝังลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ในอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	42
4-3	คุณภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	43
4-4	คุณภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ในอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	43
4-5	ขนาดไฟล์ที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	44
4-6	ขนาดไฟล์ที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ในอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	45
4-7	คุณภาพที่ได้จากการเพิ่มลดอัตราเฟรม 10fps, 25fps และ 30fps ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ในอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	46
4-8	คุณภาพที่ได้จากการเพิ่มลดอัตราเฟรม 10fps, 25fps และ 30fps ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ในอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ	46

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ส่วนประกอบในไฟล์วิดีโอ	5
2-2 ภาพลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้	11
2-3 ตัวอย่างภาพวิดีโอที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้	13
2-4 โครงสร้างของวิธีการซ่อนข้อมูล	14
2-5 การฝังลายน้ำลงในสื่อเจ้าบ้าน	15
2-6 การตรวจหาลายน้ำที่อาจแฝงอยู่ในสื่อเจ้าบ้าน	16
2-7 การแกะลายน้ำออกจากสื่อเจ้าบ้าน	17
2-8 การแยกขนาดเม็ดทรายโดยใช้การรวมทรายทุกขนาดเข้าด้วยกัน	20
2-9 การแยกทรายโดยแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ตามความยาว	21
2-10 การแยกโดยแบ่งช่วงที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดทราย	22
2-11 การแปลงเวฟเล็คแบบพื้นฐาน	27
3-1 วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในวิดีโอต้นฉบับ	31
3-2 การเลือกเฟรมหลัก	33
3-3 การเลือกบริเวณของเฟรมที่จะฝังลายน้ำ	34
3-4 การแบ่งฮาร์เวฟเล็คระดับที่ 1 และ 2 ของบริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับที่ถูกเลือก	34
3-5 การแบ่งบริเวณเฟรมลายน้ำดิจิทัล	35
3-6 การฝังบิตลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์บริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับ ณ ตำแหน่งใด ๆ	37
3-7 การฝังบิตลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์บริเวณความถี่ของเฟรมวิดีโอ	37
3-8 การรวมกลับวิดีโอลายน้ำ	38
3-9 วิธีการแกะลายน้ำดิจิทัล	38
3-10 การแกะบิตลายน้ำออกจากสัมประสิทธิ์เฟรมวิดีโอทดสอบ	39
3-11 การรวมกลับลายน้ำดิจิทัล	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว งานสร้างสรรค์ต่าง ๆ ได้เกิดขึ้นอย่างมากมายโดยใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกิดขึ้น รวมไปถึงความพยายาม และความทุ่มเทของเจ้าของผลงานเป็นอย่างมาก แต่ปัญหาสำคัญที่ตามมากับการเผยแพร่สิ่งสร้างสรรค์เหล่านั้นก็คือ การลอกเลียนแบบ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาวิธีการที่ใช้เพื่อป้องกัน และแก้ไขปัญหานี้ วิธีการหนึ่งที่มีการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพมากก็คือ การป้องกันการลอกเลียนแบบที่ตัวข้อมูลนั้น ๆ โดยตรง ซึ่งเทคนิควิธีการต่าง ๆ มากมายได้ถูกคิดค้น และใช้ในการป้องกันการละเมิดสิทธิทางปัญญาของข้อมูลที่ได้จดลิขสิทธิ์เอาไว้

แม้ว่าจะมีการป้องกันโดยการอ้างลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้น ๆ ไว้แล้วก็ตาม แต่การละเมิดลิขสิทธิ์ก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ และทรัพย์สินทางปัญญารขึ้น โดยวิธีที่จะนำมาใช้กับข้อมูลมัลติมีเดียเหล่านี้ไม่ควรทำให้คุณภาพของข้อมูลนั้น ๆ เปลี่ยนไปมาก ซึ่งวิธีการนี้จะใช้หลักการในการซ่อนสัญญาณรหัส ซึ่งเรียกว่า “สัญญาณลายน้ำ” (Watermark) ลงไปในข้อมูลมัลติมีเดียต้นฉบับ โดยเรียกวิธีดังกล่าวนี้ว่า “การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล”

สำหรับงานวิจัยนี้ (ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลท) มุ่งเน้นในการเลือกใส่สัญญาณลายน้ำ (Selective Watermarking) ลงในข้อมูลบางส่วนของสัญญาณวิดีโอ เพื่อลดระยะเวลาในการประมวลผล และลดขนาดของข้อมูลที่ผ่านการฝังลายน้ำ ซึ่งการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลกับข้อมูลวิดีโอ จะประกอบไปด้วยรูปภาพที่ต่อเนื่องกันหลาย ๆ รูป ทำให้การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลต่อรูปนั้นมีความซับซ้อน และใช้เวลานานในการประมวลผล จึงนำมาสู่แนวความคิดในการเลือกใส่สัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลบางส่วนของสัญญาณวิดีโอ กล่าวคือ ในกระบวนการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในวิดีโอ จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ และส่วนที่ปล่อยไว้ไม่แตะต้องโดยส่วนที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำนั้น จะครอบคลุมเฉพาะรายละเอียดที่สำคัญของข้อมูลวิดีโอเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนสำหรับการฝังลายน้ำดิจิทัล โดยวิธีการเลือกเฟรม (Selective Frame Watermarking) ในการฝังสัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลวิดีโอประเภท AVI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิดีโอที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นวิดีโอคลิปประเภท เอวีไอ (AVI) ในแบบภาพโทนสีเทา แต่ละเฟรมมีขนาด 320 x 240 จุดภาพ (Pixels) ความถี่ของเฟรม 15 เฟรมต่อวินาที

1.3.2 การวิจัยนี้ใช้หลักการเลือกบางเฟรม ในการฝังสัญญาณลายน้ำ และใช้หลักแปลงเวฟเลต (Wavelet) ในการหาตำแหน่งที่ใช้ในการใส่สัญญาณลายน้ำ แล้วทำการฝังสัญญาณลายน้ำโดยนำไปใส่ในโดเมนความถี่ของข้อมูลวิดีโอ

1.3.3 รักษาคุณภาพของสัญญาณลายน้ำ และข้อมูลต้นฉบับที่ถูกฝังสัญญาณ ไม่ให้ถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยที่คุณภาพของข้อมูลต้นฉบับสูญเสียน้อยที่สุด

1.3.4 การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม แมทแล็บ (MATLAB) เวอร์ชัน 6.5 เพื่อการพัฒนา

1.3.5 การทดสอบการโจมตีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1.3.5.1 การเพิ่มลดอัตราเฟรม เป็นการนำวิดีโอที่มีลายน้ำดิจิทัลมาทำการเพิ่มอัตราเฟรม 25 เฟรมต่อวินาที (fps) และ 30 เฟรมต่อวินาที (fps) ของอัตราเฟรมเดิม และทำการลดอัตราเฟรม 10 เฟรมต่อวินาที (fps)

1.3.5.2 การบีบอัดข้อมูล (Compression) แบบ Avi, Indeo3, Indeo5, และ Cinepak

1.4 คำจำกัดความในการวิจัย

ผู้วิจัยขอให้นิยามคำจำกัดความที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ ดังต่อไปนี้

1.4.1 วิดีโอ (Video) หมายถึง สัญญาณภาพที่ต่อเนื่องกันเป็นเรื่องราว

1.4.2 เฟรม (Frame) หมายถึง ภาพนิ่งแต่ละภาพที่เรียงอยู่ในวิดีโอ

1.4.3 ลายน้ำ (Watermarking) หมายถึง ข้อมูลหรือข่าวสารที่ซ่อนลงในสื่อประสม (Multimedia) หลากหลายรูปแบบ เพื่อป้องกันการแอบอ้างสิทธิ์ในสื่อประสมเหล่านั้น

1.4.4 เวฟเลต (Wavelet Transform) หมายถึง กระบวนการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้เซตของสัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะเป็นองค์ประกอบพื้นฐานซึ่งเรียกว่า เซตเวฟเลต (Wavelet Set) ซึ่งสมาชิกจะมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นสัญญาณที่เกิดจากต้นแบบเดียวกัน

1.4.5 ฮาร์เวฟเลท (Haar Wavelet Transform) หมายถึง กระบวนการทางคณิตศาสตร์ โดยเป็นการแปลงภาพแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีการแบ่งภาพออกเป็น ส่วน ๆ โดยที่แต่ละส่วนนั้นมีองค์ประกอบในเชิงความถี่ที่แตกต่างกันออกไป

1.4.6 เอวีไอ (AVI) เป็นไฟล์มาตรฐานทั่วไปของไฟล์วิดีโอ มีความคมชัดสูง

1.4.7 ฝังลายน้ำดิจิทัล หมายถึง กระบวนการเพิ่มค่าสัญญาณวิดีโอต้นฉบับให้มีค่าสูงขึ้น

1.4.8 แกะลายน้ำดิจิทัล หมายถึง กระบวนการแยกผลต่างของสัญญาณวิดีโอ ระหว่างวิดีโอลายน้ำ กับวิดีโอต้นฉบับ

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.5.1 ได้วิธีการสำหรับการฝังลายน้ำดิจิทัล โดยใช้แนวความคิดของหลักการเลือกบางเฟรมในการฝังสัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลวิดีโอประเภทเอวีไออย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ได้ตำแหน่งในการฝังสัญญาณลายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.3 ลดเวลาในการประมวลผล

1.5.4 รักษาคุณภาพของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ฝังไว้ ไม่ให้สามารถถูกทำลาย หรือเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยที่คุณภาพของข้อมูลต้นฉบับสูญเสียน้อยที่สุด

1.5.5 ป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ในวิดีโอ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวความคิดในการพัฒนาขั้นตอนสำหรับการฝังลายน้ำดิจิทัลในข้อมูลในวิดีโอได้รับความสนใจกันอย่างแพร่หลายมานานแล้ว เพราะวิดีโอเป็นข้อมูลมัลติมีเดียที่เก็บไว้ทั้งข้อมูลภาพและเสียง รวมทั้งข้อมูลตัวอักษรและข้อมูลสำคัญต่าง ๆ โดยเฉพาะข้อมูลภาพ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการละเมิดลิขสิทธิ์ของวิดีโอเกิดขึ้นมากมาย ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในข้อมูลวิดีโอนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบงานที่เกี่ยวข้องกับวิดีโอ

2.1 ระบบวิดีโอ

วิดีโอ คือ การเรียงต่อกันของรูปภาพเป็นเรื่องราว แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิดีโอแบบอนาล็อก (Analog Video) และแบบดิจิทัล (Digital Video) วิดีโอแบบอนาล็อกจะเก็บข้อมูลภาพและเสียงในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า มีลักษณะเป็นคลื่นและเก็บข้อมูลลงในม้วนเทป วิดีโอในระบบอนาล็อกจะมีความไวต่อการผิดเพี้ยนสูง เมื่อมีการบันทึกต่อกันหลาย ๆ ครั้ง จะทำให้คุณภาพของภาพและเสียงลดลง สำหรับวิดีโอแบบดิจิทัลนั้นจะเก็บอยู่ในรูปของไฟล์คอมพิวเตอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำสำเนาได้ และสามารถปรับแต่งแก้ไขได้

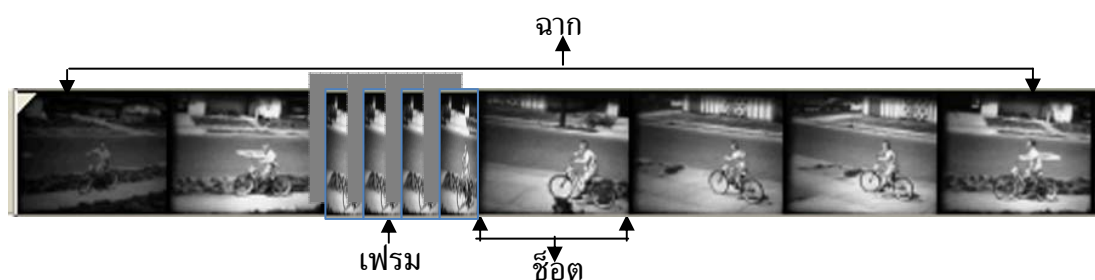
ส่วนประกอบภายในวิดีโอ มีการแบ่งออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้ [1]

2.1.1 เฟรม คือ ภาพนิ่งแต่ละภาพที่เรียงต่อกันจนเป็นเรื่องราว

2.1.2 ช็อต คือ คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามอัตราเฟรมที่เรียงกันอย่างต่อเนื่อง

2.1.3 ฉาก คือ ช็อตหลาย ๆ ช็อตที่นำมาเรียงต่อเนื่องกัน

ดังนั้น ในวิดีโอหนึ่งสามารถประกอบไปด้วยฉากหลาย ๆ ฉาก และในแต่ละฉากก็จะประกอบไปด้วยช็อตอย่างน้อย 1 ช็อต ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบในไฟล์วิดีโอ

2.1.4 มาตรฐานการแพร่ภาพวิดีโอ

ระบบวิดีโอมีความสัมพันธ์กับการนำไฟล์วิดีโอไปเผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งไฟล์วิดีโอ นั้น ๆ จะเปิดกับโทรทัศน์ หรือเครื่องเล่นอื่นได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าของระบบวิดีโอใน ขั้นตอนการตัดต่อด้วย โดยต้องกำหนดค่าให้ตรงกับระบบวิดีโอทั่วไปของแต่ละประเทศเลือกใช้ เท่านั้น

รูปแบบวิดีโอในแต่ละประเทศจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน แบ่งตามภูมิภาค ชนิดของกล้อง และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะมีอยู่ 3 รูปแบบดังนี้ [1]

2.1.4.1 ระบบพาล์ (PAL : Phase Alternate Line) เป็นระบบที่มีความคมชัดสูง แต่ การเคลื่อนไหวของภาพจะไม่ราบรื่นเท่ากับระบบอื่น เป็นรูปแบบวิดีโอที่มีความละเอียดใน แนวนอนเท่ากับ 625 เส้น ใช้อัตราการเฟรมในการรีเฟรช (Frame Rate) เท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที วิดีโอระบบนี้จะนิยมใช้ในกลุ่มประเทศแถบยุโรป แอฟริกาใต้และเอเชียบางประเทศ เช่น ใน ประเทศออสเตรเลีย เบลเยียม จีน ฟินแลนด์ เยอรมัน ฮังการี อิตาลี สิงคโปร์ มาเลเซีย และ ไทย เป็นต้น

2.1.4.2 ระบบเอ็นทีเอสซี (NTSC : National Television System Committee) เป็น ระบบที่มีความคมชัดสู้ระบบพาล์ (PAL) ไม่ได้ แต่การเคลื่อนไหวของภาพนั้นจะราบรื่นและ สวยงามกว่า เป็นรูปแบบวิดีโอที่มีความละเอียดในแนวนอนเท่ากับ 525 เส้น ใช้อัตราการรีเฟรช เท่ากับ 29.97 เฟรมต่อวินาที วิดีโอระบบนี้จะนิยมใช้ในกลุ่มประเทศอเมริกา และประเทศญี่ปุ่น เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา โคลัมเบีย เม็กซิโก ไต้หวัน ฟิลิปปินส์ เป็นต้น

2.1.4.3 ระบบซีแอม (SECAM : Sequential Color and Memory) เป็นระบบที่มีความ คมชัดสูง การเคลื่อนไหวของภาพราบรื่น เป็นรูปแบบวิดีโอที่มีความละเอียดในแนวนอนเท่ากับ 819 เส้น ใช้อัตราการรีเฟรช เท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที วิดีโอระบบนี้จะนิยมใช้ในแถบแอฟริกา

เหนือ ประเทศโซนตะวันออกกลาง และประเทศฝรั่งเศส เช่น ในประเทศบัลแกเรีย อิรัก อิหร่าน รัสเซีย โปแลนด์ เป็นต้น

2.1.4.4 ระบบเฮชดีทีวี (HDTV : High Definition Television) เป็นเทคโนโลยีของการแพร่ภาพที่มีความละเอียดสูง คือ 1280×720 จุดภาพ

2.1.5 ระบบกล้องวิดีโอ

กล้องวิดีโอที่ใช้ในการบันทึกภาพวิดีโอ มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังนี้

2.1.5.1 ระบบวีเอชเอส (VHS) เป็นวิดีโอแบบอนาล็อก เป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปตามร้านเช่าวิดีโอหรือตามบ้าน คุณภาพยังไม่ค่อยดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบดิจิทัล เหมาะสำหรับบันทึกภาพวิดีโอไว้ดู แต่ไม่เหมาะสำหรับการนำมาตัดต่อ

2.1.5.2 ระบบเอส-วีเอชเอส (S-VHS : Super VHS) เป็นวิดีโออนาล็อกที่พัฒนามาจากระบบวิดีโอวีเอชเอส (VHS) โดยสามารถบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพดีกว่าระบบวีเอชเอส (VHS) และมีความละเอียดของภาพมากกว่า ส่วนมากเทปในระบบนี้จะบันทึกเสียงในระบบไฮไฟสเตอริโอ (Hi-Fi Stereo) สามารถบันทึกข้อมูลได้ประมาณ 2 ชั่วโมง มีข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับเครื่องเล่นวิดีโอทั่วไปได้

2.1.5.3 ระบบวีเอชเอส-ซี (VHS-C : VHS Compact) เป็นวิดีโอแบบอนาล็อกอีกแบบหนึ่งที่พัฒนามาจากวิดีโอเทประบบวีเอชเอส (VHS) โดยได้ย่อขนาดให้เล็กลง สามารถเก็บข้อมูลได้ 30 - 40 นาที เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงทำให้วิดีโอมีความละเอียดของภาพน้อยลง จึงทำให้ขนาดของกล้องเล็กลงด้วย ทำให้พกพาได้สะดวกขึ้น การใช้งานสามารถนำมาใช้กับเครื่องเล่นในระบบวีเอชเอส (VHS) ได้ แต่ต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณช่วย

2.1.5.4 ระบบเอส-วีเอชเอส-ซี (S-VHS-C : Super VHS-C) เป็นวิดีโอแบบอนาล็อกที่พัฒนาต่อจากเทปแบบระบบเอส-วีเอชเอส (S-VHS) โดยได้ย่อขนาดให้เล็กลงเท่ากับเทปแบบระบบวีเอชเอส-ซี (VHS-C) แต่มีคุณภาพที่ดีกว่า บันทึกเสียงในระบบสเตอริโอ (Stereo) สามารถบันทึกข้อมูลได้ 30-40 นาที ข้อเสียคือไม่สามารถใช้งานกับเครื่องเล่นวิดีโอแบบวีเอชเอส (VHS) ทั่วไปได้

