ระเบียบวิธีตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลแบบลำดับชั้นสำหรับบริการวีดีโอ บนอินเทอร์เน็ต

A HIERARCHICAL DIGITAL WATERMARK INSPECTION SYSTEM FOR INTERNET VIDEO PUBLISHING SERVICE

อิทธิโชติ มั่งบุญทศ

ITTICHOTE MANUTED

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-IT-M-001-006

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับบริการเผยแพร่วีดีโอบนอินเทอร์เน็ต

A HIERARCHICAL DIGITAL WATERMARK INSPECTION SYSTEM FOR INTERNET VIDEO PUBLISHING SERVICE

อิทธิโชติ ม้ายอุเทศ

ITTICHOTE MAIUTED

เล่มหมู่.....
เล่มทะเบียน 87884
วันที่,เดือน,ปี 19 มี.ค. 2552

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-IT-M-001-006

A HIERARCHICAL DIGITAL WATERMARK INSPECTION SYSTEM FOR INTERNET VIDEO PUBLISHING SERVICE

ITTICHOTE MAIUTED

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2008

KMITL-2008-IT-M-001-006

COPYRIGHT 2008

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับบริการเผยแพร่วีดีโอบนอินเทอร์เน็ต

A HIERARCHICAL DIGITAL WATERMARK INSPECTION SYSTEM FOR INTERNET VIDEO PUBLISHING SERVICE

นักศึกษา นายอิทธิโชติ ม้ายอุเทศ

รหัสประจำตัว 46066702

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. นพพร โชติกกำธร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ	เพิ่มพูนธนลาภ	
รองศาสตราจารย์ ดร. นพพร	โชติกกำธร	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์บูรณ์	สถิตวิริยวงศ์	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนารัตน์	ชลิดาพงศ์	
ดร. นล	เปรมัษเฐียร	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2551 เวลา 10.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง M04 ชั้นลอย อาคารคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์บูรณ์ สถิติวิริยวงศ์)

คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

วันที่ 27 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2551

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับบริการเผยแพร่วีดีโอบนอินเทอร์เน็ต
นักศึกษา	นายอิทธิโชติ ม้ายอุเทศ
รหัสประจำตัว	46066702
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบการตรวจสอบลิขสิทธิ์วีดีโอที่นำขึ้นเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บผู้ให้บริการเผยแพร่วีดีโอสาธารณะโดยอาศัยเทคนิคด้านลายน้ำดิจิตอลและโครงสร้างการตรวจสอบไฟล์วีดีโอแบบลำดับชั้น จากข้อมูลที่ฝังด้วยลายน้ำดิจิตอลซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน cIDf (content ID forum) กระบวนการตรวจสอบกระทำ เพื่อระบุลิขสิทธิ์ของภาพวีดีโอที่ส่งมาให้ตรวจสอบจากเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการเผยแพร่วีดีโอสาธารณะ โครงสร้างของระบบประกอบไปด้วยเซิร์ฟเวอร์ระดับต่าง ๆ อันได้แก่ Root Watermark Server (RoWS) Region Watermark Server (ReWS) และ Local Watermark Server (LoWS) โดยการตรวจสอบจะเริ่มจาก RoWS และไปสิ้นสุดที่ LoWS ด้วยกระบวนการทำงานที่เป็นอิสระจากกันระหว่างเซิร์ฟเวอร์ทั้ง 3 ระดับ ทำให้สามารถรองรับการใช้งานที่เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ เพื่อเป็นการป้องกันการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพวีดีโอ ระบบที่เสนอมีกลไกของการใช้พร็อกซีเซิร์ฟเวอร์เพื่อโอนตรวจสอบ (Inspection-transfer Proxy Server: IPS) ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายต่อภาระในการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบที่แท้จริง

Thesis	A Hierarchical Digital Watermark Inspection System for Internet Video Publishing Service
Student	Ittichote Maiuted
Student ID	46066702
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Nopporn Chotikakamthorn

ABSTRACT

This thesis describes a video copyright inspection system, as applied to Internet video published by means of a public video server. The system is based on the use of digital watermarking and a hierarchical inspection structure. From data embedded by a digital watermark, structured according to the cIDf standard, the inspection process is carried out to identify copyright information of a video submitted for inspection from a public video publishing server. The system is composed of servers at different hierarchical levels, namely a Root Watermark Server (RoWS), a Region Watermark Server (ReWS), and a Local Watermark Server (LoWS). The inspection process starts from RoWS and ends at LoWS. By letting each server performs its task in a loosely coupled manner, the system is capable of scaling up to meet increasing transactions. In addition, to avoid collusion attack, the proposed system includes the use of an Inspection-transfer Proxy Server (IPS), which acts as a middle man to pass an inspection request to an actual inspection server.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะวิธีการและแนวทางในการทำวิจัย และคอยให้เทคนิค วิธีการใหม่ๆที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของท่าน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณสมาชิก MV Lab และ IME Lab ทุกๆท่านที่เป็นที่ปรึกษาและคอยให้กำลังใจเป็นอย่างดี

ขอขอบหระคุณเพื่อนๆพี่ๆน้องๆในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่เป็นกำลังใจและคอยให้คำแนะนำเวลารู้สึกท้อเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี บูรพคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อิทธิโชติ ม้ายอุเทศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.4 สมมุติฐานของการศึกษา.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....3

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....4

บทที่ 2 เทคนิคลายน้ำดิจิตอล.....5

2.1 หลักการพื้นฐานการฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล.....5

2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำดิจิตอล.....6

2.3 ประเภทของลายน้ำดิจิตอลดิจิตอล.....6

2.3.1 ลายน้ำดิจิตอลชนิดที่มองเห็นได้.....6

2.3.2 ลายน้ำดิจิตอลชนิดที่มองไม่เห็น.....6

2.3.2.1 ลายน้ำดิจิตอลแบบเปราะบาง.....7

2.3.2.2 ลายน้ำดิจิตอลแบบกึ่งเปาะบาง.....7

2.3.2.3 ลายน้ำดิจิตอลแบบทนทาน.....7

2.4 ค่าสหสัมพันธ์.....7

2.4.1 ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น.....7

2.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....8

2.4.3 ค่าสหสัมพันธ์มาตรฐาน.....8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 ตัวอย่างเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิตอล.....9
2.5.1 วิธีแอลเอสบี (LSB: Least Significant Bit).....9
2.5.2 วิธีการแผ่สเปกตรัม (Spread spectrum watermark).....9
2.5.3 การฝังลายน้ำดิจิตอลบนรูปภาพที่ไม่แปรผันตามกระบวนการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย (RST invariant spread spectrum digital watermarking) 11
2.6 การวัดคุณภาพของภาพที่ฝังลายน้ำดิจิตอล.....14
2.6.1 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR).....14
2.6.2 False negative และ False positive.....15
2.7 การโจมตีด้วนวิธีเฉลี่ยภาพ.....16

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....17
3.1 การศึกษาระบบจัดการสิทธิ์สื่อดิจิตอล (Digital Rights Management: DRM).....17
3.2 การศึกษาระบบ Watermark Resolution.....19
3.2.1 Content ID Forum (cIDf).....19
3.2.2 Watermark Resolution.....20

บทที่ 4 ระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้น.....23
4.1 โครงสร้างของรหัสสื่อดิจิตอล (Content ID).....23
4.2 องค์ประกอบของระบบ.....24
4.3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอล.....25
4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล.....26
4.5 การโจมตีและวิธีการแก้ไข.....27
4.5.1 สมมุติฐานเกี่ยวกับการโจมตี.....27
4.5.2 การโจมตีโดยวิธีการบิดเบือนภาพด้วยการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย.....27
4.5.3 การโจมตีด้วยวิธรการเฉลี่ยภาพ.....28
4.5.4 การโจมตีด้วยวิธี Denial of Service (DoS).....30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลอง....31

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....31

5.2 การทดลอง....31

5.2.1 การทดลองเพื่อหาค่ากำลังของลายน้ำดิจิตอลที่เหมาะสม....32

5.2.1.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....32

5.2.1.2 วิธีการทดลอง....32

5.2.1.3 ผลการทดลอง....32

5.2.1.4 สรุปผลการทดลอง....34

5.2.2 การทดลองเกี่ยวกับการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ 34

5.2.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....34

5.2.2.2 วิธีการทดลอง....34

5.2.2.3 ผลการทดลอง....34

5.2.2.4 สรุปผลการทดลอง....36

5.2.3 การทดลองหาจำนวนการเกิด False positive ของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์....37

5.2.3.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....37

5.2.3.2 วิธีการทดลอง....38

5.2.3.3 ผลการทดลอง....38

5.2.3.4 สรุปผลการทดลอง....38

5.2.4 การทดลองหาความเร็วในการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์....39

5.2.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....39

5.2.4.2 วิธีการทดลอง....40

5.2.4.3 ผลการทดลอง....40

5.2.4.4 สรุปผลการทดลอง....44

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....45

6.1 สรุปผลการวิจัย....45

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต....45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....47
ภาคผนวก.....49
ภาคผนวก ก.บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....50
ประวัติผู้เขียน.....55

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 แสดงค่า PSNR ค่ากำลังของลายน้ำ และผลการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบรวมศูนย์.....32

5.2 จำนวนการเกิด false positive ของการตรวจสอบแบบรวมศูนย์และแบบลำดับชั้น.....38

5.3 เวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่มีลายน้ำของระบบตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์.....40

5.4 เวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่ไม่มีลายน้ำของระบบตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์.....41

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระบวนการฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล.....5

2.2 การฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม.....10

2.3 การตรวจจับลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม.....11

2.4 ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคที่ไม่แปรผันตามการหมุน การปรับขนาด และ การเคลื่อนที่.....13

2.5 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคที่ไม่แปรผันตามการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนที่.....14

3.1 องค์ประกอบของระบบจัดการสื่อดิจิตอล.....18

3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการสื่อดิจิตอล.....18

3.3 โครงสร้างรหัสสื่อดิจิตอล.....19

3.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ Watermark Resolution.....21

4.1 โครงสร้างรหัสสื่อดิจิตอล.....23

4.2 โครงสร้างแบบลำดับชั้นของสื่อดิจิตอล.....24

4.3 ขั้นตอนการการฝังลายน้ำ.....25

4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล.....26

4.5 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลในระบบที่มี IPS.....29

5.1 ตัวอย่างรูปภาพที่ใช่ในการทดลอง.....31

5.2 ตัวอย่างภาพก่อนฝังลายน้ำและหลังฝังลายน้ำแล้ว.....33

5.3 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำเหมือนกัน.....35

5.4 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำเหมือนกัน.....35

5.5 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำต่างกัน.....36

5.6 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำต่างกัน.....36

5.7 กราฟแสดงเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่มีลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์.....41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.8 กราฟแสดงเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่ไม่มีลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์.....42

5.9 กราฟแสดงเวลาในการตรวจสอบภาพที่มีลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์ (ก) จำนวนลายน้ำที่ตรวจสอบ 1,000 ลายน้ำ (ข) จำนวนลายน้ำที่ตรวจสอบ 5,000 ลายน้ำ (ค) จำนวนลายน้ำที่ตรวจสอบ 10,000 ลายน้ำ.....43

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีด้านซอฟท์แวร์ (Software) ฮาร์ดแวร์ (Hardware) คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตมากขึ้น วีดีโอที่อยู่ในรูปแบบดิจิตอลเป็นข้อมูลประเภทหนึ่งที่ถูกเข้าถึงและบางครั้งมีการนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับการอนุญาตจากเจ้าของ ซึ่งช่องทางหนึ่งในการเผยแพร่ก็คือการเผยแพร่สื่อประเภทวีดีโอผ่านเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการนำเสนอ เช่น ยูทูป เป็นต้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการนำวีดีโอที่มีลิขสิทธิ์มาเผยแพร่ผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยไม่ได้รับการยินยอมจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่ผิดกฎหมาย และการควบคุมนั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากเนื่องจากในแต่ละวันมีการอัพโหลดวีดีโอจำนวนมากไปไว้ที่ไว้เซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซต์ต่างๆ เพื่อเผยแพร่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเจ้าของลิขสิทธิ์เองทั้งในด้านของยอดขายวีดีโอและยังเป็นการการละเมิดลิขสิทธิ์อีกด้วย ดังนั้นเจ้าของเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการนำเสนอจึงหาวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้เพื่อที่จะป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และป้องกันการฟ้องร้องจากเจ้าของลิขสิทธิ์ด้วย

การตรวจสอบวีดีโอที่เผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ที่เป็นสื่อกลางนั้น ปัจจุบันมีการตรวจสอบโดยการให้ผู้ที่ใช้บริการและผู้ที่มีหน้าที่ตรวจสอบ เป็นผู้ส่งคำร้องไปยังผู้ที่ดูแลระบบเพื่อที่จะทำการตรวจสอบ และทำการลบวีดีโอดังกล่าวออกจากเซิร์ฟเวอร์และงดการเผยแพร่ ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้ไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากปริมาณวีดีโอที่มีการอัพโหลดในแต่ละวันนั้นมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีวีดีโอที่มีลิขสิทธิ์ถูกนำมาเผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์ต่างๆ

แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาข้างต้นได้แก่การสร้างระบบที่สามารถตรวจสอบข้อมูลลิขสิทธิ์ของวีดีโอที่นำขึ้นเผยแพร่ได้โดยอัตโนมัติ ก่อนที่จะทำการเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ต่อไป โดยนำเทคนิคทางด้านลายน้ำดิจิตอล (Digital Watermarking) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอ เนื่องจากลายน้ำดิจิตอลมีความทนทานต่อการโจมตีสูง แต่อย่างไรก็ตามระบบการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอด้วยลายน้ำดิจิตอลนั้น โดยทั่วไปเมื่อต้องการทำการตรวจสอบก็จะส่งเฟรมวีดีโอไปตรวจสอบยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบ ซึ่งการตรวจสอบจะช้าหรือเร็วนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนลายน้ำดิจิตอลที่ได้ทำการลงทะเบียนไว้กับระบบว่ามีมากหรือน้อย โดยที่จำนวนลายน้ำที่ลงทะเบียนจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนเจ้าของลิขสิทธิ์วีดีโอที่ลงทะเบียนเพื่อใช้งานระบบตรวจสอบ

ดังนั้นถ้ามีจำนวนผู้ที่เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์วีดีโอมากการตรวจสอบก็จะทำได้ช้า และนอกจากนี้การตรวจสอบกับลายน้ำจำนวนมากอาจทำให้เกิดการผิดพลาดในการตรวจสอบได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาข้างต้น ด้วยระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้น ซึ่งสามารถรองรับปริมาณของผู้ที่เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์วีดีโอที่ต้องการเข้าสู่ระบบการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอก่อนทำการเผยแพร่ได้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังนำการใช้เซิร์ฟเวอร์ที่เป็นตัวกลางในการจ่ายต่อภาระการทำงานไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ที่แท้จริงเข้ามาใช้ด้วย เพื่อป้องกันปัญหาด้านการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพวีดีโอ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษางานวิทยานิพนธ์นี้คือ เพื่อทำการศึกษาและพัฒนาระบบในการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอที่ทำการอัพโหลดเข้าไปที่เว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการเผยแพร่ อย่างอัตโนมัติ ก่อนที่จะทำการเผยแพร่ โดยสามารถสรุปวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของภาพวีดีโอโดยอาศัยลายน้ำดิจิตอล ซึ่งมีความสามารถในการรองรับการตรวจสอบปริมาณมากได้
2. ทำการพัฒนาเทคนิคเพื่อป้องกันการโจมตีในรูปแบบต่าง ๆ ต่อระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการโจมตีแบบเฉลี่ยภาพ
3. ประยุกต์ใช้เทคนิคลายน้ำดิจิตอลที่มีความทนทานต่อการปรับเปลี่ยนภาพเชิงเรขาคณิต เพื่อนำมาใช้งานกับระบบตรวจสอบฯ ข้างต้น

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอที่ทำการอัพโหลดไปที่เซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการเผยแพร่วีดีโอเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของวีดีโอที่อัพโหลดนั้นมีจำนวนมากและอีกเหตุผลหนึ่งคือ การที่ไม่สามารถระบุได้ว่าวีดีโอนั้นมีลิขสิทธิ์หรือไม่ และเป็นลิขสิทธิ์ของใคร ซึ่งอาจเกิดจากการถูกทำลายข้อมูลที่ระบุถึงลิขสิทธิ์นั้นจากผู้ที่ไม่ประสงค์ดี ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบว่าวีดีโอดังกล่าวมีลิขสิทธิ์หรือไม่ งานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาข้างต้นโดยจะนำเทคนิคด้านลายน้ำดิจิตอลเข้ามาใช้ในการยืนยันข้อมูลลิขสิทธิ์ของวีดีโอ โดยใช้เทคนิคที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงในเชิงเรขาคณิต และการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ นอกจากนั้นยังเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบโดยระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical watermark)

สำหรับปัญหาในการดึงลายน้ำดิจิตอลออกจากวีดีโอโดยการนำเอาภาพเฟรมวีดีโอของวีดีโอที่ส่งไปตรวจที่เซิร์ฟเวอร์เดียวกันมาทำการเฉลี่ยเพื่อหาลายน้ำดิจิตอลแล้วทำการดึงลายน้ำออกมาจาก

วีดีโอ นั้นสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้เซิร์ฟเวอร์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบจริง โดยได้นำแนวความคิดที่ว่า ถ้านำภาพที่มีลายน้ำอันเดียวกันจำนวนมากมาหาค่าเฉลี่ยแล้วจะทำให้สามารถหาค่าที่ใกล้เคียงลายน้ำที่อยู่ในภาพนั้นๆได้ แต่ถ้าภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำที่แตกต่างกันก็จะไม่สามารถหาค่าของลายน้ำออกมาได้ ดังนั้นเมื่อผู้ที่ไม่ประสงค์ดีต้องการที่จะถอดลายน้ำออกจากวีดีโอ โดยการรวบรวมภาพเฟรมของวีดีโอที่ส่งไปที่ยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งต่อการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่มีหน้าที่ตรวจสอบที่แท้จริงตัวเดียวกันมาทำการหาภาพเฉลี่ย แล้วนำภาพเฉลี่ยดังกล่าวไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำ แต่เนื่องจากเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นตัวกลางตัวเดียวกันไม่จำเป็นต้องส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบที่แท้จริงตัวเดียวกัน ดังนั้นภาพเฉลี่ยที่หามาได้นั้นก็เป็นภาพที่มาจากภาพที่มีลายน้ำต่างกัน เมื่อนำไปลบออกจากภาพเฟรมวีดีโอก็ไม่สามารถถอดลายน้ำออกได้

1.4 สมมุติฐานของการศึกษา

สมมุติฐานของการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้มีดังนี้

1. การใช้การตรวจสอบลิขสิทธิ์แบบลำดับชั้นจะสามารถรองรับปริมาณวีดีโอได้เป็นจำนวนมาก และมีความรวดเร็วกว่าการตรวจสอบที่ที่
2. การใช้เซิร์ฟเวอร์ตัวกลางในการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นเซิร์ฟเวอร์จริงที่ใช้ในการตรวจสอบ สามารถแก้ปัญหาการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพวีดีโอได้
3. การใช้การตรวจสอบลิขสิทธิ์แบบลำดับชั้นจะสามารถลดการผิดพลาดในการตรวจสอบในกรณีที่ วีดีโอนั้นไม่มีลายน้ำดิจิตอลแต่เมื่อทำการตรวจสอบแล้ว แสดงผลว่ามีลายน้ำดิจิตอล (false positive)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบในการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอที่ทำการเผยแพร่ผ่านทางเว็บไซด์ด้วยเทคนิคลายน้ำดิจิตอล โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็ป (MATLAB) โดยที่ขอบเขตของการวิจัย จะใช้ภาพที่มีขนาดเท่าภาพเฟรมวีดีโอ MPEG – 1 ซึ่งมีขนาดความกว้างของภาพเท่ากับ 320 พิกเซล และความสูงเท่ากับ 240 พิกเซล

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย จุดประสงค์ และขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

3. ศึกษาระบบต่างๆ ที่มีอยู่รวมถึงแนวคิด หลักการ ข้อดี และข้อบกพร่องของแต่ละระบบ
4. ศึกษาปัญหา และวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น
5. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบการทดลอง
6. ทำการทดลอง ปรับปรุง และสรุปผล
7. จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของลายน้ำดิจิตอล

บทที่ 3 กล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นงานวิจัยในด้านการตรวจสอบวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้น

บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมา

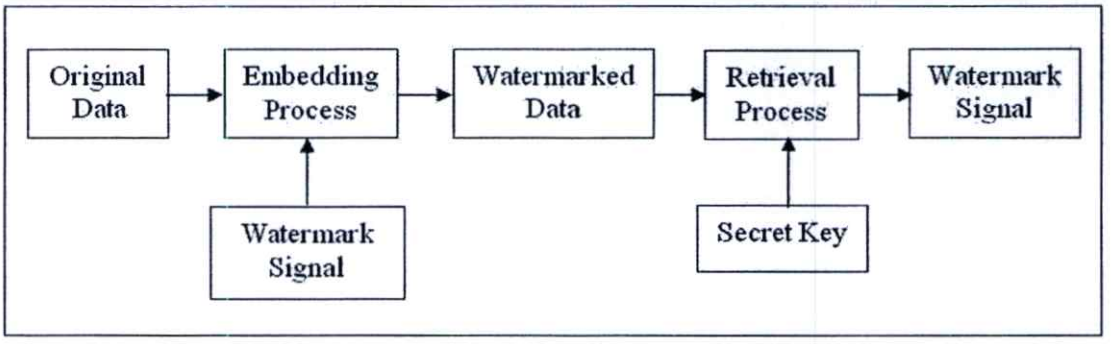
บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
เทคนิคลายน้ำดิจิตอล

