

การทำลายน้ำบนสัญญาณเสียงโดยใช้ภาพขาวดำด้วยวิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ย
สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

BINARY IMAGE WATERMARKING ON AUDIO SIGNAL BY
CONSIDERING MEAN OF WAVELET COEFFICIENTS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-040-114

การทำลายน้ำบนสัญญาณเสียงโดยใช้ภาพขาวดำด้วยวิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ย
สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

BINARY IMAGE WATERMARKING ON AUDIO SIGNAL BY
CONSIDERING MEAN OF WAVELET COEFFICIENTS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 104501
วัน,เดือน,ปี..... 4 พ.ย. 2552

b. 12140685
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

**BINARY IMAGE WATERMARKING ON AUDIO SIGNAL BY
CONSIDERING MEAN OF WAVELET COEFFICIENTS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONIC ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL 2009-EN-M-040-114 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่มีการขออนุญาตและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำลายน้ำบนสัญญาณเสียงโดยใช้ภาพขาวดำด้วยวิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

Thesis Title Binary Image Watermarking on Audio Signal by Considering Mean of Wavelet Coefficients

นักศึกษา นายศราวุธ แก่งอินทร์

รหัสประจำตัว 50060412

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพฑูริย์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-040-114

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมศักดิ์	ชุมช่วย	
ผศ.ดร.ยุทธนา	กิดใจเดียว	
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	
ผศ.ดร.พีระพล	ยูวณิชานนท์	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพฑูริย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2552 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำลายน้ำบนสัญญาณเสียงโดยใช้ภาพขาวดำด้วย วิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ด
นักศึกษา	นายศราวุธ แก่งอินทร์
รหัสนักศึกษา	50060412
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการฝังรูปลายน้ำซึ่งเป็นภาพขาวดำลงในสัญญาณเสียง ในกระบวนการฝังลายน้ำ สัญญาณเสียงต้นแบบจะถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนเวฟเล็ด และเพื่อที่จะให้ลายน้ำที่ฝังมีความคงทนต่อการประมวลผลเชิงสัญญาณ ดังนั้นจึงเลือกสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดบริเวณความถี่ต่ำสำหรับการฝังลายน้ำ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ดจะถูกแบ่งออกเป็นวินโดว์ โดยมีจำนวนสมาชิกในแต่ละวินโดว์ เท่าๆ กัน และไม่มีการเหลื่อมกันของวินโดว์ จากนั้นจะคำนวณค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในแต่ละวินโดว์ เพื่อที่จะใช้เทคนิคการโหวต (Voting technique) และการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ด สำหรับการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียง ซึ่งหลังจากที่ทำการฝังลายน้ำแล้ว สัญญาณเสียงที่ได้ก็ยังคงมีคุณภาพของเสียงที่ดี โดยไม่สามารถที่จะสังเกตได้จากการรับฟัง และในขั้นตอนของการถอดลายน้ำ สำหรับวิธีการที่นำเสนอนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณเสียงต้นฉบับในการนำภาพลายน้ำกลับคืนมา ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการฝังลายน้ำโดยวิธีที่นำเสนอนี้มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบต่างๆ เช่น ความคงทนต่อสัญญาณรบกวน การกรองผ่านความถี่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสุ่มสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียดของสัญญาณ และการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3

Thesis Title	Binary Image Watermarking on Audio Signal by Considering Mean of Wavelet Coefficients
Student	Mr. Sarawut Kaengin
Student ID.	50060412
Degree	Master of Engineering
Program	Electronic Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Surapan Airphaiboon

ABSTRACT

This thesis proposes the watermarking algorithm for embedding the binary image watermark into an audio signal. For embedding process, the original audio signal was decomposed to wavelet domain by using wavelet basis. In order to obtain the robustness watermark in this algorithm, low frequency coefficients were selected. Then, wavelet coefficients were divided to the segments. A calculated mean of each segment was applied the voting technique and mean-quantization for embedding the watermark into the original audio signal. After original audio signal was embedded, the watermarked audio signal distortion is still inaudible. In addition, the watermark image could be recovered without using the original audio signal in extracting process. The experimental results show that the watermark image obtained from this algorithm is robust to many attack operations, such as additive white Gaussian noise, resampling, requantization, low pass filtering, and mp3 compression.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ก็ด้วยการช่วยเหลือและสนับสนุน รวมไปถึงได้รับความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณดังนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อ โปษุทธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างสูงในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ຂໍຂອບໃຈ ທ່ານ ສິມສະນຸກ ປະທຸມວິໄນ ທີ່ເປັນຜູ້ໃຫ້ຄໍາປຶກສາ ແລະຊ່ອຍເຫຼືອໃນທຸກດ້ານ ຕະຫຼອດເຖິງເຜື່ອນໆ ອ້າຍນ້ອງທຸກຄົນ ໃນພາກວິຊາເອເລັກໂຕຣນິກ ສະຖາບັນເທັກໂນໂລຢີ ພະຈອມເກົ້າ ເຈົ້າຄຸມພະຫານ ລາດຖະະບັງ ທີ່ໄດ້ໃຫ້ຄໍາແນະນໍາຕ່າງໆ ແລະ ເປັນກໍາລັງໃຈໃຫ້ເສຍເພີມາ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกๆ กำลังใจและทุกๆ ความคิดดีๆ ที่อาจจะไม่ได้กล่าวถึงไว้ในที่นี้

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำมาซึ่งคุณค่าและประโยชน์อันใด ก็จะเป็นความรู้แก่บุคคลอื่น ข้าพเจ้าขอขอบคุณล่วงหน้าถึงผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน

ศรารุช แก่งอินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของลายน้ำดิจิทัล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 หลักการเบื้องต้นของการทำลายน้ำดิจิทัล.....	5
2.1.1 ลายน้ำดิจิทัล.....	5
2.1.2 ความเป็นมาของการซ่อนลายน้ำ.....	6
2.1.3 เทคโนโลยีการซ่อนลายน้ำดิจิทัล.....	9
2.1.4 คุณสมบัติลายน้ำดิจิทัล.....	14
2.1.5 การประยุกต์ใช้เทคนิคการซ่อนลายน้ำ.....	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.2.1 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงในโดเมนเวลา.....	17
2.2.2 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงฟูเรียร์.....	18
2.2.3 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงโคไซน์.....	19
2.2.4 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงเคปสตรัม.....	20
2.2.5 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต.....	26
3.1 ความเป็นมาของการแปลงเวฟเล็ต.....	26
3.2 หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเล็ต.....	27
3.3 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด.....	28
3.3.1 ฟังก์ชันสเกลลิง (Scaling function).....	29
3.3.2 ฟังก์ชันเวฟเล็ต (Wavelet function).....	31
3.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง.....	33
3.4.1 การแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์.....	33
3.4.2 การแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์.....	35
3.5 การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลสัญญาณเสียง.....	35
บทที่ 4 การฝังลายน้ำบนสัญญาณเสียงด้วยวิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต.....	38
4.1 ข้อมูลลายน้ำ.....	40
4.2 วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัล.....	42
4.3 วิธีการถอดลายน้ำดิจิทัล.....	46
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	50
5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	50
5.2 การทดลอง.....	50
5.3 การวัดผลการทดลอง.....	52
5.3.1 การชี้วัดคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ถูกฝังภาพลายน้ำ.....	52
5.3.2 การชี้วัดความเหมือนของภาพลายน้ำ.....	52
5.4 ผลการทดลอง.....	53
5.4.1 การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวกับการฝังลายน้ำ.....	53
5.4.2 การทดสอบความคงทนของข้อมูลลายน้ำ.....	55
5.4.2.1 การทดลองขณะไม่มีการโจมตีข้อมูลลายน้ำ.....	56
5.4.2.2 ความคงทนของรูปลายน้ำต่อสัญญาณรบกวน.....	57
5.4.2.3 ความคงทนของรูปลายน้ำต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำ.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.2.4 ความคงทนของรูปถ่ายน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ ของการสั่นสัญญาณ.....	60
5.4.2.5 ความคงทนของรูปถ่ายน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียด ของสัญญาณ.....	62
5.4.2.6 ความคงทนของรูปถ่ายน้ำต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3.....	64
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	67
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	67
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก. ทฤษฎีตัวเลขคู่เทียม.....	73
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าของ C_j^{**} กลุ่มละ 3 ค่า และผลของลายน้ำที่ถอดได้.....	49
5.1 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนในระดับต่างๆ.....	58
5.2 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการกรองผ่านความถี่ต่ำ.....	60
5.3 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการเปลี่ยนความถี่ของการสุ่มสัญญาณ.....	62
5.4 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการเปลี่ยนระดับความละเอียดของสัญญาณ.....	64
5.5 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3.....	66
ก.1 สถานะในแต่ละครั้งของการสร้างตัวเลขสุ่มเทียม.....	75



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเทียบเคียงระหว่างระบบลายน้ำดิจิทัลและระบบการสื่อสาร.....	5
2.2 การนำข้อมูลดิจิทัลไปจำหน่ายเพื่อผลทางการค้า.....	7
2.3 การดัดแปลงหรือสกัดลอกแทรกสัญญาณ.....	8
2.4 การบิดเบือนสัญญาณ.....	9
2.5 ประเภทของเทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัล.....	11
2.6 บล็อกโคอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้แบบส่วนตัว.....	13
2.7 บล็อกโคอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้แบบส่วนตัว.....	14
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน, ความไม่สามารถในการสังเกตได้ และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร.....	15
3.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่.....	26
3.2 ระยะเวลาและสเกลสำหรับการแปลงเวฟเล็ต.....	27
3.3 ลักษณะของเวฟเล็ตดาบซี 8.....	27
3.4 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง.....	30
3.5 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเล็ตกรณีตั้งฉากกัน.....	31
3.6 ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	33
3.7 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	34
3.8 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multi-resolution decomposition).....	34
3.9 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ.....	35
3.10 (ก) การแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ต (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเล็ต.....	36
3.11 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเสียง 4 ระดับ.....	37
4.1 บล็อกโคอะแกรมการนำเสนอระบบการทำลายน้ำ.....	39
4.2 รูปภาพลายน้ำต้นฉบับ KMITL.bmp.....	40
4.3 (ก) รูปภาพลายน้ำต้นฉบับ (ข) รูปภาพลายน้ำที่ผ่านกระบวนการสุ่มเทียม.....	41
4.4 การเรียงลำดับของข้อมูลภาพ.....	41
4.5 บล็อกโคอะแกรมของการฝังลายน้ำดิจิทัล.....	42
4.6 รูปสัญญาณหลังผ่านการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับต่างๆ.....	43
4.7 การแบ่งการคำนวณค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต CA4.....	44
4.8 แผนภาพแสดงการฝังลายน้ำ.....	45
4.9 การควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 บล็อกไดอะแกรมของการถอดลายน้ำดิจิทัล.....	47
4.11 การแบ่งการคำนวณค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต CA ⁴	47
4.12 แผนภาพแสดงการถอดลายน้ำ.....	48
5.1 สัญญาณเสียงต้นฉบับ Pop.wav.....	51
5.2 (ก) รูปภาพลายน้ำต้นฉบับ KMITL.bmp (ข) รูปภาพลายน้ำที่ผ่านการสุ่มเทียมแล้ว.....	51
5.3 ค่าของ SNR จากการใช้เวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ.....	52
5.4 ค่าของ SNR จากการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับต่างๆ.....	54
5.5 ค่าของ SNR จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มของการฝัง.....	55
5.6 ลักษณะสัญญาณเสียงก่อนและหลังการฝังลายน้ำ และผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง.....	56
5.7 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากสัญญาณเสียงที่ไม่ผ่านการประมวลผลสัญญาณ.....	56
5.8 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยการบวกเข้าด้วยสัญญาณรบกวน.....	57
5.9 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยการกรองผ่านความถี่ต่ำ.....	59
5.10 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยการเปลี่ยนความถี่ของการสุ่มสัญญาณ.....	61
5.11 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยเปลี่ยนระดับความละเอียดของสัญญาณ.....	63
5.12 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3.....	65
ก.1 ลักษณะ State ของ Linear Feedback Shift Register.....	74
ก.2 ลักษณะ State ของ Linear Feedback Shift Register ขนาด 4 bit.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อการบันทึกข้อมูลในรูปแบบเก่าซึ่งเป็นรูปแบบแอนะล็อก อาทิเช่น ฟิล์ม เทป และ VHS วีดีโอ เสื่อมความนิยมลงด้วยเหตุผลของการพัฒนาด้านเทคโนโลยี ทำให้การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบแอนะล็อกถูกแทนที่ด้วยการจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัล ที่ให้ทั้งประสิทธิภาพ และข้อมูลที่ดีกว่า ดังนั้นในปัจจุบัน เทปเพลงในรูปแบบเก่าจึงถูกแทนที่ด้วยซีดีเพลง หรือ VHS วีดีโอก็ถูกแทนที่ด้วยแผ่นวีซีดีและดีวีดีเช่นกัน การพัฒนาไปของเทคโนโลยีทำให้เกิดผลงานสร้างสรรค์ต่างๆ อย่างมากมายโดยใช้เทคโนโลยีที่เกิดขึ้น การทำสำเนาข้อมูลเพื่อการจัดเก็บและเพื่อจำหน่ายก็สามารถทำได้ง่ายขึ้นเช่นกัน ทว่าในด้านลบของเทคโนโลยีที่พัฒนาไปนี้ก็ทำให้เกิดปัญหาขึ้นเช่นกัน เมื่อมีการซื้อขายข้อมูลแบบดิจิทัล ปัญหาเกี่ยวกับของแท้และความเป็นเจ้าของก็มักจะตามมา ซึ่งปัญหาเหล่านี้ไม่ใช่ปัญหาสำคัญของระบบแอนะล็อก เพราะในระบบแอนะล็อกนั้น การคัดลอกข้อมูลลงในฟิล์ม เทป และ VHS วีดีโอ จะมีคุณภาพไม่เทียบเท่าต้นฉบับ ซึ่งข้อจำกัดเกี่ยวกับคุณภาพของเนื้อหาเนื้อสามารถช่วยป้องกันการเผยแพร่และเสนอขายข้อมูลที่ผิดกฎหมายได้ ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลดิจิทัลสามารถคัดลอกและเก็บไว้ได้อย่างสะดวกสบายด้วยศักยภาพในการคัดลอกได้เหมือนจริง ดังนั้นจึงเกิดปัญหาของการทำซ้ำ หรือลอกเลียนแบบเพื่อหวังผลในเชิงการค้าโดยที่ไม่ได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของผลงาน วิธีที่จะเป็นการช่วยป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นวิธีการหนึ่ง คือการใช้กฎหมายหรือพระราชบัญญัติที่เกี่ยวข้องกับลิขสิทธิ์ โดยการให้ผู้ที่คิดสร้างสรรค์ผลงานขึ้นมาทำการจดลิขสิทธิ์เพื่อให้ผลงานของตนได้รับการคุ้มครองทางกฎหมาย ซึ่งวิธีการนี้ก็สามารถใช้ป้องปรามผู้ที่คิดจะกระทำผิดได้ระดับหนึ่ง แต่ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีกฎหมายปกป้องลิขสิทธิ์ออกมาบังคับใช้อย่างชัดเจน แต่กลับพบเห็นการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ทั่วไป ถึงแม้ว่าจะมีกลไกในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ที่หลากหลายวิธี เช่นการเข้ารหัส การลงทะเบียน หรือการใส่เลขทะเบียน ก็ยังไม่สามารถยับยั้งปัญหาดังกล่าวได้ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของการเข้ารหัสลับตัวข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านการถอดรหัสแล้วจะสามารถถูกคัดลอกหรือทำซ้ำได้ โดยที่ไม่สามารถที่จะยับยั้งหรือติดตามร่องรอยของผู้ที่ละเมิดลิขสิทธิ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการอื่นๆ เพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหานี้ และหนึ่งในวิธีการที่ถูกพัฒนาขึ้นคือ การป้องกันการคัดลอกที่ตัวข้อมูลโดยตรง ซึ่งก็คือเทคโนโลยีลายน้ำดิจิทัล โดยที่วิธีการนี้จะแตกต่างจากวิธีการเข้ารหัสลับทั่วไปที่ข้อมูลภายหลังจากการเข้ารหัสจะสามารถดูได้โดยผู้ที่มีกุญแจรหัสเท่านั้น แต่วิธีดังกล่าวนี้จะใช้หลักการในการซ่อนสัญญาณลายน้ำลงไปในข้อมูล โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ หรือรหัสส่วนตัวที่ฝังลงไปบนข้อมูลต้นฉบับเพื่อ

เอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แสดงสิทธิ์ความเป็นเจ้าของในสื่อข้อมูลดิจิทัลเหล่านั้น โดยที่เนื้อหาของข้อมูลไม่สามารถแยกออกจากลายน้ำได้ และการใส่ลายน้ำลงในข้อมูลต้องไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลนั้นๆ ลดต่ำจนเกินไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อนำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการฝังลายน้ำซึ่งเป็นภาพขาวดำลงในสัญญาณเสียง โดยวิธีการที่นำเสนอนี้จะทำในโดเมนเวฟเลต ด้วยการให้การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform: DWT) ร่วมกับเทคนิคการโหวต (Voting technique) และการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลต เพื่อให้สัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำมีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดี และระบบลายน้ำมีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณต่างๆ และในขั้นตอนของการถอดลายน้ำสำหรับวิธีการนี้ก็ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณเสียงต้นฉบับมาร่วมประมวลผลด้วยเพียงแค่ต้องทราบถึงขนาดของรูปลายน้ำที่ใช้ และกุญแจรหัสลับ เพื่อใช้ในการถอดลายน้ำเท่านั้น

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เทคนิคการทำลายน้ำของสัญญาณเสียง สามารถแบ่งตามโดเมนที่ใช้ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปกตรัมหรือโดเมนเวลา และวิธีการทำลายน้ำในโดเมนที่ผ่านการแปลงแล้ว ซึ่งวิธีการทำลายน้ำในโดเมนที่มีการแปลง เช่น โดเมนความถี่ ระบบที่ได้จะมีความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำด้วยการประมวลผลทางสัญญาณ สูงกว่าวิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปกตรัม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการทำลายน้ำในโดเมนเวฟเลต ซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยจะนำค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเลตที่คำนวณได้นั้นมาหาค่าผลต่างที่ได้จากการทำเทคนิคการโหวต ซึ่งเป็นการคำนวณค่าเฉลี่ย 3 ค่าที่อยู่ติดกันและมีลำดับตรงกับลำดับบิตของลายน้ำ โดยค่าผลต่างที่ได้จะนำไปควอนไทซ์สัมประสิทธิ์เวฟเลตซึ่งเป็นการบวกทุกๆ ค่าสัมประสิทธิ์ด้วยค่าผลต่างที่ได้จากการทำการโหวต ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียงโดยใช้เทคนิคการโหวต และการควอนไทซ์สัมประสิทธิ์เวฟเลต เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีแบบเดิม โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB ผลที่ได้แสดงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี โดยวัดค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ของสัญญาณเสียงที่ฝังข้อมูลลายน้ำเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ และทดสอบความคงทนของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายน้ำที่ถูกฝังอยู่ในสัญญาณเสียง โดยทำการทดลองกับสัญญาณเสียงที่ฝังลายน้ำ มาทำการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ แล้วนำผลที่ได้ มาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างรูปภาพลายน้ำ ต้นฉบับกับภาพลายน้ำที่ถอดออกมาจากสัญญาณเสียงที่ผ่านการประมวลผล ด้วยค่าสหสัมพันธ์ บรรทัดฐาน (Normalized Correlation : NC) และอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูล (Bit Error Rate: BER) เพื่อวัดถึงประสิทธิภาพและความคงทนของภาพลายน้ำของวิธีการที่นำเสนอ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการวิจัยเพื่อที่จะนำเสนอเทคนิคการทำลายน้ำบนสัญญาณเสียงด้วยวิธีการพิจารณา ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ได้กำหนดขั้นตอนต่างๆ ของการวิจัยไว้ตามลำดับดังนี้

- ศึกษาเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลของสัญญาณเสียงทั่วไป ว่ามีเทคนิคการวิจัย และพัฒนาอย่างไร รวมไปถึงมีเงื่อนไขความต้องการพื้นฐานระบบการทำลายน้ำ ที่คืออะไร และมีการจำแนกประเภทการทำลายน้ำออกเป็นอย่างไรบ้าง
- ศึกษาเทคนิคการทำลายน้ำของสัญญาณเสียงในโดเมนเวฟเล็ต ว่ามีระบบการทำลายน้ำอย่างไร มีกระบวนการทดลองวิธีการอย่างไร
- ศึกษาวิธีการในการฝังข้อมูลภาพลายน้ำลงในสัญญาณเสียง ที่ไม่ทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงหลังการฝังลายน้ำลดลงจนสามารถสังเกตได้โดยการฟัง และวิธีการที่ใช้จะต้องทำให้ระบบลายน้ำที่ได้มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ รวมทั้งมีความยากต่อการตรวจจับหรือถอดลายน้ำจากผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต
- ทำการทดลองด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อแสดงผลของวิธีการที่ได้นำเสนอ ว่ามีความสอดคล้องกับความต้องการพื้นฐานของระบบการทำลายน้ำหรือไม่
- สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อใช้ในการจัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยรายละเอียดและเนื้อหาต่างๆ แบ่งออกเป็น 6 บท ซึ่งในแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของลายน้ำดิจิทัล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวถึงความหมายและเป็นมาของการชอนลายน้ำ เทคโนโลยีการชอนลายน้ำและการจำแนกประเภทของลายน้ำ รวมถึงคุณสมบัติและความต้องการพื้นฐานของลายน้ำ ตลอดจนการประยุกต์ใช้ลายน้ำ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 หลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต

ในบทนี้จะประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ โดยจะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเล็ต การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง และการแปลงกลับเวฟเล็ต ตลอดจนการนำเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลสัญญาณเสียง

บทที่ 4 การฟังลายน้ำบนสัญญาณเสียงด้วยวิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการและวิธีการฟังลายน้ำและตรวจสอบลายน้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฟังลายน้ำดิจิทัลลงบนสัญญาณเสียง และขั้นตอนการถอดหรือกู้คืนลายน้ำบนสัญญาณเสียงที่ฟังลายน้ำไว้

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ได้แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทำลายน้ำโดยวิธีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยผลการทดลองเบื้องต้นจะเป็นการทดลองปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆ เพื่อให้สัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังลายน้ำมีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดี และจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบลายน้ำถึงความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณต่างๆ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

กล่าวถึง สรุปผลที่ได้จากการทดลอง ข้อจำกัดและประสิทธิภาพของระบบการทำลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีการที่นำเสนอ พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ส่วนสุดท้ายจะเป็นภาคผนวกโดยอธิบายถึงทฤษฎีตัวเลขสุ่มเทียม ซึ่งนำมาใช้ในการเข้ารหัสของภาพลายน้ำก่อนการฟังลงในสัญญาณเสียงเพื่อให้ระบบลายน้ำที่ได้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

บทที่ 2

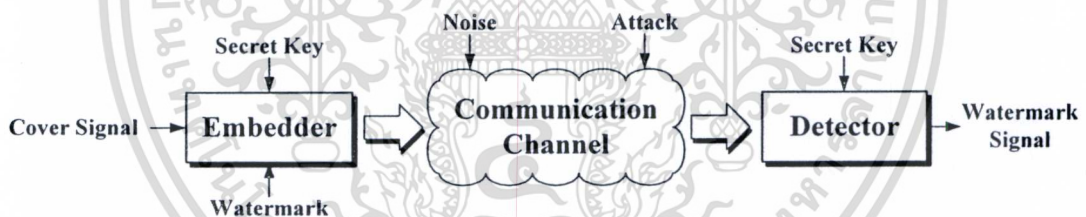
หลักการพื้นฐานของลายน้ำดิจิทัล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับลายน้ำดิจิทัล โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งส่วนแรกจะกล่าวถึงหลักการและความต้องการเบื้องต้นของการทำลายน้ำดิจิทัล จนถึงแนวทางการประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ ส่วนที่สองจะกล่าวถึงวิธีการต่างๆ ที่ใช้สำหรับการฝังภาพลายน้ำลงในสัญญาณเสียง รวมไปถึงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องซึ่งได้มีผู้วิจัยไว้ก่อนหน้า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

2.1 หลักการเบื้องต้นของการทำลายน้ำดิจิทัล

2.1.1 ลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัล คือรหัสข้อมูลแบบดิจิทัลที่ทำการบรรจุลงไปในสื่อประเภทต่างๆ เช่น รูปภาพ หรือสัญญาณเสียง โดยที่ระบบของการสื่อสารด้วยข้อมูลลายน้ำดิจิทัลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเทียบเคียงระหว่างระบบลายน้ำดิจิทัลและระบบการสื่อสาร

ระบบการสื่อสารด้วยข้อมูลลายน้ำดิจิทัลจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนฝังข้อมูล (Embedder) ซึ่งเป็นส่วนในการฝังข้อมูลเข้าไปในสัญญาณเสียงที่ต้องการจะใช้ในการสื่อสาร โดยที่ข้อมูลเข้าของส่วนนี้คือเพิ่มข้อมูลของรูปภาพหรือสัญญาณเสียงที่ต้องการจะฝังลายน้ำดิจิทัล (Cover signal) และข้อมูลลายน้ำดิจิทัล (Watermark) สำหรับรหัสลับ (Secret key) จะถูกใช้เพื่อสร้างความปลอดภัยในการเข้าถึงลายน้ำดิจิทัล ซึ่งจะมีหรือไม่มีขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้และการนำลายน้ำดิจิทัลไปประยุกต์ใช้ เมื่อได้สัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลเสียงนั้นจะสามารถนำไปใช้ในการสื่อสารได้โดยปกติ ซึ่งในระหว่างการสื่อสารอาจจะมีสัญญาณรบกวน (Noise) หรือการโจมตีสัญญาณเสียงในรูปแบบต่างๆ (Attack) เกิดขึ้น ทำให้ข้อมูลสัญญาณเสียงและข้อมูลลายน้ำดิจิทัลเสียหายได้ ซึ่งสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิทัลจะต้องมีความทนทานต่อสิ่งเหล่านี้ ส่วนสำคัญส่วนที่สองคือส่วนตรวจจับข้อมูลลายน้ำ

ดิจิตอล (Detector) ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจจับและถอดข้อมูลลายน้ำดิจิตอลออกมาจากสัญญาณเสียงนั้นๆ โดยที่หากมีการเข้ารหัสข้อมูลไว้ ก็จะต้องมีกระบวนการถอดรหัสโดยใช้รหัสลับ (Secret key) ที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลมาใช้ในการถอดรหัส ซึ่งเมื่อผ่านการถอดรหัสและการถอดข้อมูลแล้วก็จะได้ข้อมูลลายน้ำดิจิตอลตามที่ได้บรรจุลงไป

2.1.2 ความเป็นมาของการซ่อนลายน้ำ

เทคนิคการซ่อนลายน้ำมีหลักการอยู่บนพื้นฐานหลายๆ สาขาการวิจัย เช่นสเตเกโนกราฟี (Steganography) คริปโตกราฟี (Cryptography) ทฤษฎีการสื่อสาร และการประมวลผลสัญญาณ

สเตเกโนกราฟี เป็นศาสตร์ของการซ่อนข้อมูลข่าวสารในการสื่อสารซึ่งยังคงมีอยู่ในการสื่อสารปัจจุบัน ซึ่งต่างจากคริปโตกราฟีที่ตั้งใจทำให้ข่าวสารนี้ไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถอ่านออกได้ จุดหมายของสเตเกโนกราฟี คือการซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัยซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากที่จะตรวจหาได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับปรากฏซ่อนอยู่ภายในซึ่งคล้ายคลึงกับการซ่อนลายน้ำดิจิตอลในปัจจุบัน [1] โดยหนึ่งในเอกสารแรกๆ ที่บรรยายเกี่ยวกับเทคนิคสเตเกโนกราฟี คือพงศาวดารของ Herodotus กล่าวไว้ว่า Demeratus ต้องการที่จะเตือน Sparta ว่า Xerxes มุ่งหมายที่จะบุกกรีกดินแดนของกรีก โดยส่งข่าวสารด้วยวิธีเคลือบแว็กไว้ที่บางส่วนของแผ่นป้ายที่ใช้สำหรับเขียนหนังสือ แล้วขูดแว็กออกจากแผ่นป้ายและเขียนข่าวสารไว้บนไม้ จากนั้นก็ปิดทับด้วยแผ่นป้ายที่เคลือบด้วยแว็ก จึงนำผ่านทหารยามไปได้โดยง่าย อีกเรื่องหนึ่ง มีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ทำการโกนผมทาสของเขาออก และสักข่าวสารไว้บนศีรษะของทาสผู้นั้น หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้นปกปิดข้อความเหล่านั้น Histiaeus ก็ส่งทาสผู้นี้ไปยังเป้าหมายของเขาโดยสั่งให้โกนศีรษะทาสผู้นั้นด้วย