2.1.5.5 ระบบแปดเอ็มเอ็ม (8mm) เป็นเทปแบบอนาล็อกอีกแบบหนึ่งที่มีความนิยมมาก เนื่องจากเทปมีขนาดเล็กเพียง 8 มิลลิเมตร ทำให้กล้องที่ใช้เทปแบบนี้มีขนาดเล็กและราคาถูก เทปแบบนี้สามารถบันทึกข้อมูลได้ 120 นาที คุณภาพของวิดีโอพอใช้ได้ โดยทั่วไปจะบันทึกเสียงในระบบโมโน (Mono) แต่มีบางรุ่น ที่สามารถบันทึกเสียงในระบบสเตอริโอ (Stereo) ได้ ข้อเสียคือไม่สามารถเล่นกับเครื่องเล่นวิดีโอทั่วไปได้ ต้องเล่นจากตัวกล้องเท่านั้น

2.1.5.6 ระบบไฮแปด (Hi8) เป็นเทปแบบอนาล็อกอีกแบบหนึ่งที่พัฒนามาจากเทปแบบ 8 มิลลิเมตร โดยมีคุณภาพและมีความละเอียดของภาพมากกว่าแบบ 8 มิลลิเมตร บันทึกเสียง

ในระบบสเตอริโอ เทปมีขนาดเท่ากับเทปแบบ 8 มิลลิเมตร สามารถบันทึกข้อมูลได้ 120 นาที มีข้อเสียคือไม่สามารถเล่นกับเครื่องเล่นวิดีโอทั่วไปได้ ต้องเล่นจากตัวกล่องเช่นเดียวกับเทปแบบ 8 มิลลิเมตร

2.1.5.7 ระบบดีวี (DV) เป็นเทปที่บันทึกข้อมูลในระบบดิจิทัล โดยมีการบีบอัดข้อมูลก่อนด้วยอัตรา 5:1 กล่าวคือตัดข้อมูล 4 ใน 5 ส่วนทิ้ง แต่เนื่องจากวิธีการบีบอัดแบบดิจิทัลที่ซับซ้อนจึงทำให้ภาพยังคงคุณภาพที่ดีเยี่ยม การบันทึกเสียงมีทั้งแบบ 2 ช่อง และ 4 ช่องสัญญาณในระบบสเตอริโอมีความละเอียดของภาพสูงกว่าแบบอื่น ๆ สามารถบันทึกข้อมูลได้ตั้งแต่ 60 นาที ถึง 240 นาที เทปแบบดีวี (DV) จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือเทปแบบมาตรฐานสามารถบันทึกข้อมูลได้สูงสุด 240 นาที และเทปแบบมินิดีวี (miniDV) เป็นเทปแบบดีวี (DV) ที่ออกแบบให้มีขนาดเล็กลงอีกสามารถบันทึกข้อมูลได้สูงสุด 60 นาที

2.1.5.8 ระบบดิจิทัลแปด (Digital8) เป็นฟอร์แมตสำหรับกล้องถ่ายวิดีโอที่พัฒนาโดยบริษัทโซนี่ (Sony) โดยนำเทคโนโลยีดีวี (DV) มาใช้ในรูปแบบใหม่โดยการบันทึกสัญญาณดีวี (DV) ลงเทปไฮแปด (Hi8) แบบดิจิทัลแทนที่จะใช้เทปดีวี (DV) และเรียกชื่อระบบใหม่นี้ว่าดิจิทัลแปด (Digital8) สามารถอ่านข้อมูลจากเทปไฮแปด (Hi8) เดิมที่บันทึกในแบบอนาล็อกได้ ข้อเสียคือไม่สามารถนำเทปประเภทดีวี (DV) มาใช้ร่วมงานกันได้ สำหรับคุณภาพเทปดิจิทัลแปด (Digital8) มีคุณภาพไม่แตกต่างกับเทปประเภทดีวี (DV)

2.1.6 คุณภาพของวิดีโอ

การวัดคุณภาพของวิดีโอสามารถวัดได้จาก อัตราเฟรม และความละเอียดของภาพ

2.1.6.1 อัตราเฟรม คือ อัตราความถี่ในการแสดงภาพจากไทม์ไลน์ (Timeline) ออกทางหน้าจอ อัตราที่เฟรมถูกแสดงในวิดีโอมีหน่วยเป็นเฟรมต่อวินาที (fps : Frame per second เป็นหน่วยวัดปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการเก็บบันทึกและแสดงวิดีโอ) โดยผู้จัดทำสามารถที่จะกำหนดอัตราเฟรมเองได้ เช่น อัตราเฟรมของภาพยนตร์เท่ากับ 24 เฟรมต่อวินาที อัตราเฟรมระบบเพาล์ (PAL) เท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที และอัตราเฟรมระบบเอ็นทีเอสซี (NTSC) เท่ากับ 30 เฟรมต่อวินาที

2.1.6.2 ความละเอียด หมายถึง ความคมชัดของภาพที่แสดงผลออกมาทางจอภาพ ความละเอียดของจอภาพขึ้นอยู่กับจำนวนจุดทั้งหมดที่เกิดบนจอ จุดต่าง ๆ นี้เรียกว่า จุดภาพ เช่น ความละเอียดของจอภาพ 640×480 จุดภาพ หมายความว่า มีจำนวนจุดแสดงผลเรียงกันอยู่บนจอภาพในแนวนอน 640 จุดภาพ แนวตั้ง 480 จุดภาพ ซึ่งรวมจุดภาพทั้งหมดเป็น 370200 จุดภาพ นอกจากนี้ภาพที่มีขนาดเท่ากัน บางครั้งก็อาจจะมีความละเอียดที่ต่างกันได้อีก เนื่องจากจำนวนจุดภาพ

ต่างกัน จะส่งผลให้ขนาดของจุดภาพต่างกันด้วย ยิ่งความละเอียดของจอภาพสูงจะยิ่งทำให้มองเห็นพื้นที่ใช้งานบนจอกว้างมากขึ้น แต่จะทำให้มีขนาดเล็กลง

2.1.7 คุณสมบัติของไฟล์วิดีโอ

ไฟล์วิดีโอที่ได้จากการถ่ายทำภาพยนตร์ หรือจากสื่อบันทึกต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งไฟล์หลังการตัดต่อวิดีโอนั้นจะมีคุณสมบัติของไฟล์ที่เป็นเอกลักษณ์ชัดเจน เพื่อให้สามารถนำไฟล์วิดีโอไปใช้ได้ถูกต้อง และตรงตามคุณสมบัติจริงของไฟล์ดั้งเดิม

2.1.7.1 เฟรมเรต (Frame Rate) คือ ความเร็วในการแสดงภาพเคลื่อนไหวต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นเฟรมต่อวินาที (fps) โดยค่าเฟรมเรตที่จะทำให้เกิดเป็นภาพยนตร์ได้นั้นจะต้องมีค่าประมาณ 7-10 เฟรมต่อวินาที ซึ่งภาพยนตร์การ์ตูนสมัยก่อนจะใช้ภาพต่อเนื่องแสดงการเคลื่อนไหวอยู่ประมาณ 12 เฟรมต่อวินาที ค่าเฟรมเรตขึ้นอยู่กับระบบของภาพยนตร์ และระบบวิดีโอต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ฟิล์มภาพยนตร์ทั่วไป เท่ากับ 24 เฟรมต่อวินาที วิดีโอระบบเอ็นทีเอสซี เท่ากับ 29.97 เฟรมต่อวินาที วิดีโอระบบเพา เท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที วิดีโอระบบซีเคม เท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที ซีดีรอม มัลติมีเดียวิดีโอสำหรับวินโดวส์ และเว็บไซต์ เท่ากับ 15 เฟรมต่อวินาที งานสามมิติ (3D Animation) เท่ากับ 30 เฟรมต่อวินาที

2.1.7.2 ไทมเบส (Time Base) คือการแบ่งช่วงเวลาในการตัดต่อออกเป็นส่วน ๆ ใน 1 วินาที โดยค่านี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าเฟรมเรต คือถ้าค่าเฟรมเรตของไฟล์วิดีโอต้นฉบับ (Source Frame Rate) มีค่าเท่าใดการกำหนดค่าไทมเบสก่อนการตัดต่อก็ควรจะกำหนดให้มีความเท่ากัน เพื่อให้การแสดงผลภาพมีความถูกต้อง และไม่สะดุดขณะนำไปเผยแพร่ เช่น เฟรมเรตของไฟล์วิดีโอจากกล้องวิดีโอมีค่าเท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที ดังนั้นควรจะกำหนดค่าไทมเบสให้เท่ากับ 25 ด้วยเช่นกัน

2.1.7.3 คาดัตเรต (Data Rate) คืออัตราการส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลภาพเคลื่อนไหวในระบบดิจิทัล ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับคำว่า บิตเรต (Bit Rate) ซึ่งเป็นความเร็วในการส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหน่วยย่อยที่สุดคือ บิตต่อวินาที (bps) การกำหนดคาดัตเรตนี้ หากกำหนดให้มีความมาก จะทำให้คุณภาพของไฟล์วิดีโอสูง แต่ข้อเสียก็คือจะกินเนื้อที่ในฮาร์ดดิสก์มากตามไปด้วย

2.1.7.4 ขนาดของเฟรม เป็นขนาดของความกว้างคูณความยาวของเฟรม ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับค่าแอสเปกเรโช (Aspect Ratio) โดยตรงเนื่องจากเป็นอัตราส่วนความยาว : ความกว้างของเฟรม เช่น แอสเปกเรโช (Aspect Ratio) เท่ากับ 4:3 หมายความว่าต้องกำหนดขนาดของเฟรมในการแสดงผลเป็น (1024:768), (800:600), (640:480) ซึ่งใช้อัตราส่วน ความกว้าง : ความยาวเป็น 4:3 นั่นเอง ข้อกำหนดนี้รวมถึงหน้าจอคอมพิวเตอร์ (640:480), หน้าจอโทรทัศน์ (768:576) และหน้าจอแสดงผลของมัลติมีเดียทั่วไปด้วย ขนาดของเฟรมจะส่งผลต่อความคมชัดของการแสดงผลภาพ

หากเรากำหนดขนาดของเฟรมให้มีขนาดเล็กเกินไปเมื่อนำมาแสดงผลก็ต้องนำมาขยาย ซึ่งถ้าขยายเกินขนาดมากไปจะทำให้เมื่อดูภาพที่ได้จะไม่คมชัด ดังนั้นจึงต้องกำหนดขนาดของเฟรมให้มีขนาดพอดีกับการแสดงผลด้วย

2.1.7.5 การบีบอัดข้อมูล (Compression) ไฟล์วิดีโอเป็นการแสดงภาพที่มีความต่อเนื่องจำนวนมากอย่างรวดเร็ว ทำให้การเก็บหรือการบันทึกไฟล์วิดีโอลงในฮาร์ดดิสก์ต้องใช้พื้นที่จำนวนมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องมีการบีบอัดข้อมูล เพื่อทำให้ขนาดของไฟล์เล็กลงหรือเรียกว่า “ระบบเข้ารหัส (Codec)” ไฟล์วิดีโอที่มีการเข้ารหัสที่ได้ยินบ่อย ๆ ก็คือ เอ็มเปกวัน (MPEG-1), เอ็มเปกทู (MPEG-2), เอ็มเปกโฟร์ (MPEG-4) หรือดีไอวีโฟร์ (DIV4) เป็นต้น การเข้ารหัสให้กับภาพยนตร์นี้ สามารถทำได้โดยใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ตัวอย่างของฮาร์ดแวร์ เช่น การ์ดวิดีโอแคปเจอร์ (Video Capture Card) ทั่วไป ซึ่งมีฟังก์ชันในการเข้ารหัสอยู่แล้ว (บีบอัดข้อมูลขณะนำไฟล์วิดีโอเข้ามาในคอมพิวเตอร์) ส่วนซอฟต์แวร์จะเป็นโปรแกรมที่ใช้บีบอัดไฟล์ที่อยู่ในคอมพิวเตอร์แล้ว ได้แก่ พานาโซนิคเอ็นโค้ดเดอร์ (Panasonic Encoder), วินโดวส์มีเดียเอ็นโค้ดเดอร์ (Window Media Encoder), เอ็มเปกดีเจเอ็นโค้ดเดอร์ (MpegDJ Encoder), เป็นต้น ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ตามเว็บไซต์ของโปรแกรมต่าง ๆ

2.1.8 พอร์มัตของไฟล์วิดีโอประเภทต่าง ๆ

โดยปกติ ไฟล์วิดีโอจะมีมาตรฐานอยู่ไม่กี่แบบ แต่เนื่องจากบางครั้งต้องมีการบีบอัดข้อมูลเพื่อทำให้ขนาดไฟล์เล็กลงจนกระทั่งไฟล์ที่ถูกบีบอัดบางประเภทได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง จึงมีพอร์มัตของไฟล์วิดีโอเกิดขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งตัวอย่างไฟล์วิดีโอที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไป มีดังนี้

2.1.8.1 เอวีไอ (Avi) เป็นไฟล์มาตรฐานทั่วไปของไฟล์วิดีโอ มีความคมชัดสูง แต่ข้อเสียคือมีขนาดใหญ่

2.1.8.2 เอ็มเปก (Mpeg) เป็นพอร์มัตของไฟล์วิดีโอที่ถูกบีบอัดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะเนื่องจากไฟล์มีขนาดเล็กและคุณภาพหลากหลาย ตั้งแต่คมชัดที่สุด จนถึงอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ โดยมีหลายรูปแบบ ดังนี้

ก) เอ็มเปกวัน (MPEG-1) เป็นไฟล์ที่นิยมกันมากในการทำวีซีดี โดยขนาดไฟล์มีขนาดเล็กที่สุด

ข) เอ็มเปกทู (MPEG-2) เป็นไฟล์ที่นิยมกันมากในการทำดีวีดี โดยขนาดไฟล์มีขนาดใหญ่ แต่คุณภาพในการแสดงผลจะมีความคมชัดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับไฟล์ตระกูลเอ็มเปก (MPEG) เดียวกัน

ค) เอ็มเปกโฟว (MPEG-4) เป็นไฟล์ที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณภาพการแสดงผลใกล้เคียงกับดีวีดี แต่มีขนาดไฟล์เล็กกว่า เหมาะกับการเผยแพร่ไฟล์บนอินเทอร์เน็ตเท่านั้น เนื่องจากยังไม่สามารถใช้กับการแพร่ภาพทางโทรทัศน์และภาพยนตร์ได้

2.1.8.3 ดับเบิลยูเอ็มเอ (WMA) เป็นฟอร์แมตไฟล์มาตรฐานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ที่มีคุณภาพการแสดงผลที่ดีฟอร์แมตหนึ่งนิยมนำมาเผยแพร่กันบนอินเทอร์เน็ต

2.1.8.4 อาร์เอ็ม (RM) เป็นฟอร์แมตไฟล์ของโปรแกรมเรียลวันเพเยอร์ (Real One Player) ที่นิยมใช้เผยแพร่กันบนอินเทอร์เน็ต

2.1.8.5 มูฟ (MOV) เป็นฟอร์แมตไฟล์ของโปรแกรมควิกไทม (Quick Time) ผลิตขึ้นเพื่อใช้กับเครื่องแอปเปิล (Apple) แต่สามารถเปิดบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ได้เช่นกัน

2.2 ภาพลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำ ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาเป็นเวลานานแล้ว ตัวอย่างเช่น การฝังลายน้ำลงในธนบัตรและแสตมป์ วัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อป้องกันการปลอมแปลง ต่อมาเมื่อระบบเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นระบบดิจิทัล ลายน้ำแอนะล็อกก็เปลี่ยนรูปแบบมาเป็นลายน้ำดิจิทัลด้วยเช่นกัน

2.2.1 ความหมายของลายน้ำดิจิทัล คือ สัญลักษณ์ รูปแบบ หรือสัญญาณทางดิจิทัลที่ใส่ลงไปบนสื่อข้อมูลดิจิทัลแบบต่าง ๆ เช่น รูปภาพ เสียง ข้อความเอกสาร วิดีโอ หรือสื่อข้อมูลดิจิทัลแบบอื่น ๆ ซึ่งสัญลักษณ์ รูปแบบ หรือสัญญาณทางดิจิทัลนี้จะเป็นการแสดงถึงความเป็นเจ้าของ หรือแสดงถึงลิขสิทธิ์ของสื่อข้อมูลดิจิทัลซึ่งเป็นต้นฉบับต่าง ๆ เหล่านั้น โดยทั่วไปนั้นลายน้ำดิจิทัลที่ใช้นั้นจะเป็นลักษณะของตัวเลขสุ่ม รหัสแฮช และรูปภาพ

ความแตกต่างของการป้องกันลิขสิทธิ์โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลและสเตกาโนกราฟี (Steganography) ในการใช้วิธีการปรับแต่งภาพนั้นเป็นหลักการทั่ว ๆ ไปในการยอมให้เข้ารหัสในการสื่อสาร โดยใช้การปิดบังข้อมูลที่เป็นความลับลงในข้อมูลที่น่าเสนอ วิธีการสเตกาโนกราฟีอาศัยสมมุติฐานที่กล่าวถึงการคงอยู่ของข้อมูลที่มีการปิดบังในการสื่อสารนั้น ซึ่งไม่รู้ถึงส่วนที่สามที่เป็นการถอดรหัส และโดยส่วนมากใช้ในการรักษาความลับของการสื่อสารระหว่างจุดที่ไว้วางใจได้ ผลลัพธ์โดยทั่วไปของวิธีนี้ไม่ทนทาน เช่น ข้อมูลที่ฝังนั้นเมื่อรับมาได้แล้วข้อมูลมีการสูญเสียหรือเปลี่ยนแปลงจะไม่สามารถถอดข้อมูลหลักกลับมาได้

ส่วนลายน้ำดิจิทัลนั้นจะตรงกันข้ามกับวิธีการสเตกาโนกราฟี ซึ่งจะเพิ่มในส่วนของความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูล แล้วยังสามารถหาข้อมูลหลักที่ถูกเข้ารหัสมาได้ ซึ่งในการคงอยู่ของข้อมูลที่เข้ารหัสมานั้นยังเป็นการยากต่อผู้บุกรุกที่จะถอดลายน้ำดิจิทัลทิ้ง

2.2.2 ประเภทของภาพลายน้ำดิจิทัล ภาพลายน้ำดิจิทัลแบ่งออกเป็น 2 ชนิด [2] คือ ภาพลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (Visible Watermark) และภาพลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible Watermark)