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิตอล รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิตอลลงไปในสื่อประเภทรูปภาพ คุณสมบัติที่สำคัญสำหรับลายน้ำดิจิตอล ตัวอย่างวิธีการฝังและการตรวจจับลายน้ำดิจิตอลวิธีต่างๆ

2.1 หลักการพื้นฐานการฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล [1]

ลายน้ำดิจิตอล (Digital watermark) เป็นรูปแบบหนึ่งของการซ่อนข้อมูลลงในสื่อต่างๆ เช่น เสียง วีดีโอ รูปภาพ หรือเอกสาร ซึ่งส่วนใหญ่มักนิยมใช้กับรูปภาพเพื่อซ่อนข้อมูลบางอย่างที่ใช้แสดงลิขสิทธิ์ความเป็นเจ้าของ ซึ่งส่วนสำคัญของการทำลายน้ำดิจิตอลนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของการฝังข้อมูล (Embedder) ซึ่งเป็นส่วนในการฝังข้อมูลเข้าไปในรูปภาพ และอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนตรวจจับข้อมูลลายน้ำดิจิตอล (Detector) ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจจับและถอดข้อมูลลายน้ำดิจิตอลออกมาจากรูปภาพนั้น ๆ โดยที่หากมีการเข้ารหัสข้อมูลไว้ ก็จะต้องมีกระบวนการในการถอดรหัสด้วยโดยใช้รหัสลับ ที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลมาใช้ในการถอดรหัส ซึ่งเมื่อผ่านการถอดรหัสและการถอดข้อมูลแล้วก็จะได้ข้อมูลลายน้ำดิจิตอลตามที่ได้บรรจุลงไปดังแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล

2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำดิจิตอล [1][2][3][4]

ลายน้ำดิจิตอลควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ดังนี้

1. ความทนทาน (Robustness): ข้อมูลลายน้ำดิจิตอลควรจะคงอยู่ในรูปภาพนั้นๆ ไม่ว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับรูปภาพนั้นก็ตาม เช่นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของรูปภาพ การโจมตีจากผู้ที่ต้องการจะทำลายรูปภาพเหล่านั้น การบีบอัดข้อมูล การพิมพ์ภาพและการถ่ายภาพ เป็นต้น

2. การไม่ทำให้คุณสมบัติของภาพต้นฉบับสูญเสียไป (Imperceptibility): คือรูปภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิตอลแล้ว และรูปภาพต้นฉบับจะต้องไม่แตกต่างกันหรือไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทการรับรู้ของมนุษย์ทั่วไปได้โดยง่าย ซึ่งวิธีที่จะทำให้ข้อมูลลายน้ำดิจิตอลไม่ทำให้คุณสมบัติของภาพต้นฉบับสูญเสียไปคือ การควบคุมกำลังงานของข้อมูลลายน้ำดิจิตอลให้มีค่าน้อยไม่เกินขีดระดับความสามารถในการรับรู้ของมนุษย์

3. ปริมาณข้อมูลที่สามารถบรรจุได้ (Capacity): รูปภาพที่ทำลายน้ำดิจิตอล ควรจะสามารถฝังข้อมูลได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตามความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้

โดยที่คุณสมบัติที่สำคัญทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะมีคุณสมบัติที่แปรผกผันซึ่งกันและกัน เช่นหากต้องการให้ข้อมูลมีความทนทานสูงและฝังข้อมูลลายน้ำดิจิตอลได้มากมีความจำเป็นต้องเพิ่มกำลังของลายน้ำให้สูง ซึ่งมีผลให้คุณสมบัติของภาพต้นฉบับเสียไป

2.3 ประเภทของลายน้ำดิจิตอล [1] [2]

ลายน้ำดิจิตอลสามารถจำแนกตามคุณสมบัติในการซ่อนตัวได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.3.1 ลายน้ำดิจิตอลชนิดมองเห็นได้ (Visible Watermarking)

เป็นลายน้ำดิจิตอลที่มองเห็นได้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงสิทธิ์ในการเป็นเจ้าของในสื่อดิจิตอล โดยลายน้ำดิจิตอลที่มองเห็นได้จะมีลักษณะเป็นภาพซ้อนที่จะใส่เข้าไปในภาพหลักที่ต้องการ โดยเมื่อใส่เข้าไปแล้วตัวลายน้ำดิจิตอลจะต้องรบกวนภาพหลักที่มีอยู่ให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ คือยังมองเห็นลักษณะเดิมของภาพหลักได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างของลายน้ำดิจิตอลที่มองเห็นได้ เช่น สัญลักษณ์ของสถานีโทรทัศน์ตรงมุมขวาล่างของหน้าจอโทรทัศน์ ซึ่งหากมีการบันทึก ภาพสัญลักษณ์ก็ยังคงแสดงอยู่ทำให้สามารถแสดงได้ว่ารายการที่ถูกบันทึกหรือคัดลอกนั้นมาจากสถานีโทรทัศน์ช่องใด

2.3.2 ลายน้ำดิจิตอลชนิดที่มองไม่เห็น (Invisible Watermarking)

ลายน้ำดิจิตอลชนิดมองไม่เห็น เป็นลายน้ำดิจิตอลที่ใส่เข้าไปในภาพแล้วไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้ แต่สามารถตรวจสอบโดยใช้เทคนิคทางการประมวลสัญญาณ ซึ่งใช้ในด้านการตรวจสอบความเป็นเจ้าของในผลงานนั้นๆ สำหรับข้อได้เปรียบของลายน้ำดิจิตอลที่มองไม่เห็นเมื่อ

เทียบกับลายน้ำดิจิตอลที่มองเห็นได้คือ หลังจากที่ฝังลายน้ำแล้วยังคงรักษาความงามและคุณค่าของภาพไว้

นอกจากนี้การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลชนิดมองไม่เห็นยังแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานดังนี้

2.3.2.1 ลายน้ำดิจิตอลแบบเปราะบาง (Fragile watermark)

การทำภาพลายน้ำแบบนี้จะง่ายต่อการโจมตี คือ หากข้อมูลมัลติมีเดียนั้นมีการปรับปรุงแก้ไข ก็จะทำให้ลายน้ำที่อยู่ในข้อมูลมัลติมีเดียนั้นถูกทำลายหรือสูญเสียไป วิธีการนี้เหมาะที่จะใช้ในการพิสูจน์ว่าข้อมูลที่มีการเผยแพร่อยู่นั้นเป็นตัวจริง และยังไม่ได้ถูกดัดแปลงหรือแก้ไข

2.3.2.2 ลายน้ำดิจิตอลแบบกึ่งเปราะบาง (Semi-Fragile watermark)

การทำภาพลายน้ำแบบนี้เป็นลายน้ำดิจิตอลที่คงทนต่อการโจมตีแบบต่าง ๆ ได้ในระดับหนึ่ง จนกว่าที่ข้อมูลของภาพดิจิตอลนั้นได้เสียไปเองซึ่งเกิดจากการแปลงเชิงเรขาคณิต การแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงด้วยการตัดแบ่งภาพเป็นต้น

2.3.2.3 ลายน้ำดิจิตอลแบบทนทาน (Robust watermark)

การทำภาพลายน้ำแบบนี้จะมีความคงทนต่อการโจมตี คือหากมีการแก้ไขเปลี่ยนแปลง ลายน้ำที่มีอยู่ในภาพจะยังคงอยู่กับภาพและสามารถเรียกคืนกลับมาได้ อย่างไรก็ตามสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้อาจถูกทำลายลงได้ แต่คุณภาพของภาพที่มีลายน้ำนั้นจะต้องเสียหายไปด้วยเช่นกัน

2.4 ค่าสหสัมพันธ์ [1]

ในการตรวจหาลายน้ำดิจิตอลที่ซ่อนอยู่ในสื่อ โดยใช้การตรวจหาจากความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ของลายน้ำที่นำมาเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ของสื่อที่นำมาตรวจหาลายน้ำนั้น โดยค่าที่คำนวณได้จะเรียกว่าค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่กำหนดไว้ ว่าค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้นั้นมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ซึ่งถ้ามากกว่าก็แสดงว่าสื่อที่นำมาตรวจสอบนั้นมีลายน้ำดิจิตอลซ่อนอยู่ และในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งก็แสดงว่าสื่อนั้นไม่มีลายน้ำดิจิตอลซ่อนอยู่

ค่าสหสัมพันธ์ที่นิยมใช้ในการตรวจสอบว่ามีลายน้ำหรือไม่ มีอยู่ 3 วิธีด้วยกันคือ

2.4.1 ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear correlation)

วิธีการนี้ ค่าที่ได้จะไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของความแปรปรวนของเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ และยังไม่ทนทานต่อการประมวลผลที่กระทำทุกๆบิตของภาพ เช่น การปรับค่าความสว่างเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.1

$$Z_{lc}\left(I_e^{'},W_k\right)=\frac{1}{N}\sum_i\sum_j I_e^{'}[i,j]W_k[i,j] \tag{2.1}$$

โดยที่ W_k แทนเวกเตอร์ลายน้ำดิจิตอล

$I_e^{'}$ แทนเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ

N แทนขนาดของลายน้ำดิจิตอล

2.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

วิธีการนี้จะมีความทนทานต่อค่าความแปรปรวนของเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไป และยังมีความทนทานต่อการกระทำใดๆกับทุกๆบิตของภาพ เช่น การปรับค่าความสว่างของภาพที่มากขึ้นหรือลดลง เป็นต้น เพราะค่าที่นำมาหาค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละเวกเตอร์จะต้องลบด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละเวกเตอร์เสมอ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2

$$Z_{cc}\left(I_e^{'},W_k\right)=\frac{\sum_i\sum_j \tilde{I}_e[i,j]\tilde{W}_k[i.j]}{\sqrt{\left(\sum_i\sum_j\left(\tilde{I}_e[i,j]\right)^2\right)\left(\sum_i\sum_j\left(\tilde{W}_k[i,j]\right)^2\right)}} \tag{2.2}$$

โดยที่ W_k แทนเวกเตอร์ลายน้ำดิจิตอล

$I_e^{'}$ แทนเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ

$\tilde{I}_e = I_e^{'} - \bar{I}_e$

$\bar{I}_e$ แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสว่างของ $I_e^{'}$

$\tilde{W}_e = W_k - \overline{W}_k$

$\overline{W}_k$ แทนค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ลายน้ำดิจิตอล W_k

2.4.3 ค่าสหสัมพันธ์มาตรฐาน (Normalized correlation)

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะได้ค่าซึ่งขึ้นกับขนาดของลายน้ำ N เพื่อให้การตรวจสอบลายน้ำสามารถกระทำโดยเทียบกับค่าขีดแบ่งที่ไม่ขึ้นกับขนาดลายน้ำ การคำนวณค่าสหสัมพันธ์อาจกระทำได้โดยใช้สมการที่ 2.3 แทน

$$Z_{nc}\left(I_e^{'},W_k\right)=\frac{\sum_i\sum_j \tilde{I}_e[i,j]\tilde{W}_k[i.j]}{\sqrt{\left(\sum_i\sum_j\left(\tilde{I}_e[i,j]\right)^2\right)\left(\sum_i\sum_j\left(\tilde{W}_k[i,j]\right)^2\right)}} * \sqrt{N} \tag{2.3}$$

โดยที่ W_k แทนเวกเตอร์ลายน้ำดิจิตอล

$I_e^{'}$ แทนเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ

$\widetilde{I}_e = I_e^{'} - \bar{I}_e$

$\bar{I}_e$ แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสว่างของ $I_e^{'}$

$\widetilde{W}_e = W_k - \overline{W}_k$

$\overline{W}_k$ แทนค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ลายน้ำดิจิตอล W_k

N แทนขนาดของลายน้ำดิจิตอล

2.5 ตัวอย่างเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิตอล

ในปัจจุบันมีวิธีการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ได้ถูกนำเสนอออกมาอย่างมากมาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป้าหมายของวิธีเหล่านั้นคือเพื่อทำการฝังลายน้ำดิจิตอลที่มีความทนทาน และความสามารถในการซ่อนข้อมูลที่ดีพอสมควร ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้งานโดยทั่วไป 3 วิธี ดังนี้

2.5.1 วิธีแอลเอสบี (LSB: Least Significant Bit) [2][4]

วิธีเอลเอสบีนี้ เป็นวิธีการที่มีแนวคิดที่ง่ายที่สุด โดยการเข้าไปแก้ไขบิตต่ำสุดของแต่ละพิกเซลภายในรูปภาพโดยตรง ด้วยการแทนที่ด้วยแต่ละบิตของลายน้ำดิจิตอล ซึ่งนับว่าเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการการคำนวณมาก แต่ขณะเดียวกันความทนทานต่อการถูกการเปลี่ยนแปลงแก้ไขบนตัวรูปภาพของวิธีการนี้ก็มีน้อย กล่าวคือหากมีการแก้ไขรูปภาพเพียงเล็กน้อยข้อมูลลายน้ำดิจิตอลที่ฝังไว้ก็จะถูกทำลายไปทันที

2.5.2 วิธีการแผ่สเปกตรัม (Spread spectrum watermark) [5]

เทคนิคการสื่อสารแบบแผ่สเปกตรัมได้ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้ในการสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัย และความถูกต้อง โดยในการสื่อสารแบบการแผ่สเปกตรัมนั้นข้อมูลที่ต้องการจะส่งออกจะถูกเข้ารหัส แล้วทำการกล้ำสัญญาณ (Modulate) เข้ากับคลื่นพาห์ (Carrier) ตลอดทั่วทั้งแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลที่ส่งไปนั้นมีความทนทานและปลอดภัยสูงขึ้น อีกทั้งยังยากต่อการตรวจจับด้วยเนื่องจากว่าไม่จำเป็นต้องใช้กำลังส่งสูงจนเกินไป

สำหรับการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม ก็สามารถทำได้ด้วยหลักการเดียวกัน โดยขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

โดยข้อมูลที่ต้องการจะฝังลายน้ำดิจิตอลแต่ละบิต จะถูกนำมากล้ำสัญญาณกับสัญญาณสุ่มแบบเสมือน (Pseudo-random signal) และนำไปปรับขนาดกำลังของลายน้ำดิจิตอลก่อนจะนำไปฝังลงในรูปภาพ โดยถ้ากำหนดให้ตำแหน่งของการฝังลายน้ำดิจิตอลคือ p_i^e , $i = 1, 2, \ldots, N$ โดยที่ N คือ

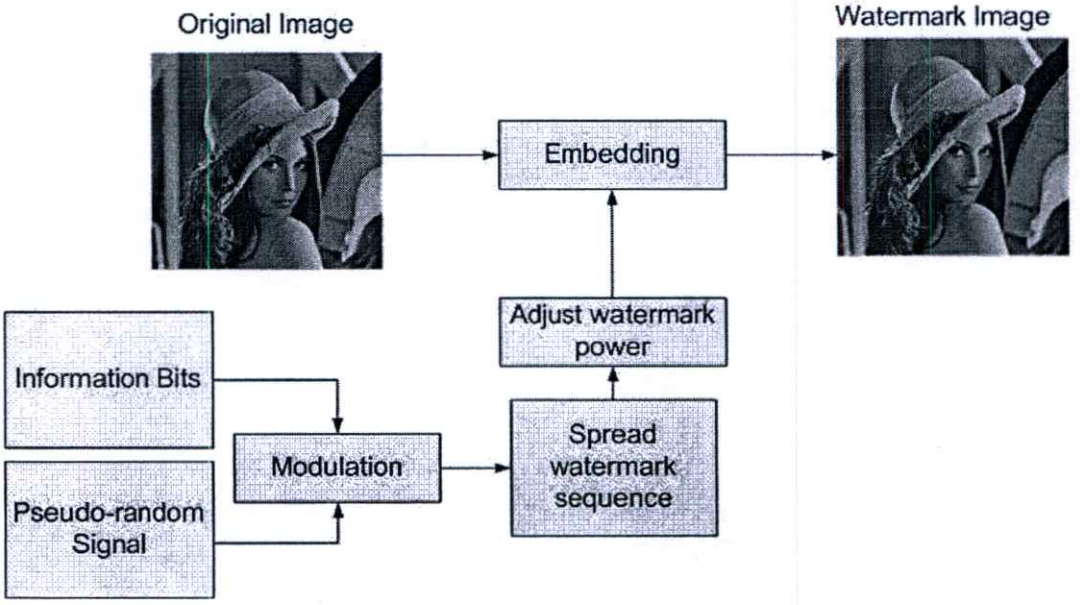
จำนวนบิตของลายน้ำดิจิตอล และให้ลายน้ำดิจิตอลคือ $W_i \in \{-1, 1\}$, แล้วรูปภาพที่ฝังลายน้ำดิจิตอล $I_e(x_i, y_i)$สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.4

$$I_e(x_i, y_i) = I(x_i, y_i) + (\alpha \cdot W_i) \tag{2.4}$$

โดยที่ $I(x_i, y_i)$ แทนรูปภาพก่อนการฝังลายน้ำดิจิตอล

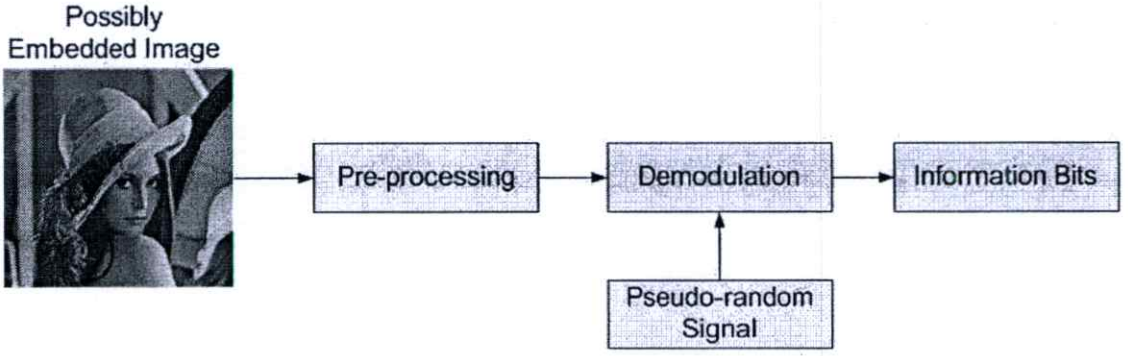
(x_i, y_i) แทนตำแหน่งของการฝังลายน้ำดิจิตอล p_i^e

α แทนค่ากำลังของลายน้ำดิจิตอล



รูปที่ 2.2 การฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม

สำหรับขั้นตอนในการตรวจจับลายน้ำดิจิตอลนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 กล่าวคือรูปภาพที่คาดว่ามีการฝังลายน้ำดิจิตอลเอาไว้ จะถูกนำมาผ่านกระบวนการเตรียมการประมวลผล (Preprocessing) โดยการแยกเอาค่าความสว่างของรูปภาพในตำแหน่งที่ฝังลายน้ำดิจิตอลออกมาจากรูปภาพ ซึ่งในขั้นตอนนี้ถ้าหากมีรูปภาพต้นฉบับอยู่แล้วจะสามารถนำมาหาค่าความแตกต่างของของความสว่างของทั้งสองรูปภาพ ซึ่งมีผลให้การตรวจจับลายน้ำดิจิตอลมีความถูกต้องมายิ่งขึ้นจากนั้นนำค่าความสว่างที่คัดแยกออกมาได้มาทำการแยกสัญญาณ (Demodulate) กับสัญญาณสุ่มแบบเสมือน (Pseudo-random signal)



รูปที่ 2.3 การตรวจจับลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม

โดยในการพิจารณาการมีอยู่ของลายน้ำดิจิตอลสามารถหาได้โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation coefficient) ระหว่างข้อมูลรูปภาพที่ต้องการตรวจจับลายน้ำดิจิตอลและข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม โดยใช้สมการที่ 2.2 หรือ 2.3 โดยการตรวจสอบจะถือว่าตรวจพบลายน้ำดิจิตอลเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเกินกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ตั้งไว้

วิธีการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัมนี้ เป็นวิธีที่มีความทนทานต่อการใช้งานสูง และเป็นที่นิยมนำไปใช้ในช่องทางการสื่อสารที่ต้องการความทนทานของลายน้ำดิจิตอลสูง

2.5.3 การฝังลายน้ำดิจิตอลบนรูปภาพที่ไม่แปรผันตามกระบวนการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย (RST invariant spread spectrum digital watermarking) [6]

วิธีการนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการเข้ารหัสแบบการแผ่สเปกตรัม (Spread spectrum) ร่วมกับการแปลงแบบไม่แปรผัน (Transform-based invariant) ซึ่งใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform) ในพิกัดลอการิธึมเชิงขั้ว (Log-Polar coordinate) พิจารณาสมการที่ 2.5

$$F(h,k)=\sum_{x=1}^{x}\sum_{y=1}^{y} I(x,y)\cdot e^{-j\left(\frac{2\pi xh}{N_1}+\frac{2\pi yk}{N_2}\right)} \tag{2.5}$$

เมื่อ $F(h,k)$ คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform: DFT)

การเคลื่อนที่ใดๆของรูปภาพในโดเมนปกติจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนของเฟสในโดเมนความถี่ ตามสมการที่ 2.6

$$F(h,k)\cdot e^{-j(\alpha h+\beta k)} \leftrightarrow I(x+\alpha, y+\beta) \tag{2.6}$$

การปรับขนาดในโดเมนของรูปภาพทำให้เกิดการผันกลับการปรับขนาด (Inverse scaling) ในโดเมนความถี่ดังสมการที่ 2.7

$$\frac{1}{\rho}F\left(\frac{h}{\rho},\frac{k}{\rho}\right)\leftrightarrow I(\rho x,\rho y) \tag{2.7}$$