สำหรับเทคนิคอีกแบบหนึ่งคือคริปโตกราฟี คือการที่ผู้ส่งสามารถบิดเบือนข้อมูลในการส่งเพื่อป้องกันการขโมยข้อมูลจากนักเจาะระบบ ส่วนผู้รับก็ต้องมีความสามารถในการแปลงข้อมูลที่ถูกบิดเบือนนั้นให้กลับเป็นข้อมูลเดิมที่ผู้ส่งต้องการส่งมาให้ได้ [2] Caesar Cipher เป็น Symmetric Key Algorithm แบบง่ายๆ อย่างหนึ่งที่มีความเก่าแก่มาก เป็นวิธีที่ Julius Caesar เป็นผู้คิดขึ้น หลักการของ Caesar Cipher สำหรับอักษรภาษาอังกฤษ คือการแทนที่อักษรแต่ละตัวใน Plaintext ด้วยอักษรลำดับที่ k ถัดไป เช่น ถ้า $k=4$ อักษร a จะถูกแทนที่ด้วยอักษร d และอักษร b จะถูกแทนที่ด้วยอักษร e ซึ่งค่า k ดังกล่าวจะถูกเรียกว่ากุญแจลับ หลังจากที่เข้ารหัสแล้วข้อความก็จะอ่านไม่รู้เรื่อง แต่ก็ไม่เป็นการยากที่จะขโมยข้อมูล ถ้าหากทราบว่าข้อความถูกเข้ารหัสด้วยวิธี Caesar Cipher เนื่องจากความเป็นไปได้มีเพียงแค่ 25 key เท่านั้น จึงได้คิดค้น Monoalphabetic Cipher เป็นวิธีการเข้ารหัสที่ถูกพัฒนามาจาก Caesar Cipher โดยมีหลักการ คือการแทนที่อักษรด้วยตัวอักษรอีกตัวหนึ่ง แต่จะไม่แทนที่กันอย่างมีรูปแบบเหมือนกับ Caesar Cipher ที่แทนด้วยอักษรที่อยู่ห่างออกไป k ตัวสำหรับทุกอักษร แต่วิธีนี้อักษรตัวหนึ่งสามารถถูกแทนที่ด้วยอักษรใดก็ได้ อักษรแต่ละตัวจะมีอักษรที่ใช้แทนที่ที่ไม่ซ้ำกัน ดังนั้นวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพมากกว่า Caesar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ในอนาคตให้มุ่งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

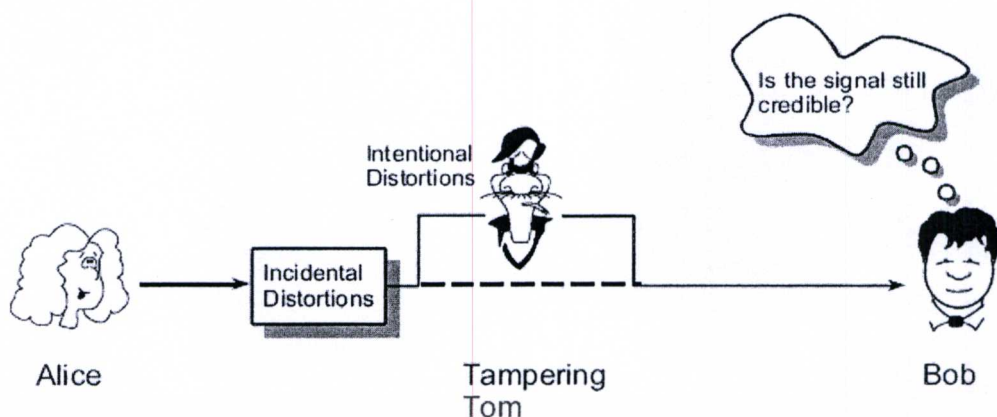
Cipher และมีความเป็นไปได้ในการจับคู่อักษรได้ถึง $25!$ หรือ 10^{26} key ดังนั้นถ้านักเจาะระบบต้องการจะขโมยข้อมูลก็จะต้องใช้เวลานานมากในการค้นหาคู่อักษร แต่จากการวิเคราะห์ภาษาแล้ว จะมีอักษรบางตัวที่ปรากฏบ่อยมาก เช่น 13% เป็น e และ 9% เป็น t และยังมีชุดอักษรที่เกิดขึ้นบ่อยๆ เช่น in, it, the, on เป็นต้น ทำให้การขโมยข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น และถ้านักเจาะระบบรู้ว่าคำบางคำจะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ก็จะทำให้การถอดรหัสง่ายขึ้นอีก

ตัวอย่างเหตุการณ์เบื้องต้น 3 แบบ [3] ในการใช้ระบบรักษาความปลอดภัยแบบเก่าโดยได้ทำการศึกษาแต่ละแบบอย่างย่อๆ ทีละแบบ และตรวจสอบความบกพร่องของเทคนิคที่ใช้อยู่ในการปกป้องข้อมูลมัลติมีเดีย เริ่มต้นด้วยการศึกษาปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ซึ่งก็คือการทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือการนำข้อมูลดิจิทัลไปจำหน่ายเพื่อผลทางการค้า ความง่ายในการคัดลอกข้อมูล ศักยภาพในการคัดลอกได้เหมือนจริง รวมทั้งการใช้สื่อดิจิทัลในการสร้างข้อมูลและเผยแพร่ข้อมูลอย่างแพร่หลายทำให้การละเมิดลิขสิทธิ์เป็นปัญหาสำคัญในระบบความปลอดภัยของข้อมูล



รูปที่ 2.2 การนำข้อมูลดิจิทัลไปจำหน่ายเพื่อผลทางการค้า

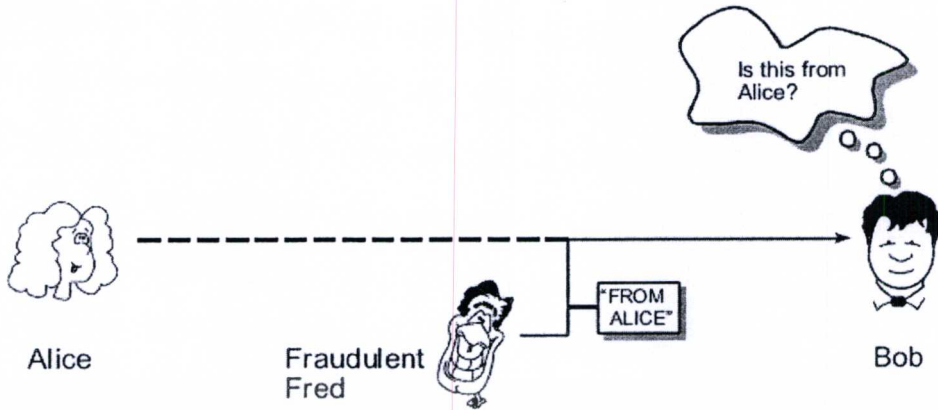
รูปที่ 2.2 แสดงการจำหน่ายข้อมูลมัลติมีเดียของ Alice ให้แก่ Peter ถึงแม้จะสามารถป้องกันข้อมูลได้ในระหว่างการส่งไปยัง Peter โดยการใช้กระบวนการเข้ารหัสข้อมูลที่ติดตั้งไว้ แต่ก็ไม่สามารถปกป้องข้อมูลจากการละเมิดลิขสิทธิ์ได้เมื่อ Peter ทำการถอดรหัสข้อมูลนั้น กล่าวคือยังไม่มีกลไกใดที่จะป้องกันไม่ให้ Peter ทำการคัดลอกและขายข้อมูลของ Alice ให้แก่ผู้อื่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบรักษาความปลอดภัยเพิ่มเติมเพื่อปกป้องทรัพย์สินทางปัญญา



รูปที่ 2.3 การดัดแปลงหรือลักลอบแทรกสัญญาณ

วิธีการตรวจสอบความเป็นเจ้าของแบบดั้งเดิมก็ไม่เหมาะสมสำหรับการปกป้องข้อมูล มัลติมีเดียจากการดัดแปลงหรือลักลอบแทรกสัญญาณที่มีอยู่ด้วยวิธีการใดๆ ก็ตาม ในรูป 2.3 แสดงให้เห็นภาพเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้โดย Alice ส่งข้อมูลให้แก่ Bob แต่ว่าก่อนที่จะถึงมือ Bob สัญญาณถูกบิดเบือนโดยบังเอิญอันเนื่องมาจากการทำให้ผิดเพี้ยนไป เช่น การบีบอัดข้อมูล การสุ่มบิตผิดพลาด หรือการสูญหายของแพ็คเกจ นอกจากนี้ข้อมูลยังอาจถูกแก้ไขให้นำเสนอผิดพลาดได้โดย Tom ซึ่งสามารถแก้ไขข้อมูลได้

ในการตรวจสอบความเป็นเจ้าของแบบเดิมที่ได้นำเสนอออกมา การส่งผ่านข้อมูลแบบนี้ใช้วิธีการแบบทางเดียว โดยการสร้างลำดับบิตที่เรียกกันว่าลายเซ็นดิจิทัล ซึ่งลายเซ็นดิจิทัลจะถูกส่งไปยัง Bob พร้อมกับสัญญาณ เมื่อถึงผู้รับ Bob สามารถส่งต่อสัญญาณที่ได้รับด้วยวิธีการเดิมเช่นกัน และยังเปรียบเทียบบิตที่ได้รับกับลายเซ็นดิจิทัล หากสัญญาณทั้งสองตรงกันแสดงว่าถูกต้องเชื่อถือได้ แต่หากไม่ตรงกันก็แสดงว่ามีการบิดเบือนของสัญญาณเกิดขึ้น แม้ว่าวิธีการยืนยันความถูกต้องจะมีประสิทธิภาพสำหรับข้อมูลบางชนิด แต่ก็ไม่เหมาะที่จะใช้กับข้อมูล มัลติมีเดียเพราะวิธีการดังกล่าวไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างการบิดเบือนของสัญญาณ หรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยบังเอิญ โดยที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้กับสัญญาณที่บิดเบือนที่จิตใจทำให้เกิดความเข้าใจผิด ในทั้งสองสถานการณ์นี้ การนำเสนอรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลจะถูกดัดแปลงแก้ไข แต่ก่อนหน้านั้นสัญญาณที่ถูกส่งมายังคงน่าเชื่อถือ ดังนั้นควรมีความสามารถในการที่จะแยกแยะการบิดเบือน หรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเพื่อนำมาช่วยในการตัดสินใจ เพื่อให้ผลของการส่งผ่านข้อมูลมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ



รูปที่ 2.4 การบิดเบือนสัญญา

รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการที่ Fred ส่งข้อมูลหา Bob โดย Fred ต้องการทำให้ข้อมูลดูเหมือนถูกส่งมาจาก Alice เราอาจส่งข้อมูลแสดงความเป็นเจ้าของในรูปแบบของข้อมูลที่มีการเข้ารหัสอีกส่วนหนึ่งมาด้วยเพื่อรับรองว่าเป็นผู้ส่งที่มีสิทธิถูกต้อง อย่างไรก็ตามข้อมูลมัลติมีเดียมักจะผ่านการแปลงรูปแบบและปรับเปลี่ยนสื่อก่อนการส่ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจทำให้สูญเสียข้อมูลที่ใช้ยืนยันได้ ซึ่งทำให้ Bob ไม่สามารถระบุตัวผู้ส่งที่มีสิทธิถูกต้องได้ ดังนั้นในสถานการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องมีวิธีใหม่สำหรับการรับรองสัญญา

ในการแก้ไขจุดบกพร่องของระบบรักษาความปลอดภัยแบบเดิมที่ได้กล่าวมานี้ นักวิจัยหลายท่านได้เสนอการใช้เทคโนโลยีลายน้ำดิจิทัล ซึ่งลายน้ำดิจิทัลสามารถใช้ได้ดีสำหรับ ภาพ เสียง และวิดีโอ เพราะความปลอดภัยจะถูกกำหนดมาพร้อมกับทรัพย์สินทางปัญญานั้นๆ แล้ว โดยวิธีนี้ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยจะเดินทางไปกับสัญญาด้วยแม้ว่ารูปแบบของสัญญาจะมีการเปลี่ยนแปลงไปแต่เนื้อหาที่แท้จริงจะได้รับการป้องกัน เพื่อให้สามารถดึงลายน้ำออกมาได้อย่างปลอดภัย

2.1.3 เทคโนโลยีการซ่อนลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลจะใช้เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของสื่อต่างๆ การซ่อนลายน้ำกับข้อมูลเสียงประกอบด้วยสัญญาเสียงกับลายน้ำดิจิทัล โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (Key information) หรือรหัสส่วนตัวที่ฝังลงไปบนสัญญาเสียง และต้องไม่สามารถสังเกตได้ถึงความแตกต่างระหว่างสัญญาเสียงต้นฉบับกับสัญญาเสียงที่มีลายน้ำฝังอยู่ ลายน้ำดิจิทัลเป็นการฝังข้อมูลอย่างถาวร แสดงว่ามันจะยังคงอยู่ในข้อมูลดั้งเดิมแม้จะถูกกระทำในรูปแบบต่างๆ ที่อาจจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนก็ตาม

ในกรณีที่มีการละเมิดลิขสิทธิ์เกิดขึ้น ลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ภายในสัญญาเสียงจะสามารถนำมาใช้ในการอ้างสิทธิ์เพื่อฟ้องร้องต่อการกระทำดังกล่าว อีกทั้งยังนำมาใช้ในการหาตัวบุคคลที่

กระทำการละเมิดลิขสิทธิ์ตัวข้อมูลได้อีกด้วย โดยในการใช้งานนั้นจะมีการใส่สัญญาณลายน้ำที่มีลักษณะเฉพาะที่แสดงถึงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลเสียก่อน จึงจะเผยแพร่ข้อมูลนั้นๆ ให้กับลูกค้า โดยในลายน้ำจะเป็นรหัสเฉพาะของสินค้าชิ้นนั้นๆ เพื่อที่ว่าเมื่อมีการละเมิดลิขสิทธิ์เกิดขึ้น ก็จะสามารถสืบหาร่องรอยหลักฐานได้ว่าการกระทำผิดนั้นเริ่มต้นขึ้นจากบุคคลใด เนื่องจากลายน้ำและลูกค้าที่ได้รับข้อมูลนั้นจะถูกบันทึกเอาไว้ในระบบฐานข้อมูล เมื่อมีหลักฐานเช่นนี้แล้วการที่จะฟ้องร้องเพื่อเอาผิดบุคคลดังกล่าวย่อมสามารถกระทำได้โดยง่าย

การซ่อนลายน้ำดิจิทัลในสัญญาณเสียง จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ในธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับดนตรี โดยหากทำการใส่สัญญาณลายน้ำลงในข้อมูลเพลงก็จะสามารถยับยั้งปัญหาในการคัดลอกและเผยแพร่บทเพลงอย่างผิดกฎหมายได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการทำธุรกรรมทางอินเทอร์เน็ต (E-Commerce) ให้มีความปลอดภัยมากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้การซ่อนลายน้ำดิจิทัลในข้อมูลวีซีดี จะช่วยป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ในหลายๆ ทาง ยกตัวอย่างเช่น ในธุรกิจภาพยนตร์ การซ่อนลายน้ำดิจิทัลไปกับสัญญาณเสียงจะช่วยลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการคัดลอกตัวข้อมูลลงในแผ่นซีดีหรือดีวีดี เพื่อจัดจำหน่ายอย่างผิดกฎหมาย เพราะหากมีตัวอย่างของข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่ก็จะสามารถตามจับผู้กระทำความผิดมาลงโทษได้ ยิ่งไปกว่านั้นการส่งผ่านข้อมูลวีดีโอผ่านทางระบบเครือข่ายยังได้รับการป้องกัน ได้อีกด้วย ตัวอย่างการใช้งานระบบวีดีโอผ่านเครือข่าย เช่น Video-on-demand และ pay-per-view

ในกรณีของการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อป้องกันบุคคลอื่นที่ไม่มีกุญแจรหัสลับเข้ามาใช้งานข้อมูลนั้น เมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลได้ถูกถอดรหัสออกมา ความปลอดภัยของข้อมูลนั้นก็ลดลง เนื่องจากข้อมูลสามารถถูกคัดลอกภายหลังขั้นตอนที่ผ่านการถอดรหัสแล้วซึ่งจะไม่สามารถป้องกันปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นได้เลย ดังนั้นจึงอาจนำเทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสลับเพื่อให้ข้อมูลมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม เมื่อใดก็ตามที่ข้อมูลถูกถอดรหัสออกมาแล้ว ตัวข้อมูลยังคงถูกป้องกันเอาไว้อีกชั้นหนึ่งจากการซ่อนลายน้ำดิจิทัล ดังนั้นหลังจากขั้นตอนของการถอดรหัสถ้ามีการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูลเกิดขึ้น ก็จะสามารถหาตัวบุคคลที่กระทำความผิดนั้นได้ เพราะข้อมูลที่ถูกคัดลอกไปจะยังคงมีลายน้ำดิจิทัลติดอยู่ด้วยเช่นเดียวกับข้อมูลต้นฉบับที่ถูกคัดลอก เพราะฉะนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีการตรวจพบข้อมูลที่ถูกละเมิดลิขสิทธิ์ ลายน้ำภายในข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อตามรอยย้อนกลับหาว่าข้อมูลที่ถูกคัดลอกนั้น เป็นข้อมูลที่เผยแพร่ให้กับลูกค้าคนไหน แนวความคิดเช่นนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลของข้อมูลมัลติมีเดียในปัจจุบัน

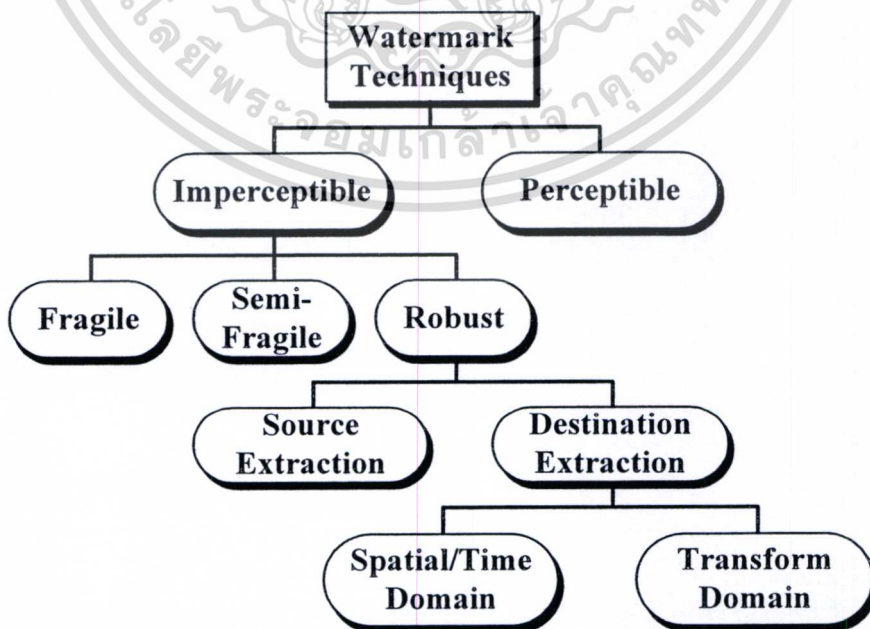
ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายกลุ่มให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้าน การซ่อนลายน้ำดิจิทัล ทำให้เป็นที่น่าเชื่อว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอนาคตอันใกล้ รวมไปถึงเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องต่อไป อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการป้องกันก็ย่อมจะมีผู้หาช่องทางในการทำลายควมคุ้มกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไป แต่ปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นเลยถ้าทุกคนมีจิตสำนึกที่ดี เห็นความสำคัญและตระหนักถึงคุณค่าของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรัพย์สินทางปัญญา รวมไปถึงการร่วมมือกัน ไม่สนับสนุนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นอย่างผิดกฎหมาย [1]

การสื่อสารในวงกว้างของข้อมูลสื่อผสมทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปกป้องข้อมูลสื่อผสมจากการลอกเลียนแบบและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการคัดลอกและทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แต่ก็ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การขโมยและการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาเป็นไปได้โดยง่าย ระบบรักษาความปลอดภัยที่มีอยู่สำหรับการทำธุรกิจด้านข้อมูล จะช่วยรักษาความปลอดภัยให้กับช่องทางการสื่อสารระหว่างสองฝ่าย เทคนิคเหล่านี้นำเอาเครื่องมือรักษาความปลอดภัยที่ติดตั้งไว้มาควบคุมการเรียกใช้ข้อมูล การเข้ารหัส และการตรวจสอบข้อมูลภายใต้ข้อตกลง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการซื้อขายข้อมูลแบบดิจิทัล ปัญหาเกี่ยวกับของแท้และความเป็นเจ้าของก็มักจะตามมา เนื่องจากข้อมูลดิจิทัลสามารถคัดลอกและเก็บไว้ได้อย่างสะดวกสบาย ซึ่งทำให้บางทีเกี่ยวกับลิขสิทธิ์และการใช้ข้อมูลทำได้ยากลำบาก ยิ่งไปกว่านั้น ขณะนี้ยังไม่มีกลไกใดๆ ที่สามารถตรวจหาการลอกเลียนแบบและการดัดแปลงเนื้อหาอย่างผิดกฎหมายได้ด้วยระบบรักษาความปลอดภัยแบบกระจายอย่างเดิมได้

แนวคิดของการทำลายน้ำดิจิทัล คือการใส่สัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะเข้าไปในตัวข้อมูลมัลติมีเดีย ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะแสดงความเป็นเจ้าของต่อข้อมูลนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวสามารถแบ่งประเภทของการฝังลายน้ำดิจิทัลของสัญญาณเสียงออกเป็น 2 ชนิด คือลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถสังเกตเห็นได้ (Perceptible) และลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (Imperceptible) รูปที่ 2.5 แสดงการแบ่งประเภทของเทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณเสียง โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการซ่อนลายน้ำที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้



ประเภทของเทคนิคการซ่อนลายน้ำแบบไม่สามารถสังเกตได้ยังสามารถแบ่งโดยพิจารณาจากคุณสมบัติความทนทาน [4] [5] [6] ได้อีก 3 ประเภท คือ

ลายน้ำดิจิทัลที่เปราะบาง (Fragile watermark) ลายน้ำชนิดนี้จะเป็นลายน้ำที่ไม่มีความทนทานต่อการประมวลผลสัญญาณใดๆ ของสัญญาณเสียงเลข ซึ่งตัวลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในข้อมูลต้นฉบับจะมีความไวและเสียหายได้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแม้เพียงเล็กน้อย เช่นถ้าข้อมูลที่มีลายน้ำประเภทนี้ฝังอยู่ถูกเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไข ข้อมูลลายน้ำที่อยู่ภายในก็จะเสียหายจนตรวจสอบไม่ได้ ดังนั้นลายน้ำประเภทนี้จึงมีความเหมาะสม ที่จะใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่าเป็นของแท้ที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ มาก่อน

ลายน้ำดิจิทัลกึ่งเปราะบาง (Semi-fragile watermark) เป็นลายน้ำที่มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ ในระดับหนึ่ง จนกว่าข้อมูลที่มีการฝังลายน้ำได้เสียหายไปเอง ลายน้ำประเภทนี้อาจใช้งานได้เช่นเดียวกับลายน้ำดิจิทัลที่เปราะบาง แต่มีข้อดีตรงที่จะมีความทนทานต่อการประมวลผลสัญญาณมากกว่า

ลายน้ำดิจิทัลทนทาน (Robust watermark) เป็นลายน้ำดิจิทัลที่คงทนต่อการใช้งานต่างๆ ไป ซึ่งกระบวนการฝังจะมีความซับซ้อนและต้องใช้เทคนิคต่างๆ ในการฝังที่จะไม่ทำให้ข้อมูลที่ผ่านการฝังลายน้ำนั้นมีความผิดเพี้ยนจากข้อมูลต้นฉบับมากจนกระทั่งคุณภาพเสียไป แต่ก็มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบต่างๆ มากกว่าทั้งสองแบบที่ได้กล่าวมา

ประเภทของการซ่อนลายน้ำแบบมีความคงทนสามารถแบ่งรูปแบบการทำงานได้ 2 ประเภท คือต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับในการถอด (Source extraction) และไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับในการถอด (Destination extraction) ในแบบที่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับกำหนดว่าต้องใช้สัญญาณเสียงต้นฉบับในการตรวจหาหรือการถอดลายน้ำกลับคืน และวิธีการนี้จะมีลักษณะพิเศษ คือมีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ แต่ความคงทนนี้อาจมีจุดบกพร่องเมื่อใช้งานจริง เนื่องจากสัญญาณต้นฉบับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการนำลายน้ำกลับคืนและมีความสำคัญกับการถูกคัดลอกต้นฉบับที่ไม่มีลายน้ำ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีประโยชน์มากเมื่อต้องการความคงทน แตกต่างกับแบบที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับที่ต้องการเพียงกุญแจลับสำหรับการนำลายน้ำกลับคืน การแบ่งประเภทในส่วนนี้อาจจำแนกประเภทโดยพิจารณาจากการตรวจหาลายน้ำได้เป็น

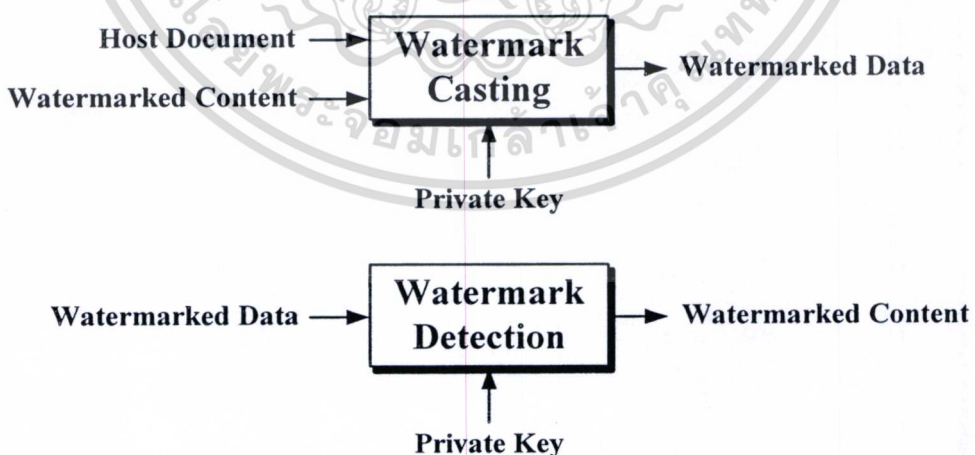
เทคนิคที่ใช้ข้อมูลต้นฉบับและไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ: วิธีการที่ต้องใช้ข้อมูลลายน้ำต้นฉบับมาร่วมประมวลผลในขั้นตอนของการถอดลายน้ำนั้น โดยทั่วไปจะมีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณมากกว่าแต่มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก เช่น มีเพียงเจ้าของข้อมูลต้นฉบับเท่านั้นที่สามารถอ่านหรือตรวจหาข้อมูลลายน้ำได้ แต่ผู้ซื้อควรได้รับสิทธิในการอ่านและตรวจหาข้อมูลลายน้ำได้ด้วย เพื่อเป็นการรับประกันว่าข้อมูลดิจิทัลที่ได้รับมานั้นมีความถูกต้องตามกฎหมาย

เทคนิคการตรวจหาแบบเปิดเผยและแบบส่วนตัว: ลายน้ำจะถูกกล่าวได้ว่าเป็นแบบส่วนตัวเมื่อผู้ที่มีสิทธิเท่านั้นที่สามารถตรวจหาข้อมูลลายน้ำออกมาได้ ซึ่งกลไกนี้ทำให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตจะไม่มีทางแยกลายน้ำออกมาได้ ตัวอย่างเช่น โดยการกำหนดรหัสแบบสุ่มให้กับแต่ละไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

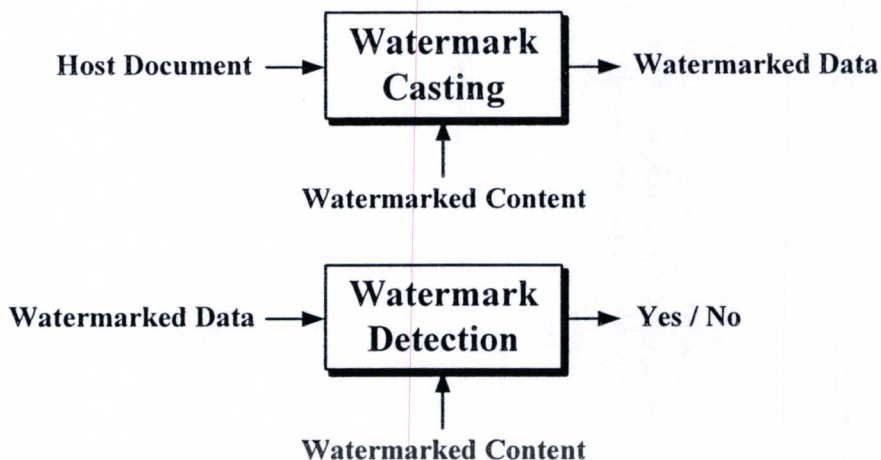
ผู้ใช้งานในขั้นตอนของการฝังลายน้ำ ซึ่งทำให้สามารถแยกลายน้ำออกมาจากเอกสารนั้นๆ ได้ ในทางตรงกันข้ามกับเทคนิคการฝังลายน้ำแบบส่วนตัว คือการฝังลายน้ำแบบเปิดเผยซึ่งจะอนุญาตให้ผู้ใดก็ได้สามารถอ่านลายน้ำได้ โดยเหตุผลทางด้านความปลอดภัย ทำให้การฝังลายน้ำแบบส่วนตัวจะมีความคงทนสูงกว่าแบบเปิดเผยมากด้วยการเลือกใช้รหัสลับ สำหรับวิธีการเปิดเผยลายน้ำหากรู้รหัสที่ฝังลงไป จะเป็นการง่ายสำหรับการลบหรือทำให้ลายน้ำไม่สามารถอ่านได้

เทคนิคการตรวจหาที่สามารถอ่านและตรวจหาลายน้ำได้: ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างขั้นตอนวิธีที่ฝังรหัสให้สามารถอ่านได้ และแบบที่ฝังรหัสให้สามารถตรวจหาได้ ซึ่งรหัสที่ฝังไว้ทำได้เพียงการตรวจหาเท่านั้น ในขณะที่วิธีอื่น เช่นแบบเปิดเผยซึ่งอนุญาตให้ผู้ใดก็ได้สามารถอ่านรหัสที่แทรกอยู่ในข้อมูลได้ ซึ่งในกรณีหลังจะอนุญาตให้ตรวจสอบได้เพียงว่ามีรหัสฝังอยู่หรือไม่เท่านั้น ซึ่งต้องรู้รหัสที่แทรกลงไป ข้อสังเกตว่าขั้นตอนวิธีในการฝังลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้จะเป็นแบบส่วนตัวเสมอ