2.2.2.1 การใส่ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้นั้นจะทำได้โดยการเขียน เติม หรือฝังตัวข้อมูลที่ต้องการลงไปในตัวรูปภาพโดยตรง ซึ่งประโยชน์ของการทำภาพลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ ก็คือ เป็นการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมัลติมีเดียชิ้นนั้น ๆ บุคคลทั่วไปที่พบเห็นจะสามารถรับรู้ได้โดยทันทีว่าภาพนั้น ๆ เป็นของผู้ใด นอกจากนี้ยังเป็นการยับยั้งการกระทำที่จะเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้น ๆ เช่น ความยากลำบากในการที่จะนำลายน้ำออกจากตัวรูปภาพก่อนที่จะนำไปเผยแพร่อย่างมิชอบ ดังภาพที่ 2-2



(ก) ลายน้ำดิจิทัลบริเวณด้านล่างขวาของภาพ



(ข) ลายน้ำดิจิทัลบริเวณกลางภาพ

ภาพที่ 2-2 ภาพลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อด้อย คือ ข้อมูลมัลติมีเดียจะมีคุณภาพลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวลายน้ำจะไปบดบังรายละเอียดของรูปภาพที่ใส่ แต่ถึงอย่างไรการทำภาพลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบนี้ยังคงเป็นที่นิยมใช้ในการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของ เพราะสามารถดำเนินการได้ง่ายและไม่ซับซ้อน และในบางครั้งความพยายามที่จะกำจัดลายน้ำที่อยู่ในรูปภาพนั้น ๆ ออก อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรูปซึ่งอาจจะเสียหาย และมีคุณภาพต่ำลง เช่นในภาพที่ 2-2 (ก) เป็นการใส่ภาพลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ลงไปบริเวณมุมขวาล่างของรูปภาพ ซึ่งการใส่ในบริเวณนี้จะไม่กระทบต่อรายละเอียดที่สำคัญของรูปภาพมากนัก แต่ในขณะเดียวกันตัวลายน้ำดิจิทัลจะถูกกำจัดออกไปได้โดยง่ายโดยไม่กระทบต่อส่วนสำคัญของรูป ส่วนในภาพที่ 2-2 (ข) ลายน้ำจะถูกใส่ลงไปบริเวณกลางรูปภาพซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญของรูปภาพ ทำให้ลายน้ำดิจิทัลมีความยากลำบากในการเอาออกโดยที่ไม่กระทบถึงคุณภาพของรูป ในขณะเดียวกันคุณภาพ

ของรูปนั้นก็จะลดลงไปมากเช่นกัน ในปัจจุบันมีโปรแกรมใช้งานหลายชนิดที่มีความสามารถในการทำภาพลายน้ำดังกล่าวได้ ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม Adobe Photoshop

2.2.2.2 การฝังภาพลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เป็นกระบวนการที่เจ้าของข้อมูลทำการใส่สัญญาณลายน้ำลงไปในตัวข้อมูลมัลติมีเดีย ซึ่งในกระบวนการใส่ลายน้ำจะใช้กุญแจรหัสลับเป็นส่วนประกอบในการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงแก้ไขจากบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยผู้ที่เป็นเจ้าของภาพเท่านั้นที่จะรู้กุญแจรหัสลับนี้ ดังนั้นบุคคลอื่นจึงไม่สามารถล่วงรู้ถึงสิ่งที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพนั้น ๆ ได้ แม้ว่าบุคคลนั้นจะรู้กลไกการทำงานในการใส่และถอดสัญญาณลายน้ำออกก็ตาม

การทำภาพลายน้ำดิจิทัลโดยทั่วไปมีข้อกำหนดมากมายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ใช้งานในแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามการทำภาพลายน้ำควรจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ก) ภายหลังการใส่ลายน้ำดิจิทัลแล้ว คุณภาพของรูปภาพไม่ควรลดลงมาก
- ข) เมื่อภาพที่มีลายน้ำถูกโจมตีโดยวิธีการประมวลสัญญาณต่าง ๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นรวมถึงการบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสียสัญญาณภาพบางส่วน การกระทำเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ข้อมูลลายน้ำหายไปหรือถูกทำลายได้
- ค) แม้ข้อมูลลายน้ำบางส่วนจะหายไป ข้อมูลที่คงอยู่ต้องชัดเจนและระบุเจ้าของที่แท้จริงได้
- ง) นอกจากเจ้าของผลงานเองแล้วบุคคลอื่นต้องไม่สามารถกู้คืนลายน้ำดิจิทัลออกได้ แม้จะใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างภาพเดียวกันที่ถูกฝังลายน้ำคนละตัว
- จ) การทำลายข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในภาพอาจทำได้ต่อเมื่อภาพถูกโจมตีด้วยวิธีการใด ๆ จนคุณภาพของภาพต่ำลงจนไม่อาจใช้การใด ๆ ได้อีก

เทคนิคการทำภาพลายน้ำดิจิทัลอาจถูกแยกประเภทโดยยึดจากตำแหน่งที่ใช้ในการใส่ลายน้ำภาพใด ๆ อาจระบุตำแหน่งที่ใส่ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลได้ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ข้อมูลลายน้ำที่ฝังในโดเมนเวลาอาจสูญหายไปได้เมื่อผ่านการโจมตีเชิงสัญญาณ เช่น การกรองสัญญาณแต่จะทนต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต เช่น การหมุนภาพ การตัดภาพ เป็นต้น ในทางกลับกันการทำภาพลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่จะทำให้ข้อมูลลายน้ำทนทานต่อการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ การกรองสัญญาณความถี่สูง และการบีบอัดข้อมูลภาพ เป็นต้น ภาพที่ 2-3 (ก) เป็นภาพจากวิดีโอต้นฉบับ ซึ่งเมื่อผ่านการทำภาพลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 2-3 (ข) โดยภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นฉบับเล็กน้อย ซึ่งเราแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าหากเรานำภาพมาพิจารณาอย่างละเอียดก็จะพบว่า ในความเป็นจริงแล้วภาพทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันอยู่



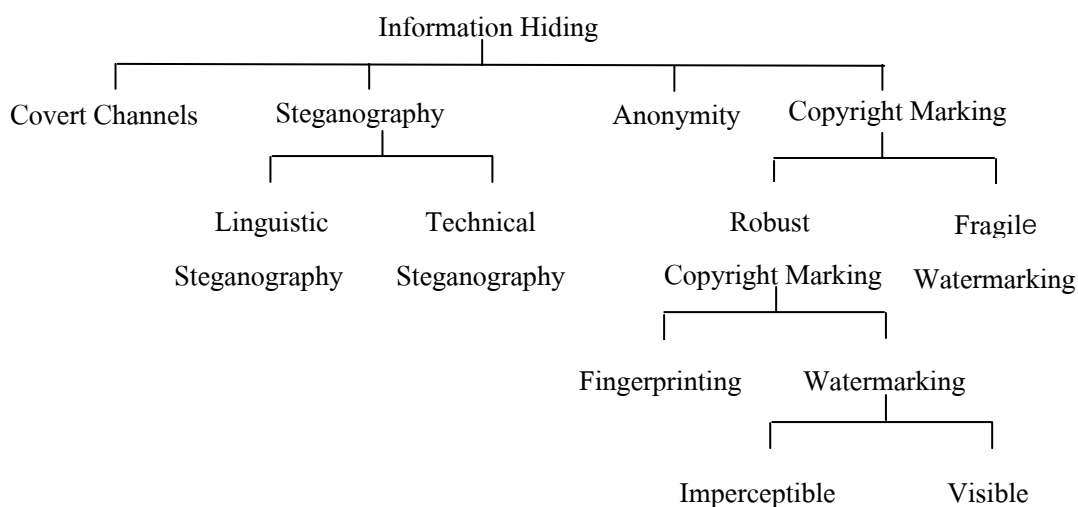
(ก) ภาพวิดีโอต้นฉบับ



(ข) ภาพวิดีโอที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ

ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างภาพวิดีโอที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้

2.2.3 เทคนิคสร้างภาพลายน้ำดิจิทัล ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคการซ่อนข้อมูล (Information Hiding) ซึ่งนับว่าเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญมากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นภาพ วิดีโอ และเสียง แต่ละวิธีจะมีวิธีการซ่อนสัญญาณลายน้ำที่แตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการพื้นฐานเหมือนกันคือ การรักษาคุณภาพของภาพที่ฝังภาพลายน้ำแล้ว ให้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากที่สุด และลายน้ำที่ซ่อนไว้จะต้องไม่ถูกทำลายได้ง่าย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีสร้างภาพลายน้ำดิจิทัล



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของวิธีการซ่อนข้อมูล

เทคนิคการสร้างภาพลายน้ำดิจิทัลสามารถจำแนกได้ตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น จำแนกตามคุณสมบัติของสื่อและความต้องการของเจ้าของสื่อ นั้น ๆ โดยจำแนกเป็น 6 ประเภทดังนี้ [3-4]

2.2.3.1 Perceptible Technique การฝังด้วยวิธีนี้จะมองเห็นภาพลายน้ำวางซ้อนอยู่บนภาพดิจิทัลอย่างชัดเจน

2.2.3.2 Imperceptible Technique เป็นวิธีฝังภาพลายน้ำโดยเจตนาไม่ให้มองเห็นด้วยตามนุษย์ ข้อดีคือผู้ละเมิดจะไม่รู้ว่ามีภาพลายน้ำฝังซ่อนอยู่ในภาพ

2.2.3.3 Fragile Technique เป็นวิธีที่มุ่งไปที่ความเปราะบางของสัญญาณภาพลายน้ำ ซึ่งสัญญาณภาพลายน้ำที่ถูกฝังไว้ในข้อมูลจะมีความไวต่อการเสียหายและการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเพียงเล็กน้อย

2.2.3.4 Robust Technique เป็นวิธีสร้างภาพลายน้ำดิจิทัลที่ภายหลังการฝังสัญญาณภาพลายน้ำแล้วภาพจะยังคงทนต่อการถูกโจมตีที่เกิดขึ้น และภาพลายน้ำจะยังคงอยู่ครบเท่าที่การโจมตีมีขนาดไม่รุนแรงเกินไป วิธีนี้มีความเหมาะสมกับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูล เนื่องจากความยากลำบากในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขทำลายสัญญาณลายน้ำที่อยู่ในภาพนั่นเอง

2.2.3.5 Source Extraction Technique หรือ Non - Blind Technique เป็นวิธีที่ต้องใช้ภาพต้นฉบับเพื่อช่วยในการแกะภาพลายน้ำที่ซ่อนไว้กลับคืนมา

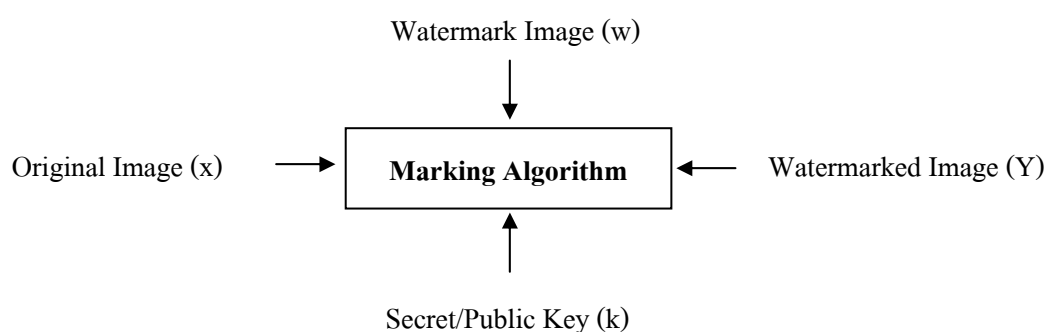
2.2.3.6 Destination Extraction Technique หรือ Blind Technique เป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับเพื่อช่วยในการแกะภาพลายน้ำที่ซ่อนไว้กลับคืนมา

2.2.4 องค์ประกอบของระบบลายน้ำดิจิทัล

ระบบลายน้ำดิจิทัลมีองค์ประกอบหลัก คือ การฝัง การตรวจหา และการแกะลายน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้ [11]

2.2.4.1 การฝังลายน้ำ (Watermark Embedding)

การฝังลายน้ำ คือ กระบวนการใส่ลายน้ำให้แฝงอยู่ในสื่อเจ้าบ้านโดยให้มีจำนวนที่มากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่ทำให้คุณภาพของสื่อเจ้าบ้านเสียไป อีกทั้งจะต้องคงทนต่อการโจมตีทั้งที่ตั้งใจและไม่ได้ตั้งใจ และการฝังนี้อาจมีการเข้ารหัสด้วยหรือไม่ก็ได้ กระบวนการฝังลายน้ำลงในสื่อเจ้าบ้านสามารถแสดงองค์ประกอบได้ในภาพที่ 2-5 นั่นคือ



ภาพที่ 2-5 การฝังลายน้ำลงในสื่อเจ้าบ้าน

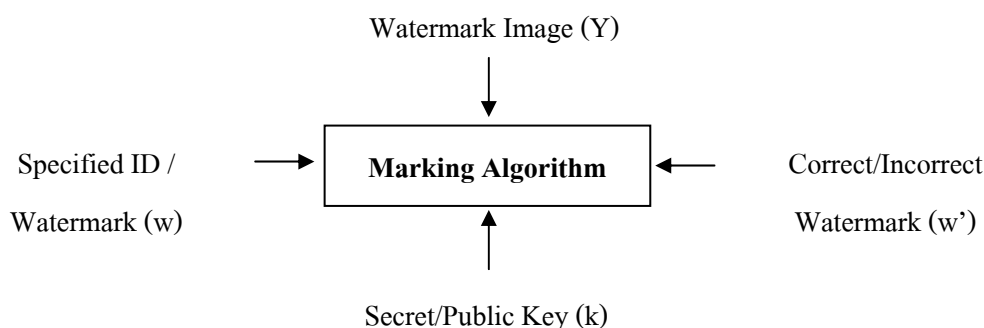
โดย Y เป็นสื่อผลลัพธ์ที่มีลายน้ำฝังอยู่ (Watermarked Media) ลายน้ำที่แฝงอยู่ในภาพผลลัพธ์นี้อาจสามารถมองเห็นได้หรือไม่ก็ได้

วิธีฝังลายน้ำแบ่งออกเป็น 2 แบบ (ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของสื่อเจ้าบ้าน) วิธีแรกคือการฝังลายน้ำในโดเมนพื้นที่ ซึ่งเป็นการฝังลายน้ำลงในข้อมูลแต่ละข้อมูลของสื่อโดยตรง เช่น ในกรณีที่สื่อเป็นภาพ การฝังเป็นการปรับค่าความเข้มของแต่ละจุดภาพ โดยพิจารณาตำแหน่งของข้อมูลเป็นหลัก อีกวิธีหนึ่งเป็นการปรับค่าความเข้มของแต่ละจุดภาพโดยพิจารณาตำแหน่งของข้อมูลเป็นหลัก อีกวิธีหนึ่งเป็นการฝังลายน้ำลงในสื่อต้นฉบับ ซึ่งอยู่ในรูปแบบโดเมนความถี่ ซึ่งเป็นผลมาจากการแปลงทรานฟอร์ม (Transform) แบบต่าง ๆ เช่น การแปลงฟูเรียร์ (Discrete Fourier Transform : DFT) การแปลงโคไซน์แบบเต็มภาพ (Full-Image Discrete Cosine Transform : DCT) การแปลงโคไซน์แบบทำทีละบล็อก (Block-wise Discrete Cosine Transform) การแปลงแฟรคทัล (Fractal) หรือการแปลงเวฟเลต (Wavelet) โดยทำการแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงที่มีค่าอยู่ในช่วงความถี่ของการเกิดของข้อมูลที่เหมาะสม ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจ

เพื่อกำหนดปริมาณของลายน้ำที่จะใส่ลงในสื่อเจ้าบ้านซึ่งจะทำให้มีความสมดุลกันระหว่างการมองเห็นได้และความคงทน

2.2.4.2 การตรวจหาลายน้ำ (Watermark Detection)

การตรวจหาลายน้ำ คือ กระบวนการพิสูจน์ทราบว่ามีลายน้ำแฝงอยู่ในสื่อที่สนใจนั้นหรือไม่ ข้อมูลเข้าขององค์ประกอบนี้ คือ สื่อที่สงสัยว่าจะมีลายน้ำฝังอยู่อาจมีรหัสลับ หรืออาจต้องมีสื่อเจ้าบ้านที่เป็นต้นฉบับ ซึ่งกระทำโดยใช้สื่อเจ้าบ้าน หรือซึ่งกระทำโดยไม่ใช้สื่อเจ้าบ้าน องค์ประกอบของการตรวจหาลายน้ำแสดงไว้ดังภาพที่ 2-6



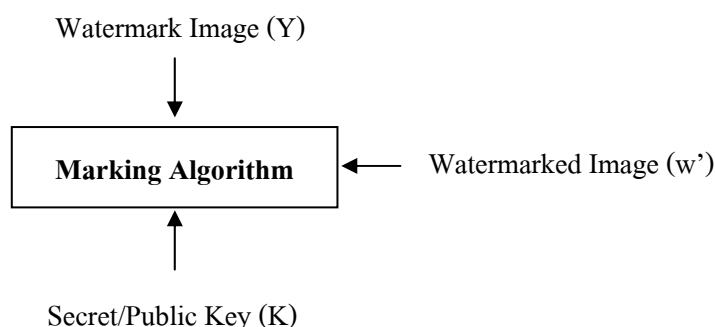
ภาพที่ 2-6 การตรวจหาลายน้ำที่อาจแฝงอยู่ในสื่อเจ้าบ้าน

2.2.4.3 การแกะลายน้ำ (Watermark Extraction)

ในกรณีที่ตรวจสอบพบและต้องการแกะลายน้ำออกจากสื่อนั้นมีแนวทางปฏิบัติดังนี้

ก) การตรวจหาและแกะลายน้ำโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ (Blind Watermarking) เกิดขึ้นในบางกรณีที่ไม่สามารถหาข้อมูลตั้งต้นได้ (สื่อและ/หรือลายน้ำ) หรือข้อมูลตั้งต้นมีปริมาณมาก จนทำให้ไม่สามารถประมวลผลได้ในเวลาที่จำกัด เช่น ข้อมูลในวิดีโอ

ข) การตรวจหาและแกะลายน้ำที่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ (สื่อและ/หรือลายน้ำ) องค์ประกอบของการแกะลายน้ำออกมาจากสื่อเจ้าบ้านแสดงไว้ในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 การแกะลายน้ำออกจากสื่อเจ้าบ้าน

2.2.5 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ

2.2.5.1 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของการสร้างภาพลายน้ำดิจิทัลอนันต์ ประยุกต์ใช้เกณฑ์การวัดคุณภาพของภาพดิจิทัล (Image Quality) [5-6] โดยแบ่งออกเป็น