การหมุนในโดเมนรูปภาพทำให้เกิดผลลัพธ์เช่นเดียวกันในโดเมนความถี่ ดังสมการที่ 2.8

$$F(h\cos\theta+k\sin\theta,-h\sin\theta+k\cos\theta)\leftrightarrow I(x\cos\theta+y\sin\theta,-x\sin\theta+y\cos\theta) \tag{2.8}$$

จากสมการที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ใดๆที่เกิดขึ้นกับรูปภาพในโดเมนปกติจะไม่ส่งผลใดๆต่อค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงในโดเมนความถี่ (จะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในองค์ประกอบของเฟสในโดเมนความถี่เท่านั้น) ดังนั้นในเทคนิคที่มีการคำนวณหาลายน้ำดิจิตอลที่กระทำในโดเมนความถี่จึงมีลักษณะที่ไม่แปรผันตามการเคลื่อนที่ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ จึงเป็นแนวทางในการสร้างลายน้ำดิจิตอลที่ไม่ผันแปรตามการหมุนและการปรับขนาดโดยการปรับรูปแบบของกระบวนการทั้งสองให้อยู่ในรูปแบบของการเคลื่อนที่ โดยกำหนดให้

$$y=e^{\mu}\sin\theta \tag{2.9}$$

$$x=e^{\mu}\cos\theta \tag{2.10}$$

โดยที่ $(x,y)\in\Re^2,\mu\in\Re$ และ $0\le\theta<2\pi$

ตำแหน่ง (x,y) ใดๆในพิกัดเชิงเส้นจะมีตำแหน่ง (μ,θ) ในพิกัดลอการิธึมเชิงขั้วที่ตรงกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น ดังนั้นกระบวนการปรับขนาดและการหมุนเมื่อแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดลอการิธึมเชิงขั้วดังกล่าวจะได้ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ

$$(\rho x,\rho y)\leftrightarrow(\mu+\log\rho,\theta) \tag{2.11}$$

$$(x\cos\delta+y\sin\delta,-x\sin\delta+y\cos\delta)\leftrightarrow(\mu,\theta+\delta) \tag{2.12}$$

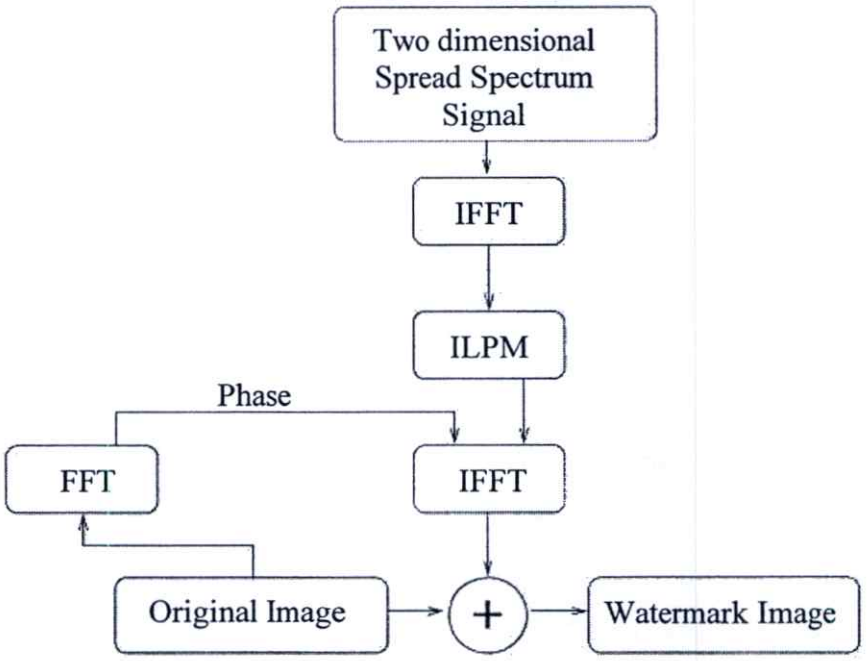
จากสมการที่ 2.11-2.12 จะเห็นได้ว่ากระบวนการปรับขนาดและการหมุนใดๆที่เกิดขึ้นกับรูปภาพในพิกัดเชิงเส้นปรกติจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ในพิกัดลอการิธึมเชิงขั้ว และจากสมการที่ 2.6 ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ใดๆของรูปภาพจะไม่ส่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง

ในโดเมนความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นโดยการประยุกต์ใช้การแปลงแบบไม่ผันแปรในระบบพิกัดลอการิธึมเชิงขั้วนี้จะทำให้ลายน้ำดิจิตอลสามารถถูกตรวจสอบพบได้ในโดเมนความถี่โดยไม่ต้องมีกระบวนการผันกลับ ซึ่งในกรณีของการใช้การแปลงฟูเรียร์ในพิกัดดังกล่าวจะมีผลเท่ากับการใช้การแปลงฟูเรียร์-เมลลิน (Fourier-Mellin transformation) ดังสมการที่ 2.13

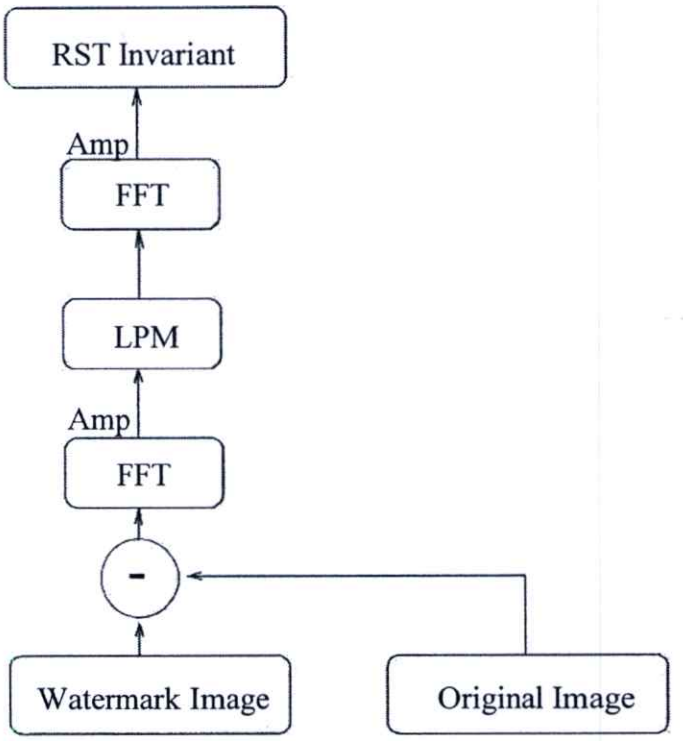
$$F_M(h,k) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{0}^{2\pi} I\left(e^{\mu}\cos\theta, e^{\mu}\sin\theta\right)\cdot e^{j(h\mu+k\theta)}\,d\mu d\theta \qquad (2.13)$$

โดยที่ $F_M(h,k)$ คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์-เมลลิน ซึ่งโมดูรัส (Modulus) ที่ได้จากการแปลงคือส่วนที่ไม่แปรผันของการปรับขนาดและการหมุน

รูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงโครงร่างของการซ่อนลายน้ำและการตรวจสอบลายน้ำ ด้วยเทคนิคดังที่กล่าวมาข้างต้น ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคที่ไม่แปรผันตามการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคที่ไม่แปรผันตามการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนที่

โดยที่ FFT และ IFFT คือ Fast Fourier Transform และ Inverse Fast Fourier Transform ตามลำดับ สำหรับ LPM และ ILPM คือ Log-Polar Mapping และ Inverse Log-Polar Mapping ตามลำดับ

นอกจากนี้แล้วยังได้มีการใช้ Template Matching เข้ามาร่วมกับวิธี RST Invariant โดยที่ Template คือข้อมูลที่ไม่มีความหมาย ซึ่งถูกฝังลงไปยังรูปภาพเพื่อช่วยเหลือในการหาค่าการบิดเบือนของรูปภาพเพื่อนำรูปภาพกลับคืนเหมือนเดิม [7]

2.6 การวัดคุณภาพของภาพที่ฝังลายน้ำดิจิตอล

การวัดคุณภาพของกระบวนการการทำลายน้ำดิจิตอลนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

2.6.1 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

การหาค่า PSNR เป็นเป็นค่ามาตรฐานที่บ่งบอกถึงคุณภาพที่เปลี่ยนระหว่างภาพสองภาพมาใช้ในการเปรียบเทียบกัน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า PSNR ตามสมการที่ 2.14

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{R^2}{MSE}\right) \tag{2.14}$$

โดยที่ R คือ ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของพิกเซลในภาพ ในที่นี้ก็คือค่าสูงสุดที่ข้อมูลขนาด 8 บิต สามารถแสดงได้ นั่นคือ 255 (คิดในกรณีของรูปภาพแบบ grayscale)

MSE คือ ค่า Mean Square Error (MSE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

$$MSE = \frac{\sum_{M,N}[Org(m,n) - Wmk(m,n)]^2}{M * N} \tag{2.15}$$

โดยที่ $Org(m,n)$ คือ ค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับ

$Wmk(m,n)$ คือ ค่าพิกเซลของภาพที่ใส่ลายน้ำแล้ว

M และ N คือ ขนาดจำนวนพิกเซลในแนวกว้างและยาวของภาพ ตามลำดับ

PSNR นี้จะมีค่าสูงเมื่อผลของการเปรียบเทียบระหว่างภาพทั้งสองมีความใกล้เคียงกันมาก ในทางกลับกัน หาก PSNR ที่ได้มีค่าต่ำหรือเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าภาพที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความแตกต่างกันมากนั่นเอง

2.6.2 False negative และ False positive

การตรวจสอบภาพว่ามีลายน้ำหรือไม่นั้น ทำโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ระหว่างภาพที่ต้องการตรวจกับลายน้ำ จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง (Threshold) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงกว่าค่าขีดแบ่ง แสดงว่าภาพที่นำมาตรวจนั้นมีลายน้ำนั้นอยู่ และในทางกลับกัน ภาพที่ไม่มีลายน้ำนั้นอยู่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง

สำหรับการผิดพลาดของการตรวจสอบเกิดได้ 2 กรณี สำหรับกรณีแรกคือการนำภาพที่มีลายน้ำมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับลายน้ำที่แทรกลงไป แต่ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ออกมากลับมีค่าต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง ซึ่งเป็นการแสดงได้ว่าเกิดการผิดพลาดในการตรวจสอบลายน้ำ กรณีนี้เรียกว่า False negative

สำหรับอีกกรณีหนึ่งจะตรงข้ามกับกรณีแรก คือ นำภาพที่ไม่มีลายน้ำมาตรวจสอบแต่ผลการตรวจแสดงออกมาว่าภาพนั้นมีลายน้ำแทรกอยู่ เรียกกรณีนี้ว่า false positive

การเกิดการผิดพลาดทั้ง 2 กรณี นั้นขึ้นอยู่กับการตั้งค่าขีดแบ่งไว้เหมาะสมหรือไม่ ถ้าตั้งค่าขีดแบ่งไว้สูงมากโอกาสการเกิด False negative จะมีมาก และ False positive จะมีน้อย ซึ่งในทางกลับกัน ถ้าตั้งค่าขีดแบ่งไว้ต่ำ โอกาสการเกิด False negative จะมีน้อย และ False positive จะมีมาก ดังนั้นการตั้งค่าขีดแบ่งจึงต้องตั้งให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการผิดพลาดน้อยที่สุด

2.7 การโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ (Collusion attack)

การโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ คือการนำภาพที่มีลายน้ำเหมือนกันจำนวนมาก มาทำการเฉลี่ยกันซึ่งจะได้ภาพเฉลี่ยออกมาจากนั้นนำภาพเฉลี่ยที่ได้ไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำ จะทำให้ลายน้ำถูกลบออกไปจากภาพลายน้ำนั้น และไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้อีก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการป้องกันการละเมิดสิทธิ์และการควบคุมการใช้สื่อดิจิตอลนั้น มีวิธีการมากมายหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีการนั้นก็จะอาศัยเทคนิคต่างๆเข้ามาใช้เพื่อป้องกันการละเมิดสิทธิ์ และ ควบคุมการใช้สื่อดิจิตอล เช่น เทคนิคการเข้ารหัส เทคนิคลายน้ำดิจิตอล เป็นต้น ต่อจากนี้จะอธิบายถึงระบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาแล้วเกี่ยวกับการป้องกันการละเมิดสิทธิ์และการควบคุมการใช้สื่อดิจิตอล

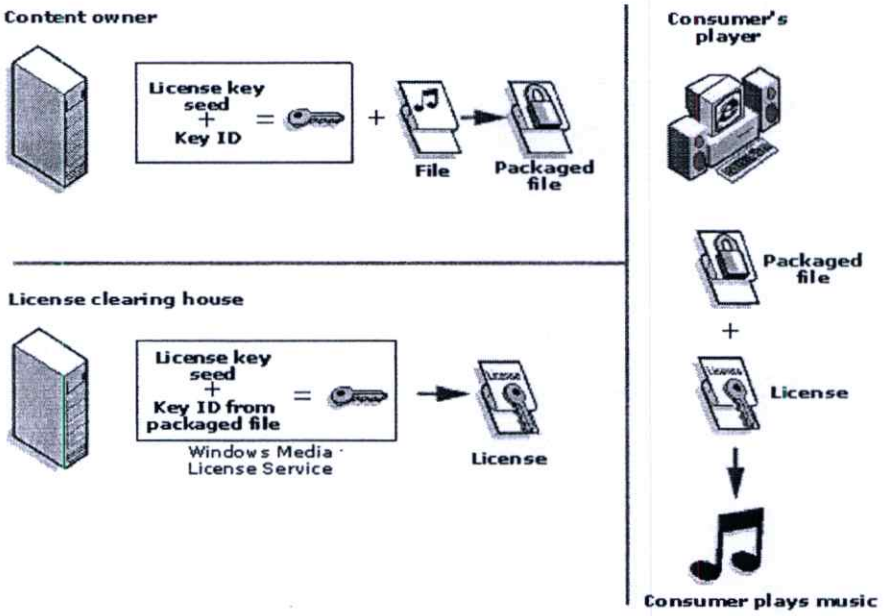
3.1 การศึกษาระบบจัดการสิทธิ์สื่อดิจิตอล (Digital Rights Management: DRM)[8]

ระบบการจัดการสิทธิ์สื่อดิจิตอล (Digital Rights Management: DRM) ระบบการจัดการสิทธิ์ของผู้ใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบดิจิตอล เป็นข้อกำหนดที่ว่าด้วยการเข้าถึงข้อมูล ภายในสื่อก็มีลักษณะคล้าย ๆ กัน คือผู้ผลิตจะกำหนดว่า ผู้ที่ซื้อสามารถทำอะไรกับสินค้าที่ซื้อไปได้บ้าง หรืออีกนัยหนึ่งคือผู้ที่ซื้อเพลงหรือภาพยนตร์ที่มี DRM ติดมาด้วยนั้นจะไม่สามารถเป็นเจ้าของได้อย่างแท้จริง แต่จะเป็นเพียงผู้ที่มีสิทธิ์ในการเล่นสื่อเท่านั้น นอกจากนั้น DRM ยังมีการกำหนดไว้อีกด้วยว่า ผู้ที่ซื้อสื่อเหล่านั้นจะสามารถเล่นได้ที่ไหนและอย่างไร ซึ่งก็รวมถึงการอนุญาตให้มีการทำซ้ำหรือการทำสำเนาด้วย

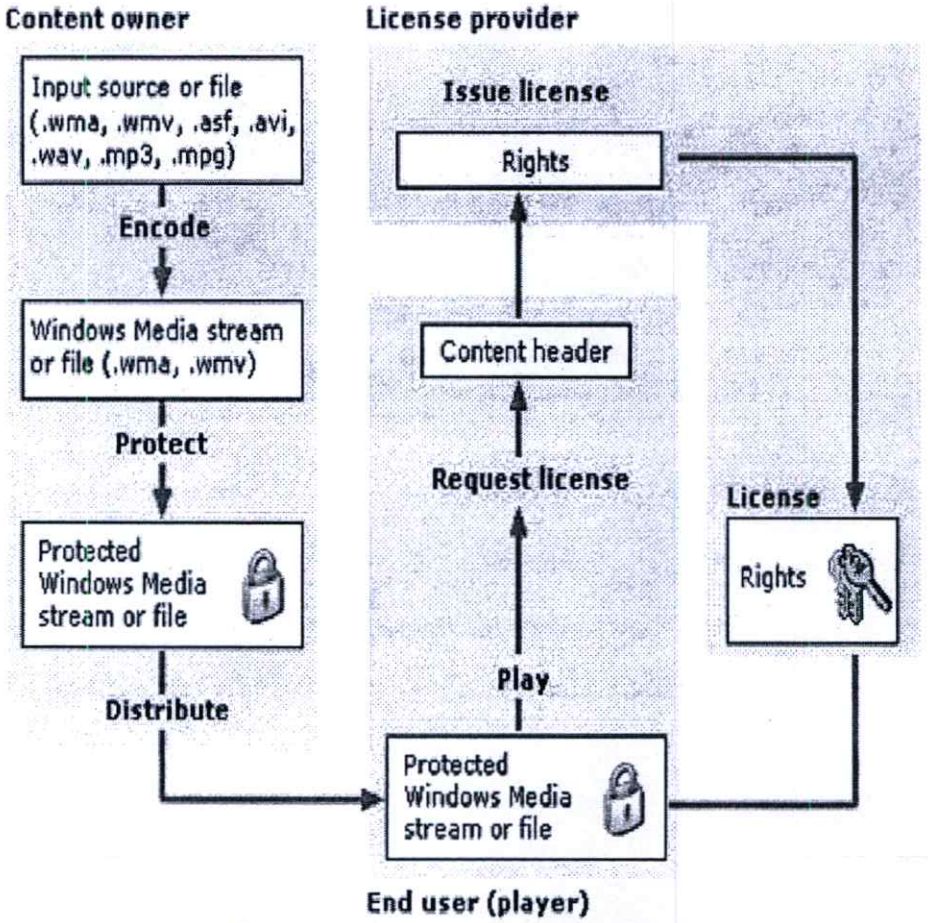
ในปัจจุบันได้มีการติดตั้ง DRM ลงไปไว้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น เครื่องเล่นดีวีดี เครื่อง iPod หรือแม้กระทั่งเครื่องพีซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดว์สก็มีการนำ DRM มาใช้แล้ว ในขณะเดียวกันอุปกรณ์อื่น ๆ ก็มีแนวโน้มที่จะมีการนำ DRM มาติดตั้งไว้เช่นกัน

องค์ประกอบหลักๆของระบบจัดการสิทธิ์สื่อดิจิตอลประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนแรกคือส่วนของผู้ให้บริการซึ่งมีหน้าที่นำสื่อดิจิตอลที่ต้องการให้บริการนั้นมาทำการเข้ารหัสและเก็บสื่อดิจิตอลที่เข้ารหัสแล้วไว้ที่เซิร์ฟเวอร์เพื่อที่ให้ผู้ที่สนใจและยอมรับในเงื่อนไขที่ให้บริการสามารถดาวน์โหลดไปได้ ส่วนที่สองคือส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่เกี่ยวกับใบอนุญาตการใช้สื่อดิจิตอล (License) ทำหน้าในการออกใบอนุญาตใช้สื่อดิจิตอลและกุญแจในการถอดรหัสให้กับผู้ร้องขอ และส่วนที่สามคือ ส่วนของผู้รับบริการ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดสื่อดิจิตอลได้จากเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการทั่วไป และเมื่อต้องที่จะเล่นสื่อดิจิตอลนั้นก็จะมีการร้องขอใบอนุญาตไปยังส่วนที่สอง และรอการส่งใบอนุญาตและกุญแจสำหรับถอดรหัสสื่อดิจิตอลนั้นซึ่งมีการเข้ารหัสไว้ ก็สามารถที่จะชมสื่อดิจิตอลนั้นได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบและหน้าที่ของแต่ละส่วน และรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการสื่อดิจิตอล

87884



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของระบบจัดการสื่อดิจิตอล [9]



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการสื่อดิจิตอล [10]

แต่อย่างไรก็ตามจากขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการสื่อดิจิตอลนั้น ในขั้นตอนที่ทำการร้องขอการออกใบอนุญาตใช้สื่อดิจิตอลและกุญแจนั้น สิ่งที่ต้องส่งไปด้วยกับการร้องขอคือ ข้อมูลที่ระบุถึงสื่อนั้นหรือเรียกได้ว่าคือ Content ID ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะถูกเก็บไว้ในส่วนหัว (Header) ของสื่อนั้น ซึ่งการเก็บข้อมูลไว้ที่ส่วนหัวของสื่อนั้นสามารถที่จะถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงได้โดยง่าน ซึ่งเมื่อถูกทำลายข้อมูล Content ID แล้วก็จะไม่สามารถระบุถึงสื่อนั้นได้อีก

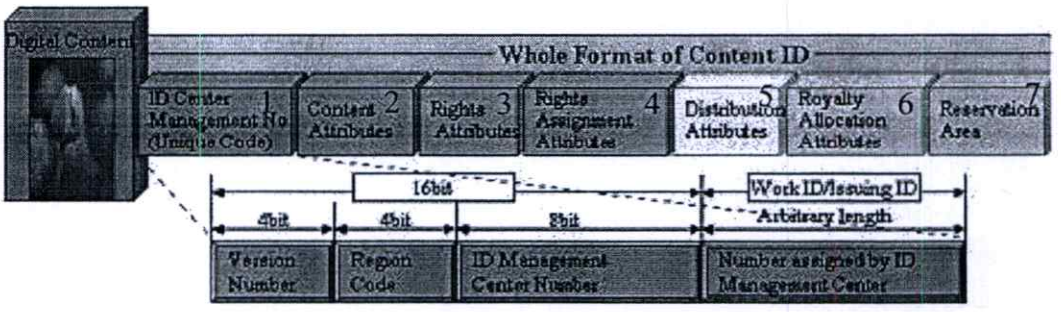
จากระบบที่กล่าวข้างต้นนั้นยังมีข้อบกพร่องในเรื่องความไม่ทนทานต่อการโจมตีในส่วนของของการเก็บข้อมูล Content ID ไว้ที่ส่วนหัวของสื่อนั้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการนำการเก็บข้อมูล Content ID ด้วยเทคนิคลายน้ำดิจิตอล ซึ่งมีความทนทานต่อการโจมตีสูง