เพื่อที่จะพิจารณาความแตกต่างระหว่างลายน้ำที่อ่านได้ และลายน้ำแบบที่ตรวจหาได้ จะพิจารณาแบบแผนในรูปที่ 2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้แบบส่วนตัว ซึ่งลายน้ำจะถูกฝังลงในข้อมูลโดยใช้รหัสลับ และรหัสเดียวกันนี้จะถูกใช้ในการถอดรหัสเพื่ออ่านบิตที่ถูกเขียนไว้ในเอกสารที่มีการฝังลายน้ำ เมื่อพิจารณาการทำลายน้ำแบบสามารถตรวจหาได้ในสถานการณ์ที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ลายน้ำที่ถูกแทรกลงในข้อมูลโดยไม่ใช้คีย์ใดๆ ทำให้การถอดรหัสจะพิจารณาได้เพียงตัดสินใจว่าในเอกสารนี้มีลายน้ำอยู่หรือไม่เท่านั้น



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถอ่านได้แบบส่วนตัว



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการทำลายน้ำที่สามารถตรวจหาได้แบบส่วนตัว

วิธีการตรวจหาที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับนี้แบ่งได้อีก 2 กลุ่ม คือเทคนิคที่กระทำในโดเมนสเปเชียล (Spatial domain) และเทคนิคที่กระทำในโดเมนที่ผ่านการแปลง (Transform domain) โดยเทคนิคที่กระทำในโดเมนสเปเชียล ลายน้ำจะถูกฝังในโดเมนสเปเชียลของสัญญาณเสียงต้นฉบับ ในขณะที่เทคนิคที่กระทำในโดเมนที่ผ่านการแปลง เช่น โดเมนความถี่ ลายน้ำจะถูกฝังอยู่ในโดเมนความถี่ของสัญญาณเสียงที่ได้จากการแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Cosine Transform: DCT) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform: DFT) หรือการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform: DWT) กับสัญญาณเสียงต้นฉบับ ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

โดยทั่วไปการเข้ารหัสและตรวจสอบความเป็นเจ้าของจะใช้มาตรฐานระบบการเข้ารหัส แต่ลายน้ำดิจิทัลจะแตกต่างตรงที่ไม่ป้องกันการละเมิดโดยการควบคุมการใช้ข้อมูล แต่จะทำการแสดงหลักฐานการละเมิดหลังจากเกิดเหตุการณ์นั้นขึ้นแล้ว

ปัจจุบันนี้กำลังอยู่ในช่วงประเมินผลของเทคโนโลยีซึ่งนักวิจัยกำลังพัฒนาหลักเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการซ่อนลายน้ำที่มีประสิทธิภาพ ปรับปรุงความน่าเชื่อถือ และความเที่ยงตรงภายใต้การคำนวณที่ซับซ้อน และปรับให้เหมาะสมกับความต้องการของธุรกิจข้อมูลสื่อผสมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อย่างไรก็ตามการซ่อนลายน้ำดิจิทัลยังคงอยู่ในช่วงพัฒนาแม้จะเริ่มมีบริการเพื่อการค้าแล้วก็ตาม ซึ่งในอดีตยังต้องใช้เวลา 10-20 ปี กว่าระบบการเข้ารหัสข้อมูลจะถูกนำมาใช้โดยทั่วไป

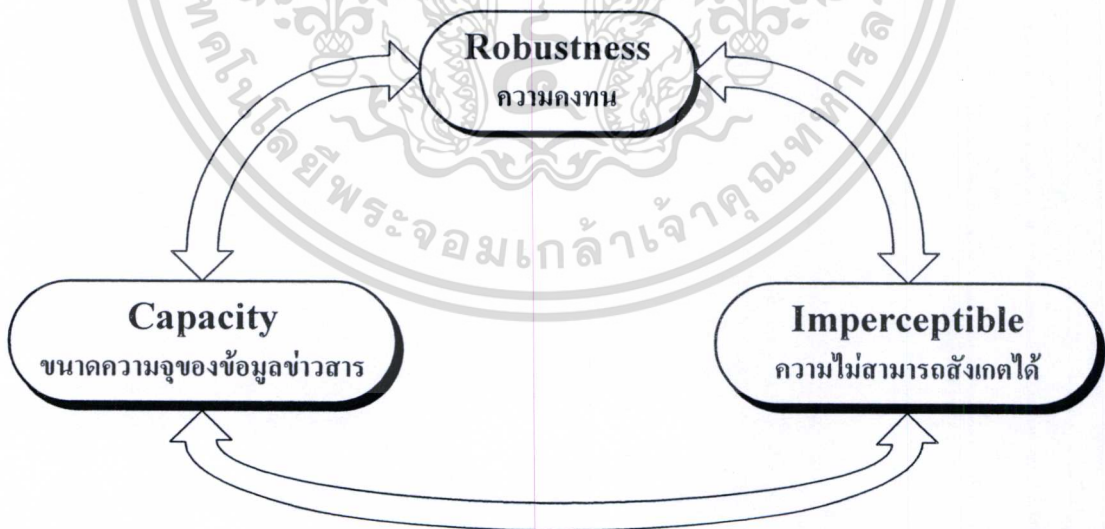
2.1.4 คุณสมบัติลายน้ำดิจิทัล [7]

ปัญหาของการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคงทน (Robustness) ความไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (Imperceptible) และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Capacity) ดังรูปที่ 2.8 โดยค่าความคงทนนั้นเป็นความสามารถของข้อมูลข่าวสารที่ถูกใส่ลงในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเสียง และข้อมูลในสัญญาณเสียงนั้นทนต่อการแก้ไขตัดแปลงหรือการประมวลผลสัญญาณซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยตั้งใจหรือไม่ก็ตาม และอีกสิ่งที่น่าสนใจในการซ่อนข้อมูลข่าวสารนั้นก็คือ ความไม่สามารถสังเกตได้ โดยข่าวสารที่ซ่อนลงไปไม่ควรสังเกตได้ถึงความแตกต่างเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณเสียงที่มีการซ่อนข้อมูลและสัญญาณเสียงต้นฉบับ และสุดท้ายคือ ความจุของข้อมูลข่าวสารที่สามารถใส่ลงในสัญญาณเสียง โดยที่คุณสมบัติที่สำคัญทั้งสามประการที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะมีคุณสมบัติที่แปรผกผันซึ่งกันและกัน เช่นหากต้องการให้ข้อมูลมีความทนทานสูงและฝังข้อมูลลายน้ำดิจิทัลได้มาก ก็มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มกำลังของลายน้ำให้สูง ซึ่งมีผลให้ความสามารถในการซ่อนข้อมูลต่ำลง ดังนั้นในการออกแบบขั้นตอนวิธีเพื่อนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทั้ง 3 ประการนี้เป็นอย่างมาก

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิทัลมีข้อกำหนดมากมายขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละชนิด ดังนั้นข้อกำหนดบางข้ออาจจะไม่มีในเทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิค อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำดิจิทัลส่วนใหญ่ก็มีข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

ความคงทน (Robustness): เมื่อสัญญาณเสียงที่มีลายน้ำฝังอยู่ถูกโจมตีโดยวิธีการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบต่างๆ รวมถึงการบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสียสัญญาณเสียงบางส่วน วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ข้อมูลลายน้ำสูญหายไป หรือถูกทำลายได้ และถึงแม้ข้อมูลลายน้ำบางส่วนจะหายไป ข้อมูลที่คงอยู่จะต้องชัดเจนพอที่จะระบุเจ้าของที่แน่นอนได้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน, ความไม่สามารถสังเกตได้ และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (Imperceptible): ขั้นตอนวิธีการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลต้นฉบับ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือลายน้ำไม่ควรจะสังเกตเห็นได้จากการใช้ประสาทสัมผัสธรรมดา

ความปลอดภัย (Security): การถอดหรือตรวจหาลายน้ำของผู้ที่ไม่ได้รับสิทธิ์ต้องไม่สามารถกระทำได้ แม้จะทราบแบบแผนพื้นฐานที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำก็ตาม บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตก็ไม่สามารถลบลายน้ำหรือทำการแก้ไขได้นอกจากเจ้าของผลงานเอง

2.1.5 การประยุกต์ใช้เทคนิคการซ่อนลายน้ำ [7]

การนำเสนอสื่อดิจิทัลที่มีการจดลิขสิทธิ์ เช่น ภาพถ่าย ภาพยนตร์ และบทเพลงต่างๆ ก็สามารถป้องกันการละเมิดได้ในระดับหนึ่ง แต่ในความเป็นจริงแล้วยังไม่สามารถจัดการกับปัญหาการทำซ้ำผลงานโดยผิดกฎหมายได้อย่างจริงจัง จนกระทั่งมีเทคนิคที่ช่วยในการปกป้องสิทธิ์ข้อมูลของเจ้าของผลงาน นั่นคือเทคนิคการเข้ารหัสลับ ซึ่งเป็นการป้องกันเนื้อหาข้อมูลในระหว่างการส่งผ่านข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับ อย่างไรก็ตามหลังจากผู้รับทำการถอดรหัสข้อมูลแล้ว ข้อมูลนั้นก็ยังคงไม่สามารถป้องกันการคัดลอกได้อย่างถาวร การเข้ารหัสลายน้ำโดยใช้ลายน้ำดิจิทัลเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลข่าวสารที่ซ่อนไว้ในเนื้อหาข้อมูลของสื่อต่างๆ โดยที่ไม่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ประสาทสัมผัส แต่ตรวจสอบได้ง่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อดีของวิธีการนี้คือเนื้อหาของข้อมูลไม่สามารถแยกออกจากลายน้ำได้ การฝังลายน้ำได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกรณีต่างๆ เช่น

การใช้ลายน้ำเป็นลายเซ็น: ลายน้ำเป็นสิ่งที่พิสูจน์ถึงความเป็นเจ้าของผลงาน ในข้อมูลข่าวสารสามารถนำมาใช้โดยที่ผู้ใช้ได้รับสิทธิ์ที่ถูกต้องตามกฎหมายในการทำซ้ำ หรือแจกจ่ายผลงานจากการติดต่อกับเจ้าของผลงาน ซึ่งในอนาคต ลายน้ำอาจจะถูกนำมาใช้ช่วยในการกำหนดข้อโต้แย้งในการแสดงสิทธิการเป็นเจ้าของ

การใช้ลายน้ำแทนการพิมพ์ลายนิ้วมือ: ลายน้ำสามารถใช้พิสูจน์ผู้ซื้อผลงาน ซึ่งอาจใช้ช่วยตามรอยแหล่งที่ทำการทำซ้ำผลงานอย่างผิดๆ ตัวอย่างเช่น ลายน้ำที่ระบุถึงรหัสสินค้าหรือเลขประจำตัวของลูกค้าซึ่งมีการฝังไว้ในซีดีหรือดีวีดีเพลงก่อนทำการแจกจ่ายให้กับลูกค้า หรืออาจจะนำมาใช้ในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต (E-Commerce) ซึ่งอาจฝังลายน้ำไว้บนข้อมูลเพลงก่อนการส่งข้อมูลให้ลูกค้า เพื่อที่จะเป็นการป้องกันการคัดลอกเพลงนั้น ไปทำการจำหน่ายโดยหวังผลทางการค้า เมื่อเจ้าของผลงานนั้นมาพบและพิสูจน์โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในเพลง ก็สามารถที่จะค้นหาแหล่งที่มาเพื่อที่จะสามารถฟ้องร้องต่อบุคคลที่กระทำผิดได้

การรับรองความถูกต้อง: ในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนหรือแต่งเติมรายละเอียดของข้อมูลลงไปให้แตกต่างจากต้นฉบับ สามารถตรวจสอบได้โดยการฝังลายน้ำที่มีความเปราะบาง (Fragile watermark) เพื่อใช้รับรองความถูกต้องของเนื้อหาข้อมูล ดังนั้นเมื่อมีการแก้ไขก็จะทำให้ลายน้ำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหายได้โดยง่าย และหลังจากแยกलयน้ำออกมาแล้วไม่ตรงกับข้อมูลที่ฝังไว้ก่อนหน้าก็แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้นในข้อมูล วิธีนี้สามารถใช้ตรวจสอบถึงปัญหาเกี่ยวกับของแท้ได้อีกทางหนึ่ง

การควบคุมการคัดลอก: ลายนํ้าที่บรรจุข้อมูลเกี่ยวกับกฎเกณฑ์การใช้งาน และการทำซ้ำของเจ้าของผลงานเพื่อบังคับใช้ทั่วไป เช่น เนื้อหาข้อมูลไม่สามารถทำซ้ำได้อีก อุปกรณ์ที่มีความสามารถคัดลอกข้อมูลเหล่านี้จะใช้ลายนํ้าเพื่อป้องกันข้อมูลดิจิทัลวิดิโอในระบบปิด โดยใช้ฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับทำสำเนาและครายละเอียด ซึ่งจะมีรหัสที่แสดงถึงจำนวนครั้งที่อนุญาตให้ทำสำเนา ดังนั้นทุกครั้งเมื่อมีการทำสำเนา ฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรหัสและเมื่อจำนวนเท่ากับศูนย์ ระบบจะไม่สามารถดูข้อมูลได้อีก

การสื่อสารข้อมูลลับ: สัญญาณที่ฝังไว้นำมาใช้ส่งข้อมูลลับจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง โดยไม่ทำให้บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องทราบถึงข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งออกไป วิธีนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคสเตเกโนกราฟีที่ใช้การซ่อนข้อมูลข่าวสารส่งไปให้บุคคลอื่น วิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากในการทหาร

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการต่างๆ ที่ใช้สำหรับการฝังภาพลายนํ้าลงในสัญญาณเสียง รวมไปถึงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องซึ่งได้มีผู้วิจัยไว้ก่อนหน้า โดยจะกล่าวถึงการฝังภาพลายนํ้าที่กระทำในโดเมนที่ต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัย

2.2.1 การทำลายนํ้าของสัญญาณเสียงในโดเมนเวลา

เนื่องจากสัญญาณเสียงมีความอ่อนไหวต่อประสาทสัมผัสในการฟังมากกว่ารูปภาพที่ใช้ประสาทสัมผัสทางการมองเห็น ดังนั้นการทำลายนํ้าของสัญญาณเสียงซึ่งเปรียบเสมือนการบวกสัญญาณรบกวนเข้าไปในสัญญาณเสียงต้นฉบับ จึงต้องอาศัยการคำนวณและอาศัยคุณสมบัติของการแปลงสัญญาณในโดเมนต่างๆ เข้ามาช่วยมากกว่าการทำลายนํ้าของรูปภาพ ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงไม่ได้มุ่งเน้นการทำลายนํ้าของสัญญาณเสียงในโดเมนเวลามากนัก เนื่องจากการทำลายนํ้าในโดเมนเวลาที่มีข้อจำกัดในเรื่องของความไม่สามารถสังเกตได้ (Imperceptible) นั่นเอง

แต่ทั้งนี้ก็มีงานวิจัยของ Wen-Nung Lie และ Li-Chun Chang [8] และ Harumi Murata และคณะ [9] ได้นำเสนอวิธีการฝังลายนํ้าในโดเมนเวลาโดยใช้เทคนิคการเพิ่มหรือลดค่าเฉลี่ยของแอมพลิจูดตามค่าบิตของลายนํ้า ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองฟังพบว่าเทคนิคที่ใช้นี้ให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีหลังการฝังลายนํ้า และผลที่ได้จากการทดสอบความคงทนของลายนํ้าต่อการประมวลผลสัญญาณพบว่าวิธีการนี้ให้ระบบลายนํ้าที่มีความคงทนต่อการตัด (Cropping) สูงสังเกตได้จากค่าของความเกี่ยวเนื่องที่มีค่าสูงถึงร้อยละ 100 ซึ่งหมายถึงลายนํ้าที่ถอดได้ไม่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดเพี้ยนของสัญญาณเลข และความคงทนต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ดี เพราะให้ค่าความเกี่ยวเนื่องถึงร้อยละ 97 ที่อัตราการบีบอัด 80 กิโลบิตต่อวินาที

2.2.2 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงฟูเรียร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทำลายน้ำของสัญญาณเสียงที่ได้ผ่านการแปลงฟูเรียร์ซึ่งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในโดเมนของความถี่ โดยในงานวิจัยของ Foo Say Wei และคณะ [10] ทำการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียงโดยการแบ่งสัญญาณเสียงในเมนเวลาออกเป็นวินโดว์และให้แต่ละวินโดว์มีการซ้อนเหลื่อมกันเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของความกว้างวินโดว์จากนั้นจึงทำการแปลงฟูเรียร์แต่ละวินโดว์ทำให้ได้ค่าความถี่ แล้วจึงหาค่า threshold เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะฝังลายน้ำเข้าไปที่วินโดว์ใด โดยลายน้ำจะฝังเฉพาะในวินโดว์ที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่า threshold การฝังลายน้ำจะทำได้โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนตัวอย่าง (Sample) ในแต่ละวินโดว์โดยสัมพันธ์กับค่าบิตของลายน้ำซึ่งวิธีการนี้ทำให้ได้ระบบลายน้ำที่มีความคงทนต่อการตัดสูงเนื่องจากสามารถถอดลายน้ำคืนมาได้ถึงร้อยละ 100 แต่มีข้อเสียคือในสัญญาณเพลงนั้น ระบบที่ได้ไม่ทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 และในกระบวนการถอดลายน้ำของระบบนี้ยังต้องอาศัยสัญญาณเสียงต้นฉบับมาร่วมประมวลผลด้วย วิธีที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่ง คือการใช้เทคนิคการแผ่สเปกตรัม (Spread spectrum) [11] [12] ซึ่งเป็นวิธีที่มีความทนทานสูง วิธีดังกล่าวอาศัยทฤษฎีการมอดูเลชันในระบบสื่อสาร โดยใช้ขนาดความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ที่มากกว่าที่ใช้ในเทคนิคการมอดูเลชันแบบอื่น ซึ่งส่งผลให้สามารถลดขนาดของสัญญาณที่ส่งในแต่ละช่วงความถี่ได้ ทำให้การส่งสัญญาณด้วยเทคนิคดังกล่าวตรวจจับได้ยาก เนื่องจากระดับสัญญาณในแต่ละย่านความถี่มีระดับต่ำมาก โดยอยู่ในระดับเดียวกันกับสัญญาณรบกวนที่มีอยู่โดยทั่วไปในช่องสัญญาณ ซึ่งคุณสมบัตินี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณเสียงได้เป็นอย่างดี โดยในกรณีของลายน้ำดิจิทัลนี้ สัญญาณเสียงที่ต้องการซ่อนลายน้ำเปรียบเสมือนช่องสัญญาณที่จะทำการส่งข้อมูล ในขณะที่แต่ละตัวอย่าง (Sample) ของสัญญาณเสียงเปรียบเสมือนสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร ซึ่งลายน้ำดิจิทัลจะเปรียบเสมือนกับสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง คุณสมบัติที่สำคัญของเทคนิคนี้ คือลายน้ำดิจิทัลที่เป็นเสมือนข้อมูลที่จะส่งไปในช่องสัญญาณดังกล่าว จะต้องไม่ทำให้ภาพต้นฉบับเปลี่ยนไปจนเป็นที่สังเกตได้ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของเทคนิคการแผ่สเปกตรัมดังกล่าวข้างต้น Shahrzad Esmaili และคณะ [13] และ Hafiz Malik และคณะ [14] ใช้เทคนิคดังกล่าวในการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียงซึ่งผลที่ได้พบว่าวิธีนี้ให้ระบบลายน้ำที่มีความทนทานต่อการประมวลผลสัญญาณ เช่น การทนต่อสัญญาณรบกวน การกรองผ่านความถี่ต่ำ และการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 แต่ขั้นตอนวิธีที่ใช้มีความซับซ้อนมาก และในบางกรณีเช่นในงานของ Shahrzad Esmaili จำเป็นต้องเก็บค่าที่ใช้ในขั้นตอนของการฝังลายน้ำบางค่าเพื่อนำมาประมวลผลในขั้นตอนของการถอดลายน้ำอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงโคไซน์

การแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Cosine Transform: DCT) เป็นอีกหนึ่งรูปแบบการแปลงที่ถูกนำมาใช้กับงานวิจัยในการฝังลายน้ำของสัญญาณเสียง ซึ่งการแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่องมีสมการในการแปลงดังนี้

$$y(k) = w(k) \sum_{n=1}^N x(n) \cos \frac{\pi(2n-1)(k-1)}{2N}, \quad k = 1, \dots, N$$

$$w(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & k = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & 2 \leq k \leq N \end{cases} \quad (2.1)$$

โดยที่ $y(k)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ในโดเมนโคไซน์
 $x(n)$ คือสัญญาณเสียงต้นฉบับ

ตัวอย่างการฝังลายน้ำ เช่น ในงานวิจัยของ Foo Say Wei และคณะ [15] ทำการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียงโดยการเปลี่ยนแปลงค่าของเฟสบางค่า และจากผลการทดลองพบว่าสัญญาณเสียงมีคุณภาพของสัญญาณที่ดี จากการสังเกตโดยการฟัง และยังมีความทนทานต่อการตัดโดยมีค่าบิตที่ถูกต้องของลายน้ำหลังผ่านการประมวลผลสูงถึงร้อยละ 96 แต่การทดสอบความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณรูปแบบอื่นๆ ในเพลงป๊อปได้ผลการทดลองที่ยังไม่ดีนัก เช่น ความคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 30 เดซิเบล พบว่าได้ค่าความถูกต้องเพียงร้อยละ 83 ความคงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำที่ความถี่คัทออฟ 10 กิโลเฮิรซ์ ได้ค่าความถูกต้องร้อยละ 70 และความคงทนต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ก็ได้ค่าความถูกต้องเพียงร้อยละ 74 เท่านั้น

ในงานของ Mingquan Fan และ Hongxia Wang [16] ก็ทำการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงโคไซน์เช่นกัน แต่ทว่าได้ใช้ร่วมกับเทคนิคการควอนไทซ์สัมประสิทธิ์ของสัญญาณเสียงในโดเมนโคไซน์ และเทคนิคการหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) โดยใช้แนวคิดที่ว่าจุดเซนทรอยด์ของแต่ละวินโดว์ของสัญญาณเสียงจะต้องไม่ถูกเปลี่ยนแปลงไปมากนักเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณเสียง ซึ่งจากการทดลองพบว่าสัญญาณเสียงหลังการฝังลายน้ำยังคงมีคุณภาพของสัญญาณที่ดีโดยมีค่าของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนอยู่ที่ 31-50 เดซิเบล แตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบของสัญญาณเพลง และจากการทดสอบความคงทนของลายน้ำพบว่ามีค่าคงทนต่อสัญญาณรบกวนนั้นยังค่อนข้างต่ำ ซึ่งถึงแม้จะมีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานถึงร้อยละ 99 แต่ก็มีค่าระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ใช้เพียง 58 เดซิเบลเท่านั้น และการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบต่างๆ เช่น การกรองผ่านความถี่ต่ำ การเปลี่ยนความถี่ของ

การสุ่มสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียดของสัญญาณ ตลอดจนการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 พบว่าให้ผลที่ยังไม่ดีนัก แต่ถ้าเปรียบเทียบกับเทคนิคของ Foo Say Wei แล้วพบว่าวิธีการนี้ให้ผลที่ดีกว่าและขั้นตอนวิธีก็ยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าอีกด้วย

2.2.4 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลง cepstrum (Cepstrum Transform)

พิจารณาสัญญาณใดๆ $x(n)$ ซึ่งการแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณ $x(n)$ นี้จะแทนด้วย $X(\omega)$ ดังนั้นจะสามารถนิยามการแปลง cepstrum ของสัญญาณ $x(n)$ ได้โดย

$$c(n) = IDFT[\log(FFT(x(n)))] \quad (2.2)$$

และการแปลงกลับ cepstrum จะถูกนิยามโดย

$$x(n) = IDFT[\exp(FFT(c(n)))] \quad (2.3)$$

โดยที่ $c(n)$ แทนการแปลง cepstrum ของสัญญาณ $x(n)$ [17]

และในการประยุกต์ใช้การแปลง cepstrum กับการฝังลายน้ำในงานวิจัยของ Lili Cui และคณะ [18] ได้ทำการฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียง โดยการแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นวินโดว์ แล้วทำการแปลงสัญญาณเสียงในแต่ละวินโดว์นั้นให้อยู่ในโดเมน cepstrum จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในโดเมน cepstrum ให้เป็นศูนย์และบวกเข้าด้วยสัญญาณลายน้ำที่ผ่านการจัดรูปแบบแล้ว สุดท้ายจึงทำการแปลงกลับ cepstrum ก็จะได้สัญญาณเสียงซึ่งมีลายน้ำฝังอยู่ และผลที่ได้จากการทดลองฟังพบว่าเทคนิคที่ใช้นี้ให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีหลังการฝังลายน้ำ และผลที่ได้จากการทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อการประมวลผลสัญญาณพบว่าเทคนิคนี้มีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนและการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนเพียงร้อยละ 89 และมีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานจากการโจมตีด้วยการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ที่อัตราการบีบอัด 64 กิโลบิตต่อวินาที เพียงร้อยละ 80 เท่านั้น

ในงานของ Xianghong Tang และคณะ [19] ได้ใช้การแปลง cepstrum ร่วมกับการแปลงเวฟเลต โดยทำการแปลงสัญญาณเสียงต้นฉบับให้อยู่ในโดเมนเวฟเลตและทำการเลือกสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำบางค่ามาทำการแปลงให้อยู่ในโดเมน cepstrum แล้วจึงทำการฝังลายน้ำ จากผลการทดลองพบว่าสัญญาณเสียงที่ได้มีค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนอยู่ที่ 39 เดซิเบล ซึ่งถือว่ามีความคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดี แต่ในการทดลองส่วนของความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณนั้น ความคงทนต่อสัญญาณรบกวนยังคงต่ำอยู่ กล่าวคือที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดซิเบล มีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของลายน้ำที่ถอดได้เพียงร้อยละ 78 เท่านั้น และความคงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำที่ความถี่คัทออฟ 9 กิโลเฮิรซ์มีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานเพียงร้อยละ 86 เท่านั้น

ในงานของ Vivekananda Bhat K และคณะ [20] ได้ใช้การแปลงเคปสตรัมร่วมกับการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ในโดเมนเคปสตรัม โดยเริ่มจากการแบ่งสัญญาณเสียงในโดเมนเวลาออกเป็นวินโดว์และทำการแปลงแต่ละวินโดว์ให้อยู่ในโดเมนเคปสตรัม จากนั้นจึงทำการหาผลต่างเฉลี่ยจากค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากสัมประสิทธิ์ในแต่ละวินโดว์เพื่อใช้สำหรับการควอนไทซ์สัมประสิทธิ์ทุกตัวที่อยู่ในวินโดว์นั้น และจากผลการทดลองพบว่าเทคนิคนี้ให้ระบบของลายน้ำซึ่งมีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีโดยมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่า 20 เดซิเบล และจากการทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อการประมวลผลสัญญาณพบว่ามีความคงทนสูงกว่าในเทคนิคของ Xianghong Tang โดยในส่วนของความคงทนต่อสัญญาณรบกวนพบว่าที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 30 เดซิเบลมีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของลายน้ำที่ถอดได้ร้อยละ 100 และการทดสอบการกรองผ่านความถี่ต่ำพบว่าที่ความถี่คัทออฟ 11.025 กิโลเฮิรซ์ มีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานร้อยละ 100 แต่จากการทดสอบการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ที่อัตราการบีบอัด 64 กิโลบิตต่อวินาทีพบว่าให้ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานเพียงร้อยละ 80 เท่านั้น

2.2.5 การทำลายน้ำของสัญญาณเสียงโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

ในงานวิจัยหลายๆ งานที่เกี่ยวข้องกับการทำลายน้ำทั้งในรูปภาพและสัญญาณเสียง นำการแปลงเวฟเล็ตมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สัญญาณ ตัวอย่างเช่นในงานของ Meenakshi R. Patil. และ S.D. Apte [21] ใช้การแปลงเวฟเล็ตสำหรับสัญญาณเสียงและทำการฝังลายน้ำลงในบริเวณสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตความถี่ต่ำ โดยใช้เทคนิคการคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าความแรงของลายน้ำ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบลายน้ำที่ได้มีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีเนื่องจากได้ทำการคำนวณไว้ก่อนหน้าแล้ว โดยค่าที่ได้มีค่าเป็น 38 เดซิเบล และจากการทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อการประมวลผลสัญญาณพบว่าระบบยังไม่คงทนต่อการโจมตีนัก เนื่องจากหากมีการเปลี่ยนค่าความแรงของลายน้ำให้สูงขึ้นจะทำให้สัญญาณเสียงที่ได้มีคุณภาพลดต่ำลงมาก ยกตัวอย่างความคงทนเช่น ความคงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำที่ความถี่คัทออฟ 11 กิโลเฮิรซ์ พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของลายน้ำที่ถอดได้ร้อยละ 72 เท่านั้น และจากการทดสอบการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 พบว่าได้ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานร้อยละ 88 และการทดสอบความคงทนในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสุ่มสัญญาณ พบว่าหากระบบนี้ทำการลดระดับความละเอียดของสัญญาณลง จะไม่สามารถถอดลายน้ำออกมาได้เลย