ก) เกณฑ์เชิงคุณภาพ (Subjective Fidelity Criteria) เพื่อวัดประสิทธิภาพการมองเห็นไม่เห็นด้วยตามนุษย์ มีวิธีการคือสุ่มกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันมาทำการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคนที่มีพื้นฐานด้านการประมวลผลภาพ และกลุ่มคนที่ไม่มีความรู้ด้านนี้มาก่อน ขั้นตอนต่อมาคือ ให้กลุ่มตัวอย่างทั้งสองมาพิจารณาภาพที่ฝังภาพลายน้ำแล้วพร้อมกัน จากนั้นให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด (Subjective Fidelity Scoring Scale) แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือผลการทดลองจะไม่มีมาตรฐานเพียงพอ ทั้งนี้อาจเกิดจากการลำเอียงในการให้คะแนนหรืออาจเกิดจากประสิทธิภาพการมองเห็นของกลุ่มตัวอย่าง เช่น คนตาบอดสีบางสี

ข) เกณฑ์เชิงปริมาณ (Objective Fidelity Criteria) คือ ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นเกณฑ์วัดผลการทดลอง ข้อดีคือ สะดวกต่อการใช้งาน เช่น การใช้ค่า PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) ในการวัดความผิดเพี้ยนของภาพดิจิทัลที่ฝังลายน้ำดิจิทัลแล้วเทียบกับภาพดิจิทัลต้นฉบับ และการวัดสัดส่วนความเหมือนของภาพลายน้ำที่ถอดออกได้ทั้งก่อนและหลังการโจมตีเชิงสัญญาณเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การวัดประสิทธิภาพของการสร้างภาพลายน้ำดิจิทัลสำหรับโครงการวิจัยนี้ใช้เกณฑ์เชิงปริมาณเป็นเกณฑ์การวัดผลการทดลอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนตามกระบวนการวิจัย คือกระบวนการฝังภาพลายน้ำ ใช้ค่า PSNR เป็นเกณฑ์การวัดผลการทดลอง และกระบวนการแกะภาพลายน้ำใช้ค่า NC วัดสัดส่วนความเหมือนเป็นเกณฑ์การวัดผลการทดลอง

2.2.5.2 การตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของภาพดิจิทัล ด้วยค่า PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) หมายถึง ตัววัดเชิงปริมาณที่ใช้ประเมินค่าสัญญาณรบกวนที่ใส่เพิ่มลงไป

สัญญาณหลัก (ภาพดิจิทัลต้นฉบับ) เพื่อวัดคุณภาพการผิดเพี้ยนระหว่างภาพกราฟฟิกส์ที่ฝังภาพลายน้ำดิจิทัลแล้วเปรียบเทียบกับภาพกราฟฟิกส์ต้นฉบับ โดยมีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (dB : decibal) ซึ่งวิธีคำนวณสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2-5 และสมการที่ 2-6

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) db \quad (2-1)$$

โดยสมการของการหาค่า MSE (Mean-Squared-Error) เขียนได้ดังนี้

$$MSE = \frac{\sum (f_w(x,y) - f(x,y))^2}{n} \quad (2-2)$$

เมื่อค่า $f_w(x,y)$ = ภาพผลลัพธ์หลังจากฝังภาพลายน้ำดิจิทัลแล้ว
 $f(x,y)$ = ภาพดิจิทัลต้นฉบับ
 n = จำนวนจุดภาพในภาพผลลัพธ์และภาพดิจิทัลต้นฉบับ

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดคุณภาพของภาพดิจิทัลแบบ MSE คือการแบ่งค่าระดับสีออกเป็นบิตเพลน และสำหรับภาพดิจิทัลที่มีบิตเพลนที่มีค่าไม่เท่ากันจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าของภาพดิจิทัลทั้งสองภาพนั้น ๆ จึงแก้ปัญหาโดยการทำให้เป็นค่า PSNR ซึ่งในการวัดค่าโดยใช้ค่า PSNR นั้นได้ค่าที่ตรวจวัดออกมาเป็นค่า dB ซึ่งไม่ว่าภาพดิจิทัลมีค่าระดับบิตเพลนเท่ากันหรือไม่ก็สามารถนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาทำการเปรียบเทียบกันได้

โดยคุณภาพการผิดเพี้ยนของภาพดิจิทัลต้นฉบับที่ฝังภาพลายน้ำแล้วจะแปรผกผันตามค่า PSNR คือหากค่า PSNR น้อยแสดงว่าภาพมีการผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับมาก และหากค่า PSNR มากแสดงว่าภาพมีความผิดเพี้ยนน้อย

2.2.5.3 การวัดค่าความเหมือนของภาพ (Similarity Measurement) ด้วยค่า NC (The Normalized Cross Correlation) คือ จะใช้วัดค่าความเหมือนระหว่างภาพลายน้ำต้นฉบับและภาพลายน้ำที่แกะออกมาได้ทั้งก่อนและหลังผ่านการโจมตีแล้วโดยค่าผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0 ถึงค่า 1 สำหรับวิธีการคำนวณค่าความเหมือนของภาพ 2 มิติ สามารถทำได้ตามสมการที่ 2-7

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i,j) - w'(i,j)}{\sum_i \sum_j [w(i,j)]^2} \quad (2-3)$$

เมื่อ $w(i,j)$ และ $w'(i,j)$ แทนค่าความเข้มสีของจุดภาพ ณ ตำแหน่ง (i,j) ในภาพลายน้ำ ต้นฉบับและภาพลายน้ำที่แกะออกมาตามลำดับ โดยคุณภาพของภาพลายน้ำจะแปรผันตามค่าความเหมือนของภาพ คือ ค่าความเหมือนสูงมากเท่าใด แสดงว่าภาพลายน้ำที่แกะออกมาจะเหมือนกับภาพต้นฉบับมากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.2.6 การทดสอบระบุตำแหน่งการโจมตีลายน้ำ

การแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพโดยเจตนา (Image Modification) เกิดจากความจงใจของบุคคล ที่ตามที่ต้องการเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลรูปภาพเพื่อบิดเบือนความหมายของรูปภาพ ทำให้ผู้รับเกิดการเข้าใจผิด หรือแก้ไขเพื่อแอบอ้างความเป็นเจ้าของ การแก้ไขมักจะเป็นการนำวัตถุจากภาพอื่นเข้ามาแทนที่หรือเพิ่มในรูปภาพหรือลบวัตถุที่ปรากฏในรูปภาพทิ้งไป [7]

การแก้ไขรูปภาพ เป็นกระบวนการที่ทำให้ข้อมูลในรูปภาพมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งพบได้เสมอในการใช้งานรูปภาพ เพื่อให้รูปภาพมีคุณภาพดีขึ้นหรือเพื่อเผยแพร่ในรูปแบบไฟล์หรือสื่อประเภทต่าง ๆ [8] เช่น

2.2.6.1 การบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสีย เป็นกระบวนการลดปริมาณข้อมูลรูปภาพ วิธีการที่เป็นที่รู้จักแพร่หลายคือ การบีบอัดข้อมูลรูปภาพแบบ JPEG

2.2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต มุ่งที่การเปลี่ยนลักษณะของภาพโดยไม่มีการสูญเสียในเรื่องของคุณภาพ เช่น การย่อหรือขยายขนาดภาพ (Resizing) การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping) การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การหมุนภาพ (Rotation) และการกลับด้านของภาพ (Flipping)

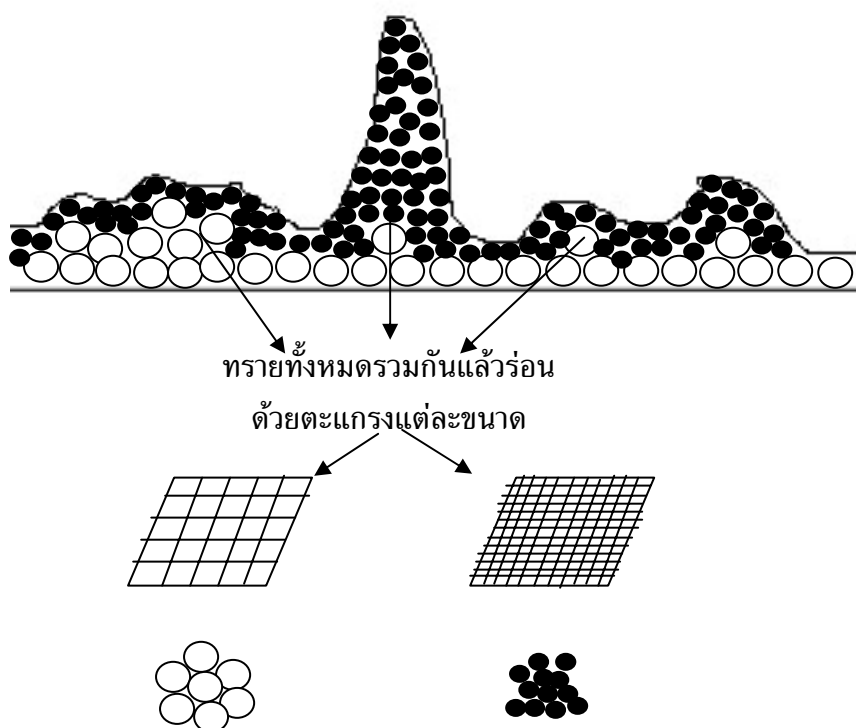
2.2.6.3 การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ ได้แก่ การปรับความสว่างและความแตกต่าง (Brightness and Contrast Enhancement) การปรับความคมชัด การทำให้เลือน การกรองแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น (Sharpening, Blurring, Linear and Non Linear Filtering) การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบคอร์รีเลตและแบบไม่เป็นคอร์รีเลต (Addition of Correlated or Uncorrelated Noise) การแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นแอนาล็อก (Digital-Analog (D/A) and Analog-Digital (A/D) Conversions) เช่น การพิมพ์และการสแกน หรือการบันทึกเทป

เทคนิคการทำลายน้ำดิจิตอลในโดเมนความถี่โดยทั่วไปต้องทำการแปลงภาพต้นฉบับให้อยู่ในโดเมนความถี่ก่อน โดยแปลงแบบ Fast Fourier Transform (FFT), Discrete Fourier Transform

(DFT), Discrete Cosine Transform (DCT), หรือ Discrete Wavelet Transform (DWT) ซึ่งเมื่อทำการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในโดเมนความถี่แล้วเราจะได้สัมประสิทธิ์จากการแปลงดังกล่าว จากนั้นจะทำการปรับแต่งสัมประสิทธิ์เหล่านั้น โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องไม่ทำให้คุณภาพของภาพต้นฉบับต่ำลงมากนัก ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับวิธีการในการใส่ลายน้ำดิจิทัลเพื่อให้เกิดความสมดุลกันระหว่างการมองเห็นได้และความคงทน สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นการทำลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีการแปลงเวฟเลต

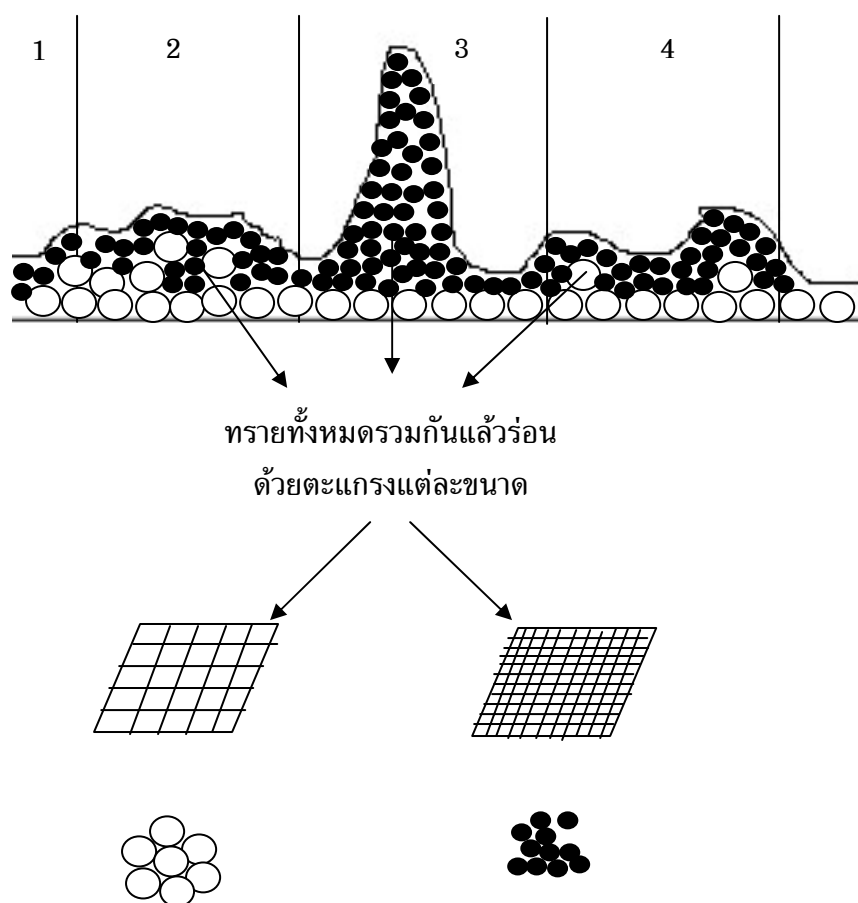
2.3 การแปลงเวฟเลต

เพื่ออธิบายทฤษฎีการแปลงเวฟเลตให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและเป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานจึงขอยกตัวอย่างของการแยกขนาดเม็ดทรายดังนี้ เมื่อพิจารณากองทรายกองหนึ่งซึ่งสมมุติให้มีเม็ดทรายขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน โดยกำหนดให้ทรายที่มีขนาดใหญ่อยู่ด้านล่าง ส่วนทรายที่มีขนาดเล็กอยู่ด้านบน และมีการกระจายตัวของทรายแต่ละขนาดตามความยาวของกองทรายตาม ภาพที่ 2-8 การแยกทรายแต่ละขนาดออกจากกันโดยทั่วไปจะนำทรายทั้งหมดมารวมกันและใช้ตะแกรงหลาย ๆ ขนาดร่อนแยกทรายแต่ละขนาดออกมา ซึ่งปริมาณทรายแต่ละขนาดนั้นเป็นค่าที่บอกว่ากองทรายตลอดช่วงความยาวทั้งหมดมีทรายขนาดนั้นอยู่มากน้อยเพียงใด

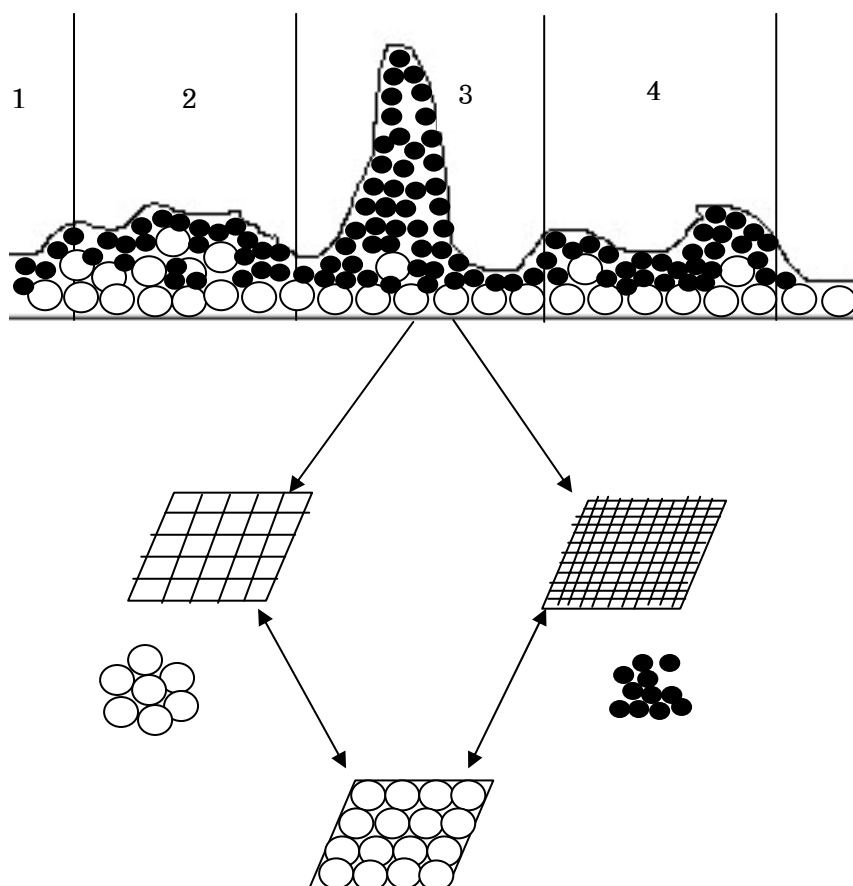


ภาพที่ 2-8 การแยกขนาดเม็ดทรายโดยใช้การรวมทรายทุกขนาดเข้าด้วยกัน

สิ่งหนึ่งที่ขาดหายไปคือไม่สามารถทราบได้เลยว่าแต่ละช่วงของกองทรายนั้นมีทรายแต่ละขนาดอยู่มากน้อยเพียงใด ทางแก้ไขที่ช่วยลดข้อบกพร่องดังกล่าวคือการแบ่งกองทรายนี้ออกเป็นช่วง ๆ ตามความยาวดังภาพที่ 2-9 แล้วทำการร่อนทรายในแต่ละช่วงออกมา ซึ่งจะทำให้ทราบว่าแต่ละช่วงหรือตำแหน่งของกองทรายมีปริมาณทรายแต่ละขนาดอยู่เท่าใดบ้าง และเมื่อพิจารณาในช่วงที่ 3 ซึ่งมีทรายขนาดเล็กอยู่ตลอดช่วงที่ 3 ซึ่งไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นเพื่อให้สามารถทราบปริมาณทรายแต่ละขนาดในแต่ละตำแหน่งที่ถูกต้องควรมีการแบ่งช่วงของกองทรายให้มีความกว้างที่แตกต่างกัน คือช่วงที่แคบสำหรับการร่อนทรายขนาดเล็กและช่วงที่กว้างสำหรับการร่อนทรายขนาดใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 2-10 การร่อนจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถ้าสามารถเลือกรูปแบบของตะแกรงที่เหมาะสมกับเม็ดทรายที่จะนำมาร่อน เช่น ถ้าเม็ดทรายเป็นทรงกลมก็ควรใช้ตะแกรงที่มีตาเป็นวงกลม หรือถ้าเม็ดทรายเป็นทรงสี่เหลี่ยมก็ควรใช้ตะแกรงที่มีตาเป็นตารางสี่เหลี่ยม เป็นต้น