3.2 การศึกษาระบบ Watermark Resolution [11]

ระบบ watermark resolution ได้พัฒนาขึ้นเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลได้รวดเร็วขึ้น โดยใช้เทคนิคลายน้ำดิจิตอลให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของสื่อดิจิตอลแต่ละประเภท ซึ่งจะใช้การฝังลายน้ำดิจิตอลสองลายน้ำดิจิตอลลงไปในหนึ่งสื่อดิจิตอล โดยระบบนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนของข้อมูลที่ระบุถึงสื่อดิจิตอล (Content ID) โดยในส่วนนี้ได้พัฒนาโดย Content ID Forum (cIDf) สำหรับส่วนที่สองเกี่ยวกับเทคนิคลายน้ำดิจิตอลและระบบในการฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล ซึ่งจะได้อธิบายในแต่ละส่วนต่อไป

3.2.1 Content ID Forum (cIDf)[12]

Content ID Forum (cIDf) ได้พัฒนาขึ้นโดย Prof. Dr. Hiroshi Yasuda มหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ในปีคริสต์ศักราช 1999 เพื่อสร้างโครงสร้างรหัสข้อมูลเกี่ยวกับสื่อดิจิตอล (Content ID) สำหรับระบุถึงสื่อดิจิตอลที่จะขายหรือกระจายในอินเทอร์เน็ตโดยมีโครงสร้างของรหัสสื่อดิจิตอลดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างรหัสสื่อดิจิตอล [13]

จากรูป 3.3 แสดงถึงโครงสร้างของรหัสข้อมูลสื่อดิจิตอล (Content ID) ซึ่งประกอบด้วย

1. ID Center Management Number เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเนื่องจากใช้ในการนำไปดึงข้อมูลกับฐานข้อมูลเพื่อทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับสื่อดิจิตอล

2. Content Attributes คือ ส่วนที่แสดงถึง ข้อมูลที่เกี่ยวกับสื่อดิจิตอลนั้น เช่น ชื่อของผู้สร้างสื่อนั้นขึ้นมา ชื่อของสื่อดิจิตอลนั้น ข้อมูลต่างๆที่อธิบายเกี่ยวกับสื่อดิจิตอลนั้น

3. Right Attribute คือ ส่วนที่แสดงถึงผู้ที่เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ของสื่อดิจิตอล

4. Right Assignment Attribute คือ ส่วนที่แสดงถึง เงื่อนไขหรือข้อตกลงในการนำสื่อดิจิตอลไปใช้

5. Distribution Attribute คือ ส่วนที่แสดงถึงเงื่อนไขในการกระจายสื่อดิจิตอลแต่ละประเภท

6. Royalty Allocation Attribute คือ ส่วนที่แสดงถึง บุคคลที่สามารถนำสื่อไปใช้ได้และค่าใช้จ่ายในการนำสื่อไปใช้ของแต่ละประเภทของบุคคล

7. Reservation Ares คือ ส่วนที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับสิ่งที่จะมีการประยุกต์เพิ่มเติมในอนาคต

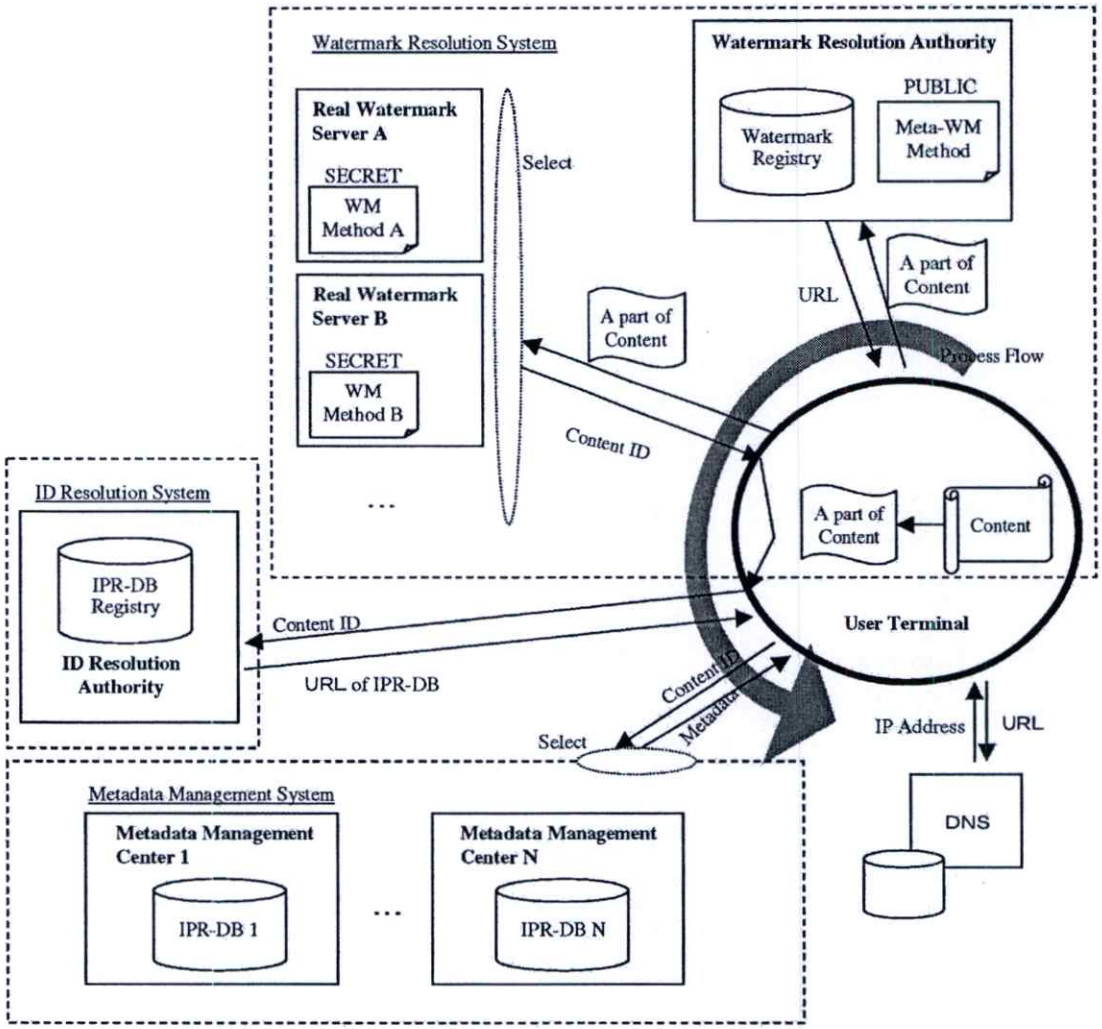
สำหรับในส่วนของ ID Center Management Number นั้นจะแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ คือ Version number, Region Code ID Management Center Number, Number assigned by ID Management Center ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3 ในส่วนที่ 1

3.2.2 Watermark Resolution [11]

ลายน้ำดิจิตอลที่ฝังอยู่ในสื่อดิจิตอลจะประกอบด้วยลายน้ำดิจิตอลสองลายน้ำดิจิตอลด้วยกัน คือ ลายน้ำดิจิตอลแรกจะเรียกว่า Meta Watermark ซึ่งการฝังลายน้ำดิจิตอลอันนี้จะฝังด้วยวิธีการที่เป็นมาตรฐานซึ่งสิ่งที่จะฝังด้วยวิธีการของ Meta Watermark ก็คือหมายเลขของวิธีการในการฝังลายน้ำอีกตัวหนึ่งซึ่งทำการลงทะเบียนไว้ที่เซิร์ฟเวอร์ของ Meta Watermark ส่วนลายน้ำดิจิตอลอีกอันหนึ่งนั้นจะเรียกว่า Real Watermark จะใช้วิธีการฝังที่ซับซ้อนกว่าอันแรก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของสื่อดิจิตอลอันนั้นๆว่าต้องการอะไร เช่น ต้องเน้นที่คุณภาพของสื่อดิจิตอล หรือว่าต้องการความรวดเร็วในการดึงลายน้ำดิจิตอลออกมา

กระบวนการการดึงลายน้ำดิจิตอลออกจากสื่อดิจิตอลเพื่อนำรหัสของสื่อดิจิตอลไปดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลแสดงตามรูปที่ 3.4 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มจากในส่วนของผู้ใช้ที่ต้องการดึงข้อมูลของสื่อดิจิตอลออกมา (User Terminal) จะทำการตัดข้อมูลบางส่วนออกมาจากสื่อดิจิตอลเพื่อส่งไปตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลที่ Watermark Resolution Authority (WRA)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ Watermark Resolution [11]

2. เมื่อ WRA ได้รับข้อมูลมาแล้วจะทำการดึงข้อมูลที่ซ่อนอยู่ออกมาด้วย Meta Watermark เมื่อได้ข้อมูลออกมาแล้ว ซึ่งก็คือรหัสของวิธีการในการดึงข้อมูลที่ฝังด้วย Real Watermark จะนำไปเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อที่จะทราบว่าวิธีการนั้นต้องส่งไปถอดลายน้ำดิจิตอลที่เซิร์ฟเวอร์ตัวใด ซึ่งค่าที่ได้ออกมาจะเป็นที่อยู่ของเซิร์ฟเวอร์ (URL)

3. WRA ส่งค่า URL กับไปที่ส่วนของผู้ใช้

4. เมื่อผู้ใช้ได้รับข้อมูล URL มาแล้วก็จะทำการส่งสื่อดิจิตอลบางส่วนที่ตัดออกมาไปยัง URL ที่ได้รับมา

5. เมื่อReal Watermark Server ได้รับสื่อดิจิตอลมาก็จะทำการดึงข้อมูลของรหัสสื่อดิจิตอลออกมาด้วยลายน้ำของ Real Watermark จากนั้นจะทำการส่งรหัสของสื่อดิจิตอลกลับไปที่ส่วนของผู้ใช้

6. เมื่อผู้ใช้ได้รับรหัสสื่อดิจิตอลแล้วก็จะส่งรหัสสื่อดิจิตอลต่อไปยัง ID Resolution System

7. เมื่อ ID Resolution System ได้รับรหัสสื่อดิจิตอลแล้วก็จะนำไปเทียบกับฐานข้อมูล เพื่อที่จะทราบว่ารหัสสื่อดิจิตอลนั้นต้องไปดึงข้อมูลของสื่อที่ใด ซึ่งค่าที่ได้ออกมาจะเป็นที่อยู่ของเซิร์ฟเวอร์ (URL) ของ Metadata Management Center

8. เมื่อผู้ใช้ได้รับ URL ของ Metadata Management Center มาแล้วก็จะส่งรหัสสื่อดิจิตอลนั้นไปยัง Metadata Management Center ดังกล่าว

9. เมื่อ Metadata Management Center ได้รับรหัสสื่อดิจิตอลแล้วก็จะทำการนำไปเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลของสื่อดิจิตอลนั้นออกมาและส่งกลับไปยังส่วนของผู้ใช้

10. เมื่อผู้ใช้ได้รับข้อมูลของสื่อดิจิตอลมาแล้วก็จะทราบถึงข้อมูลทุกอย่างของสื่อดิจิตอลนั้น

จากขั้นตอนการทำงานของระบบจะเห็นได้ว่าข้อดีที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้คือ ในส่วนของการที่มีลายน้ำดิจิตอลหลายตัวในสื่อดิจิตอลเดียว และขั้นตอนในการดึงข้อมูลที่ฝังอยู่ออกมาทำแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical) คือสามารถนำในส่วนนี้ไปพัฒนาการดึงข้อมูลออกจากสื่อดิจิตอลโดยที่ไม่ต้องไปทำกระบวนการในที่ที่เดียวซึ่งจะช่วยในเรื่องของความรวดเร็วและประสิทธิภาพได้มากขึ้น

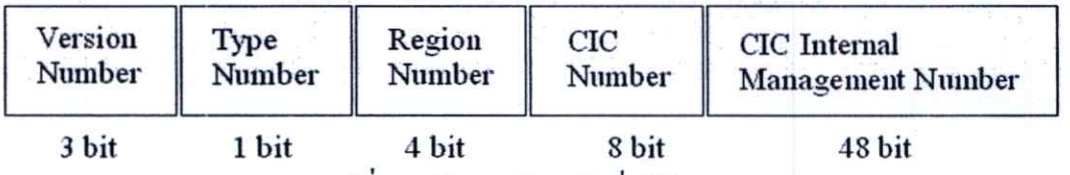
แต่อย่างไรก็ตาม จากระบบข้างต้นในเรื่องของความปลอดภัยนั้นยังมีจุดด้อยอยู่คือ ถ้าในส่วนของผู้ใช้ที่ไม่ประสงค์ดีได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของการส่งข้อมูลไปยัง Real Watermark Server ว่าลายน้ำดิจิตอลแต่ละอันนั้นอยู่ที่ใดบ้างก็สามารถนำเอาสื่อดิจิตอลที่ส่งไปที่ Real Watermark Server ที่เดียวกันมาทำการเฉลี่ยข้อมูล แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปลบออกจากสื่อที่มีลายน้ำอยู่ก็จะทำให้ลายน้ำที่อยู่ในสื่อนั้นหายไป ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถตรวจสอบลายน้ำได้อีก ดังนั้นก็จะไม่สามารถทราบ Content ID ที่ระบุถึงสื่อนั้นได้อีก

บทที่ 4
ระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลในวิดีโอที่จะนำไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการนำเสนอ โดยที่จะนำเสนอโครงสร้างของรหัสสื่อดิจิตอล (Content ID) ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอล และขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล

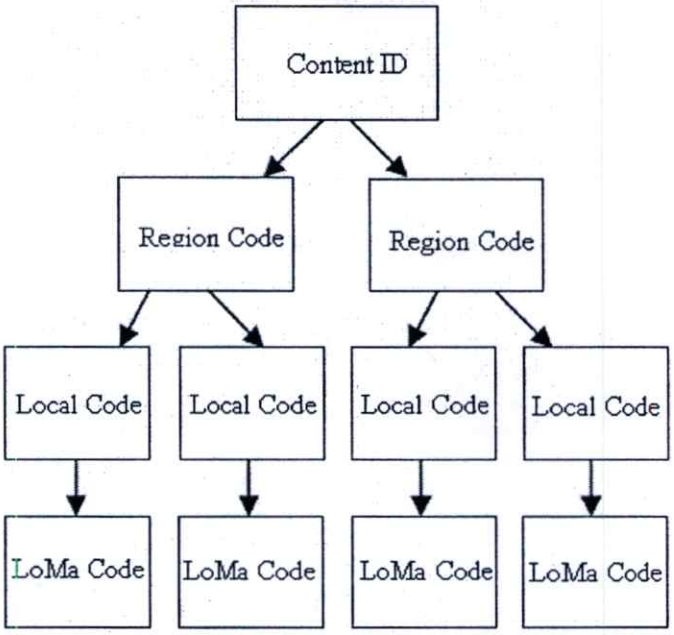
4.1 โครงสร้างของรหัสสื่อดิจิตอล (Content ID)

ในส่วนของโครงสร้างรหัสสื่อดิจิตอลได้นำเอาโครงสร้างรหัสสื่อดิจิตอลของ cIDf มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีลักษณะที่เป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้น (Hierarchical) อยู่แล้ว ซึ่งจะนำในส่วนของ ID Center Management Number มาใช้ ซึ่งในส่วนนี้จะสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆและมีจำนวนบิตดังนี้ 3 บิตแรกคือ version number, 1 บิตต่อมาคือ Type number, 4 บิตต่อมาคือ Region Number, 8 บิตต่อมาคือ CIC number, และ 48 บิตสุดท้ายคือ CICCMN number รวมทั้งหมดแล้ว 64 บิตดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างรหัสสื่อดิจิตอล

สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นได้นำเอาส่วนของ Region number ซึ่งในระบบจะเรียกว่า Region code, CIC Number ในระบบเรียกว่า Local code และในส่วนของ CIC Internal Management Number ในระบบเรียกว่า Local management Code ซึ่งมีลักษณะที่เป็นแบบลำดับชั้นคือ เมื่อทราบค่า Region Code แล้วก็สามารถที่จะทราบค่าของ Local Code ได้และเมื่อทราบค่า Local Code แล้วก็สามารถทราบค่าของ Local Management Code ได้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงสร้างแบบลำดับชั้นของสื่อดิจิตอล

จากโครงสร้างรหัสข้อมูลสื่อดิจิตอลข้างต้นแบ่งออกเป็นลำดับชั้นทั้งหมด 3 ลำดับ ซึ่งก็คือการฝังลายน้ำดิจิตอลลงไปจะกระทำทั้งหมด 3 ครั้งด้วยกัน ด้วยลายน้ำดิจิตอลที่แตกต่างกัน

4.2 องค์ประกอบของระบบ

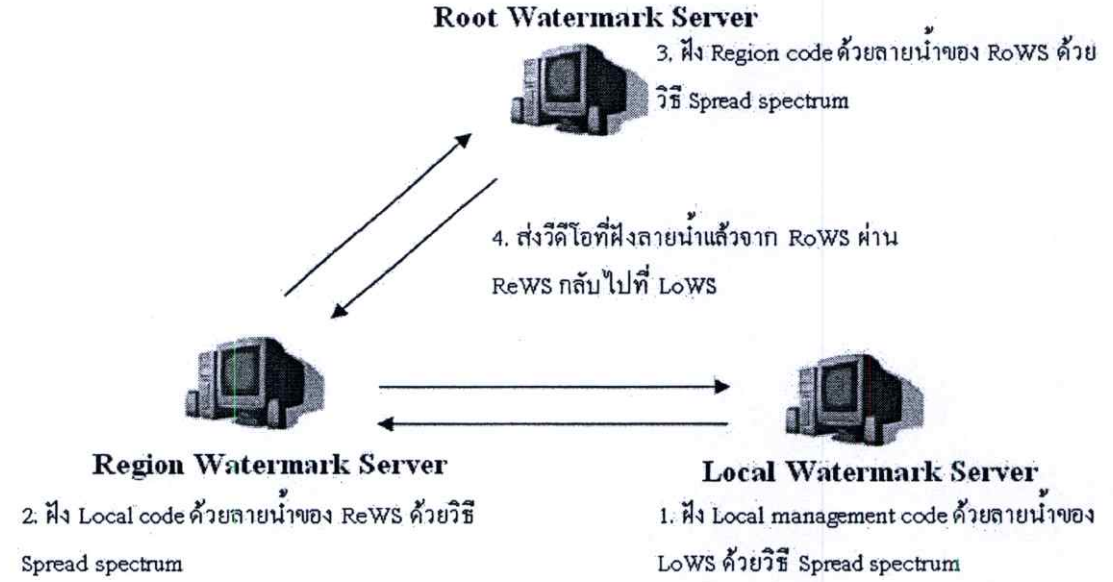
ในระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

1. เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล ซึ่งจะประกอบด้วย 3 เซิร์ฟเวอร์คือ Root Watermark Server (RoWS), Region Watermark Server (ReWS) และ Local Watermark Server (LoWS) ซึ่งในระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นที่นำเสนอนี้ เซิร์ฟเวอร์ทั้ง 3 มีความน่าเชื่อ คือ จะไม่เกิดการโจมด้วยวิธีต่างจากเซิร์ฟเวอร์ทั้ง 3 นี้แน่นอน

2. เซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซด์ที่ให้บริการเผยแพร่วีดีโอ (Public Video Server: (PubVS)) ซึ่งในระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นที่นำเสนอนี้ จะมีหน้าที่ในการส่งภาพเฟรมวีดีโอของวีดีโอที่ได้ทำการอัพโหลดเข้ามาที่เซิร์ฟเวอร์ไปตรวจสอบยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบในแต่ละลำดับชั้น

4.3 ขั้นตอนของการฝังลายน้ำดิจิตอล

ในการฝังลายน้ำดิจิตอลนั้นจะทำด้วยกันทั้งหมดสามครั้งซึ่งแต่ละครั้งจะทำการฝังที่เซิร์ฟเวอร์ของแต่ละลำดับชั้น ซึ่งประกอบด้วย Root Watermark Server (RoWS) จะทำการฝังข้อมูล Region Code ด้วยลายน้ำดิจิตอลของ RoWS ส่วนที่สอง คือ Region Watermark Server (ReWS) จะทำการฝังข้อมูล Local Code ด้วยลายน้ำดิจิตอลของ ReWS และในส่วนสุดท้าย Local Watermark Server (LoWS) จะทำการฝังข้อมูล Local Management Code ด้วยลายน้ำดิจิตอลของ LoWS สำหรับการฝังลายน้ำลงบนวีดีโอนั้นจะทำการฝังลงบนทุกเฟรมของวีดีโอเพื่อป้องกันการปัญหาต่างๆที่จะเกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการฝังข้อมูล 1 บิต ต่อ 1,000 จุดภาพดังนั้นข้อมูลที่ต้องฝังลงไปทั้งหมด 60,000 จุดภาพ ซึ่งขั้นตอนของการฝังลายน้ำดิจิตอลลงในสื่อดิจิตอลที่ต้องเผยแพร่แสดงดังรูปที่ 4.3 และมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอล

1 เริ่มจากการฝังข้อมูล Local Management Code ด้วยลายน้ำดิจิตอลของ LoWS ลงบนวีดีโอ ด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม (Spread Spectrum) ในโดเมนรูปภาพ หลังจากนั้นก็จะทำการส่งวีดีโอนี้ไปยัง ReWS