ในงานของ Xu Da-Wen และคณะ [22] ได้ทำการฝังลายน้ำโดยการแบ่งสัญญาณเสียงในโดเมนเวลาออกเป็นวินโดว์ จากนั้นจึงทำการแปลงเวฟเล็ตแต่ละวินโดว์ที่แบ่งไว้ แล้วจึงฝังลายน้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงในสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำในแต่ละวินโดว์ โดยฝังลายน้ำวินโดว์ละหนึ่งบิต จากผลการทดลองที่ได้พบว่าสัญญาณเสียงหลังผ่านการฝังลายน้ำมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่า 20 เดซิเบล ซึ่งหมายถึงระบบที่ได้มีคุณภาพเสียงหลังการฝังลายน้ำที่ดี และในการทดสอบความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ เช่น ความคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 26 เดซิเบล ได้ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานร้อยละ 100 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้ค่อนข้างคงทนต่อสัญญาณรบกวน แต่จากการทดสอบการกรองผ่านความถี่ต่ำที่ความถี่คัทออฟ 11.025 กิโลเฮิรซ์ พบว่าค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของลายน้ำที่ถอดได้มีค่าเพียงร้อยละ 81 และจากการทดสอบความคงทนต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ที่อัตราการบีบอัด 64 กิโลบิตต่อวินาที ได้ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานร้อยละ 74 เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้ยังไม่คงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำและการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 มากนัก

ในเทคนิคของ Wang Rangding และคณะ [23] ใช้เทคนิค Linear Predictive Coding สำหรับขั้นตอนของการถอดลายน้ำ และหลังจากฝังลายน้ำลงในสัญญาณเสียงแล้วพบว่าระบบที่ได้มีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีโดยมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่า 20 เดซิเบล และจากการทดสอบความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ ผลที่ได้พบว่าเทคนิคที่ใช้นี้ยังมีความคงทนไม่สูงนัก ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบความคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 36 เดซิเบล ได้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลร้อยละ 2.9 และการทดสอบความคงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำที่ความถี่คัทออฟ 11.025 กิโลเฮิรซ์ พบว่าได้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลร้อยละ 9.4 และจากการทดสอบความคงทนต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 ที่อัตราการบีบอัด 128 กิโลบิตต่อวินาที ได้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่ร้อยละ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบลายน้ำที่ได้ค่อนข้างคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ

ในงานของ Wang Lanxun และคณะ [24] ได้นำเอาวิธีการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในบริเวณความถี่ต่ำซึ่งเป็นวิธีการที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง เนื่องจากตัวขั้นตอนวิธีมีความซับซ้อนไม่มากนัก และจากผลการทดลองก็พบว่าระบบลายน้ำที่ได้มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณสูง โดยวิธีการฝังลายน้ำจะใช้แนวคิดที่คล้ายกับในงานของ Vivekananda Bhat K ที่ใช้การฝังลายน้ำในโดเมนเคปสตรัมดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และจากผลการทดลองที่ได้พบว่าคุณภาพของสัญญาณเสียงหลังผ่านการฝังลายน้ำมีคุณภาพที่ดี โดยมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 38 เดซิเบล และจากการทดสอบความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณก็ได้ค่าของสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของลายน้ำที่ถอดได้มากกว่าร้อยละ 97 ขึ้นไป ดังนั้นเทคนิคนี้จึงให้ระบบลายน้ำที่มีความคงทนค่อนข้างสูง

งานวิจัยที่ผู้วิจัยเคยนำเสนอมาก่อนหน้า [25] ก็ได้ใช้แนวคิดการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ที่ Wang Lanxun และ Vivekananda Bhat K เคยนำเสนอไว้ โดยได้มีการปรับปรุงบางส่วนของขั้นตอนวิธี เช่น เพิ่มการฝังลายน้ำในส่วนของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตความถี่สูงเพื่อให้

ของการฟังซึ่งจะต้องสัมพันธ์กันกับคำอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนั้น มีค่าไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสัญญาณ และการที่จะได้มาซึ่งลายน้ำที่มีความคงทนต่อการประมวลผล สัญญาณทั้งในงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้เคยนำเสนอหรือแม้แต่ในงานของ Wang Lanxun นั้น ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มของการฟังในระดับที่สูงมาก จนกระทั่งในบางรูปแบบของสัญญาณเพลง มีคุณภาพของสัญญาณลดต่ำลงจนสามารถที่จะสังเกตได้จากการฟัง ดังนั้นจึงทำให้ได้คำอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง ซึ่งปัญหาเหล่านี้จึงได้ถูกแก้ไขโดยมีวิธีการ ดังที่จะได้นำเสนอในส่วนถัดไปของวิทยานิพนธ์



หลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการแปลงเวฟเล็ต คุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform: DWT) โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis: MRA) ซึ่งทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบของสัญญาณ (Decomposition) และการสร้างกลับของสัญญาณ (Reconstruction) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลสัญญาณเสียง

3.1 ความเป็นมาของการแปลงเวฟเล็ต

การแปลงฟูเรียร์เป็นที่นิยมนำมาใช้หลายในการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลา $f(t)$ ไปเป็นสัญญาณซึ่งอยู่ในโดเมนความถี่ $F(\omega)$ หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่าการหาสเปกตรัมของสัญญาณ $f(t)$ นั้นเอง โดยมีสมการเป็น

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

จากสมการ จะสังเกตได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการแปลง จะทำตลอดย่านเวลา $-\infty$ ถึง ∞ ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตขณะที่เวลาใดๆ ก็จะส่งผลกระทบต่อตลอดย่าน $F(\omega)$ ด้วย นอกจากนี้ การแปลงฟูเรียร์ยังไม่สามารถเลือกทำการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงเวลาหรือความถี่ได้ ดังนั้นวิธีการแปลงฟูเรียร์จึงให้ข้อมูลที่มากเกินไปจนเกินไป นอกจากนี้ในทางปฏิบัติ หากสัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ (Non-stationary signal) การใช้การแปลงฟูเรียร์จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณ เนื่องจากมีข้อมูลมากเกินไปในการคำนวณใหม่ในแต่ละครั้ง ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์จึงเหมาะสำหรับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stationary signal)

การแปลงกาเบอร์ (Gabor transform) เป็นการแปลงที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะเป็นการแปลงฟูเรียร์เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window function) ซึ่งหน้าต่างนี้จะใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian function) เท่านั้น

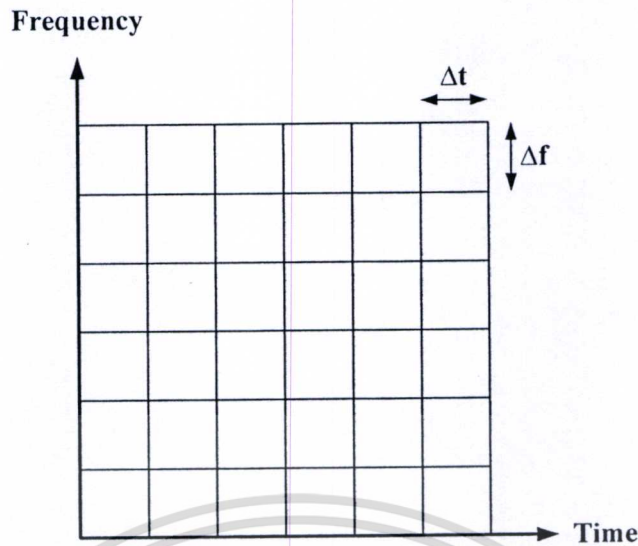
$$g_a(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot a}} e^{-\frac{t^2}{4a}} \quad (3.2)$$

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

จากสมการที่ 3.2 เป็นฟังก์ชันหน้าต่างแบบเกาส์เซียน และสมการที่ 3.3 เป็นสมการของการแปลงกาเบอร์ จะเห็นได้ว่าการแปลงแบบนี้ จะสามารถเลือกตำแหน่งการวิเคราะห์สัญญาณ โดยกำหนดพารามิเตอร์ b และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a แต่เนื่องจากการแปลงกาเบอร์ใช้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเดียว จึงไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาต่อมาเป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง (Short Time Fourier Transform: STFT) ซึ่งจะสามารถเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่จะวิเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น

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

สมการที่ 3.4 เป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์จะกำหนดโดยค่า b และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์จะกำหนดด้วยความถี่ของฟังก์ชันหน้าต่างนั้นๆ จะสังเกตได้ว่า ทั้งการแปลงแบบกาเบอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง จะมีลักษณะของช่วงการวิเคราะห์ที่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แสดงช่วงเวลาและความถี่ที่คงที่ (Fixed resolution transform) ทั้งนี้ฟังก์ชันหน้าต่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติขณะทำงาน ซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีช่วงเวลาที่แคบ ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงคาบเวลาที่กว้างกว่า ดังนั้นการแปลงกาเบอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้งอาจจะให้ข้อมูลที่ได้ออกมาจากการแปลงออกมามากเกินไป ดังนั้นช่วงเวลาควรมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับช่วงความถี่ที่จะทำการวิเคราะห์ นั่นคือในช่วงความถี่ที่สูงขึ้นจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง และในช่วงความถี่ที่ต่ำลงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่มากขึ้น [26]

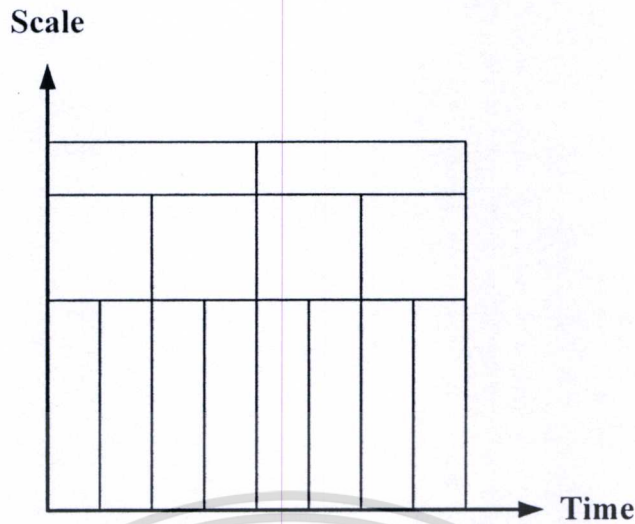


รูปที่ 3.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการพัฒนาการแปลงในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform) ซึ่งจะเป็นการแปลงผ่านฟังก์ชันหน้าต่างโดยฟังก์ชันหน้าต่างสามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างแบบนี้ว่า ฟังก์ชันเวฟเล็ต (Wavelet function)

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

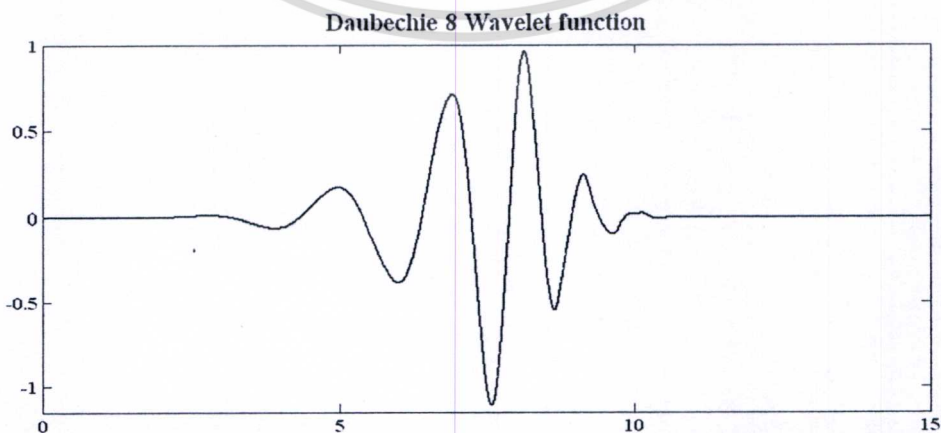
$\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ซึ่งจะถูกลดสเกลและเลื่อนตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 3.2 จะพบว่าระยะเวลาและสเกลจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาและสเกลที่สัมพันธ์กัน โดยที่สเกลจะมีความสัมพันธ์ผกผันกับความถี่ ถ้าความถี่สูงก็คือช่วงที่สเกลมีค่าต่ำๆ ในช่วงที่สเกลต่ำจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์เพียงสั้นๆ แต่ในช่วงสเกลสูงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่นานกว่า [27] ซึ่งจะเหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณในทางปฏิบัติ



รูปที่ 3.2 ระยะเวลาและสเกลสำหรับการแปลงเวฟเลต

3.2 หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเลต

ทฤษฎีเวฟเลตเป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการอธิบายลักษณะของสิ่งต่างๆ หรือระบบใดๆ เหมือนการแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นองค์ประกอบเล็กๆ ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ จะสามารถสร้างขึ้นมาได้ โดยมีคลื่นเวฟเลตฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) เป็นเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเลตแม่ (Mother wavelets) [28] คลื่นเวฟเลตแต่ละอันจะอยู่ภายในเซตของเวฟเลตแม่ คลื่นเวฟเลตแต่ละคลื่นจะเกิดจากการสเกล (Scaling) คือการหดเข้า หรือเกิดจากการขยายออก (Dilation) และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting) ของเวฟเลตแม่ โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ กัน คุณอยู่กับสัมประสิทธิ์เวฟเลตแต่ละตัว ลักษณะของเวฟเลตแม่จะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นเวฟเลตชนิดหนึ่งที่เรียกว่า คาบีชี 8 (Daubechie 8)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.3 ลักษณะของเวฟเลตคาบีชี 8 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทั่วไปของฟังก์ชันเวฟเล็ดที่ตำแหน่ง a และ b ใดๆ ที่สัมพันธ์กัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

$\Psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ที่ถูกสเกลและถูกเลื่อนตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กัน และเพื่อให้เวฟเล็ดที่ถูกสเกลไปแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ดแม่จึงต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ด้วยค่า $\frac{1}{\sqrt{a}}$ เสมอ

3.3 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด [29] [35] [36]

การอธิบายทฤษฎีเวฟเล็ด สามารถอธิบายได้โดยใช้การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis: MRA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สัญญาณจากคุณสมบัติการซ้อนทับกันของปริภูมิย่อยแสดงดังสมการที่ 3.7

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

พิจารณา a, b เป็นจำนวนจริงใดๆ และ i, j เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector) ในปริภูมิเวกเตอร์ (Vector space: V) ดังนั้นถ้า $ai + bj \in V$ แล้วจะได้ว่า เวกเตอร์ใดๆ ที่ประกอบขึ้นจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตัวเดียวหรือหลายตัว แล้วเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ V นี้ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยดังกล่าวจะเรียกว่า เวกเตอร์พื้นฐาน (Basis vector) ถ้าเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์เป็นออร์โธกอนอลซึ่งกันและกันแล้วผลคูณภายในจะมีค่าเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ 3.8

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

ในทำนองเดียวกัน จะพิจารณาเวกเตอร์เป็นฟังก์ชัน โดยจะเรียกเวกเตอร์พื้นฐานนี้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) โดยถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์มีผลคูณภายใน (Inner product) มีค่าเป็นศูนย์ จะได้ว่าฟังก์ชันพื้นฐานดังกล่าวจะมีคุณสมบัติออร์โธกอนอล (Orthogonal) คือตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังสมการที่ 3.9

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ } \int_a^b f(t) \cdot g^*(t) dt = 0 \quad (3.9)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ทำผลคูณภายในตัวเองแล้วมีค่าเป็นหนึ่ง ฟังก์ชันพื้นฐานทั้งสองที่มีคุณสมบัติดังกล่าวก็จะเรียกว่า ออร์โธโนมอล (Orthonormal)

ถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจกล่าวได้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐานเป็นสัญญาณพื้นฐานเล็กๆ ที่สามารถนำมาประกอบกันเป็นปริภูมิของสัญญาณใดๆ ดังนั้นถ้าให้ U_i เป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่ออร์โธโนมอล (Orthonormal basis function) ใดๆ และ C_i เป็นสัมประสิทธิ์ของ U_i จะได้ว่าสัญญาณ v ใดๆ นั้นจะสามารถประกอบขึ้นจากฟังก์ชันพื้นฐานที่ออร์โธโนมอลที่มีค่าขนาดต่างๆ มารวมกันดังสมการ

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

สมมติให้ V_j เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้น ถ้า j มีค่าสูงขึ้นก็แสดงว่าที่ระดับความละเอียดสูงขึ้นจะมีจำนวนฟังก์ชันพื้นฐานมากขึ้น ทำให้สัญญาณที่เกิดจากการประกอบกันจากฟังก์ชันพื้นฐานมีความละเอียดมากขึ้นด้วย จากลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆ ได้สรุปลักษณะคุณสมบัติดังนี้

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

จากลักษณะคุณสมบัติทั้ง 5 ข้อ ถ้ากำหนดให้ $f(t) \in S$ เมื่อ S เป็นปริมาณเวกเตอร์ของสัญญาณ เมื่อพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติข้อที่ 2 จะได้ว่าสัญญาณ $f(t)$ สามารถประมาณให้อยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด j ใดๆ ได้โดยถ้าระดับความละเอียดเพิ่มขึ้นถึงอนันต์ สัญญาณที่ประมาณนั้นยังคงเข้าสู่สัญญาณต้นกำเนิดนั่นคือ $f(t) \in L^2(R)$ และในทางตรงกันข้าม ถ้าระดับความละเอียดที่ระดับ j ลดน้อยลงเรื่อยๆ จะทำให้สัญญาณที่ประมาณมีข้อมูลสูญหายไปมากขึ้นตามลักษณะคุณสมบัติข้อที่ 3

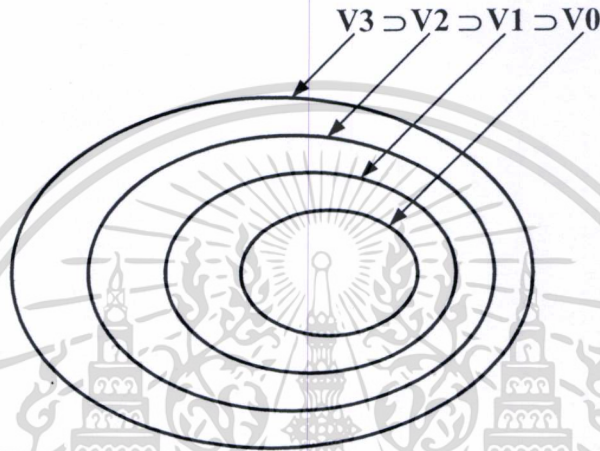
3.3.1 ฟังก์ชันสเกลลิง (Scaling function)

พิจารณาปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด j จะมีฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบกันเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ สัญญาณการประมาณของ $f(t)$ เมื่อ $f(t) \in V_j$ ซึ่งเรียกฟังก์ชันพื้นฐานเหล่านี้ว่า ฟังก์ชันสเกลลิง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นฟังก์ชันพื้นฐานย่อยๆ ที่เกิดที่เวลาต่างๆ กันภายใน V_j เดียวกัน ฟังก์ชันสเกลลิงที่ระดับปริภูมิ (ระดับความละเอียดสูง) จะมีความถี่สูงและที่ระดับต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า

เนื่องจากความถี่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของปริภูมิ j นั้นๆ โดยอาศัยลักษณะคุณสมบัติข้อที่ 5 จะได้ว่า

$$f(x) \in V_0 \Leftrightarrow F(2x) \in V_1 ; j \in Z \quad (3.11)$$



รูปที่ 3.4 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง

การซ้อนทับกันของปริภูมีย่อย V_j ในสมการที่ 3.7 และ 3.11 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงของแต่ละปริภูมิดังรูปที่ 3.4 นั่นคือที่ระดับ V_1 มีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ที่ระดับ V_0 ลักษณะดังกล่าวก็คือการสเกลทางเวลาของฟังก์ชันสเกลลิง ดังนั้นเซตของฟังก์ชันสเกลลิงที่เกิดจากการทำสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันสเกลลิงพื้นฐาน ที่ระดับ j และ $j+1$ ใดๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริภูมิย่อยที่มี $j > 0$ จะมีรูปร่างของฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi_{j,k}(t)$ ที่มีลักษณะแคบและช่วงการเลื่อน k จะเป็นช่วงสั้นๆ แต่สำหรับปริภูมิย่อยที่มี $j < 0$ จะมีรูปร่างของฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi_{j,k}(t)$ ที่มีลักษณะกว้างและช่วงการเลื่อน k จะเป็นช่วงยาว ดังนั้นฟังก์ชัน $f(t)$ ในปริภูมิย่อยที่มี $j < 0$ จะมีลักษณะข้อมูลที่หายาก และฟังก์ชัน $f(t)$ ในปริภูมิย่อยที่มี $j > 0$ จะมีลักษณะข้อมูลที่มีรายละเอียดมากกว่า

3.3.2 ฟังก์ชันเวฟเลต (Wavelet function)

ฟังก์ชันเวฟเลต $\psi_{j,k}(t)$ คือเซตของฟังก์ชันมูลฐานที่แผ่ทั่วถึงปริภูมิย่อยที่เกิดจากผลต่างระหว่างปริภูมิย่อย V_{j+1} กับ V_j ได้จากสมการที่ 3.7 จากนิยามที่กำหนดให้เซตฟังก์ชันเวฟเลตแผ่ไปทั่วถึงปริภูมิย่อย W_0 ดังนั้น

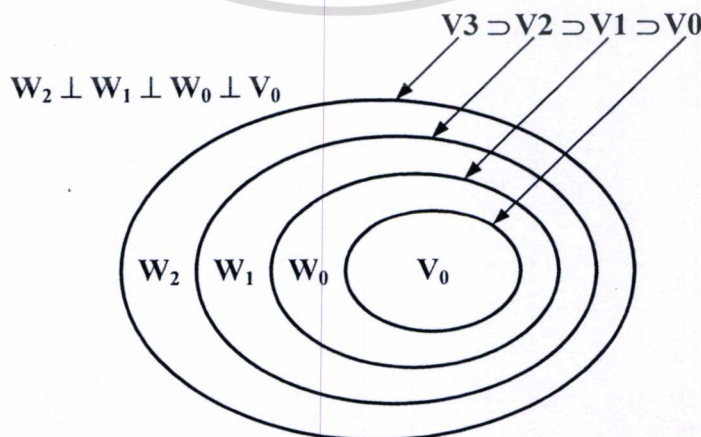
$$V_1 = V_0 \oplus W_0 \quad (3.15)$$

$$V_2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \quad (3.16)$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$L^2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \quad (3.17)$$

เมื่อ V_0 เป็นปริภูมิเริ่มต้นที่แผ่ขยายออกไปโดยฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi_{j,k}(t)$ จากรูปที่ 3.5 แสดงฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเลตในปริภูมิต่างกัน เครื่องหมาย \oplus เป็นการรวมกันทางเชิงเส้นที่ตั้งฉากกัน



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

$$L^2 = V_{10} \oplus W_{10} \oplus W_{11} \oplus \dots \quad (3.18)$$

และถ้า $j = -\infty$ จากสมการที่ 3.17 จะกลายเป็น

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

ผลของสมการที่ 3.19 สามารถขยายไปที่ระดับความละเอียด $j+1$ หรือปริภูมิเวฟเล็ดจะแผ่ทั่วถึงโดยปริภูมิสเกลลิงที่ระดับความละเอียดสูงกว่า $V_{j+1} = V_j + W_j$ ดังนั้นทุกฟังก์ชันเวฟเล็ดในปริภูมิ W_j สามารถเขียนเป็นผลรวมเชิงเส้นของฟังก์ชันสเกลลิงใน V_{j+1} ได้เป็น

$$\psi(t) \sum_n h_j(n) \sqrt{2} \varphi(2t-n) \quad ; n \in \mathbb{Z} \quad (3.20)$$

โดยที่ $h_j(n)$ คือสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ด และ $\psi(t)$ คือเวฟเล็ดต้นแบบ หรือเวฟเล็ดแม่ จากสมการที่ 3.20 ฟังก์ชันการกระจายเวฟเล็ดอยู่ในรูปดังต่อไปนี้

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

เมื่อ 2^j คือการยืดหดของตัวแปร t และ k คือการเลื่อนของตัวแปร t และ $\psi_{j,k}(t)$ คือฟังก์ชันเวฟเล็ดที่ระดับความละเอียด j เมื่อได้เซตของฟังก์ชันที่แผ่ทั่วปริภูมิ $L^2(\mathbb{R})$ แล้ว ดังนั้นฟังก์ชัน $g(t)$ ที่อยู่ใน $L^2(\mathbb{R})$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

เทอมแรกของสมการที่ 3.22 แสดงส่วนประมาณของฟังก์ชัน $g(t)$ ส่วนเทอมที่สองจะแสดงรายละเอียดของฟังก์ชันซึ่งเมื่อรวมกับส่วนประมาณจะทำให้ได้ส่วนประมาณที่ระดับความละเอียดสูงขึ้น ในกรณีเป็นเวฟเล็ดออร์โธกอนอล ค่าสัมประสิทธิ์ $c(k)$ และ $d(j,k)$ คำนวณจากผลคูณภายในดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$c(k) = c_0(k) = \langle g(t), \varphi_k(t) \rangle = \int g(t) \varphi_k(t) dt \quad (3.23)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

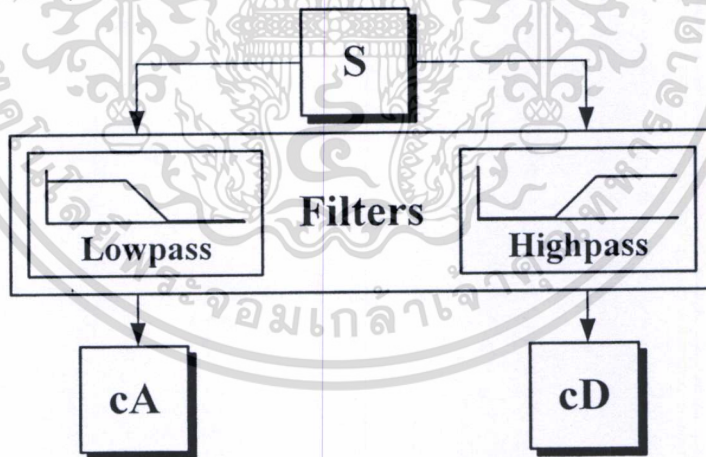
และ

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

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

3.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง

กระบวนการแปลงเวฟเล็ตจะมีลักษณะคล้ายกับกระบวนการออกเทฟิเตอร์แบงก์ (Octave filter banks) เนื่องจากการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window function) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละสองเท่า ซึ่งเปรียบเสมือนการนำสัญญาณอินพุตผ่านวงจรกรองความถี่ที่มีแบนวิธที่มีอัตราครึ่งละสองเท่าเหมือนกับแบนวิธของฟังก์ชันหน้าต่างในขณะนั้นนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาหลักการของฟิลเตอร์แบงก์มาใช้ในการแปลงเวฟเล็ตในทางปฏิบัติได้ดังรูปที่ 3.6



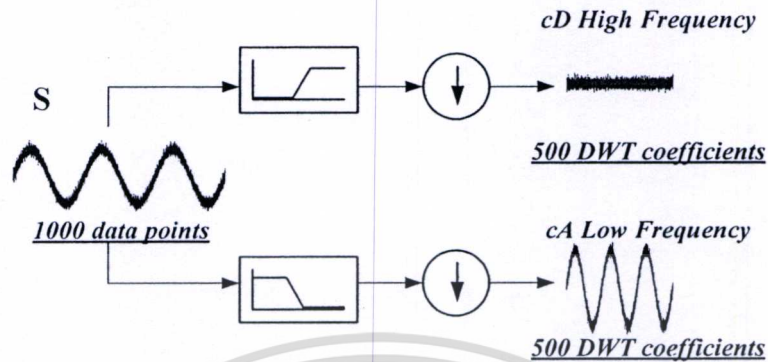
รูปที่ 3.6 ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

3.4.1 การแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two channel filter banks) เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งออกเป็นส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณจึงประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) และวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์

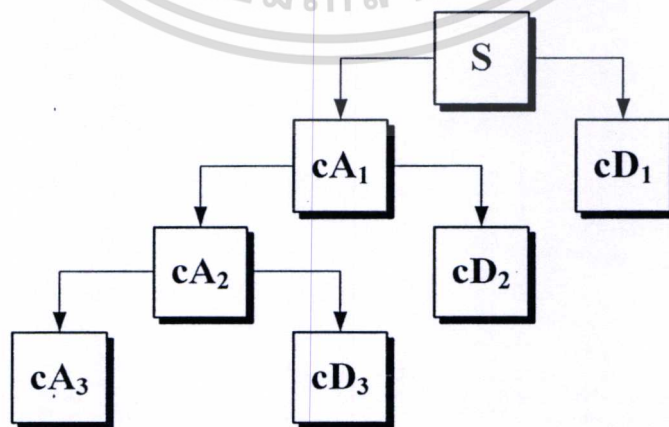
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two-channel analysis filter banks) โดยนำสัญญาณ S ผ่านการแยกองค์ประกอบสัญญาณ (Decomposition) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และความถี่สูง



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของการวิเคราะห์แบบออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์จะเป็นโครงสร้างแบบทรี (Tree structure) ซึ่งเป็นการเอาฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณมาเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาท์พุท (cA) ในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมาทำการแยกแยะความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการแยกองค์ประกอบสามารถทำซ้ำต่อไปเรื่อยๆ ได้ด้วยการนำ Successive approximations มาทำการแยกองค์ประกอบอีกครั้ง ดังนั้นสัญญาณหลายๆ สามารถแตกออกไปได้อีก ซึ่งจะได้ส่วนประกอบที่มีรายละเอียดที่ต่ำกว่า การทำแบบนี้เรียกว่า การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiresolution decomposition) ดังรูปที่ 3.8 ลักษณะของกระบวนการการวิเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์แบงก์จะเรียกว่า การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform: DWT)