ภาพที่ 2-9 การแยกทรายโดยแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ตามความยาว



ภาพที่ 2-10 การแยกโดยแบ่งช่วงที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดทราย

2.3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเลต

การแปลงเวฟเลตเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ที่ได้มีการพัฒนามาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม แต่ได้พัฒนารูปแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางมากขึ้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายความหมายและความแตกต่างของการแปลงเวฟเลตกับการแปลงสัญญาณในแบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจและนำไปใช้งานต่อไป

2.3.1.1 การแปลงฟูเรียร์

เป็นรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป็นการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลา (Time-domain) ไปเป็นโดเมนความถี่ (Frequency-domain) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นการหาสเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณนั่นเอง บางครั้งสามารถกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยฟังก์ชันพื้นฐาน (Basic Function) ในรูปของฟังก์ชันเอกซ์โพเนน

เชิงล ผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปของการแตกองค์ประกอบของสัญญาณใด ๆ ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันโคไซน์และไซน์ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกันตลอดย่านความถี่ [9]

ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์จะมีความแม่นยำด้านความถี่ และเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบเวลาที่แน่นอน (Stationary Signal) แต่ข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์คือ ในกรณีที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ (Non-stationary Signal) เช่น สัญญาณทรานเซียนต์รูปแบบต่าง ๆ การวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นรวมทั้งข้อมูลทางด้านเวลาที่ขาดหายไป ซึ่งข้อมูลทางด้านเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์สัญญาณในลักษณะทรานเซียนต์

2.3.1.2 การแปลงกาบอร์ (Gabor Transform : GT)

เป็นการแปลงสัญญาณที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นแบบแรกเพื่อแก้ปัญหาของการแปลงฟูเรียร์เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Windows Function) ซึ่งจะเป็นลักษณะของฟังก์ชันแบบเกาส์เซียน (Gaussian Function) ซึ่งแสดงอยู่ในสมการที่ 2-4 [10]

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

เมื่อ t คือ พารามิเตอร์เวลา
 a คือ พารามิเตอร์ความถี่

ซึ่งมีสมการการแปลงกาบอร์ดังนี้

$$G_b^a f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} f(t) g_a(t-b) dt \quad (2-5)$$

จากสมการที่ 2-5 เป็นสมการของการแปลงกาบอร์จะเห็นได้ว่าการแปลงในรูปแบบนี้สามารถเลือกตำแหน่งในการวิเคราะห์ได้โดยการกำหนดพารามิเตอร์ b ซึ่งจะให้ผลของข้อมูลทางเวลา และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a แต่เนื่องจากการแปลงกาบอร์ให้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเดียวจึงอาจจะไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์สัญญาณในทุกรูปแบบได้

2.3.1.3 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short-Time Fourier Transform : STFT) จากข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์และการแปลงกาบอร์ จึงมีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณมาสู่การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ฟังก์ชันหน้าต่างเหมือนการแปลงกาบอร์ แต่

สามารถเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่ใช้ได้จึงทำให้มีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์สัญญาณมากยิ่งขึ้น
สมการการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.12 [11]

$$STFT(f, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t-\tau)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2-6)$$

เมื่อ $w(t-\tau)$ = ฟังก์ชันหน้าต่าง (Window Function) ที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์ถูกกำหนดโดยค่า τ และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์กำหนดด้วยความถี่หรือความกว้างของฟังก์ชันหน้าต่างนั้น ๆ ผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของการแตกองค์ประกอบสัญญาณในลักษณะการแปลงฟูเรียร์ในช่วงเวลาที่ทำกรวิเคราะห์ (เทียบได้กับการร่อนทรายในภาพที่ 2-10)

สังเกตได้ว่าทั้งการแปลงกบอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น มีลักษณะของช่วงเวลาการวิเคราะห์ที่ค่าคงที่ (Fixed Resolution Transform) ดังนั้นการใช้ช่วงการวิเคราะห์สัญญาณที่คงที่ในการวิเคราะห์สัญญาณทุก ๆ ช่วงความถี่จึงอาจไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วกว่าจึงควรจะใช้ช่วงเวลาที่แคบในการวิเคราะห์ ในขณะที่สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าจึงจะใช้ช่วงเวลาที่กว้างกว่าในการวิเคราะห์ (เทียบได้กับการร่อนทรายในภาพที่ 2-10) จากเหตุผลนี้จึงได้มีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่มีการปรับระดับความละเอียดในการวิเคราะห์ซึ่งเรียกว่า “การแปลงเวฟเลต”

ทฤษฎีเวฟเลต (Wavelet Theory) เป็นคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการสร้างโมเดลของสัญญาณระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ใด ๆ ซึ่งประกอบขึ้นด้วยเซตของสัญญาณเฉพาะหรือระบบย่อย ๆ มารวมกันเป็นสัญญาณหรือระบบนั้น ๆ สัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็ก ๆ ซึ่งถูกเรียกว่า “เวฟเลต” ลักษณะของเวฟเลตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน

เมื่อสังเกตจะพบว่ามีคุณสมบัติของเวฟเลตตามที่กล่าวมาทั้ง 2 เงื่อนไข คือ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะของสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal) รวมกับเงื่อนไขการลดลงอย่างรวดเร็วตามลักษณะของ Windows Function

โดยเมื่อทั้งสองเงื่อนไขเกิดขึ้นพร้อมกัน จะทำให้เกิดคลื่นเล็ก ๆ ที่เรียกว่า เวฟเลต ดังนั้นการคูณกันของฟังก์ชันออสซิลเลท (Oscillate Function) และฟังก์ชันการลดลง (Decay Function) จะให้ผลเป็นคลื่นเวฟเลต

ดังนั้นการอธิบายสัญญาณใด ๆ ด้วยการแปลงเวฟเลต คือการนำกลุ่มของเวฟเลตที่มีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกันเป็นคำอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่า “เวฟเลตแม่” (Mother Wavelets) โดยที่คลื่นเวฟเลตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการสเกล (Scaling : a) หรือเป็นการยืดหรือหดตัวของเวฟเลตแม่ตัวเอง และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting : b) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งบนแกนเวลา ดังนั้นถ้าให้ (t) เป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของพจน์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2-7)$$

$\Psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่มีการปรับเปลี่ยนสเกลและตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ โดยที่เวฟเลตแม่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า a และ b แต่ยังคงอยู่ในเซตหรือมีความสัมพันธ์กับเวฟเลตแม่เดิมอยู่ และเพื่อให้เวฟเลตที่ถูกสเกลไปมีพลังงานเท่ากับเวฟเลตแม่จึงต้องทำการนอร์มัลไลซ์ (Normalize) ด้วยเสมอ

เมื่อนำสัญญาณใด ๆ มาผ่านการแปลงเวฟเลตก็เปรียบเสมือนการแตกสัญญาณนั้นออกมาอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่มีตำแหน่งทางเวลาและสเกลที่แตกต่างกันออกไป โดยที่เวฟเลตแต่ละตัวจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) อยู่นั้น ซึ่งรูปแบบการแตกกระจายสัญญาณนี้ เรียกว่าการกระจาย เวฟเลต (Wavelet Decomposition) ในทางกลับกันการรวมกลุ่มของเวฟเลตแต่ละตัวมาประกอบขึ้นเป็นสัญญาณเดิมนั้น เรียกว่า การรวมกลับเวฟเลต (Wavelet Reconstruction) ซึ่งก็คือการแปลงกลับเวฟเลต (Inverse Wavelet Transform)

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของการแปลงเวฟเลตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง และการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง

2.3.2 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง

รูปแบบของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องนั้นมีลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเวฟเลตแม่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่แคบในการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่สูง และช่วงในการวิเคราะห์ที่กว้างในการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ต่ำ ซึ่งก็เป็นการปรับระดับความละเอียดในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องให้เหมาะสมกับความถี่ที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแสดงสมการสำหรับการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้ [12]

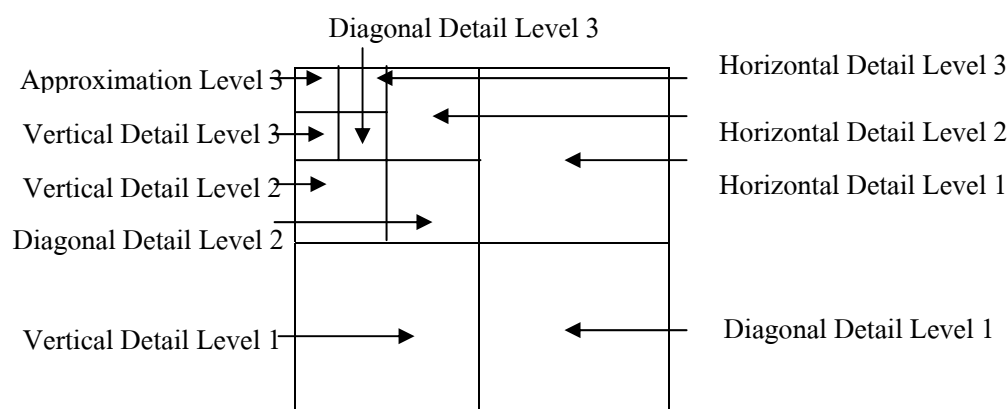
$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2-8)$$

เมื่อ $f(t)$ = สัญญาณที่ทำการแปลง
 ψ = เวฟเลตแม่
 a = แพลคเตอร์สเกล (Scaling)
 b = แพลคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

จากสมการที่ 2-8 เมื่อพิจารณาเทอมของ $\psi(t)$ ซึ่งเป็นเทอมของเวฟเลตแม่ที่เทียบได้กับเทอมของฟังก์ชันหน้าต่างในการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้นเอง แต่เมื่อพิจารณาเทอมของ (t) จะมีการเปลี่ยนคุณสมบัติไปตามพารามิเตอร์ a และ b นำเวฟเลตแม่มาเปรียบเทียบกับส่วนแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณในสเกลแรก

2.3.3 การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform : DWT) จากข้อจำกัดของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องจึงมีการพัฒนารูปแบบการแปลงเวฟเลตมาสู่การแปลงเวฟเลตเต็มหน่วย หรือเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่องที่มีลักษณะการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่องกัน

ความมุ่งหมายของการแปลงเวฟเลต คือ การแทนค่าสัญญาณด้วยสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพลังงาน ซึ่งสัมประสิทธิ์ทั้งหมดนั้นจะเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดซึ่งได้จากการกระจาย ดังนั้นการแปลงเวฟเลตกับสัญญาณนั้นจะเป็นการกระจายสัญญาณในทางโดเมนความถี่ที่มีความสัมพันธ์กับโดเมนพื้นที่ โดยสัมประสิทธิ์ที่ได้จะผ่านการกรองจากคู่ของ Dynamic Orthogonal Filter ซึ่งเราเรียกว่า Quartered Mirror Filter (QMF) โดยคู่ของ QMF เราจะเรียกว่าเวฟเลตพ่อ (Father Wavelet) และเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet) ซึ่งเวฟเลตพ่อนั้นจะแทนด้วยค่าสัมประสิทธิ์จากการกระจายสัญญาณซึ่งเราจะเรียกว่า Approximate หรือสัมประสิทธิ์ของความถี่ต่ำ (LL) เวฟเลตแม่นั้นจะแทนด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการกระจายสัญญาณในแต่ละระดับของการกระจาย ซึ่งเราเรียกว่า Detail ถ้าเป็นการแปลงเวฟเลตกับสัญญาณ 2 มิติ คือ สัญญาณรูปภาพนั้น และค่าของสัมประสิทธิ์ที่ได้คือค่าสัมประสิทธิ์ทางแนวตั้ง (Vertical Detail) หรือสัมประสิทธิ์ของความถี่สูงในความถี่ต่ำ (LH) ค่าสัมประสิทธิ์ทางแนวนอน (Horizontal Detail) หรือสัมประสิทธิ์ของความถี่ต่ำในความถี่สูง (HL) และค่าสัมประสิทธิ์ในแนวทแยงมุม (Diagonal Detail) หรือสัมประสิทธิ์ของความถี่สูง (HH) แสดงรายละเอียดการกระจายได้ดังภาพที่ 2-11 ซึ่งแสดงถึงการแปลงเวฟเลตแบบพื้นฐานโดยใช้หลักการ Filter Bank ของ [13]



ภาพที่ 2-11 การแปลงเวฟเลตแบบพื้นฐาน

2.3.4 การแปลงฮาร์เวฟเลต (Haar Wavelet Transform)

ฮาร์เวฟเลต เป็นเวฟเลตที่มีรูปแบบไม่ต่อเนื่องและคล้ายฟังก์ชันสเติร์ป เหมาะสำหรับการแทนสัญญาณภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงเด่นชัด เหมาะสำหรับการใช้ในการศึกษา เรียนรู้ สามารถนำมาใช้ในงานวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณได้

จากเนื้อหาที่กล่าวมาทั้งหมดทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของการแปลงเวฟเลตที่ใช้ฟังก์ชันเวฟเลตเป็นสัญญาณหน้าต่างสำหรับการส่ง ในลักษณะของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดได้ (Multiresolution Analysis : MRA) ซึ่งในทางปฏิบัติก็จะเป็นการสร้างเป็น Lowpass Impulse Response $h_0(n)$ แล้วทำการใช้คุณสมบัติของ Perfect Reconstruction Filter Bank เพื่อกำหนด Impulse Response $h_1(n)$ ซึ่งเป็นส่วนของ Highpass Filter โดยที่ Impulse เหล่านี้จะต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดเพื่อสามารถที่จะใช้ในการแจกแจงสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่จะเกิดจากการทำการแปลงเวฟเลตให้ถูกต้อง และจากการที่ฟังก์ชันเวฟเลตมีได้หลายรูปแบบก็จะทำให้มี $h_0(n)$, $h_1(n)$ ตามลักษณะของฟังก์ชันเวฟเลตนั้น ๆ ไปด้วย ดังนั้นจะต้องเลือกฟังก์ชันเวฟเลตให้เหมาะสมกับงานที่จะนำการแปลงเวฟเลตไปประยุกต์ใช้งานด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเวฟเลตไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ เทคโนโลยี ได้แก่ Image Compression, Video Compression, Signal Analysis and Synthesis และ Denoising Signals เป็นต้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทความ [14] ผู้เขียนได้นำเสนอวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้ในการปกป้องสัญญาณลายน้ำ ในกระบวนการลดขนาดข้อมูลด้วยการประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัลแบบต่าง ๆ เช่น การบีบอัดข้อมูลชนิดรูปภาพตามมาตรฐาน JPEG ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาและประยุกต์ใช้หลักการแปลงโดเมน โดยอาศัยการแปลงเวฟเลตแพกเกตในกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล เพื่อที่จะทำการแยกแยะรายละเอียดของรูปภาพในช่วงความถี่ต่าง ๆ อย่างเท่าเทียมกัน โดยภายหลังการแปลงเวฟเลตแพกเกต ค่าสัมประสิทธิ์ในซับแบนด์ทั้ง 4 ที่ประกอบไปด้วยช่วงความถี่กลางเอียงไปทางต่ำได้ถูกเลือกใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล นอกจากนี้ ในการสร้างสัญญาณลายน้ำได้ประยุกต์ใช้วิธีการกระจายแถบความถี่แบบอันดับโดยตรง โดยมีจุดประสงค์ที่จะเพิ่มความทนทานของสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝัง และลดความซับซ้อนในกระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำ จากผลลัพธ์ที่ได้ในการทดลองพบว่า การใช้เวฟเลตแพกเกตในการแปลงโดเมนแทนการใช้เวฟเลตแบบธรรมดา จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลสูง โดยวัดจากคุณภาพที่ดีขึ้นของรูปภาพที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำมากกว่านั้น สัญญาณลายน้ำที่ได้ยังมีความทนทานต่อการบีบอัดข้อมูลชนิดรูปภาพด้วยมาตรฐานการบีบอัด JPEG ที่อัตราการบีบอัดสูงถึง 70% และยังทนทานต่อกระบวนการลดขนาดของข้อมูลภาพด้วยวิธีการเปลี่ยนค่าระดับสัญญาณใหม่ การลดอัตราการสุ่มตัวอย่าง และการเปลี่ยนขนาดภาพใหม่ โดยวัดจากการที่สัญญาณลายน้ำที่กู้กลับคืนมาภายหลังที่ผ่านการบีบอัด หรือลดขนาดข้อมูลแล้ว มีความถูกต้องเที่ยงตรง 100%

การใช้ Harr Wavelets (Level 1) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการฝังสัญญาณลายน้ำโดย [15] เป็นการมุ่งเน้นในการหาตำแหน่งเพื่อฝังสัญญาณลายน้ำ โดยการหาตำแหน่งนี้ก็คือการหา Region of Interest (ROI) โดยการแตกสัญญาณภาพออกเป็น 4 ช่วงความถี่ แล้วใช้ค่าสูงสุดของแต่ละช่วงความถี่นั้น ๆ เป็น ROI ของภาพที่จะทำการฝังสัญญาณลายน้ำ วิธีการแปลงเวฟเลตอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำได้ก็คือ การแปลงเวฟเลตแพกเกต [16] ซึ่งจุดเด่นของการแปลงเวฟเลตแพกเกตจะอยู่ที่ความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของสัญญาณภาพ ได้เด่นชัดมากกว่าการแปลงเวฟเลตแบบธรรมดาโดยเฉพาะในช่วงความถี่กลาง และความถี่สูง ด้วยเหตุนี้ Onrit และคณะ [17] จึงได้นำการแปลงเวฟเลตแพกเกตมาประยุกต์ใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลกับข้อมูลชนิดรูปภาพ โดยวิธีการดังกล่าวจะทำการแปลงโดเมนของสัญญาณภาพไปสู่โดเมนความถี่โดยใช้การแปลงเวฟเลตแพกเกต ซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในซับแบนด์ต่าง ๆ กัน และค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในซับแบนด์ที่ได้เลือกไว้จะถูกนำมาใช้ในการฝังสัญญาณ

ลายน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝังโดยวิธีการข้างต้น มีความทนต่อการบีบอัดข้อมูลที่อัตราการบีบอัดที่สูงมาก ๆ

ในการออกแบบวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ดีนั้น เราควรจะพิจารณาถึงระดับความทนทานของสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝัง และคุณภาพของรูปที่ได้ภายหลังที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำแล้วให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ดังนั้นตำแหน่งในการฝังสัญญาณลายน้ำ (ซึ่งในที่นี้ก็คือซับแบนด์) จึงมีผลต่อปัจจัยทั้งสองเป็นอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำในแต่ละซับแบนด์ต่าง ๆ จะให้ค่าความทนทานของสัญญาณลายน้ำและระดับคุณภาพของรูปภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำที่แตกต่างกันออกไป [18] การกำหนดซับแบนด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำ จึงนับว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดที่จะสามารถบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ดีได้ ในบทความนี้ได้เลือกซับแบนด์ที่อยู่ในช่วงความถี่กลาง ๆ เชื่อมมาทางด้านซ้ายบนของรูป ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการฝังสัญญาณลายน้ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะไม่ไปกระทบกับส่วนที่สำคัญที่สุดของรูป ให้สังเกตว่าถ้าสัญญาณลายน้ำถูกฝังอยู่ในซับแบนด์ที่อยู่ในช่วงความถี่กลาง ๆ เบี่ยงมาทางขวาล่างของรูปแล้ว สัญญาณลายน้ำที่ฝังอาจจะมีการสูญหายไปเป็นบางส่วนเมื่อมีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลกับรูปภาพที่มีสัญญาณลายน้ำฝังอยู่

แม้ว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลกับข้อมูลชนิดรูปภาพอาจใช้เวลาไม่นานนัก แต่เมื่อเทียบกับข้อมูลชนิดวิดีโอจะแตกต่างกันมาก เพราะว่าโดยทั่วไปข้อมูลชนิดวิดีโอจะประกอบไปด้วยรูปภาพที่ต่อเนื่องกันหลาย ๆ รูป ทำให้การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลต่อรูปเหล่านั้นมีความซับซ้อน และใช้เวลานานในการประมวลผลสูงมาก ๆ จึงนำมาสู่แนวความคิดในการเลือกใส่สัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลบางส่วนของสัญญาณวิดีโอเท่านั้น (Selective Watermarking) แทนที่จะใส่ลงในวิดีโอทั้งหมด อย่างไรก็ตามในการทำเช่นนั้นจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของสัญญาณลายน้ำโดยรวม ดังนั้นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยใช้เทคนิคนี้จะมุ่งเน้นไปในเรื่องการหาตำแหน่งที่ใช้ในการใส่สัญญาณลายน้ำที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการที่ใช้ในการใส่ ซึ่งได้แสดงไว้ใน [19] สัญญาณลายน้ำจะถูกใส่ลงในส่วนของ I- เฟรม ของสัญญาณวิดีโอเท่านั้น ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับจำนวน P- เฟรม และ B- เฟรม ขณะที่ในกรณีของการพยายามกำจัดหรือทำลายสัญญาณลายน้ำดังกล่าว จะส่งผลกระทบไปสู่ข้อมูลทั้งหมด หลักการของเทคนิคนี้สามารถสรุปได้สั้น ๆ คือ ในกระบวนการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล ข้อมูลรูปภาพที่อยู่ภายในวิดีโอจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ (M_{selected}) และส่วนที่ปล่อยไว้ไม่แตะต้อง (M_{plain}) โดยส่วนที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำอาจครอบคลุมได้ตั้งแต่ 1 - 99 % ของข้อมูล

วิดีโอทั้งหมด อัตราส่วนของส่วนที่ใส่สัญญาณลายน้ำต่อข้อมูลทั้งหมด ถูกเรียกว่าอัตราส่วนที่ทำการเลือก (Selection Ratio)

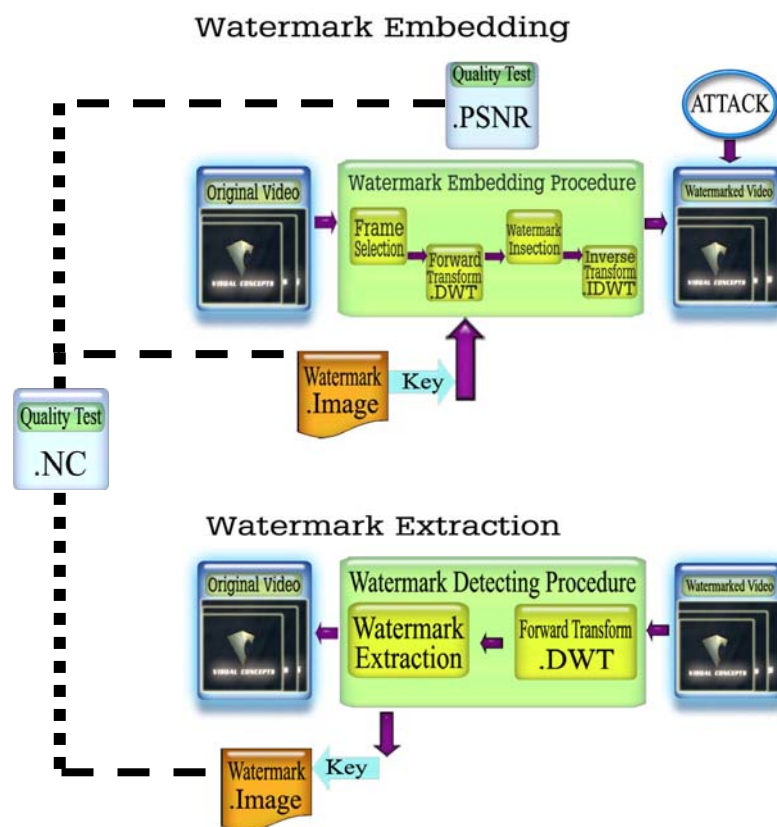
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำแนวคิดในการเลือกใส่สัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลบางส่วนของสัญญาณวิดีโอแทนที่จะใส่ลงในวิดีโอทั้งหมด โดยการหาค่าเฉลี่ยความเข้มแสงมากำหนดในการเลือกเฟรมวิดีโอ ซึ่งวิธีเดิม [19] จะทำการเลือกเฟรมโดยการหาจากอัตราส่วนของวิดีโอ ซึ่งเมื่อได้เฟรมที่ต้องการแล้ว ก็นำมาทำการแปลงเวฟเลขระดับ 2 โดยทำการฝังในตำแหน่งที่ได้จากการเลือกช่วงความถี่ที่ไม่ใช่ค่าสูงสุด และต่ำสุด ซึ่งวิธีเดิม [15] จะทำการแปลงเวฟเลขที่ระดับ 1 และทำการฝังลายน้ำที่ตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด และต่ำสุด โดยภาพนิ่งที่ใช้การทดลองทำภาพลายน้ำดิจิทัลจะเป็นภาพโทนสีเทา โดยผลที่ได้คือทำให้คงทนต่อการโจมตีด้วยวิธีการบีบอัด แต่ในงานวิจัยนี้จะทดลองใช้กับวิดีโอที่เป็นภาพโทนสีเทา

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานวิจัย ซึ่งแบ่งเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลลงไปในวิดีโอต้นฉบับ กระบวนการแกะลายน้ำดิจิทัลออกจากวิดีโอลายน้ำ และกระบวนการทดสอบโจมตีที่เกิดขึ้นบนภาพลายน้ำ

3.1 การฝังลายน้ำดิจิทัล



ภาพที่ 3-1 วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในวิดีโอต้นฉบับ

จากภาพที่ 3-1 แสดงวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในวิดีโอต้นฉบับ ซึ่งสามารถอธิบายลำดับขั้นดังนี้

3.1.1 เลือกเฟรม (Frame Selection) ของวิดีโอต้นฉบับ

3.1.1.1 หาค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของเฟรมวิดีโอทั้งหมด ซึ่งค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับผลรวมของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละเฟรมแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูล จากนั้นทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ให้เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (3-1)

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3-1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงของแต่ละเฟรม

x_i คือ ค่าความเข้มแสงแต่ละตัวของแต่ละเฟรม

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของแต่ละเฟรม

3.1.1.2 การเลือกเฟรมหลักที่นำไปใช้ในการเลือกเฟรมที่ต้องการฝังลายน้ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (3-2)

$$KF = (Max(\bar{x}) + Min(\bar{x}) \times (2/3)) \quad (3-2)$$

เมื่อ KF คือ เฟรมหลักที่นำไปใช้ในการเลือกเฟรมอื่น ๆ (Key Frame)

$Max(\bar{x})$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสูงสุดของจำนวนเฟรมทั้งหมด

$Min(\bar{x})$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงต่ำสุดของจำนวนเฟรมทั้งหมด

$2/3$ คือ อัตราการแบ่งช่วงค่าความเข้มแสงของข้อมูล

การเลือกเฟรมหลักนั้น เฟรมที่ถูกเลือกเป็นเฟรมแรกจะอยู่ในช่วงของข้อมูลที่มีค่าความเข้มแสงค่อนข้างสูง เนื่องจากข้อมูลวิดีโอในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยรายละเอียดต่าง ๆ มากมาย ซึ่งการแบ่งช่วงค่าความเข้มแสง ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 การเลือกเฟรมหลัก

การเลือกเฟรมตั้งต้นถือเป็นรหัสลับอย่างหนึ่งของการสร้างความปลอดภัยในกระบวนการส่งถ่ายน้ำดิจิทัล

3.1.1.3 ทำการเลือกเฟรมที่ต้องการ ในการเลือกเฟรมที่ต้องการนั้น จำนวนเฟรมที่ถูกสุ่มเลือกนั้นจะผูกพันตามจำนวนเฟรมวิดีโอทั้งหมด (Total Frame) กับอัตราเฟรม (Frame Rate) เพื่อให้ได้จำนวนเฟรมวิดีโอที่ส่งถ่ายน้ำครอบคลุมทุกช็อต (Shot) กับข้อมูลวิดีโอทั้งหมด ดังสมการที่ (3-3), (3-4), (3-5)

$$F = TF \times (20/100) \quad (3-3)$$

$$FS = KF + FR \quad (3-4)$$

$$F = FS \quad (3-5)$$

เมื่อ F คือ จำนวนเฟรมที่ต้องการเลือก

TF คือ จำนวนเฟรมทั้งหมด (Total Frames)

FS คือ จำนวนเฟรมที่ได้จากการเลือก (Frames Select)

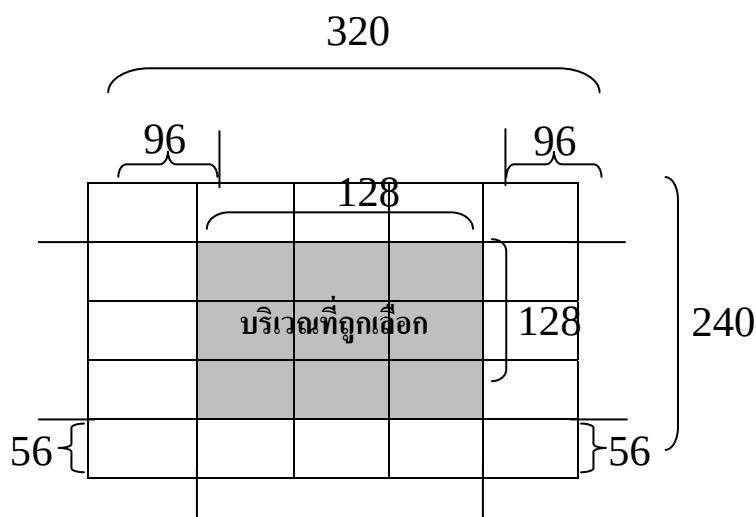
FR คือ อัตราเฟรม (Frame Rate : fps)

20/100 คือ อัตราส่วนเฟรมถ่ายน้ำที่นำไปใช้ในการเลือกเฟรมต่าง ๆ ซึ่งคิดเป็นอัตราร้อยละ 20 ของจำนวนเฟรมวิดีโอทั้งหมด

การเลือกเฟรมต้นฉบับที่จะแทรกถ่ายน้ำดิจิทัลลงไป ซึ่งการเลือกเฟรมนี้ถือเป็นรหัสลับอย่างหนึ่งของการสร้างความปลอดภัยในกระบวนการส่งถ่ายน้ำ

3.1.2 เลือกบริเวณของเฟรมที่จะส่งถ่ายน้ำ

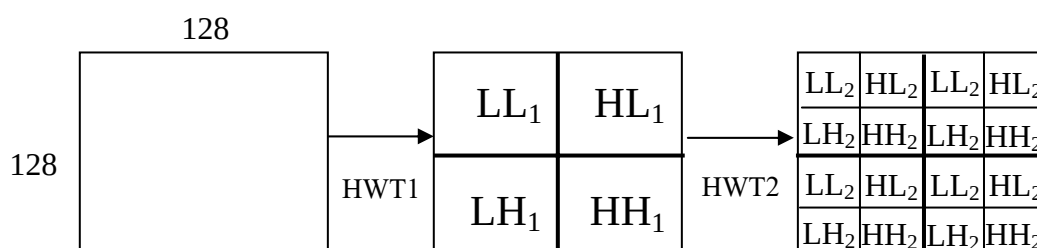
ทำการเลือกบริเวณของเฟรมวิดีโอต้นฉบับที่จะฝังลายน้ำดิจิทัลลงไป ซึ่งการเลือกบริเวณนี้ถือเป็นรหัสลับอย่างหนึ่งของการสร้างความปลอดภัยในกระบวนการฝังลายน้ำ โดยเลือกบริเวณส่วนกลางของแต่ละเฟรม ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-3 การเลือกบริเวณของเฟรมที่จะฝังลายน้ำ

3.1.3 แปลงโดเมนของบริเวณเฟรมที่ถูกเลือก

ทำการแปลงบริเวณเฟรมที่ถูกเลือกจากโดเมนปกติให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยวิธีการแปลงฮาร์เวฟเลต (Haar Wavelet Transform : HWT) ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 การแบ่งฮาร์เวฟเลตระดับที่ 1 และ 2 ของบริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับที่ถูกเลือก

3.1.4 แบ่งบริเวณเฟรมลายน้ำดิจิทัล

หลังจากได้พื้นที่บริเวณของเฟรมที่จะฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว กำหนดให้ FL แทนลายน้ำดิจิทัลซึ่งเป็นภาพสองระดับ ขนาด $L1 \times L2$ จุดภาพ ซึ่งมีขนาดเป็นหนึ่งในสี่ของบริเวณเฟรมต้นฉบับ สามารถแทนด้วยสมการที่ (3-6)

$$FL = \{FL_{ij}, 0 \leq i < L1, 0 \leq j < L2\} \quad (3-6)$$

เมื่อ $FL_{ij} \in \{0,1\}$ สำหรับทุก ๆ i, j ที่ซึ่ง $0 \leq i < L1, 0 \leq j < L2$

การแบ่งพื้นที่บริเวณเฟรมวิดีโอลายน้ำดิจิทัลจะทำการแบ่งในลักษณะเดียวกัน โดยขนาดแต่ละบริเวณบนเฟรมวิดีโอลายน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กับเฟรมวิดีโอต้นฉบับและภาพลายน้ำดังภาพที่ (3-5)

8

1	2	...	8
2			
:			
8			

8

ภาพที่ 3-5 การแบ่งบริเวณเฟรมลายน้ำดิจิทัล ทำให้ได้บริเวณตามแนวแกน x จำนวน 8 และแนวแกน y จำนวน 8 บริเวณ

เนื่องจากการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในเฟรมวิดีโอต้นฉบับจะกระทำเป็นบริเวณต่อบริเวณ ดังนั้นจำนวนบริเวณที่ได้จากการแบ่งบริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับที่ถูกเลือกกับการแบ่งบริเวณเฟรมวิดีโอลายน้ำดิจิทัลจะต้องเป็น 8×8 บริเวณเท่ากัน

3.1.5 ฟังก์ชันน้ำจืด

วิธีการเลือกฟังก์ชันน้ำจืดในสัมประสิทธิ์บริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับนั้นแสดงได้ดังสมการที่ (3-7.1), (3-7.2), (3-8), (3-9), (3-10.1) และ (3-10.2) ซึ่งเป็นการฟังก์ชันน้ำจืดในสัมประสิทธิ์บริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับ ณ ตำแหน่งใด ๆ ดังภาพที่ (3-6)

$$b_m(i, j) = (Max(m_s) + Min(m_s) \times (2/3)) \quad (3-7.1)$$

$$b_n(i, j) = (Max(m_s) - Min(m_s) \times (2/3)) \quad (3-7.2)$$

$$d(i, j) = |b_m(i, j) - b_n(i, j)| \quad (3-8)$$

$$w_m(i, j) = b_m(i, j) + (\alpha + d(i, j)) \quad (3-10.1)$$

$$w_n(i, j) = b_n(i, j) - (\alpha + d(i, j)) \quad (3-10.2)$$

เมื่อ s คือ ช่วงความถี่ของบริเวณเฟรมวิดีโอ

b_s, m_s คือ ช่วงค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละช่วงความถี่ของบริเวณเฟรมวิดีโอ

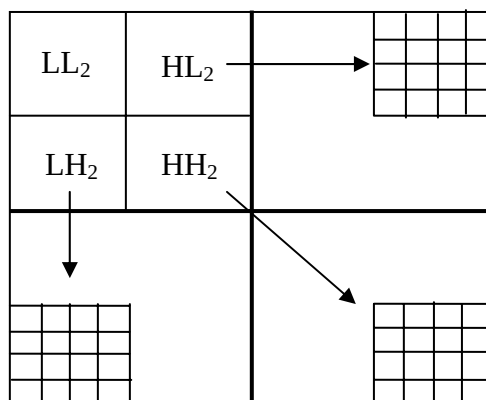
$b_m(i, j)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในช่วงความถี่สูงที่ได้จากการเลือกของแต่ละช่วงความถี่ของบริเวณเฟรมวิดีโอ

$b_n(i, j)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในช่วงความถี่ต่ำที่ได้จากการเลือกของแต่ละช่วงความถี่ของบริเวณเฟรมวิดีโอ

$d(i, j)$ คือ ค่าผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ในช่วงความถี่สูงกับช่วงความถี่ต่ำ

$w_m(i, j)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการฟังก์ชันน้ำ

α คือ ค่าคงที่ใด ๆ เพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณน้ำ



ภาพที่ 3-6 การฝังบิตลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์บริเวณเฟรมวิดีโอต้นฉบับ ณ ตำแหน่งใด ๆ