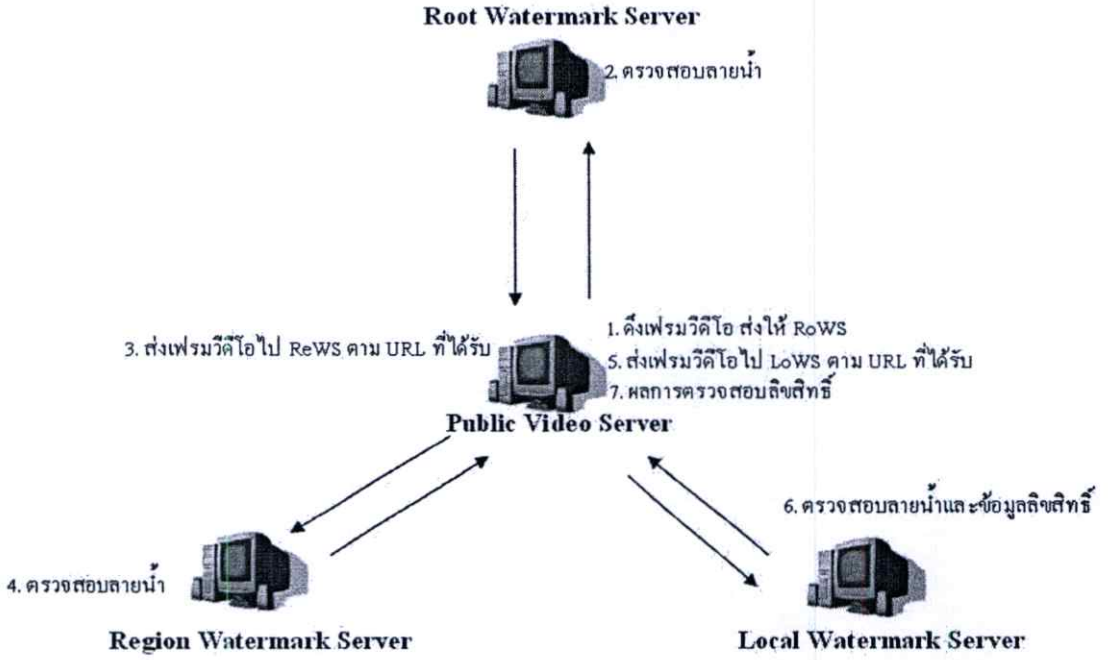
2 เมื่อ ReWS ได้รับวีดีโอจาก LoWS แล้วก็จะทำการฝังข้อมูล Local Code ด้วยลายน้ำของ ReWS ด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม (Spread Spectrum) ในโดเมนรูปภาพ หลังจากนั้นก็จะทำการส่งวีดีโอนี้ไปยัง RoWS

3 เมื่อ RoWS ได้รับวีดีโอจาก ReWS แล้วก็จะทำการฝังข้อมูล Region Code ด้วยลายน้ำของ RoWS ด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม (Spread Spectrum) ในโดเมนรูปภาพ

4 เมื่อได้วีดีโอที่มีลายน้ำดิจิตอลครับทั้งครบทั้ง 3 แล้ว RoWS จะส่งวีดีโอกลับไปยัง LoWS ผ่านทาง ReWS และสุดท้ายก็ได้วีดีโอที่มีลายน้ำสมบูรณ์

4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล

ขั้นตอนในการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลที่อยู่ในวีดีโอนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล

1. เมื่อมีวีดีโออัพโหลดมาที่เซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซต์ผู้ให้บริการเผยแพร่วีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต (PubVS) จะทำการดึงภาพเฟรมวีดีโอออกมา เพื่อทำการส่งภาพเฟรมวีดีโอไปให้ RoWS ทำการตรวจสอบลายน้ำ

2. เมื่อ RoWS ได้รับภาพเฟรมวีดีโอมาแล้ว จะทำการตรวจสอบว่าภาพดังกล่าวมีลายน้ำหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะส่งผลการตรวจสอบว่าไม่มีลายน้ำกลับไปและการตรวจสอบก็จะจบลง แต่ถ้ามีลายน้ำก็จะทำการดึงข้อมูล Region code ออกมาและทำการหาค่าที่อยู่ของ ReWS ที่ตรงตามค่า Region code ที่ดึงออกมาได้ จากนั้นทำการส่งค่าที่อยู่ (URL) ของ ReWS กลับไปให้ PubSV

3. เมื่อ PubVS ได้รับ URL ของ ReWS มาแล้วก็จะทำการส่งภาพเฟรมวีดีโอไปยัง ReWS ตาม URL ที่ได้รับมา

4. เมื่อ ReWS ได้รับภาพเฟรมวีดีโอมาแล้ว จะทำการดึงข้อมูล Local code ออกมาและทำการหาค่า URL ของ LoWS ที่ตรงตามค่า Local code ที่ดึงออกมาได้ จากนั้นทำการส่งค่า URL ของ LoWS กลับไปให้ PubVS

5. เมื่อ PubVS ได้รับ URL ของ LoWS มาแล้วก็จะทำการส่งภาพเฟรมวีดีโอไปยัง LoWS ตาม URL ที่ได้รับมา

6. เมื่อ LoWS ได้รับภาพเฟรมวีดีโอมาแล้ว จะทำการดึงข้อมูล Local management code ออกมาและทำการตรวจสอบข้อมูลลิขสิทธิ์ของวีดีโอที่ตรงกับ Local management code ที่ได้มาจากนั้นทำการส่งข้อมูลลิขสิทธิ์ดังกล่าวกลับไปยัง PubVS

7. เมื่อ PubVS ได้รับผลการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอดังกล่าวก็จะทราบว่า วีดีโอที่มีการอัพโหลดเข้ามาที่เซิร์ฟเวอร์นั้นสามารถเผยแพร่ได้หรือไม่

4.5 การโจมตีและวิธีการแก้ไข

4.5.1 สมมุติฐานเกี่ยวกับการโจมตี

ในด้านการส่งผ่านข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้นไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ เนื่องจากอาจถูกดักข้อมูลในระหว่างการส่งข้อมูลได้ และสำหรับในส่วนของ Public Video Server (PubVS) นั้นในระบบนี้ถือว่ายังไม่มีความน่าไว้วางใจซึ่งการโจมตีที่เกิดกับระบบ อาจเกิดมาจาก PubVS ที่อยู่ในระบบได้ แต่ในส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบลายน้ำ (Watermark Server) ในระบบนี้ถือมีความปลอดภัยต่อการโจมตีระบบ และสามารถอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบ

4.5.2 การโจมตีโดยการบิดเบือนภาพด้วยการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย

การตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลที่ฝังด้วยวิธีการแผ่สเปกตรัม (Spread Spectrum) นั้น ภาพที่ลายน้ำที่นำมาตรวจสอบต้องไม่เกิดการบิดเบือนก่อนการที่จะตรวจสอบ เพราะถ้ามีการบิดเบือนภาพเกิดขึ้นจะทำไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถแก้ปัญหาได้โดยการฝังและตรวจสอบลายน้ำด้วยวิธีที่มีความทนทานต่อการบิดเบือนที่เกิดจากการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนวิธีการฝังและตรวจสอบลายน้ำ จากวิธีการแผ่สเปกตรัมมาเป็นวิธีการซ่อนลายน้ำดิจิตอลบนรูปภาพที่ไม่แปรผันตามกระบวนการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย (RST invariant spread spectrum digital watermarking) [6] ซึ่งเมื่อใช้วิธีการนี้แล้ว การนำภาพลายน้ำที่ถูกบิดเบือนด้วยการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย ก็ยังที่จะสามารถตรวจสอบลายน้ำได้อยู่

แต่อย่างไรก็ตามการฝังและตรวจสอบลายน้ำที่ไม่แปรผันตามกระบวนการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย นั้นใช้เวลาในการตรวจสอบนาน ดังนั้นจึงได้ทำการฝัง Template ลงไปด้วย ซึ่ง Template ก็คือข้อมูลที่ไม่มีความหมายใดๆ เพื่อใช้ในการตรวจสอบเพื่อหาค่าการบิดเบือนเพื่อย้อนกลับภาพให้เหมือนเดิมได้ ดังนั้นการฝังและตรวจสอบลายน้ำด้วยวิธีที่ไม่แปรผันตามกระบวนการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย โดยฝัง Template ลงไปด้วย [7] จะทำที่ Root Watermark Server ที่เดียวเพื่อที่เซิร์ฟเวอร์อีกสองระดับไม่ต้องทำการฝังและตรวจสอบลายน้ำด้วยวิธีที่ที่ไม่แปรผันตามกระบวนการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย ซึ่งใช้เวลานาน แต่จะใช้วิธีการเดิม โดยนำค่า การหมุน หารปรับขนาด และการเคลื่อนย้าย ที่ Root Watermark Server ตรวจสอบได้มาทำการปรับภาพก่อนทำการตรวจสอบลายน้ำ

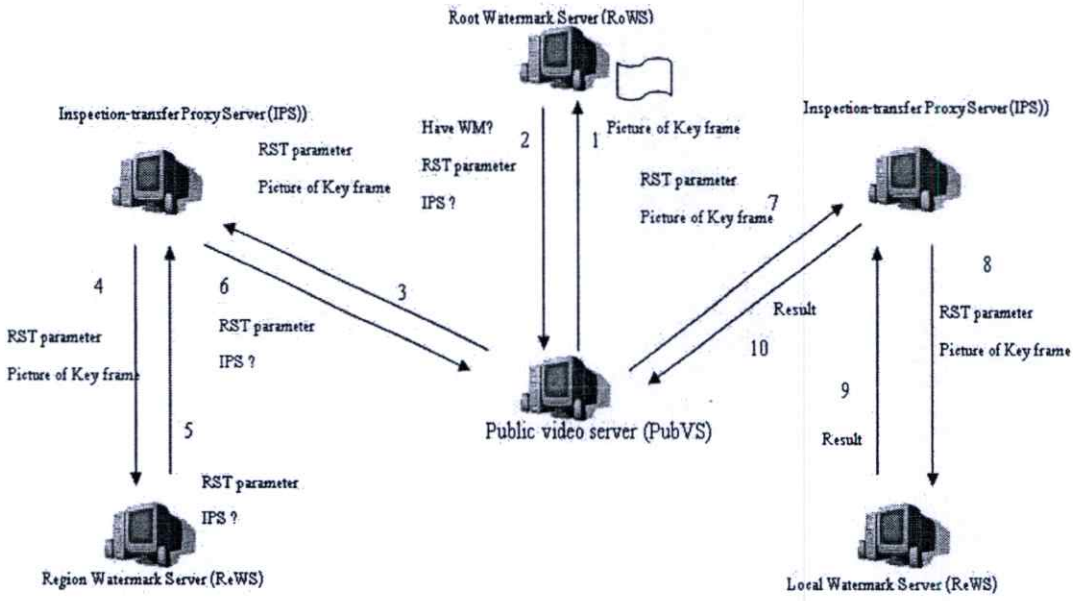
4.5.3 การโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพ

จากขั้นตอนการตรวจสอบที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าผลการตรวจสอบลายน้ำเพื่อหาเซิร์ฟเวอร์ที่ต้องส่งไปตรวจสอบในระดับต่อไปจะต้องมาที่ Public Video Server (PubVS) ทุกครั้ง ซึ่งภาพเฟรมที่ส่งต่อไปตรวจสอบที่เซิร์ฟเวอร์ในระดับต่อไปที่ส่งไปที่เซิร์ฟเวอร์ตัวเดียวกันก็จะมีลายน้ำที่ซ่อนอยู่เหมือนกัน

ดังนั้นถ้ามีบุคคลปลอมตัวเป็น PubVS เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพเฟรมวีดีโอที่ส่งต่อไปที่เซิร์ฟเวอร์ระดับต่อไปที่เดียวกันก็จะสามารถนำภาพที่รวบรวมได้มาทำการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพได้ วิธีดังกล่าวได้กล่าวถึงไว้ในหัวข้อ 2.7 ซึ่งสรุปได้ว่าข้อมูลที่ส่งมาจาก PubVS ไปที่เซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการตรวจสอบลายน้ำนั้น อาจมาจากผู้ที่ปลอมตัวมา จึงกล่าวได้ว่า PubVS ที่อยู่ในระบบไม่สามารถเชื่อถือได้ทั้งหมด

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น แนวทางในการแก้ไขคือการทำให้ PubVS ได้ข้อมูลที่ไม่สามารถนำไปทำการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพได้ กล่าวคือ การนำภาพที่มีลายน้ำที่ฝังอยู่ต่างกันมาทำการเฉลี่ยแล้วนำไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำ จะไม่ทำให้ลายน้ำนั้นถูกทำลายได้ ดังนั้นในระบบจึงเพิ่ม Inspection transfer Proxy Server (IPS) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการส่งต่อภาพเฟรมวีดีโอไปให้เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบที่แท้จริง ซึ่งเมื่อทำการเพิ่ม IPS เข้ามาในระบบแล้ว การส่งภาพเฟรมวิดีโอไปตรวจสอบของ PubVS จะส่งผ่าน IPS แทน ซึ่ง IPS จะทำการส่งไปที่เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบลายน้ำอีกที โดยภาพเฟรมที่ส่งต่อไปยัง IPS ตัวเดียวกันไม่จำเป็นต้องส่งต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบลายน้ำที่แท้จริงตัวเดียวกัน ดังนั้น ถ้าที่ PubVS ทำการรวบรวมภาพที่ส่งต่อไปที่ IPS ตัวเดียวกันก็จะได้ภาพที่มีลายน้ำที่ซ่อนอยู่ต่างกัน และเมื่อนำไปเฉลี่ยภาพแล้วนำไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำซ่อนอยู่ก็ไม่ทำให้ลายน้ำที่ซ่อนอยู่หายไป

ดังนั้นเมื่อนำ IPS เข้ามาใช้ป้องกันการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ ขั้นตอนในการตรวจสอบลายน้ำของระบบที่มี IPS เพิ่มเข้ามา แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยขั้นตอนในการตรวจสอบลายน้ำมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลในระบบที่มี IPS

1. เซิร์ฟเวอร์ของเว็บที่ให้บริการเผยแพร่วีดีโอจะทำการดึงภาพเฟรมของวีดีโอออกมาเพื่อส่งไปให้ RoWS เพื่อตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล

2. หลังจากที่ RoWS ได้รับกลุ่มภาพของเฟรมวีดีโอจะทำการตรวจสอบลายน้ำด้วยลายน้ำของ RoWS ว่ามีลายน้ำอยู่หรือไม่ พร้อมกันนี้จะทำการหาค่าของการหมุน การปรับขนาด การย้ายตำแหน่งของภาพ และค่า Region Code เพื่อหาค่า URL ของ ReWS จากนั้นจะทำการเลือก Inspection-transfer Proxy Server (IPS) ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายต่อภาระในการตรวจสอบไปยัง ReWS จากนั้นทำการเข้ารหัส URL ของ ReWS ด้วยกุญแจสาธารณะของ IPS ตัวที่เลือก และส่งข้อมูลการหมุน การปรับขนาด การย้ายตำแหน่งของภาพ ข้อมูลของ IPS และข้อมูลของ URL ของ ReWS ที่เข้ารหัสแล้วกลับไปยัง PubSV

3. PubVS จะส่งข้อมูลและภาพเฟรมวีดีโอต่อไปยัง IPS

4. IPS รับข้อมูลจาก PubVS และทำการถอดรหัสค่า URL ของ ReWS ด้วยกุญแจส่วนตัวของ IPS และทำการส่งข้อมูลไปยัง ReWS

5. ReWS รับข้อมูลจาก IPS ทำการปรับรูปภาพตามค่าของการหมุน การปรับขนาด และการย้ายตำแหน่ง ตามข้อมูลที่ได้รับมา จากนั้นทำการดึงค่า Local Code ออกมาด้วยลายน้ำดิจิตอลของ ReWS เพื่อหาค่าที่อยู่ของ LoWS ที่ต้องส่งไปตรวจสอบ จากนั้นจะทำการเลือก IPS) ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายต่อภาระในการตรวจสอบไปยัง LoWS จากนั้นทำการเข้ารหัส URL ของ LoWS ด้วยกุญแจสาธารณะของ IPS ตัวที่เลือก แล้วส่งข้อมูลกับไปยัง IPS ตัวที่รับข้อมูลมา

6. IPS รับข้อมูลมาจาก ReWS และทำการส่งต่อไปให้ PubVS

7. PubVS จะส่งข้อมูลและภาพเฟรมวีดีโอต่อไปยัง IPS

8. IPS รับข้อมูลจาก PubVS และทำการถอดรหัสค่า URL ของ LoWS ด้วยกุญแจส่วนตัวของ IPS และทำการส่งข้อมูลไปยัง LoWS

9. LoWS รับข้อมูลจาก IPS ทำการปรับรูปภาพตามค่าของการหมุน การปรับขนาด และการย้ายตำแหน่ง ตามข้อมูลที่ได้รับมา จากนั้นทำการดึงค่า Local management code ออกมาด้วยลายน้ำดิจิตอลของ LoWS เมื่อได้ Local management code ออกมาแล้วจะทำการเช็คกับฐานข้อมูลเพื่อดูว่า Local management code นี้เป็นลิขสิทธิ์ของใคร และมีเงื่อนไขการใช้งานอย่างไร และส่งผลการตรวจสอบกลับไปยัง IPS

10. IPS ส่งผลการตรวจสอบกลับไปยัง PubVS เมื่อ PubSV ได้รับผลการตรวจสอบแล้วก็จะพิจารณาว่าวีดีโอนั้นสามารถเผยแพร่ได้หรือไม่

4.5.4 การโจมตีด้วยวิธี Denial of Service (DoS)

จากระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นถ้าการทำงานที่เซิร์ฟเวอร์ในระดับ Root Watermark Server ไม่สามารถให้บริการได้ก็จะทำให้ไม่สามารถที่จะทำการตรวจสอบลิขสิทธิ์วีดีโอได้ ซึ่งอาจเกิดจากการโจมตีด้วยวิธี Denial of Service (DoS) คือ อาจมีผู้ปลอมตัวเป็น PubVS แล้วทำการส่งข้อมูลจำนวนมากไปที่ Root Watermark Server เพื่อทำให้ Root Watermark Server ทำหน้าที่ในการตรวจสอบภาพที่ส่งมาจาก PubVS ปลอม จนไม่สามารถให้บริการกับ PubSV ตัวจริงได้ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว PubVS ที่จะส่งข้อมูลไปตรวจสอบที่เซิร์ฟเวอร์จะต้องทำการลงทะเบียนก่อนเพื่อที่เซิร์ฟเวอร์ที่ทำการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบให้กับ PubSV ที่ทำการลงทะเบียนไว้ทำนั้น

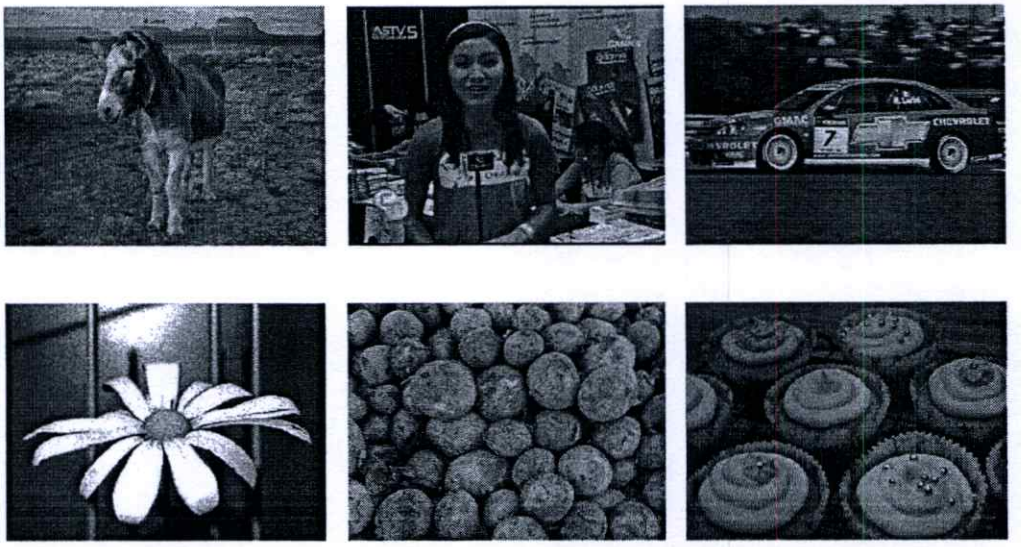
บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel Pentium IV 2.8 GHz หน่วยความจำ 1024 MB
- โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB 7.4.0 (R2007a)
- รูปภาพระดับสีเทาขนาดเท่าภาพเฟรมวีดีโอ MPEG-1 โดย กว้าง 320 พิกเซล สูง 240 พิกเซลจำนวน 500 รูป



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างรูปภาพที่ใช่ในการทดลอง

5.2 การทดลอง

การทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. การทดลองเพื่อหาค่ากำลังของลายน้ำดิจิตอลที่เหมาะสม

2. การทดลอง เกี่ยวกับการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพ

3. การทดลองหาจำนวนการเกิด False positive ของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

4. การทดลองหาความเร็วในการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

5.2.1 การทดลองเพื่อหาค่ากำลังของลายน้ำดิจิตอลที่เหมาะสม

5.2.1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อหาค่ากำลังของลายน้ำที่ให้ภาพที่มีลายน้ำมีคุณภาพสูงสุดและยังสามารถตรวจสอบลายน้ำได้

5.2.1.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

1. ทำการเลือกค่า Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)
2. ทำการคำนวณหาค่ากำลังของลายน้ำ
3. ทำการฝังและตรวจสอบลายน้ำจากภาพที่แตกต่างกันจำนวน 500 ภาพทั้งในระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์
4. ทำการทดลองขั้นตอนที่ 1-3 จนกว่าจะสามารถทำการตรวจพบลายน้ำที่ฝังลงไปทั้งในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์