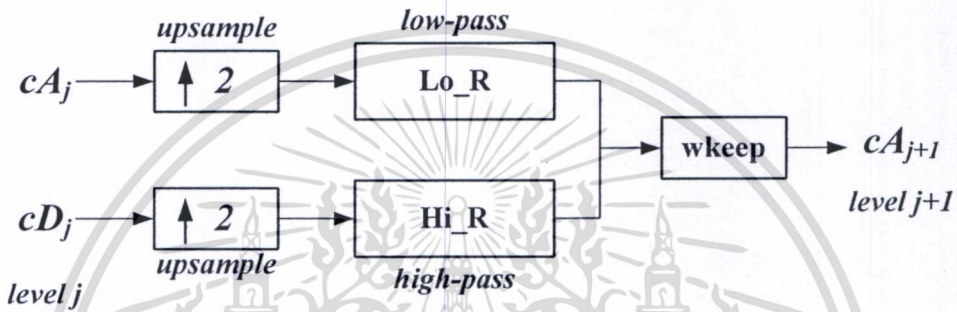


รูปที่ 3.8 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiresolution decomposition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องนั้นเป็นการกระจายสัญญาณลงในปริภูมิของ V_j และ W_j ซึ่งทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลง ดังนั้นในการรวมสัญญาณในปริภูมิ V_j และ W_j กลับไปเป็นปริภูมิ V_{j+1} ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ $g(t)$ จากระดับ j ไปเป็นระดับ $j+1$ วิธีดังกล่าวนี้จะเหมือนกับ กระบวนการสังเคราะห์การสร้างกลับฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการหาค่าของ $c_{j+1}(n)$ จากค่า $cA_j(n)$ และ $cD_j(n)$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.9



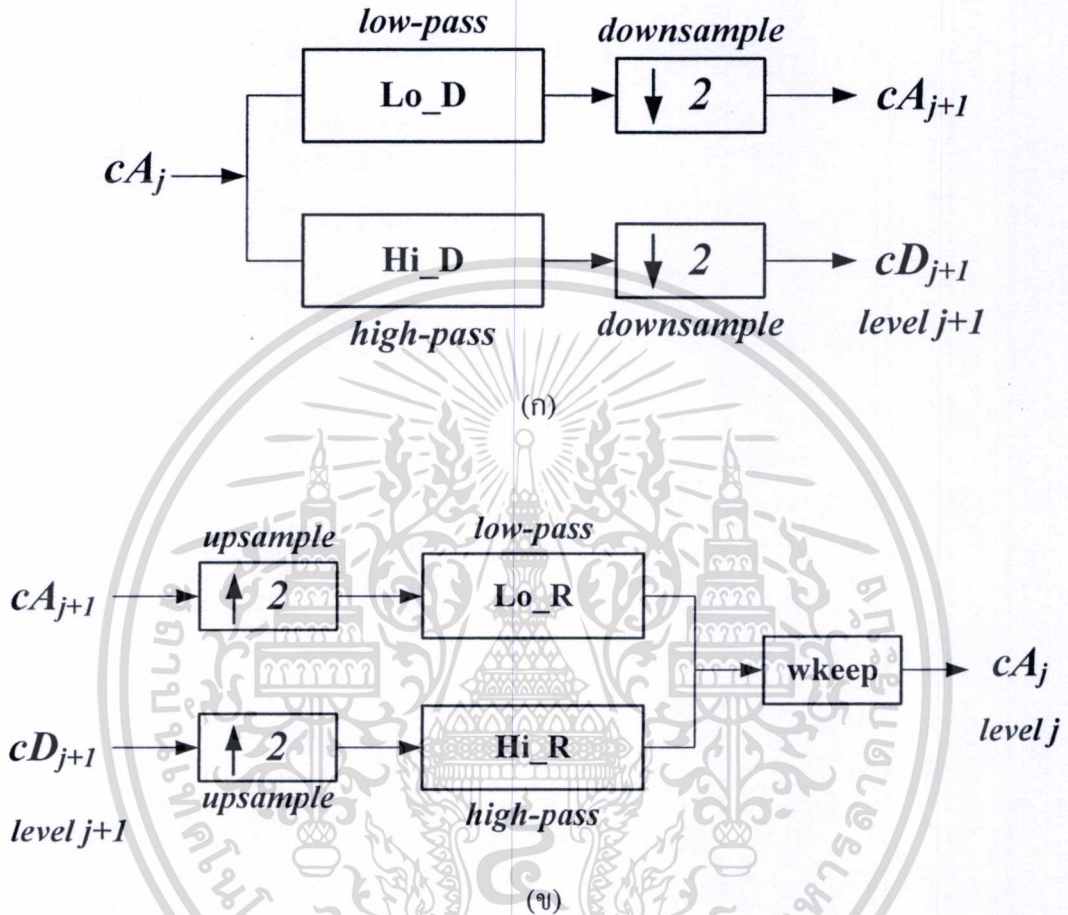
รูปที่ 3.9 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของฟิลเตอร์แบงก์ที่มีโครงสร้างแบบทรี เมื่อทำการรวมสัมประสิทธิ์ $c_j(k)$ และ $d_j(k)$ กลับมาเป็น $c_{j+1}(n)$ อีกครั้ง กระบวนการนี้เรียกว่า การแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse Wavelet Transform) จากกระบวนการแปลงเวฟเล็ตและการแปลงกลับเวฟเล็ตจะสังเกตได้ว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการแปลงกลับจะมีค่าประมาณเท่ากับสัญญาณอินพุตของการแปลงเวฟเล็ต โดยที่รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) จะเป็นลักษณะการสร้างกลับอย่างสมบูรณ์ของฟิลเตอร์แบงก์ (Perfectly reconstruction filter banks) จากที่กล่าวมานี้จะใช้เฉพาะในกรณีของออร์โธนอร์มอลเวฟเล็ต หรือออร์โธนอร์มอลฟิลเตอร์แบงก์เท่านั้น กระบวนการสังเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์แบงก์จะเรียกว่า การแปลงกลับเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Inverse Discrete Wavelet Transform: IDWT)

3.5 การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลสัญญาณเสียง

การนำเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลสัญญาณเสียง ซึ่งเก็บค่าของแต่ละแอมปริจูดของสัญญาณเสียงในรูปของเมตริกซ์ สามารถทำการแปลงได้ดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 (ก) สามารถอธิบายได้ว่าการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเสียง จะเป็นการแปลงในแนวแกนอน ตามจำนวนตัวอย่าง (Sample) ของสัญญาณเสียง ทำให้สัญญาณเสียงถูกแบ่งออกเป็น 2 สับแบนด์ ซึ่งเป็นการแปลงเวฟเล็ตระดับเดียว (Single level)



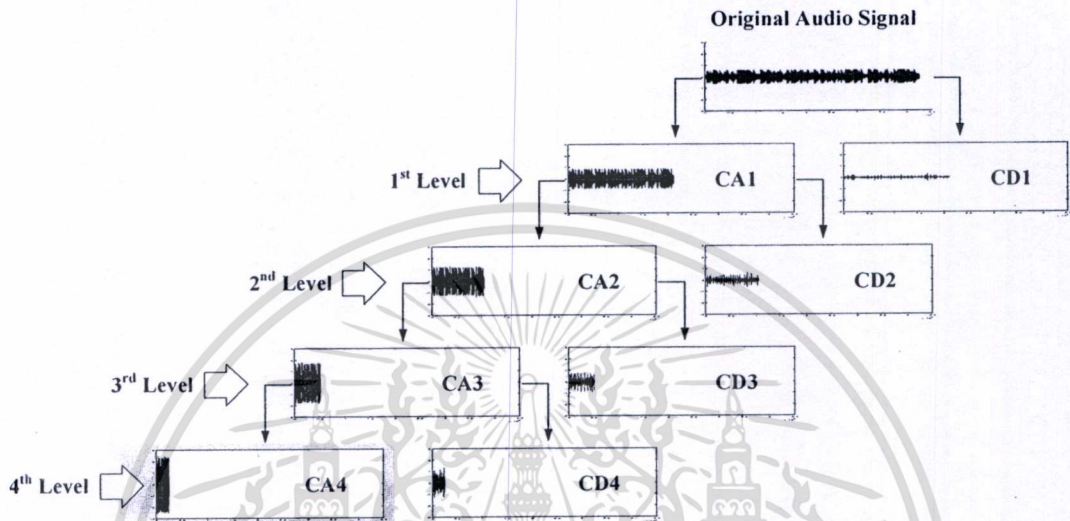
รูปที่ 3.10 การแปลงเวฟเล็ตของข้อมูลสัญญาณเสียงโดยใช้หลักการของฟิลเตอร์เบงค์
(ก) การแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ต (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเล็ต

สับแบนด์แรก (Sb1) เป็นส่วนของสัญญาณเสียงที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งจะแทนด้วย cA และสับแบนด์ที่สอง (Sb2) เป็นส่วนของสัญญาณเสียงที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่าน ซึ่งจะแทนด้วย cD

การสร้างสัญญาณเสียงกลับขึ้นมาใหม่จากสับแบนด์ย่อย แสดงดังรูปที่ 3.10 (ข) โดยนำสับแบนด์ย่อยทั้งสองสับแบนด์มาเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็นสองเท่า หลังจากเพิ่มจำนวนข้อมูลแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะถูกกรองไปตามแนวแกนอนและบวกเข้าด้วยกัน ก็จะได้ผลลัพธ์ที่สร้างกลับขึ้นมาใหม่

ผลจากการแปลงเวฟเล็ต ข้อมูลในสับแบนด์ที่ 1 จะเป็นข้อมูลที่เป็นสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำ และแสดงรายละเอียดของสัญญาณเสียงในสับแบนด์ที่ 2 และถ้านำเอาแบนด์ที่ 1 ไปผ่านการแปลง

เวฟเล็ตต่อไปอีกก็จะทำให้สามารถแยกสัญญาณเสียงได้ออกเป็นหลายสับแบนด์เพิ่มมากขึ้น เรียกว่า การแปลงเวฟเล็ตแบบหลายระดับ (Multilevel Wavelet Transform) รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการแยกองค์ประกอบของสัญญาณเสียงซึ่งเป็นเพลงความยาว 10 วินาที โดยการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ ซึ่งใช้ฟิลเตอร์ Daubechies 2

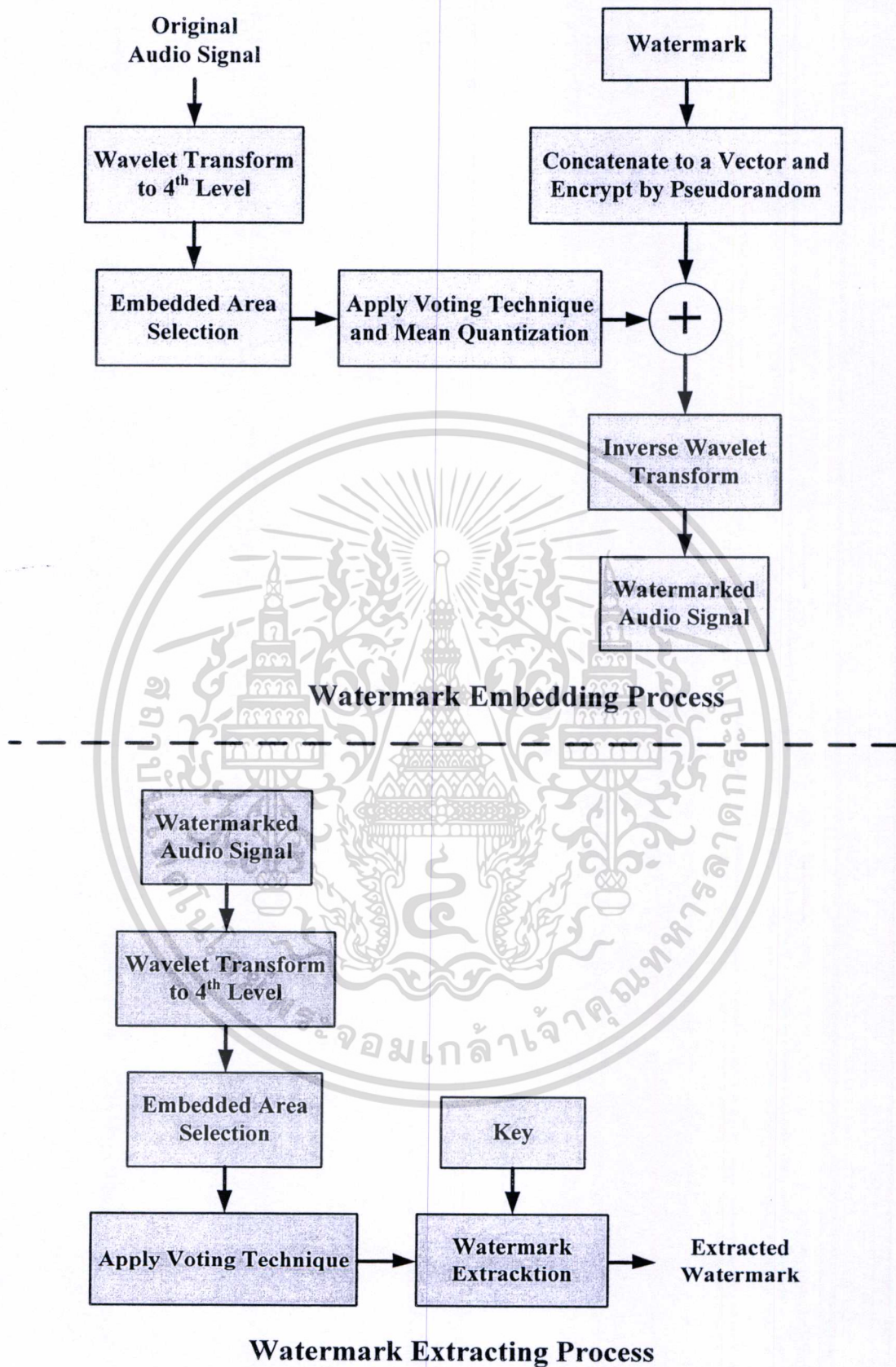


รูปที่ 3.11 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเสียง 4 ระดับ

การฝังลายน้ำบนสัญญาณเสียงด้วยวิธีการพิจารณา ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำลงบนสัญญาณเสียงในโดเมนเวฟเล็ต ซึ่งกระบวนการฝังจะใช้การควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ตามแนวคิดในวิธีการของ Vivekananda Bhat K [20] และ W. Lanxun [24] แต่ได้มีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนส่วนที่เป็นขั้นตอนวิธีหลักโดยใช้เทคนิคการโหวต (Voting technique) [30] [31] เข้ามาแทน เพื่อให้มีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีหลังผ่านการฝังลายน้ำ โดยไม่สามารถที่จะสังเกตความแตกต่างระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับและสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำได้ ซึ่งวิธีการนี้พิสูจน์ให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของความคงทนของลายน้ำหลังผ่านการประมวลผลโดยกระบวนการต่างๆ เช่น ความคงทนต่อสัญญาณรบกวน การกรองผ่านความถี่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสุ่มสัญญาณ (Resampling) การเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียดของสัญญาณ (Requantization) และการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 โดยวิธีการฝังจะเกี่ยวเนื่องกับความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของเสียง กับความคงทนของลายน้ำ กล่าวคือ หากสัญญาณเสียงผ่านการฝังลายน้ำโดยที่ความเข้มของการฝังมีความเข้มสูงก็จะทำให้มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณสูง แต่ก็จะสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนโดยการรับฟัง ในทางกลับกันหากสัญญาณเสียงผ่านการฝังลายน้ำโดยมีความเข้มต่ำๆ ก็จะทำให้มีความคงทนต่อการประมวลผลต่ำ แต่ก็จะทำให้ไม่สามารถที่จะสังเกตได้จากการรับฟัง ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการฝังลายน้ำซึ่งใช้การปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการฝังลายน้ำ ซึ่งทำให้ได้สัญญาณเสียงหลังผ่านการฝังลายน้ำที่มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณและไม่สามารถที่จะสังเกตได้ ควบคู่กันไปมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และในบทนี้จะนำเสนอกระบวนการที่ใช้ฝังลายน้ำตามที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา โดยในลำดับแรกของวิธีการจะเป็นการจัดเตรียมลายน้ำเบื้องต้นก่อนที่จะใช้ฝังลงในสัญญาณเสียงต้นฉบับ ถัดไปจะเป็นวิธีการฝังลายน้ำ และสุดท้ายจะเป็นวิธีการถอดลายน้ำและการสลับข้อมูลลายน้ำกลับคืนเพื่อให้ได้รูปภาพลายน้ำที่สมบูรณ์ ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะแสดงตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่

4.1

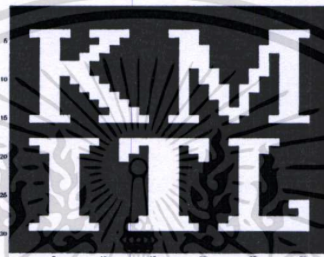


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการนำเสนอระบบการทำภาพลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ข้อมูลลายน้ำ

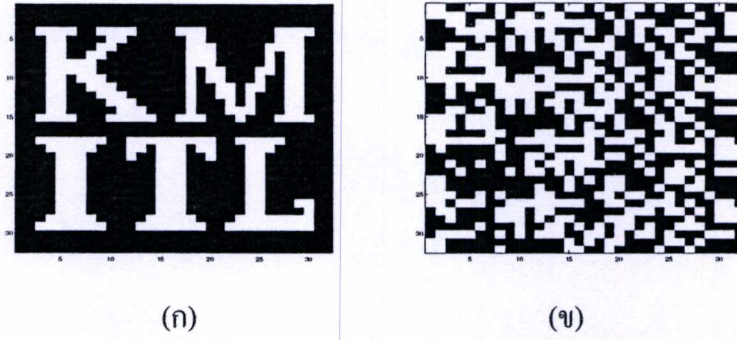
ภาพลายน้ำที่ใช้ฝังลงบนสัญญาณเสียงต้นฉบับจะใช้ภาพขาวดำขนาด 32×32 จุดภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งการใช้ภาพขาวดำจะทำให้ได้ข้อมูลภาพลายน้ำแบบไบนารี แต่หากจะใช้ภาพสีเทาหรือภาพสี ก็จะต้องทำการแปลงข้อมูลในแต่ละจุดภาพให้อยู่ในรูปของข้อมูลไบนารี ก่อนทำการฝัง ทำให้ข้อมูลมีขนาดใหญ่และใช้พื้นที่ของการฝังในสัญญาณเสียงมากขึ้น และใช้เวลาในการประมวลผลที่นานขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ขนาดของภาพที่ใช้ก็มีผลโดยตรงต่อพื้นที่ของการฝัง หากภาพมีขนาดใหญ่ จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.2 รูปภาพลายน้ำต้นฉบับ KMITL.bmp

ในกรณีที่ต้องการที่จะระบุตัวบุคคล อาจใช้ภาพลายน้ำที่เป็นลักษณะของบาร์โค้ดเพื่อให้จำเพาะมากยิ่งขึ้น หากภาพลายน้ำที่ใช้สามารถระบุถึงตัวบุคคลได้อย่างชัดเจน จะส่งผลให้หลังจากที่ได้ทำการฝังลายน้ำลงบนสัญญาณเสียงต้นฉบับ และได้มอบให้แก่ผู้ได้รับอนุญาต ในลักษณะหนึ่งบุคคลต่อหนึ่งรูปแบบลายน้ำ จากนั้นต่อมาภายหลังพบว่ามีการทำซ้ำหรือแจกจ่ายต่อไปโดยไม่ได้รับอนุญาต ลายน้ำที่ติดไปด้วยนั้นหลังทำการกู้คืนหรือถอดออกมา ก็สามารถที่จะสืบค้น ไปถึงแหล่งที่มาได้

ภาพลายน้ำที่ใช้ จะถูกสลับที่ข้อมูลด้วยการสุ่มภาพข้อมูลลายน้ำก่อนการฝังเข้าไปในสัญญาณเสียงต้นฉบับ เพื่อเป็นการป้องกันการเข้าถึงข้อมูลลายน้ำ จากการเข้าถึงข้อมูลที่ไม่ได้รับอนุญาตโดยผู้ไม่มีสิทธิ ซึ่งวิธีการเรียงสับเปลี่ยนรูปลายน้ำจะเหมือนกับวิธีการที่นำเสนอใน [32] โดยวิธีการจะเป็นการพิจารณาตัวเลขสุ่มเทียม [ภาคผนวก ก.] ในการสลับเปลี่ยนรูปข้อมูลลายน้ำ ซึ่งได้อธิบายวิธีการไว้ในภาคผนวก ซึ่งรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพลายน้ำต้นฉบับและภาพลายน้ำที่ผ่านกระบวนการสุ่มเทียมแล้ว

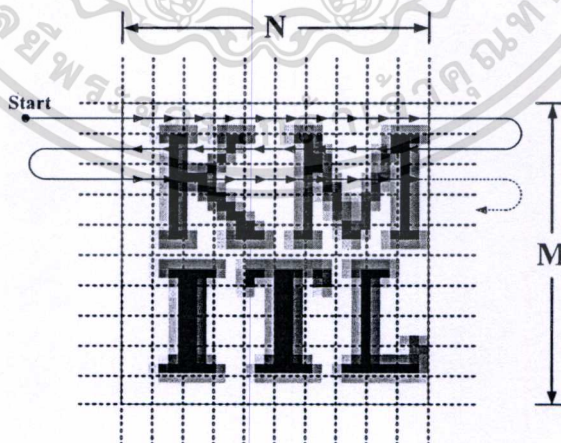


รูปที่ 4.3 (ก) รูปภาพลายน้ำต้นฉบับ (ข) รูปภาพลายน้ำที่ผ่านกระบวนการสุ่มเทียม

จากนั้นภาพลายน้ำที่ถูกสลับที่ข้อมูลด้วยการสุ่มเทียมแล้ว จะถูกจัดเรียงลำดับของข้อมูลภาพใหม่ตามรูปแบบในรูปที่ 4.4 ซึ่งภาพที่ผ่านการจัดเรียงใหม่จะอยู่ในรูปของเมตริกซ์แถว เนื่องจากในขั้นตอนของการฝังจะพิจารณามิติของสัญญาณเสียงในแกน x ดังนั้นหากมีการจัดเรียงภาพใหม่ให้มีความสอดคล้องกับมิติของสัญญาณเสียง ก็จะช่วยให้ขั้นตอนของการฝังง่ายขึ้น โดยกำหนดให้ $w(i, j)$ และ $w'(k)$ เป็นรูปลายน้ำที่ผ่านการสุ่มเทียมแล้วและรูปลายน้ำที่ถูกจัดเรียงใหม่ตามลำดับ ดังนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ 4.1

$$w'(k) = w(i, j) \mid 0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N, k = i \times M + j \quad (4.1)$$

โดยที่ M และ N เป็นความสูงและความกว้างของรูปลายน้ำที่ผ่านการสุ่มเทียมแล้วตามลำดับ

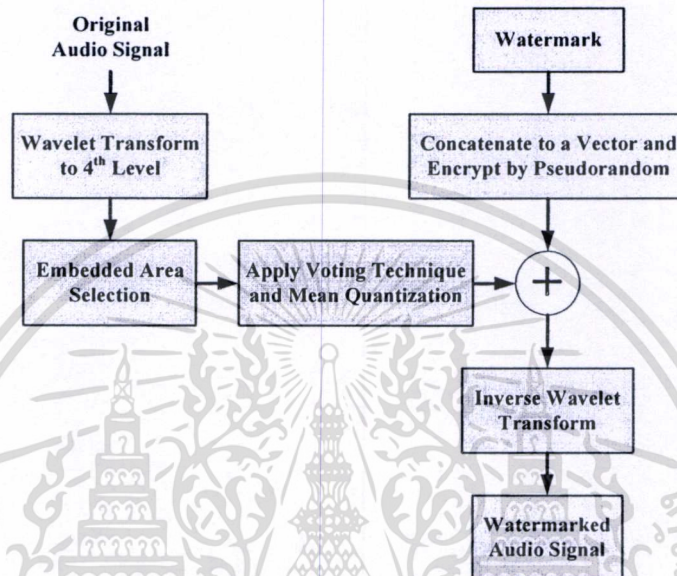


รูปที่ 4.4 การเรียงลำดับของข้อมูลภาพ (*ภาพที่ใช้จริงต้องเป็นภาพที่ผ่านการสุ่มเทียมแล้ว)

ตลอดทั้งเนื้อหาในบทนี้ส่วนที่ถัดจากนี้ไป การกล่าวถึงรูปลายน้ำจะหมายถึง รูปที่ผ่านเอกสารกระบวนการสุ่มเทียมและการจัดเรียงลำดับของข้อมูลภาพใหม่แล้ว ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

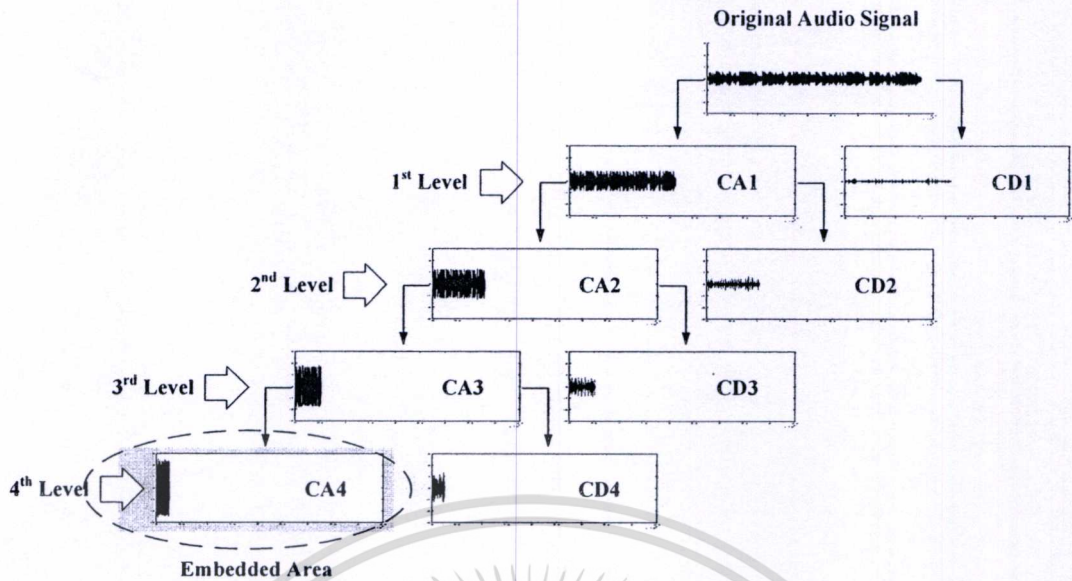
4.2 วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัล

การฝังลายน้ำดิจิทัลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการโหวต (Voting technique) และการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต โดยมีขั้นตอนต่างๆ เป็นไปตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมของการฝังลายน้ำดิจิทัล

วิธีการฝังจะเริ่มด้วยการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเสียงทั้งหมด 4 ระดับ โดยใช้เวฟเล็ตแบบ Daubechies2 ตามวิธีการที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หลังจากทำการแปลงเวฟเล็ตสัญญาณเสียงแล้ว จะได้ลักษณะของสัญญาณเป็นดังรูปที่ 4.6 โดยสัญญาณที่ได้ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของความถี่ต่ำ (Average Coefficients) ออกมา 1 ระดับคือ $CA4$ และสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของความถี่สูง (Detail Coefficients) อีก 4 ระดับ คือ $CD4$, $CD3$, $CD2$, และ $CD1$ ตามลำดับ จากนั้นจะเลือกสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของความถี่ต่ำ $CA4$ สำหรับทำการฝังลายน้ำ



รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณหลังผ่านการแปลงเวฟเลตที่ระดับต่างๆ

ขั้นตอนต่อไปจะทำการแบ่งสัมประสิทธิ์เวฟเลต $CA4$ ที่เลือกไว้ออกเป็นวินโดว์ ดังรูปที่ 4.7 โดยมีจำนวนสมาชิกในแต่ละวินโดว์ เท่าๆ กัน และไม่มีการเหลื่อมกันของวินโดว์ จำนวนของวินโดว์ทั้งหมดที่แบ่งได้ N_w จะต้องมีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับสามเท่าของขนาดของจุดภาพ จากนั้นจะทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ $\bar{C}_i(n)$ ในแต่ละวินโดว์ โดยใช้สมการที่ 4.2

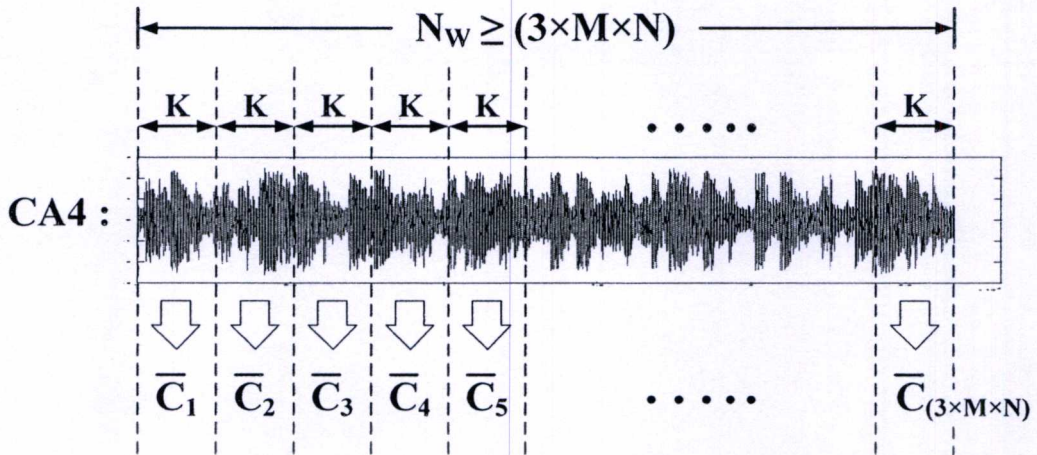
$$\bar{C}_i(n) = \frac{1}{K} \sum_{m=1}^K c(m) ; i = 1, 2, \dots, (3 \times M \times N) \quad (4.2)$$