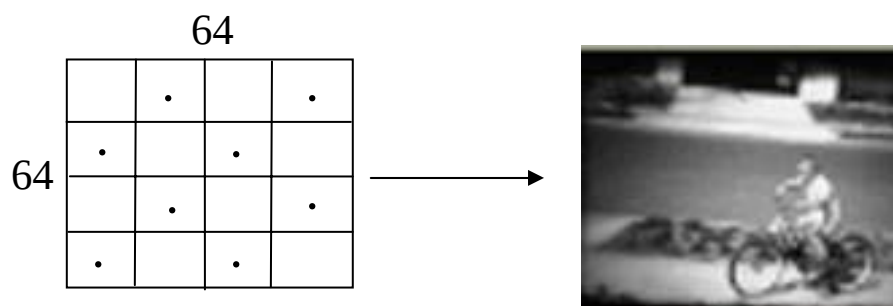
ตัวอย่างการฝังบิตลายน้ำแสดงดังภาพที่ (3-7) จากสมการที่ (3-8), (3-9), (3-10.1) และ (3-10.2) กำหนดให้ $d(i, j)$ มีค่าเท่ากับ 3 และ α มีค่าเท่ากับ 5 โดยจะทำการฝังค่าบิตลายน้ำที่มีค่าเท่ากับ 1 ลงในค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการเลือกของบริเวณความถี่ของเฟรมวิดีโอต้นฉบับกรณีฝังบิตลายน้ำที่มีค่าเท่ากับ 0 ให้คงค่าสัมประสิทธิ์เดิมไว้ไม่ต้องเปลี่ยนแปลง

w				b_m				w_m			
1	1	1	1	1	2	3	4	9	10	11	12
1	0	0	0	5	6	7	8	13	6	7	8
1	1	0	0	9	10	11	12	17	18	11	12
0	0	1	0	13	14	15	16	13	14	23	16

ภาพที่ 3-7 การฝังบิตลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์บริเวณความถี่ของเฟรมวิดีโอ

3.1.6 แปลงข้อมูลกลับสู่โดเมนปกติ

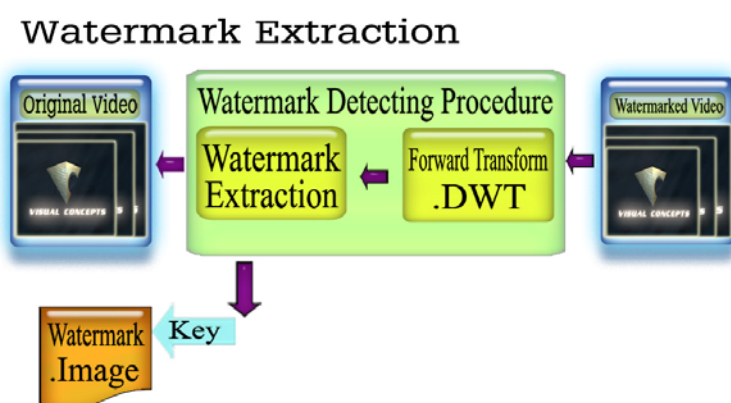
ทำการแปลงกลับเวฟเลต (Inverse Discrete Wavelet Transform) ทำจนครบทุกบริเวณของภาพ จากนั้นนำบริเวณทั้งหมดรวมกลับคืนจะได้เฟรมวิดีโอที่มีลายน้ำฝังอยู่ ดังภาพที่ (3-8)



ภาพที่ 3-8 การรวมกลับวิดีโอลายน้ำ

3.2 การแกะลายน้ำดิจิทัล

การแกะลายน้ำดิจิทัลออกจากวิดีโอลายน้ำ ใช้กระบวนการเดียวกับการฝังลายน้ำดิจิทัล ลายน้ำดิจิทัลสามารถแกะได้โดยตรงจากวิดีโอลายน้ำ ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 วิธีการแกะลายน้ำดิจิทัล

3.2.1 แบ่งบริเวณเฟรมวิดีโอลายน้ำ เริ่มจากหาเฟรมหลักของวิดีโอลายน้ำที่ต้องการทดสอบลายน้ำดิจิทัล แล้วทำการเลือกเฟรมต่าง ๆ ตามอัตราที่กำหนด แล้วนำเฟรมเหล่านั้นมาทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นบริเวณ 128x128 จุดภาพ จากสมการที่ (3-1) ถึง (3-5)

3.2.2 แปลงโดเมนของเฟรมวิดีโอให้น้ำ

ทำการแปลงโดเมนของเฟรมวิดีโอให้น้ำจากโดเมนปกติเป็นโดเมนความถี่ด้วยวิธีการแปลงฮาร์เวฟเลต 2 ระดับ

3.2.3 แยกให้น้ำดิจิทัล

ทำการแยกบิตให้น้ำ ณ ตำแหน่งที่ผลต่างของค่าสัมประสิทธิ์ ดังสมการที่ (3-11)

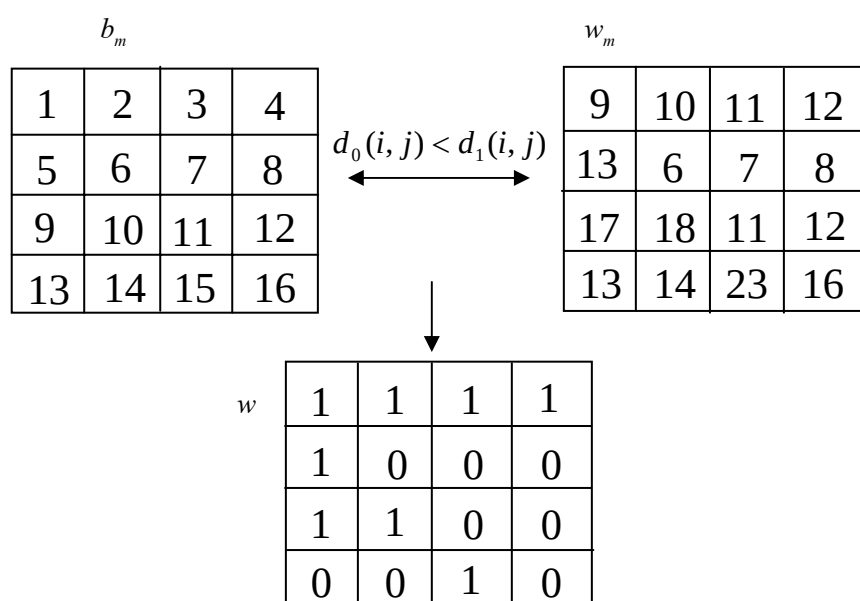
$$d_0(i, j) < d_1(i, j), w = 1 \quad (3-11)$$

เมื่อ $d_0(i, j)$ เป็นสัมประสิทธิ์ของบริเวณเฟรมวิดีโอทดสอบต้นฉบับ

$d_1(i, j)$ เป็นสัมประสิทธิ์ของบริเวณเฟรมวิดีโอที่มีให้น้ำ

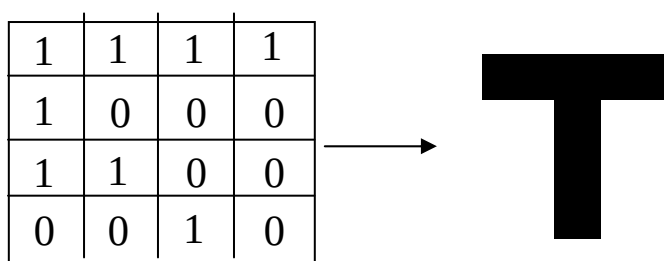
w เป็นภายให้น้ำ (0, 1)

ตัวอย่างการแยกบิตให้น้ำจากสัมประสิทธิ์บริเวณเฟรมวิดีโอทดสอบแสดงดังภาพที่ 3-10
แยกบิตให้น้ำโดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ผลต่างของ $d(i, j)$



ภาพที่ 3-10 การแยกบิตให้น้ำออกจากสัมประสิทธิ์เฟรมวิดีโอทดสอบ

เมื่อทำการแยกบิตให้น้ำตามขั้นตอนจนครบทุกบริเวณแล้ว นำบิตให้น้ำที่ได้ในแต่ละบริเวณมารวมกลับ ก็จะได้ให้น้ำดิจิทัลที่แยกออกมาจากเฟรมวิดีโอทดสอบคืนมา ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 การรวมกลับลายน้ำดิจิทัล

3.3 การทดสอบการโจมตีวิดีโอลายน้ำ

นำวิดีโอทดสอบที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ มาทำการทดสอบโจมตีในลักษณะต่าง ๆ แล้วทำการแกะลายน้ำ จากนั้นเปรียบเทียบลายน้ำดิจิทัลที่ถอดมาได้จากวิดีโอที่ผ่านการโจมตีกับลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับ สังเกตลักษณะการปลอมแปลงที่เกิดขึ้นบนลายน้ำดิจิทัล

การทดสอบการโจมตีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.3.1 การบีบอัดข้อมูล (Compression) แบบ Avi, Indeo3, Indeo5, และ Cinepak

3.3.2 การเพิ่มลดอัตราเฟรม เป็นการนำวิดีโอที่มีลายน้ำดิจิทัลมาทำการเพิ่มอัตราเฟรม 25 เฟรมต่อวินาที (fps) และ 30 เฟรมต่อวินาที (fps) ของอัตราเฟรมเดิม และทำการลดอัตราเฟรม 10 เฟรมต่อวินาที (fps) ของอัตราเฟรมเดิม

3.4 การวัดค่าประสิทธิภาพ

3.4.1 การวัดประสิทธิภาพการฝังลายน้ำดิจิทัล คือ การทดสอบประสิทธิภาพของการฝังลายน้ำที่ทำให้มองไม่เห็นลายน้ำด้วยตาปกติ และวัดความผิดเพี้ยนของวิดีโอที่ฝังลายน้ำแล้วเปรียบเทียบกับวิดีโอต้นฉบับเดิม โดยใช้เกณฑ์เชิงปริมาณคือ ค่า PSNR ถ้า PSNR มีค่าสูงแสดงว่าวิดีโอที่ฝังลายน้ำมีคุณภาพดี ใกล้เคียงวิดีโอต้นฉบับมาก คือมองไม่เห็นความผิดเพี้ยนจากการฝังลายน้ำ (สามารถคำนวณได้ค่าความเหมือนของวิดีโออธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.2.5.1)

3.4.2 การวัดประสิทธิภาพการแกะลายน้ำดิจิทัลออกจากภาพลายน้ำ คือ การทดสอบความเหมือนของลายน้ำดิจิทัลที่แกะออกมาได้หลังจากการโจมตีเปรียบเทียบกับลายน้ำดิจิทัลที่ไม่ผ่านการโจมตี โดยใช้เกณฑ์เชิงปริมาณ คือ ค่า NC ค่าความเหมือนของภาพนี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง ค่า 0 ถึง 1 ซึ่งคุณสมบัติของลายน้ำจะแปรผันตามค่าความเหมือนของภาพ คือ ถ้า NC มีค่าใกล้เคียง 1 มากเท่าใดคุณภาพของลายน้ำที่แกะออกมาได้จะเหมือนลายน้ำต้นฉบับมากขึ้นเท่านั้น (สมการคำนวณค่าความเหมือนของภาพอธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.2.5.2)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพของวิดีโอที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ

จากผลการทดลองนำข้อมูลคลิปวิดีโอทั้ง 3 คลิป ประเภท เอวีไอ (AVI) ในแบบภาพโทนสีเทา และมีขนาดเฟรม 320 x 240 จุติภาพ (Pixels) เป็นข้อมูลทดสอบ และในส่วนลายน้ำได้ใช้ภาพแบบ ขาว-ดำ ขนาด 8 x 8 จุติภาพ (Pixels) และฝังลงบนข้อมูลตัวอย่าง หลังจากที่ได้ทดลองตามขั้นตอนที่วางไว้เรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะนำข้อมูลวิดีโอที่ฝังสัญญาณลายน้ำไว้มาตรวจสอบ ผลการตรวจสอบข้อมูลวิดีโอที่ได้มีดังนี้

4.1.1 ผลลัพธ์จากข้อมูลวิดีโอที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุดที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ ได้ผลตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณภาพของสัญญาณวิดีโอที่ผ่านการฝังลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุดที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ

วิดีโอ	PSNR (db)		NC (db)	
	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20
Boy	33.6421	36.1291	1	0.9167
Animation	36.3381	40.3813	1	0.7778
Plan	37.0262	43.0848	1	0.9444

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าคุณภาพของวิดีโอที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 20 นั้นมีค่า PSNR สูงกว่า อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 ซึ่งหมายความว่าความเหมือนของวิดีโอที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำนั้นมีความผิดเพี้ยนน้อย

4.1.2 ผลลัพธ์จากข้อมูลวิดีโอที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือกที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ ร้อยละ 20 ของวิดีโอ ได้ผลตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 คุณภาพของสัญญาณวิดีโอที่ผ่านการฝังลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือกที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ 20 ของวิดีโอ

วิดีโอ	PSNR (db)		NC (db)	
	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20
Boy	37.3772	39.346	1	1
Animation	39.2351	42.6048	1	0.9444
Plan	40.2078	44.5402	1	1

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าคุณภาพของวิดีโอที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 20 นั้นมีค่า PSNR สูงกว่า ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และเมื่อเทียบกับวิธีในการฝังสัญญาณลายน้ำที่ตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ยังให้ผลได้ดีกว่า ซึ่งให้ค่า PSNR ได้สูงกว่าทั้งอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ ร้อยละ 20 ของวิดีโอ ซึ่งหมายความว่าความเหมือนของวิดีโอที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำนั้นมีความผิดเพี้ยนน้อย

4.2 คุณภาพของวิดีโอที่ผ่านการโหม้

4.2.1 จากผลการทดลองโดยการนำวิดีโอที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำแล้วนำมาทำการบีบอัดข้อมูล ผลลัพธ์จากข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด หลังจากการบีบอัดข้อมูลแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และ ร้อยละ 20 ของวิดีโอ ได้ผลตามตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 คุณภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำ ที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 20 ของวิดีโอ

วิดีโอ ลายน้ำ	รูปแบบการบีบอัด							
	Avi		Indeo3		Indeo5		Cinepak	
	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20
Boy	0.5	0.75	0.3167	0.5833	0.5	0.75	0.8333	0.6389
Animation	0.5278	0.6667	0.25	0.4167	0.5278	0.6667	0.8056	0.6667
Plan	0.6944	0.5	0.2778	0.25	0.6944	0.5	0.8889	0.75

จากตารางที่ 4-3 สามารถแสดงได้ว่าการบีบอัดทั้งสี่รูปแบบมีผลกระทบต่อลายน้ำที่ฝังอยู่ โดยเฉพาะลายน้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะได้รับผลกระทบมากที่สุดเนื่องจากจำนวนลายน้ำมีน้อย หลังจากการบีบอัดแล้วถอดลายน้ำออกมานั้นลายน้ำในส่วนที่ได้รับการสูญเสียมีจำนวนไม่มาก เมื่อวัดค่าความเหมือนของลายน้ำโดยรวมออกมาแล้วนั้นจึงมีค่าความเหมือนของลายน้ำต่ำกว่าการฝังอัตราส่วนลายน้ำที่ร้อยละ 50 โดยเฉพาะกรณีการบีบอัดในรูปแบบ Indeo3 นั้น ส่งผลผลกระทบต่อลายน้ำที่ฝังอยู่มากที่สุด

ตารางที่ 4-4 คุณภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และร้อยละ 20 ของวิดีโอ

วิดีโอ ลายน้ำ	รูปแบบการบีบอัด							
	Avi		Indeo3		Indeo5		Cinepak	
	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20
Boy	0.9722	0.8333	0.8889	0.6111	0.9722	0.8333	0.8333	0.6667
Animation	1	0.7778	0.1667	0.4167	1	0.7778	0.8611	0.8883
Plan	1	0.6944	0.25	0.25	1	0.6944	0.9722	0.9722

จากตารางที่ 4-4 สามารถแสดงได้ว่าการบีบอัดทั้งสี่รูปแบบมีผลกระทบต่อลายน้ำที่ฝังอยู่ โดยเฉพาะลายน้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะได้รับผลกระทบมากที่สุดเนื่องจากจำนวนลายน้ำมีน้อย หลังจากการบีบอัดแล้วแกะลายน้ำออกมานั้นลายน้ำในส่วนที่ได้รับการสูญเสียมีจำนวนไม่มาก เมื่อวัดค่าความเหมือนของลายน้ำโดยรวมออกมาแล้วนั้นจึงมีค่าความเหมือนของลายน้ำต่ำกว่า การฝังที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำที่ร้อยละ 50 แต่เมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่ฝัง ณ ตำแหน่งค่าความถี่สูงสุดนั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการฝังลายน้ำในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือกให้ค่าความเหมือนของลายน้ำจากการบีบอัดทั้งสี่รูปแบบดีกว่า

ตารางที่ 4-5 ขนาดไฟล์ที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 20 ของวิดีโอ

ขนาดไฟล์ วิดีโอ ลายน้ำ ก่อนการ บีบอัด	รูปแบบการบีบอัด							
	Avi		Indeo3		Indeo5		Cinepak	
	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20
Boy 793 (KB)	809 (KB)	806 (KB)	645 (KB)	632 (KB)	809 (KB)	806 (KB)	1.92 (MB)	1.9 (MB)
Animation 838 (KB)	869 (KB)	852 (KB)	599 (KB)	586 (KB)	869 (KB)	852 (KB)	3.12 (MB)	3.11 (MB)
Plan 3.17 (MB)	3.25 (MB)	3.2 (MB)	2.49 (MB)	2.46 (MB)	3.25 (MB)	3.2 (MB)	12.2 (MB)	12.1 (MB)

จากตารางที่ 4-5 สามารถแสดงได้ว่าการบีบอัดทั้งสี่รูปแบบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดไฟล์อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะลายน้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะได้ขนาดไฟล์ที่มีขนาดเล็กกว่าลายน้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 50 อย่างเห็นได้ชัด แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดไฟล์ไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากเท่าใด จะส่งผลกระทบต่อลายน้ำที่ฝังอยู่มากด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4-6 ขนาดไฟล์ที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลในรูปแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ของข้อมูลวิดีโอหลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ที่อัตราส่วนเฟรมหลายน้ำ ร้อยละ 50 และอัตราส่วนเฟรมหลายน้ำร้อยละ 20 ของวิดีโอ

ขนาดไฟล์ วิดีโอ หลายน้ำ ก่อนการ บีบอัด	รูปแบบการบีบอัด							
	Avi		Indeo3		Indeo5		Cinepak	
	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20	ร้อยละ 50	ร้อยละ 20
Boy 793 (KB)	810 (KB)	803 (KB)	639 (KB)	629 (KB)	810 (KB)	803 (KB)	1.91 (MB)	1.9 (MB)
Animation 838 (KB)	873 (KB)	851 (KB)	589 (KB)	582 (KB)	873 (KB)	851 (KB)	3.12 (MB)	3.12 (MB)
Plan 3.17 (MB)	3.24 (MB)	3.2 (MB)	2.47 (MB)	2.45 (MB)	3.24 (MB)	3.2 (MB)	12.2 (MB)	12.1 (MB)