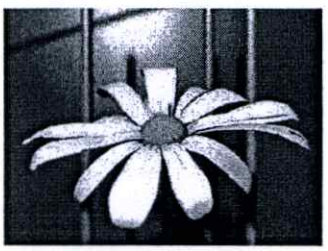
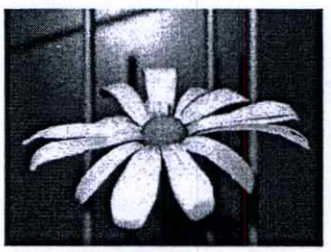
5.2.1.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 แสดงภาพก่อนและหลังการฝังลายน้ำ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า PSNR ค่ากำลังของลายน้ำ และผลการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบรวมศูนย์

PSNR	กำลังของลายน้ำ	แบบรวมศูนย์	แบบลำดับชั้น		
			Root	Region	Local
38	3.6320	Y	N	N	Y
37	4.0752	Y	N	N	Y
36	4.5724	Y	N	Y	Y
35	5.1303	Y	Y	Y	Y

จากตารางที่ 5.1 แสดงถึงผลการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์และระบบแบบลำดับชั้น ซึ่ง Y ใช้แทนผลการตรวจสอบภาพลายน้ำกับลายน้ำที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มากกว่าศูนย์ โดยที่ในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะถือว่าการตรวจสอบเป็น Y ก็ต่อเมื่อสามารถตรวจสอบได้ทั้ง 500 ภาพที่นำมาทดลอง และผลการตรวจสอบลายน้ำเป็น N คือการตรวจสอบลายน้ำที่ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพลายน้ำกับลายน้ำน้อยกว่าศูนย์ โดยผลจะเป็น N ก็ต่อเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้น้อยกว่าศูนย์ที่เกิดจากภาพใดภาพหนึ่งก็จะทำให้ผลการตรวจสอบจะเป็น N ทันที

ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว
	

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างภาพก่อนฝังลายน้ำและหลังฝังลายน้ำแล้ว

5.2.1.4 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่าค่า PSNR ที่สูงที่สุดที่ยังทำให้สามารถตรวจสอบลายน้ำได้อยู่ที่ 35 เดซิเบล ซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นค่ากำลังของลายน้ำได้ที่ 5.1303

5.2.2 การทดลองเกี่ยวกับการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพ

5.2.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อตรวจสอบว่าการนำ Inspection transfer Proxy Server (IPS) มาใช้เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบจริง สามารถป้องกันการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพได้

การหน้าที่ของ IPS จะทำการส่งต่อการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ตรวจสอบจริง โดยทำการส่งแบบกระจายออกไปยังเซอร์ฟเวอร์ในสัดส่วนที่เท่าๆกัน

จากสมมุติฐานของการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพนั้นเกิดจากการที่ PubVS นำเอาภาพที่ส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ตัวเดียวกันมาทำการเฉลี่ย แล้วนำภาพเฉลี่ยที่ได้ไปลบออกจากภาพลายน้ำ ก็จะทำให้ไม่สามารถตรวจสอบลายน้ำจากภาพนั้นได้อีก แต่ถ้ามี IPS แล้ว PubVS จะนำภาพที่ส่งไปที่ IPS เดียวกันมาทำการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ ซึ่งไม่สามารถทำการโจมตีได้ เนื่องจากภาพที่ส่งไปที่ IPS ตัวเดียวจะทำการส่งต่อไปยัง เซิร์ฟเวอร์ต่างๆในระดับเดียวกับแบบเท่าๆกัน

ดังนั้นการทดลองจะจำลองการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยทั้งที่มี IPS และไม่มี IPS แบบที่ไม่มี IPS ก็คือการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพโดยภาพเฉลี่ยได้มาจากภาพที่มีลายน้ำเหมือนกัน และแบบที่มี IPS ก็คือการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพโดยภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำต่างกันในสัดส่วนที่เท่าๆกัน

5.2.2.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

1. นำภาพจำนวน 500 ภาพ มาทำการใส่ลายน้ำที่เหมือนกันลงในแต่ละภาพ จากนั้นทำการตรวจสอบลายน้ำในภาพโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

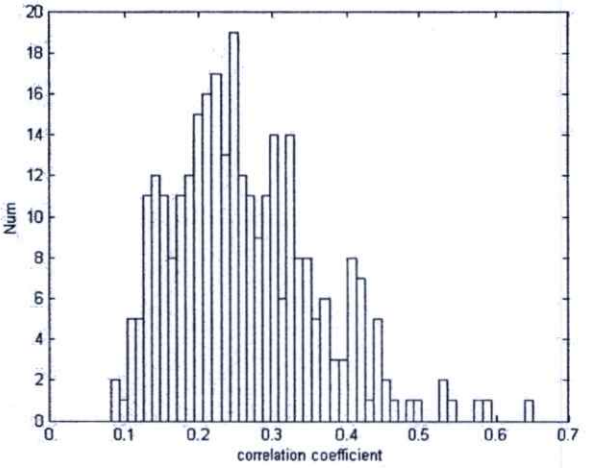
2. นำภาพในขั้นตอนที่ 1 มาทำการหาภาพเฉลี่ย

3. นำภาพเฉลี่ยที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 ไปลบออกจากแต่ละภาพที่ฝังลายน้ำในข้อ 1 นำผลที่ได้ไปตรวจสอบลายน้ำในภาพโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

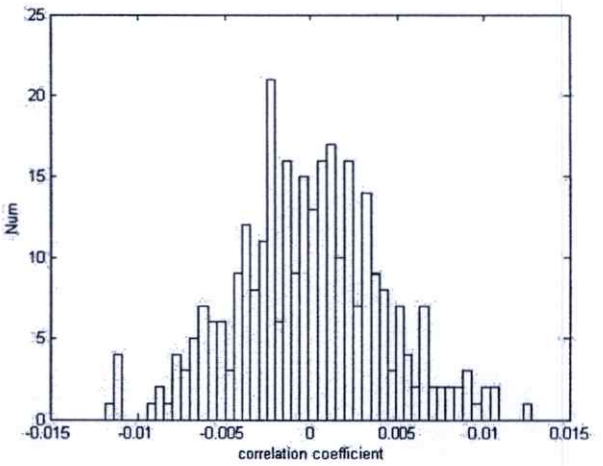
4. ทำตามขั้นตอนที่ 1-3 อีกครั้ง แต่ เพิ่มจำนวนรูปแบบลายน้ำจาก 1 แบบ เป็น 10 แบบ โดยให้ 1 ลายน้ำต่อภาพ 50 ภาพ

5.2.2.3 ผลการทดลอง

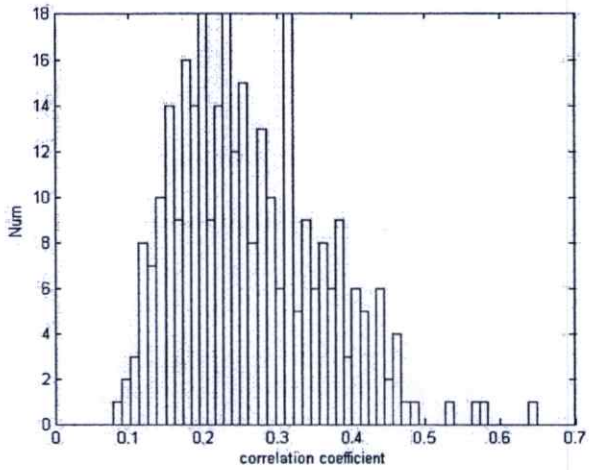
ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.3 – 5.6



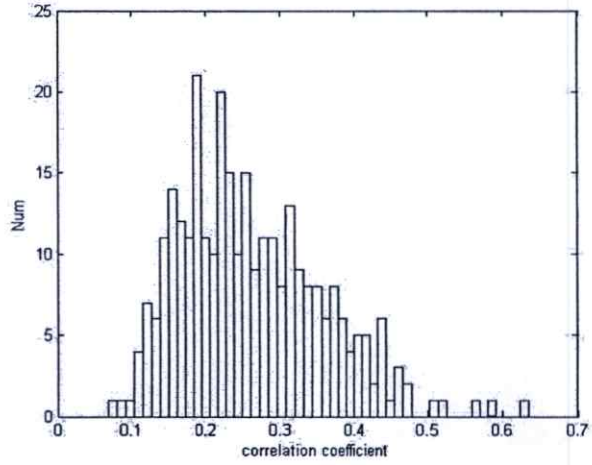
รูปที่ 5.3 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำเหมือนกัน



รูปที่ 5.4 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำเหมือนกัน



รูปที่ 5.5 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จาก ขั้นตอนที่ 1 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำต่างกัน



รูปที่ 5.6 แผนภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จาก ขั้นตอนที่ 3 ในการทดลองตามหัวข้อ 5.2.2 สำหรับกรณีภาพที่นำมาเฉลี่ยมีลายน้ำต่างกัน

5.2.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพลายน้ำกับลายน้ำ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 – 0.65 และ จากรูปที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างภาพที่ถูกลบด้วยภาพเฉลี่ยที่ได้มาจากภาพที่มีลายน้ำเหมือนกันกับลายน้ำ อยู่ในช่วงระหว่าง -0.01 – 0.01 ดังนั้นสรุปได้ว่าการนำภาพเฉลี่ยที่ได้จากภาพที่มีลายน้ำเหมือนกันไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำเหมือนกันกับภาพที่นำมาเฉลี่ยจะทำให้ไม่สามารถตรวจหาลายน้ำที่อยู่ในภาพได้

จากรูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพลายน้ำกับลายน้ำ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 – 0.65 และจากภาพที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างภาพที่ถูกลบด้วยภาพเฉลี่ยที่ได้จากภาพ

ที่มีลายน้ำต่างกันกับลายน้ำอยู่ในช่วง 0.1-0.65 ดังนั้นสรุปได้ว่าการนำภาพเฉลี่ยที่ได้จากภาพที่มีลายน้ำดิจิตอลที่ต่างกันไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำจะยังทำให้สามารถตรวจหาลายน้ำในภาพได้อยู่

5.2.3 การทดลองหาจำนวนการเกิด False positive ของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

5.2.3.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือ การหาปริมาณการเกิด False positive ของระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์ เมื่อเทียบกับค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ทำให้เกิด False negative 1 เปอร์เซ็นต์ โดยภาพที่นำมาทดลองจำนวน 500 ภาพ และลายน้ำที่นำมาทดลอง 1,000 ลายน้ำ

ในระบบการตรวจสอบลิขสิทธิ์โดยการใช้เทคนิคลายน้ำดิจิตอลในการยืนยันถึงลิขสิทธิ์นั้น ในการตรวจสอบลายน้ำก็คือการตรวจสอบว่าลายน้ำที่ฝังอยู่ในสื่อที่ทำการตรวจสอบอ้างถึงลิขสิทธิ์ของใคร ซึ่งจำนวนลายน้ำที่ต้องทำการตรวจสอบจะเท่ากับจำนวนเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ทำการลงทะเบียนกับระบบการตรวจสอบนั้น

สำหรับการตรวจสอบลายน้ำของระบบแบบรวมศูนย์จำนวนลายน้ำที่ต้องตรวจสอบจะเท่ากับจำนวนเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ทำการลงทะเบียนไว้กับระบบ เช่น ถ้ามีเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ลงทะเบียนไว้ 1,000 ราย จำนวนลายน้ำที่ต้องทำการตรวจสอบจะเท่ากับ 1,000 ลายน้ำเช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้จำนวนพิกเซลที่ทำการฝังลายน้ำของระบบแบบรวมศูนย์เท่ากับ 60,000 พิกเซล

สำหรับงานวิจัยนี้ ในการตรวจลายน้ำแบบลำดับชั้นนั้น จำนวนลายน้ำที่ต้องตรวจสอบจะกระจายอยู่ในระดับชั้นสุดท้าย คือในระดับ Local โดยในระบบจะมีทั้งหมด 3 ระดับ คือ ระดับ Root จะมีลายน้ำที่แตกต่างกัน 16 แบบ โดยลายน้ำแต่ละแบบจะอ้างถึง Region แต่ละ Region โดยการฝังลายน้ำที่ระดับ Root จะฝังลายน้ำจำนวน 4,000 พิกเซล ในระดับต่อมาคือ ระดับ Region จะมีลายน้ำที่แตกต่างกัน 256 แบบ โดยรายน้ำแต่ละแบบจะอ้างถึง Local แต่ละ Local โดยการฝังลายน้ำที่ระดับ Region จะฝังลายน้ำจำนวน 8,000 พิกเซล และในระดับ Local จะมีลายน้ำที่แตกต่างกันเท่ากับ จำนวนผู้ลงทะเบียนหารด้วย 256 โดยสามารถมีได้มากที่สุดที่ 2^{48} ลายน้ำ โดยในการฝังลายน้ำที่ระดับ Local จะฝังลายน้ำจำนวน 48,000 พิกเซล ดังนั้นถ้ามีจำนวนเจ้าของลิขสิทธิ์จำนวน 1,000 รายที่ทำการลงทะเบียน ก็จะมีลายน้ำที่ต้องตรวจสอบกระจายอยู่ในแต่ละ Local จำนวน 4 ลายน้ำ

5.2.3.2 วิธีการทดลอง

1. นำ ภาพมาทำการฝังลายน้ำที่ละลายน้ำที่แตกต่างกัน 1,000 ลายน้ำ แล้วทำการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพที่มีลายน้ำกับลายน้ำที่ตรงกับภาพนั้น ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จำนวน 1,000 ค่า จากนั้นหาค่าขีดแบ่งที่จะทำให้เกิด False negative ที่ 1 เปอร์เซ็นต์

2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อที่ 1 แต่เปลี่ยนภาพจนครบ 500 ภาพ

3. นำค่าขีดแบ่งที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ย

4. ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างภาพที่ไม่มีลายน้ำ จำนวน 500 ภาพ กับลายน้ำ 1,000 ลายน้ำ แล้วเทียบกับค่าขีดแบ่งที่คำนวณมาได้ในขั้นตอนที่ 3 แล้วดูว่ามีภาพกี่ภาพที่ได้ค่าสหสัมพันธ์เกินกว่าค่าขีดแบ่งที่ตั้งไว้ ซึ่งก็คือการเกิด False positive

5. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 – 4 อีกครั้งกับระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้น

5.2.3.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 จำนวนการเกิด false positive ของการตรวจสอบแบบรวมศูนย์และแบบลำดับชั้น

รูปแบบการตรวจสอบลายน้ำ	จำนวนครั้งที่เกิด False positive
การตรวจสอบแบบรวมศูนย์	0
การตรวจสอบแบบลำดับชั้น (ในชั้น LOCAL)	0
การตรวจสอบแบบลำดับชั้น (ในชั้น REGION)	1
การตรวจสอบแบบลำดับชั้น (ในชั้น ROOT)	242

5.2.3.4 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดลองได้ว่าการตรวจสอบแบบรวมศูนย์ไม่มีการเกิด False positive เลยเมื่อตั้งค่าขีดแบ่งไว้ที่การทำให้เกิด False negative 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้น ในระดับ Local ไม่มีการเกิด False positive เลย ในระดับ Region เกิด 1 ภาพจาก 500 ภาพ คิดเป็น 0.2 เปอร์เซ็นต์ และในระดับ Root เกิด 242 ภาพจาก 500 ภาพ คิดเป็น 48.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

5.2.4 การทดลองหาความเร็วในการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

5.2.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

การทดลองนี้ทดลองเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นและการตรวจสอบลายน้ำแบบรวมศูนย์ ทั้งภาพที่มีลายน้ำและภาพที่ไม่มีลายน้ำ โดยในการทดลองนี้ไม่ได้นำเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์มาคำนวณเวลาด้วย

สำหรับการทดลองนี้จะทำการจำลองระบบการตรวจสอบของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในเวอร์ชั่น R007a โดยทำการทดลองในเครื่องเครื่องเดียว ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องเป็นไปตามหัวข้อที่ 5.1 โดยการจับเวลาของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะเริ่มตั้งแต่การตรวจสอบลายน้ำตัวแรกที่ระดับ Root Watermark Server จนสิ้นสุดที่ลายน้ำที่ต้องตรวจสอบตัวสุดท้ายในระดับ Local Watermark Server ซึ่งขั้นตอนจะเริ่มจากการตรวจสอบลายน้ำตัวแรกในระดับ Root Watermark Server ถึงตัวสุดท้าย จากนั้นจะทำการตรวจสอบลายน้ำในระดับ Region Watermark Server ที่ Root Watermark Server ระบุได้จากการตรวจสอบลายน้ำ ตั้งแต่ลายน้ำตัวแรกของ Region Watermark Server จนถึงตัวสุดท้าย จากนั้นจะทำการตรวจสอบลายน้ำในระดับ Local Watermark Server ที่ Region Watermark Server ระบุได้จากการตรวจสอบลายน้ำ ตั้งแต่ลายน้ำตัวแรกของ Local Watermark Server จนถึงตัวสุดท้าย เป็นการสิ้นสุดการตรวจสอบของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้น สำหรับการจับเวลาในการตรวจสอบของระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์จะเริ่มตั้งการตรวจสอบลายน้ำตัวแรกและสิ้นสุดที่ลายน้ำตัวสุดท้าย

การกระจายตัวของลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.2.3.1 แล้ว

นอกจากนี้ยังทำการทดลองการเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์โดยนำเวลาในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์มาคำนวณด้วย โดยจะหาเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์ได้จากสมการที่ 5.1

$$T_{total} = T_{proc} + T_{trans} \tag{5.1}$$

โดยที่ T_{total} คือเวลาทั้งหมดในการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์

T_{proc} คือเวลาในการคำนวณหาว่าจะต้องส่งผ่านลิงค์ใดในการส่งข้อมูล

T_{trans} คือเวลาในการส่งข้อมูลทั้งหมดลงไปในลิงค์ซึ่งคำนวณได้จาก L/R เมื่อ L คือความยาวของข้อมูล และ R คือ อัตราการส่งข้อมูลของลิงค์

สำหรับเวลาในส่วน T_{proc} ถือได้ว่ามีค่าน้อยมากจนไม่จำเป็นต้องนำมาคำนวณได้ ดังนั้นเวลาในการส่งข้อมูลจะเท่ากับ T_{trans} เท่านั้นซึ่งถ้าให้ขนาดของข้อมูลที่ทำการส่งมีขนาดเท่ากันเวลาในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งข้อมูลของลิงค์

5.2.4.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

1. ทำการจับเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่มีลายน้ำ โดยให้มีลายน้ำทั้งหมด 1,000 ลายน้ำ ของทั้งระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

2. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 โดยทำการเพิ่มจำนวนลายน้ำที่ต้องตรวจสอบโดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1,000 ลายน้ำจนถึง 10,000 ลายน้ำ

3 ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 – 2 โดยนำภาพที่ไม่มีลายน้ำมาตรวจสอบแทน

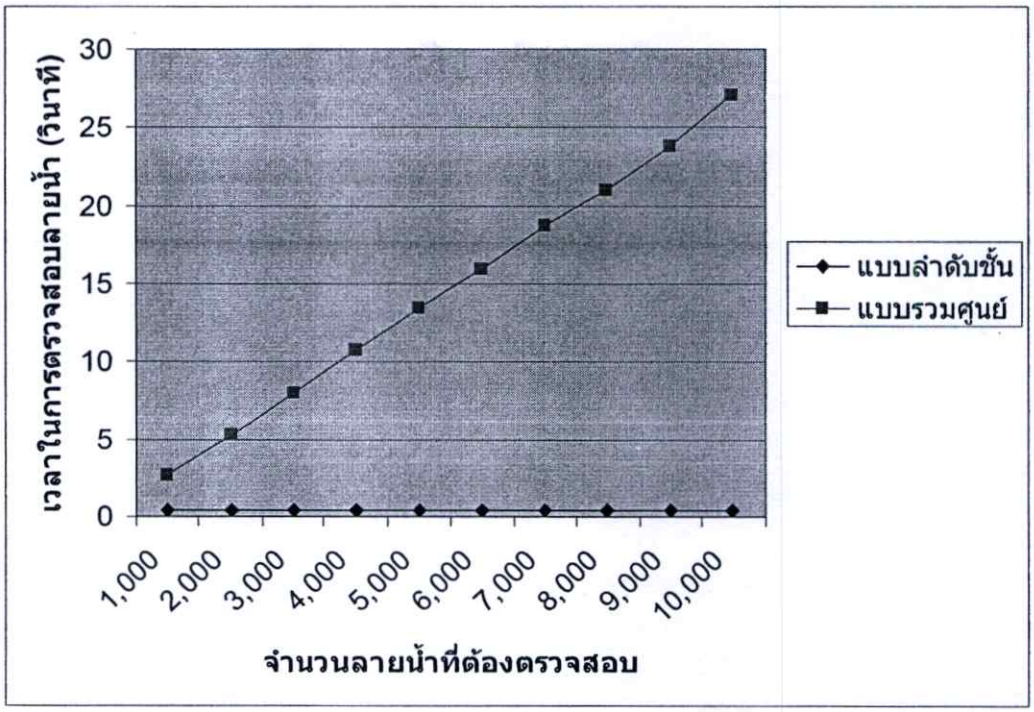
4.ทำการทดลองหาเวลาในการตรวจสอบลายน้ำที่นำเวลาในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์มาคำนวณด้วย โดยให้ข้อมูลที่ส่งระหว่างแต่ละเซิร์ฟเวอร์เท่ากัน และทำการคำนวณเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์ที่อัตราในการส่งข้อมูลต่างกัน โดยจำนวนลายน้ำที่นำมาคำนวณในการตรวจสอบอยู่ที่ 1,000 5,000 และ 10,000 ลายน้ำ

5.2.4.3 ผลการทดลอง

เวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่มีลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์ แสดงได้ดังตารางที่ 5.3 และ ภาพที่ 5.7