โดยที่ $c(m)$ แทน สัมประสิทธิ์เวฟเลตในแต่ละวินโดว์

K แทน ความกว้างของวินโดว์ หรือจำนวนสัมประสิทธิ์เวฟเลตในแต่ละวินโดว์

M และ N เป็นความสูงและความกว้างของภาพลายน้ำต้นฉบับตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ของแต่ละวินโดว์ที่คำนวณได้จะถูกนำไปเพิ่มค่านัยสำคัญของตัวเลข โดยการคูณด้วย 1, 10, 100, หรือ 1000 ซึ่งการคูณด้วยค่าเหล่านี้ค่าใดค่าหนึ่งจะเทียบได้เท่ากับการเลื่อนตำแหน่งของจุดทศนิยมนั่นเอง และวิธีนี้ก็จะเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับปรับเปลี่ยนค่าความเข้มของการฝังลายน้ำลงไปสัญญาณเสียง โดยจากการทดลองพบว่าค่า 10 นั้นจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

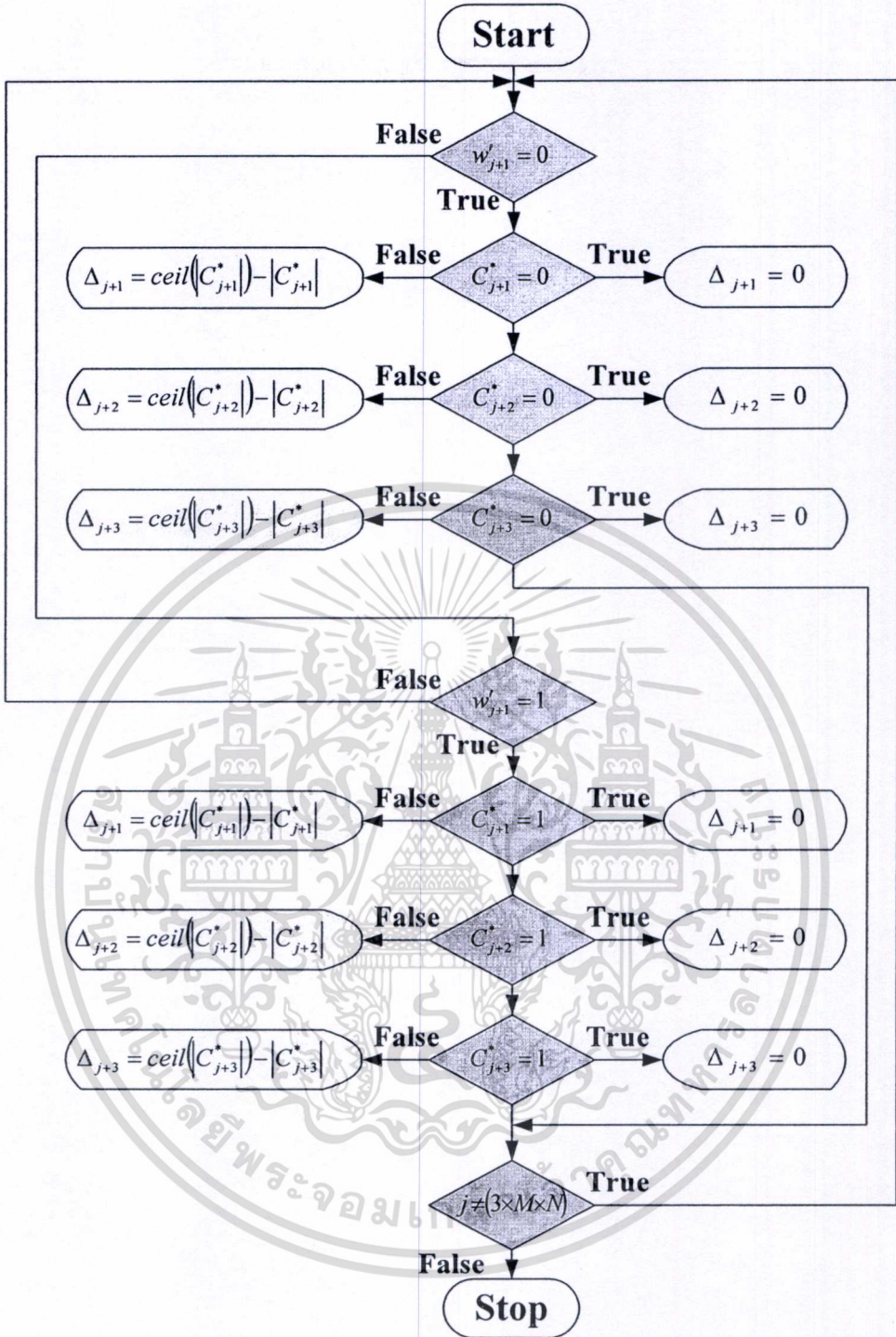


รูปที่ 4.7 การแบ่งการคำนวณค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ด CA4

จากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ยที่ผ่านการเพิ่มค่านัยสำคัญแล้ว โดยใช้สมการที่ 4.3

$$C_i^* = \lfloor \text{floor}(\bar{C}_i(n)) \rfloor \% 2, \quad i = 1, 2, \dots, (3 \times M \times N) \quad (4.3)$$

โดยที่ C_i^* แทน ค่าเฉลี่ยที่ผ่านการคำนวณใหม่ และ $\text{floor}(\ast)$ จะแทนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการปัดค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าในวงเล็บนั้น และ $\%$ แทน เครื่องหมายหารแบบเอาเศษ ถัดมาค่าเฉลี่ยที่ถูกคำนวณใหม่นี้จะถูกจัดเป็นกลุ่มๆ ละ 3 ค่า เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการพิจารณาฝั่งลายน้ำ โดยการใช้นิพจน์การไหล ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 จากรูปอธิบายได้ว่า สมมติให้ลายน้ำบิตแรกมีค่าเป็น “0” จากนั้นจะตรวจสอบว่าค่า C_i^* ทั้ง 3 ค่าในกลุ่มมีค่าเป็น “0” หรือ เป็น “1” จำนวนมากกว่ากันหากมีค่าที่เป็น “0” มากกว่าก็จะให้ค่า Δ เท่ากับศูนย์ แต่ถ้าหากมีค่าที่เป็น “1” มากกว่าค่า Δ จะหาได้จาก $\text{ceil}(|C_i^*|) - |C_i^*|$ แล้วจึงเข้าสู่การตรวจสอบว่า j มีค่าเท่ากับ $3 \times M \times N$ หรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันก็ให้วนเข้าสู่การทำงานรอบถัดไป แต่ถ้าหากมีค่าเท่ากับ $3 \times M \times N$ แล้วก็ให้หยุดการทำงาน และในส่วน of ลายน้ำบิต “1” ก็จะมีเงื่อนไขในการทำงานที่คล้ายกัน



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงการฝังลายน้ำ

โดยที่ w' แทน บิตของรูปลายน้ำ

Δ แทน ค่าของผลต่างที่หาได้จาก $ceil(C^*) - |C^*|$ หรือ มีค่าเป็นศูนย์

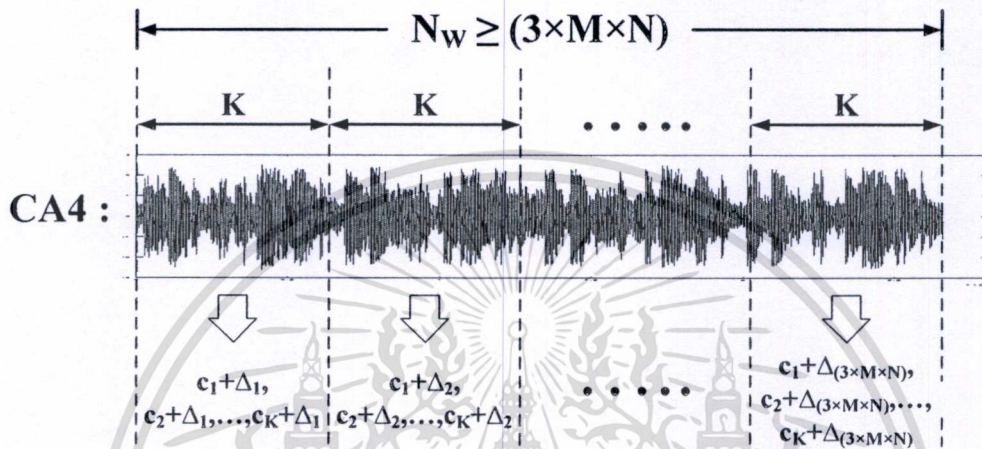
j มีค่าเป็น $0, 3, 6, \dots, [(3 \times M \times N) - 3]$

$ceil(*)$ คือตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการปัดค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บให้

เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าในวงเล็บนั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากผ่านการทำงานตามขั้นตอนวิธีดังแผนภาพที่ 4.8 แล้ว จะได้ค่า Δ จำนวน $(3 \times M \times N)$ ค่า จากนั้นจึงทำการหารค่า Δ ด้วย 10 เพื่อลดค่านัยสำคัญของตัวเลขลงให้เท่ากับก่อนหน้า และจึงเข้าสู่ขั้นตอนของการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ซึ่งแสดงโดยรูปที่ 4.9 จากรูปการควอนไทซ์ คือการบวกค่าของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตทุกค่าที่อยู่ในวินโดว์ ที่มีลำดับตรงกัน ระหว่าง Δ และ $\bar{C}_i(n)$ ด้วยค่า Δ

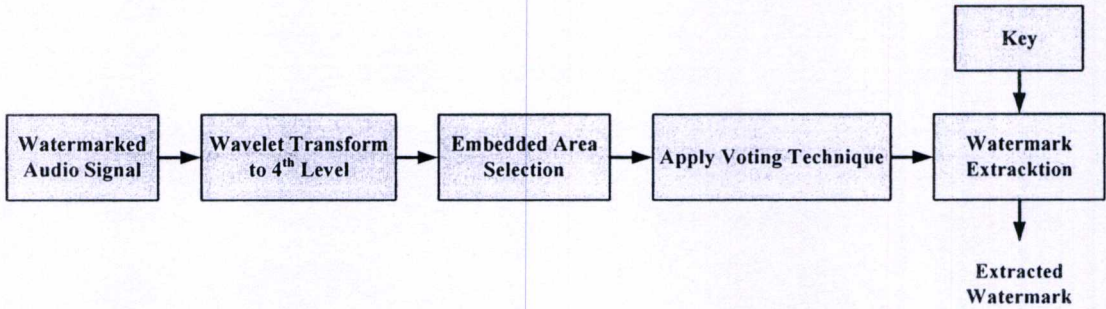


รูปที่ 4.9 การควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

ขั้นตอนสุดท้ายของการฝังลายน้ำ คือการแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้ ระดับการแปลงและเวฟเล็ตแม่แบบเดียวกับขั้นตอนของการแปลงเวฟเล็ตในตอนเริ่มแรก ก็จะได้สัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำ จากนั้นจึงนำสัญญาณเสียงที่ได้ไปผ่านการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความคงทนของลายน้ำต่อไป

4.3 วิธีการถอดลายน้ำดิจิทัล

ในส่วนของการถอดลายน้ำเพื่อให้ได้รูปลายน้ำที่ฝังไว้กลับคืนมานั้น วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่ใช่ทั้งสัญญาณเสียงต้นฉบับ และรูปภาพลายน้ำต้นฉบับ แต่จะต้องทราบถึงขนาดของรูปลายน้ำที่ใช้ และกุญแจรหัสลับ เพื่อใช้ในการถอดลายน้ำ ในส่วนของวิธีการถอดลายน้ำจะเหมือนกับกระบวนการฝังลายน้ำแต่เป็นการกระทำกลับกัน ซึ่งแสดงวิธีการได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.10

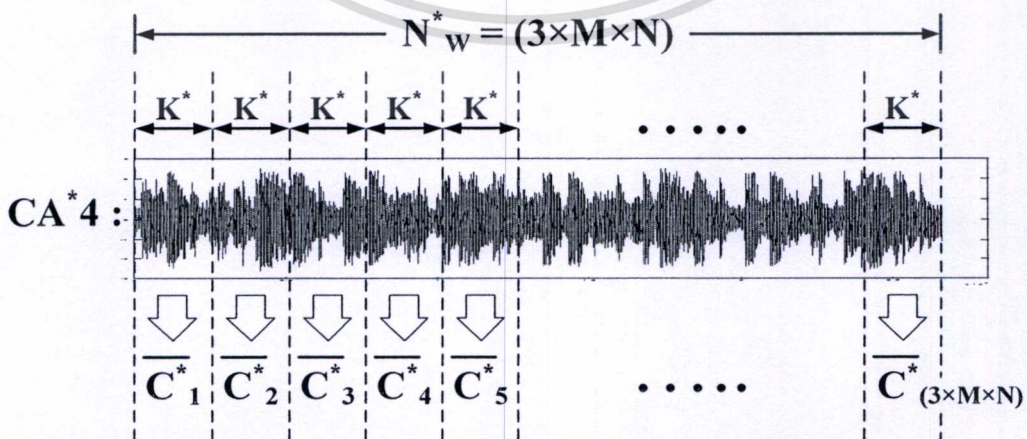


รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมของการถอดลายน้ำดิจิทัล

เริ่มจากการนำสัญญาณเสียงที่มีลายน้ำฝังอยู่มาผ่านการแปลงเวฟเล็ตในระดับเดียวกับขั้นตอนของการฝัง และต้องใช้เวฟเล็ตชนิดเดียวกันด้วย ดังนั้นจึงต้องแปลงเวฟเล็ตไปจนถึงระดับที่ 4 และใช้เวฟเล็ต Daubechies2 จากนั้นจะเลือกสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของความถี่ต่ำ CA^*4 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้ทำการฝังลายน้ำไว้มาทำการแบ่งสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตออกเป็นวินโดว์ เช่นเดียวกับในรูปที่ 4.7 โดยที่ขนาดของวินโดว์ ซึ่งแทนด้วย K^* ดังรูปที่ 4.11 นั้น จะต้องมีความกว้างเท่ากับ K ในขั้นตอนของการฝัง จากนั้นจะทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ $\overline{C}_i^*(n)$ ในแต่ละวินโดว์ โดยใช้สมการที่ 4.4

$$\overline{C}_i^*(n) = \frac{1}{K^*} \sum_{m=1}^{K^*} c^*(m); \quad i = 1, 2, \dots, (3 \times M \times N) \quad (4.4)$$

โดยที่ $c^*(m)$ แทน สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแต่ละวินโดว์
 K^* แทน ความกว้างของวินโดว์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ K ในขั้นตอนของการฝัง
 M และ N เป็นความสูงและความกว้างของภาพลายน้ำต้นฉบับตามลำดับ

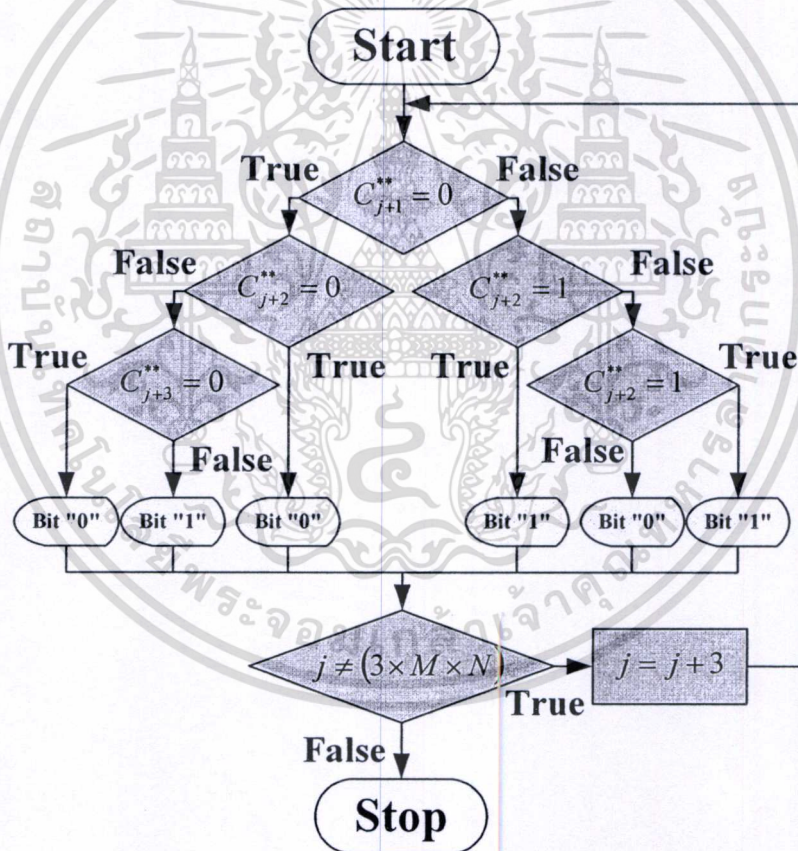


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.11 การแบ่งการคำนวณค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต CA^*4
 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะทำการเพิ่มค่านัยสำคัญของค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์โดยการคูณค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ในแต่ละวินโดว์ ด้วย 10 แล้วจึงทำการคำนวณค่าเฉลี่ยที่ผ่านการเพิ่มค่านัยสำคัญ โดยใช้สมการที่ 4.5

$$C_i^{**} = \left[\text{floor} \left(\left| \overline{C_i^{**}}(n) \right| \right) \right] \% 2, \quad i = 1, 2, \dots, (3 \times M \times N) \quad (4.5)$$

โดยที่ C_i^{**} แทน ค่าเฉลี่ยที่ผ่านการคำนวณใหม่, $\overline{C_i^{**}}(n)$ แทน ค่าเฉลี่ยที่ผ่านการเพิ่มค่านัยสำคัญ และ $\text{floor}(\ast)$ จะแทนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการปัดค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าในวงเล็บนั้น และ $\%$ แทน เครื่องหมายหารแบบเอาเศษ ถัดมาค่าเฉลี่ยที่ถูกคำนวณใหม่ C_i^{**} จะถูกจัดเป็นกลุ่มๆ ละ 3 ค่า เพื่อใช้พิจารณาการถอดลายน้ำ โดยการใช้เทคนิคการไหลอด ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนภาพแสดงการถอดลายน้ำ

โดยที่ C_j^{**} แทน ค่าเฉลี่ยที่ผ่านการคำนวณใหม่ กลุ่มละ 3 ค่า
 j มีค่าเป็น $0, 3, 6, \dots, [(3 \times M \times N) - 3]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปอธิบายได้ว่า ขั้นตอนวิธีจะทำการเปรียบเทียบค่าในกลุ่มทั้ง 3 ค่า ว่ามีค่าเป็น “0” หรือ “1” มากกว่ากัน หากทั้ง 3 ค่า มีค่าเป็น “0” มากกว่า “1” แสดงว่ามีลายน้ำบิต “0” ฝังอยู่ ตรงกันข้าม หากมีค่าเป็น “1” มากกว่า “0” ก็แสดงว่ามีลายน้ำบิต “1” ฝังอยู่ โดยที่อาจเขียนเป็นตารางแสดง การถอดลายนํ้าโดยใช้วิธีนี้ได้เป็น ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าของ C_j^{**} กลุ่มละ 3 ค่า และผลของลายนํ้าที่ถอดได้

รูปแบบ	C_{j+1}^{**}	C_{j+2}^{**}	C_{j+3}^{**}	ค่าลายนํ้าที่ถอดได้
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	1	1
7	1	1	0	1
8	1	1	1	1

จากค่าของลายนํ้าที่ถอดได้ซึ่งมีค่าบิตเป็น “0” หรือ “1” นั้น จะอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ตรงกับรูป ข้อมูลลายนํ้าต้นฉบับ จึงต้องมีการสลับกลับด้วยการใช้กุญแจรหัสสลับและการสุมเทียบ เพื่อให้ได้ ข้อมูลภาพลายนํ้าที่สมบูรณ์

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง ด้วยวิธีการฝังข้อมูลลายน้ำและการถอดข้อมูลลายน้ำ ที่ได้นำเสนอวิธีการไปแล้วในบทที่ 4 ซึ่งเป็นการทดสอบถึงคุณลักษณะที่เป็นความต้องการพื้นฐานของการทำลายน้ำ โดยในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการฝังข้อมูลลายน้ำ จะเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับและสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว โดยทำการสังเกตด้วยการฟังถึงความแตกต่างระหว่างสัญญาณเสียงก่อนขั้นตอนการฝังข้อมูลลายน้ำ และสัญญาณเสียงหลังจากผ่านขั้นตอนการฝังข้อมูลลายน้ำ และทำการวัดค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ของสัญญาณเสียงที่ฝังข้อมูลลายน้ำ จากนั้นจะเป็นการทดสอบความคงทนของลายน้ำที่ถูกฝังอยู่ในสัญญาณเสียง โดยทำการทดลองกับสัญญาณเสียงที่ฝังลายน้ำ มาทำการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ แล้วนำผลที่ได้ มาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างรูปภาพลายน้ำต้นฉบับกับภาพลายน้ำที่ถอดออกมาจากสัญญาณเสียงที่ผ่านการประมวลผล ด้วยค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐาน (Normalized Correlation : NC) และอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูล (Bit Error Rate: BER) เพื่อวัดถึงประสิทธิภาพและความคงทนของภาพลายน้ำของวิธีการที่นำเสนอ

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองตามวิธีการที่นำเสนอมีดังนี้

5.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่องที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP service pack 2 และโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบคือ โปรแกรม MATLAB version 7.0

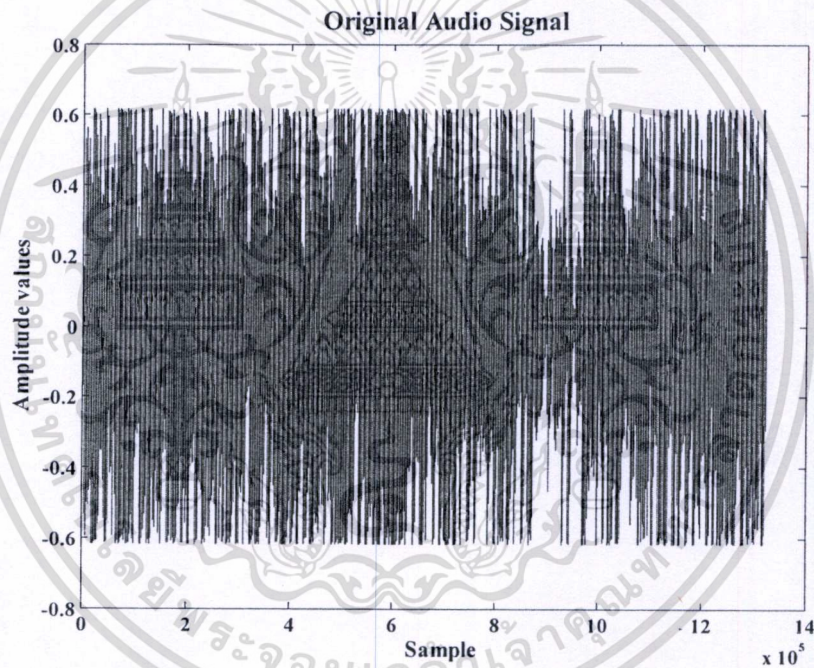
5.1.2 สัญญาณเสียงที่ใช้สำหรับฝังลายน้ำ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เพลงซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลแบบ .wav ขนาดความยาว 10 วินาที (สำหรับการฝังลายน้ำ 1 รูป) โดยมีความถี่ของการสุ่มสัญญาณ (Sampling Frequency) 44.1 กิโลเฮิรซ์ และอัตราของการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) 16 บิตต่อตัวอย่าง

5.1.3 รูปภาพลายน้ำดิจิทัลขนาด 32×32 จุดภาพ ที่ระดับความสว่างสองระดับ

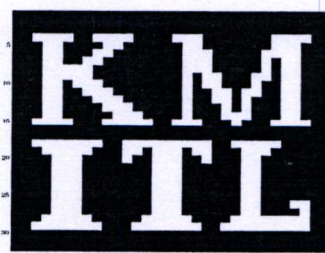
5.2 การทดลอง

การทดลองของวิธีการที่นำเสนอ โดยการใช้สัญญาณเสียงต้นฉบับซึ่งเป็นเพลงตามเอกสารนี้ คุณสมบัติที่ได้กล่าวไว้ข้อ 5.1.2 โดยแสดงลักษณะของสัญญาณได้ดังรูปที่ 5.1 และในรูปที่ 5.2 จะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงภาพลายน้ำต้นฉบับที่ใช้สำหรับฝังลงในสัญญาณเสียง โดยรูป 5.2 (ก) จะเป็นภาพต้นฉบับ และ 5.2(ข) จะเป็นภาพลายน้ำที่ผ่านกระบวนการสุ่มเติมคั่งที่ได้นำเสนอวิธีการไปแล้วในข้อ 4.1 ทำการทดลองใส่ภาพลายน้ำลงในสัญญาณเสียงต้นฉบับตามขั้นตอนของวิธีการที่นำเสนอ โดยการแปลงเวฟเล็ทสัญญาณเสียงไปถึงระดับที่ 4 จากนั้นแบ่งสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทออกเป็นวินโดว์ และคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละวินโดว์ เพื่อที่จะใส่ข้อมูลลายน้ำที่มีค่าเป็น “0” หรือ “1” ด้วยวิธีการ และเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพ ตามความต้องการพื้นฐานของการทำภาพลายน้ำ จากนั้นทดลองนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว ไปผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ เพื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำ และทำการถอดลายน้ำที่ผ่านการกระทำเชิงสัญญาณนั้นเพื่อนำมาหาค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐาน ซึ่งจะแสดงถึงประสิทธิภาพในการทำภาพลายน้ำของวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.1 สัญญาณเสียงต้นฉบับ Pop.wav



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (ก) รูปภาพลายน้ำต้นฉบับ KMIL.bmp (ข) รูปภาพลายน้ำที่ผ่านการสุ่มเติมคั่งแล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การวัดผลการทดลอง [33]

5.3.1 การชี้วัดคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ถูกฟังหลายน้ำ

การวัดคุณภาพของสัญญาณเสียงต้นฉบับหลังการทำลายน้ำ โดยการใช้วิธีการวัดค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ซึ่งเป็นการแสดงถึงคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังหลายน้ำ โดยการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงก่อนและหลังการทำลายน้ำ ซึ่งหากค่าที่วัดได้มีค่ามาก แสดงว่ามีความผิดเพี้ยนของสัญญาณเสียงจากสัญญาณต้นฉบับน้อย สามารถหาค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนได้ดังสมการที่ 5.1

$$SNR = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L (s(i))^2}{\sum_{i=1}^L (s(i) - s^*(i))^2} \right\} \quad (5.1)$$

โดยที่ $S(i)$ คือ ค่าของสัญญาณเสียงที่ตำแหน่งที่ i ของสัญญาณเสียงต้นฉบับ
 $S^*(i)$ คือ ค่าของสัญญาณเสียงที่ตำแหน่งที่ i ของสัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังหลายน้ำ
 L คือ จำนวนตัวอย่าง (Sample) ทั้งหมดของสัญญาณเสียง

ค่า SNR ที่ได้จึงเป็นการคำนวณหาที่ละตำแหน่งของตัวอย่าง จนครบทุกตำแหน่งของสัญญาณเสียงต้นฉบับ และสัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังหลายน้ำ ซึ่งคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีหลังผ่านการฟังหลายน้ำนั้น โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 20 เดซิเบลขึ้นไป จึงจะถือว่า สัญญาณเสียงมีคุณภาพที่ดี

5.3.2 การชี้วัดความเหมือนของภาพหลายน้ำ

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่าการทำลายน้ำที่ดีจะต้องมีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ ดังนั้นการหาประสิทธิภาพในการฟังหลายน้ำ จึงต้องวัดค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปหลายน้ำที่ถอดได้จากสัญญาณเสียงที่ผ่านการประมวลผลสัญญาณ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับรูปหลายน้ำต้นฉบับ โดยสามารถคำนวณได้ด้วยค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐาน (Normalized Correlation: NC) ตามสมการที่ 5.2

$$NC = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x, y) * w'(x, y)}{\sqrt{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [w(x, y)]^2} \sqrt{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [w'(x, y)]^2}} \quad (5.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $w(x, y)$ เป็นจุดภาพตำแหน่งที่ x และ y ของภาพลายน้ำต้นฉบับ

$w'(x, y)$ เป็นจุดภาพตำแหน่งที่ x และ y ของภาพลายน้ำที่ถอดกลับคืน

ค่า NC จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นหากภาพลายน้ำที่ถอดได้จากสัญญาณเสียงที่ผ่านการประมวลผลสัญญาณมีค่า NC ที่ใกล้เคียงค่าหนึ่งมากเท่าใด ก็หมายความว่าภาพลายน้ำที่ถอดได้มีความเหมือนต้นฉบับมากเท่านั้น และยังหมายถึง ประสิทธิภาพที่ดีของวิธีการฝังลายน้ำที่นำเสนอว่ามีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบอื่นๆ อีกด้วย

ค่าที่ใช้ชี้วัดถึงคุณภาพของรูปลายน้ำหลังผ่านการประมวลผลสัญญาณอีกค่าหนึ่ง คือค่าอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูล (Bit Error Rate: BER) โดยจะบอกความผิดพลาดของบิตในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการคำนวณได้ดังสมการที่ 5.3

$$BER = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N w(i, j)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \begin{cases} 1 & w'(i, j) \neq w(i, j) \\ 0 & w'(i, j) = w(i, j) \end{cases} \right] \times 100\% \quad (5.3)$$

โดยที่ $w(i, j)$ เป็นจุดภาพตำแหน่งที่ i และ j ของภาพลายน้ำต้นฉบับ

$w'(i, j)$ เป็นจุดภาพตำแหน่งที่ i และ j ของภาพลายน้ำที่ถอดกลับคืน

M และ N คือความสูงและความกว้างของภาพลายน้ำตามลำดับ

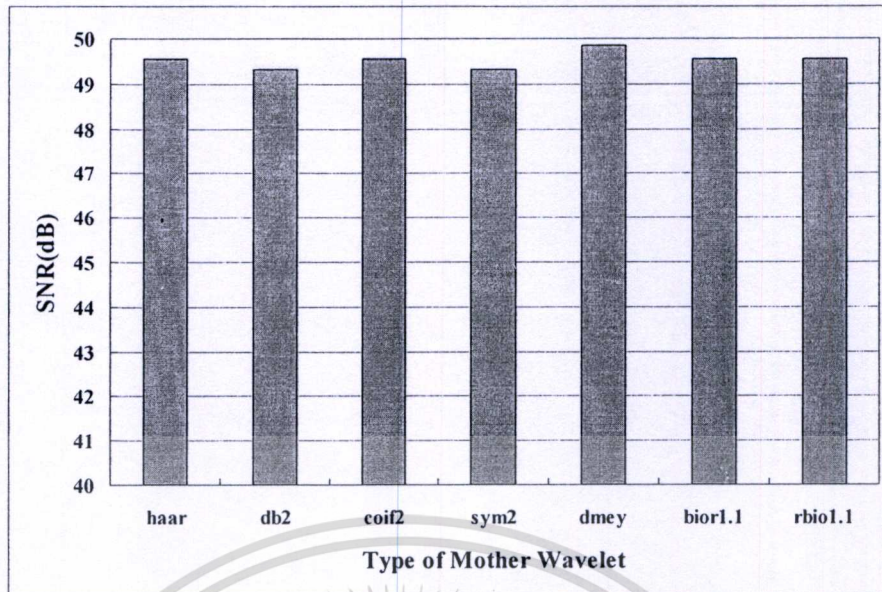
5.4 ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยที่ส่วนแรกจะเป็นการทดลองถึงการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ รวมไปถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันขั้นตอนวิธีที่นำเสนอว่ามีผลต่อคุณภาพของสัญญาณเสียงหรือไม่ เพื่อนำปัจจัยต่างๆ ที่ได้ และให้ค่าที่ดีที่สุดไปทำการปรับเปลี่ยนในระหว่างทำการฝังลายน้ำ แล้วนำไปทดสอบต่อในส่วนที่สอง ซึ่งจะเป็นการทดสอบถึงความคงทนของรูปลายน้ำที่ถูกฝังอยู่ในสัญญาณเสียงว่ามีความคงทนต่อการกระทำเชิงสัญญาณต่างๆ หรือไม่ ซึ่งจะเป็นการชี้วัดถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีอีกด้วย

5.4.1 การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวกับการฝังลายน้ำ

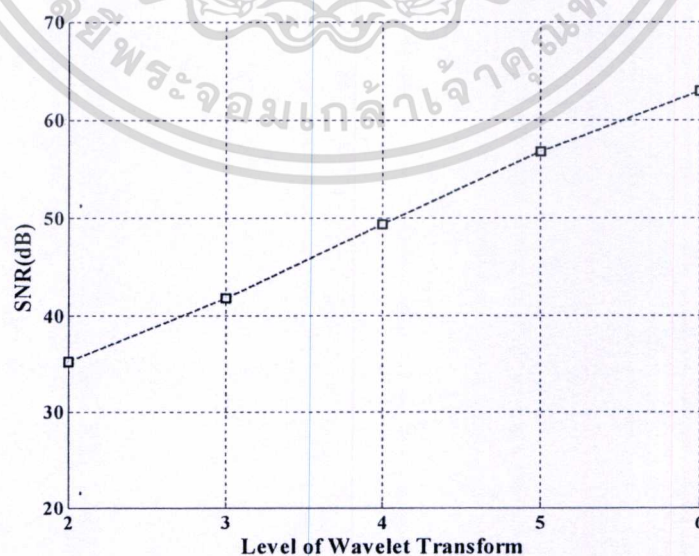
ในการทดสอบนี้จะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าของสัมประสิทธิ์ต่างๆ เช่น เวฟเล็ทแม่ที่ใช้ระดับของการแปลงเวฟเล็ท และค่าที่ใช้เพิ่มนัยสำคัญของตัวเลข โดยที่จะแสดงผลที่เปรียบเทียบระหว่างการเพิ่มหรือลดค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ และทำการวัดค่า SNR ระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับกับสัญญาณเสียงที่ฝังลายน้ำ เพื่อให้ได้ตัวแปรที่ให้ผลที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ค่าของ SNR จากการใช้เวฟเลตแม่ชนิดต่างๆ

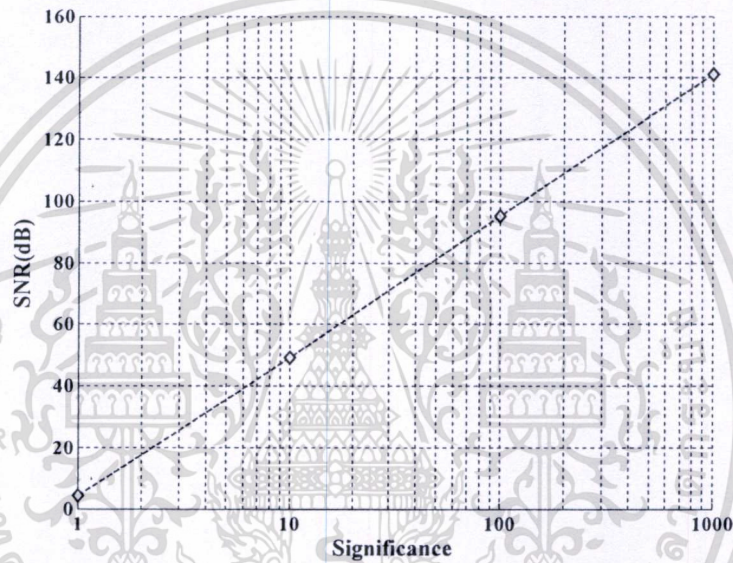
จากรูปที่ 5.3 ที่ระดับของการแปลงระดับเดียวกัน คือระดับที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของค่า SNR ในแต่ละชนิดของเวฟเลตแม่ มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 49 เดซิเบลดังนั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้ กับวิธีการเดิม [25] ดังนั้นจึงเลือกใช้เวฟเลตแม่ Daubechies2 สำหรับใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และในส่วนถัดมาจะเป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับของการแปลงเวฟเลตที่ระดับต่างๆ โดยใช้เวฟเลตแม่ Daubechies2 ในการแปลง และเลือกบริเวณที่จะฝังลายน้ำเป็นบริเวณสัมประสิทธิ์เวฟเลตของความถี่ต่ำ CA ในระดับของการแปลงระดับนั้นๆ ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ผลของ SNR จากการแปลงเวฟเลตที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.4 ระดับของการแปลงเวฟเล็ดและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจะมีความสัมพันธ์กันแบบเป็นเชิงเส้น เมื่อระดับของการแปลงเวฟเล็ดสูงขึ้นก็จะทำให้ SNR มีค่าสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณต่ำลง แต่ทั้งนี้หากเลือกกระดับการฝังลายน้ำที่ระดับสูงๆ จะทำให้รูปลายน้ำที่ฝังอยู่ในสัญญาณเสียงมีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกการฝังที่ระดับที่ 4 และผลการทดลองถัดมาจะเป็นผลของค่าที่ใช้เพิ่มนัยสำคัญของตัวเลขที่มีผลต่อค่า SNR โดยค่าที่ใช้เพิ่มนัยสำคัญของตัวเลข ซึ่งได้กล่าวไว้ในส่วนของวิธีการฝังลายน้ำในหัวข้อที่ 4.2 จะเป็นค่าที่ปรับเปลี่ยนความเข้มของการฝัง และแสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ค่าของ SNR จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มของการฝัง

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่า การปรับเปลี่ยนค่าที่ใช้เพิ่มนัยสำคัญของตัวเลขมีผลอย่างมากต่อค่า SNR หากค่าที่ใช้เพิ่มนัยสำคัญมีค่าน้อยจะทำให้มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่สูงมาก แต่ถ้าหากค่าที่ใช้เพิ่มนัยสำคัญมีค่ามาก ถึงจะทำให้มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณต่ำ แต่ก็จะทำให้ลายน้ำที่ฝังอยู่ในสัญญาณเสียงไม่มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ ดังนั้นค่า 10 จึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในกระบวนการฝังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2

5.4.2 การทดสอบความคงทนของข้อมูลลายน้ำ

การทดลองในส่วนนี้จะนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำด้วยวิธีการที่นำเสนอ ไปผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณซึ่งเป็นการ โจมตีหรือทำลายข้อมูลลายน้ำที่อยู่ในสัญญาณเสียง เพื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำ และวัดผลที่ได้ด้วยค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ

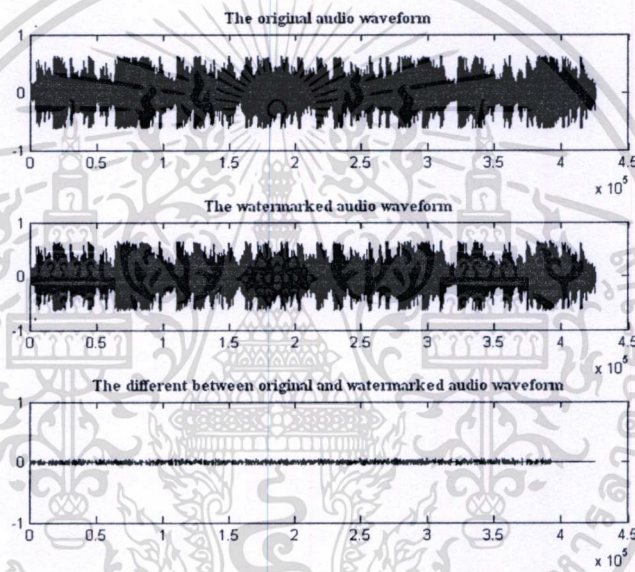
หลังจากถอดลายน้ำด้วยวิธีการที่นำเสนอ พร้อมทั้งเปรียบเทียบรูปลายน้ำที่ถอดได้กับวิธีการเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า [25] ซึ่งได้กล่าวไว้ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.1 การทดลองขณะไม่มีการโจมตีข้อมูลลายน้ำ

ผลของการทำภาพลายน้ำขณะที่ไม่มีการโจมตีสัญญาณเสียงด้วยการประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงถึงคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ไม่ได้ลดคุณภาพลงจนสังเกตได้จากการฟัง โดยวัดคุณภาพของสัญญาณเสียงได้ค่า $SNR = 49.31$ เดซิเบล รูปที่ 5.6 ภาพบนแสดงรูปสัญญาณเสียงต้นฉบับ, ภาพกลางแสดงรูปสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำ และภาพล่างแสดงผลต่างของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะได้ค่าผลต่างที่น้อยมากเมื่อเทียบกับแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงต้นฉบับ และในกระบวนการถอดภาพลายน้ำกลับคืน เมื่อนำภาพลายน้ำที่ถอดได้จากสัญญาณเสียงมาเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับ ได้ค่า $NC = 1$ และค่า $BER = 0$ โดยแสดงรูปลายน้ำที่ถอดกลับคืนได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ลักษณะสัญญาณเสียงก่อนและหลังการฝังลายน้ำ และผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง (สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการฝังลายน้ำ คือเวฟเล็ตแม่ชนิด Daubechies2, ระดับของการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับ, และใช้การปรับเปลี่ยนนัยสำคัญโดยการคูณด้วย 10)

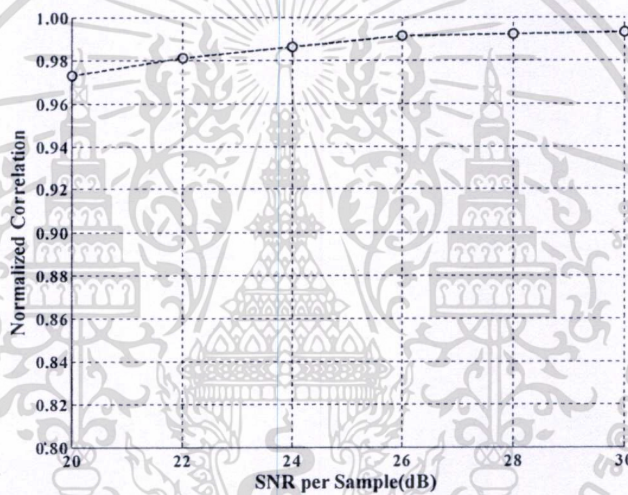


รูปที่ 5.7 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากสัญญาณเสียงที่ไม่ผ่านการประมวลผลสัญญาณ

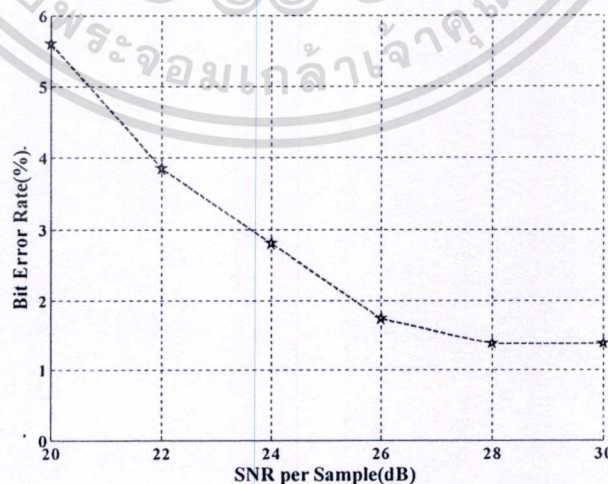
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.2 ความคงทนของรูปถ่ายน้ำต่อสัญญาณรบกวน

การทดสอบความคงทนของรูปถ่ายน้ำต่อสัญญาณรบกวน โดยการนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังภาพถ่ายน้ำมาผ่านการบวกเข้าด้วยสัญญาณรบกวน (Add White Gaussian Noise: AWGN) โดยมีการปรับเปลี่ยนระดับของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ใช้บวกเข้า ด้วยค่าที่อยู่ในช่วง 20 – 30 เดซิเบล ซึ่งตัวเลขที่มากขึ้นจะหมายถึงระดับของสัญญาณรบกวนมีค่าลดลง และผลที่ได้ดังรูปที่ 5.8 (ก) จะเป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างระดับของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ใช้บวกเข้าไปในสัญญาณเสียงที่มีลายน้ำฝังอยู่ เปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปถ่ายน้ำที่ถอดได้ และรูปที่ 5.8 (ข) เป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างระดับของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกับค่าอัตราความผิดพลาดของรูปถ่ายน้ำที่ถอดได้ และในตารางที่ 5.1 ก็จะได้แสดงรูปถ่ายน้ำที่ถอดได้โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่ได้นำเสนอ และวิธีการเดิม



(ก)















(ข)

รูปที่ 5.8 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปถ่ายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปถ่ายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวประโยชน์การวิจัย
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุอันสมควร และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารที่ค้นคว้ามาไว้

การฝังลายน้ำ คือเวฟเล็ตแม่ชนิด Daubechies2, ระดับของการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับ, และใช้การปรับเปลี่ยนนัยสำคัญโดยการคูณด้วย 10)

ตารางที่ 5.1 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนในระดับต่างๆ

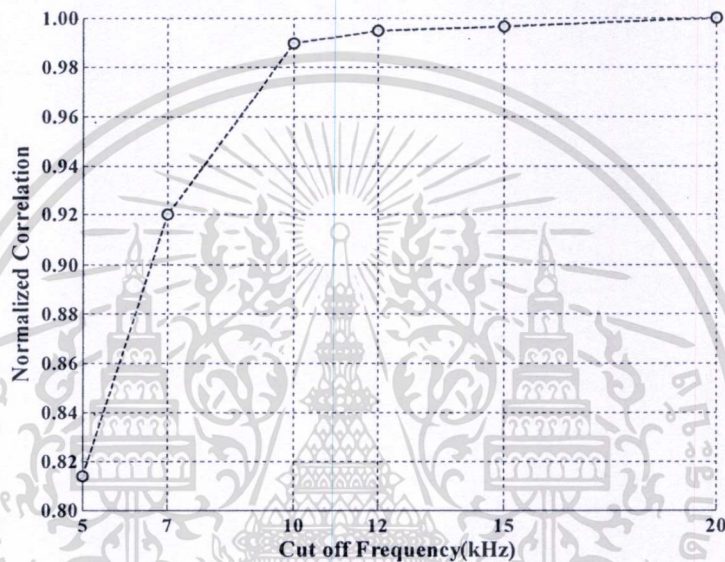
ระดับของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (เดซิเบล)	รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้	
	วิธีการเดิม [25]	วิธีการที่นำเสนอ
20		
22		
24		
26		
28		
30		

5.4.2.3 ความคงทนของรูปลายน้ำต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำ

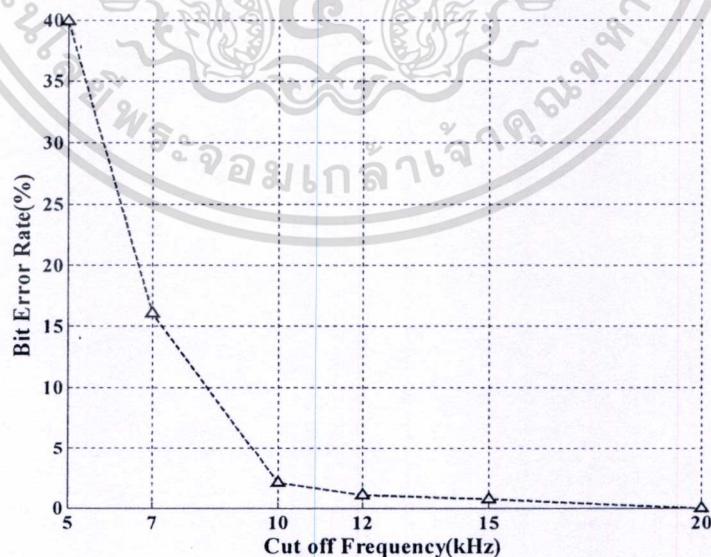
การทดสอบความคงทนของรูปลายน้ำต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำ โดยการนำ

สัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังภาพลายน้ำมาผ่านตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filtering) ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หน้าปกการกรองผ่านความถี่ต่ำ ที่ขนาดความถี่ต่างๆ กัน ผลที่ได้จากการกรองสัญญาณเสียงที่มีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายน้ำฝังอยู่โดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำแบบ Butter-worth อันดับของการกรองที่อันดับ 6 และทดลองปรับเปลี่ยนค่าความถี่คutoffด้วยค่าที่อยู่ในช่วง 5 – 20 กิโลเฮิรซ์ และผลที่ได้ดังรูปที่ 5.9 (ก) จะเป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างค่าความถี่คutoffของการกรองผ่านความถี่ต่ำของสัญญาณเสียงที่มีลายน้ำฝังอยู่ เปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำที่ถอดได้ และรูปที่ 5.9 (ข) เป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างค่าความถี่คutoffกับค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำที่ถอดได้ และในตารางที่ 5.2 ก็จะได้แสดงรูปลายน้ำที่ถอดได้โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่ได้นำเสนอ และวิธีการเดิม



(ก)













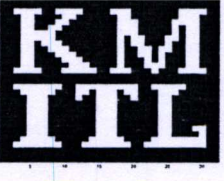

(ข)

รูปที่ 5.9 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการอ้างอิงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยเด็ดขาด
 หลังจากการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยการกรองผ่านความถี่ต่ำ (สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการฝัง-
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายน้ำ คือเวฟเล็ดแมชชีน Daubechies2, ระดับของการแปลงเวฟเล็ด 4 ระดับ, และใช้การ
ปรับเปลี่ยนนัยสำคัญโดยการคูณด้วย 10)

ตารางที่ 5.2 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการกรองผ่านความถี่ต่ำ

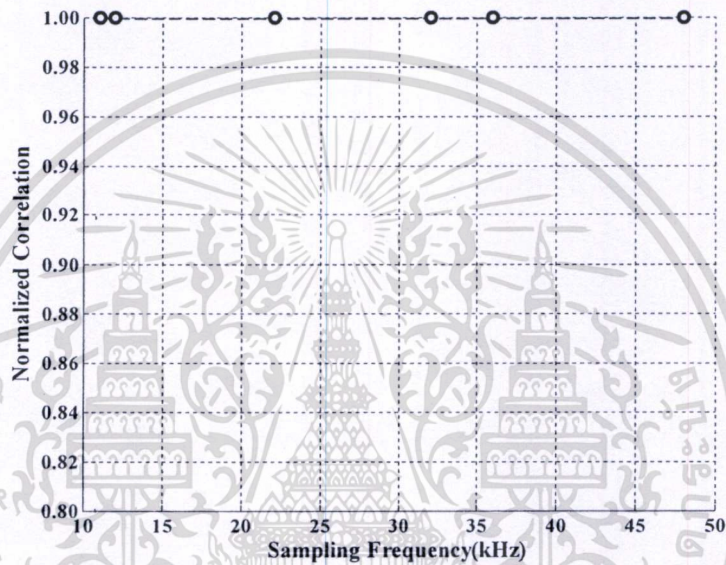
ความถี่คัทออฟ (กิโหลเฮิร์ซ)	รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้	
	วิธีการเดิม [25]	วิธีการที่นำเสนอ
5		
7		
10		
12		
15		
20		

5.4.2.4 ความคงทนของรูปลายน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสุ่ม

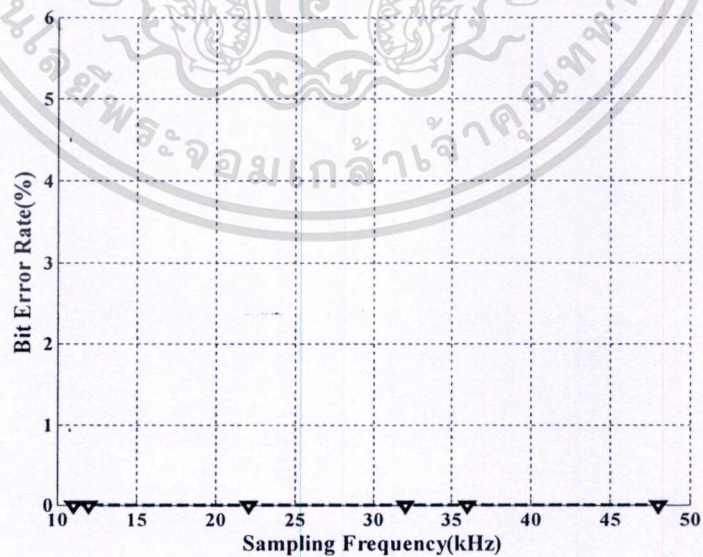
สัญญาณ

โดยปกติแล้วสัญญาณเสียงจะมีความถี่ของการสุ่มสัญญาณ (Sampling Frequency) 44.1
เอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กิโหลเฮิร์ซ แต่ในการทดสอบความคงทนของรูปลายน้ำต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสุ่มสัญญาณ (Resampling) ทำได้โดยนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังหลายน้ำมาผ่านการเพิ่มและลดความถี่ของการสุ่มสัญญาณ โดยมีการปรับเปลี่ยนความถี่ของการสุ่มสัญญาณ ระหว่าง 11 – 48 กิโลเฮิรซ์ แล้วเปลี่ยนกลับเป็น 44.1 กิโลเฮิรซ์ และผลที่ได้ดังรูปที่ 5.10 (ก) จะเป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างความถี่ของการสุ่มสัญญาณ เปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์มาตรฐานของรูปหลายน้ำที่ถอดได้ และรูปที่ 5.10 (ข) เป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างความถี่ของการสุ่มสัญญาณ กับค่าอัตราความผิดพลาดของรูปหลายน้ำที่ถอดได้ และในตารางที่ 5.3 ก็จะได้แสดงรูปหลายน้ำที่ถอดได้โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่ได้นำเสนอ และวิธีการเดิม



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.10 (ก) ค่าสหสัมพันธ์มาตรฐานของรูปหลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปหลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียง โดยการเปลี่ยนความถี่ของการสุ่มสัญญาณ (สัมประสิทธิ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในประโยชน์ใดๆ ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการฟังลายน้ำ คือเวฟเล็ตแม่ชนิด Daubechies2, ระดับของการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับ, และใช้การปรับเปลี่ยนนัยสำคัญโดยการคูณด้วย 10)

ตารางที่ 5.3 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการเปลี่ยนความถี่ของการสุ่มสัญญาณ

ความถี่ของการสุ่มสัญญาณ** (กิโลเฮิรตซ์)	รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้	
	วิธีการเดิม [25]	วิธีการที่นำเสนอ
11.025		
12		
22.05		
32		
36		
48		

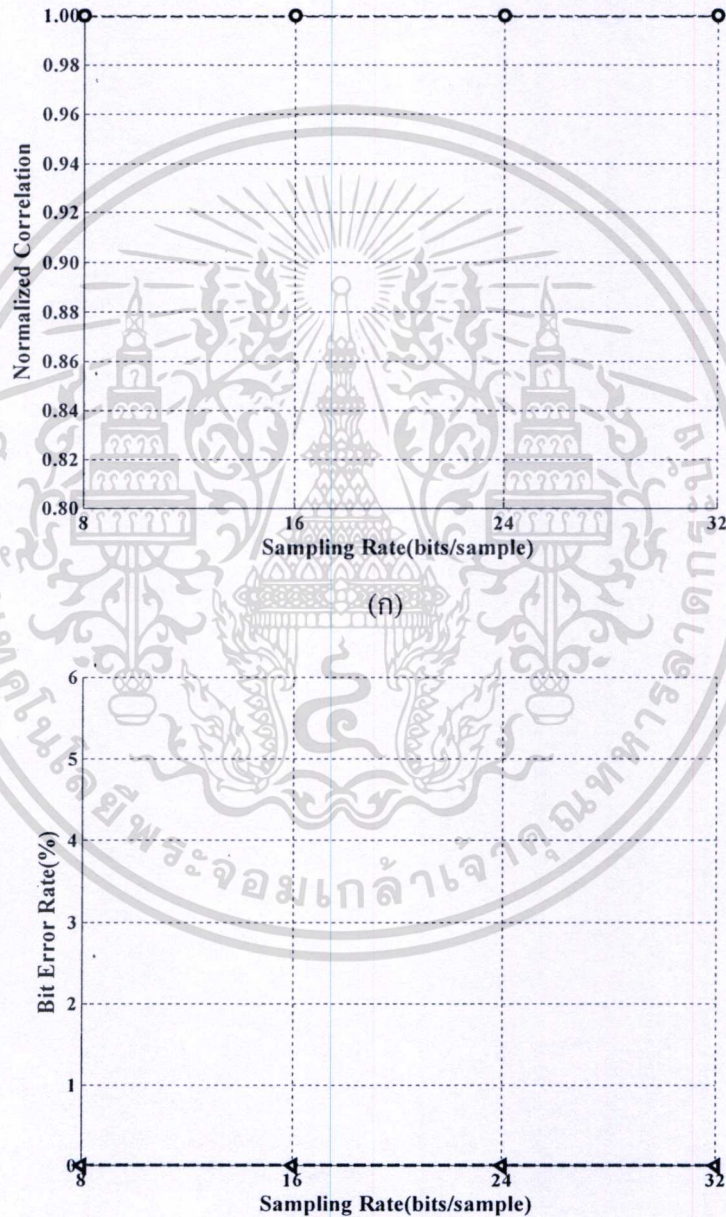
(**ค่าของความถี่ที่ปรับเปลี่ยนไปในแต่ละค่าเป็นค่าที่ถูกตั้งไว้ในโปรแกรม Nero)

5.4.2.5 ความคงทนของรูปลายน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียดของ

สัญญาณ

การทดสอบความคงทนของรูปลายน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการคัดลอกสัญญาณ (Requantization) โดยการนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฟังภาพลายน้ำมาทำการเปลี่ยนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความละเอียดของสัญญาณไปที่ 8, 16, 24 และ 32 บิตต่อตัวอย่าง แล้วเปลี่ยนกลับมาเป็น 16 บิตต่อตัวอย่าง และผลที่ได้คือรูปที่ 5.11 (ก) จะเป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างค่าของระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป กับค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำที่ถอดได้ และรูปที่ 5.11 (ข) เป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างค่าระดับความละเอียดของสัญญาณกับค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำที่ถอดได้ และในตารางที่ 5.4 ก็จะได้แสดงรูปลายน้ำที่ถอดได้โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่ได้นำเสนอ และวิธีการเดิม











(ก)

รูปที่ 5.11 (ก) ค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียง โดยการเปลี่ยนระดับความละเอียดของสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการฝังลายน้ำ คือเวฟเล็ดแม่ชนิด Daubechies2, ระดับของการแปลงเวฟเล็ด 4 ระดับ, และใช้การปรับเปลี่ยนนัยสำคัญโดยการคูณด้วย 10)

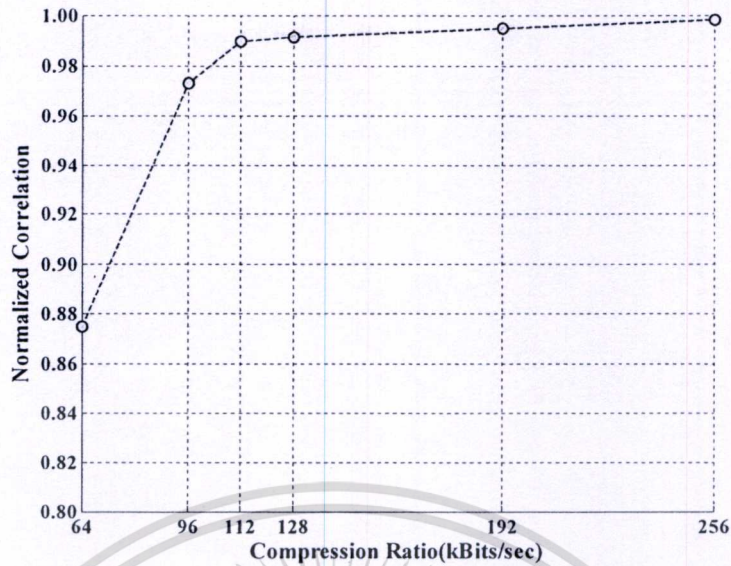
ตารางที่ 5.4 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการเปลี่ยนระดับความละเอียดของสัญญาณ

ระดับความละเอียดของสัญญาณ (บิตต่อตัวอย่าง)	รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้	
	วิธีการเดิม [25]	วิธีการที่นำเสนอ
8		
16		
24		
32		

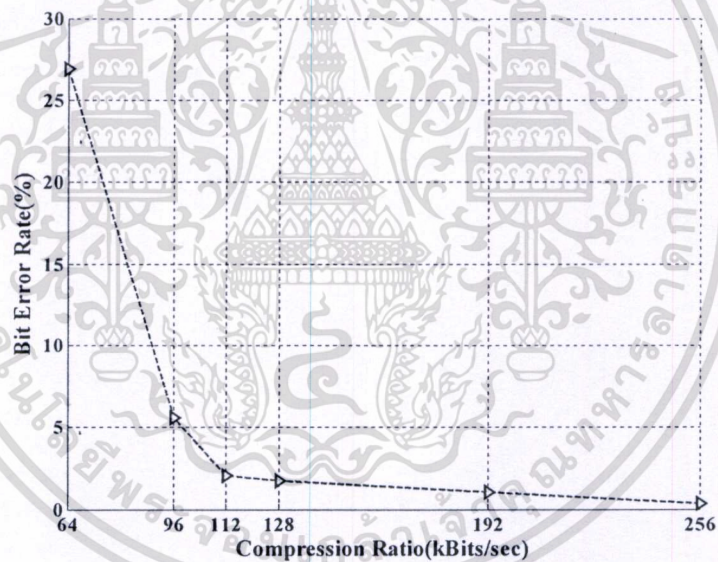
5.4.2.6 ความคงทนของรูปลายน้ำต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3

การทดสอบความคงทนของข้อมูลลายน้ำต่อการบีบอัดสัญญาณเสียงแบบ mp3 ซึ่งเป็นการบีบอัดข้อมูลแบบมีการสูญเสีย ทดลองโดยการนำสัญญาณที่มีลายน้ำฝังอยู่ไปผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูล mp3 ที่อัตราการบีบอัดต่างๆ กัน และได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.12 (ก) จะเป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างค่าอัตราของการบีบอัด กับค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานของรูปลายน้ำที่ถอดได้ และรูปที่ 5.12 (ข) เป็นกราฟที่แสดงผลที่ได้ระหว่างค่าอัตราของการบีบอัดกับค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำที่ถอดได้ และในตารางที่ 5.5 ก็จะได้แสดงรูปลายน้ำที่ถอดได้โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่ได้นำเสนอ และวิธีการเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




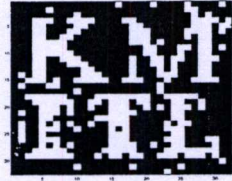










(ก)



(ข)

รูปที่ 5.12 (ก) ค่าสหสัมพันธ์มาตรฐานของรูปลายน้ำ (ข) ค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำ หลังผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 (สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการ ฝังลายน้ำ คือเวฟเลตต์แม่ซนิต Daubechies2, ระดับของการแปลงเวฟเลตต์ 4 ระดับ, และใช้การ ปรับเปลี่ยนนัยสำคัญโดยการคูณด้วย 10)

ตารางที่ 5.5 รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้จากการโจมตีด้วยการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3

อัตราการบีบอัดสัญญาณ (กิโลบิตต่อวินาที)	รูปภาพลายน้ำที่ถอดได้	
	วิธีการเดิม [25]	วิธีการที่นำเสนอ
64		
96		
112		
128		
192		
256		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ความพยายามเพื่อที่จะหาวิธีการป้องกันและยับยั้งปัญหาของการละเมิดลิขสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลดิจิทัล ทำให้เกิดงานวิจัยต่างๆ และการทำลายน้ำของข้อมูลดิจิทัลก็เป็นงานวิจัยอีกแขนงหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลในโดเมนเวฟเล็ต โดยนำสัญญาณเสียงต้นฉบับมาทำการแปลงเวฟเล็ตไปเป็นจำนวน 4 ระดับ และใช้ลายน้ำซึ่งเป็นรูปภาพลายน้ำแบบไบนารีมาทำการฝังลงบนสัญญาณเสียงโดยใช้เทคนิคการโหวต (Voting technique) และการควอนไทซ์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้สัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำมีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดี จากผลการทดลองหลังจากที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ใช้คำนวณในขั้นตอนวิธี พบว่าสัญญาณเสียงที่ได้ยังคงมีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดี โดยมีความแตกต่างจากสัญญาณเสียงต้นฉบับน้อยมาก และจากที่ได้คำนวณค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ของสัญญาณเสียงที่ฝังข้อมูลลายน้ำเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงต้นฉบับได้ค่าเป็น 49.31 เดซิเบล ซึ่งถือเป็นค่าที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยซึ่งได้ทำมาก่อนหน้า [24] ซึ่งมีค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนถึง 38 เดซิเบล

ในส่วนของการทดสอบความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ โดยการนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำด้วยวิธีการที่นำเสนอ ไปผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณซึ่งเป็นการโจมตีหรือทำลายข้อมูลลายน้ำที่อยู่ในสัญญาณเสียง เพื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำ และวัดผลลัพธ์ที่ได้ด้วยค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานพบว่าทั้งวิธีการที่นำเสนอและวิธีการเดิม [25] มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสุ่มสัญญาณ และการเปลี่ยนแปลงอัตราของการสุ่มสัญญาณสังเกตได้จากค่าสหสัมพันธ์บรรทัดฐานมีค่าเป็น 1 และมีค่าอัตราความผิดพลาดของรูปลายน้ำที่ถอดได้เป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงรูปลายน้ำที่ถอดได้หลังจากสัญญาณเสียงผ่านการประมวลผลสัญญาณทั้งสองแบบนั้น เหมือนกับลายน้ำต้นฉบับทุกประการและยังหมายถึงระบบลายน้ำที่ใช้การฝังโดยวิธีการที่นำเสนอนี้ก็มีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณทั้งสองแบบด้วย และจากการทดสอบความคงทนต่อสัญญาณรบกวนสำหรับวิธีการนี้ก็มีความคงทนที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงถึง 20 เดซิเบล ในขณะที่วิธีการเดิมจะคงทนต่อสัญญาณรบกวนเพียง 27-28 เดซิเบลเท่านั้น และในส่วนของการทดสอบความคงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำนั้นสังเกตได้ถึงถึงความแตกต่างของความคงทนสำหรับวิธีการฝังลายน้ำทั้งสองรูปแบบนี้ที่ความถี่คัท-ออฟเป็น 7 กิโลเฮิรซ์ วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ยังคงให้ข้อมูลลายน้ำหลังผ่านการ

กรองผ่านความถี่ต่ำที่ดีกว่าในวิธีการเดิม และสุดท้ายคือการทดสอบความคงทนต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 พบว่าวิธีการที่นำเสนอนี้ก็มีความคงทนต่อการบีบอัดสูงกว่าวิธีการเดิมซึ่งที่อัตราการบีบอัดสัญญาณ 64 กิโลบิตต่อวินาทีนั้น ในวิธีที่นำเสนอนี้ยังคงพอที่จะสามารถคาดเดาได้ถึงรูปแบบของรูปลายน้ำ ในขณะที่วิธีการเดิมนั้น รูปลายน้ำที่ถอดได้มีการเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างมากจนไม่สามารถที่จะหารูปแบบของลายน้ำได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอนี้ให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีกว่าแบบเดิม และมีความคงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ เช่น ความคงทนต่อสัญญาณรบกวน ความคงทนต่อการกรองผ่านความถี่ต่ำ และความคงทนต่อการบีบอัดสัญญาณแบบ mp3 มากกว่าวิธีการเดิม แต่ถ้าหากต้องการให้ลายน้ำมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสุ่มสัญญาณ และการเปลี่ยนแปลงระดับความละเอียดของสัญญาณ ก็สามารถที่จะใช้วิธีการฝังแบบเดิมได้เช่นกัน

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

การทำลายน้ำของสัญญาณเสียง โดยวิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ยของการแปลงเวฟเล็ตร่วมกับการใช้เทคนิคการโหวต (Voting technique) นี้มีโครงสร้างของขั้นตอนวิธีที่ดี คงทนต่อการประมวลผลสัญญาณ ได้ดีกว่าวิธีการเดิม แต่ปัญหาที่พบคือ หากสัญญาณเสียงมีความยาวของสัญญาณมากเกินไป ก็จะทำให้การประมวลผลใช้เวลานานขึ้น เนื่องจากต้องใช้สัญญาณเสียงที่มีความยาวมากกว่าในวิธีการเดิมถึง 3 เท่า ทั้งนี้เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ และการเลือกขนาดของภาพลายน้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการประมวลผล อีกทั้งยังส่งผลต่อขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร กล่าวคือในเพลงที่มีขนาดความยาวเท่ากันหากเลือกรูปลายน้ำที่มีขนาดใหญ่ก็จะทำให้ได้ขนาดความจุที่ลดลง ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยทั้งสองสิ่งที่กล่าวมาขณะที่ทำการประมวลผลซึ่งไม่สามารถกำหนดตายตัวได้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานกำหนดตามลักษณะการใช้งานและความเหมาะสม

ในส่วนของการป้องกันข้อมูลให้มีความปลอดภัยมากขึ้นอาจใช้ร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสลับรูปภาพลายน้ำในรูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากการใช้กระบวนการสุ่มเทียม ซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถถอดลายน้ำออกมาได้ก็ยังมี การป้องกันข้อมูลลายน้ำซ่อนอยู่อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการลักลอบแก้ไขเปลี่ยนแปลงลายน้ำให้ทำได้ยากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] R. J. Anderson and F. Petitcolas. "On the Limits of Stenography." **IEEE Journal on Selected Areas in Communication.**, vol. 16, no. 4, May. 1998. pp. 474-481.
- [2] J. F. Kurose and K. W. Ross. **Computer Networking.** New York : Addison Wesley Longman. 2000.
- [3] Deepa Kundur. "Multiresolution Digital Watermarking: Algorithms and Implications for Multimedia Signals." A thesis of Doctor of Philosophy Graduate Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto. 1999.
- [4] Sin-Joo Lee and Sung-Hwan Jung. "A Survey of Watermarking Techniques Applied to Multimedia." **Proc. ISIE, Pusan, Korea,** June. 2001. pp. 272-277.
- [5] I. J. Cox, M.L. Miller, and J. A. Bloom. **Digital Watermarking.** London : Morgan Kaufmann Publishers. 2002.
- [6] G. C. Langelaar, I. Setyawan and R. L. Lagendijk. "Watermarking Digital Images and Video Data : A state-of-the-art overview." **IEEE Signal Processing Magazine.** vol. 17, 2002. pp. 20-46.
- [7] Juergen Seitz. **Digital Watermarking for Digital Media.** London : Information Science Publishing. 2004.
- [8] Wen-Nung Lie and Li-Chun Chang. "Robust and High-Quality Time-Domain Audio Watermarking Subject to Psychoacoustic Masking." **Proc. ISCAS, Sydney, Australia,** May. 2001. pp. 45-48.
- [9] Harumi Murata, Akio Ogihara, Motoji Iwata and Akira Shiozaki. "Multichannel Audio Watermarking Method Suitable for Multiple Watermarks." **Proc. ISCIT, Vientiane, Lao PDR,** October. 2008. pp. 375-379.
- [10] Foo Say Wei, Ho Shuet Mun, and Ng Ling Mei. "Audio Watermarking Using Time-Frequency Compression Expansion." **Proc. ISCAS, Vancouver, Canada,** May. 2004. pp. 201-204.
- [11] Darko Kirovski and Henrique Malvar. "Spread-Spectrum Audio Watermarking: Requirements, Applications, and Limitations." **IEEE Trans. on Multimedia Signal Processing.**, no. 4, October. 2001. pp. 219-224.

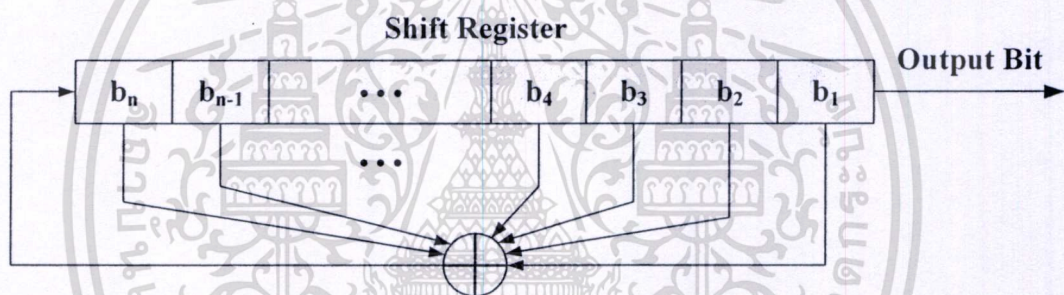
- [12] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton and T. Shamon. "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia." **IEEE Trans. on Image Processing.**, vol. 6, December. 1997. pp. 1673-1687.
- [13] Shahrzad Esmaili, Sridhar Krishnan and Kaamran Raahemifar. "A Novel Spread Spectrum Audio Watermarking Scheme Based on Time-Frequency Characteristics." **Proc. IEEE CCECE, Montréal, Canada**, May. 2003. pp. 1963-1966.
- [14] Hafiz Malik, Ashfaq Khokhar and Rashid Ansari. "Robust Audio Watermarking Using Frequency Selective Spread Spectrum Theory." **Proc. ICASSP, Quebec, Canada**, May. 2004. pp. 385-388.
- [15] Foo Say Wei, Xue Feng and Li Mengyuan. "A Blind Audio Watermarking Scheme Using Peak Point Extraction." **Proc. ISCAS, Kobe, Japan**, May. 2005. pp. 4409-4412.
- [16] Mingquan Fan and Hongxia Wang. "Centroid-Based Robust Audio Watermarking Scheme." **Proc. ICALIP, Shanghai, China**, July. 2008. pp. 476-479.
- [17] G. Cano Rodríguez, M. Nakano Miyatake and H. M. Pérez Meana. "Analysis of Audio Watermarking Schemes." **Proc. ICEEE & CIE, Mexico City, Mexico**, September. 2005. pp. 17-20.
- [18] Lili Cui, Shu-xun and Tanfeng Sun. "The Application of Binary Image in Digital Audio Watermarking." **Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks & Signal Processing, Nanjing, China**, December. 2003. pp. 1497-1500.
- [19] Xianghong Tang, Yamei Niu, Hengli Yue and Zhongke Yin. "A Digital Audio Watermark Embedding Algorithm." **Proc. IEEE MAPE, Beijing, China**, August. 2005. pp. 970-973.
- [20] Vivekananda Bhat K, Indranil Sengupta and Abhijit Das. "Audio Watermarking Base on Quantization in Cepstrum Domain." **Proc. ADCOM, Chennai, India**, December. 2008. pp. 73-77.
- [21] Meenakshi R. Patil. and S.D. Apte. "SNR Based Audio Watermarking Scheme for Blind Detection." **Proc. ICETET, Nagpur, India**, July. 2008. pp. 1278-1283.
- [22] Xu Da-Wen, Wang Rang-Ding and Bao Ji-Long. "A blind Audio Watermarking Algorithm Based on Convolutional Code." **Proc. ICSP, Guilin, China**, November. 2006. pp. 812-814.
- [23] Wang Rangding, Xu Dawen, Chen Jiner and Du Chengtou. "Digital Audio Watermarking Algorithm Based on Linear Predictive Coding in Wavelet Domain." **Proc. ICSP, Istanbul, Turkey**, December. 2004. pp. 2393-2396.

- [24] W. Lanxun, Y. Chao, and P. Jiao. "An Audio Watermark Embedding Algorithm Base on Mean-Quantization in Wavelet Domain." **Proc. ICEMI, Xi'an, China**, August. 2007. pp. 423-425.
- [25] S. Kaengin, S. Pathoumvanh and S. Airphai boon. "Binary Image Watermarking on Audio Signal using Mean-Quantization and Wavelet Transform." **Proc. ISBME, Bangkok, Thailand**, November. 2008. pp. 5-8.
- [26] R. K. Young. **Wavelet Theory and Its Applications**. Boston : Kluwer Academic Publishers. 1993.
- [27] O. Rioul and P. Duhamel. "Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transform." **IEEE Trans. on Information Theory.**, vol. 38. no. 2, March. 1992. pp. 569-586.
- [28] I. Daubechies. "Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets." **Communication in Pure and Applied Mathematics.**, vol. 41, pp. 909-996.
- [29] Charles K. Chui. **An Introduction to Wavelet**. San Diego : Academic Press. 1992.
- [30] Tan Chee Kwong, Shamsudin H.M. Amin, Rosbi Mamat and Jozsef K. Tar. "Using Voting Technique in Mobile Robot Behavior Coordination for Goal-Directed Navigation." **Jurnal Teknologi.**, Jun. 2002. pp. 55-70.
- [31] Ludmila I. Kuncheva. "Fuzzy Versus Nonfuzzy in Combining Clsaaifiers Designed by Bootsting." **IEEE Trans. on Fuzzy System.**, vol. 11, no. 6, December. 2003. pp. 729-741.
- [32] Sklar B. **Digital Communications: Fundamentals and Applications**. New Jersey : Prentice-Hall International, Inc. 1988.
- [33] J. D. Gordy and L. T. Bruton. "Performance Evaluation of Digital Audio Watermarking Algorithm." **Proc. MWSCAS, Michigan, USA**, August. 2000. pp. 456-459.
- [34] Schneier B. **Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C**. New York : John Wiley & Sons. 1994. pp. 347-356.
- [35] มนัส ตั้งวรศิลป์ และวรรินทร์ ภัทรอมรกุล. **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส. 2543. หน้า 307-332.
- [36] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. **การประมวลผลสัญญาณดิจิตอลด้วย MATLAB**. กรุงเทพฯ : วี.เจ. พรินติ้ง. 2552. หน้า 681-732.

ตัวเลขสุ่มเทียม (Pseudorandom Number) [34]

ลักษณะของตัวเลขสุ่มเทียม (Pseudorandom Number) หรือ อาจเรียกเป็น Pseudorandom Sequence หรือ Maximal-Length Shift Register Sequence หรือ m-Sequence ซึ่งเป็น Sequence ของเลขฐานสองที่มีความยาว $n = 2^m - 1$ (โดยที่ m เป็นเลขชี้กำลังสูงสุดของโพลิโนเมียล) ซึ่งจะมีการสุ่มลักษณะของตัวเลข 1 และ 0 นำมาเรียงต่อกันเป็นจำนวน n ตัว และเมื่อครบ n ตัวแล้วมันจะวนรอบกลับมาให้ค่า Sequence เหมือนรอบแรกเสมอ แต่จะมีลักษณะที่พิเศษอย่างหนึ่งของตัวเลขสุ่มเทียมนี้ คือจำนวนบิต 1 จะมากกว่าจำนวนบิต 0 อยู่ 1 ตัวเสมอ เช่น ให้ $m = 4$ ดังนั้นค่าความยาวจะเท่ากับ $2^4 - 1 = 15$ ตัว และ Sequence ที่ได้คือ 000100110101111 โดยที่จำนวนบิตที่เป็นเลข 0 มีอยู่ 7 ตัว และจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 มีอยู่ 8 ตัว

ลักษณะการสร้างตัวเลขสุ่มเทียมส่วนใหญ่จะใช้ Linear Feedback Shift Register ซึ่งจะแสดงหลักการสร้างได้ดังรูปที่ 1



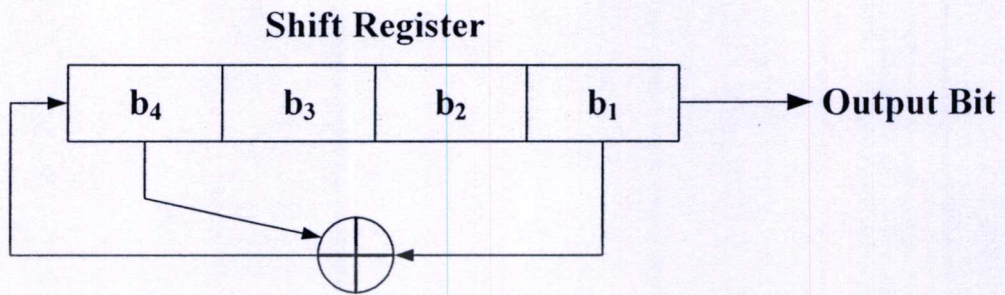
รูปที่ ก.1 ลักษณะ State ของ Linear Feedback Shift Register

จากรูปที่ 1 เป็นลักษณะของการใช้ Linear Feedback Shift Register หรือ LFSR ช่วยในการสร้างตัวเลขสุ่มเทียม ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่เป็น Shift Register และส่วนที่เรียกว่า Tap Sequence โดยที่การทำงานของ Shift Register นั้นจะทำการเลื่อนจำนวนของบิตที่เข้ามาทั้งหมดไปทางขวา 1 บิต และค่าของ Output Bit ที่ได้ใหม่ของบิตที่ถูกเลื่อนไปจะเกิดการเอ็กซ์คลูซีฟออร์กันระหว่างบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุดกับบิตที่มีนัยสำคัญมากที่สุด เช่น 4 bit LFSR โดยทำการเลือกที่ Sequence ของบิตที่ 1 และ 4 ดังรูปที่ 2 และจะทำให้ได้ค่า Output Bit ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 สามารถอธิบายสภาวะการเกิดตัวเลขสุ่มเทียมในแต่ละสภาวะได้ดังนี้ ถ้ากำหนดสภาวะแรกตามในตาราง คือสภาวะ 0 ให้มีค่าเริ่มต้นเป็น 1111 นั่นคือ ค่าของบิตที่ b_4, b_3, b_2, b_1 มีค่าเป็น 1 ทุกบิต จากนั้นในสภาวะต่อมา คือสภาวะที่ 1 จะทำการเลื่อน b_4, b_3, b_2, b_1 ทุกบิตไปทางขวา 1 บิต ซึ่งจะทำให้เหลือค่าที่อยู่ในรีจิสเตอร์มีเพียงบิตที่ b_3, b_2, b_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีค่าเป็น 111 ในสถานะที่ 1 เท่านั้น ดังนั้นบิตที่ b_4 ที่ขาดหายไปในสถานะที่ 1 จะเกิดจากการเอ็กซ์คลูซีฟออร์ระหว่างบิตที่ b_4 และ b_1 ในสถานะ 0



รูปที่ ก.2 ลักษณะ State ของ Linear Feedback Shift Register ขนาด 4 bit

ตารางที่ ก.1 สถานะในแต่ละครั้งของการสร้างตัวเลขสุ่มเทียมจากรูปที่ 2

Stage Number	State
0	1 1 1 1
1	0 1 1 1
2	1 0 1 1
3	0 1 0 1
4	1 0 1 0
5	1 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 0 1 1
8	1 0 0 1
9	0 1 0 0
10	0 0 1 0
11	0 0 0 1
12	1 0 0 0
13	1 1 0 0
14	1 1 1 0
15	1 1 1 1
Repeat	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในที่นี้ $b_4 = 1$ และ $b_1 = 1$ ดังนั้นบิต b_4 ที่เกิดขึ้นใหม่ในสถานะที่ 1 นี้คือ 0 ดังนั้นจะได้ค่าของบิตในสถานะที่ 1 ทั้งหมด คือ 0111 ต่อมาในสถานะที่ 2 จะทำการเลื่อนค่าของบิตทั้งหมดที่ได้จากสถานะที่ 1 ไปทางขวา 1 บิต ดังนั้นจะเหลือเพียงบิตที่ b_3, b_2, b_1 และมีค่าเป็น 011 ของสถานะที่ 2 ส่วนบิตที่ 4 ของสถานะที่ 2 จะเกิดจาก b_4 และ b_1 ของสถานะที่ 1 เอ็กซ์คลูซีฟออร์กัน คือ $b_4 = 0$ และ $b_1 = 1$ ดังนั้นบิตที่ 4 จะได้ค่าเป็น 1 และจะได้ค่าของบิตในสถานะที่ 2 ทั้งหมด คือ 1011 และจะกระทำแบบเดียวกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งหมดรอบ ซึ่งในรอบสุดท้ายคือในรอบที่ 15 จะซ้ำกับค่าที่สถานะที่ 0 ดังนั้นจะทำการเลือก Key ที่ State ที่ 14 เพื่อใช้ในการฝังลายน้ำ จากนั้นจึงทำการสุ่มเทียบกับบิตข้อมูลชุดถัดไป ยกตัวอย่าง Key ใน State ที่ 14 คือ 1110

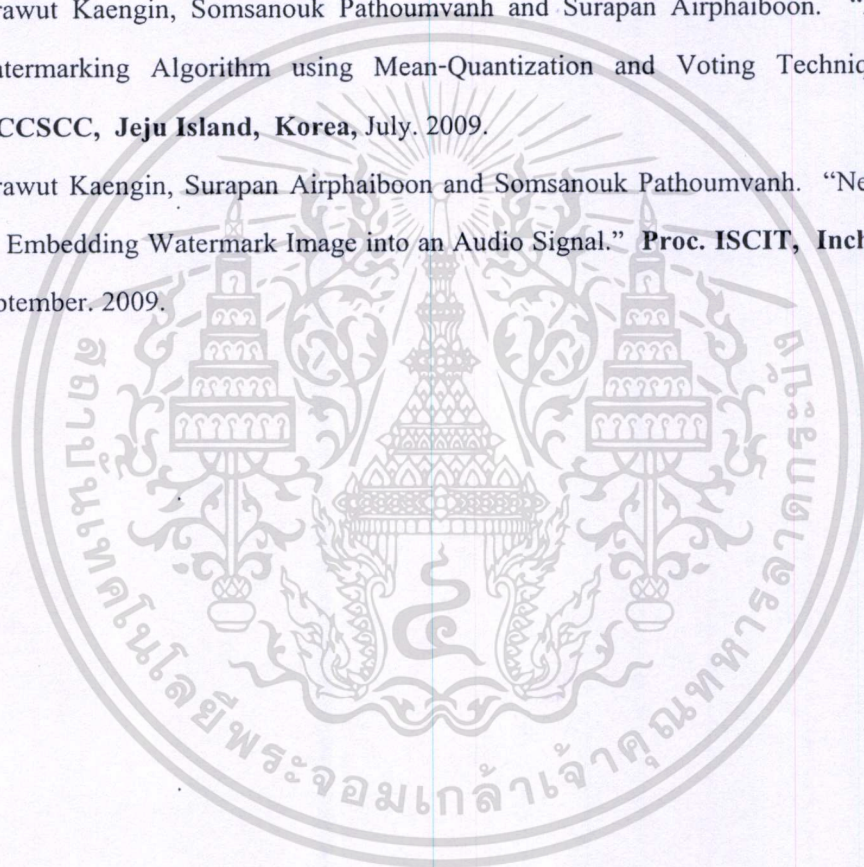
ในขั้นตอนของการทำตัวเลขสุ่มเทียบกับนั้น สามารถทำกระบวนการทั้งหมดกลับกันเพื่อที่จะหาค่าของข้อมูลเริ่มต้นได้ เพียงทราบจำนวนบิตที่ใช้ในรีจิสเตอร์ว่ามีกี่บิต และก็จะต้องทราบถึง ฟังก์ชันการป้อนกลับ และสุดท้ายก็ต้องทราบถึง Key ที่ใช้ ตัวอย่างเช่นใช้ State ที่ 14 จากตารางที่ 1 ซึ่งก็คือเลข 1110 นั่นเอง ดังนั้นก็สามารถที่จะทำกระบวนการกลับกันเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่แท้จริงโดยการ Shift ข้อมูลทั้งหมดในรีจิสเตอร์ไปทางซ้ายหนึ่งครั้ง ข้อมูลทางขวาสุด (บิตที่ 4 ใหม่) จะได้จากการเอ็กซ์คลูซีฟออร์ของบิตที่ 0 ค่าเก่าและบิตที่ 0 ค่าใหม่ ดังนั้นเมื่อทราบผลลัพธ์อยู่แล้ว คือบิตที่ 0 ค่าเก่า คือ 1 และบิตที่ 0 ค่าใหม่ คือ 1 ดังนั้นบิตที่ 4 ค่าใหม่ก็คือ 0 นั่นเอง จากนั้นก็จะทำกระบวนการเดิมซ้ำกันจนกระทั่งค่าของลำดับที่ใช้เลื่อนรีจิสเตอร์มีค่าลดลงถึงหนึ่งก็จะได้ค่าเดิมกลับมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. S. Kaengin, S. Pathoumvanh and S. Airphaiboon. "Binary Image Watermarking on Audio Signal using Mean-Quantization and Wavelet Transform." **Proc. ISBME, Bangkok, Thailand**, November. 2008. pp. 5-8.
2. S. Pathoumvanh, S. Kaengin and S. Airphaiboon. "Text Watermarking on ECG Signal Robust against Adaptive Average Beat Subtraction Compression Method." **Proc. BMEICON, Phuket, Thailand**, August. 2009. pp. 71-74.
3. Sarawut Kaengin, Somsanouk Pathoumvanh and Surapan Airphaiboon. "Audio Signal Watermarking Algorithm using Mean-Quantization and Voting Technique." **Proc. ITCCSCC, Jeju Island, Korea**, July. 2009.
4. Sarawut Kaengin, Surapan Airphaiboon and Somsanouk Pathoumvanh. "New Technique for Embedding Watermark Image into an Audio Signal." **Proc. ISCIT, Incheon, Korea**, September. 2009.



ประวัติผู้เขียน

- ชื่อผู้เขียน นายศราวุธ แก่งอินทร์
- วัน/เดือน/ปีเกิด 3 กรกฎาคม พ.ศ.2527
- ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดนครราชสีมา
- ประวัติการศึกษา 2545 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จ. นครราชสีมา
 2550 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิชาฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 2550 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้