จากตารางที่ 4-6 สามารถแสดงได้ว่าการบีบอัดทั้งสี่รูปแบบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดไฟล์อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะหลายน้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะได้ขนาดไฟล์ที่มีขนาดน้อยกว่าหลายน้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 50 อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดไฟล์ไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากเท่าใด จะส่งผลต่อหลายน้ำที่ฝังอยู่มากด้วยเช่นกัน แต่ถ้านำไปเทียบกับวิธีการฝังหลายน้ำในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด นั้นจะเห็นได้ว่า ขนาดไฟล์มีขนาดน้อยกว่า แล้วเมื่อทำการแกะหลายน้ำออกมาแล้วนั้น ผลกระทบต่อหลายน้ำก็มีน้อยกว่าด้วยเช่นกัน

4.2.2 จากผลการทดลองโดยการนำวิดีโอที่ผ่านการใส่สัญญาณหลายน้ำ มาทำการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมที่ 10 เฟรมต่อวินาที (fps), 25 เฟรมต่อวินาที (fps) และ 30 เฟรมต่อวินาที (fps) ได้ผลตามตารางที่ 4-7 และ 4-8 ดังนี้

ตารางที่ 4-7 คุณภาพที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมที่ 10fps, 25fps และ 30fps ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนลายน้ำ 50% และ 20%

วิดีโอ ลายน้ำ	อัตราเฟรม					
	10fps		25fps		30fps	
	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20
Boy	0.25	0.25	0.25	0.25	0.1	0.1
Animation	0.1667	0.1667	0.2778	0.2778	0.1667	0.1667
Plan	0.1574	0.1574	0.3167	0.3167	0.1574	0.1574

จากตารางที่ 4-7 สามารถแสดงได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมทั้งสามรูปแบบ มีผลกระทบต่อลายน้ำอย่างเห็นได้ชัด ลายน้ำที่แกะออกมาได้นั้น ได้รับความสูญเสียมาก

ตารางที่ 4-8 คุณภาพที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมที่ 10fps, 25fps และ 30fps ของข้อมูลวิดีโอลายน้ำที่ฝังในตำแหน่งค่าความถี่ที่ถูกเลือก ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และอัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 20 ของวิดีโอ

วิดีโอ ลายน้ำ	อัตราเฟรม					
	10fps		25fps		30fps	
	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20	ร้อยละ50	ร้อยละ20
Boy	0.25	0.25	0.25	0.25	0.1	0.1
Animation	0.1667	0.1667	0.2778	0.2778	0.1667	0.1667
Plan	0.1574	0.1574	0.3167	0.3167	0.1574	0.1574

จากตารางที่ 4-8 สามารถแสดงได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมทั้งสามรูปแบบ มีผลกระทบต่อลายน้ำอย่างเห็นได้ชัด ลายน้ำที่ถอดออกมาได้นั้น ได้รับความสูญเสียมากเช่นกัน

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการฝังลายน้ำ คือ การทดสอบการสังเกตไม่เห็นด้วยสายตามนุษย์ และวัดความผิดเพี้ยนของวิดีโอที่ผ่านการฝังลายน้ำเปรียบเทียบกับวิดีโอต้นฉบับ โดยเมื่อนำเกณฑ์เชิงปริมาณ คือค่า PSNR มาวัดค่า ระหว่างการทำวิดีโอลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลตด้วยวิธีการเลือกตำแหน่งค่าความถี่ที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดนั้น ได้ค่า PSNR สูงกว่าวิธีการแทรกลงในตำแหน่งค่าสูงสุด [15]

จากผลการทดสอบด้วยวิธีการบีบอัดแบบ Avi, Indeo3, Indeo5 และ Cinepak ปรากฏผลว่าภาพลายน้ำที่แกะคืนมานั้นมีความชัดเจนมากขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพการบีบอัด ซึ่งลายน้ำที่แกะคืนมาได้นั้นหลายส่วนยังคงสภาพอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

จากผลการทดสอบด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมที่ 10 เฟรมต่อวินาที (fps), 25 เฟรมต่อวินาที (fps) และ 30 เฟรมต่อวินาที (fps) ปรากฏผลว่าภาพลายน้ำที่แกะคืนมานั้นมีความชัดเจนน้อยมาก ซึ่งโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถอ่านได้เลย

การวัดประสิทธิภาพการแกะคืนภาพลายน้ำ ด้วยค่า NC เพื่อหาความเหมือนกันของภาพลายน้ำที่แกะคืนมาได้หลังผ่านการ โจมตีในรูปแบบต่าง ๆ ปรากฏว่าการฝังลายน้ำด้วยวิธีการแบบเลือกตำแหน่งค่าความถี่ที่ไม่ใช่ค่าสูงสุด เปรียบเทียบกับการแทรกลายน้ำลงในตำแหน่งค่าความถี่สูงสุด [15] แล้วมีค่าแตกต่างกันมาก

จากผลการวิจัยดังกล่าว การซ่อนข่าวสารโดยอาศัยวิธีการทำวิดีโอลายน้ำดิจิทัลแบบไม่สามารถสังเกตได้บนโดเมนของตำแหน่งเฟรมวิดีโอ โดยอาศัยวิธีการแปลงเวฟเลตแล้วเลือกตำแหน่งในการฝังลายน้ำ จะทนต่อการโจมตีด้วยวิธีการบีบอัดวิดีโอ มากกว่าวิธีการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรม

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การฝังสัญญาณลายน้ำลงบนข้อมูลวิดีโอดิจิทัลที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการแสดงความเป็นเจ้าของวิดีโอแบบดิจิทัลโดยจะใช้ข้อมูลภาพแบบดิจิทัลมาทำการฝังลงบนสัญญาณภาพวิดีโอคลิปประเภทเอวีไอ (AVI) ในรูปแบบภาพโทนสีเทา ในวิทยานิพนธ์นี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีในการฝังลายน้ำและการแกะลายน้ำ การทดสอบประสิทธิภาพและผลกระทบจากการกระทำต่าง ๆ กับสัญญาณภาพวิดีโอ ที่ส่งผลไปถึงข้อมูลลายน้ำที่ได้ทำการฝังไว้ เพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากลายน้ำที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบขึ้นมานี้ ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามผลที่ได้ทดสอบออกมา

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ขั้นตอนวิธีในการฝังลายน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนในการเลือกเฟรมวิดีโอลายน้ำ ขั้นตอนในการกำหนดตำแหน่งในการฝังบิตลายน้ำ โดยนำภาพสัญญาณลักษณะไปฝังลงบนสัญญาณภาพวิดีโอ ในส่วนของขั้นตอนวิธีในการฝังลายน้ำจะใช้หลักการปรับค่าของข้อมูลตำแหน่งที่ถูกเลือกของสัญญาณภาพวิดีโอของการแปลงเวฟเลต 2 ระดับ โดยที่จะมีการคิดค้นขั้นตอนและเงื่อนไขในการเลือกเฟรม และการฝังบิตลายน้ำขึ้นมาใหม่ ในขั้นตอนแรกจะเลือกเฟรมวิดีโอหลักออกมา แล้วนำเฟรมวิดีโอหลังไปเลือกเฟรมวิดีโอตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นกำหนดบริเวณในการแปลงเวฟเลต 2 ระดับ หลังจากการแปลงเวฟเลต 2 ระดับแล้ว ทำการเลือกหาตำแหน่งในการฝังบิตลายน้ำ โดยหากต้องการฝังบิต “1” ให้ทำการปรับค่าข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ได้จากการเลือกให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนการฝังลายน้ำ เมื่อทำขั้นตอนทั้งหมดซ้ำจนหมดบิตลายน้ำ หลังจากนั้นทำการแปลงกลับข้อมูลให้มาอยู่ในรูปแบบโดเมนปกติ จะได้สัญญาณภาพวิดีโอที่ฝังลายน้ำ แล้วทำการแปลงกลับเป็นรูปแบบเอวีไอ (AVI) ก็จะได้เป็นข้อมูลวิดีโอลายน้ำ วิธีการที่กล่าวมานี้เป็นขั้นตอนวิธีที่แตกต่างจากวิธีการฝังลายน้ำโดยการแปลงเวฟเลตที่เคยมีมาก่อนหน้านี้ ซึ่งจะแตกต่างกันที่เงื่อนไขของการเลือกและฝังบิตข้อมูล

ขั้นตอนวิธีสำหรับการแกะลายน้ำเบื้องต้น จะมีขั้นตอนเหมือนการฝังบิตลายน้ำโดยจะเริ่มจากการหาเฟรมหลักของข้อมูลวิดีโอด้วยวิธีการเลือกแบบเดียวกับตอนฝังลายน้ำ หลังจากนั้นนำเฟรมหลักไปเลือกเฟรมลายน้ำต่าง ๆ ออกมา เมื่อได้เฟรมที่มีลายน้ำออกมาแล้ว ก็ทำการแปลงเวฟเลท ณ ทำบริเวณที่ฝังลายน้ำ โดยคำนวณค่าผลต่างแล้วทำการเปรียบเทียบค่าผลต่างของข้อมูล เพื่อพิจารณาแยกบิตลายน้ำออกมาตามเงื่อนไขเดียวกับการฝังบิตลายน้ำ แล้วทำการรวมกันจะได้ภาพสัญญาณลักษณะออกมา

วัตถุประสงค์หลักของการฝังลายน้ำในวิทยานิพนธ์นี้คือ ต้องการฝังข้อมูลสัญญาณลักษณะเพื่อแสดงความเป็นเจ้าของข้อมูลนั้น โดยที่ข้อมูลที่ฝังต้องไม่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลวิดีโอที่ฝังจนสามารถรู้สึกรู้ได้ ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพข้อแรกจึงสนใจที่คุณภาพของข้อมูลวิดีโอที่ถูกฝังลายน้ำที่แสดงออกมาในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ที่วัดความเหมือนของข้อมูลที่ถูกฝังลายน้ำกับข้อมูลต้นฉบับ(PSNR) จำนวนลายน้ำก็เป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นเราจึงทำการฝังด้วยอัตราส่วนต่อข้อมูลวิดีโอเพื่อลดค่าความผิดเพี้ยนของข้อมูลวิดีโอที่ได้ฝังลายน้ำ อีกทั้งลายน้ำที่แกะออกมาต้องมีความใกล้เคียงกับลายน้ำต้นฉบับมากที่สุดซึ่งสามารถวัดได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนของลายน้ำ (NC)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในส่วนของคุณภาพของข้อมูลวิดีโออยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ อีกทั้งยังเป็นการยากเมื่อสังเกตลายน้ำด้วยตาเปล่า เนื่องจากความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นจากการทดลองให้ผลออกมาน้อยมาก ในส่วนของประสิทธิภาพในการแกะบิตลายน้ำนั้นมีความเชื่อถือได้สูง สามารถแยกบิตข้อมูลลายน้ำส่วนใหญ่ออกมาได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซนต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

การฝังลายน้ำลงในข้อมูลวิดีโอดิจิทัล เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคในการแปลงเวฟเลทเพื่อเลือกหาตำแหน่งในการฝังลายน้ำดิจิทัล แนวทางการพัฒนาการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลท ในอนาคตสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ทดลองหาวิธีการในการเลือกเฟรมที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการฝังและแกะลายน้ำ

5.2.2 ทดลองหาตำแหน่งที่ฝังลายน้ำที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการโจมตีในรูปแบบต่าง ๆ

5.2.3 นำแนวทางของเทคนิคภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลทไปใช้กับข้อมูลด้านอื่น ๆ เช่น เสียงลายน้ำดิจิทัล เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Multimedia Technology. [Online]. Available:
<http://www.nectec.or.th/courseware/multimedia/>. (Access date: February 20, 2004).
2. ชำรงรัตน์ อมรรักษ์ และบัณฑิต ทิพากร. การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลเบื้องต้น.
งานส่งเสริมการสร้างตำรา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
3. Fabien A.P. Petiteolas, Ross J. Anderson and Marleus G. Kahn. Information Hiding A
Survey. Proceeding of the IEEE issue on protection of multimedia content, 87 (7 :
July 1999) : 1062-1078.
4. Stefan Katzenbeisser and Fabien A.P. Petitcolas. Information Hiding Techniques for
Steganography and Digital Watermarking. Artech House, Boston, London, 1999.
5. สุพจน์ นิตยสุวรรณ. “ลายน้ำดิจิทัล”. วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา. ปีที่ 15 ฉบับที่ 44
(ตุลาคม-ธันวาคม 2545) : 11-16.
6. วิจิตรา ศรีพลกุล. การทำลายน้ำดิจิทัลบนเอกสารราชการ. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
7. Lynn, P.A. Digital Signal Processing with Computer Application. New York, 1994.
8. ประพนธ์ รักประทานพร. การสร้างลายน้ำดิจิทัลโดยใช้การแปลงแบบเวฟเล็ต.
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
9. Driesen. J., Van Craenebroeck T., Reekmans R. and Vand Dommelen D., “Analysis time-
varying power system harmonics using wavelet transform.”, Proc. IEEE
Instrumentation and Measurement Technology Conference, Quality Measurements :
The Indispensable Bridge Between Theory and Reality., vol,1, (June 4-6 1996) :
474-479.
10. Lazzaroni N., Ragaini E., “Gabor-like transforms for transient analysis in electrical systems.”
Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Quality
Measurements : The Indispensable Bridge Between Theory and Reality.,
Vol 2, (June 4-6 1996) : 885-890.

11. Robertson D.C., Camps O.I., Mayer J.S. and Gish W.B., “Wavelets and electromagnetic power System transients.” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11., (Issue : 2, April 1996) : 1050-1058.
12. Pham V.L. and Wong K.P., “Wavelet-transform-based algorithm for harmonic analysis of power System waveforms.” Proc. IEEE Generation, Transmission and Distribution, vol. 146, (Issue : 3, May 1999) : 249-254.
13. สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์. การฝังและถอดกลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีการแปลงเวฟเลตแพกเกตส์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
14. Thumrongrat Amornraksa and Ratchata Sungsoonthorn “ An Efficient Method for Protecting Digital Watermark Data against Image Compression “, KKU Engineering Journal Vol. 30 No. 1 (January - March 2003) : 17-36.
15. B.N. Chatterji, Manesh Kokare, A. Adhipathi Reddy, Rajib Kumar Jha “ Wavelets for Content Based Image Retrieval and Digital Watermarking for Multimedia Applications”, ICICS – PCM 2003 Singapore (December 2003) : 15 – 18.
16. X.G. Xia, C.G. Boncelet and G.R. Arce, “ A multiresolution watermark for Digital images ”, Proceedings of Int. Conference on Image processing, 1997 : 548-5111.
17. S. Onrit, Y. Attavetchakul, S. Aroonrungratsami and K. Chamonogthai, “ Digital watermarking embedding and extracting by using wavelet packet transform ”, Proceedings of Electrical Engineering Conference, Chiang Mai, 2000 : 512 – 524.
18. M.V. Wickerhauser, “ Lectures on wavelet packet algorithms ”, INRIA / Rocquencourt Minicourse Lecture Notes, Washington University, 1992 : 1-74.
19. T. Amornraksa, “ Data Security for Multimedia Communications ”, King Mongkut’s Institute of Technology Thonburi, 2001.

ภาคผนวก ก

วิดีโอต้นฉบับ และภาพลายน้ำที่ใช้ในการทดลอง

วิดีโอต้นฉบับ และภาพลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ในการทดลอง

วิดีโอที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย วิดีโอระดับโทนสีเทา นามสกุล Avi ขนาด 320x240 จำนวน 3 วิดีโอ และภาพลายน้ำดิจิทัลระดับขาวดำ นามสกุล Gif ขนาด 8 x 8 จำนวน 1 ภาพ

วิดีโอต้นฉบับ



Boy.avi



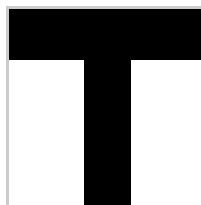
Animation.avi



Plan.avi

ภาพที่ ก-1 วิดีโอต้นฉบับที่ใช้ในการทดลอง

ภาพลายน้ำดิจิทัล



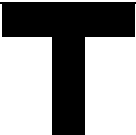
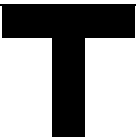
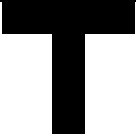
Ta.gif

ภาพที่ ก-2 ภาพลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ในการทดลอง

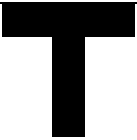
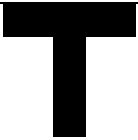
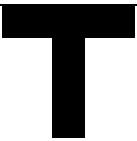
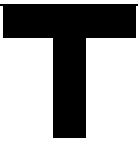
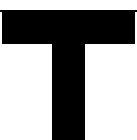
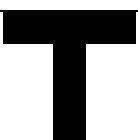
ภาคผนวก ข

ตารางแสดงภาพลายน้ำที่แกะคืนมาได้

ตารางที่ ข-1 การแสดงภาพลายน้ำ Ta.gif ที่เรียกคืนมาได้จากการฝังลายน้ำลงในตำแหน่ง
ความถี่สูงสุด ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และร้อยละ 20 ของวิดีโอ

ลายน้ำก่อนฝัง	ลายน้ำหลังฝัง ที่อัตราส่วนร้อยละ 50	ลายน้ำหลังฝัง ที่อัตราส่วนร้อยละ 20
 <u>Boy.avi</u>	 NC=1	 NC=0.9167
 <u>Animation.avi</u>	 NC=1	 NC=0.7778
 <u>Plan.avi</u>	 NC=1	 NC=0.9444

ตารางที่ ข-1 การแสดงภาพลายน้ำ Ta.gif ที่เรียกคืนมาได้จากการฝังลายน้ำลงในตำแหน่ง
ค่าความถี่ที่ถูกเลือก ที่อัตราส่วนเฟรมลายน้ำร้อยละ 50 และร้อยละ 20 ของวิดีโอ

ลายน้ำก่อนแทรก	ลายน้ำหลังแทรก ที่อัตราส่วน 50%	ลายน้ำหลังแทรก ที่อัตราส่วน 20%
 <u>Boy.avi</u>	 NC=1	 NC=1
 <u>Animation.avi</u>	 NC=1	 NC=0.9444
 <u>Plan.avi</u>	 NC=1	 NC=1

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายธาดา ศิริโชติ
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณวิดีโอด้วยการแปลงเวฟเลท
 สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ประวัติส่วนตัว

เกิดเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2523 ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 5/6 ซ.กรุงเทพฯ-นนทบุรี
 15 ถนนกรุงเทพฯ-นนทบุรี บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีคณะบริหารธุรกิจ สาขาวิชา
 ธุรกิจ-คอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี

ประวัติการทำงาน ปี พ.ศ. 2547-2549 ทำงานในตำแหน่ง Web Master สำนักงาน
 อัยการสูงสุด