ตารางที่ 5.3 เวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่มีลายน้ำของระบบตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

จำนวนลายน้ำ		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
เวลา (วินาที)	แบบลำดับชั้น	0.39	0.40	0.38	0.40	0.40	0.39	0.38	0.40	0.39	0. 39
	แบบรวมศูนย์	2.65	5.24	7.96	10.85	13.41	15.75	18.79	20.93	23.84	27.44

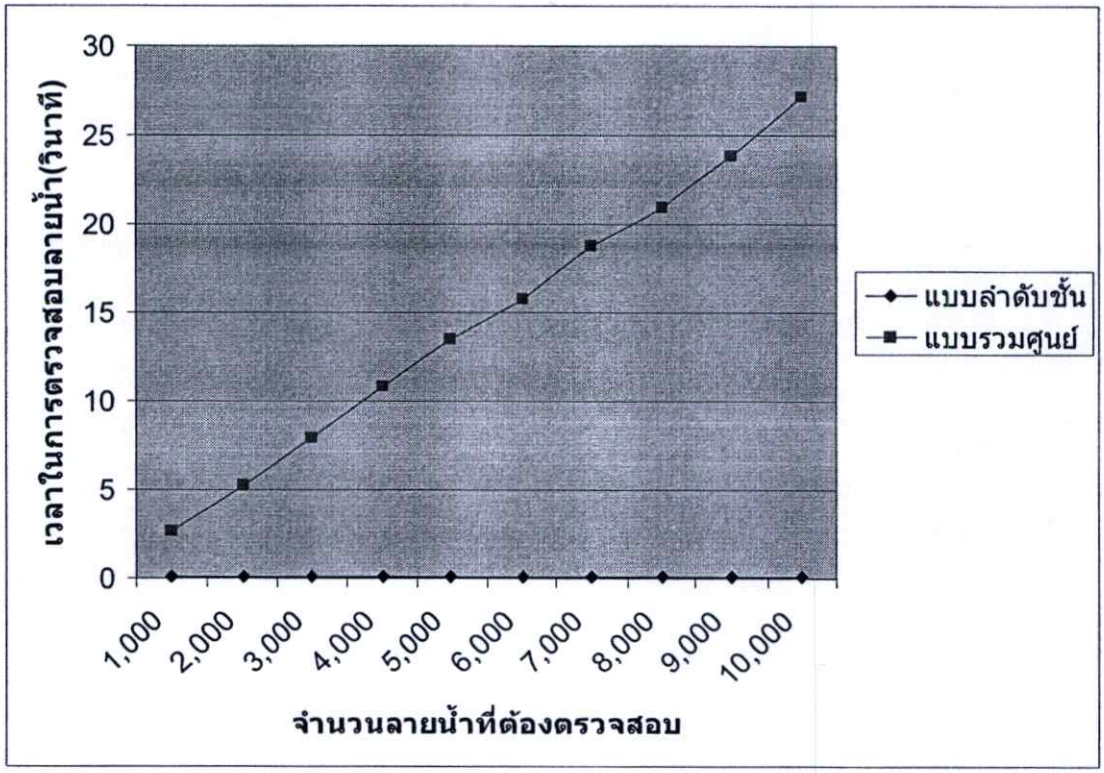


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่มีลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์

เวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่ไม่มีลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์ แสดงได้ดังตารางที่ 5.4 และ ภาพที่ 5.8

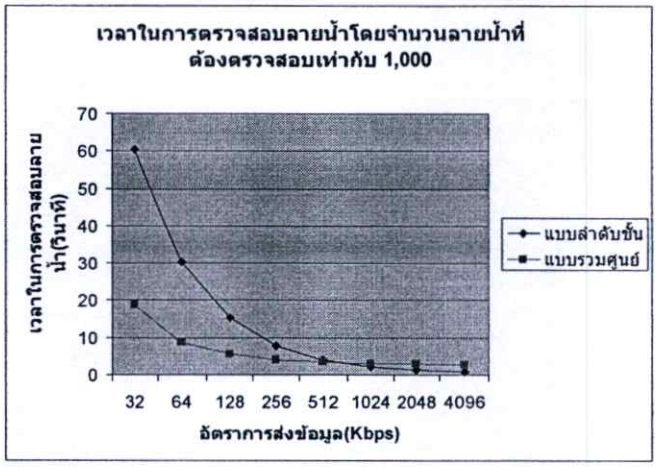
ตารางที่ 5.4 เวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่ไม่มีลายน้ำของระบบตรวจสอบแบบลำดับชั้นและระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์

จำนวนลายน้ำ		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
เวลา (วินาที)	แบบลำดับชั้น	0.064	0.062	0.063	0.062	0.062	0.061	0.063	0.063	0.062	0.062
	แบบรวมศูนย์	2.65	5.25	7.95	10.81	13.47	15.79	18.77	20.95	23.81	27.45

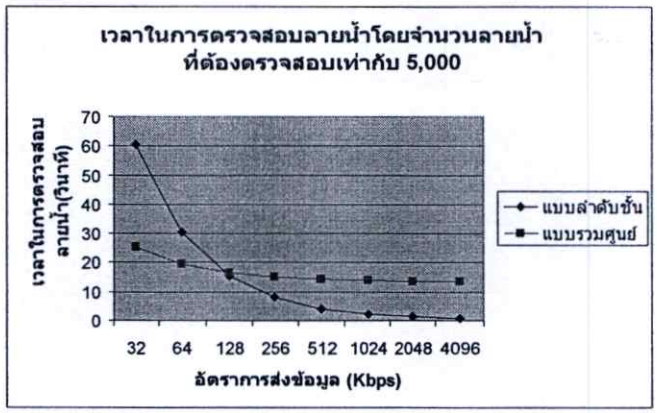


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงเวลาในการตรวจสอบลายน้ำของภาพที่ไม่มีลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์

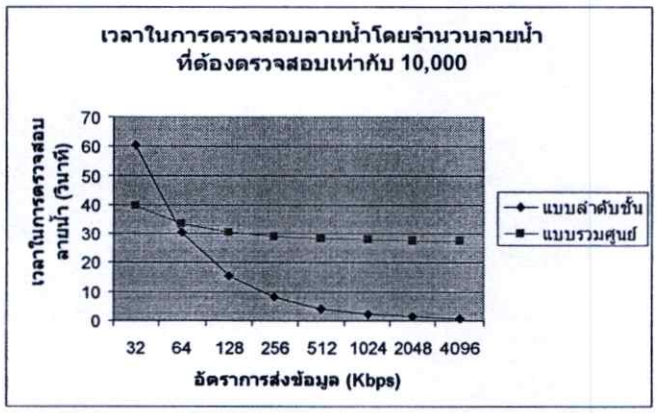
สำหรับผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4 ตามหัวข้อที่ 5.2.4.2 สามารถคำนวณจากสมการที่ 5.1 สำหรับในงานวิจัยนี้จะถือให้ว่า T_{proc} มีค่าน้อยมาก สามารถที่ไม่ต้องนำมาคำนวณได้ ดังนั้นค่าเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์จะเท่ากับค่า T_{trans} เท่านั้น ซึ่งระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะมีการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์ทั้งหมด 10 ครั้ง และระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์จะมีการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์ทั้งหมด 2 ครั้งโดยในการทดลองนี้ให้ข้อมูลที่ทำการส่งในแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 20 KB โดยจำนวน Overhead จะเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของขนาดข้อมูลที่ส่ง ดังนั้นข้อมูลทั้งหมดที่ทำการส่งเท่ากับ 24 KB โดยทำการทดลองที่จำนวนลายน้ำที่ต้องตรวจสอบที่ 1,000 5,000 และ10,000 แสดงดังรูปที่ 5.9



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงเวลาในการตรวจสอบภาพที่มีลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นและแบบรวมศูนย์ (ก) จำนวนลายน้ำที่ตรวจสอบ 1,000 ลายน้ำ (ข) จำนวนลายน้ำที่ตรวจสอบ 5,000 ลายน้ำ (ค) จำนวนลายน้ำที่ตรวจสอบ 10,000 ลายน้ำ

5.2.4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการตรวจสอบแบบลำดับชั้นใช้เวลาในการตรวจสอบลายน้ำเร็วกว่าการตรวจสอบแบบรวมศูนย์ และในการตรวจสอบภาพที่ไม่มีลายน้ำของระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าการตรวจสอบภาพที่มีลายน้ำ เนื่องจากเมื่อทำการตรวจสอบที่ระดับ Root แล้วไม่พบลายน้ำระบบจะสามารถสรุปได้ว่าภาพดังกล่าวไม่มีลายน้ำ

การตรวจสอบลายน้ำโดยการนำเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์มาคำนวณด้วยโดยให้ข้อมูลที่ส่งระหว่างเซิร์ฟเวอร์มีขนาดเท่ากันและให้อัตราการส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน จากการทดลองสรุปได้ว่า การตรวจสอบลายน้ำ 1,000 ลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะเร็วกว่าการตรวจสอบแบบรวมศูนย์เมื่อความเร็วในการส่งข้อมูลมากกว่า 1024 Kbps และการตรวจสอบลายน้ำ 5,000 ลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะเร็วกว่าการตรวจสอบแบบรวมศูนย์เมื่อความเร็วในการส่งข้อมูลมากกว่า 128 Kbps สำหรับการตรวจสอบลายน้ำ 10,000 ลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะเร็วกว่าการตรวจสอบแบบรวมศูนย์เมื่อความเร็วในการส่งข้อมูลมากกว่า 64 Kbps

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับการให้บริการเผยแพร่วีดีโอบนอินเตอร์เน็ต โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถช่วยให้การตรวจสอบทำได้อย่างอัตโนมัติ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากวิธีการสร้างระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับการเผยแพร่วีดีโอบนอินเตอร์เน็ต ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้น โดยเทียบกับการตรวจสอบแบบรวมศูนย์ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) การนำเอาเซิร์ฟเวอร์ตัวกลางมาใช้ในการจ่ายต่อภาระการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบลายน้ำที่แท้จริงตามที่เสนอ ทำให้สามารถป้องกันการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพได้ เนื่องจากภาพที่ส่งไปที่เซิร์ฟเวอร์ตัวกลางตัวเดียวกันไม่ได้ส่งต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบลายน้ำที่แท้จริงตัวเดียวเสมอไป ซึ่งแสดงว่าภาพที่ส่งผ่านเซิร์ฟเวอร์ตัวกลางตัวเดียวกันเป็นภาพที่มีลายน้ำต่าง ดังนั้นการทำภาพเฉลี่ยจากภาพที่ส่งผ่านยังเซิร์ฟเวอร์ตัวกลางตัวเดียวกัน ไม่สามารถทำการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพได้ ซึ่งเป็นไปตามการทดลองที่ 5.2.2

2) ระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นสามารถลดเวลาในการตรวจสอบเมื่อเทียบกับการตรวจสอบแบบรวมศูนย์หากความเร็วในการเชื่อมต่อเครือข่ายสูงพอ (มากกว่า 64 Kbps จำนวนเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ต้องตรวจสอบ 10,000 ราย)

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต

ในการพัฒนาต่อไปในอนาคตมีประเด็นที่ควรพัฒนาดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบทุกครั้งต้องทำตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายทำให้เกิดการใช้เวลาที่นานในการตรวจสอบ ดังนั้นถ้าสามารถลดขั้นตอนแล้วยังสามารถตรวจสอบได้และมีความปลอดภัยต่อการโจมตี ก็จะทำให้การตรวจสอบเร็วขึ้น

2. การใช้ Inspection transfer Proxy Server เพื่อป้องกันการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพได้ แต่ก็จะทำให้ใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการสร้างระบบ ดังนั้นสามารถพัฒนา Region Watermark Server และ Local Watermark Server สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งในการตรวจสอบลายน้ำและการถ่ายโอนการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่แท้จริงได้ก็จะลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับ IPS ลง

3. จากการทดลองที่ 5.2.3 ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นจะสามารถลดการเกิด False positive ได้ สืบเนื่องจากผลการทดลองถึงแม้ว่าการตรวจสอบลายน้ำแบบลำดับชั้นในระดับ Root จะเกิด False positive ถึง 48.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าทำการตรวจสอบครบทั้งสามระดับก็ไม่มีการเกิด False positive เลยเช่นเดียวกับการตรวจสอบแบบรวมศูนย์ที่ไม่เกิด False positive เลย จากสมมุติฐานที่ตั้งไว้ในตอนต้นที่ว่าการตรวจสอบแบบลำดับชั้นจะสามารถลดการเกิด False positive ได้ เนื่องด้วยการตรวจสอบแบบรวมศูนย์นั้นจะต้องทำการตรวจสอบลายน้ำทุกค่าที่มีในระบบ ซึ่งการตรวจสอบทุกค่าโอกาสที่จะเกิด False positive มีความเป็นไปได้ แต่เนื่องจากขนาดของลายน้ำในระบบการตรวจสอบแบบรวมศูนย์มีขนาดใหญ่ทำให้โอกาสเกิด False positive มีน้อยมาก ดังนั้นควรทำการทดลองเพื่อตรวจสอบต่อไป โดยการเพิ่มจำนวนลายน้ำ

เอกสารอ้างอิง

[1] Cox, I. J., Miller, M. L. and Bloom, J. A. **Digital Watermarking**. San Francisco : Morgan Kaufmann. 2002

[2] Langelaar, G.C., Setyawan, I. and Lagendijik, R.L. "Watermarking Digital Images and Video Data: A Stare-of-the-art overview." **IEEE Signal Processing Magazine.**, vol.17, Sep. 2000. pp. 20-46

[3] Hartung, F. and Kutter, M. "Multimedia Watermarking Technique." **Proceeding of the IEEE.**, vol.87, Jul. 1999. pp. 1079-1107

[4] Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N. and Lu, A. "Techniques for Data Hiding." **IBM System Journal.**, vol.35, Sep.-Dec. 1996. pp. 313-335

[5] Cox, I. J., Killian, J., Leighton, F.T. and Shamoon, T. "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia." **IEEE Transactions on Image Processing.**, vol.6, Dec. 1997. pp.1673-1687

[6] Ruanaidh, J.J. K. and Pun, T. "Rotation, Scale and Translation Invariant Spread Spectrum Digital Image Watermarking." **Signal Processing**, vol.66, 1998. pp. 303-317

[7] Pereira, S. and Pun, T. "Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarks." **IEEE Transaction Image Processing.,** vol.9, Jun. 2000 pp. 1123-1129

[8] Lee, J., Hwang, S.O., Jeong, S., Yoon K.S., Park, C.S. and Ryou, J. "A DRM Framework for Distributing Digital Content Though the Internet," **ETRI Journal,** vol.25, Dec. 2003 pp. 423-435

[9] Microsoft Corporation. "**Architecture of Windows Media Rights Manager.**" [Online]. Available : http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/howto/articles/drmarchitecture.aspx 2004

[10] Microsoft Corporation. "**Using Windows Media Encoder to Protect Content.**" [Online]. Available : http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/howto/articles/ProtectContent.aspx 2003

[11] Fujii, H., Sakamoto, H., Irie, S. and Yamashita, H. "Watermark Resolution." **IEEE International Conference on Multimedia and Expro** Aug. 2001 pp. 321-324

[12] The Content ID Forum. **"cIDf Specification 2.0/Rev. 1.1"** [Online]. Available : http://www.cidf.org. 2007

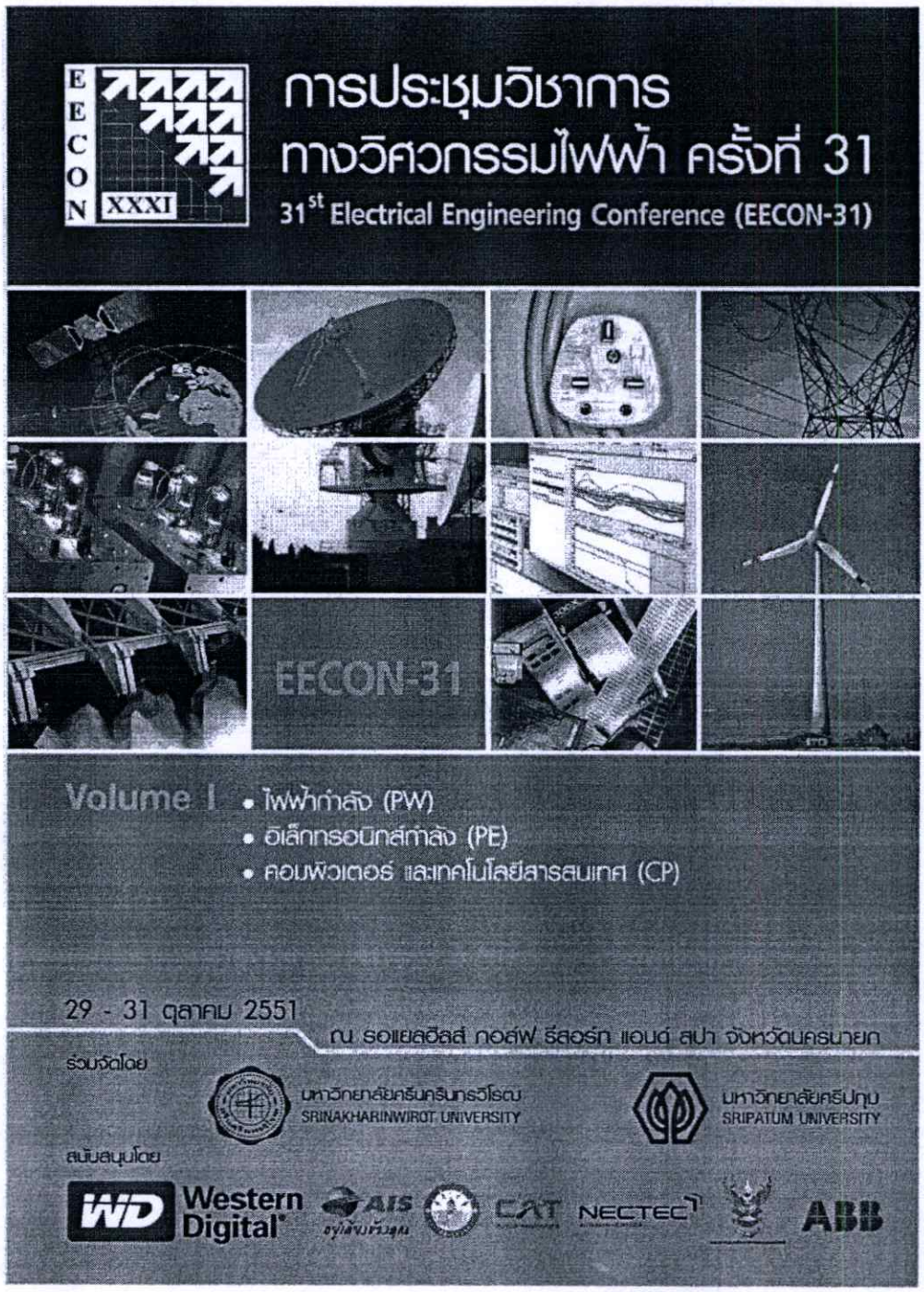
[13] Sakamoto, H. and Yasuda, H. "Introduction of the Content ID Forum (cIDf)." **Proceeding of the 2002 Symposium on Application and the Internet.** 2002 pp. 128-129

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

บทความและผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. อิทธิโชติ ม้ายอุเทศ, นพพร โชติกกำธร. "ระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับบริการเผยแพร่วีดีโอบนอินเทอร์เน็ต" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), เล่ม 1, หน้า 645-648



ระบบการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลแบบลำดับชั้นสำหรับบริการเผยแพร่วีดีโอบนอินเทอร์เน็ต

A Hierarchical-based Digital Watermark Inspection System for Internet Video Publishing Service

อิทธิโชติ น้ำชอุเทศ[1] และ นพพร โชติกกำธร[2]
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และ สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
E-mail: oh_chote@yahoo.com[1], nopporn@it.kmitl.ac.th[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอที่อัพโหลดขึ้นเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บไซต์ผู้ให้บริการเผยแพร่วีดีโอสาธารณะโดยอาศัยเทคนิคด้านลายน้ำดิจิตอลและโครงสร้างการตรวจสอบไฟล์วีดีโอแบบลำดับชั้น จากข้อมูลที่ฝังด้วยลายน้ำดิจิตอลซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน cIDf (content ID forum) กระบวนการตรวจสอบกระทำเพื่อระบุลิขสิทธิ์ของภาพวีดีโอที่ส่งมาให้ตรวจสอบจากเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการเผยแพร่วีดีโอสาธารณะ โครงสร้างของระบบประกอบไปด้วยเซิร์ฟเวอร์ระดับต่าง ๆ อันได้แก่ Root Watermark Server (RoWS) Region Watermark Server (ReWS) และ Local Watermark Server (LoWS) โดยการตรวจสอบจะเริ่มจาก RoWS และไปสิ้นสุดที่ LoWS ด้วยกระบวนการทำงานที่เป็นอิสระจากกันระหว่างเซิร์ฟเวอร์ทั้ง 3 ระดับ ทำให้สามารถรองรับการใช้งานที่เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ เพื่อเป็นการป้องกันการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพวีดีโอ (Collusion Attack) ระบบที่เสนอนี้ถูกใช้ของการใช้พร็อกซี่เซิร์ฟเวอร์เพื่อถ่ายโอนการตรวจสอบ (Inspection-transfer Proxy Server – IPS) ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายต่อภาระในการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบที่แท้จริง

คำสำคัญ: วีดีโอลายน้ำดิจิตอล การปกป้องลิขสิทธิ์ วีดีโอบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

Abstract

This paper describes a video copyright inspection system, as applied to Internet video published by means of a public video server. The system is based on the use of digital watermarking and a hierarchical-based inspection structure. From data embedded by a digital watermark, structured according to the cIDf standard, the inspection process is carried out to identify copyright information of a video submitted for inspection from a public video publishing server. The system is composed of servers at different hierarchical levels, namely a Root Watermark Server (RoWS), a Region Watermark Server (ReWS), and a Local Watermark Server (LoWS). The inspection process starts from RoWS and ends at LoWS. By letting each server performs its task in a loosely coupled manner, the system is capable of scaling up to meet increasing transactions. In addition, to avoid collusion attack, the proposed system includes the use of an Inspection-transfer Proxy Server (IPS), which acts as a middle man to pass an inspection request to an actual inspection server.

Keywords: Video Watermarking, Copyright Protection, Internet Video

CP-06

1.บทนำ

ความก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็วของอุปกรณ์และซอฟท์แวร์ด้านคอมพิวเตอร์ รวมถึงความเร็วที่เพิ่มขึ้นของอินเทอร์เน็ต ทำให้การแลกเปลี่ยนและเผยแพร่ข้อมูลต่างๆผ่านทางอินเทอร์เน็ตทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ซึ่งสิ่งหนึ่งก็คือการเผยแพร่สื่อประเภทวีดีโอผ่านเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการนำเสนอ เช่น ยูทูป เป็นเหตุให้เกิดการนำวีดีโอที่มีลิขสิทธิ์มาเผยแพร่ผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยไม่ได้รับการยินยอมจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งผิดกฎหมาย และการควบคุมนั้นเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยากเนื่องจากมีปริมาณการอัพโหลดวีดีโอต่อวันเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อเจ้าของลิขสิทธิ์เองทั้งในด้านของยอดขายและการละเมิดลิขสิทธิ์ ดังนั้นเจ้าของเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางในการนำเสนอจึงหาวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และป้องกันการฟ้องร้องจากเจ้าของลิขสิทธิ์ด้วย

Digital Rights Management (DRM)[1] เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อจำกัดสิทธิ์ของสื่อมัลติมีเดียโดยการระบุว่าสื่อมัลติมีเดียแต่ละอันนั้นสามารถทำอะไรได้บ้าง โดยอ้างอิงจาก content ID ซึ่งค่า content ID นั้นจะอยู่ที่ header ของแต่ละไฟล์ของสื่อมัลติมีเดียต่างๆ แต่เนื่องจาก header นั้นไม่มีความทนทานคือสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงหรือลบออกได้ ซึ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือลบออกแล้วก็ไม่สามารถจำกัดการใช้สื่อมัลติมีเดียได้อีก ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้

ลายน้ำดิจิตอล[2] เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อนำข้อมูลที่ต้องการระบุถึงสื่อมัลติมีเดียฝังลงไปในสื่อนั้นด้วยโดยไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ตรวจสอบและระบุถึงลิขสิทธิ์ของสื่อนั้นได้ วิธีการตรวจสอบโดยทั่วไปต้องอาศัยลายน้ำของเจ้าของลิขสิทธิ์แต่ละรายเพื่อใช้เปรียบเทียบกับสื่อ จึงจะสามารถระบุเจ้าของสื่อและลิขสิทธิ์ในสื่อนั้น ๆ ได้ แต่กระบวนการเช่นนี้ไม่เหมาะสมกับระบบที่มีสื่อมัลติมีเดียจำนวนมากและมีผู้เป็นเจ้าของจำนวนมาก เพราะการตรวจสอบนั้นทำอยู่ในที่ที่เดียวทำให้เกิดความล่าช้าและไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปัญหาการควบคุมความลับของลายน้ำดิจิตอลอีกด้วย ดังนั้นวิธีการนี้จึงยังไม่เหมาะสมที่จะแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้

บทความนี้นำเสนอระบบที่ช่วยในการแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นโดยการใช้เทคนิคลายน้ำดิจิตอลในการฝังข้อมูล content ID ซึ่งทำให้สามารถระบุถึงเจ้าของและลิขสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องได้ ด้วยการใช้ลายน้ำดิจิตอลที่ทนทานต่อการโจมตี ทำให้สามารถรักษาข้อมูลดังกล่าวไว้ได้ ซึ่งต่างจากการฝังข้อมูลลงในส่วนหัวของไฟล์วีดิโอ ในการตรวจสอบลายน้ำและข้อมูลลิขสิทธิ์ บทความนี้ได้นำเสนอระบบการตรวจสอบลิขสิทธิ์ข้อมูลวิดีโอที่มีโครงสร้างแบบลำดับชั้น โดยกระจายภาระในการตรวจสอบไปที่เซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบในระดับต่าง ๆ ทำให้สามารถรองรับการใช้งานที่เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีกลไกการป้องกันการโจมตีด้วยวิธีการเฉลี่ยภาพวีดีโอ (Collusion Attack) โดยอาศัยพร็อกซี่เซิร์ฟเวอร์เพื่อการโอนการตรวจสอบ (Inspection-transfer Proxy Server – IPS)

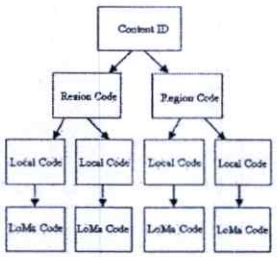
2.โครงสร้างของข้อมูล content ID [3]

Content ID Forum (cIDf) เป็นองค์กรของญี่ปุ่นที่ได้ตั้งมาตรฐานของ content ID ขึ้นซึ่งมีลักษณะเป็นตัวเลขชุดหนึ่งมี 64 บิตซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆและมีความหมายดังนี้ 3 บิตแรกคือ version number, 1 บิตต่อมาคือ Type number, 4 บิตต่อมาคือ Region Number, 8 บิตต่อมาคือ CIC number, และ 48 บิตสุดท้ายคือ CICCMN number ดังที่แสดงในรูปที่ 1

Version Number	Type Number	Region Number	CIC Number	CIC Internal Manageiment Number
3 bit	1 bit	4 bit	8 bit	48 bit

รูปที่ 1 รูปแบบของ content ID ของ cIDf

สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นได้นำเอาส่วนของ Region number ซึ่งในระบบจะเรียกว่า Region Code, CIC Number ในระบบเรียกว่า Local Code และในส่วนของ CIC Internal Management Number ในระบบเรียกว่า Local Management Code ซึ่งมีลักษณะที่เป็นแบบลำดับชั้นคือ เมื่อทราบค่า Region Code แล้วก็สามารถที่จะรู้ค่าของ Local Code ได้และเมื่อทราบค่า Local Code แล้วก็สามารถทราบค่าของ Local Management Code ได้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างแบบลำดับชั้นของ Content ID

3.ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิตอล

ในขั้นตอนการฝังลายน้ำนั้นประกอบด้วยเซิร์ฟเวอร์ทั้งหมด 3 เซิร์ฟเวอร์คือ Local Watermark Server (LoWS), Region Watermark Server (ReWS) และ Root Watermark Server (RoWS) ซึ่งทั้ง 3 เซิร์ฟเวอร์ทำหน้าที่ในการฝังและตรวจสอบลายน้ำ โดยข้อมูลที่ฝังลงไปนั้นคือ content ID ของวีดีโอ ซึ่งมีทั้งหมด 60 บิต โดยมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย Region Code 4 บิต, Local Code 8 บิต และ Local Management Code 48 บิต โดยที่แต่ละเซิร์ฟเวอร์ก็จะนำข้อมูลในแต่ละส่วนของ content ID มาฝังลงไปในวีดีโอด้วยลายน้ำของแต่ละเซิร์ฟเวอร์

สำหรับขั้นตอนของการฝังลายน้ำดิจิตอลลงไปในวีดีโอนั้นค่อนข้างจะซับซ้อนเนื่องจากต้องป้องกันการถูกทำลายลายน้ำจากการฝังหลายครั้งแล้วยังต้องคำนึงถึงการประมวลผลเพื่อการถอดลายน้ำออกมาอีกด้วย ดังนั้นจะอธิบายการฝังลายน้ำเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการฝังข้อมูล Local Management Code ด้วยลายน้ำของ LoWS ลงในวีดีโอวิธีการแผ่กระจายรังสี (Spread Spectrum) [4] แล้วทำการส่งต่อไปให้ยัง ReWS

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อ ReWS ได้รับวีดีโอจาก LoWS แล้วก็จะทำการฝังข้อมูล Local Code ด้วยลายน้ำของ ReWS ด้วยวิธีการแผ่กระจายรังสี (Spread Spectrum) นอกจากลายน้ำแล้วที่ฝังลงไปยังเพิ่มสัญญาณรบกวนลงไปด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้ LoWS นำวีดีโอที่ผ่านการฝังลายน้ำของ ReWS ไปประมวลผลกับวีดีโอต้นฉบับเพื่อหาลายน้ำของ ReWS ได้

ขั้นตอนที่ 3 ReWS จะส่งวีดีโอที่ฝังลายน้ำแล้วกลับไปให้ LoWS เพื่อยืนยันว่าลายน้ำของ LoWS ยังสามารถตรวจสอบได้ ถ้าผลการยืนยันว่าลายน้ำยังตรวจสอบได้ก็จะส่งวีดีโอต่อไปยัง RoWS แต่ถ้าลายน้ำของ LoWS ถูกทำลาย ReWS จะทำการฝังลายน้ำด้วยลายน้ำตัวใหม่ และทำการยืนยันกับ LoWS จนกว่าจะตรวจสอบลายน้ำได้

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อ RoWS ได้รับวีดีโอจาก ReWS แล้วก็จะทำการฝังข้อมูล Region Code ด้วยลายน้ำของ RoWS และเพิ่มสัญญาณ

รบกวนเข้าไปด้วยตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งวิธีการฝังลายน้ำในส่วนของ RoWS นั้นใช้การฝังลายน้ำด้วยวิธี RST Invariant แบบ Template-Base Algorithms [5] ซึ่งมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงเรขาคณิต และยังหาค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นออกมาได้อีกด้วย

ขั้นตอนที่ 5 จะทำคล้ายขั้นตอนที่ 3 คือการยืนยันว่ายังสามารถตรวจสอบลายน้ำได้หรือไม่

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้วีดีโอที่มีลายน้ำครบทั้ง 3 แล้ว RoWS จะส่งวีดีโอกลับไปยัง LoWS ผ่านทาง ReWS และสุดท้ายที่ได้วีดีโอที่มีลายน้ำสมบูรณ์

4. ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำ

หลังจากที่มีบุคคลทำการอัพโหลดวีดีโอเข้ามาสู่พื้นที่ของเซิร์ฟเวอร์แล้วจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการตรวจสอบวีดีโอนั้นว่าสามารถเผยแพร่ได้หรือไม่ โดยจะอธิบายเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 3

ขั้นตอนที่ 1 เซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซต์ที่ให้บริการเผยแพร่วีดีโอในที่นี้เรียกว่า Public Video Server (PubVS) จะทำการดึงภาพในแต่ละช่วงของคีย์เฟรมของวีดีโอออกมาเพื่อส่งไปให้ RoWS ในการตรวจสอบลายน้ำ

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่ RoWS ได้รับกลุ่มภาพของเฟรมวีดีโอจะทำการตรวจสอบลายน้ำด้วยลายน้ำของ RoWS ว่ามีลายน้ำอยู่หรือไม่ พร้อมกันนี้จะทำการหาค่าของการหมุน การปรับขนาด การย้ายตำแหน่งของภาพ และค่า Region Code เพื่อหาค่าที่อยู่ของเซิร์ฟเวอร์ตัวต่อไป จากนั้นจะทำการเลือก Inspection-transfer Proxy Server –(IPS) ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายต่อการะในการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบที่แท้จริง และส่งข้อมูลการหมุน การปรับขนาด การย้ายตำแหน่งของภาพและข้อมูลของ IPS กลับไปยัง PubSV

ขั้นตอนที่ 3 PubVS จะส่งข้อมูลและกลุ่มภาพต่อไปยัง IPS

ขั้นตอนที่ 4 IPS รับข้อมูลจาก PubVS และตรวจสอบหาที่อยู่ของ ReWs และทำการส่งข้อมูลไปยัง ReWS

ขั้นตอนที่ 5 ReWS รับข้อมูลจาก IPS ทำการปรับรูปภาพตามค่าของการหมุน การปรับขนาด และการย้ายตำแหน่ง ตามข้อมูลที่ได้รับมา จากนั้นทำการดึงค่า Local Code ออกมาด้วยลายน้ำของ ReWS เพื่อหาค่าที่อยู่ของเซิร์ฟเวอร์ตัวต่อไป และทำการเลือก IPS ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายต่อการะในการตรวจสอบไปยังเซิร์ฟเวอร์ตรวจสอบที่แท้จริง แล้วส่งข้อมูลกับไปยัง IPS ตัวที่ส่งข้อมูลมาให้

ขั้นตอนที่ 6 IPS รับข้อมูลมาจาก ReWS และทำการส่งต่อไปให้ PubVS

ขั้นตอนที่ 7 PubVS จะส่งข้อมูลและกลุ่มภาพต่อไปยัง IPS

ขั้นตอนที่ 8 IPS รับข้อมูลจาก PubVS และตรวจสอบหาที่อยู่ของ LoWS และทำการส่งข้อมูลไปยัง LoWS

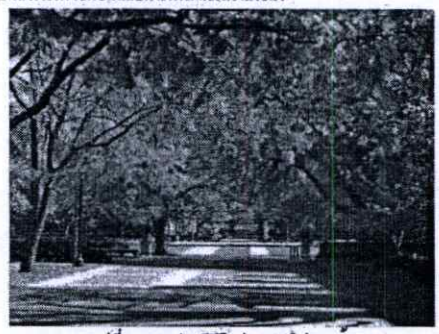
ขั้นตอนที่ 9 LoWS รับข้อมูลจาก IPS ทำการปรับรูปภาพตามค่าของการหมุน การปรับขนาด และการย้ายตำแหน่ง ตามข้อมูลที่ได้รับมา จากนั้นทำการดึงค่า Local Management Code ออกมาด้วยลายน้ำของ LoWS เมื่อได้ Local Management Code ออกมาแล้วจะทำการเช็คกับฐานข้อมูลเพื่อดูว่า Local Management Code นี้เป็นสิทธิ์ของใคร และมีเงื่อนไขการใช้งานอย่างไร และส่งผลการตรวจสอบกลับไปยัง IPS

ขั้นตอนที่ 10 IPS ส่งผลการตรวจสอบกลับไปยัง PubVS

เมื่อ PubSV ได้รับผลการตรวจสอบแล้วก็จะพิจารณาว่าวีดีโอนั้นสามารถเผยแพร่ได้หรือไม่

5. ผลการทดลอง

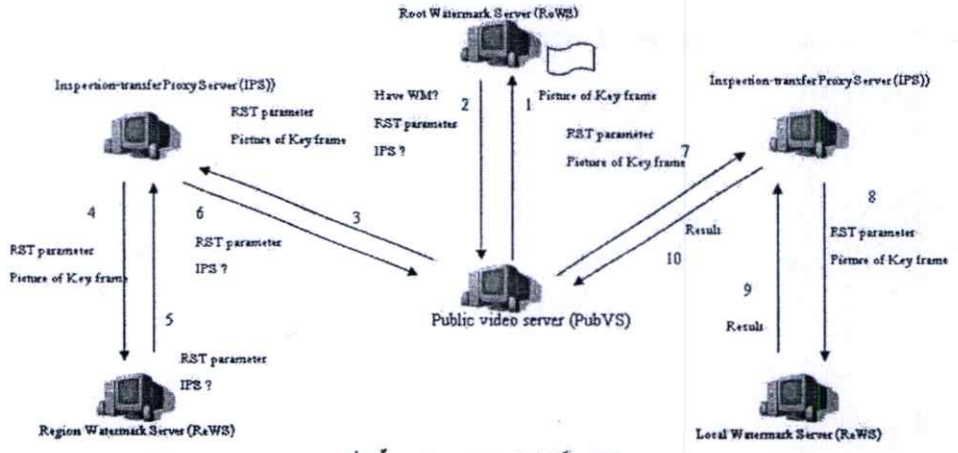
การทดสอบนั้นทำกับวีดีโอแบบมาตรฐาน MPEG-1 ซึ่งมีขนาดของเฟรมที่ 320x240 จุดภาพ ซึ่งข้อมูลที่ต้องฝังลงไปมีจำนวน 60 บิต และค่าของการกระจายแถบความถี่เท่ากับ 1000 ต่อ 1 บิต ดังนั้นต้องฝังข้อมูล 60000 จุดภาพ ซึ่งผลของการหาค่า Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) ออกมาที่ประมาณ 34 เดซิเบล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้อยู่ที่ 20 – 50 เดซิเบล และแสดงได้ดังรูปที่ 4 ถึง 5 คือรูปภาพของเฟรมวีดีโอก่อนและหลังที่ทำการฝังลายน้ำ



รูปที่ 4 ภาพเฟรมวีดีโอก่อนการใส่ลายน้ำ

รูปที่ 5 ภาพเฟรมวีดีโอหลังใส่ลายน้ำ

การทดสอบการฝังลายน้ำในด้านของเวลาที่ใช้ในการฝังข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเฟรมของวีดีโอของไฟล์วีดีโอแต่ละไฟล์ กล่าวคือถ้าไฟล์วีดีโอที่มีจำนวนเฟรมมากก็จะใช้เวลามากและในทางกลับกันถ้าไฟล์วีดีโอมีเฟรมที่น้อยกว่าจะใช้เวลาที่น้อยกว่า



รูปที่ 3 ขั้นตอนการตรวจสอบลิขสิทธิ์ของวีดีโอ

การทดสอบการป้องกันการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ โดยการใช้ Inspection-transfer Proxy Server (IPS) โดยการนำภาพเฟรมวีดีโอที่แตกต่างกันจำนวน 100 ภาพมาทำการฝังลายน้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การทดสอบกับภาพที่ฝังลายน้ำตัวเดียวกัน และภาพที่ฝังลายน้ำต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบนั้น ในกรณีแรกคือนำภาพทั้งหมดที่ฝังลายน้ำตัวเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำภาพเฉลี่ยที่ได้นั้นไปลบออกจากภาพที่มีลายน้ำ จากนั้นนำภาพที่ลบค่าของภาพเฉลี่ยแล้วมาหาค่า correlation กับลายน้ำเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า correlation ของภาพที่มีลายน้ำกับลายน้ำ จะได้ค่าที่แตกต่างกันมาก สำหรับกรณีรูปที่ฝังลายน้ำต่างกันก็ทำเช่นเดียวกันและเมื่อนำค่า correlation มาเปรียบเทียบกันจะได้ค่าความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของ IPS คือ ข้อมูลที่ส่งไปยัง IPS ตัวเดียวกันนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นข้อมูลที่มีลายน้ำเดียวกัน ซึ่งเมื่อผู้ที่ต้องการถอดลายน้ำออกนำภาพที่ส่งไปที่ IPS ตัวเดียวไปหาค่าเฉลี่ยโดยคิดว่ามีลายน้ำตัวเดียวกัน แล้วนำภาพเฉลี่ยที่ได้ไปลบกับภาพที่มีลายน้ำเพื่อทำการถอดลายน้ำออก แต่ก็ไม่สามารถถอดลายน้ำออกได้

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาโดยใช้หลักการเทคนิคของลายน้ำดิจิตอลและโครงสร้างแบบลำดับชั้นของ Content ID เพื่อช่วยในการตรวจสอบวีดีโอว่ามีลิขสิทธิ์อยู่หรือไม่ก่อนนำไปเผยแพร่ โดยเทคนิคด้านลายน้ำดิจิตอลนั้นได้นำเอาการฝังลายน้ำดิจิตอลแบบ RST Invariant และ Spread Spectrum มาใช้และ โครงสร้างแบบ ลำดับชั้นของ Content ID นั้น ได้นำเอารูปแบบของ Content ID ของที่ Content ID Forum (cIDf) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งมีลำดับชั้น 3 ระดับ ดังนั้นเซิร์ฟเวอร์ในระบบจะมี 3 เซิร์ฟเวอร์ และ ลายน้ำที่ฝังลงไปก็จะมี 3 ตัวด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังเพิ่มความปลอดภัยโดยการใช้ Inspection-transfer Proxy Server ในการส่งข้อมูลระหว่าง PubVS กับ RoWS และ LoWs เพื่อป้องกันการโจมตีด้วยวิธีเฉลี่ยภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] Junsook Lee, Seong Oun Hwang, Sang Won Jeong, Ki Song Yoon, Chang Soon Park, and Jae-Cheol Ryou, "A DRM Framework for Distributing Digital Contents Though the Internet," ETRI Journal, Volume 25, Number 6, 2003, pp. 423-435

[2] Gerhard C. Langelaar, Iwan Setyawan, and Reginald L. Lagendijk, "Watermarking Digital Image and Video Data: A State-of-the-Art Overview," IEEE Signal Processing Magazine, September 2000, pp. 20-46

[3] The Content ID Forum, "cIDf Specification 2.0/Rev. 1.1, "Content ID Forum Web Page: http://www.cidf.org

[4] Andreja Samcovic, Jan Turan, "Digital image watermarking by spread spectrum," WSEAS International Conference on Communication, Volume 11, 2007, pp. 29-32

[5] Dong Zheng, Yan Liu, Jiying Zhao, and Abdulmotaleb El Saddik, "A Survey of RST Invariant Image Watermarking Algorithms," ACM Computing Surveys, Volume 39, No.2, June 2007.

อิทธิโชติ ม้ายคุเทศ จบปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) ในปี 2545, ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

นาพพร โชติกกำธร จบปริญญาเอกสาขา Electrical and Electronic Engineering (Signal Processing) จาก Imperial College, London, 1996. ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล. งานวิจัยได้แก่ Multimedia Processing and Security, Human Computer Interaction, Virtual and Mixed Reality

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายอิทธิโชติ ม้ายอุเทศ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2523
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2545
ประสบการณ์การทำงาน	มิถุนายน – กันยายน 2551 ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ประจำห้อง Multimedia and Virtual Research Lab. สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง