

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**  
**เทคนิคลายน้ำดิจิทัลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ**

**DIGITAL WATERMARKING TECHNIQUE FOR IMAGES**  
**WITH PERSPECTIVE DISTORTION**



ฉพ.  
๖๖๗๖๓  
๒๕๔๘

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

61224

17 ก.ค. 2549

.b.....11591950  
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-2066-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DIGITAL WATERMARKING TECHNIQUE FOR IMAGES  
WITH PERSPECTIVE DISTORTION**



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

**2005**

**ISBN 974-15-2066-2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคลายน้ำดิจิทัลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ
นักศึกษา	นางสาววิดา ะไวทย์
รหัสนักศึกษา	43067157
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.นพพร โชติกกำจร

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลและการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลสำหรับรูปภาพที่มีการบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ โดยวิธีการที่นำเสนอไม่จำเป็นต้องมีการแปลงภาพที่บิดเบือนนั้นกลับมาเป็นภาพปกติก่อน ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถตรวจหาลายน้ำที่ใช้ซ่อนได้โดยตรงโดยใช้คุณสมบัติของครอสรหัสแบบคอลลิเนียร์พอยน์ อันเป็นคุณสมบัติที่มีความคงที่ต่อภาพแบบเพอสเพกทีฟ โดยใช้จุดมุมทั้งสี่ของภาพ และจุดตัดอันเกิดจากมุมทั้งสี่ดังกล่าว ในการคำนวณหาตำแหน่งปฐมภูมิของการฝังลายน้ำดิจิทัล จากค่าครอสรหัสที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า จากตำแหน่งปฐมภูมิดังกล่าว ตำแหน่งทุติยภูมิของการฝังลายน้ำดิจิทัลเพิ่มเติมสามารถคำนวณหาได้จากการใช้จุดตัดของเส้นตรง 2 เส้นซึ่งสร้างขึ้นจากตำแหน่งปฐมภูมิ จากพื้นฐานแนวคิดดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการฝังและตรวจจับลายน้ำดิจิทัลที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการตรวจหาลายน้ำด้วยวิธีต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าลำดับและจำนวนขั้นในการคำนวณหาตำแหน่งของการฝังลายน้ำดิจิทัลและระยะห่างของตำแหน่งที่ฝังลายน้ำดิจิทัลมีผลต่อการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล เมื่อภาพลายน้ำดิจิทัลนั้นมีการบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟในมุมต่าง ๆ กัน โดยวิธีการฝังและตรวจจับลายน้ำดิจิทัลที่ใช้จำนวนขั้นน้อยในการคำนวณหาตำแหน่งการฝังลายน้ำ และใช้ตำแหน่งการฝังลายน้ำที่มีการกระจายตัว จะมีผลทำให้การตรวจหาลายน้ำดิจิทัลกระทำได้ดีกว่าวิธีการแบบอื่น ๆ

<b>Thesis Title</b>	Digital Watermarking Technique for Images with Perspective Distortion
<b>Student</b>	Ms.Wiyada Yawai
<b>Student ID</b>	43067157
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Programme</b>	Information Technology
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Nopporn Chotikakamthorn

## ABSTRACT

This thesis presents the digital watermark embedding and detecting technique for images with perspective distortion. The technique does not require an inverse transformation to be performed on the distorted image, in order to detect a watermark. The method is based on the invariance property of the cross ratio of four collinear points. Based on four image corners, primary watermark embedding points can be estimated using the predefined set of cross ratio values. From these primary embedding points, additional secondary embedding points can be estimated from the intersects of two lines constructed from the primary embedding points. Based on this approach, this thesis describes four different watermark embedding and detecting methods. Experiments were carried out to compare the performance of these methods. It was found from the experiment that, levels and the number of steps in estimating watermark embedding points, as well as the distance between adjacent embedding points affect watermark detection performance under perspective distortion. It was found that a method which requires less steps and levels in estimating watermark embedding points with well spatial distribution, offers superior detection performance as compared with the other methods.

## กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.นพพร โชติคกำจร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า ตลอดจนให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงไปเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.จันทร์บุรณ สติฉวีวิยวงศ์ ซึ่งท่านก็เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาอีกท่านหนึ่งของข้าพเจ้า ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าได้มาทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่เป็นคณะกรรมการสอบหัวข้อและเค้าร่างวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาแนะนำตลอดจนชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณน้อง ๆ ที่ MVIlab และทุก ๆ คนที่ไม่อาจกล่าวถึงได้ทั้งหมด ที่ช่วยเหลือแนะนำ ตลอดจนให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ ๆ ทุกคนในครอบครัว รวมถึงหลาน ๆ ที่น่ารัก ที่ช่วยทำให้ข้าพเจ้าสามารถเอาชนะอุปสรรคทั้งหลาย มีกำลังใจ และทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลงได้ แม้จะต้องใช้เวลามากกว่าคนอื่นก็ตาม

ถ้าหากคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา ซึ่งเป็นที่เคารพรักยิ่ง และเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุด ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วิศดา ยะไวทย์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ลายนํ้าดิจิตอลและการบิดเบือนเรขาคณิตแบบเพออสเฟคทีฟ.....	5
2.1 ลายนํ้าดิจิตอล.....	5
2.2 ภาพดิจิตอล.....	11
2.3 การบิดเบือนเรขาคณิตแบบเพออสเฟคทีฟ.....	15
บทที่ 3 เทคนิคการซ้อนลายนํ้าดิจิตอลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพออสเฟคทีฟ.....	19
3.1 ขั้นตอนการซ้อนลายนํ้าดิจิตอล.....	19
3.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายนํ้าดิจิตอล.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53

เอกสารอ้างอิง..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก ตัวอย่างรูปภาพที่ใช้ในการทดลอง .....	58
ภาคผนวก ข บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	64
ประวัติผู้เขียน .....	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟเมื่อทำการทดลองทั้ง 4 วิธี (CC=Correlation coefficient).....	35
4.2 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟ ในวิธีที่ 1 (CC=Correlation Coefficient).....	35
4.3 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟในวิธีที่ 2 (CC=Correlation Coefficient).....	36
4.4 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟในวิธีที่ 3 (CC=Correlation Coefficient).....	37
4.5 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟในวิธีที่ 4 (CC=Correlation Coefficient).....	37
4.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z เมื่อทำการทดลองทั้ง 4 วิธี.....	40
4.7 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 1.....	41
4.8 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 2.....	41
4.9 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 3.....	42
4.10 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสมเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 4.....	43

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 Collinear points A, B, C และ D.....	3
2.1 ตัวอย่างกระบวนการทำลายน้ำดิจิตอล.....	6
2.2 กระบวนการพื้นฐานในการตรวจหาลายน้ำดิจิตอล.....	7
2.3 การฉายวัตถุแบบเพอสเพคทีฟที่ปรากฏบนแผ่นระนาบ.....	15
2.4 การฉายวัตถุแบบเพอสเพคทีฟที่ปรากฏบนแผ่นระนาบในระยะทางที่แตกต่างกัน.....	15
2.5 (ก.) วัตถุรูปลูกบาศก์อยู่ที่จุดเริ่มต้น (ข.) แสดงจุดรวมสายจากภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟรูปลูกบาศก์ ซึ่งมี 1 จุด (ค.) แสดงจุดรวมสายตาของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟรูปลูกบาศก์ ซึ่งมี 2 จุด.....	16
2.6 ตัวอย่างภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟ.....	17
2.7 ส่วนประกอบของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟ.....	17
3.1 แสดงจุด $(x, y)$ ซึ่งเป็นจุดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรง 2 เส้น.....	19
3.2 แสดงจุด $p_1, p_3$ และ $p_4$ ซึ่งอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน.....	20
3.3 (ก.) แสดง Collinear points ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมด้านซ้ายของภาพ และ (ข.) แสดง Collinear points ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมด้านขวาของภาพ.....	21
3.4 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุดตัดของเส้นตรงแต่ละคู่ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอล.....	22
3.5 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอล.....	23
3.6 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{VL,i,k}$ และ (ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{VR,i,k}$ ในวิธีที่ 2.....	24
3.7 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{HD,i,k}$ และ (ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{HU,i,k}$ ในวิธีที่ 2.....	25
3.8 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอลจากขั้นตอนที่ 1-2 ในวิธีที่ 2.....	25
3.9 แสดงตัวอย่างการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอลในวิธีที่ 2.....	26
3.10 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{VL,i,k}$ และ (ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{VR,i,k}$ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอลในวิธีที่ 3.....	26
3.11 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{HU,i,k}$ และ (ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด $E_{HD,i,k}$ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอลในวิธีที่ 3.....	27

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลจากขั้นตอนที่ 1-2 ในวิธีที่ 3.....	28
3.13 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 3.....	28
3.14 แสดงตัวอย่างจุดตัดที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 4.....	29
3.15 แสดงบิตที่ใช้ตรวจสอบหลายน้ำ(บริเวณพื้นที่สี่เหลี่ยมกึ่งกลางภาพ) และบิตที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำ (8 จุดตามคู่ลำดับบริเวณขอบของภาพ).....	30
4.1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำกับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 1.....	31
4.2 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำกับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 2.....	32
4.3 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำกับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 3.....	32
4.4 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำกับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 4.....	33
4.5 (ก.) รูปภาพ "Baboon" ภายหลังจากที่ถูกซ่อนลายน้ำดิจิทัลและที่ถูกบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟตามแนวตั้งในมุม 10 องศา (ข.) รูปภาพ "Baboon" ภายหลังจากที่ถูกซ่อนลายน้ำดิจิทัลและถูกบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟในมุม 40 องศาตามแนวตั้ง.....	34
4.6 ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยโดยเปรียบเทียบจากการทดลองบิดภาพลายน้ำต่าง ๆ แบบเพอสเพคทีฟตามแนวตั้งทั้ง 4 วิธี ในมุมตั้งแต่ 10 ไปจนถึง 40 องศา.....	38
4.7 (ก.) รูปภาพ "Baboon" ภายหลังจากที่ถูกซ่อนลายน้ำดิจิทัลและที่ถูกบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟเมื่อหมุนรอบแกน z และบิดตามแนวตั้งในมุม 10 องศา (ข.) รูปภาพ "Baboon" ภายหลังจากที่ถูกซ่อนลายน้ำดิจิทัลและถูกบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟในมุม 40 องศาตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z .....	39
4.8 ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยโดยเปรียบเทียบจากการทดลองบิดภาพลายน้ำต่าง ๆ แบบเพอสเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ทั้ง 4 วิธี ในมุมตั้งแต่ 10 ไปจนถึง 40 องศา.....	44
4.9 ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยจากการทดลองปรับขนาดรูปภาพต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120% .....	45

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ค่าสหสัมพันธ์สูงสุดในวิธีที่ 1 จากการทดลองปรับขนาดรูปภาพต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120% โดยบิดเบือนภาพแบบเพอสเพกทีฟเมื่อหมุนรอบแกน z และบิดตามแนวตั้งในมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 40 องศา ไปพร้อม ๆ กัน .....	46
4.11 สูงสุดในวิธีที่ 3 จากการทดลองปรับขนาดรูปภาพต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120% โดยบิดเบือนภาพแบบเพอสเพกทีฟเมื่อหมุนรอบแกน z และบิดตามแนวตั้งในมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 40 องศา ไปพร้อม ๆ กัน .....	46
4.12 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองบีบอัดรูปภาพด้วยคุณภาพที่ระดับต่างๆ	47
4.13 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองปรับค่าความสว่างของรูปภาพตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 50% .....	48
4.14 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองปรับการตัดกันของสีตั้งแต่ 10% จนถึง 100% .....	49
4.15 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองปรับรูปภาพให้คมชัดขึ้น โดยใช้ฟิลเตอร์ที่ขนาดต่าง ๆ .....	50
4.16 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองปรับรูปภาพให้มัว โดยใช้ฟิลเตอร์ที่ขนาดต่าง ๆ .....	50
4.17 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ “Salt and pepper” ภายในรูปภาพตั้งแต่ 1% ไปจนถึง 15% .....	51
4.18 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ “Gaussians” ภายในรูปภาพ โดยใช้ค่าความแปรปรวนตั้งแต่ 0.01 ไปจนถึง 0.06 .....	52
ก.1 รูปภาพ “Baboon” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	58
ก.2 รูปภาพ “Camera” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	58
ก.3 รูปภาพ “Demi” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	59
ก.4 รูปภาพ “Lena” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	59
ก.5 รูปภาพ “Pepper” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	60
ก.6 รูปภาพ “Relief” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	60
ก.7 รูปภาพ “Hongkong” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	61
ก.8 รูปภาพ “Dragon” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	61
ก.9 รูปภาพ “Kopipi” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	62

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.10 รูปภาพ “House” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล.....	62
ก.11 รูปภาพ “Barbara” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล .....	63
ก.12 รูปภาพ “Goldhill” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล.....	63



แล้วนำมาคำนวณหาค่า local peak เพื่อหาการเรียงลำดับของค่า Cross ratio ตามค่า secret key ซึ่งต้องใช้การคำนวณที่สูงมาก และเมื่อภาพมีการบิดเบือนแบบ perspective ทำให้หาค่า local peak ไม่เจอ จึงไม่สามารถตรวจสอบค่า Cross ratio ได้

ปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำคิจิตอลได้หลายวิธี นอกจากการใช้สแกนเนอร์ในการสแกนรูปภาพที่มีลายน้ำคิจิตอลแล้ว กล้องคิจิตอลก็เป็น อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการนำรูปภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำคิจิตอลจากรูปภาพ แต่เนื่องจากว่า รูปภาพที่ได้รับการถ่ายนั้น มีการบิดเบือน แตกต่างจากการบิดเบือนแบบที่เกิดจากการสแกน เพราะภาพที่บิดเบือนจากการสแกนนั้น มีการบิดเบือนในลักษณะ 2 มิติเท่านั้น แต่ภาพที่นำเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์โดยการถ่ายภาพนั้น มีการบิดเบือนจาก 3 มิติ เป็น 2 มิติ หรือเป็นการบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟ ซึ่งปัญหาของการบิดเบือนแบบนี้อยู่ที่ต้องมีการแปลงรูปภาพที่บิดเบือนนั้นกลับคืนก่อนเพื่อให้สามารถนำมาตรวจสอบหลายน้ำคิจิตอลที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพนั้นได้ ซึ่งทำให้มีขั้นตอนยุ่งยากต่อการตรวจหาหลายน้ำคิจิตอล

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษางานวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อศึกษาและพัฒนาลายน้ำคิจิตอลสำหรับรูปภาพที่มีการบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟ โดยการตรวจหาหลายน้ำคิจิตอลที่ซ่อนลงในรูปภาพจะใช้การตรวจสอบตำแหน่งเฉพาะที่ใช้ซ่อนโดยตรง โดยไม่ต้องมีการแปลงรูปภาพกลับไปเป็นภาพปกติก่อนการตรวจหาหลายน้ำคิจิตอล

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เมื่อรูปภาพบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟ การตรวจหาหลายน้ำคิจิตอลโดยใช้ทฤษฎีการสเรโซแบบคอลลิเนียร์พอยน์จะมีผลการตรวจหาหลายน้ำคิจิตอลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับของลายน้ำที่ใช้ซ่อน การกระจายตัวของลายน้ำที่ใช้ซ่อนในรูปภาพ และมุมของการบิดภาพแบบเพอสเพคทีฟ โดยถ้าระดับของลายน้ำที่ใช้ซ่อนอยู่ในระดับแรก ๆ และการกระจายตัวของลายน้ำที่ใช้ซ่อนมีการกระจายตัวมากจะทำให้การตรวจจับหาหลายน้ำคิจิตอลได้ดีกว่าในระดับอื่น ๆ และนอกจากนี้มุมของการบิดเบือนภาพแบบเพอสเพคทีฟถ้ามีมุมการบิดภาพที่น้อย โอกาสในการตรวจหาหลายน้ำคิจิตอลได้ดีกว่าการบิดเบือนภาพในมุมที่มากขึ้น

## 1.4 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยนี้ใช้ทฤษฎี Cross-ratio ซึ่งเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่มีความคงที่ในเรื่องของ Projective geometry ซึ่งสามารถอธิบายได้ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ A, B, C, D เป็นจุด 4 จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า collinear points (จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป เรียกว่า Collinear points[6]) แสดงดังรูปที่ 1.1 และสมการที่ใช้คำนวณค่า Cross-ratio แสดงได้ดังสมการที่ (1.1)



รูปที่ 1.1 Collinear points A, B, C และ D

$$(ABCD) = CA / CB : DA / DB \quad (1.1)$$

ค่า Cross-ratio นั้นจะไม่แปรผันตามทิศทางของเส้นตรง ABCD แต่จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของตำแหน่งของจุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันนั่นเอง ทฤษฎีนี้เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่ให้ค่าที่คงที่ซึ่งสามารถใช้ได้กับการหาจุดศูนย์กลางการฉายภาพ (Central projection) ค่าสเกลเชิงเส้น (Linear scalings), การบิด (Skewing) การหมุน (Rotations) และการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (Translation) [7]

ในการสร้างรูปแบบลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนลงในรูปภาพนั้น ในงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีการซ่อนแบบลายน้ำดิจิทัลแบบ spread spectrum ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล จะถูกกำหนดไว้โดยใช้ทฤษฎี Cross ratio แบบ four collinear points และทฤษฎีการหาจุดตัดกันของเส้นทแยงมุม

## 1.5 ขอบเขตของการศึกษา

- รูปภาพที่ใช้เป็นแบบ grayscale ขนาด 512 x 512 จุด จำนวน 12 รูป
- ทราบค่าจุดมุมทั้ง 4 มุมของรูปภาพ
- ลายน้ำดิจิทัลที่ใช้มีความยาว 3,000 บิตต่อ 1 แบบลายน้ำ โดยใช้แบบลายน้ำทั้งสิ้น 20 แบบ

## 1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหาที่ทำวิทยานิพนธ์ ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษาและทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของการศึกษา

บทที่ 2 ลายน้ำดิจิทัลและการบิดเบือนเรขาคณิตแบบเพอสเพกทีฟ กล่าวถึงความหมายของลายน้ำดิจิทัล ชนิดของลายน้ำดิจิทัล กระบวนการทำลายน้ำดิจิทัล เทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพที่ใช้ในปัจจุบัน การทำลายลายน้ำดิจิทัล ภาพดิจิทัล และการบิดเบือนเรขาคณิตแบบเพอสเพกทีฟ

บทที่ 3 เทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ กล่าวถึงขั้นตอนลายน้ำดิจิทัลโดยแบ่งตามวิธีต่าง ๆ ตามสมมติฐานและขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ และขั้นตอนการตรวจสอบน้ำลายดิจิทัล

บทที่ 4 ผลการทดลอง กล่าวถึงผลการทดลองโดยเปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี รวมทั้งทดสอบความทนทานต่อการทำลายลายน้ำในรูปแบบอื่น ๆ ด้วย

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงการสรุปสิ่งที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ และกล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้อยู่รวมถึงสิ่งที่ควรที่จะพัฒนาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ลายน้ำดิจิทัลและการบิดเบือนเรขาคณิตแบบเพอสเพกทีฟ

### 2.1 ลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking) เป็นรูปแบบหนึ่งของการซ่อนข้อมูลลงในสื่อต่าง ๆ เช่น เสียง วิดีโอ หรือรูปภาพ และเอกสาร เพื่อใช้ตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ หรือเพื่อแสดงลิขสิทธิ์ความเป็นเจ้าของ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับรูปภาพเพื่อซ่อนข้อมูลบางอย่างที่ใช้แสดงลิขสิทธิ์ความเป็นเจ้าของ และด้วยจุดประสงค์ดังกล่าวนี้จึงทำให้ลายน้ำดิจิทัลจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความคงทนสูงต่อกระบวนการแปลงต่าง ๆ ที่กระทำกับตัวสื่อ อันจะส่งผลให้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่นั้นถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขไปด้วยทั้งโดยเจตนาและไม่เจตนา [1]

#### 2.1.1 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล[8-10] สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1.1 แบ่งตามลักษณะการทำงาน (Working domain) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- การทำงานในโดเมนพื้นที่ (Spatial domain) เป็นการแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบอาร์เรย์ (Array) ของค่าความสว่างแบบสองมิติ
- การทำงานในโดเมนความถี่ (Frequency domain) เป็นการแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบความถี่ ได้แก่ DCT(Discrete Cosine Transform) DFT(Discrete Fourier Transform) เป็นต้น

2.1.1.2 แบ่งตามชนิดของเอกสาร (Type of document) แบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

- ข้อความ (Text) เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในข้อความ
- รูปภาพ (Image) เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพ
- เสียง (Audio) เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณเสียง
- วิดีโอ (Video) เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณวิดีโอ

2.1.1.3 แบ่งตามการมองเห็น (Human perception) แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

- มองไม่เห็น (Invisible) เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลโดยไม่สามารถสังเกตเห็นลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนได้ โดยแยกเป็น 2 ชนิด คือ
  - ทนทาน (Robust) ลายน้ำประเภทนี้ถูกใช้เพื่อปกป้องลิขสิทธิ์ความเป็นเจ้าของของรูปภาพ มีความทนทานต่อการแก้ไขเปลี่ยนแปลงรูปภาพสูง และยากต่อการลบทำลาย

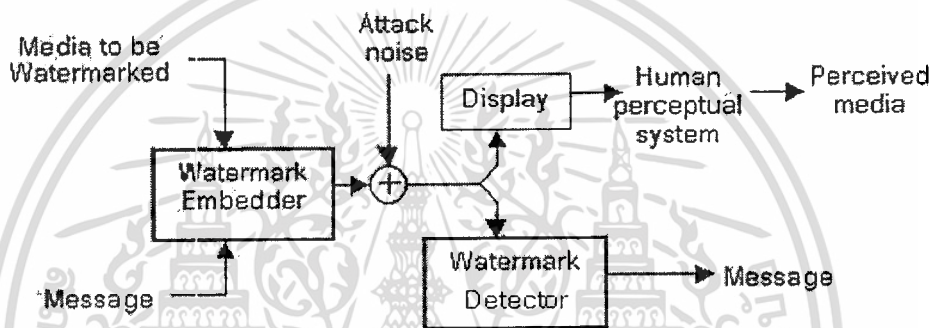
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปราะบาง (Fragile) เป็นลายน้ำที่ง่ายต่อการสูญหายและถูกลบทำลาย ถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ง่าย ส่วนใหญ่ลายน้ำประเภทนี้จะใช้ตรวจสอบว่ารูปภาพนั้นถูกแก้ไข เปลี่ยนแปลงจากต้นฉบับหรือไม่

- มองเห็น (Visible) เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลที่สามารถสังเกตเห็นลายน้ำดิจิทัลได้ โดยส่วนใหญ่ถูกใช้เพื่อปกป้องลิขสิทธิ์ความเป็นเจ้าของรูปภาพ มีความทนทานและยากต่อการที่จะแยกหรือทำลายลายน้ำโดยหลีกเลี่ยงไม่ทำให้รูปภาพเสียหาย

## 2.1.2 กระบวนการทำลายน้ำดิจิทัล ซึ่งแบ่งได้ 2 กระบวนการ[11-12] ดังนี้

### 2.1.2.1 กระบวนการซ่อนลายน้ำดิจิทัล (Watermark embedder)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างกระบวนการทำลายน้ำดิจิทัล

จากรูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างกระบวนการทำลายน้ำดิจิทัลโดยรวมการซ่อนและการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลด้วย จากภาพเป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในสื่อที่ต้องการซ่อน โดยวิธีการซ่อนใช้วิธีการดังสมการที่ (2.1) เมื่อได้สื่อที่มีลายน้ำแล้ว ซึ่งจากรูปภาพที่ 2.1 นั้นสื่อที่มีลายน้ำดิจิทัลอาจจะถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวน (Attack noise) แล้วแสดงให้อยู่ในรูปแบบที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ นอกจากนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลหรือลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในสื่อเหล่านั้น ก็ทำการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลเพื่อหาลายน้ำหรือข้อความ (Message) ที่ซ่อนอยู่ในสื่อต่อไปดังขั้นตอนที่ 2.1.2.2

$$I_e(x_0 + m, y_0 + n) = I(x_0 + m, y_0 + n) + \alpha W(m, n) \quad (2.1)$$

โดยที่  $m$  มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง  $M$

$n$  มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง  $N$

$\alpha$  แทนความเข้มของลายน้ำดิจิทัล

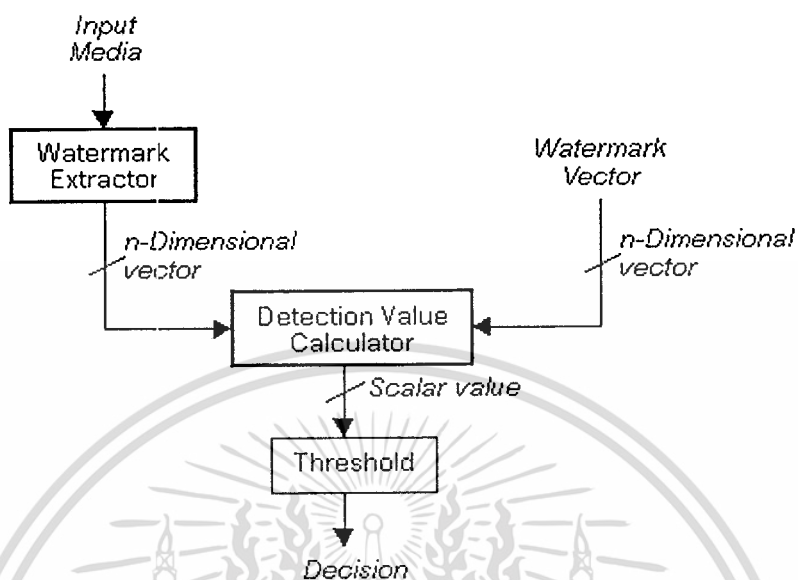
$I$  แทนรูปภาพต้นฉบับ

$I_e$  แทนรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## W แทนลายน้ำดิจิทัล

### 2.1.2.2 กระบวนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล (Watermark detector)



รูปที่ 2.2 กระบวนการพื้นฐานในการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล

จากรูปที่ 2.2 เป็นกระบวนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนลงในสื่อ โดยใช้สมการการตรวจหาลายน้ำดังสมการที่ (2.2-2.4) ซึ่งเป็นการตรวจหาโดยการใช้ความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ของลายน้ำเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ในสื่อที่นำมาตรวจหาลายน้ำนั่นเอง โดยค่าที่คำนวณได้ ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่า Threshold ที่กำหนดไว้ว่า ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้นั้นมีค่ามากกว่า Threshold หรือไม่ ถ้ามากกว่าก็แสดงว่ามีลายน้ำดิจิทัลในสื่อ นั้น

วิธีที่นิยมใช้ในการตรวจสอบว่ามีลายน้ำหรือไม่นั้น มี 3 วิธี คือ

1. ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear correlation) ใช้สมการดังนี้

$$Z_{lc}(I'_e, W_k) = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j I'_e[i, j] W_k[i, j] \quad (2.2)$$

โดยที่  $W_k$  แทนเวกเตอร์ลายน้ำดิจิทัล

$I'_e$  แทนเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ

$N$  แทนขนาดของลายน้ำดิจิทัล

วิธีการนี้ ค่าที่ได้จะไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของความแปรปรวนของเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ และยังไม่ทนทานต่อการประมวลผลที่กระทำกับทุก ๆ บิตของภาพ เช่น การปรับค่าความสว่างเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ใช้สมการดังนี้

$$Z_{cc}(I'_e, W_k) = \frac{\sum_i \sum_j \tilde{I}_e[i, j] \tilde{W}_k[i, j]}{\sqrt{(\sum_i \sum_j (\tilde{I}_e[i, j])^2)(\sum_i \sum_j (\tilde{W}_k[i, j])^2)}} \quad (2.3)$$

โดยที่  $\tilde{I}_e = I'_e - \bar{I}_e$ ,  $\tilde{W}_k = W_k - \bar{W}_k$

โดยที่  $W_k$  แทนเวกเตอร์ลายน้ำดิจิทัล

$I'_e$  แทนเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ

วิธีนี้จะมีความทนทานต่อค่าความแปรปรวนของเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไป และยังมีมีความทนทานต่อการกระทำใด ๆ กับทุก ๆ บิตของภาพ เช่น การปรับค่าความสว่างของภาพมากขึ้นหรือลดลง เป็นต้น เพราะค่าที่นำมาหาค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละเวกเตอร์จะต้องลบด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละเวกเตอร์เสมอ

## 3. ค่าสหสัมพันธ์มาตรฐาน (Normalized correlation) ใช้สมการดังนี้

$$Z_{nc}(I'_e, W_k) = \frac{\sum_i \sum_j I'_e[i, j] W_k[i, j]}{\sqrt{(\sum_i \sum_j (I'_e[i, j])^2)(\sum_i \sum_j (W_k[i, j])^2)}} \quad (2.4)$$

โดยที่  $W_k$  แทนเวกเตอร์ลายน้ำดิจิทัล

$I'_e$  แทนเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ

วิธีการนี้จะทนทานต่อความแปรปรวนของเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบ แต่ยังไม่ทนทานต่อการประมวลผลใด ๆ ที่กระทำกับทุก ๆ บิตของภาพ เช่น การปรับค่าความสว่าง และการปรับค่าความเข้มของแสง เป็นต้น

### 2.1.3 เทคนิคการซ่อนลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพ

#### 2.1.3.1 Least significant bit replacement

Least significant bit replacement เป็นวิธีการที่มีแนวคิดพื้นฐานที่สุด โดยการเข้าไปแก้ไขบิตต่ำสุด (LSB) ของแต่ละพิกเซลภายในรูปภาพโดยตรง ด้วยการแทนที่ด้วยแต่ละบิตของลายน้ำดิจิทัล [13-16] ซึ่งนับว่าเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการการคำนวณมาก แต่ขณะเดียว

กันความทนทานต่อการถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขบนตัวรูปภาพของวิธีการนี้ก็มีน้อยหรือแทบไม่มีเลย ซึ่งในเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นในช่วงแรก ๆ ส่วนใหญ่จะอาศัยแนวคิดดังกล่าวนี้

### 2.1.3.2 Patchwork

เป็นวิธีการเชิงสถิติ ภายใต้ข้อสมมติฐานที่ว่าแต่ละพิกเซลภายในรูปภาพมีค่าความสว่างใกล้เคียงกันและเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นหากทำการเลือกพิกเซลขึ้นมาจำนวนสองกลุ่ม  $(a, b)$  อย่างสุ่มแล้ว ผลต่างของค่าเฉลี่ยของความสว่างจากทั้งสองกลุ่มควรมีค่าเข้าใกล้ 0 ดังสมการดังนี้[13,17]

$$\bar{x}_a - \bar{x}_b = 0 \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\bar{x}_a, \bar{x}_b$  แทนความสว่างเฉลี่ยของพิกเซลทั้งหมดที่เลือกจากบริเวณ  $a$  และ  $b$  ตามลำดับ

จากข้อเท็จจริงดังกล่าว ในวิธีการ Patchwork นี้จะทำการแก้ไขค่าความสว่างในแต่ละพิกเซลของทั้งสองกลุ่มให้แตกต่างกัน โดยทำการเพิ่มค่าของแต่ละพิกเซลในกลุ่ม  $a$  ซึ่งเป็นค่าน้อย ๆ และในทำนองเดียวกันก็ลดค่าของแต่ละตำแหน่งในกลุ่ม  $b$  ด้วยค่าเดียวกัน ดังนั้นผลลัพธ์ที่คาดหวังจากสมการดังนี้

$$(\bar{x}_a + \alpha) - (\bar{x}_b - \alpha) = 2\alpha \quad (2.6)$$

ค่าและตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการแก้ไขไปดังกล่าวก็จะกลายเป็นรหัสลับ (Secret key) ที่เจ้าของรูปภาพเก็บไว้เพื่อใช้พิสูจน์ลิขสิทธิ์บนตัวรูปภาพในภายหลัง ด้วยความซับซ้อนของวิธีการนี้เองจึงทำให้วิธีการนี้มีความทนทานต่อกระบวนการแปลงต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวไม่สามารถรองรับการแปลงเชิงเส้นอย่างการหมุนและการปรับขนาดได้

### 2.1.3.3 Texture block coding

วิธีการนี้กระทำโดยการเลือกเอาส่วนหนึ่งของภาพไปฝังไว้ในอีกส่วนหนึ่งของภาพที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งจะเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นกับรูปภาพจะส่งผลให้บริเวณทั้งสองดังกล่าวได้รับผลกระทบในลักษณะเดียวกัน ซึ่งในกระบวนการตรวจหาลายน้ำกลับคืนนั้นสามารถกระทำได้โดยการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์แบบอัตโนมัติ (Autocorrelation) [13] นับว่าเป็นวิธีการที่มีความทนทานค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ยังมีข้อเสียหลายประการ คือ

1. ไม่มีการใช้รหัสลับหรืออัลกอริทึมพิเศษซึ่งแสดงลิขสิทธิ์ของเจ้าของเฉพาะเจาะจง
2. สามารถกระทำได้กับเฉพาะบางรูปภาพที่มีส่วนคล้ายคลึงกันเท่านั้น

3. บางรูปภาพอาจมีส่วนที่คล้ายคลึงกันโดยบังเอิญ ซึ่งจะทำให้ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลผิดพลาดได้

4. ในขั้นตอนการพิจารณาเลือกพื้นผิวที่ใกล้เคียงกันภายในรูปภาพนั้น ไม่สามารถกระทำโดยอัตโนมัติได้

#### 2.1.3.4 Spread spectrum watermarking

การซ่อนลายน้ำดิจิทัลโดยใช้เทคนิค Spread spectrum เป็นวิธีการที่มีความทนทานสูง วิธีการดังกล่าวอาศัยทฤษฎีการมอดูเลชันในระบบสื่อสารที่เรียกว่า Spread spectrum technique โดยวิธีการดังกล่าวใช้ขนาดความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ที่มากกว่าที่ใช้ในเทคนิคการมอดูเลชันแบบอื่น อันเป็นผลทำให้สามารถลดขนาดของสัญญาณที่ส่งในแต่ละช่วงความถี่ได้ ทำให้การส่งสัญญาณด้วยเทคนิคดังกล่าวตรวจจับได้ยากเนื่องจากระดับสัญญาณในแต่ละย่านความถี่มีระดับต่ำมาก (อยู่ในระดับเดียวกับสัญญาณรบกวนที่มีอยู่โดยทั่วไปในช่องสัญญาณ) ซึ่งคุณสมบัติอันนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพได้เป็นอย่างดี โดยในกรณีของลายน้ำดิจิทัลนี้ รูปภาพที่ต้องการซ่อนเปรียบเสมือนช่องสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร ซึ่งลายน้ำดิจิทัลจะเปรียบเสมือนกับสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง คุณสมบัติที่สำคัญของเทคนิคนี้คือ ลายน้ำดิจิทัลที่เป็นเสมือนข้อมูลที่จะส่งไปในช่องสัญญาณดังกล่าว จะต้องไม่ทำให้ภาพต้นฉบับเปลี่ยนแปลงจนเป็นที่สังเกตเห็นได้ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของเทคนิค Spread spectrum ดังกล่าวข้างต้น โดยการใช้เทคนิคดังกล่าว ทำให้ค่าความสว่างของลายน้ำดิจิทัลสามารถกำหนดให้อยู่ในระดับที่ต่ำเพียงพอที่จะทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ นอกจากนี้คุณสมบัติของที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเทคนิค Spread spectrum คือมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งในกรณีของการประยุกต์ใช้เพื่อการซ่อนลายน้ำดิจิทัล จะเป็นผลทำให้ลายน้ำดิจิทัลมีความทนทานต่อกระบวนการประมวลผลภาพ ทั้งในกรณีที่กระทำโดยมีเจตนาเพื่อการทำลายตัวลายน้ำที่ซ่อนอยู่ และในกรณีอื่นๆ อาทิเช่น เพื่อผลในด้านการปรับปรุงภาพ หรือเพื่อการลดขนาดของข้อมูล เป็นต้น [11,14,17]

การซ่อนข้อมูลโดยวิธีการ Spread spectrum สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I'(x_0 + m, y_0 + n) = I(x_0 + m, y_0 + n) + \alpha \sum_{i=1}^Z w_i S_i(m, n) \quad (2.7)$$

โดยที่	$\alpha$	=	ค่ากำหนดความเข้มของลายน้ำดิจิทัล (Amplitude factor)
	$Z$	=	จำนวนของรหัส Spreading code
	$w_i$	=	ข้อมูลที่จะซ่อนลำดับที่ $i$
	$S_i$	=	Spreading code ลำดับที่ $i$

## 2.1.4 การโจมตีลายน้ำดิจิทัล (Attacks on Watermarks)[16,18]

2.1.4.1 การบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสีย (Lossy Compression) เป็นกระบวนการลดปริมาณข้อมูลรูปภาพ วิธีการที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายคือการบีบอัดข้อมูลรูปภาพแบบ JPEG และ MPEG

2.1.4.2 การบิดเบือนเชิงเรขาคณิต (Geometric Distortions) เป็นกระบวนการการบิดเบือนเชิงเรขาคณิตในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การหมุน (Rotation) การปรับขนาด (Scaling) การย้ายตำแหน่ง (Translation) และการตัด (Cropping)

2.1.4.3 การประมวลผลสัญญาณทั่วไป (Common signal Processing Operations) ได้แก่ การแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A conversion) การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D conversion) รีแซมปลิง (Resampling) รีควอนไทซ์ (Requantization) การบีบอัดซ้ำ (Recompression) ไดเชอริง (Dithering distortion) การใช้ฟิลเตอร์ (Linear filtering) และนอนลิเนียร์ฟิลเตอร์ (Non-linear filtering) รวมถึง การลดลงของสี (Color reduction)

2.1.4.4 การโจมตีโดยเจตนา (Other intentional attacks) เพื่อต้องการเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลให้มีความหมายบิดเบือนไป ทั้งนี้เพื่อเจตนาทำให้ผู้รับเกิดความเข้าใจผิด หรือแก้ไขเพื่อแอบอ้างความเป็นเจ้าของ การแก้ไขประเภทนี้ ได้แก่ การพิมพ์ การสแกน การใส่ลายน้ำดิจิทัลซ้ำซ้อนลงไปบนภาพ หรือการใส่รูปภาพซ้ำซ้อนลงไปบนรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลอยู่ก่อนแล้ว หรือลบวัตถุที่ปรากฏในภาพทิ้งไป เป็นต้น

## 2.2 ภาพดิจิทัล (Digital image)

ภาพ (Image) ในเชิงคณิตศาสตร์จะหมายถึง ฟังก์ชัน 2 มิติ  $f(x, y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นแกนพิกัดในระนาบ 2 มิติ ค่าฟังก์ชัน  $f(x, y)$  จะเป็นสัดส่วนกับความสว่าง หรือความเข้มของภาพ ที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  ซึ่งเราเรียกว่า ระดับสีเทา (Gray level)

ภาพ 2 มิติที่แทนด้วยฟังก์ชัน  $f(x, y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นแกนในระนาบของภาพค่าของฟังก์ชันที่จุด  $(x, y)$  ต้องไม่เป็นศูนย์ และมีค่าน้อยกว่าค่าอนันต์ (Finite) นั่นคือ  $0 < f(x, y) < R$

สำหรับการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัลนั้น ภาพในธรรมชาติที่เรามองเห็นโดยทั่วไปนั้น เกิดจากการสะท้อนออกจากวัตถุของแสงอาทิตย์หรือแสงไฟมาตกกระทบเข้าม่านตามนุษย์ ซึ่งเป็นภาพที่มีลักษณะต่อเนื่อง (Continuous) โดยมีองค์ประกอบต่าง ๆ ของภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงของความสว่างและสี ซึ่งรูปภาพดิจิทัลเริ่มมีการใช้งานครั้งแรกประมาณต้นทศวรรษที่ 1920 [19] เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการส่งข้อมูลรูปถ่ายข่าวหนังสือพิมพ์ผ่านระบบสายเคเบิลใต้น้ำของ Bartlane เชื่อมระหว่างลอนดอนกับนิวยอร์ก ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการส่งข้อมูลจากเดิม 3 วันเหลือเพียงไม่ถึง 3 ชั่วโมง

การนำรูปภาพในธรรมชาติเข้ามาประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้นั้น จำเป็นจะต้องนำรูปภาพมาผ่านกระบวนการแปลงให้อยู่ในรูปของตัวเลข (Image digitization) เสียก่อน ซึ่งกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือการแซมปลิง (Sampling) และการปรับในเชิงปริมาณ (Quantization) [19-20]

ขั้นตอนแรกของการระบวนการดังกล่าวคือการแซมปลิง โดยขั้นตอนนี้จะทำการเก็บค่าความสว่างจากตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดในรูปภาพต่อเนื่อง หลังจากนั้นค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกนำไปแปลงให้อยู่ในรูปของตัวเลข ซึ่งเป็นขั้นตอนของการปรับในเชิงปริมาณ ค่าความสว่างของแต่ละตำแหน่งภายในภาพจะถูกพิจารณาให้อยู่ภายในขอบเขตของสี (Gray level หรือ Brightness intensity) ที่กำหนด กลายเป็นสีค่าเทา เรื่อยไปจนถึงขาว ซึ่งจากขั้นตอนนี้ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดอยู่ในรูปของอาเรย์ 2 มิติ ซึ่งแต่ละตำแหน่งของอาเรย์นี้จะแทนแต่ละจุดภายในรูปภาพดิจิทัล เราเรียกแต่ละตำแหน่งดังกล่าวนี้ว่าพิกเซล(Picture element or Pixel)

### 2.2.1 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพแบบดิจิทัล

ภาพดิจิทัลมีลักษณะการจัดเก็บแบ่งตามจำนวนสีที่เก็บได้ดังต่อไปนี้

- ภาพ 2 ระดับ คือ มีเพียงแค่จุดขาวกับจุดดำเท่านั้น โดยแต่ละจุดเป็นข้อมูลขนาด 1 บิต
- ภาพ 16 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพได้ 16 ระดับสี หรือ 16 ระดับ Gray level ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือภาพขาวดำ
- ภาพ 256 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดข้อมูล 8 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพได้ 256 ระดับสี หรือ 256 ระดับ Gray level ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือภาพขาวดำ
- ภาพ True color คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิต ทำให้สามารถแสดงผลภาพได้เหมือนภาพจริงที่สุด เพราะสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 สี ภาพ True color สามารถแสดงผลได้เฉพาะภาพสีเท่านั้น ไม่สามารถแสดงผลภาพขาวดำได้

### 2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของการประมวลผลภาพที่นำมาใช้ [21-22]

#### 2.2.2.1 การปรับความสว่างของรูปภาพ (Brightness adjustment)

การปรับความสว่างของรูปภาพ คือการปรับความสว่างของภาพให้มีค่าความสว่างมากขึ้นหรือลดลง ซึ่งสามารถทำได้โดยปรับหรือ Shift ค่าระดับของ Gray level ของภาพทั้งหมดทุกค่าด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เราต้องการ อาจมีค่าเป็นบวก (ความสว่างมากขึ้น) หรือค่าเป็นลบ (ความสว่างลดลง) ก็ได้ ดังสมการ (2.8)

$$I'(x,y) = I(x,y) + c \quad (2.8)$$

เมื่อ  $I'(x,y)$  คือค่าความสว่างของรูปภาพที่ถูกเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง  $(x,y)$

$c$  แทนระดับความสว่างที่เปลี่ยนแปลงไปอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.2 การปรับการตัดกันของสีภายในรูปภาพ (Contrast adjustment)

การปรับการตัดกันของสีภายในรูปภาพ คือการปรับความคมชัดของภาพให้มีค่าความคมชัดมากขึ้นหรือลดลง โดยปรับค่าเฉพาะบางส่วนที่ต้องการให้ความแตกต่างกันของสีมากขึ้นหรือลดลง ซึ่งภาพมีค่าความคมชัดมากขึ้นระดับ Gray level จะมีลักษณะรวมตัวกัน ส่วนภาพมีค่าความคมชัดลดลงระดับ Gray level จะมีลักษณะกระจายออก ดังสมการ (2.9)

$$I'(x,y) = \begin{cases} I(x,y) + c; r_1 \leq x \leq r_2 \wedge s_1 \leq y \leq s_2 \\ I(x,y); otherwise \end{cases} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $(r_1, s_1)$  แทนตำแหน่งเริ่มต้นของการปรับ

$(r_2, s_2)$  แทนตำแหน่งสุดท้ายของการปรับ

### 2.2.2.3 การปรับขนาดของรูปภาพ (Scaling)

คือการใช้อัตราส่วนจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจากภาพเดิมก็จะเป็นภาพขยาย แต่ถ้าอัตราส่วนลดลงจากภาพเดิมก็จะเป็นการย่อ โดยมีสมการคือ

$$I'(x,y) = I(x \times S_x, y \times S_y) \quad (2.10)$$

เมื่อ  $S_x, S_y$  แทนขนาดใหม่ของรูปภาพในแนวแกนอนและแกนตั้งตามลำดับ

### 2.2.2.4 การปรับคุณภาพของรูปภาพ (Image enhancement)

เป็นการปรับคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ (Filter) ทำหน้าที่ตัวกรองสัญญาณ เพื่อตัดเอาบางองค์ประกอบของรูปภาพออกไป ทำให้รูปภาพที่ได้มีลักษณะนุ่มนวลลงหรือชัดเจนขึ้น ซึ่งมีสมการทั่วไปคือ

$$I'(x,y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W(i,j) \cdot I\left(x + i - \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor, y + j - \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor\right) \quad (2.11)$$

โดยที่  $W$  แทนฟิลเตอร์สำหรับกรองสัญญาณ ซึ่งมีขนาด  $N \times N$

### 2.2.2.4.1 การปรับภาพให้นุ่มนวล (Smooth filtering)

เป็นการทำให้ภาพดูมัวลง หรือเพื่อลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ โดยแยกเอาองค์ประกอบที่มีความสูงในฟูเรียร์โดยเมนอนอก ซึ่งได้แก่ขอบ และรายละเอียดที่คมชัดของรูปภาพคงเหลือไว้เฉพาะองค์ประกอบที่มีความถี่ต่ำ ฟิลเตอร์ประเภทนี้จะมีสัมประสิทธิ์ทุกตัวเป็นบวก โดยมีผลรวมของสัมประสิทธิ์เหล่านั้นเท่ากับ 1 ตัวอย่างของฟิลเตอร์ลักษณะนี้คือ สัมประสิทธิ์ทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด คือเท่ากับ  $\frac{1}{N^2}$  ในสมการที่ (2.11) ฟิลเตอร์  $W$  จะเป็น ดังนี้

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

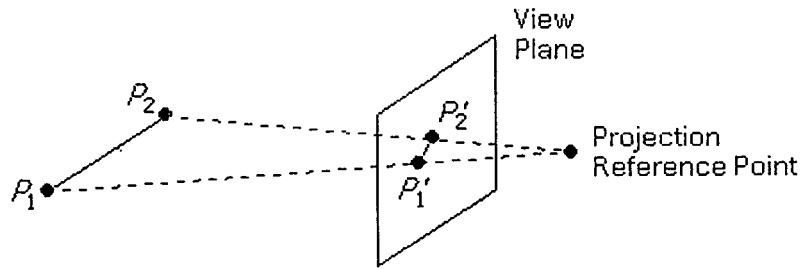
### 2.2.2.4.2 การปรับภาพให้คมชัดขึ้น (Sharpening filtering)

เป็นการทำให้ภาพดูคมชัดขึ้น โดยแยกเอาองค์ประกอบที่มีความถี่ต่ำออก ทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดภายในรูปภาพได้ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะบริเวณขอบ, เส้น, หรือจุดต่าง ๆ ฟิลเตอร์ประเภทนี้จะมีสัมประสิทธิ์ตัวกลางเท่านั้นที่เป็นบวก นอกนั้นก็เหลือทั้งหมดเป็นลบ โดยมีผลรวมสัมประสิทธิ์เหล่านั้นเท่ากับ 1 ตัวอย่างของฟิลเตอร์ลักษณะนี้คือ สัมประสิทธิ์ตัวกลางเท่ากับ  $N^2$  นอกนั้นก็เหลือทั้งหมดเป็น 1 ในสมการที่ (2.11) ฟิลเตอร์  $W$  จะเป็น ดังนี้

$$W = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

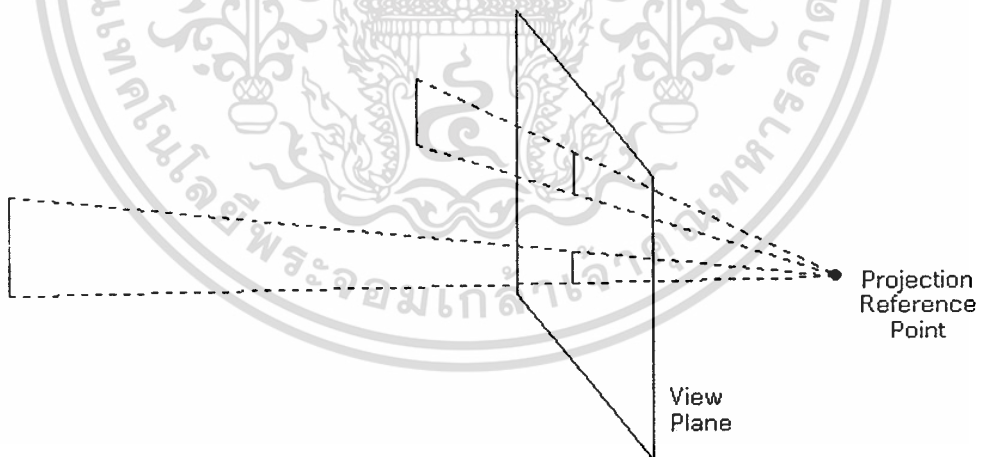
## 2.3 การบิดเบือนเรขาคณิตแบบเพอสเปคทีฟ (Perspective Geometry Distortion) [23]

### 2.3.1 การฉายแบบเพอสเปคทีฟ (Perspective Projection)



รูปที่ 2.3 การฉายวัตถุแบบเพอสเปคทีฟที่ปรากฏบนแผ่นระนาบ

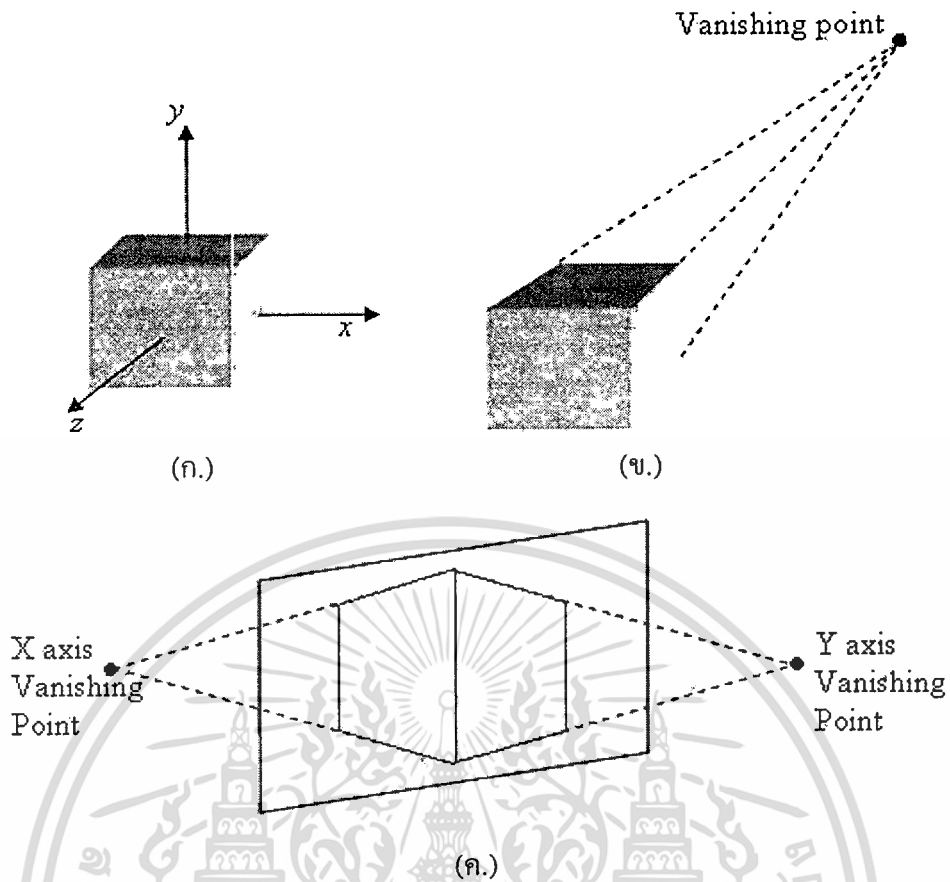
เป็นการฉายภาพของวัตถุสามมิติลงบนแผ่นระนาบ โดยที่เส้นที่ลากจากวัตถุจริงมายังแผ่นระนาบนั้นจะตัดกันที่จุดจุดหนึ่งที่เรียกว่า จุดอ้างอิงที่เกิดจากการฉาย (Projection reference point) หรืออาจเรียกว่า จุดศูนย์กลางของการฉาย (Center of projection) ซึ่งจุดนี้เกิดจากการคำนวณจุดที่ตัดกันจากเส้นที่เกิดจากการฉาย (Projection lines) ของวัตถุที่ตัดบนแผ่นระนาบ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งขนาดของวัตถุจริงที่เกิดขึ้นบนภาพฉายนั้น จะมีขนาดไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างของวัตถุและแผ่นระนาบ ซึ่งถ้าวัตถุมีขนาดเท่ากัน แต่ระยะทางที่ต่างกัน วัตถุที่เกิดบนแผ่นระนาบที่มีระยะทางจากวัตถุถึงแผ่นระนาบที่น้อยกว่า จะมีขนาดใหญ่กว่า วัตถุที่มีระยะทางยาวกว่า ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การฉายวัตถุแบบเพอสเปคทีฟที่ปรากฏบนแผ่นระนาบในระยะทางที่แตกต่างกัน

วัตถุ 3 มิติที่ถูกฉายลงบนแผ่นระนาบ (View plane) ภาพที่ได้นั้น เส้นต่าง ๆ ที่ขนานกันของวัตถุที่ถูกฉาย จะปรากฏเป็นเส้นตรงที่ไม่ขนานกันและมีการตัดกัน ณ จุดจุดหนึ่ง ที่เรียกว่า จุดรวมสายตา (Vanishing point) ซึ่งจำนวนจุดรวมสายตา (Vanishing point) นั้น มีมากหรือน้อยขึ้นกับจำนวนของเส้นขนาน (Parallel line) ของวัตถุที่อยู่บนแผ่นระนาบ แสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 (ก.) วัตถุรูปลูกบาศก์อยู่ที่จุดเริ่มต้น (ข.) แสดงจุดรวมสายจากภาพที่บิดเบือนแบบเพสเพคทีฟรูปลูกบาศก์ ซึ่งมี 1 จุด (ค.) แสดงจุดรวมสายตาของภาพที่บิดเบือนแบบเพสเพคทีฟรูปลูกบาศก์ ซึ่งมี 2 จุด

### 2.3.2 ภาพแบบที่บิดเบือนเพสเพคทีฟ (Perspective image distortion)

จากการอธิบายในเรื่องของการฉายแบบเพสเพคทีฟ (Perspective Projection) ของวัตถุในหัวข้อ 2.3.1 นั้นลักษณะของภาพของวัตถุที่ถูกฉายแบบเพสเพคทีฟก็หมายถึงการสร้างภาพของวัตถุให้ดูมีความรู้สึกว่ามีความลึก เป็นไปตามธรรมชาติ ซึ่งภาพของวัตถุที่เกิดขึ้นจากการมองด้วยสายตา หรือผ่านกล้อง หรือเป็นการสร้างภาพของวัตถุจากโปรแกรม เช่น Matlab, Photoshop เป็นต้น แล้วเห็นวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในภาพอยู่ในตำแหน่งต่างๆกันไป ในระยะห่างต่างๆกันไป และด้วยขนาดที่แตกต่างกันไป ตามระยะทางจากจุดมอง หรือจากกล้อง ไปจนกระทั่งลับหายไปจากสายตา ณ จุดใดจุดหนึ่ง ที่เส้นขอบฟ้า ซึ่งมุมมองของภาพดังกล่าวนี้จะเปลี่ยนไป เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวของ ตำแหน่งของจุดมอง ไม่ว่าจะเป็น เลื่อนไปทาง ซ้าย ขวา หน้า หลัง หรือ สูง ต่ำ ก็จะส่งผลถึง มุมมองเพสเพคทีฟที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แต่ตราบดีที่จุดมองยังอยู่ในตำแหน่งเดิม แล้วเปลี่ยนแปลงแค่มุมรับภาพ เช่น การเปลี่ยนทางยาวโฟกัสของเลนส์ หรือการ ดึงซูม เข้า-ออก โดยไม่มีการเปลี่ยน ตำแหน่งของจุดมองภาพแบบเพสเพคทีฟจะไม่เปลี่ยนแปลงไป (ตำแหน่งของจุดมองยัง

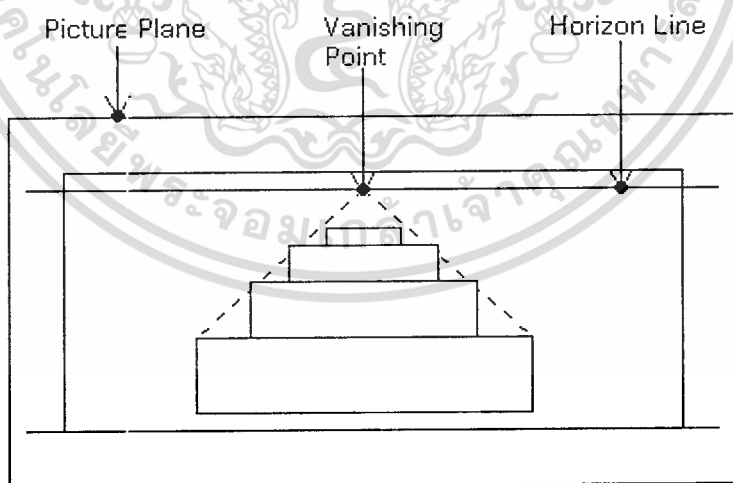
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ที่เดิม แต่เปลี่ยนเฉพาะความกว้าง และแคบของมุมมองเท่านั้น เช่น การเปลี่ยนระยะชมของกล้อง จะไม่ส่งผลกับภาพแบบเพอสเพกทีฟ เป็นต้น

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วัตถุคือภาพแบบ 2 มิติ ดังนั้นภาพแบบ 2 มิติที่ถูกฉายแบบเพอสเพกทีฟจึงเรียกว่า ภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟนั่นเอง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ

ส่วนประกอบของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ ดังรูปที่ 2.7 มีเส้นประกอบหลัก ดังนี้

1. เส้นแสดงแผ่นระนาบ (Picture plane) คือเส้นแนวระนาบที่จะเขียนภาพเพอสเพกทีฟ
2. เส้นพื้น (Ground Line) คือเส้นที่วางวัตถุอยู่บนพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เส้นระดับตา (Horizon Line) คือเส้นระดับสายตาที่ขนานกับเส้นพื้นและระนาบของเส้นสายตา โดยจะเลื่อนขึ้นหรือลงตามความต้องการ โดยจะมีจุดรวมสายตา (Vanishing Point) ทั้งหลายอยู่บนเส้นนี้

4. จุดมอง (Station Point) คือ ตำแหน่งที่มองภาพจากจุดที่ตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## เทคนิคการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบ เพอสเพคทีฟ

ในการออกแบบเทคนิคทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟโดยใช้ทฤษฎี Cross-ratio แบบ Collinear points ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการซ่อนลายน้ำดิจิตอล
  - 3.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิตอล
- โดยมีรายละเอียด ดังนี้

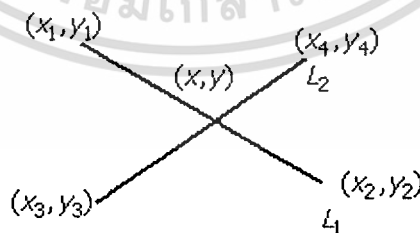
### 3.1 ขั้นตอนการซ่อนลายน้ำดิจิตอล

สำหรับวิธีการซ่อนลายน้ำดิจิตอล จุดที่ใช้ซ่อนลายน้ำสามารถคำนวณได้จากการใช้วิธีหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้นและการใช้ Cross-ratio มาประยุกต์ใช้ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- การคำนวณหาจุดตัดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นทแยงมุมของภาพที่จะนำมาซ่อนลายน้ำดิจิตอล เพื่อหาจุดศูนย์กลางของภาพ [24]
- การใช้จุด 3 จุดในแนวเส้นตรงเดียวกันมาคำนวณหาตำแหน่งของจุดที่ 4 ในแนวเส้นตรงนั้น โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่า Cross-ratio [7]

วิธีในการคำนวณหาจุดโดยอาศัยแต่ละวิธีข้างต้นอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. การคำนวณหาจุดจากการตัดกันของเส้นตรง 2 เส้น จากจุด 4 จุดที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน



รูปที่ 3.1 แสดงจุด  $(x, y)$  ซึ่งเป็นจุดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรง 2 เส้น

- 1) จากจุด 4 จุดใด ๆ ที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน  $p_1 - p_4$  โดยกำหนดให้จุด

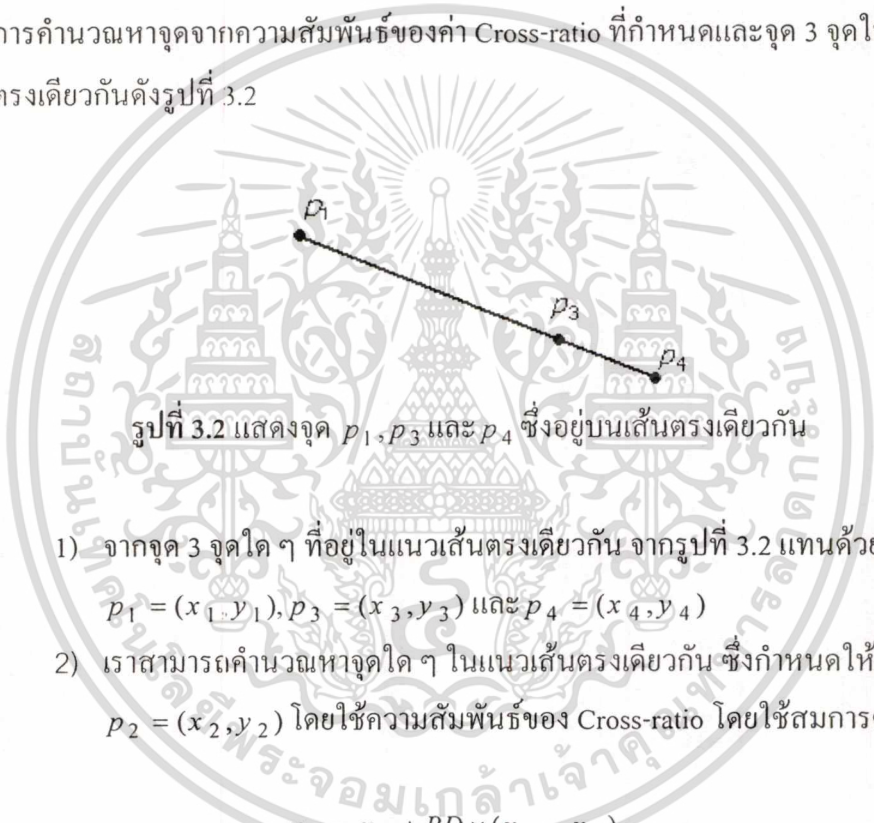
$$p_1 = (x_1, y_1), p_2 = (x_2, y_2), p_3 = (x_3, y_3) \text{ และ } p_4 = (x_4, y_4) \text{ ดังรูปที่ 3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) จากรูปที่ 3.1 เราสามารถคำนวณหาจุด  $(x, y)$  ที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรง  $\overline{p_1 p_2}$  และเส้นตรง  $\overline{p_3 p_4}$  โดยใช้สมการดังนี้

$$x = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & x_1 - x_2 \\ x_2 & y_2 & x_1 - x_2 \\ x_3 & y_3 & x_3 - x_4 \\ x_4 & y_4 & x_3 - x_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 \\ x_3 - x_4 & y_3 - y_4 \end{vmatrix}} \quad y = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & y_1 - y_2 \\ x_2 & y_2 & y_1 - y_2 \\ x_3 & y_3 & y_3 - y_4 \\ x_4 & y_4 & y_3 - y_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 \\ x_3 - x_4 & y_3 - y_4 \end{vmatrix}} \quad (3.1)$$

2. การคำนวณหาจุดจากความสัมพันธ์ของค่า Cross-ratio ที่กำหนดและจุด 3 จุดในแนวเส้นตรงเดียวกันดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงจุด  $p_1, p_3$  และ  $p_4$  ซึ่งอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน

- 1) จากจุด 3 จุดใดๆ ที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน จากรูปที่ 3.2 แทนด้วยจุด  $p_1 = (x_1, y_1), p_3 = (x_3, y_3)$  และ  $p_4 = (x_4, y_4)$
- 2) เราสามารถคำนวณหาจุดใดๆ ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งกำหนดให้เป็นจุด  $p_2 = (x_2, y_2)$  โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Cross-ratio โดยใช้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + PD \times (x_4 - x_1) \\ y_2 &= y_1 + PD \times (y_4 - y_1) \end{aligned} \quad (3.2)$$

ซึ่ง

$$PD = BA / AD$$

$$BA = (AD * TR) / (1 + TR)$$

$$TR = (AC/CD) / Cr$$

$$D_c = \text{จุดศูนย์กลางของภาพ}$$

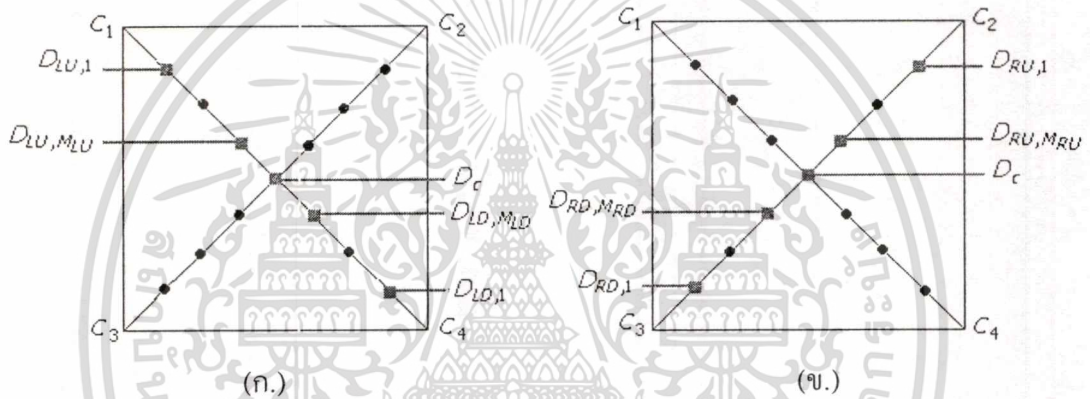
$$A = p_1$$

$$B = p_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $C = p_3$
- $D = p_4$
- $AD =$  Euclidean distance ระหว่างจุด  $A$  และจุด  $D$
- $AC =$  Euclidean distance ระหว่างจุด  $A$  และจุด  $C$
- $CD =$  Euclidean distance ระหว่างจุด  $C$  และจุด  $D$
- $Cr =$  ค่า Cross-ratio

จากขั้นตอนสองขั้นตอนดังกล่าว เรานำมาใช้ในการหาจุดปฐมภูมิเพื่อใช้กับการซ้อนลายน้ําใน  
ทุก ๆ วิธี โดยอ้างอิงจุดต่าง ๆ มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.3 (ก.) แสดง Collinear points ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมด้านซ้ายของภาพ และ (ข.) แสดง Collinear points ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมด้านขวาของภาพ

โดยกำหนดให้  $C_1, C_2, C_3$  และ  $C_4$  แทนจุดมุมของภาพ

$D_c$  แทนจุดที่เกิดจุดตัดของเส้นทแยงมุมของภาพซึ่งแทนด้วย  $(x, y)$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 และใช้สมการที่ (3.1) โดยให้จุด  $C_1, C_2, C_3$  และ  $C_4$  ซึ่งเป็นจุดมุมของภาพใช้แทนจุด  $p_1, p_2, p_3$  และ  $p_4$  ตามลำดับ

$D_{LU,1}$  แทนจุดปฐมภูมิที่ 1 ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมบนซ้ายของภาพ

$D_{LU,MLU}$  แทนจุดปฐมภูมิที่  $M_{LU}$  อยู่บนเส้นทแยงมุมบนซ้ายของภาพ

$D_{LD,1}$  แทนจุดปฐมภูมิที่ 1 ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมล่างซ้ายของภาพ

$D_{LD,MLD}$  แทนจุดปฐมภูมิที่  $M_{LD}$  ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมล่างซ้ายของภาพ

$D_{RU,1}$  แทนจุดปฐมภูมิที่ 1 ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมบนขวาของภาพ

$D_{RU,MRU}$  แทนจุดปฐมภูมิที่  $M_{RU}$  ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมบนขวาของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

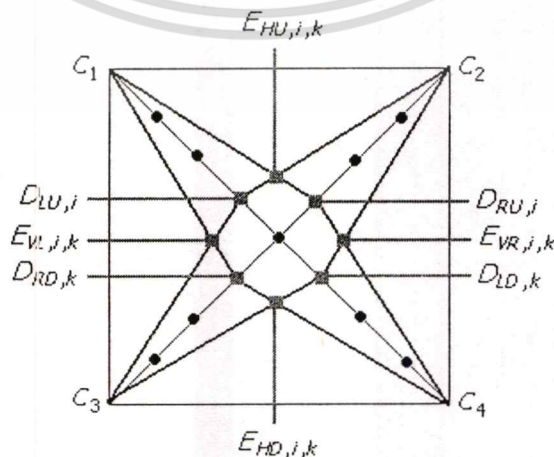
$D_{RD,i}$  แทนจุดปฐมภูมิที่ 1 ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมล่างขวาของภาพ  
 $D_{RD,MRD}$  แทนจุดปฐมภูมิที่  $M_{RD}$  ที่อยู่บนเส้นทแยงมุมล่างขวาของภาพ

จากการทำงานข้างต้นนั้นเป็นขั้นตอนการหาจุดปฐมภูมิ ซึ่งจุดปฐมภูมิที่หาได้จะใช้เพื่อช่วยในการนำไปหาจุดทุติยภูมิโดยการใช้เส้นตัดระหว่างจุดปฐมภูมิที่ได้ หรือระหว่างจุดปฐมภูมิและจุดมุมของรูปภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้ได้แบ่งวิธีการซ่อน โดยใช้เส้นตัดกันเพื่อหาตำแหน่งที่ใช้ซ่อนลายน้ำแตกต่างกัน 4 วิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1.1 วิธีการซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบที่ 1

เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลโดยใช้จุดที่เกิดจากเส้นตัดกันระหว่างเส้นที่ลากจากจุดมุมของรูปภาพไปยังจุดปฐมภูมิที่อยู่บนเส้นทแยงมุมของรูปภาพ และอีกเส้นหนึ่งคือเส้นที่ลากจากจุดมุมของรูปภาพอีกมุมหนึ่งไปยังจุดปฐมภูมิที่อยู่บนเส้นทแยงมุมอีกเส้นหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ใช้วิธีการหาจุดปฐมภูมิจากวิธีการที่ 1 และ 2 ข้างต้น โดยใช้สมการที่ (3.1-3.2) เพื่อให้ได้จุดปฐมภูมิต่าง ๆ บนเส้นทแยงมุมของภาพ ดังรูปที่ 3.3
2. ในส่วนของการหาจุดทุติยภูมิ ได้แบ่งการทำงานเป็น 4 ส่วนย่อย โดยเริ่มจากส่วนที่ 1 เป็นการใชจุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น โดยเส้นตรงเส้นที่ 1 คือเส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,i}$  ไปยังจุดมุม  $C_3$  และเส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  ไปยังจุดมุม  $C_1$  เราสามารถคำนวณหาจุดที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลได้จากจุดตัดของเส้นทั้งสองเป็นจุด  $E_{VL,i,k} = (x_{VL,i,k}, y_{VL,i,k})$  ซึ่งใช้แทนจุด  $(x, y)$  ดังรูปภาพที่ 3.1 และใช้สมการการใช้เส้นตัดที่ (3.1) โดยให้  $D_{LU,i}, C_3, D_{RD,k}$  และ  $C_1$  แทนจุด  $p_1, p_2, p_3$  และ  $p_4$  ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุดตัดของเส้นตรงแต่ละคู่ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไม่เหมาะสมจะขอถอนการคัด

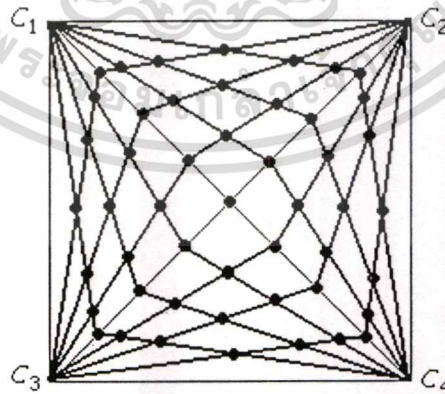
ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาจุดทุติยภูมิในส่วนที่ 2 ซึ่งหาบริเวณด้านซ้ายของภาพ โดยหาจุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,i}$  ไปยังจุดมุม  $C_4$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,k}$  ไปยังจุดมุม  $C_2$  เพื่อให้ได้จุดช่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{VR,i,k} = (x_{VR,i,k}, y_{VR,i,k})$  ต่อมาคำนวณในส่วนที่ 3 เพื่อหาจุดทุติยภูมิเพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_3$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_1$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,k}$  เพื่อให้ได้จุดช่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HU,i,k} = (x_{HU,i,k}, y_{HU,i,k})$  และต่อมาคำนวณในส่วนที่ 4 เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือหาจุดตัดของเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_3$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_4$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  เพื่อให้ได้จุดช่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HD,i,k} = (x_{HD,i,k}, y_{HD,i,k})$  ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3.4

4. ช่อนลายน้ำดิจิทัลแบบ Spread Spectrum[11] โดยใช้สมการดังนี้

$$I_e(x_m^k, y_n^k) = I(x_m^k, y_n^k) + \alpha w_k \quad (3.3)$$

โดยที่  $x_m^k = x_k + m, m = -P, \dots, P, y_n^k = y_k + n, n = -Q, \dots, Q, \alpha =$  ความเข้มของลายน้ำดิจิทัล,  $E_k = (x_k, y_k), k = 1, \dots, M$ , แต่ละจุดที่ใช้ช่อนลายน้ำดิจิทัลแทนด้วย  $w_k, w_k \in \{1, -1\}$  และ  $k = 1, \dots, M$

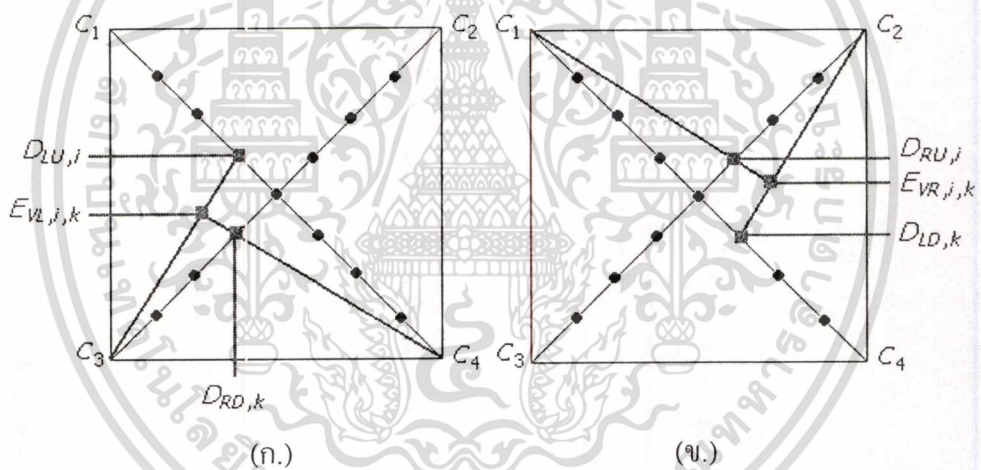


รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ช่อนลายน้ำดิจิทัล

### 3.1.2 วิธีการซ่อนลายนำดิจิทัลแบบที่ 2

เป็นการซ่อนลายนำดิจิทัลที่เกิดจากเส้นที่ตัดกันระหว่างเส้นที่ 1 คือ เส้นที่ลากจากจุดมุมของภาพไปยังจุดปฐมภูมิ และเส้นที่ 2 คือ เส้นที่ลากจากจุดมุมของรูปภาพลากผ่านจุดปฐมภูมิอีกจุดหนึ่งเพื่อ ไปตัดกับเส้นที่ 1 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

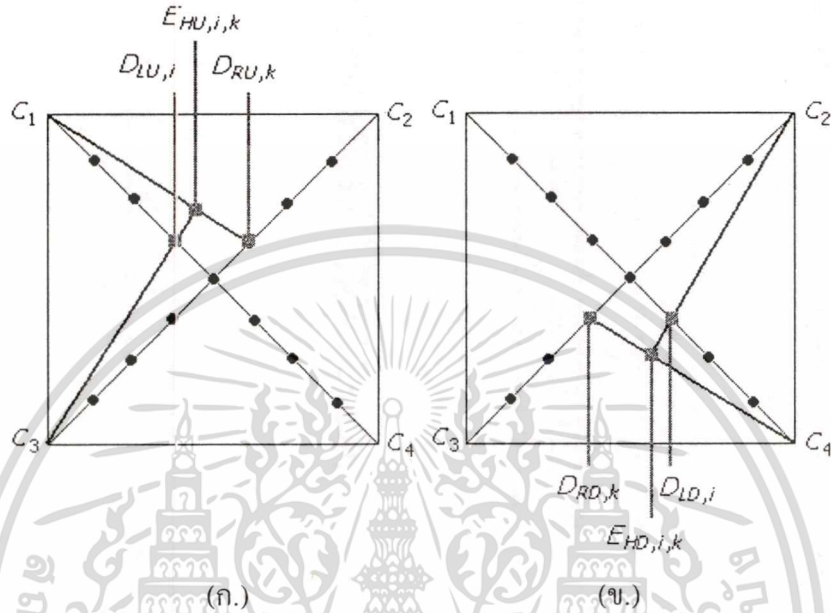
1. ใช้วิธีการหาจุดปฐมภูมิจากวิธีการที่ 1 และ 2 ข้างต้น โดยใช้สมการที่ (3.1-3.2) เพื่อให้ได้จุดปฐมภูมิต่าง ๆ บนเส้นทแยงมุมของภาพ ดังรูปที่ 3.3
2. ในส่วนของการหาจุดทุติยภูมิ ได้แบ่งการทำงานเป็น 4 ส่วนย่อย โดยเริ่มจากส่วนที่ 1 เป็นการใช้อยู่จุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น โดยเส้นตรงเส้นที่ 1 คือเส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,i}$  ไปยังจุดมุม  $C_3$  และอีกเส้นคือเส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  ไปยังจุดมุม  $C_4$  ซึ่งจุดทุติยภูมิที่ได้คือจุด  $E_{VL,i,k} = (x_{VL,i,k}, y_{VL,i,k})$  ซึ่งใช้แทนจุด  $(x, y)$  ดังรูปภาพที่ 3.1 และใช้สมการการใช้เส้นตัดที่ (3.1) โดยให้  $D_{LU,i}$ ,  $C_3$ ,  $D_{RD,k}$  และ  $C_4$  แทนจุด  $p_1, p_2, p_3$  และ  $p_4$  ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.6(ก.)



รูปที่ 3.6 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{VL,i,k}$  และ(ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{VR,i,k}$  ในวิธีที่ 2

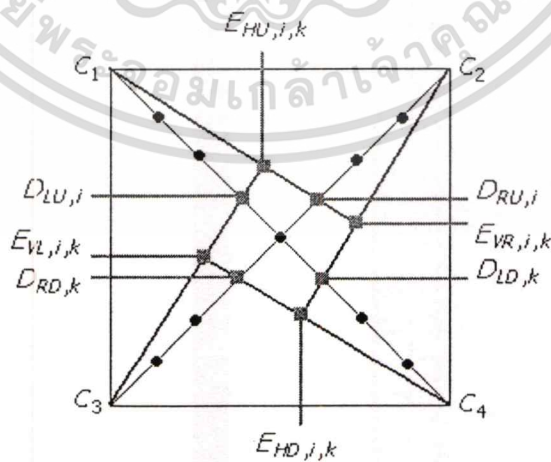
3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาจุดทุติยภูมิในส่วนที่ 2 ซึ่งหาบริเวณด้านซ้ายของภาพ โดยหาจุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,i}$  ไปยังจุดมุม  $C_1$  และเส้นตรงเส้นที่ 2 คือเส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,k}$  ไปยังจุดมุม  $C_2$  เพื่อให้ได้จุดซ่อนลายนำดิจิทัล  $E_{VR,i,k} = (x_{VR,i,k}, y_{VR,i,k})$  ดังรูปที่ 3.6(ข.) ต่อมากำหนดในส่วนที่ 3 เพื่อหาจุดทุติยภูมิเพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_3$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_1$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,k}$  เพื่อหาจุดที่ใช้ซ่อนลายนำดิจิทัล  $E_{HU,i,k} = (x_{HU,i,k}, y_{HU,i,k})$  ดังรูปที่ 3.7(ก.) และต่อมากำหนดในส่วนที่ 4 เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุด
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุม  $C_2$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LD, i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_4$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RD, k}$  เพื่อให้ได้จุดซ้อนเหล่าน้ำดิจิตอล  $E_{HD, i, k} = (x_{HD, i, k}, y_{HD, i, k})$  ดังรูปที่ 3.7(ข.) ตามลำดับ



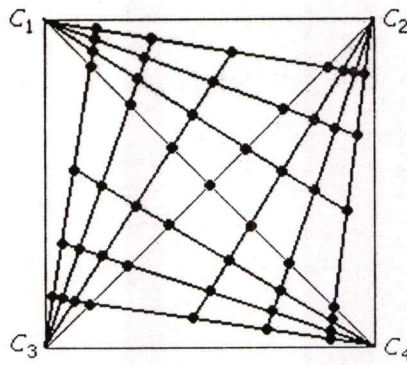
รูปที่ 3.7 (ก.)แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{HD, i, k}$  และ (ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{HU, i, k}$  ในวิธีที่ 2

4. ซ่อนลายน้ำดิจิตอลแบบ Spread Spectrum[11]โดยใช้สมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิตอลจากขั้นตอนที่ 1-2 ในวิธีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

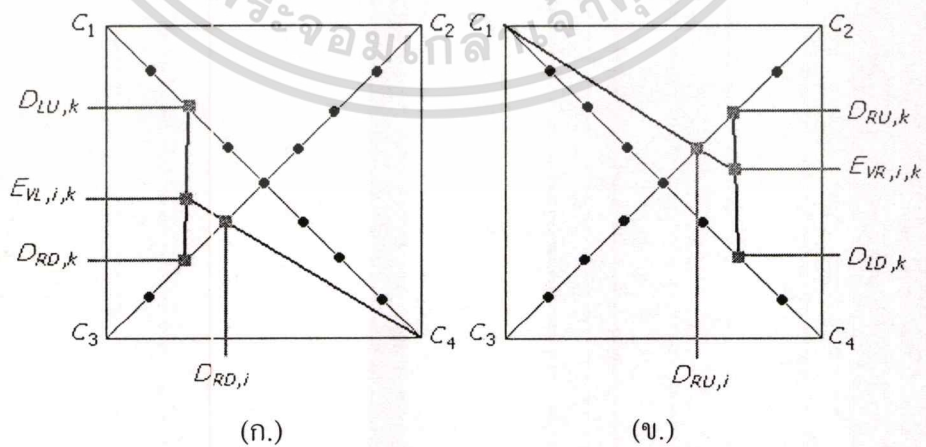


รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 2

3.1.3 วิธีการซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบที่ 3

เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลโดยใช้จุดที่เกิดจากเส้นตัดระหว่างเส้นที่ 1 คือ เส้นที่ลากจากจุดปฐมภูมิบนเส้นทแยงมุมเส้นหนึ่ง ไปยังจุดปฐมภูมิที่อยู่บนเส้นทแยงมุมอีกเส้นหนึ่ง ส่วนเส้นที่ 2 เป็นเส้นตรงที่ลากจากจุดมุมของภาพไปยังจุดปฐมภูมิ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

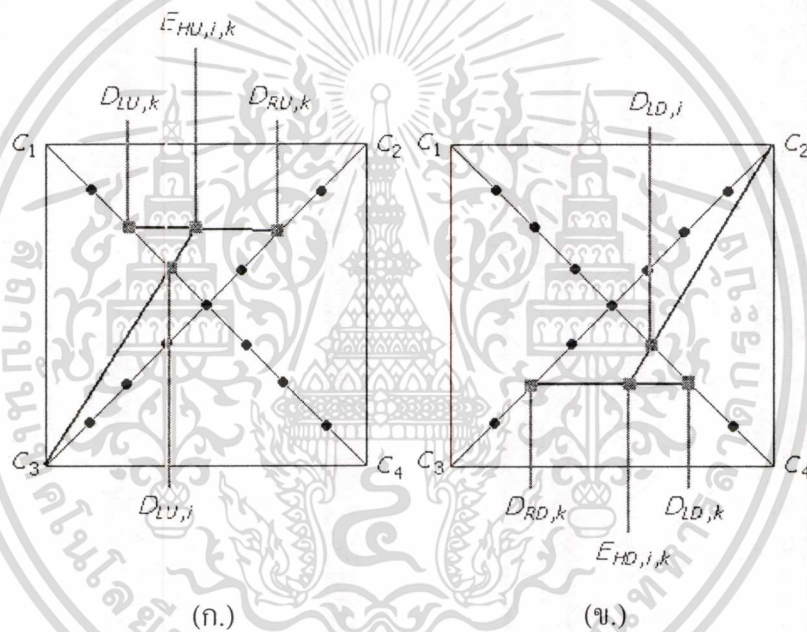
1. ใช้วิธีการหาจุดปฐมภูมิจากวิธีการที่ 1 และ 2 ข้างต้น โดยใช้สมการที่ (3.1-3.2) เพื่อให้ได้จุดปฐมภูมิต่าง ๆ บนเส้นทแยงมุมของภาพ ดังรูปที่ 3.3
2. ในส่วนของการหาจุดทุติยภูมิ ได้แบ่งการทำงานเป็น 4 ส่วนย่อย โดยเริ่มจากส่วนที่ 1 เป็นการใส่จุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น โดยเส้นตรงเส้นที่ 1 คือเส้นตรงที่ลากจากจุดทุติยภูมิ  $D_{LU,i}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  ไปยังจุดมุม  $C_4$  ซึ่งสามารถคำนวณหาจุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลได้จากจุดตัดของเส้นทั้งสองเป็นจุด  $E_{VL,i,k} = (x_{VL,i,k}, y_{VL,i,k})$  ซึ่งใช้แทนจุด  $(x, y)$  ดังรูปภาพที่ 3.1 และใช้สมการการใช้เส้นตัดที่ (3.1) โดยให้  $D_{LU,i}, D_{RD,i}, D_{RD,k}$  และ  $C_4$  แทนจุด  $p_1, p_2, p_3$  และ  $p_4$  ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.10(ก.)



รูปที่ 3.10 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{VL,i,k}$  และ(ข.)แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{VR,i,k}$  ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 3

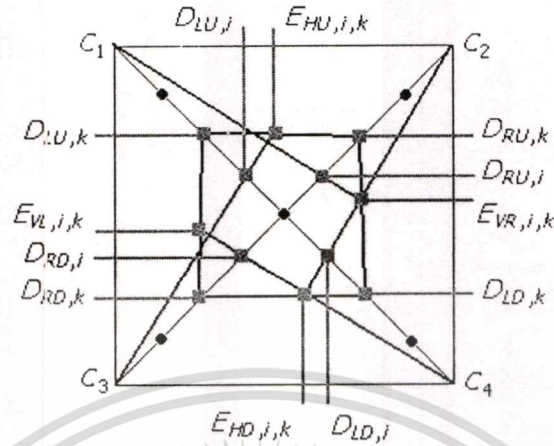
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาจุดทุติยภูมิในส่วนที่ 2 ซึ่งหาบริเวณด้านซ้ายของภาพ โดยหาจุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,i}$  ไปยังจุดมุม  $C_1$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,k}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,k}$  เพื่อให้ได้จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{VR,i,k} = (x_{VR,i,k}, y_{VR,i,k})$  ดังรูปที่ 3.10(ข.) ต่อมาคำนวณในส่วนที่ 3 เพื่อหาจุดทุติยภูมิเพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_3$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,k}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,k}$  เพื่อให้ได้จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HU,i,k} = (x_{HU,i,k}, y_{HU,i,k})$  ดังรูปที่ 3.11(ก.) และหาจุดตัดของเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $C_2$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,i}$  และต่อมาคำนวณในส่วนที่ 4 เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,k}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  เพื่อให้ได้จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HD,i,k} = (x_{HD,i,k}, y_{HD,i,k})$  ดังรูปที่ 3.11(ข.) ตามลำดับ

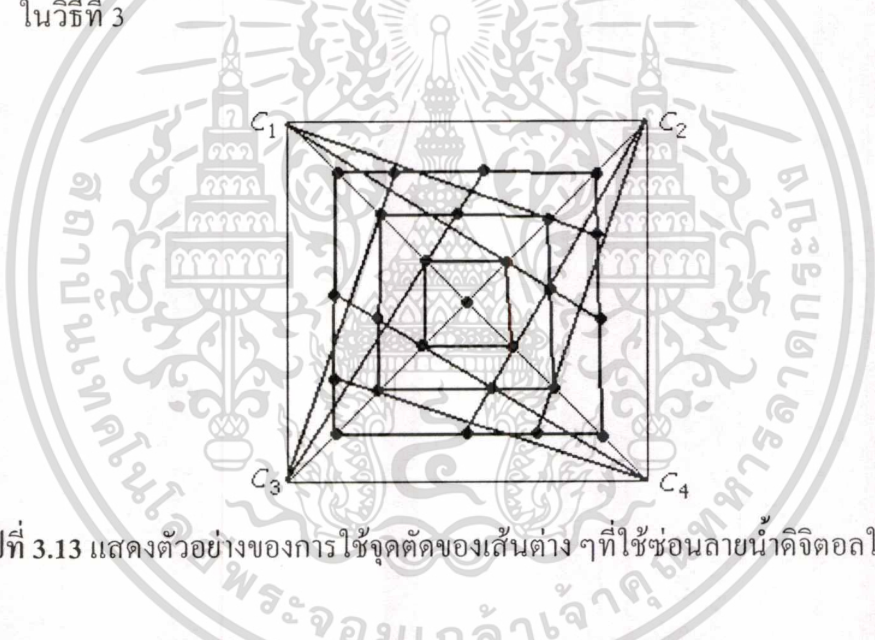


รูปที่ 3.11 (ก.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{HU,i,k}$  และ(ข.) แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุด  $E_{HD,i,k}$  ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 3

4. ช่องลายนํ้าดิจิทัลแบบ Spread Spectrum[4]โดยใช้สมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ช่องลายนํ้าดิจิทัลจากขั้นตอนที่ 1-2 ในวิธีที่ 3



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นต่าง ๆ ที่ใช้ช่องลายนํ้าดิจิทัลในวิธีที่ 3

3.1.4 วิธีการช่องลายนํ้าดิจิทัลแบบที่ 4

เป็นการช่องลายนํ้าดิจิทัลที่เกิดจากจุดตัดของเส้นตรงสองเส้น โดยเส้นตรงแต่ละเส้นเป็นเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิบนเส้นทแยงมุมของภาพเส้นหนึ่ง ไปยังจุดปฐมภูมิที่อยู่บนเส้นทแยงมุมอีกเส้นหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

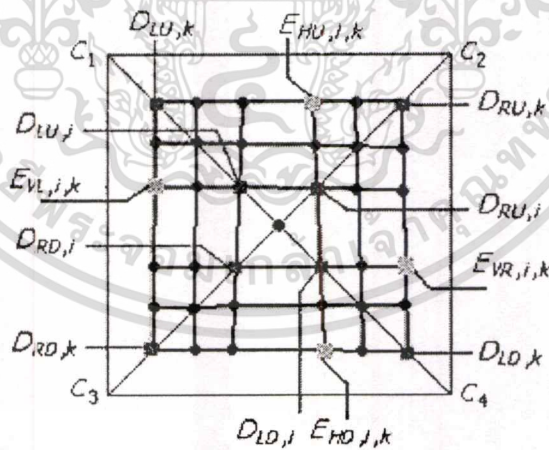
1. ใช้วิธีการหาจุดปฐมภูมิจากวิธีการที่ 1 และ 2 ข้างต้น โดยใช้สมการที่ (3.1-3.2) เพื่อให้ได้จุดปฐมภูมิต่าง ๆ บนเส้นทแยงมุมของภาพ ดังรูปที่ 3.3
2. ในส่วนของการหาจุดทุติยภูมิ ได้แบ่งการทำงานเป็น 4 ส่วนย่อย โดยเริ่มจากส่วนที่ 1 เป็นการใชจุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น โดยเส้นตรงเส้นที่ 1 คือเส้นตรงที่ลากผ่านจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,i}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,i}$  เพื่อลากผ่านให้ตัดกับเส้นตรงที่ลากผ่านจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,k}$  ไปยังจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  ซึ่งสามารถคำนวณหาจุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลได้จากจุดตัดของเส้นทั้งสองเป็นจุด  $E_{VL,i,k} = (x_{VL,i,k}, y_{VL,i,k})$  ซึ่งใช้แทนจุด  $(x, y)$  ดังรูปภาพที่ 3.1 และใช้สมการการใช้เส้นตัดที่ (3.1) โดยให้  $D_{LU,i}, D_{RU,i}, D_{LU,k}$  และ  $D_{RD,k}$  แทนจุด  $p_1, p_2, p_3$  และ  $p_4$  ตามลำดับ

3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาจุดทุติยภูมิในส่วนที่ 2 ซึ่งหาบริเวณด้านซ้ายของภาพ โดยหาจุดตัดที่เกิดจากเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,i}$  ไปยังจุดมุม  $D_{LD,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,k}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,k}$  เพื่อให้ได้จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{VR,i,k} = (x_{VR,i,k}, y_{VR,i,k})$  ต่อมาคำนวณในส่วนที่ 3 เพื่อหาจุดทุติยภูมิเพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $D_{LD,i}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,i}$  และเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{LU,k}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{RU,k}$  เพื่อให้ได้จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HU,i,k} = (x_{HU,i,k}, y_{HU,i,k})$  และหาจุดตัดของเส้นตรงที่ลากจากจุดมุม  $D_{RU,i}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,i}$  และต่อมาคำนวณในส่วนที่ 4 เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น คือเส้นตรงที่ลากจากจุดปฐมภูมิ  $D_{RD,k}$  ไปยังจุดปฐมภูมิ  $D_{LD,k}$  เพื่อให้ได้จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HD,i,k} = (x_{HD,i,k}, y_{HD,i,k})$  แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.14

5. ซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบ Spread Spectrum[4] โดยใช้สมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างจุดตัดที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 4

### 3.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล

สำหรับขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลนั้น ก่อนที่จะทำการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.5) นั้น ทุกวิธีที่ได้กล่าวถึงในขั้นตอนการทำลายน้ำดิจิทัลทุก ๆ วิธีข้างต้น สำหรับแต่ละจุดที่ใช้ซ่อนลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำซึ่งเรากำหนดให้มีขนาด 5x5 จุดนั้น เรานำค่าที่จุดกึ่งกลางของแต่ละ block ที่ใช้ซ่อนลายน้ำมาตรวจสอบ และลบด้วยค่าเฉลี่ยรอบจุดที่ซ่อนลายน้ำ ดังสมการที่ (3.4)

$$I'_e = (I'_e(1,1) + I'_e(1,6) + I'_e(1,11) + I'_e(6,11) + I'_e(11,11) + I'_e(11,6) + I'_e(11,1) + I'_e(6,1)) / 8 \quad (3.4)$$

โดยในรูปที่ 3.15 นั้นได้แสดงบริเวณตำแหน่งของบิตที่ใช้ตรวจสอบหลายน้ำ(บริเวณพื้นที่สี่เหลี่ยมกึ่งกลางภาพ) และแสดงตำแหน่งของบิตที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำ(8 จุดตามคู่ลำดับบริเวณขอบของภาพ) ส่วนพื้นที่บริเวณสี่เทาอ่อนนั้นแสดงตำแหน่งลายน้ำที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำซึ่งมีขนาด 5x5 จุดต่อรูปแบบลายน้ำ 1 บิต ทั้งนี้เพื่อให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือ หรือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ที่มากขึ้น ซึ่งเหมือนกับการนำภาพที่มีลายน้ำมาลบกับภาพต้นฉบับที่ไม่มีลายน้ำดิจิทัลนั่นเอง

(1,1)					(1,6)				(1,11)
(6,1)					Embedded Block				(6,11)
(11,1)					(11,6)				(11,11)

รูปที่ 3.15 แสดงบิตที่ใช้ตรวจสอบหลายน้ำ(บริเวณพื้นที่สี่เหลี่ยมกึ่งกลางภาพ) และบิตที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำ(8 จุดตามคู่ลำดับบริเวณขอบของภาพ)

หลังจากนั้น เราสามารถจะใช้สมการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) [11] เพื่อใช้ในการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลได้ดังสมการที่ (3.5)

$$Z_{cc}(I'_e, W_k) = \frac{\sum_i \sum_j \tilde{I}_e[i, j] \tilde{W}_k[i, j]}{\sqrt{(\sum_i \sum_j (\tilde{I}_e[i, j])^2) (\sum_i \sum_j (\tilde{W}_k[i, j])^2)}} \quad (3.5)$$

โดยที่  $\tilde{I}_e = I'_e - \bar{I}_e$ ,  $\tilde{W}_k = W_k - \bar{W}_k$  แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation coefficient) ซึ่งแทนด้วย  $Z_{cc}$  ที่ได้มาคูณกับ  $\sqrt{N}$  โดยที่  $N$  แทนจำนวนลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ซ่อนลง

ในรูปภาพ แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า Threshold ซึ่งกำหนดให้เป็น 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

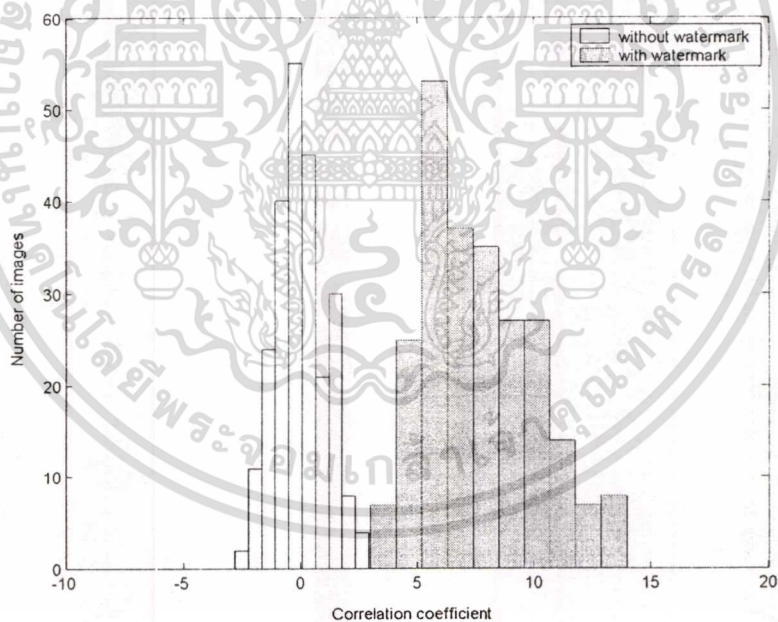
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

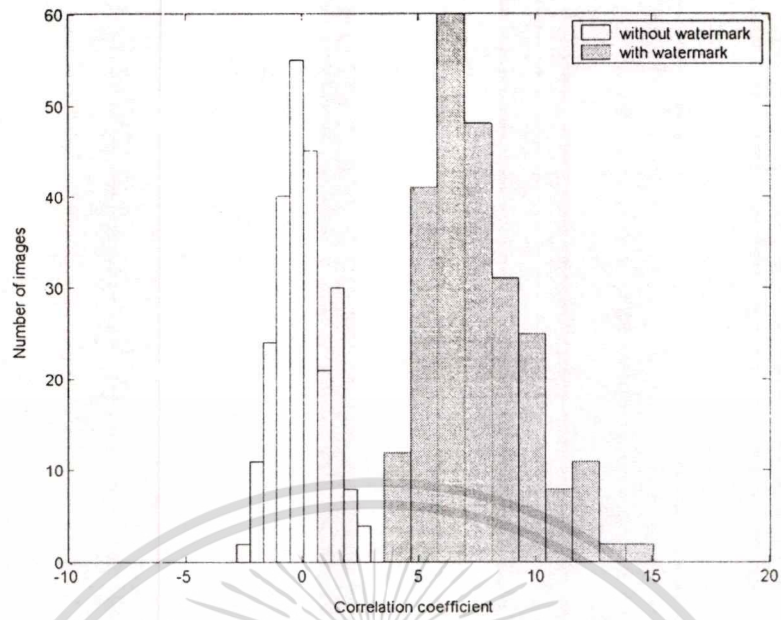
### ผลการทดลอง

ในการทดลอง ใช้ภาพแบบ grayscale ขนาด 512 x 512 จุด จำนวน 12 ภาพ โดยแต่ละภาพทำการทดลองโดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่แตกต่างกันทั้งหมด 20 แบบ ซึ่งแต่ละแบบมีความยาว 3,000 บิต ขนาดของลายน้ำดิจิทัล 5 x 5 บิตต่อลายน้ำดิจิทัล 1 บิต สำหรับจำนวนค่า Cross-ratio ที่ใช้ในแต่ละวิธี มีจำนวนดังนี้ ในวิธีที่ 1 จำนวน 56 ค่า ,วิธีที่ 2 จำนวน 56 ค่า วิธีที่ 3 จำนวน 80 ค่า และวิธีที่ 4 จำนวน 55 ค่า

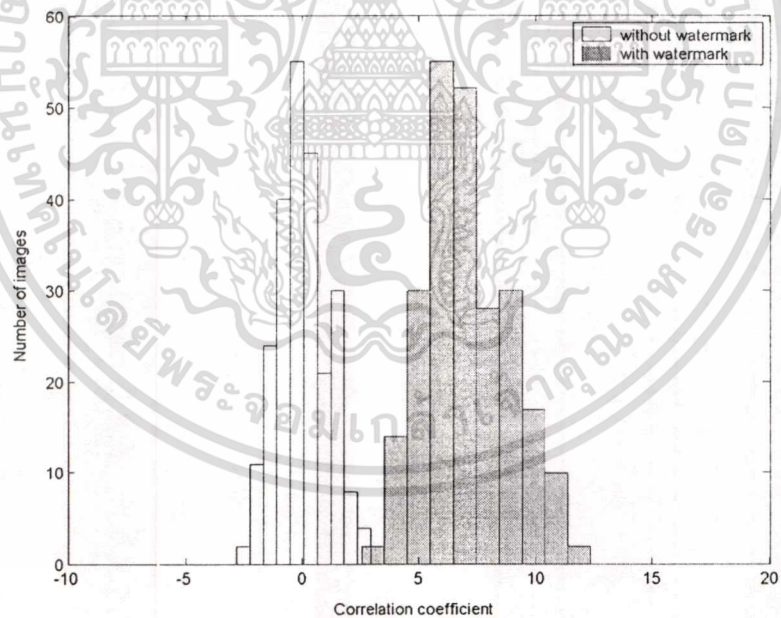
ผลการทดลองเปรียบเทียบฮิสโตแกรมระหว่างภาพที่นำมาตรวจสอบทั้งที่ไม่มีลายน้ำดิจิทัล และมีลายน้ำดิจิทัลของแต่ละวิธีเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.1-4.4 นี้ ทั้งนี้ค่า Threshold ที่ใช้แบ่งว่ามีลายน้ำดิจิทัลหรือไม่มีนั้น ใช้ค่าที่มีค่า 3.3 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เกิด Probability of False Positive หรือค่า False Alarm ที่ 0.05 %



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำ กับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 1

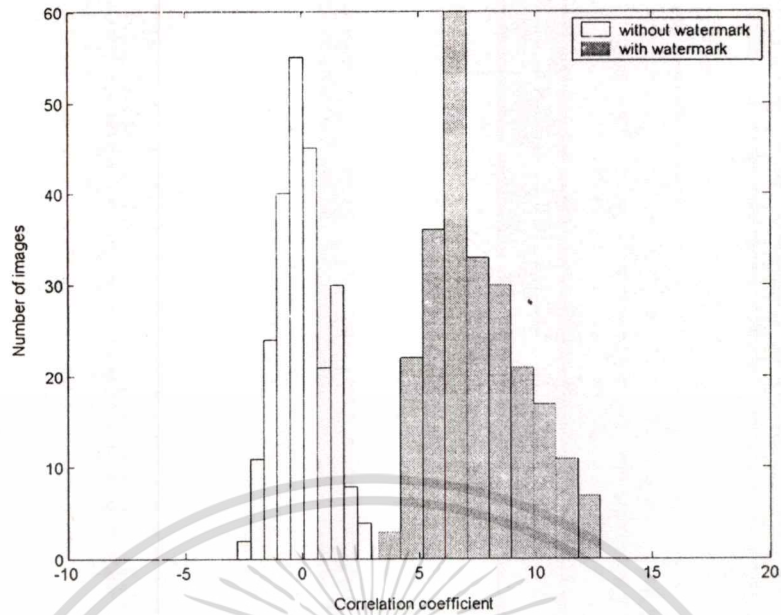


รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำ  
กับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 2



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำ  
กับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปภาพที่ไม่มีลายน้ำ กับรูปภาพที่มีลายน้ำในวิธีที่ 4

โดยการทดลองกับภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การบิดเบือนของภาพแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้ง โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะมุมเงย (Elevation angle) ของจุดมอง

กำหนดให้ จุดศูนย์กลางของการฉาย (Center of projection) อยู่ในตำแหน่งตรงกันกับจุดศูนย์กลางของภาพ

มุมเงยของจุดมองมีค่าตั้งแต่ 10 องศา ถึง 40 องศา

มุมที่หมุนรอบแกน z มีค่าเป็น 0 องศา

2. การบิดเบือนของภาพแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z โดยการกำหนดมุมที่หมุนรอบแกน z และเปลี่ยนแปลงค่าเฉพาะมุมเงย (Elevation angle) ของจุดมอง

กำหนดให้ จุดศูนย์กลางของการฉาย (Center of projection) อยู่ในตำแหน่งตรงกันกับจุดศูนย์กลางของภาพ

มุมเงยของจุดมองมีค่าตั้งแต่ 10 องศา ถึง 40 องศา

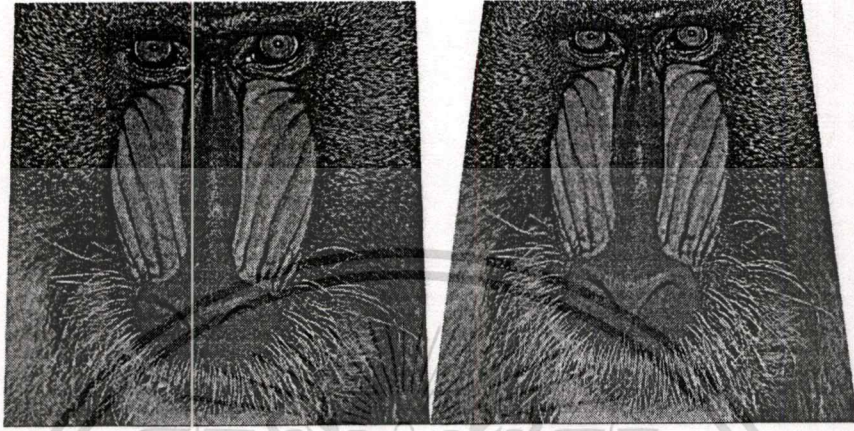
มุมที่หมุนรอบแกน z มีค่าเป็น 2 องศา

ค่าที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบหาจุดมุมทั้งสี่ของภาพเมื่อเทียบกับมุมเงย และมุมที่หมุนรอบแกน z แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของภาพที่นำมาทดสอบจริง เพื่อหาตำแหน่งจุดมุมทั้งสี่ของภาพที่ถูกบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

## 4.1 ผลการทดลองภาพถ่ายน้ำเมื่อบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ

### 4.1.1 ผลการทดลองภาพถ่ายน้ำเมื่อบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้ง

สำหรับตัวอย่างผลการซ้อนลายน้ำดิจิทัล แสดงดังรูปที่ 4.1



(ก.)

(ข.)

รูปที่ 4.5 (ก.) รูปภาพ “Baboon” ภายหลังจากที่ถูกซ้อนลายน้ำดิจิทัลและที่ถูกบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งในมุม 10 องศา (ข.) รูปภาพ “Baboon” ภายหลังจากที่ถูกซ้อนลายน้ำดิจิทัลและถูกบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟในมุม 40 องศาตามแนวตั้ง

จากการทดลองเปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี จะได้ผลดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพถ่ายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟโดยมุมของการหมุนภาพตั้งแต่ 10 องศาถึง 40 องศา ผลปรากฏว่า วิธีที่ 1 ถึง 3 มีผลการตรวจพบภาพถ่ายน้ำดิจิทัลมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับ 953-960 ภาพ แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะวิธีที่ 3 ซึ่งได้ผลการตรวจพบลายน้ำดิจิทัลทั้งหมดทุกภาพที่นำมาทดสอบจำนวน 960 ภาพ ทั้งนี้การที่วิธีที่ 3 มีจำนวนภาพในการตรวจพบได้ดีกว่าทุก ๆ วิธีเพราะตำแหน่งที่ใช้ซ้อนลายน้ำดิจิทัลมีการกระจายกันมากกว่าวิธีที่ 1 และ 2 แต่ถึงแม้จะไม่กระจายอย่างสม่ำเสมอเท่าวิธีที่ 4 แต่ยังคงตรวจพบได้ดีกว่าวิธีที่ 4 เพราะวิธีที่ 3 จุดทุกขุมุมที่ใช้ซ้อนลายน้ำดิจิทัลเป็นจุดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงที่ลากจากจุดมุมมาตัดกับจุดปฐมภูมิ และเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดปฐมภูมิทั้งสองจุด ส่วนวิธีที่ 4 นั้นเป็นจุดทุกขุมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้นที่ลากระหว่างจุดปฐมภูมิสองจุด ทำให้มีค่าความผิดพลาดมากกว่า

นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จะไม่สามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้ทั้งหมด 960 ภาพ แต่การตรวจพบในระดับ 99 เปอร์เซ็นต์ ก็ถือว่ายังไม่แตกต่างจากวิธีที่ 3 มากนัก เพราะวิธีซ้อนลายน้ำดิจิทัลทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 นั้นเป็นจุดทุกขุมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงที่ลากจากจุดมุมมาตัดกับจุดปฐมภูมิทั้งสองเส้น แต่เนื่องจากว่าจุดที่ได้ไม่กระจายเท่าที่ควร โดยเฉพาะบริเวณมุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของภาพจะมีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณกึ่งกลางภาพ ลักษณะของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟส่วนใหญ่จะบิดที่มุมของภาพมาก ดังนั้นเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟในมุมต่าง ๆ กัน จะทำให้ตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้น้อยกว่าวิธีที่ 3 เล็กน้อย สำหรับรายละเอียดของการตรวจพบลายน้ำดิจิทัลในแต่ละวิธีแสดงผลดังตารางที่ 4.2-4.5

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งเมื่อทำการทดลองทั้ง 4 วิธี

รูปภาพ(tif)	วิธี 1	วิธี 2	วิธี 3	วิธีที่ 4
Baboon	80	73	80	79
Camera	80	80	80	79
Demi	80	80	80	80
Lena	80	80	80	80
Pepper	80	80	80	75
Relief	79	80	80	78
Hongkong	80	80	80	80
Dragon	80	80	80	74
Kopipi	80	80	80	78
House	76	80	80	79
Barbara	80	80	80	80
Goldhill	80	80	80	80
รวม(960)	955	953	960	942
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.5695	6.7544	7.5253	6.3730

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้ง ในวิธีที่ 1

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	20	20	20	20
Camera	20	20	20	20
Demi	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Pepper	20	20	20	20
Relief	20	20	20	19
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	20	20	20	20
Kopipi	20	20	20	20
House	18	19	20	19
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	238	239	240	238
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.6202	7.6796	7.5491	7.4290

ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งในวิธีที่ 2

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	19	19	18	17
Camera	20	20	20	20
Demi	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20
Pepper	20	20	20	20
Relief	20	20	20	20
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	20	20	20	20
Kopipi	20	20	20	20
House	20	20	20	20
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	239	239	238	237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.1093	6.7953	6.7036	6.4093

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งในวิธีที่ 3

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	20	20	20	20
Camera	20	20	20	20
Demi	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20
Pepper	20	20	20	20
Relief	20	20	20	20
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	20	20	20	20
Kopipi	20	20	20	20
House	20	20	20	20
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	240	240	240	240
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.6774	7.5426	7.5596	7.3218

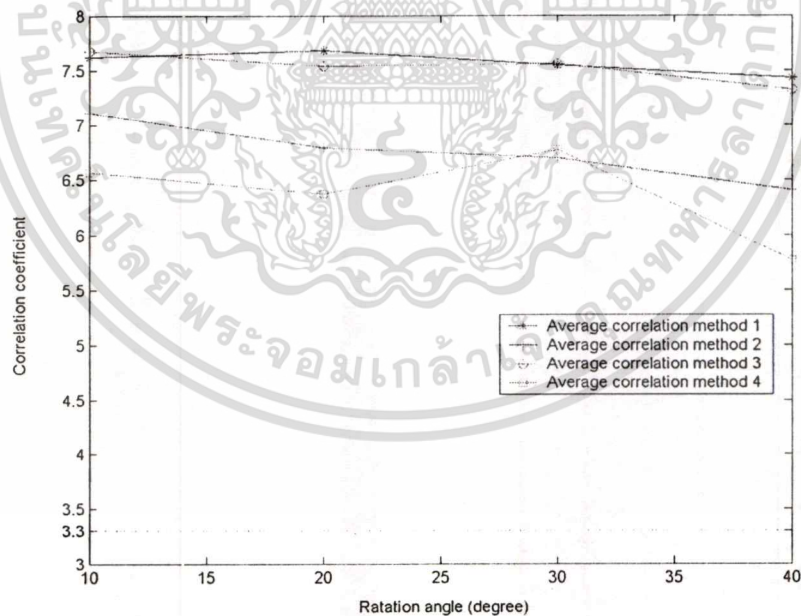
ตารางที่ 4.5 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งในวิธีที่ 4

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	19	20	20	20
Camera	20	19	20	20
Demi	20	20	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Lena	20	20	20	20
Pepper	19	19	19	18
Relief	20	19	20	19
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	19	19	19	17
Kopipi	20	20	20	18
House	20	19	20	20
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	237	235	238	232
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	6.5686	6.3741	6.7757	5.7736



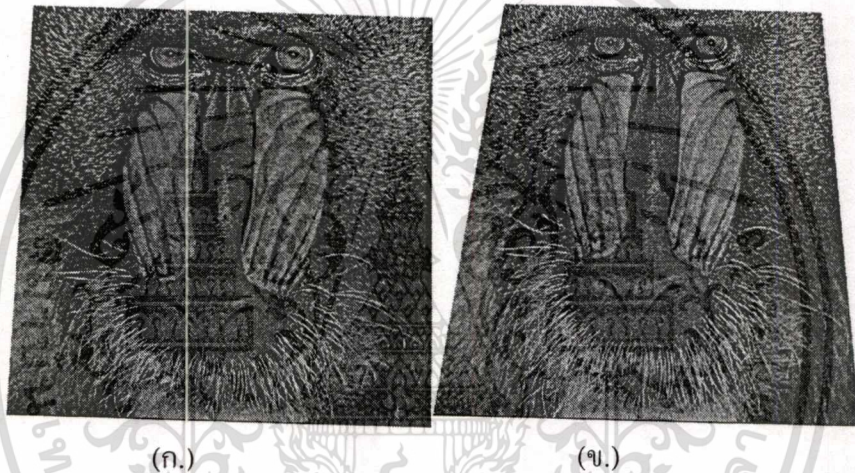
รูปที่ 4.6 ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยโดยเปรียบเทียบจากการทดลองบิดภาพหลายน้ำต่าง ๆ แบบเพอสเพคทีฟตามแนวตั้งทั้ง 4 วิธี ในมุมตั้งแต่ 10 ไปจนถึง 40 องศา

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 3 นั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยใกล้เคียงกับวิธีที่ 1 เมื่อเทียบกับการบิดภาพตามแนวตั้งในแต่ละมุม โดยมุมที่บิดมากขึ้นส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นเอกสารนเป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์เฉลี่ยที่น้อยลงตามลำดับ แต่ถ้าตรวจสอบจากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยในวิธีที่ 3 นั้นมีค่าน้อยกว่าวิธีที่ 1 เล็กน้อย แต่จำนวนภาพของลายน้ำดิจิทัลที่ตรวจพบในวิธีที่ 3 นั้นกลับมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1 จึงได้มีการทดลองเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 4.1.2 โดยทำการทดลองให้ภาพลายน้ำดิจิทัลมีการบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟทั้งตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน  $z$  โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

#### 4.1.2 ผลการทดลองภาพลายน้ำเมื่อบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน $z$

สำหรับตัวอย่างผลการซ่อนลายน้ำดิจิทัล แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 (ก.) รูปภาพ “Baboon” ภายหลังจากที่ถูกซ่อนลายน้ำดิจิทัลและที่ถูกบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟเมื่อหมุนรอบแกน  $z$  และบิดตามแนวตั้งในมุม 10 องศา (ข.) รูปภาพ “Baboon” ภายหลังจากที่ถูกซ่อนลายน้ำดิจิทัลและถูกบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟในมุม 40 องศาตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน  $z$

จากการทดลองเปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี จะได้ผลดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟโดยมุมของการหมุนภาพตั้งแต่ 10 องศาถึง 40 องศา ผลปรากฏว่า วิธีที่ 3 มีผลการตรวจพบดีที่สุดคือ 957 ภาพ และมีค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าตำแหน่งที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลในวิธีที่ 3 นั้นมีการกระจายกันมากกว่าวิธีที่ 1 และ 2 แต่ถึงแม้จะไม่กระจายอย่างสม่ำเสมอเท่าวิธีที่ 4 แต่ยังคงตรวจพบได้ดีกว่าวิธีที่ 4 เพราะวิธีที่ 3 จุดทุติยภูมิที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลเป็นจุดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงที่ลากจากจุดมุมมาตัดกับจุดปฐมภูมิ และเส้นตรงที่ลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างจุดปฐมภูมิทั้งสองจุด ส่วนวิธีที่ 4 นั้นเป็นจุดทุติยภูมิที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้นที่ลากระหว่างจุดปฐมภูมิสองจุด ทำให้มีค่าความผิดพลาดมากกว่า

สำหรับรายละเอียดของการตรวจพบลายน้ำดิจิทัลในแต่ละวิธีเมื่อเปรียบเทียบการหมุนของการบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟทั้งตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z โดยหมุนตามแนวตั้งในมุมตั้งแต่ 10 องศา ถึง 40 องศา แสดงผลดังตารางที่ 4.7-4.10

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z เมื่อทำการทดลองทั้ง 4 วิธี

รูปภาพ(tif)	วิธี 1	วิธี 2	วิธี 3	วิธีที่ 4
Baboon	79	77	80	45
Camera	80	80	80	59
Demi	80	80	80	69
Lena	80	80	80	74
Pepper	79	80	80	40
Relief	77	79	80	41
Hongkong	80	80	80	80
Dragon	80	80	80	47
Kopipi	78	80	80	52
House	72	79	77	40
Barbara	80	80	80	64
Goldhill	80	80	80	72
รวม(960)	945	955	957	863
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.0464	6.5677	7.0495	4.1656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 1

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	20	20	19	20
Camera	20	20	20	20
Demi	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20
Pepper	20	20	20	19
Relief	20	20	18	19
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	20	20	20	20
Kopipi	20	20	18	20
House	18	18	18	18
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	238	238	233	236
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.3439	7.2957	6.4114	7.1346

ตารางที่ 4.8 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 2

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	20	20	18	19
Camera	20	20	20	20
Demi	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20
Pepper	20	20	20	20
Relief	19	20	20	20
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	20	20	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Kopipi	20	20	20	20
House	20	20	19	20
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	239	240	237	239
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	6.6620	6.6449	6.3098	6.6542

ตารางที่ 4.9 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในวิธีที่ 3

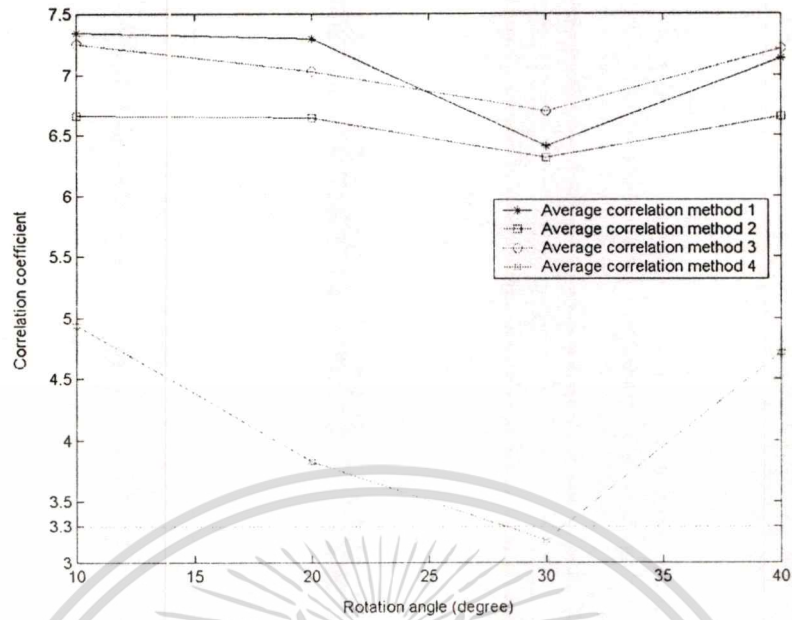
รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	20	20	20	20
Camera	20	20	20	20
Demi	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20
Pepper	20	20	20	20
Relief	20	20	20	20
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	20	20	20	20
Kopipi	20	20	20	20
House	19	20	19	19
Barbara	20	20	20	20
Goldhill	20	20	20	20
รวม(240)	239	240	239	239
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	7.2513	7.0333	6.6967	7.2166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงจำนวนภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน  $z$  ในวิธีที่ 4

รูปภาพ (tif)	องศา			
	10	20	30	40
Baboon	14	9	8	14
Camera	19	13	7	20
Demi	20	16	13	20
Lena	20	20	14	20
Pepper	14	9	4	13
Relief	16	8	4	13
Hongkong	20	20	20	20
Dragon	16	11	6	14
Kopipi	18	10	8	16
House	14	7	7	12
Barbara	19	17	8	20
Goldhill	20	18	15	19
รวม(240)	210	158	114	201
ค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	4.9379	3.8283	3.1823	4.7137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



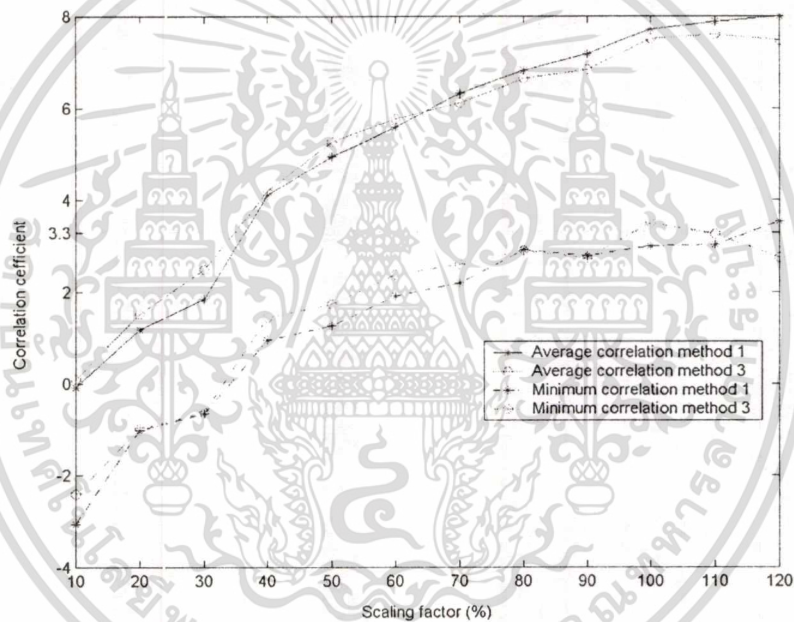
รูปที่ 4.8 ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยโดยเปรียบเทียบจากการทดลองบิดภาพหลายน้ำต่าง ๆ แบบเพอสเพคทีฟตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ทั้ง 4 วิธี ในมุมตั้งแต่ 10 ไปจนถึง 40 องศา

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 3 นั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยใกล้เคียงกับวิธีที่ 1 เมื่อเทียบกับการบิดภาพตามแนวตั้งและหมุนรอบแกน z ในแต่ละมุม แต่ถ้าตรวจสอบจากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยในวิธีที่ 3 นั้นมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1 เล็กน้อย ดังนั้นจึงได้เลือกทั้งสองวิธีนี้มาทดสอบความทนทานต่อการโจมตีลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบอื่น ๆ อีกในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

## 4.2 ผลการทดลองความทนทานของภาพลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบต่าง ๆ

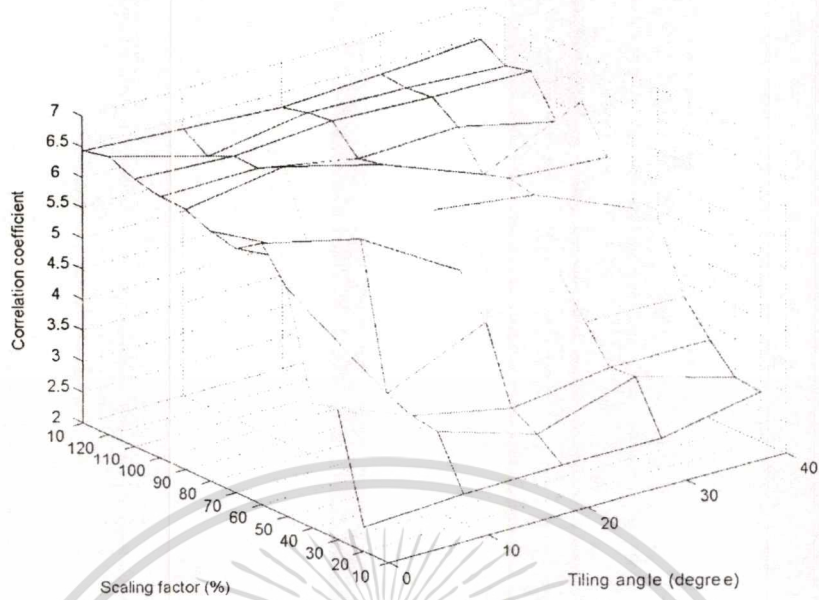
### 4.2.1 การทดสอบความทนทานต่อการปรับขนาดของรูปภาพ

ในการทดลองนี้ได้ทำการปรับขนาดของรูปภาพที่ขนาดต่าง ๆ โดยได้ทำการทดลองปรับขนาดไปครั้งละ 10% จากขนาดตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120% โดยใช้สมการที่ (2.10) จากนั้นได้ทำการทดสอบตรวจหาลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ในรูปภาพ โดยรูปที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์ที่มีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละขนาด ซึ่งจำนวนเปอร์เซ็นต์นั้นหมายถึงการปรับขนาดของรูปภาพให้มีขนาดเท่ากับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของขนาดภาพเดิม จากผลการทดลองจะเห็นว่าลายน้ำดิจิทัลในทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 สามารถถูกตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้ถูกต้องในช่วงการปรับขนาดของภาพ 40% ถึง 120%

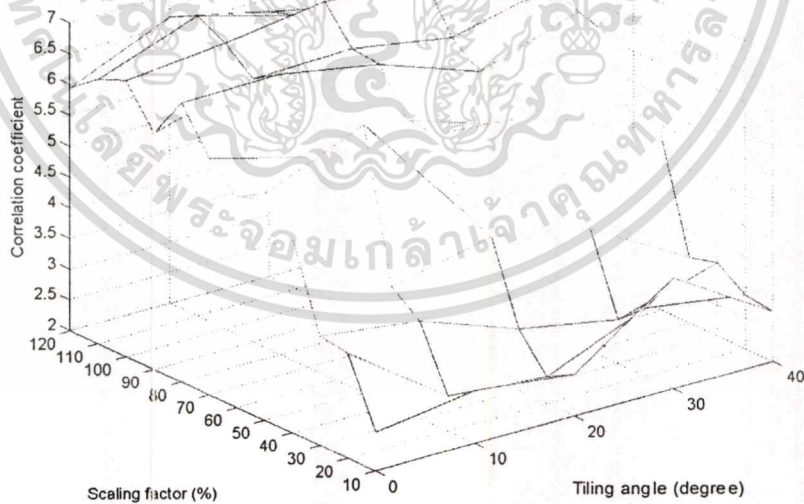


รูปที่ 4.9 ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยจากการทดลองปรับขนาดรูปภาพต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120%

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองปรับขนาดของภาพลายน้ำพร้อมทั้งบิดเบือนภาพแบบเพอสเพกทีฟเมื่อหมุนรอบแกน  $z$  และบิดตามแนวตั้งในมุมตั้งแต่ 10 องศาถึง 40 องศาโดยเพิ่มค่าครั้งละ 10 องศา ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.10-4.11 จะเห็นได้ว่าทั้งในวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดจะมีค่าน้อยลงเมื่อมีการปรับขนาดของภาพในจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง และเมื่อมุมของการบิดเบือนภาพมีค่ามากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ค่าสหสัมพันธ์สูงสุดในวิธีที่ 1 จากการทดลองปรับขนาดรูปภาพต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120% โดยบิดเป็นภาพแบบเพอสเพกทีฟเมื่อหมุนรอบแกน z และบิดตามแนวตั้งในมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 40 องศา ไปพร้อม ๆ กัน

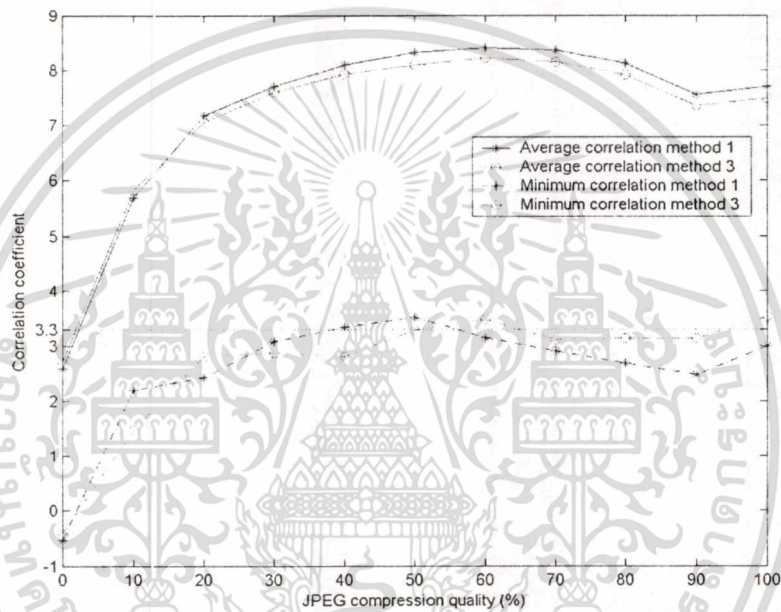


รูปที่ 4.11 ค่าสหสัมพันธ์สูงสุดในวิธีที่ 3 จากการทดลองปรับขนาดรูปภาพต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 120% โดยบิดเป็นภาพแบบเพอสเพกทีฟเมื่อหมุนรอบแกน z และบิดตามแนวตั้งในมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 40 องศา ไปพร้อม ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การทดสอบความทนทานต่อการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

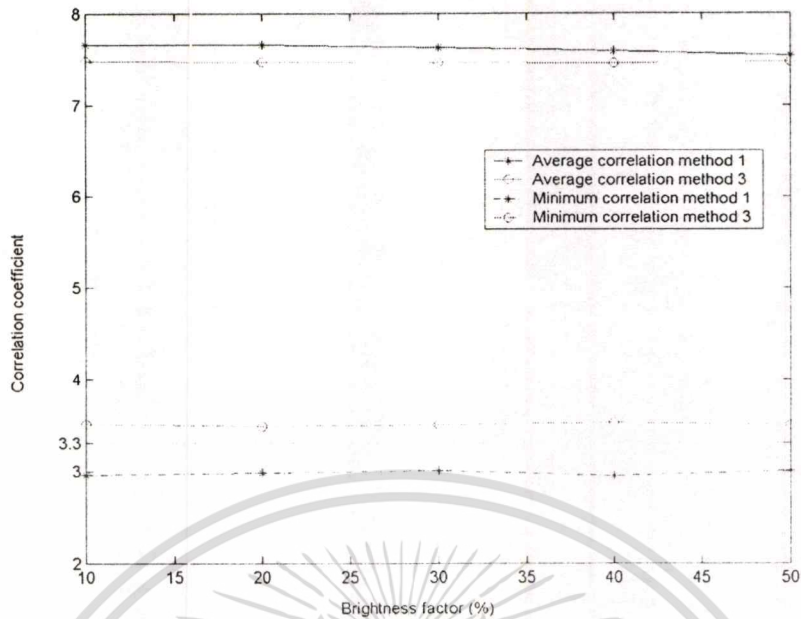
ในการทดลองนี้ได้ทำการบีบอัดรูปภาพด้วยอัลกอริทึมของ JPEG ที่ระดับคุณภาพที่ 0% ถึง 100% โดยเพิ่มค่าครั้งละ 10% โดยระดับคุณภาพที่ 0% หมายถึงคุณภาพที่น้อยที่สุด และระดับคุณภาพที่ 100% หมายถึงคุณภาพที่ดีที่สุด แล้วทำการตรวจหาหลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพโดยใช้ทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 ดังรูปที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละระดับคุณภาพ พบว่าทั้งการซ่อนลายน้ำในวิธี 1 และวิธีที่ 3 สามารถตรวจพบหลายน้ำเมื่อภาพถูกบีบอัดแบบ JPEG ในระดับคุณภาพตั้งแต่ 10% ขึ้นไป



รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองบีบอัดรูปภาพด้วยคุณภาพที่ระดับต่าง ๆ

#### 4.2.3 การทดสอบความทนทานต่อการปรับความสว่าง

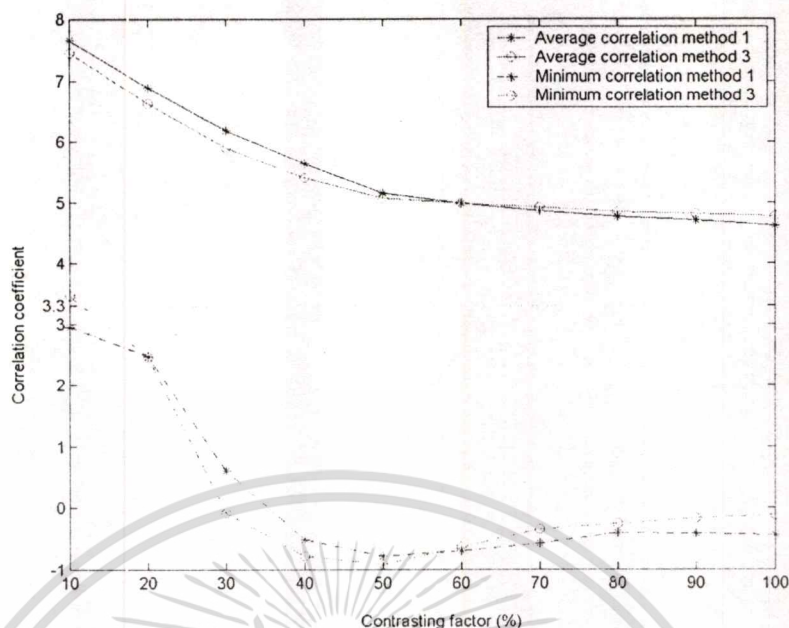
ในการทดลองนี้ได้ทำการปรับความสว่างของรูปภาพตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 50% โดยเพิ่มความสว่างไปครั้งละ 10% ดังสมการที่ (2.8) แล้วทำการตรวจหาหลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 แสดงผลลัพธ์ที่มีค่าเฉลี่ยจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละระดับความสว่าง พบว่าทั้งสองวิธีนั้นสามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้อย่างถูกต้องเมื่อทดลองปรับค่าความสว่างของรูปภาพในทุก ๆ ระดับ



รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองปรับค่าความสว่างของรูปภาพตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 50%

#### 4.2.4 การทดสอบความทนทานต่อการปรับการตัดกันของสี

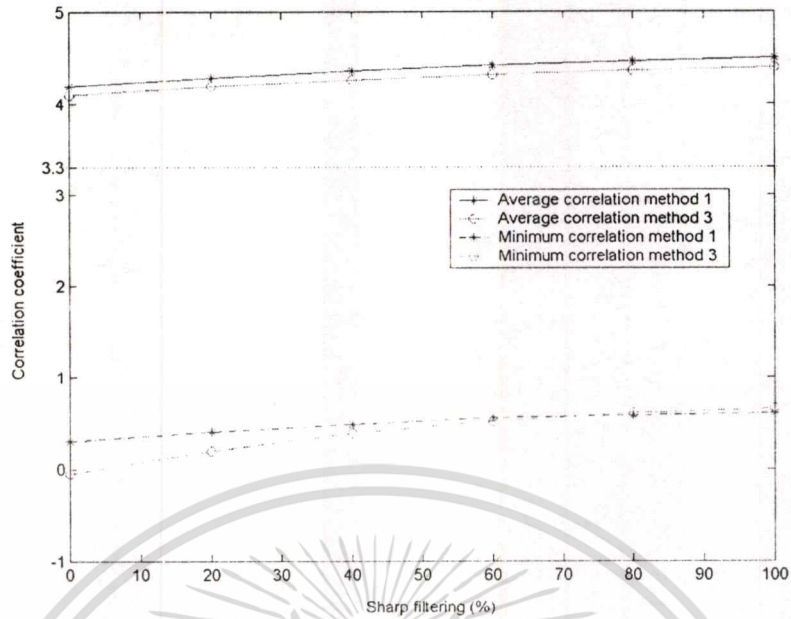
ในการทดลองนี้ได้ทำการปรับการตัดกันของสี (Contrast adjustment) ภายในรูปภาพตั้งแต่ 10% ไปจนถึง 100% โดยปรับครั้งละ 10% ดังสมการที่ (2.9) แล้วทำการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 ดังรูปที่ 4.14 แสดงผลลัพธ์ที่มีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละระดับการตัดกันของสี พบว่าทั้งสองวิธีนั้นสามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้อย่างถูกต้องทุกการทดลองข้างต้น



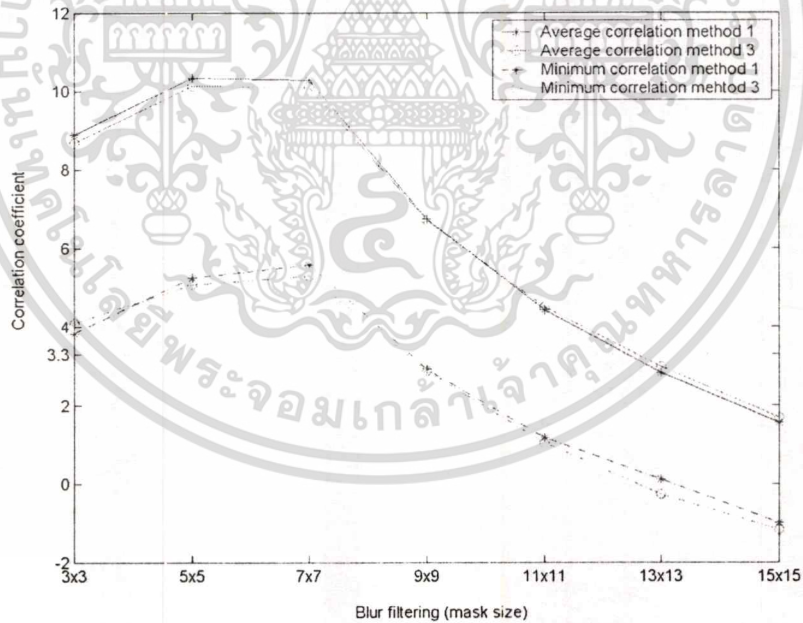
รูปที่ 4.14 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองปรับการตัดกันของสีตั้งแต่ 10% จนถึง 100%

#### 4.2.5 การทดสอบความทนทานต่อการปรับคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

การทดลองนี้เป็นการทดสอบความทนทานของลายน้ำดิจิทัลต่อกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ โดยทำการทดลองทั้งวิธีที่ 1 และ 3 ใน 2 ลักษณะ คือ ทำการปรับรูปภาพให้คมชัด ดังสมการที่ (2.11) โดยใช้ค่า  $W$  ดังสมการที่ (2.13) ดังรูปที่ 4.15 แสดงผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการตรวจสอบหลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ในรูปภาพเมื่อภาพมีความคมชัดในระดับต่าง ๆ กัน พบว่าทั้งสองวิธีสามารถตรวจพบหลายน้ำดิจิทัลได้ทุก ๆ ระดับ และทำการปรับรูปภาพให้มัว โดยใช้สมการที่ (2.11) ซึ่งใช้ค่า  $W$  ดังสมการที่ (2.12) โดยกำหนดให้ฟิลเตอร์มีขนาดต่าง ๆ ได้แก่  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ,  $9 \times 9$ ,  $11 \times 11$  และ  $15 \times 15$  ตามลำดับ รูปที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการตรวจสอบหลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ในรูปภาพโดยทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 นั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยน้อยลงมากเมื่อรูปภาพมัวมากยิ่งขึ้น (ขนาดของ blur mask มีขนาดมากขึ้นตามลำดับ)



รูปที่ 4.15 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองปรับรูปภาพให้คมชัดขึ้นโดยใช้ฟิลเตอร์ที่ขนาดต่าง ๆ

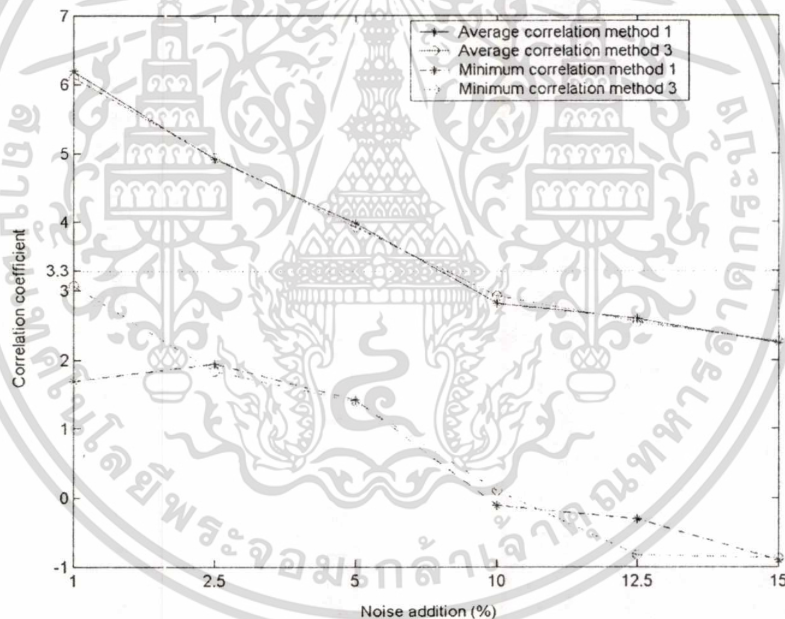


รูปที่ 4.16 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองปรับรูปภาพให้มัวโดยใช้ฟิลเตอร์ที่ขนาดต่าง ๆ

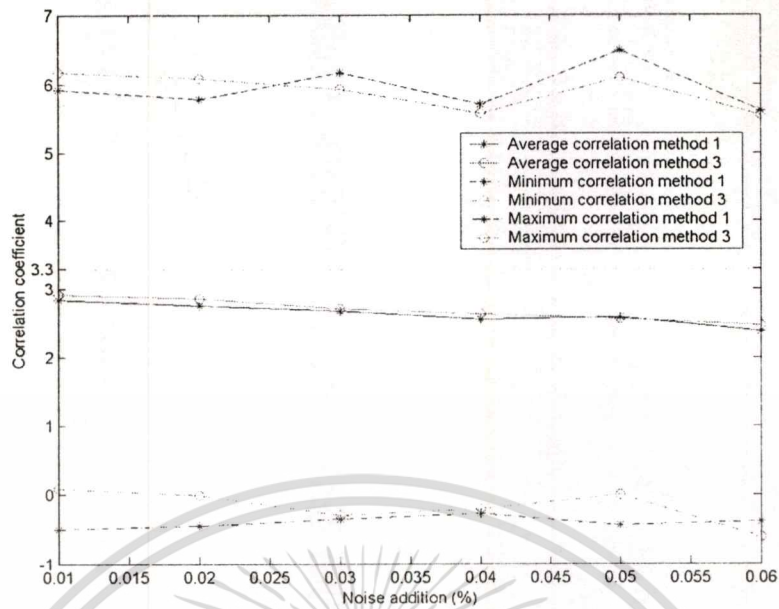
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 การทดสอบความทนทานต่อสัญญาณรบกวนภายในรูปภาพ

ในการทดลองนี้ได้ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนภายในรูปภาพแบบ Salt and pepper มีค่าตั้งแต่ 1% ไปจนถึง 15% แล้วทำการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ภายในรูปภาพ รูปที่ 4.17 แสดงผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจากการทดลองทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 พบได้ว่าเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนตั้งแต่ระดับประมาณ 7.5% ขึ้นไปจะไม่สามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้จากรูปภาพ ซึ่งสังเกตได้ว่ายังสัญญาณรบกวนในรูปภาพลายน้ำดิจิทัลมีมากเท่าใด การตรวจพบลายน้ำดิจิทัลในรูปภาพในทั้งสองวิธีจะยิ่งน้อยลงเท่านั้น ส่วนที่สองเป็นการเพิ่มสัญญาณรบกวนภายในรูปภาพแบบ Gaussians โดยใช้ค่าความแปรปรวนตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.06 โดยเพิ่มค่าความแปรปรวนทีละ 0.01 จากรูปที่ 4.18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยซึ่งจะเห็นว่า รูปภาพลายน้ำดิจิทัลไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนแบบนี้ในทั้ง 2 วิธี ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยใกล้เคียงกัน และมีค่าน้อยกว่าค่า Threshold ที่กำหนดไว้คือ 3.3



รูปที่ 4.17 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ “Salt and pepper” ภายในรูปภาพตั้งแต่ 1% ไปจนถึง 15%



รูปที่ 4.18 ผลลัพธ์ของค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ “Gaussians” ภายในรูปภาพ โดยใช้ค่าความแปรปรวนตั้งแต่ 0.01 ไปจนถึง 0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการสร้างลายน้ำดิจิทัลและการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ โดยการนำทฤษฎี Cross ratio แบบ Collinear points มาประยุกต์ใช้ เพราะในวิธีนี้ไม่จำเป็นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลง (Transform) รูปภาพทั้งภาพกลับคืนเป็นภาพปกติ ก่อนแล้วค่อยตรวจหาลายน้ำดิจิทัล และนอกจากนี้ยังสามารถเข้าถึงตำแหน่งที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลได้โดยตรงโดยไม่ต้องแปลง (Transform) ภาพกลับเป็นภาพปกติก่อน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 วิธีนั้น จากการศึกษาและทดลองพบว่า ลำดับและจำนวนชั้นในการคำนวณหาตำแหน่งของการซ่อนลายน้ำดิจิทัลนั้นมีผลต่อการตรวจพบลายน้ำดิจิทัล โดยถ้าลำดับและจำนวนชั้นในการคำนวณหาตำแหน่งของการซ่อนลายน้ำดิจิทัลอยู่ในลำดับที่น้อยกว่าจะสามารถตรวจพบได้ดีกว่าในลำดับและจำนวนชั้นที่มากกว่า เพราะถ้าซ่อนลายน้ำดิจิทัลในลำดับอื่น ๆ ลงไป การตรวจพบลายน้ำดิจิทัลจะยังมีความผิดพลาดสูงขึ้นเพราะมีขั้นตอนของการคำนวณที่มากขึ้น เมื่อภาพบิดเบือนภาพในมุมที่มากขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะส่งผลให้ตรวจพบได้น้อยลงตามลำดับ และนอกจากนี้ยังขึ้นกับปัจจัยอีกอย่างควบคู่กันไปคือ ตำแหน่งการกระจายของลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ซ่อนนั้นมีผลกับการตรวจพบลายน้ำดิจิทัล คือ ถ้าตำแหน่งที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลมีการกระจายกันอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ จะทำให้สามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้มากขึ้น

นอกจากการทดสอบเทคนิคที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟแล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้นำวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 มาทดสอบความทนทานต่อการโจมตีลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบต่าง ๆ (Attacks on watermarks) พบว่าเทคนิคลายน้ำดิจิทัลทั้งสองวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีความทนทานได้ดีต่อการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG, การปรับค่าความสว่าง (Brightness adjustment), การปรับการตัดกันของสี (Contrast adjustment) และการปรับคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ (Filtering adjustment) และนอกจากนี้เมื่อทดสอบรูปภาพลายน้ำดิจิทัลกับการปรับขนาดของรูปภาพ (Scaling adjustment) พบว่า สามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลตั้งแต่ขนาด 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และเมื่อทดสอบกับความทนทานต่อสัญญาณรบกวนในรูปภาพ พบว่ารูปภาพสามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้บางชนิดเท่านั้น และมีความทนทานได้ไม่มากนัก

สำหรับข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเห็นได้ว่าวิธีการสร้างลายน้ำดิจิทัลสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟนี้ ปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยที่พัฒนาสำหรับเรื่องนี้โดยเฉพาะ จึงยังไม่มีข้อเปรียบเทียบว่าเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ดีกว่างานวิจัยอื่นมากนักน้อยเพียงใด แต่ผู้เขียนได้พยายามศึกษาทุก ๆ วิธีที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการใช้ Cross ratio แบบ collinear points มาศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีที่ดีที่สุด ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงน่าจะเป็นแนวทางในการศึกษาและ

พัฒนาเพื่อให้ทันทันต่อการบิดเบือนแบบเพอสเพคทีฟในรูปแบบต่าง ๆ กันให้มากกว่านี้ รวมทั้ง  
 ทนทานต่อการโจมตีรูปภาพลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบอื่น ๆ ด้วยเพื่อให้ผลของการตรวจพบลายน้ำที่  
 ดีกว่าเดิม และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงไปใช้กับวิธีการถ่ายภาพลายน้ำดิจิทัลด้วยกล้อง  
 ดิจิตอลต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] J. J. K., Ó Ruanaidh and T. Pun. "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking" **Signal Processing**, vol. 66, no. 3, May 1998. pp. 303-317.
- [2] C. Y. Lin, J. A. Bloom, I. J. Cox, M. L. Miller and Y. M. Lui. "Rotation-scale, and Translation-resilient public watermarking of images" **Proc. of SPIE**, 2000. pp. 90-98.
- [3] S. Pereira and T. Pun. "Fast robust template matching for affine resistant image watermarking" **International Workshop on Information Hiding**, Berlin, Germany : Springer-Verlag, vol. LNCS 1768. 1999. pp. 200-210.
- [4] R. Caldelli, M. Barni, F. Bartolini and A. Piva. "Geometric-invariant robust watermarking through constellation matching in the frequency domain" **Proc. IEEE International Conference on Image Processing**, vol. 2. 2000. pp. 65-68.
- [5] O. Guitart Pla, E. T. Lin and E. J. Delp. "A Wavelet Watermarking Algorithm Based on a Tree Structure" **Proc. of the SPIE International Conference on Security, Steganography and Watermarking of Multimedia Contents VI**, vol. 5306, San Jose, CA. 2004. pp. 571-580.
- [6] Coxeter, H. S. M. and Greitzer S. L. "Collinearity and Concurrence" **Geometry Revisited**, Ch. 3, Math. Assoc. Amer. 1967. pp. 51-79.
- [7] R. Mohr and L. Morin. "Relative Positioning from Geometric Invariants" **Proc. of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, 1991. pp. 139-144.
- [8] S. P. Mohanty. et. al. "A Dual Watermarking Technique for Images" **Proc. 7<sup>th</sup> ACM International Multimedia Conference**, ACM-MM'99, Part 2. Orlando, USA. Oct, 1999. pp. 49-51
- [9] S. Craver. et al. "Can Invisible Watermarks Resolve Rightful Ownership?" **IBM Research Report**, RC205209, July, 1996.
- [10] S. Craver. et. al. "Resolving Rightful Ownerships with Invisible Watermarking Techniques: Limitations, Attacks and Implications" **IEEE Journal. on Selected Areas in Communications**, Vol.16, No.4, May 1998. pp. 573-586.
- [11] J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, **Digital Watermarking**. Morgan Kaufmann Publishers. 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

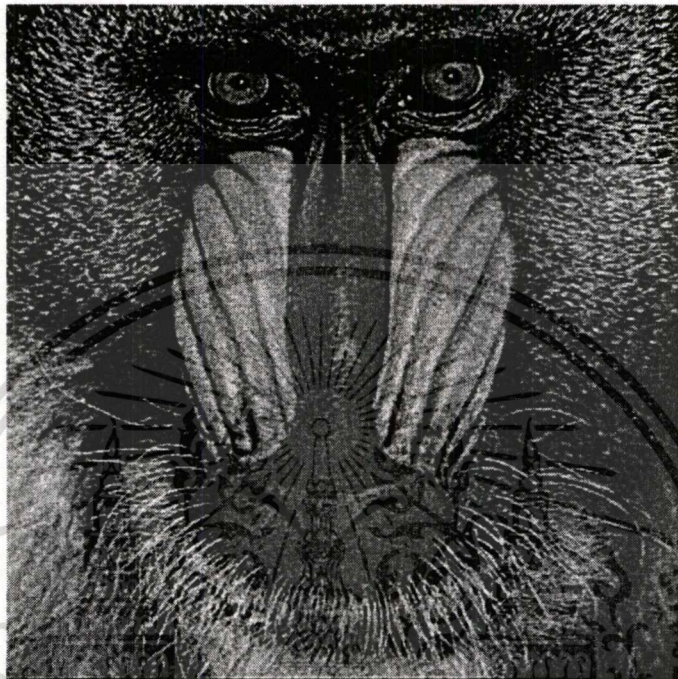
- [12] M. L. Miller and J. A. Bloom. "Computing the Probability of False Watermark Detection" **Proc. Information Hiding**, Dresden, Germany, 1999.
- [13] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu. "Techniques for data hiding" **IBM Systems Journal**, vol. 35, No. 3&4, 1996. pp 313-336.
- [14] Ingemar J. Cox, Joe Kiliant, Tom Leighton and Talal Shamoon. "Secure spread spectrum watermarking for multimedia" **IEEE transactions on image processing**, vol. 6, No. 12, 1997. pp 1673-1687.
- [15] Jiri Fridrich. "Methods for data hiding" Center for intelligent systems & department of systems science and industrial engineering, SUNY Binghamton, Binghamton, NY 13902-6000, 1997.
- [16] Fabien A. P. Petitcolas, Ross J. Anderson and Markus G. Kuhn. "Attacks on copyright marking systems" In David Aucsmith, Ed., **Second workshop on information hiding**, vol. 1525 of lecture notes in computer science, Portland, Oregon, USA, April, 1998. pp. 218-238.
- [17] Stefan Katzenbeisser and Fabien A. P. Petitcolas, **Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking**. Artech House Publishers, 2000.
- [18] S. P. Mohanty. "Digital Watermarking : A Tutorial Review" Florida, USA, 1999.
- [19] Jain A. K. **Fundamentals Of Digital Image Processing**. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1989.
- [20] Kenneth R. Castleman. **Digital image processing**. Prentice-Hall, Inc. 1996.
- [21] Gregory A. Baxes. **Digital image processing : Principles and applications**. John Wiley & Sons, Inc. 1994.
- [22] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. **Digital image processing**. Addison-Wesley. 1997.
- [23] Hearn, Donal and Baker, M. Pauline. **Computer graphics**. New Jersey : Prentice Hall, Inc. 1997.
- [24] Antonio F. "Faster Line Segment Intersection" **Graphics Gems III**. Ch. IV.6. Academic Press. 1999. pp. 199-202 and 500-501.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## ตัวอย่างรูปภาพที่ใช้ในการทดลอง

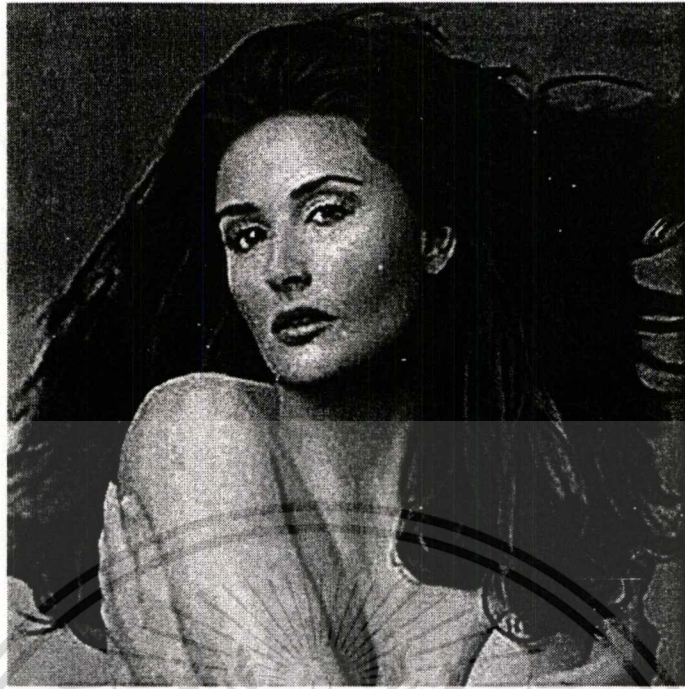


รูปที่ ก.1 รูปภาพ “Baboon” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล



รูปที่ ก.2 รูปภาพ “Camera” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

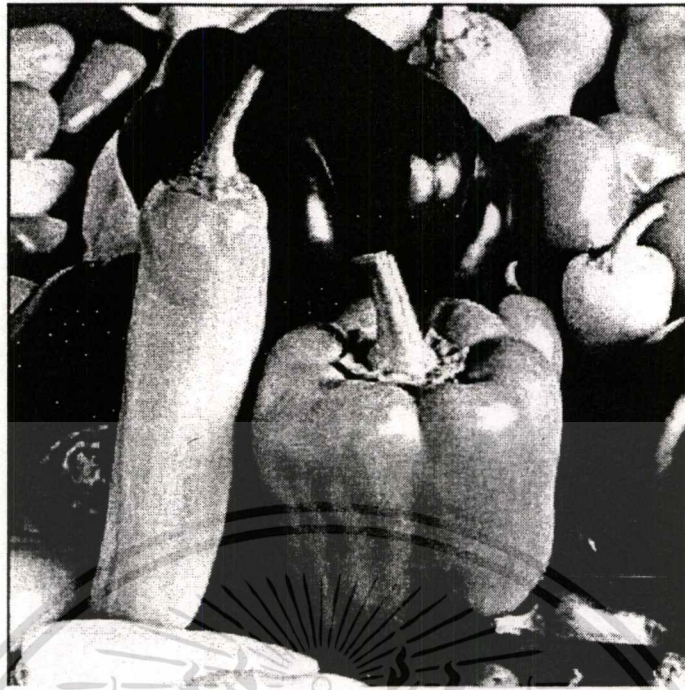


รูปที่ ก.3 รูปภาพ “Demi” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

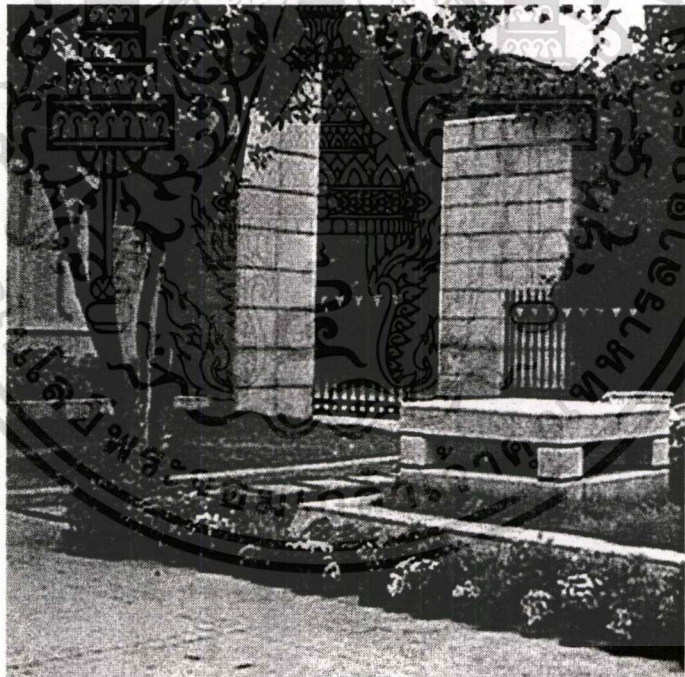


รูปที่ ก.4 รูปภาพ “Lena” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

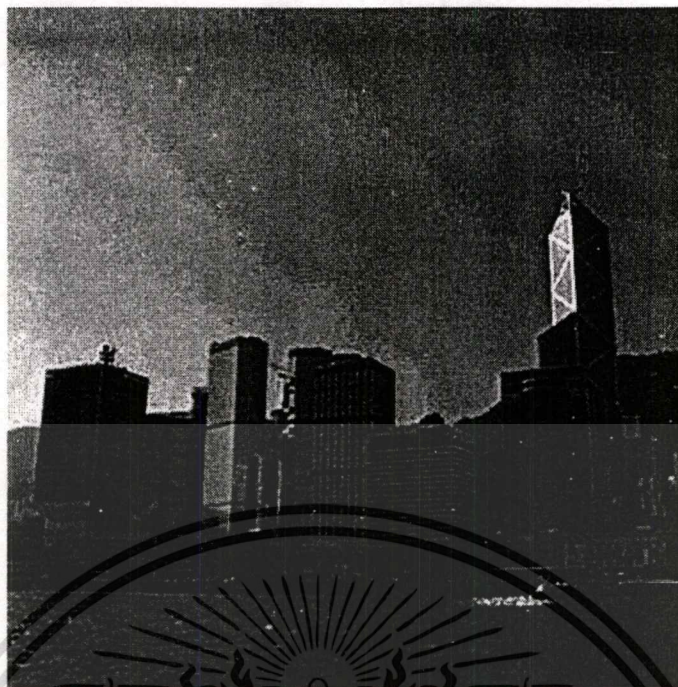


รูปที่ ก.5 รูปภาพ “Pepper” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

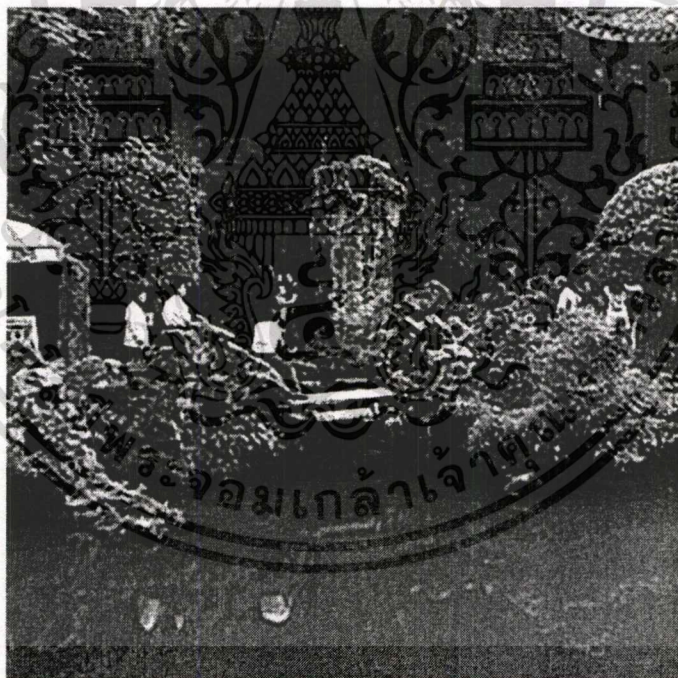


รูปที่ ก.6 รูปภาพ “Relief” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

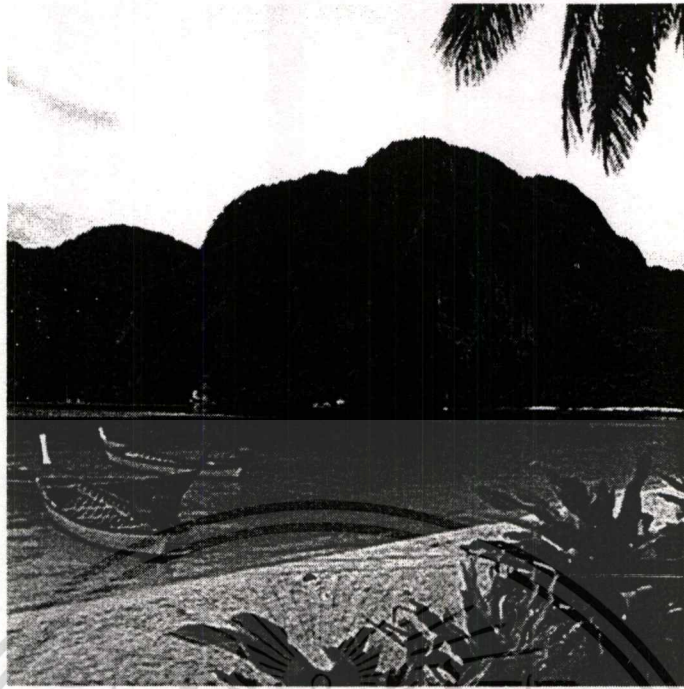


รูปที่ ก.7 รูปภาพ “Hongkong” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

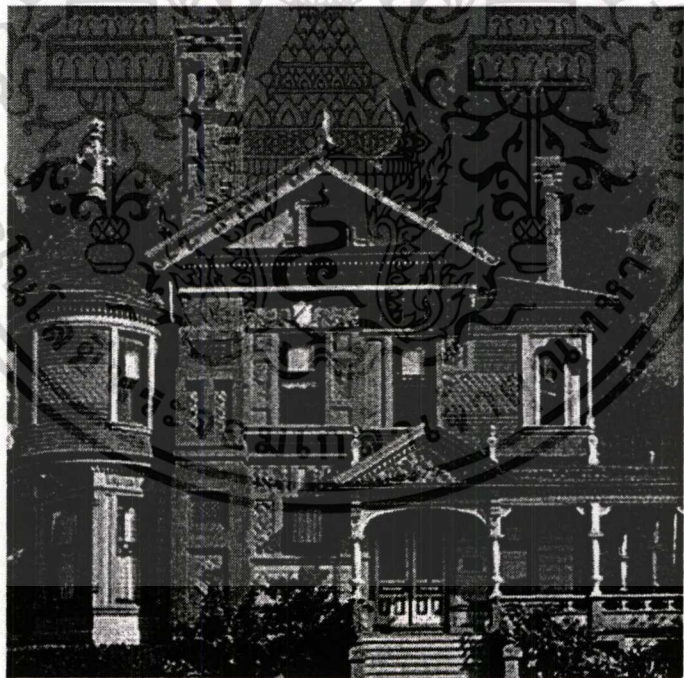


รูปที่ ก.8 รูปภาพ “Dragon” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 รูปภาพ “Kopipi” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

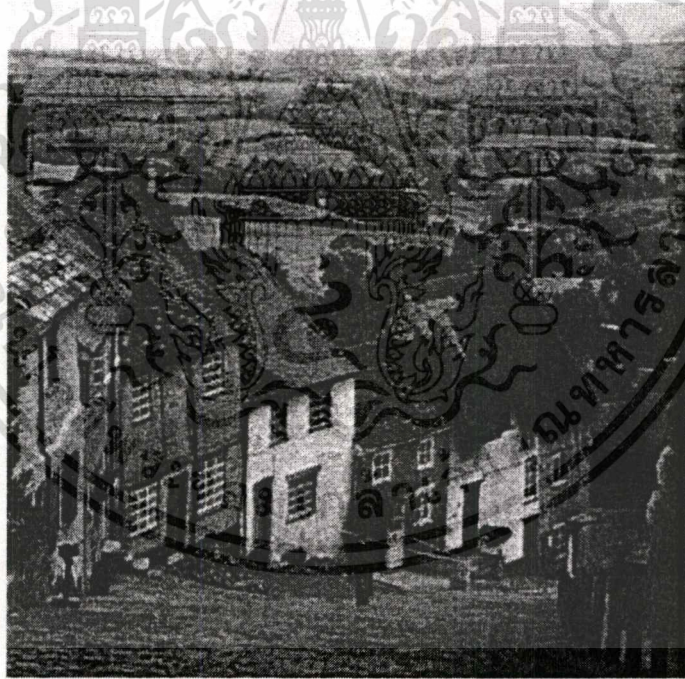


รูปที่ ก.10 รูปภาพ “House” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 รูปภาพ “Barbara” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล



รูปที่ ก.12 รูปภาพ “Goldhill” ขนาด 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

## บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Chotikakamthorn N. and Yawai W. “Digital Watermarking Technique for Image with Perspective Distortion” ICCAS 2004, Bangkok, Thailand, August 2004. pp. 1090-1093.
2. วิยดา ชะไวทย์ และนพพร โชติกกำธร. “การศึกษาเปรียบเทียบลายน้ำดิจิทัล 3 แบบสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ” NCSEC 2005, กรุงเทพฯ, 2548. หน้า 555-565.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Acceptance Letter



## 2004 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2004)

August 25-27, 2004  
The Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand

Home page : <http://www.kmitl.ac.th/iccas04>  
<http://www.iccas.org>

■ **General Chair**  
Prakit Tangtisanon (KMITL, President, Thailand)

■ **General Co-Chair**  
Keh Sik Min (ICASE, President, Korea)

■ **Advisory Council**  
Taweesak Koranantakul (NECTEC, Thailand)  
Hironobu Ono (SICE, Japan)  
Han Fu Chen (CAA, China)  
Youngil Youn (POSTECH, Korea)  
Hidenori Kimura (RIKEN, Japan)  
Toshio Wakabayashi (Tokai Univ., Japan)  
Monai Krairiksh (KMITL, Thailand)

■ **Organizing Chair**  
Tawil Paungma (KMITL, Thailand)

■ **Organizing Co-Chair**  
Sangchul Won (POSTECH, Korea)

■ **Conference Program Chair**  
Ouen Punnern (KMITL, Thailand)

■ **Technical Co-Chairs**  
Jun-ichi Takada (TIT, Japan)  
Rutikorn Varakulsiripunth (KMITL, Thailand)  
Narong Yoothanom (SPU, Thailand)  
David Banjerdpongchai (CU, Thailand)  
Akachai Sang-in (CMU, Thailand)  
Sujate Jantarang (MUT, Thailand)  
Waree Kongpraweechon (TU, Thailand)  
Sinchai Chinvorarat (KMITNB, Thailand)  
Suthee Phojaruenchanachai (NECTEC, Thailand)  
Bhaisai Hoonkeo (SAU, Thailand)

■ **International Relations Co-Chairs**  
Jongkol Ngarmwivit (KMITL, Thailand)  
Hyun Sik Ahn (Kookmin Univ., Korea)  
Yutaka Yamamoto (Kyoto Univ., Japan)  
Apinunt Thanachayanont (KMITL, Thailand)  
Sunpasit Limnararat (KMITL, Thailand)

■ **Regional Program Co-Chairs**  
Joonhong Lim (Hanyang Univ., Korea)  
Noriyuki Komine (Tokai Univ., Japan)

■ **Exhibition Co-Chairs**  
Werachet Khanngem (KMITL, Thailand)  
Jin Bae Park (Yonsei Univ., Korea)  
Mongkol Mongkolwongroj (KMITL, Thailand)

■ **Publication Co-Chairs**  
Nopporn Chotikakamthorn (KMITL, Thailand)  
Surapan Airphaiboon (KMITL, Thailand)  
Young Il Lee (SNUT, Korea)

■ **Secretariats**  
Tawom Benjanarasuth (KMITL, Thailand)  
Hyun-Chang Yang (ICASE, Korea)  
Vinnoluck Thianjew (KMITL, Thailand)

May 21, 2004

Paper No : ABST 574

Title : Digital Watermarking Technique for Images with Perspective Distortion

Authors : Prof. Chotikakamthorn Nopporn, Student Yawai Wiyada

Dear : Prof. Chotikakamthorn Nopporn, Student Yawai Wiyada

I would like to express my gratitude for your continued attention and support for the ICCAS2004. On behalf of the ICCAS 2004 Program Committee, it is a great pleasure to inform you that your paper described above has been accepted for presentation. You are requested to submit the paper and abstract under "Online Submission > Submit Full Paper" in ICCAS04 web site (<http://www.kmitl.ac.th/iccas04>) by June 21, 2004. Please follow the guideline as can be found in the 'Author's Kit' section of the ICCAS04 web site, as well as those shown below when preparing the manuscript.

✕ **Guidelines**

1. A manuscript must be submitted as a PDF file. Make sure that the manuscript uses only English characters.
2. A manuscript is limited to 6 single-spaced two-column pages including the abstract, references, figures and tables.

Thank you for your contribution to the ICCAS2004.  
We are looking forward to seeing you at The Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand.

Yours Sincerely,

Tawil Paungma

ICCAS 2004 Organizing Chair  
<http://www.kmitl.ac.th/iccas04>

ICCAS2004 Organizing Chair Tawil Paungma  
Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT)  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND  
TEL: +66-27392427-8, FAX: +66-27392429  
E-mail: [iccas04@kmitl.ac.th](mailto:iccas04@kmitl.ac.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICCAS '04

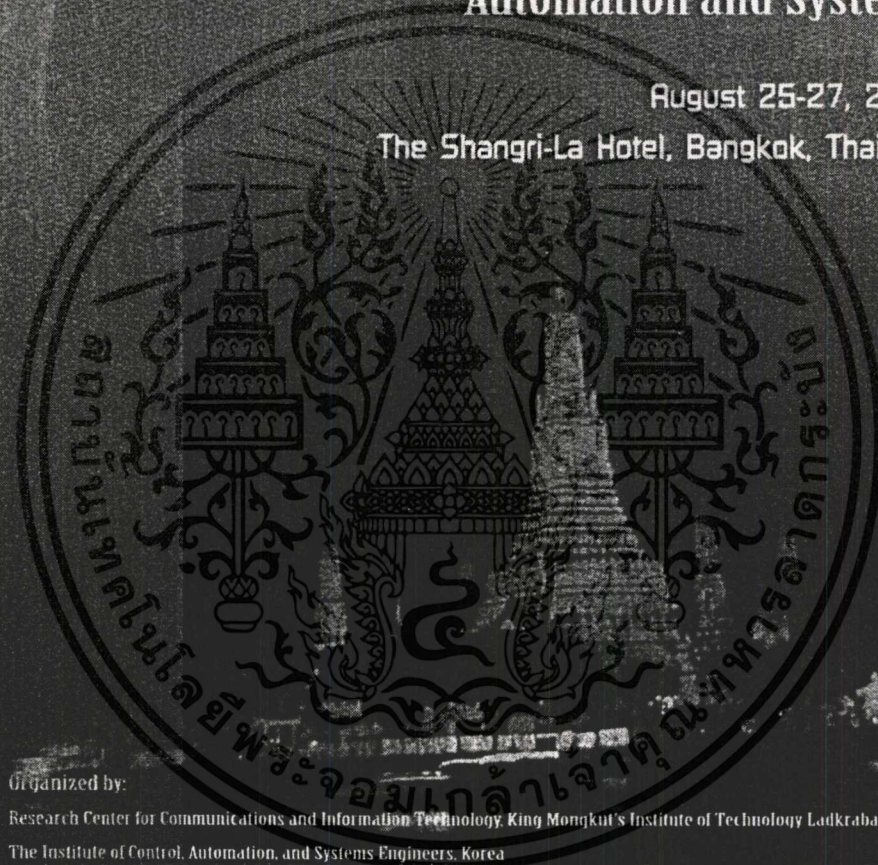
ICCAS 2004

Final Program &amp; Abstract Book

# International Conference on Control, Automation and Systems

August 25-27, 2004

The Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand



Organized by:

Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

The Institute of Control, Automation, and Systems Engineers, Korea



ICANE

In association with:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Digital Watermarking Technique for Images with Perspective Distortion

Nopporn Chotikakamthorn\*, and Wiyada Yawai\*\*

Faculty of Information Technology & Research Center for communications and Information Technology,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalokkrung Road, Bangkok 10520, Thailand

\* (Tel : +66-2-7372551; E-mail: kcnoppor@kmitl.ac.th)

\*\* (Tel : +66-2-7372551; E-mail: wiyadayw@hotmail.com)

**Abstract:** In this paper, a problem of geometrically distorted images is considered. In particular, the paper discusses the detection of a watermark from a photographed image of the watermarked picture. The image is possibly obtained by using a digital camera. This watermark detection problem is made difficult by various geometric distortions added to the original picture through the printing and photographing processes. In particular, the paper focuses on the geometric distortion due to a projective transformation, as part of a camera 3D-to-2D imaging process. It is well-known that a cross ratio of collinear points is invariant under a perspective projection. By exploiting this fact, a projective-invariant digital watermarking technique is developed. By detecting the picture's corners, and the image center point at the intersection of two main diagonal lines, predefined cross ratios are used to compute the watermark embedded locations. From those identified embedding pixel locations, a watermark can be detected by performing a correlation between a watermark pattern and the image over those pixels. The proposed method does not require an inverse transformation on the distorted image, thus simplifying the detection process. Performance of the proposed method has been analyzed through computer experiments

**Keywords:** Digital watermarking, Perspective distortion, Cross ratio, Collinear points

### 1. INTRODUCTION

In recent papers [1-2], watermarking techniques are developed such that they are robust to 2-D geometrical transformation (RST- Rotation, Scale and Translation). One of those methods is developed by Ó Ruanaidh and Pun, and described in [1]. They introduced a watermarking scheme that exploits certain properties of the Fourier transform. In this scheme, watermark embedding is performed in a RST (rotation, scaling, and translation) invariant domain. By applying the Fourier transform to the host image after the log-polar mapping, the Fourier coefficient magnitudes form a translation, rotation, and scaling-invariant domain. This transform is also called the Fourier-Mellin transform. In addition, a similar RST invariant scheme is developed by Lin et al. and is described in [2].

Those methods as described are applicable to 2-D affine transformed images. However, for images taken by a digital camera, the original pictures are projective transformed onto the resulting images. The resulting perspective distortion is different from that is due to 2-D affine-type transformations. In the context of digital watermarking applications, such situation may arise when verification of a printed image's authentication or copyright information must be performed on the move. Another example that requires watermark detection from a perspective-distorted image, is when a watermark is used to link physical media (printed material such as a poster) with an electronic media (such as a web site). By embedding a watermark in the printed picture, the watermarked information may be later recovered from the photographed image of its printed version. The recovered information may be used to provide a link to an appropriate Internet resource location. Use of a watermarking technique under these scenarios is challenging due to the existence of various distortions in the image acquisition process.

In this paper, the problem of digital watermarking in the presence of perspective distortion is considered. The paper proposes a watermarking technique for images that is invariant under a perspective projection. The technique makes use of the well-known invariance of the cross-ratio of four collinear points. The proposed method avoids the need to perform inverse transformation operation. In addition, no image-dependent feature detection is required. Its application is thus

independent to image content.

The paper is organized as follows: In section 2, we describe background-invariance theory of the cross-ratio. In section 3, the proposed projective-invariant digital watermarking technique, based on the cross-ratio principle, is detailed. In Section 4, experiment results are reported. Finally, Section 5 provides some conclusion remarks and future work.

### 2. BACKGROUND THEORY OF THE CROSS-RATIO

The cross-ratio is a basic invariance in projective geometry (i.e., all other projective invariance can be derived from it). Here brief introduction to the cross-ratio invariance property is given.

Let  $A, B, C, D$  be four collinear points (Three or more points  $A, B, C, \dots$  are said to be collinear if they lie on a single straight line[3]) as shown in Fig. 1. Their cross-ratio is defined as the "double ratio" in Eq. (1).

$$(ABCD) = CA/CB : DA/DB \quad (1)$$

where all the segments are thought to be signed. The cross-ratio does not depend on the selected direction of the line  $ABCD$ , but does depend on the relative position of the points and the order in which they are listed. Based on a fundamental theory, any homography preserves the cross-ratio. Thus central projection, linear scaling, skewing, rotation, and translation preserve the cross-ratio [4].



Fig. 1 Collinear points  $A, B, C$ , and  $D$

### 3. DIGITAL WATERMARKING TECHNIQUE FOR PERSPECTIVE DISTORTED IMAGES

To apply the cross-ratio to digital image watermarking, three reference points are required. In this section, a method for deriving such reference points is detailed.

#### 3.1 Embedding Scheme

Let's start by considering the embedding part. The method is described algorithmically below.

1. Predefine the set of cross-ratio values, to be used in subsequent steps.

2. Find the image center, as denoted by  $D_c$ , by using the line intersection formula [5] (two diagonal lines of the image) as described by Eqs.(2)-(7) below.

$$x_c = x_i/x_b \tag{2}$$

$$y_c = y_i/y_b \tag{3}$$

$$x_i = \begin{vmatrix} a & c \\ b & d \end{vmatrix} \tag{4}$$

$$x_b = \begin{vmatrix} c & e \\ d & f \end{vmatrix} \tag{5}$$

$$y_i = \begin{vmatrix} a & e \\ b & f \end{vmatrix} \tag{6}$$

$$y_b = \begin{vmatrix} c & e \\ d & f \end{vmatrix} \tag{7}$$

where  $a = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_4 & y_4 \end{vmatrix}, b = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix}, c = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_4 & y_4 \end{vmatrix}, d = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix}, e = \begin{vmatrix} y_1 & y_4 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix}, f = \begin{vmatrix} x_1 & x_4 \\ x_2 & x_3 \end{vmatrix}$ . In addition,  $(x_i, y_i)$  is the coordinate of the point  $C_i, i = 1, 4$  (see Fig. 2).

From the above equations,  $x_c$  is the x-axis value of the point  $D_c$  of line intersection, and  $y_c$  is the y-axis value of the same point and  $| \cdot |$  denotes a determinant operator.

3. Find each of the primary-level watermark embedding points ( $D_{LU,i}$  and  $D_{LD,i}$ ) on the left diagonal line (see Fig. 2(a)). Those points can be identified by using two corner points of the left diagonal line ( $C_1$  and  $C_4$ ), in combination with the image center point  $D_c$  and the predefined cross-ratio values.

$$x_{LU,i} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \tag{8}$$

$$y_{LU,i} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \tag{9}$$

$$x_{LD,i} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \tag{10}$$

$$y_{LD,i} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \tag{11}$$

where

$$PD = BA / AD$$

$$BA = (AD * TR) / (1 + TR)$$

$$TR = (AC/CD) / Cr$$

$D_c$  = the center point of the image.

$$A = (x_1, y_1)$$

$$B = (x_2, y_2)$$

$$C = (x_3, y_3)$$

$$D = (x_4, y_4)$$

$AD$  = Euclidean distance between the point  $A$  and  $D$

$AC$  = Euclidean distance between the point  $A$  and  $C$

$CD$  = Euclidean distance between the point  $C$  and  $D$

$Cr$  = Cross-ratio value

From the above equations,  $(x_{LU,i}, y_{LU,i}), i = 1, \dots, M_{LU}$ , is the coordinate of the point  $D_{LU,i}, A = C_1, B = D_{LU,i}$ ,

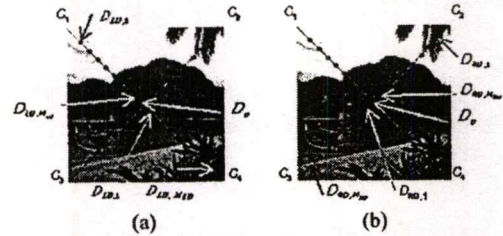


Fig. 2 a) Notations of collinear points on the left diagonal line of the image. b) Notations of collinear points on the right diagonal line of the image.

$C = D_c$  and  $D = C_4$ . In addition,  $(x_{LD,i}, y_{LD,i}), i = 1, \dots, M_{LD}$ , is the coordinate of the point  $D_{LD,i}, A = C_1, B = D_{LU,i}, C = D_c$  and  $D = C_4$ .

4. Find each of the watermark embedding points ( $D_{RU,i}$  and  $D_{RD,i}$ ) on the right diagonal line (see Fig. 2(b)) by following the steps and equation similar to those detailed in Step 3. However, now the point  $A$  in Eqs. (12) ~ (15) represents the point  $C_2$  while the point  $B$  now represents the point  $C_3$ . By using these substitutions, those embedding points are given by

$$x_{RU,i} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \tag{12}$$

$$y_{RU,i} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \tag{13}$$

$$x_{RD,i} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \tag{14}$$

$$y_{RD,i} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \tag{15}$$

where  $(x_{RU,i}, y_{RU,i}), i = 1, \dots, M_{RU}$ , is the coordinate of the point  $D_{RU,i}, A = C_2, B = D_{RU,i}, C = D_c$  and  $D = C_3$ . In addition,  $(x_{RD,i}, y_{RD,i}), i = 1, \dots, M_{RD}$ , is the coordinate of the point  $D_{RD,i}, A = C_2, B = D_{RD,i}, C = D_c$  and  $D = C_3$ .

5. For each pair of  $D_{LU,i}$  and  $D_{RD,k}$ , in combination with  $C_1$  and  $C_3$ , compute watermark embedding points  $E_{VL,i,k} = (x_{VL,i,k}, y_{VL,i,k})$  (see Fig. 3) by applying the line intersection point principle using  $C_1, D_{LU,i}, C_3$  and  $D_{RD,k}$ , as shown in Eqs. (16)-(21)

$$x_{VL,i,k} = x_i / x_b \tag{16}$$

$$y_{VL,i,k} = y_i / y_b \tag{17}$$

$$x_i = \begin{vmatrix} a & c \\ b & d \end{vmatrix} \tag{18}$$

$$x_b = \begin{vmatrix} c & e \\ d & f \end{vmatrix} \tag{19}$$

$$y_i = \begin{vmatrix} a & e \\ b & f \end{vmatrix} \tag{20}$$

$$y_b = \begin{vmatrix} c & e \\ d & f \end{vmatrix} \tag{21}$$

where  $a = \begin{vmatrix} x_{C,1} & y_{C,1} \\ x_{RD,k} & y_{RD,k} \end{vmatrix}, b = \begin{vmatrix} x_{C,3} & y_{C,3} \\ x_{LU,i} & y_{LU,i} \end{vmatrix}, c = \begin{vmatrix} x_{C,1} & y_{C,1} \\ x_{RD,k} & y_{RD,k} \end{vmatrix}$ ,

$d = \begin{bmatrix} x_{C,3} \\ x_{LU,3} \end{bmatrix}$ ,  $e = \begin{bmatrix} y_{C,3} \\ y_{RD,3} \end{bmatrix}$ ,  $f = \begin{bmatrix} y_{C,3} \\ y_{LU,3} \end{bmatrix}$ ,  $x_{VL,i,k}$  is the x-axis value of the point  $E_{VL,i,k}$  of line intersection, and  $y_{VL,i,k}$  is the y-axis value of the same point.

6. For each pair of  $D_{RU,i}$  and  $D_{LD,k}$ , in combination with  $C_2$  and  $C_4$ , compute watermark embedding points  $E_{VR,i,k} = (x_{VR,i,k}, y_{VR,i,k})$  (see Fig. 3) by applying the line intersection point principle using  $D_{RU,i}$ ,  $C_2$ ,  $D_{LD,k}$  and  $C_4$  in a similar manner to that of  $E_{VL,i,k}$  as shown in Eqs. (22)–(27).

$$x_{VR,i,k} = x_i / x_b \tag{22}$$

$$y_{VR,i,k} = y_i / y_b \tag{23}$$

$$x_i = \begin{bmatrix} a & c \\ b & d \end{bmatrix} \tag{24}$$

$$x_b = \begin{bmatrix} c & e \\ d & f \end{bmatrix} \tag{25}$$

$$y_i = \begin{bmatrix} a & e \\ b & f \end{bmatrix} \tag{26}$$

$$y_b = \begin{bmatrix} c & e \\ d & f \end{bmatrix} \tag{27}$$

where  $a = \begin{bmatrix} x_{RU,i} & y_{RU,i} \\ x_{C,4} & y_{C,4} \end{bmatrix}$ ,  $b = \begin{bmatrix} x_{LD,k} & y_{LD,k} \\ x_{C,2} & y_{C,2} \end{bmatrix}$ ,  $c = \begin{bmatrix} x_{RU,i} \\ x_{C,4} \end{bmatrix}$ ,

$d = \begin{bmatrix} x_{LD,k} \\ x_{C,2} \end{bmatrix}$ ,  $e = \begin{bmatrix} y_{RU,i} \\ y_{C,4} \end{bmatrix}$ ,  $f = \begin{bmatrix} y_{LD,k} \\ y_{C,2} \end{bmatrix}$ ,  $x_{VR,i,k}$  is the

x-axis value of the point  $E_{VR,i,k}$  of line intersection and  $y_{VR,i,k}$  is the y-axis value of the same point.



Fig. 3 Example of line intersection points in the image.

7. Repeat Steps 5-6 for the case of the embedding point of line intersection point principle using  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $D_{LU,i}$  and  $D_{RU,k}$  to obtain watermark embedding points  $E_{HU,i,k} = (x_{HU,i,k}, y_{HU,i,k})$  and the embedding point of line intersection point principle using  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $D_{LD,i}$  and  $D_{RD,k}$  to obtain watermark embedding points  $E_{HD,i,k} = (x_{HD,i,k}, y_{HD,i,k})$ , respectively.

8. From all watermark embedding points, embed the watermark patterns by means of a spread-spectrum principle [6] using the following equations

Given the set of watermark embedding points  $E_k = (x_k, y_k)$ ,  $k = 1, \dots, M$ , and each of the watermarking pattern bits  $w_k, w_k \in \{1, -1\}$ ,  $k = 1, \dots, M$ , each watermarking pattern bit is

embedded to the original image by using the following Eq. (28)

$$I_e(x_m^k, y_n^k) = I(x_m^k, y_n^k) + \alpha w_k \tag{28}$$

where  $x_m^k = x_k + m$ ,  $m = -P, \dots, P$ ,  $y_n^k = y_k + n$ ,  $n = -Q, \dots, Q$  and  $\alpha =$  strength of watermark.

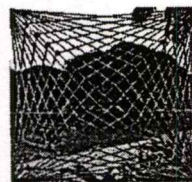


Fig. 4 Line intersection points used for embedding watermark pattern bits.

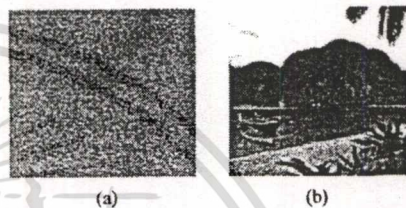


Fig. 5 a) Watermark embedding points, b) The watermarked image.

Fig. 4 shows the lines along which the watermark embedding points are located. Fig. 5(a) shows an example of the watermark pattern and Fig. 5(b) shows an example of the image after embedding the watermark pattern onto the original image.

### 3.2 Detection Scheme

To detect a watermark from the (possibly perspective-distorted) image  $I_e$ , the four image corner points must first be detected. This can be achieved, for example, by using any of the existing corner detection algorithms. Once the four corner points are detected watermark embedding points must be identified. Each point can be calculated by using the method similar to that of the embedding stage (see Section 3.1 for detail). By extracting the values of the pixels corresponding to those watermark embedding points, denoted by  $I_e'(x_k, y_k)$ , a watermark can be detected by using any of the existing watermark detectors. Here, we adopt the correlation coefficient detector [6]. The correlation coefficient value is computed by the following equation.

$$Z_{cc}(I_e', w_k) = \frac{(\bar{I}_e' \cdot \bar{W}_k)}{\sqrt{(\bar{I}_e' \cdot \bar{I}_e')(\bar{W}_k \cdot \bar{W}_k)}} \tag{29}$$

where  $\bar{I}_e' = I_e' - \bar{I}_e$ ,  $\bar{W}_k = W_k - \bar{W}_k$

Watermark is detected if the correlation coefficient value is greater than a detection threshold. For example, in the experiment that follows, the detection threshold is 0.06.

4. EXPERIMENT

In this section, results from the computer simulation experiment are reported. Each of five grayscale images of size 512x512 pixels was used to add 20 different watermark pattern of length 2,000 bits,  $\alpha$  is 3, and block size of watermark 9x9 pixels/watermark pattern bit. The cross-ratio values used for watermark embedding and detection are given in Table 1.

Table 1 Values of the cross-ratio used for watermark embedding and detection

19.3641	13.5469	10.3151	8.2585	6.8347	5.7906
4.9922	4.3618	3.8516	3.4300	3.0759	2.7743
2.5143	2.2878	2.0888	1.9125	1.7553	1.6142
1.4869	1.3714	1.2661	1.1699	1.0815	0.9247
0.8548	0.7899	0.7293	0.6728	0.6198	0.5701
0.5233	0.4793	0.4377	0.3984	0.3613	0.3260
0.2925	0.2607	0.2304	0.2016	0.1740	0.1477
0.1226	0.0985	0.0755	0.0534		

The watermark embedded images were then perspective distorted. The distortion was performed along the horizontal, vertical, and both directions. Examples of the distorted images are shown in Fig. 6. The result of the experiment is shown in Table 2. Plots of the correlation coefficient values, as calculated from the original (no watermark) and the watermarked images, are shown in Fig. 7.



Fig. 6 a) Horizontally distorted watermarked image. b) Vertically distorted watermarked image. c) Watermarked image distorted along both directions.

Table 2 Number of images where the embedded watermark were successfully detected. ( $\beta$ = angle of rotation in degrees)

Watermark images	Horizontal distortion		Vertical distortion		Horizontal and vertical distortion	
	$\beta=15$	$\beta=20$	$\beta=15$	$\beta=20$	$\beta=15$	$\beta=20$
House.tif	19	19	19	19	18	17
Relief.tif	19	19	20	20	18	19
Hongkong.tif	20	20	20	20	20	20
Kopipi.tif	16	18	18	18	19	17
Dragon.tif	20	20	19	20	20	20
Total (100)	94	96	96	97	95	93

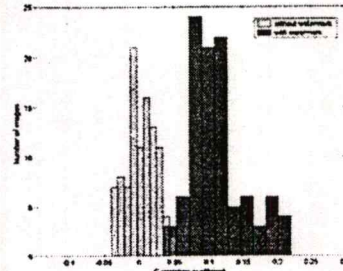


Fig. 7 Correlation coefficient values as calculated from distorted images with and without watermark embedded.

5. CONCLUSION

In this paper, we have presented a watermark technique for images with perspective distortion. Projective invariance is achieved by applying the cross ratio principle. The method developed is capable for detecting a watermark from a perspective-distorted image. This is achieved without the need to perform inverse transformation of the distorted image. Future work includes extension the experiment to cover a real data obtained by photographing a picture using a digital camera.

REFERENCES

- [1] J. J. K. Ó Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking," *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, pp. 303-317, May 1998.
- [2] C. Y. Lin, J. A. Bloom, I. J. Cox, M. L. Miller, and Y. M. Lui, "Rotation-scale, and Translation-resilient public watermarking of images," *Proc. of SPIE*, pp. 90-98, 2000.
- [3] Coxeter, H. S. M. and Greitzer, S. L. "Collinearity and Concurrence." *Geometry Revisited*, Ch. 3, Math. Assoc. Amer., pp. 51-79, 1967.
- [4] R. Mohr and L. Morin, "Relative Positioning from Geometric Invariants," *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 139-144, 1991.
- [5] Antonio, F. "Faster Line Segment Intersection." *Graphics Gems III*, Ch. IV.6, Academic Press, pp. 1999-202 and 500-501, 1992.
- [6] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.

The 8<sup>th</sup> National Computer Science and Engineering Conference  
(NCSEC 2005)  
October 27-28, 2005  
University of Thai Chamber of Commerce, Bangkok, Thailand

---

**NCSEC2005 Acceptance Notification**  
Official Home Page <<http://www.utcc.ac.th/ncsec2005>>

Paper#: ID-0218  
Title: **Comparative Study of Three Digital Watermarking  
Techniques for Images with Perspective Distortion**

Authors: อธิชา ชะโรทัย  
นพพร ตรีศีกักการ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพมหานคร, 10520, ประเทศไทย

Dear Authors:

I am pleased to inform you that your above-referenced manuscript has been accepted for presentation and publication in The 8<sup>th</sup> National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC2005) to be held at University of Thai Chamber of Commerce (UTCC) in Bangkok, Thailand on October 27-28, 2005

Thank you once again for submitting your paper to NCSEC2005

I am looking forward to see you in Bangkok, October 2005

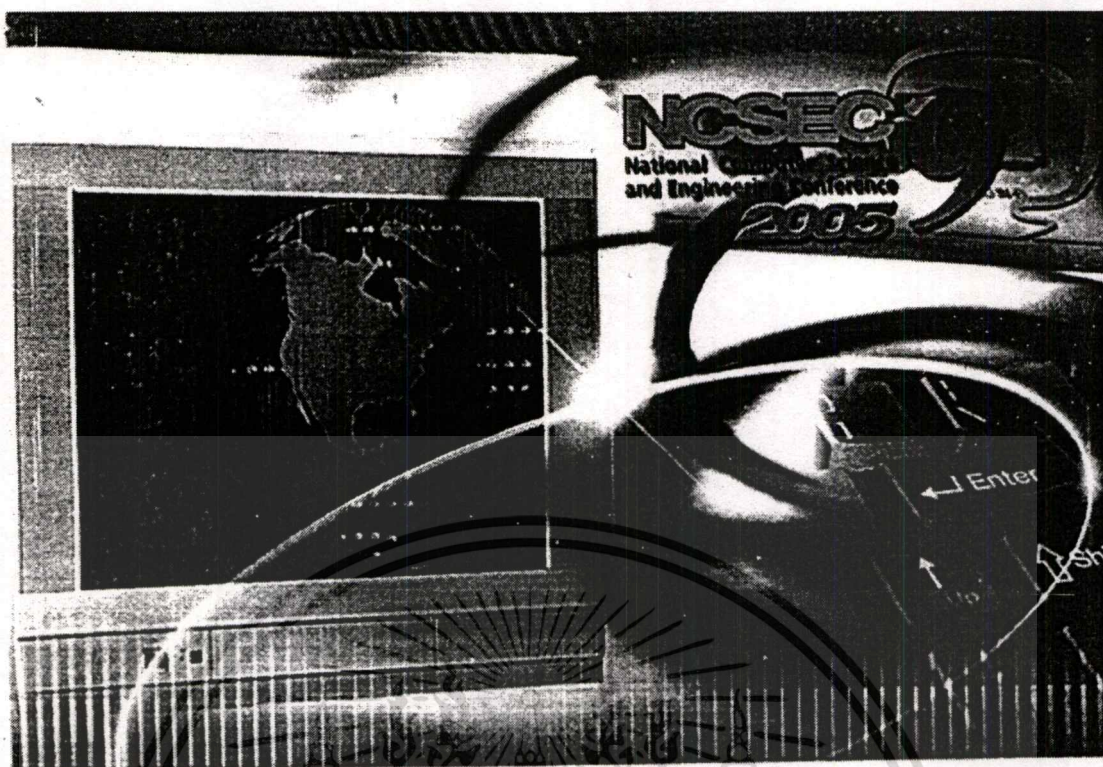
Sincerely your,



**Asst. Prof. Dr. Wanchai Rattanawong**

General Co-Chair of NCSEC2005

School of Engineering, University of Thai Chamber of Commerce, Bangkok, Thailand.



## The 9<sup>th</sup> National Computer Science and Engineering Conference

October 27-28, 2005

University of Thai Chamber of Commerce, Bangkok Thailand

### Organized by:

Department of Computer Engineering, School of Engineering,  
University of Thai Chamber of Commerce

### In Cooperation with:

Electrical Engineering: Electronics, Computer, Telecommunications  
and Information Technology Association of Thailand (ECTI)

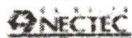


IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY  
THAILAND CHAPTER

IEEE Communications Society, Thailand Chapter

### Sponsored by:

University of Thai Chamber of Commerce



National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)



Sun Microsystems (Thailand)



CS Loxinfo Public Company Limited



Pearson Education Indochina Limited



The OGA Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

▷ การเปรียบเทียบเทคนิคลายน้ำดิจิทัล 3 แบบ  
สำหรับรูปภาพที่มีการบิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ  
Comparative Study of Three Digital Watermarking  
Techniques for Images with Perspective Distortion



วิยดา ยะไวย  
บทพร โยติกการ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพมหานคร, 10520, ประเทศไทย  
Email: wiyodayw@hotmail.com kcnapper@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบเทคนิคฉายนำดิจิทัล 3 แบบสำหรับรูปภาพที่มีการบิดเบือน  
แบบทอสมเพคทีฟ  
(Comparative Study of Three Digital Watermarking Techniques for  
Images with Perspective Distortion)

วิศา ะไวทย์

Email: wiyadayw@hotmail.com

นพพร ไชติก่อสาร

Email: kcnoppor@kmitl.ac.th

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร, 10520, ประเทศไทย

บทคัดย่อ

Abstract

บทความนี้ นำเสนอผลการศึกษารเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจหาฉายนำจากภาพที่บิดเบือนแบบทอสมเพคทีฟโดยใช้ทั้งหมด 3 วิธี ซึ่งใช้คุณสมบัติของอัตราส่วนของคอลลินิวรัลพอยน์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความคงที่ต่อภาพแบบทอสมเพคทีฟ โดยใช้การคำนวณหาได้จากทางด้านหน้าจุดศูนย์กลางของภาพฉายนำดิจิทัล และใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นตัดและค่าครอสเรโซที่ได้อ่านค่าเพื่อหาตำแหน่งที่ซ่อน ซึ่งจากความแตกต่างของวิธีการที่ใช้เปรียบเทียบทั้ง 3 วิธีนี้ จะทำให้อ่านว่าตำแหน่งที่ใส่ฉายนำดิจิทัลนั้นมีผลอย่างไร โดยอธิบายรายละเอียดของแต่ละวิธีที่ใส่ซ่อนฉายนำดิจิทัลไว้ด้วยพร้อมทั้งแสดงผลการตรวจสอบจากทั้ง 3 วิธีพร้อมทั้งวิเคราะห์ นำเสนอวิธีการหาตำแหน่งการซ่อนฉายนำดิจิทัลที่เหมาะสม

This paper considers the performance of three perspective-invariant digital watermark techniques. All three methods are based on the invariance property of the cross ratio of four collinear points. Based on four image corners, watermark embedding points can be estimated using line intersections and cross-ratio relationship. The difference between the three methods lies in how secondary watermark embedding locations is obtained. Detail of each of the three watermarking methods is described. Comparative performance of these three methods is reported in terms of detection accuracy. The reason for their performance difference has been analyzed and included here. Suggestion on a suitable method for estimating watermark embedding locations is provided.

Key Words: Digital watermarking, Perspective distortion, Cross ratio, Collinear points, Perspective projection

1. คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนช่วยในการ ตรวจสอบหาฉายนำดิจิทัลได้หลายวิธี นอกจากการใช้สแกนเนอร์ในการสแกนรูปภาพที่มีฉายนำดิจิทัลแล้ว กล้องดิจิทัลก็

คำสำคัญ: ฉายนำดิจิทัล, การบิดเบือนแบบทอสมเพคทีฟ, ครอสเรโซ, คอลลินิวรัลพอยน์, ทอสมเพคทีฟ, โปรเจกชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการนำรูปภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดจากรูปภาพ แต่เนื่องจากว่า รูปภาพที่ได้รับกรถ่ายนั้นมี การบิดเบือน แคลคูลัสจากการบิดเบือนแบบที่เกิดจากการ สแกน เพราะภาพที่มีบิดเบือนจากการสแกนนั้น มีการ บิดเบือนในลักษณะ 2 มิติเท่านั้น แต่ภาพที่นำเข้าสู่เครื่อง คอมพิวเตอร์โดยการถ่ายภาพนั้น มีการบิดเบือนจาก 3 มิติ เป็น 2 มิติ หรือเป็นการบิดเบือนแบบทอพอลยีที่ ซึ่ง ปัญหาของการบิดเบือนแบบนี้คือผู้ต้องมีการแปลงรูปภาพ ที่บิดเบือนนั้นกลับคืนก่อนเพื่อให้สามารถนำมาตรวจสอบ หาข้อผิดพลาดที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพนั้นได้ ซึ่งทำให้มี ขั้นตอนยุ่งยากต่อการตรวจสอบหาข้อผิดพลาด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาเทคนิควิธีการสร้างตัวนำ คณิตศาสตร์ในอยู่ในรูปแบบที่มีความทนทานไม่เปลี่ยนแปลง ต่อการบิดเบือนค่า ๆ (Invariant Transform) หลายวิธี ซึ่งจะกล่าวถึง ดังนี้

O Ruanaidh และ Pun [5] ได้ใช้คุณสมบัติของ Discrete Fourier Transform มาประยุกต์ใช้ เพื่อป้องกัน ปัญหาที่เกิดจากการหมุนและการปรับขนาดภาพ โดยใช้ วิธี Fourier-Mellin Transform(DFT) เข้ามาช่วยในการ เก็บข้อมูลรูปภาพ

Lin [2] ได้พัฒนาวิธีการที่มีการใช้ Log-polar coordinate of Fourier transform โดยเก็บเป็นแบบ 1 มิติแบบ 2 มิติ เพื่อจุดประสงค์ให้มีความทนทานไม่ เปลี่ยนแปลงต่อการเคลื่อนที่ การหมุน และการปรับขนาด ของภาพ

ซึ่งทั้งสองวิธีมีข้อดี คือมีความทนทานต่อการหมุน การ ปรับขนาด และการเคลื่อนที่ แต่ข้อเสีย คือ การบรรจุข้อมูล ข้อผิดพลาดจะบรรจุในค่าขนาด ซึ่งต้องผ่านการคำนวณ ด้วย Logarithm function ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการ กำหนดจุดทศนิยม ซึ่งนอกจากการคำนวณอาจทำให้การ ถอดข้อมูลจากข้อผิดพลาดมีความผิดพลาดได้

Pereira และ Pun[9] เปรียบ Template Matching ร่วมกับวิธี Invariant Transform เพื่อให้ได้องค์ที่มีความ ทนทานมากขึ้น โดยทำการบรรจุ Template ลงไปเพื่อรวม ในการตรวจสอบภาพว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ โดย การบรรจุ Template โดยการเพิ่ม magnitude ของ ค่าสัมประสิทธิ์ที่เลือกไว้ เพื่อสร้างให้เป็น Local peaks ใน ส่วนของ Template

สำหรับการใช้ Template Matching นี้ข้อดีคือ สามารถแก้ไขข้อบิดเบือนของรูปภาพกลับมาได้ เหมือนเดิมซึ่งถ้าใช้ร่วมกับวิธี Invariant Transform ไม่ เพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น แต่วิธีการนี้ไม่สามารถแก้ไข ปัญหาการเคลื่อนที่ของรูปภาพ และการคัดแปลงภาพ ออกเป็นส่วน ๆ และยังคงอาศัยการคำนวณที่สูงมาก ใน การทำ Template Matching เพราะต้องคำนวณแบบ Exhaustive search นอกจากนี้ยังง่ายต่อการทำแฮค เมื่อเกิดการบิดเบือนค่า ๆ เช่น การปรับขนาดของภาพ ให้ เกิดการ Interpolate ซึ่งทำให้ค่า Local peaks เปลี่ยนไป ได้

R. Caldelli, M. Barni, F. Bartolini และ A. Piva [7] ได้ใช้แปลงภาพเป็น DFT แล้วทำการคำนวณค่า local peak เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ของการเรียงลำดับค่า Cross ratio ที่กำหนดใน secret key เพื่อหาว่าภาพนั้น มี watermark อยู่หรือไม่ ซึ่งมีข้อเสียคือ watermark ถูก ซ่อนได้อย่างจำกัด และต้องใช้เวลาคำนวณสูงมาก

ส่วน Oriol Guiltan Pla, Eugene T. Lin และ Edward J. Delp [6] พัฒนามาจาก [7] โดยใช้ Cross ratio ในรูปของ ทำ Template Matching เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่า Watermark ในภาพนั้นอยู่หรือไม่ ซึ่งต้องแปลงไปอยู่ใน รูปแบบ DFT เช่นเดียวกันแล้วนำมาคำนวณค่า local peak เพื่อหาการเรียงลำดับของค่า Cross ratio ตามค่า secret key ซึ่งต้องใช้การคำนวณที่สูงมาก และเมื่อการ บิดเบือนแบบทอพอลยีที่ ทำให้ค่า local peak ไม่ เจอ จึงไม่สามารถตรวจสอบค่า Cross ratio ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและตรวจสอบฉาย  
น้ำจืดอด ซึ่งสามารถใช้งาน ได้กับรูปภาพที่ผ่านการแปลง  
แบบพหุสเกลที่โฟลด์นำทฤษฎีครอสเรโซมาทคอสบ  
เปรียบเทียบกับการสร้างและตรวจสอบฉายน้ำจืดอดใน  
หลาย ๆ วิธี ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ 3 วิธี ดังจะได้อธิบายต่อไป  
ในตอนที่ 3

**3. ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย**

ในการวิจัยนี้ใช้ทฤษฎี Cross-ratio ซึ่งเป็นทฤษฎี  
พื้นฐานที่มีความคงที่ในเรื่องของ Projective geometry  
ซึ่งสามารถอธิบายได้ต่อไปนี้

กำหนดให้ A, B, C, D เป็นจุด 4 จุดที่อยู่บนเส้นตรง  
เดียวกัน ซึ่งเรียกว่า collinear points (จุดที่อยู่บนเส้นตรง  
เดียวกันตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไปเรียกว่า Collinear points(3))  
แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. Collinear points A, B, C และ D  
(ABCD) = CA/CB : DA/DB (1)

ค่า Cross-ratio นั้นจะไม่แปรผันตามทิศทางของ  
เส้นตรง ABCD แต่จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของ  
ตำแหน่งของจุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันนั่นเอง ทฤษฎีนี้  
เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่ทำให้ค่าที่คงที่ซึ่งสามารถใช้ได้กับการ  
หาจุดศูนย์กลางการฉายภาพ (Central projection) การ  
สเกลเชิงเส้น (Linear scalings) ,การบิด (Skewing) การ  
หมุน (Rotations) และการเลื่อนแปลงตำแหน่ง  
(Translation) [8]

ในการสร้างรูปแบบฉายน้ำจืดอดที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพ  
นั้น ในงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีการซ่อนแบบฉายน้ำจืดอด  
แบบ spread spectrum ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ซ่อนฉายน้ำ  
จืดอด จะถูกกำหนดไว้โดยใช้ทฤษฎี Cross-ratio แบบ  
four collinear points และทฤษฎีการหาจุดตัดกันของเส้น  
ทแยงมุม

**4. เทคนิคการทำฉายน้ำจืดอดสำหรับรูปภาพที่  
ปิดบ่อนแบบพหุสเกลที่ฟ**

สำหรับวิธีการทำฉายน้ำจืดอดโดยใช้เทคนิค Cross-  
ratio แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยได้แก่

**4.1 ขั้นตอนการซ่อนฉายน้ำจืดอด แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้**

**4.1.1 วิธีการซ่อนฉายน้ำจืดอดแบบที่ 1**

ซ่อนฉายน้ำจืดอดตามจุดตัดของเส้นทแยงมุม ซึ่งมี  
ขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. กำหนดค่า Cross-ratio เพื่อใช้ในการหาค่าแห่ง  
ของการซ่อนฉายน้ำจืดอด

2. คำนวณหาจุดศูนย์กลางของภาพที่จะซ่อนฉายน้ำ  
จืดอด โดยใช้การคำนวณหาจุดตัดของเส้นทแยงมุมของ  
เส้นของภาพนั้น[1] โดยใช้สมการดังนี้

$$x_c = x_1 / x_b \tag{2}$$

$$y_c = y_1 / y_b \tag{3}$$

$$a = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_4 & y_4 \end{vmatrix} \quad b = \begin{vmatrix} x_3 & y_3 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix}$$

$$x_1 = \frac{a \cdot x_1 - x_4}{b \cdot x_3 - x_2}$$

$$x_3 = \frac{x_1 - x_4 \cdot y_1 - y_4}{x_3 - x_2 \cdot y_3 - y_2}$$

$$y_1 = \frac{a \cdot y_1 - y_4}{b \cdot y_3 - y_2}$$

$$y_3 = \frac{x_1 - x_2 \cdot y_1 - y_4}{x_3 - x_2 \cdot y_3 - y_2}$$

โดยที่  $D_c$  คือจุดตัดของเส้นทแยงมุม  
 $x_c$  คือจุดศูนย์กลางของภาพแทน X  
 $y_c$  คือจุดศูนย์กลางของภาพแทน Y  
แทนค่า Determinant ของเมตริก

3 คำนวณหาจุดที่จะใช้หาคำนวณค่าแห่งที่จะเป็นเส้น  
ตัดเพื่อนำไปหาค่าแห่งที่จะซ่อนฉายน้ำจืดอด โดยเริ่มที่  
เส้นทแยงมุมด้านซ้ายของภาพดังรูปที่ 2 ใช้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและตรวจสอบขณานัตติจุด ซึ่งสามารถใช้งานได้ด้วยรูปภาพที่ผ่านการแปลงแบบเพอสเพกทีฟไดอนาพทริกหรือเรโซมาทคสอปเปรียบเทียบกับการสร้างและตรวจหาขณานัตติจุดในหลาย ๆ วิธี ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ 3 วิธี ดังจะกล่าวต่อไปในชั้นตอนที่ 3

3. ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยนี้ใช้ทฤษฎี Cross-ratio ซึ่งเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่มีความคงที่ในเรื่องของ Projective geometry ซึ่งสามารถอธิบายได้ต่อไปนี้

กำหนดให้ A, B, C, D เป็นจุด 4 จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า collinear points (จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไปเรียกว่า Collinear points(3))

แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. Collinear points A, B, C และ D  
(ABCD) - CA/CB : DA/DB (1)

ค่า Cross-ratio นั้นจะไม่แปรผันตามทิศทางของเส้นตรง ABCD และจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของตำแหน่งของจุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันนั่นเอง ทฤษฎีนี้เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่ให้ค่าที่คงที่ซึ่งสามารถใช้ได้กับการหาจุดศูนย์กลางการฉายภาพ (Central projection) ค่าสเกลเชิงเส้น (Linear scalings) ,การบิด (Skewing) การหมุน (Rotations) และการเลื่อนแปลตำแหน่ง (Translation) [8]

ในการสร้างรูปแบบขณานัตติจุดที่ซ่อนอยู่ในรูปภาพนั้น ในงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีการซ่อนแบบขณานัตติจุดแบบ spread spectrum ซึ่งค่าแห่งที่ใช้ซ่อนขณานัตติจุด จะถูกกำหนดไว้โดยใช้ทฤษฎี Cross ratio แบบ four collinear points และทฤษฎีการหาจุดตัดกันของเส้นทแยงมุม

4. เทคนิคการทำขณานัตติจุดสำหรับรูปภาพที่บิดเบือนแบบเพอสเพกทีฟ

สำหรับวิธีการทำขณานัตติจุดโดยใช้เทคนิค Cross-ratio แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยได้แก่

4.1 ขั้นตอนการซ่อนขณานัตติจุด แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้

4.1.1 วิธีการซ่อนขณานัตติจุดแบบที่ 1

ซ่อนขณานัตติจุดตามจุดตัดของเส้นทแยงมุม ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. กำหนดค่า Cross-ratio เพื่อใช้ในการหาค่าแห่งของการซ่อนขณานัตติจุด
2. คำนวณหาจุดศูนย์กลางของภาพที่จะซ่อนขณานัตติจุด โดยใช้การคำนวณหาจุดตัดของเส้นทแยงมุมของเส้นของภาพนั้น [1] โดยใช้สมการดังนี้

$$x_c = x_1 / x_b \tag{2}$$

$$y_c = y_1 / y_b \tag{3}$$

$$a = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_4 & y_4 \end{vmatrix} \quad b = \begin{vmatrix} x_3 & y_3 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix}$$

$$x_1 = \frac{a - x_1 - x_4}{b - x_3 - x_2}$$

$$x_3 = \frac{x_1 - x_4 - y_1 - y_2}{x_3 - x_2 - y_3 - y_2}$$

$$y_1 = \frac{a - y_1 - y_4}{b - y_3 - y_2}$$

$$y_3 = \frac{x_1 - x_2 - y_1 - y_4}{x_3 - x_2 - y_3 - y_2}$$

โดยที่  $D_c$  คือจุดตัดของเส้นทแยงมุม

$x_c$  คือจุดศูนย์กลางของภาพบนแกน X

$y_c$  คือจุดศูนย์กลางของภาพบนแกน Y

แทนค่า Determinant ของเมตริก

- 3 คำนวณหาจุดที่จะใช้คำนวณหาตำแหน่งที่จะเป็เง้เง้มักเตือนนำไปหาตำแหน่งที่จะซ่อนขณานัตติจุด โดยเริ่มที่เส้นทแยงมุมด้านซ้ายของภาพดังรูปที่ 2 ใช้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_{LU,j} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \quad (4)$$

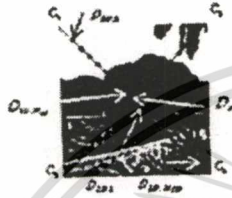
$$y_{LU,j} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \quad (5)$$

$$x_{LD,j} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \quad (6)$$

$$y_{LD,j} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \quad (7)$$

โดยที่  $(x_{LU,i}, y_{LU,i}), i = 1, \dots, M_{LU}$  เป็นคู่ลำดับของจุด  $D_{LU,i}, A = C_1, B = D_{LU,i}, C = D_c$  และ  $D = C_1$

$(x_{LD,i}, y_{LD,i}), i = 1, \dots, M_{LD}$  เป็นคู่ลำดับของจุด  $D_{LD,i}, A = C_1, B = D_{LD,i}, C = D_c$  และ  $D = C_1$



รูปที่ 2. แสดง Collinear points ที่อยู่บนเส้นตรงมุมด้านซ้ายของภาพ

ซึ่ง

$$PD = BA / AD$$

$$BA = (AD * TR) / (1 + TR)$$

$$TR = (AC/CD) / Cr$$

$D_c =$  จุดศูนย์กลางของภาพ

$$A = (x_1, y_1)$$

$$B = (x_2, y_2)$$

$$C = (x_3, y_3)$$

$$D = (x_4, y_4)$$

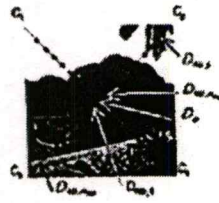
AD = Euclidean distance ระหว่างจุด A และจุด D

AC = Euclidean distance ระหว่างจุด A และจุด C

CD = Euclidean distance ระหว่างจุด C และจุด D

Cr = ค่า Cross-ratio

4. คำนวณหาจุดที่จะใช้กำหนดตำแหน่งที่จะเป็นเส้นตัดเพื่อนำไปหาตำแหน่งที่จะซ้อนลายน้ำดิจิทัลลงในเส้นตรงมุมด้านขวา ( $D_{RU,i}$  และ  $D_{RD,i}$ ) ดังรูปที่ 3 โดยใช้สมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 3. แสดง Collinear points ที่อยู่บนเส้นตรงมุมด้านขวาของภาพ

$$x_{RU,j} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \quad (8)$$

$$y_{RU,j} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \quad (9)$$

$$x_{RD,j} = x_1 + PD * (x_4 - x_1) \quad (10)$$

$$y_{RD,j} = y_1 + PD * (y_4 - y_1) \quad (11)$$

โดยที่  $(x_{RU,i}, y_{RU,i}), i = 1, \dots, M_{RU}$  เป็นคู่ลำดับของจุด  $D_{RU,i}, A = C_2, B = D_{RU,i}, C = D_c$  และ  $D = C_1$

$(x_{RD,i}, y_{RD,i}), i = 1, \dots, M_{RD}$  เป็นคู่ลำดับของจุด  $D_{RD,i}, A = C_2, B = D_{RD,i}, C = D_c$  และ  $D = C_1$

5. ส่วนที่เหลือจะเห็น  $D_{LU,i}$  และ  $C_1$  และเห็น  $D_{RD,i}$

และ  $C_1$  เราสามารถคำนวณหาจุดที่จะใช้ซ้อนลายน้ำดิจิทัลได้จากจุดตัดของเส้นทั้งสองเป็นจุด  $E_{VL,j,k}$

$(x_{VL,j,k}, y_{VL,j,k})$  (ดังรูปที่ 4) โดยใช้สมการดังนี้

$$x_{VL,j,k} = x_1 / x_0 \quad (12)$$

$$y_{VL,j,k} = y_1 / y_0 \quad (13)$$

$$a = \begin{vmatrix} x_{C,1} & y_{C,1} \\ x_{RD,k} & y_{RD,k} \end{vmatrix} \quad b = \begin{vmatrix} x_{C,3} & y_{C,3} \\ x_{LU,j} & y_{LU,j} \end{vmatrix}$$

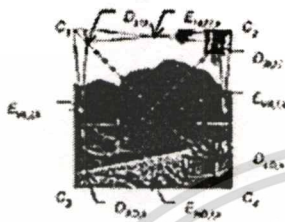
$$x_i = \frac{a \cdot x_{C,1} - x_{RD,k}}{b \cdot x_{C,3} - x_{LU,j}}$$

$$y_i = \frac{a \cdot y_{C,1} - y_{RD,k}}{b \cdot y_{C,3} - y_{LU,j}}$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} a & y_{C,1} - y_{RD,1} \\ b & y_{C,3} - y_{LU,3} \end{bmatrix}$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} x_{C,1} - x_{RD,1} & y_{C,1} - y_{RD,1} \\ x_{C,3} - x_{LU,3} & y_{C,3} - y_{LU,3} \end{bmatrix}$$

โดยที่  $x_{VL,i,k}$  เป็นจุดบนแกน x ของจุดตัด  $E_{VL,i,k}$  และ  $y_{VL,i,k}$  เป็นจุดบนแกน y ของจุดตัดเดียวกัน และ  $||$  แทน determinant ของเมทริกซ์



รูปที่ 4. แสดงตัวอย่างตำแหน่งของจุดตัดของเส้นตรงแต่ละคู่ที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล

6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรง  $D_{RU,i}$ ,  $C_4$  และ  $D_{LD,i}$ ,  $C_2$  เพื่อให้ได้จุดซ่อนลายน้ำดิจิทัล

$E_{VR,i,k} = (x_{VR,i,k}, y_{VR,i,k})$  คัดมาจากจุดตัดของเส้นตรง  $C_3$ ,  $D_{LU,i}$  และ  $C_1$ ,  $D_{RU,i}$  เพื่อให้ได้จุดซ่อน

ลายน้ำดิจิทัล  $E_{HU,i,k} = (x_{HU,i,k}, y_{HU,i,k})$  และหาจุดตัดของเส้นตรง  $C_3$ ,  $D_{LD,i}$  และ  $C_4$ ,  $D_{RD,i}$  เพื่อให้ได้

จุดซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{HD,i,k} = (x_{HD,i,k}, y_{HD,i,k})$

ตามลำดับ

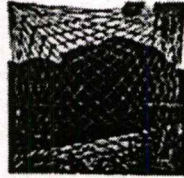
7. ซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบ Spread Spectrum[4]โดย

ใช้สมการดังนี้

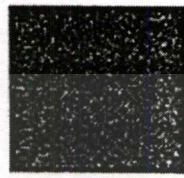
$$I_s(x_m^k, y_n^k) = I(x_m^k, y_n^k) + \alpha w_k \quad (14)$$

โดยที่  $x_m^k = x_k + m$ ,  $m = -P, \dots, P$ ,  $y_n^k = y_k + n$ ,  $n = -Q, \dots, Q$ ,  $\alpha$  = ความเข้มของลายน้ำดิจิทัล,  $E_k = (x_k, y_k)$ ,  $k = 1, \dots, M$ , แต่ละจุดที่

ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัลแทนด้วย  $w_k$ ,  $w_k \in \{1, -1\}$  และ  $k = 1, \dots, M$



รูปที่ 5. แสดงตัวอย่างของการใช้จุดตัดของเส้นตรงต่างๆที่ใช้ซ่อนลายน้ำดิจิทัล



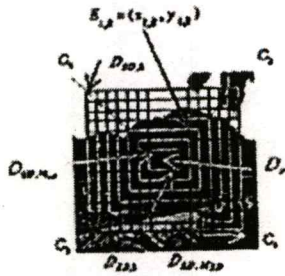
รูปที่ 6. แสดงจุดที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัล

4.1.2 วิธีการซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบที่ 2 เป็นกรซ่อนลายน้ำดิจิทัลตามเส้นตรงทั้งแนวนอนและแนวตั้งที่คำนวณหาได้จากจุดที่เกิดจากการคำนวณจากเส้นตรงมุมทั้งสองเส้นของจุดมุมทั้งสี่ของภาพ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. มีการทำงานเหมือนกับวิธีที่ 1 ในขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 ดังรูปที่ 3-4
2. หาจุดตัดของเส้นตรง  $D_{LU,i}$  คัดกับ  $D_{RU,i}$  เส้นตรง  $D_{RU,i}$  และ  $D_{LD,i}$
3. หาจุดตัดของเส้นตรง  $D_{LU,i}$  คัดกับ  $D_{RU,i}$  เส้นตรง  $D_{LU,i}$  และ  $D_{RD,i}$
4. หาจุดตัดของเส้นตรง  $D_{RD,i}$  คัดกับ  $D_{LD,i}$  เส้นตรง  $D_{RU,i}$  และ  $D_{LD,i}$
5. หาจุดตัดของเส้นตรง  $D_{RD,i}$  คัดกับ  $D_{LD,i}$  เส้นตรง  $D_{LU,i}$  และ  $D_{RD,i}$
6. ซ่อนลายน้ำดิจิทัล  $E_{i,k} = (x_{i,k}, y_{i,k})$  ที่จุดตัดทุกๆ ที่และจุดบนเส้นทแยงมุมของภาพ ได้จากขั้นตอนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

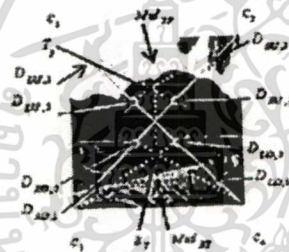
1-6 หังรูปที่ 7



รูปที่ 7. แสดงตัวอย่างจุดตัดที่ใช้ซ่อนลายน้ำในวิธีที่ 2

4.1.3 วิธีการซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบที่ 3 เป็นการซ่อนลายน้ำดิจิทัลตามเส้นตรงทั้งแนวนอนและแนวตั้งที่คำนวณหาได้จากจุดที่เกิดจากการคำนวณจากเส้นทแยงมุมทั้งสองเส้นของจุดบ่งชี้สี่ของภาพ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. มีการทำงานเหมือนกับวิธีที่ 1 ในขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 แต่ว่าแต่ละเส้นของเส้นทแยงมุมหลักจะแบ่งได้เส้นละ 4 จุด ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8. แสดงตัวอย่างตำแหน่งจุดตัดที่ซ่อนเส้นตรงทั้งกลางตามแนวนอนทั้งด้านบน (Mid<sub>TP</sub>) และด้านล่าง (Mid<sub>BT</sub>)

2. หาจุดตัดของเส้นตรง C<sub>1</sub>, D<sub>RU,2</sub> และ C<sub>2</sub>, D<sub>LU,2</sub> เพื่อจะได้จุดตัด ซึ่งใช้เป็นจุดกึ่งกลาง T<sub>P</sub> ตามแนวตั้งของภาพ
3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 หาจุดตัดของเส้นตรง C<sub>2</sub>, D<sub>LD,2</sub> และ C<sub>3</sub>, D<sub>RD,2</sub> ได้จุด B<sub>T</sub> หาจุดตัดของ

เส้นตรง C<sub>1</sub>, D<sub>RD,2</sub> และ C<sub>3</sub>, D<sub>LU,2</sub> ได้จุด L<sub>T</sub> และหาจุดตัดของเส้นตรง C<sub>2</sub>, D<sub>LD,2</sub> และ C<sub>4</sub>, D<sub>RU,2</sub> ได้จุด R<sub>T</sub>

4. หาจุดตัดของเส้นตรง T<sub>P</sub> และ B<sub>T</sub> ตัดกับเส้นตรง D<sub>LU,1</sub>, D<sub>RU,1</sub> ได้จุด Mid<sub>TP</sub> หาจุดตัดของเส้นตรง T<sub>P</sub> และ B<sub>T</sub> ตัดกับเส้นตรง D<sub>LD,1</sub>, D<sub>RD,1</sub> ได้จุด Mid<sub>BT</sub>

5. หาจุดตัดของเส้นตรง L<sub>T</sub> และ R<sub>T</sub> ตัดกับเส้นตรง D<sub>LU,1</sub>, D<sub>RD,1</sub> ได้จุด Mid<sub>LT</sub> หาจุดตัดของเส้นตรง L<sub>T</sub> และ R<sub>T</sub> ตัดกับเส้นตรง D<sub>RU,1</sub>, D<sub>LD,1</sub> ได้จุด Mid<sub>RT</sub>

6. แบ่งแกนตามแนวนอนและแนวตั้ง โลให้จุดกึ่งกลางที่ได้ช่วยในการหาจุดซ่อน โดยใช้กับค่า Cross Ratio จุดที่ 2 ดังตารางที่ 4 เพื่อหาจุดซ่อนลายน้ำดิจิทัล ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9. แสดงตัวอย่างจุดตัดที่ใช้ซ่อนลายน้ำในวิธีที่ 3

4.2 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล ทุกวิธีที่ได้กล่าวถึงในการนำลายน้ำดิจิทัลมาฝัง เราสามารถหาค่า Correlation Coefficient [4] เพื่อตรวจสอบว่าลายน้ำดิจิทัลได้ฝัง

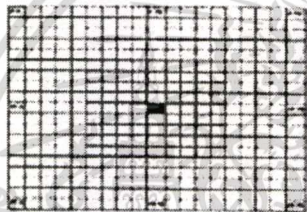
$$Z_{cc}(I_c, w_k) = \frac{(\tilde{I}_c \cdot \tilde{w}_k)}{\sqrt{(\tilde{I}_c \cdot \tilde{I}_c)(\tilde{w}_k \cdot \tilde{w}_k)}} \quad (15)$$

โดยที่  $\tilde{I}_c = I_c - \bar{I}_c$ ,  $\tilde{w}_k = w_k - \bar{w}_k$  และค่า Threshold = 0.06

โดยก่อนที่จะทำการคำนวณโดยใช้สมการที่ 15 และ จุดที่ซ่อนถายน้ำซึ่งเรากำหนดให้มีขนาด 9x9 จุดนั้น เรานำค่าที่จุดกึ่งกลางของแต่ละ block ที่ใช้ซ่อนถายน้ำมาตรวจสอบ และลบด้วยค่าจุดเฉลี่ยรอบจุดที่ซ่อนถายน้ำ ดังสมการที่ 16

$$I'_c = (I_c(1,1) + I_c(1,10) + I_c(1,19) + I_c(10,19) + I_c(19,19) + I_c(19,10) + I_c(19,1) + I_c(10,1)) / 8 \quad (16)$$

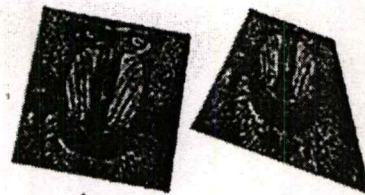
โดยที่รูปที่ 10 แสดงบิตที่ใช้ตรวจสอบหลายน้ำ(จุดกึ่งกลางภาพ) ส่วนบิตที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำ(8 จุดตามคู่ค่าดับบริเวณขอบของภาพ) และพื้นที่สีส้มแสดงขนาดของถายน้ำที่ใช้ในการซ่อนถายน้ำขนาด 9x9 จุดต่อรูปแบบถายน้ำ 1 บิต ทั้งนี้เพื่อทำให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือ หรือมีค่า Correlation coefficient ที่มากขึ้น ซึ่งเหมือนกับการนำภาพที่มีถายน้ำมาลบกับภาพต้นฉบับนั่นเอง



รูปที่ 10. แสดงบิตที่ใช้ตรวจสอบหลายน้ำ(จุดกึ่งกลางภาพ) และบิตที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อช่วยในการตรวจสอบหลายน้ำ(8 จุดตามคู่ค่าดับบริเวณขอบของภาพ)

5. ผลการทดลอง

ในการทดลอง ใช้ภาพแบบ grayscale ขนาด 512 x 512 จุด จำนวน 10 ภาพ โดยแต่ละภาพทำการทดลองโดยใช้ถายน้ำดิจิทัลที่เลือกต่างกันทั้งหมด 20 แบบ ซึ่งแต่ละแบบมีความยาว 2,000 บิต ขนาดของถายน้ำดิจิทัล 9 x 9 บิตต่อถายน้ำดิจิทัล 1 บิต โดยค่า Cross-ratio ในวิธีที่ 1 ใช้ 46 ค่า ส่วนในวิธีที่ 2 ใช้ 45 ค่า และในวิธีที่ 3 ใช้ค่า Cross ratio 2 จุด คือ 4 และ 43 ค่า สำหรับตัวอย่างผลการซ่อนถายน้ำดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11.1

รูปที่ 11.2

รูปที่ 11. แสดงภาพถายน้ำดิจิทัลที่ถูกบิตเบี่ยงเบนแบบเพรสเพกทีฟ โดยรูปที่ 11.1 ภาพถูกบิดเบือนในมุม 10 องศา และรูปที่ 11.2 แสดงภาพที่ถูกบิดเบือนในมุม 60 องศา ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนภาพถายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อภาพบิดเบือนแบบเพรสเพกทีฟเมื่อทำการทดลองทั้ง 3 วิธี

(CC=Correlation coefficient)

รูปภาพ(บิต)	วิธี 1	วิธี 2	วิธี 3
Baboon	119	101	53
Camera	116	99	57
Demi	120	107	73
Lena	120	111	72
Pepper	92	75	28
Relief	113	85	30
Hongkong	120	114	101
Dragon	115	99	49
Kopipi	97	100	47
House	106	82	32
รวม(1200)	1118	973	542
ค่าเฉลี่ย CC	0.1045	0.0893	0.0579

ตารางที่ 2. แสดงจำนวนภาพถายน้ำดิจิทัลที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบแต่ละมุมของภาพที่บิดเบือนแบบเพรสเพกทีฟ ในวิธีที่ 1

(CC=Correlation Coefficient)

รูปภาพ (บิต)	องศา					
	10	20	30	40	50	60
Baboon	20	20	19	20	20	20
Camera	20	20	19	20	18	19
Demi	20	20	20	20	20	20
Lena	20	20	20	20	20	20
Pepper	16	16	17	15	15	13
Relief	19	19	18	19	20	18
Hongkong	20	20	20	20	20	20
Dragon	20	20	18	19	19	19
Kopipi	17	17	16	15	17	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ (tif)	องศา					
	10	20	30	40	50	60
House	18	18	19	18	17	16
รวม (200)	190	190	186	186	186	180
ค่าเฉลี่ย CC	0.1 067	0.1 080	0.1 080	0.1 052	0.1 021	0.0 970

ตารางที่ 3. แสดงจำนวนภาพหลายน้ำคิจุดที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่มีคเน็อนแบบพอสเทคทีฟในวิธีที่ 2 (CC=Correlation Coefficient)

รูปภาพ (tif)	องศา					
	10	20	30	40	50	60
Baboon	18	17	18	18	17	13
Camera	17	18	19	17	15	13
Demi	19	18	18	18	17	17
Lena	19	19	19	19	18	17
Pepper	14	14	14	14	12	7
Relief	14	15	17	17	15	7
Hongko ng	19	19	19	19	19	19
Dragon	16	17	18	16	17	15
Kopipi	17	17	18	17	17	14
House	15	13	16	14	14	10
รวม (200)	168	167	176	169	161	132
ค่าเฉลี่ย CC	0.0 939	0.0 925	0.0 939	0.0 930	0.0 865	0.0 747

ตารางที่ 4. แสดงจำนวนภาพหลายน้ำคิจุดที่ถูกตรวจพบเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละมุมของภาพที่มีคเน็อนแบบพอสเทคทีฟในวิธีที่ 3 (CC=Correlation Coefficient)

รูปภาพ (tif)	องศา					
	10	20	30	40	50	60
Baboon	10	13	14	8	7	1
Camera	14	13	14	10	6	0
Demi	16	17	16	10	9	5
Lena	14	17	15	13	9	4
Pepper	6	6	7	4	3	2
Relief	8	8	9	4	0	1
Hongko ng	18	19	18	18	18	10
Dragon	12	13	10	7	7	0

รูปภาพ	องศา					
	10	20	30	40	50	60
Kopipi	12	13	13	5	4	60
House	7	6	9	5	5	0
รวม (200)	117	125	125	84	68	23
ค่าเฉลี่ย CC	0.0 641	0.0 711	0.0 671	0.0 584	0.0 528	0.0 341

6. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสร้างภาพน้ำคิจุดและการตรวจหาหลายน้ำคิจุดสำหรับภาพบิตเน็อนแบบพอสเทคทีฟ โดยการนำทฤษฎี Cross ratio แบบ Collinear points มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างกััน 3 วิธี ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่า วิธีที่ 1 สามารถตรวจพบภาพหลายน้ำคิจุดเน็อนแบบพอสเทคทีฟได้ด้ว 2 วิธีแรก ทั้งนี้เพราะว่า ในวิธีที่ 1 นั้น จุดที่อง (Secondary Embedding points) ที่ใช้ซ่อนลายในเน็องการใช้จุดที่เกิดจากจุดหลัก (Primary Embedding points) บนเส้นทแยงมุมกับจุดรวมของภาพ คัดกัน 2 เส้น เมื่อนำจุดที่ได้มาคำนวณจากค่า Cross ratio ที่กำหนดไว้

ส่วนวิธีที่ 2 เป็นการคำนวณหาจากจุดหลัก (Primary Embed points) ของรูปภาพ เพื่อใช้เป็นเส้นตัดกับเส้นอื่นที่กิดจากจุดหลัก (Primary Embedding points) เช่นเดียวกัน จุดที่ได้ (Secondary Embedding points) จะเป็นจุดที่ใช้ซ่อนลายนี้ ดังนั้นการซ่อนลายในวิธีนี้ จะระจอกันอย่างสม่้านเสมอกว่าวิธีแรก แต่เมื่อใช้ภาพบิตเน็อนของภาพ ห่วงจุดหลัก (Primary Embedding points) มีค่าผิดพลาด เมื่อดัดกับจุดหลัก (Primary Embedding points) ที่ผิดพลาดจุดอื่น ก็จะจึงทำให้มีความผิดพลาดในการตรวจหาหลายน้ำคิจุดครั้งขึ้น

ส่วนวิธีที่ 3 นั้น แม้จะเป็นการซ่อนลายน้ำคิจุดด้วยระจอกอย่างสม่้านเสมอเช่นเดียวกับวิธีที่ 2 แต่วิธีนี้ใช้คำนวณจากการใช้จุด (Secondary Embedding points) ที่สามารถจุดรวมของภาพมาตัดกับเส้นตรงที่กิดจากจุดบนเส้นทแยงมุม (Secondary Embedding points) ทั้งสองเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้ร่วมในการหาจุดที่สาม แล้วนำจุดที่สามที่ได้ในแค  
 ณะแนวคือ แนวบนและแนวคี่มาหาจุดที่สี่ ซึ่งเป็นจุดที่  
 ใช้ซ่อนลายน้ำให้กระจายเท่า ๆ ทั้งแนวบนและแนวคี่  
 คนแทนที่จำนวนได้ ดังกล่าวจะมีการคำนวณหาในหลาย  
 ระดับ ถ้าระดับ Primary และ Secondary มีค่าผิดพลาด  
 จุดที่ใช้ฝังลายน้ำจะยิ่งผิดพลาดมากขึ้นไปด้วย จึงทำให้  
 ตรวจสอบลายน้ำได้ไม่หาย ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้จะเป็น  
 แนวทางในการเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด  
 สำหรับสำหรับรูปภาพลายน้ำที่มีลักษณะบนทอสเกลทิฟ  
 ในอนาคตต่อไป

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Antonio, F. "Faster Line Segment Intersection, Graphics Gems III, Ch. 1V.6, Academic Press, 1999, pp. 199-202 and 500-501.
- [2] C. Y. Lin, J. A. Bloom, I. J. Cox, M. L. Miller, and Y. M. Lui, "Rotation-scale, and Translation-resistant public watermarking of images," Proc. of SPIE, 2000, pp. 90-98.
- [3] Coxeter, H. S. M. and Greitzer, S. L. "Collinearity and Concurrence." Geometry Revisited, Ch. 3, Math. Assoc. Amer, 1967, pp. 51-79.
- [4] J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [5] J. J. K. Ó Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking," Signal Process, vol. 66, no. 3, May 1998, pp. 303-317.
- [6] O. Guizar Pás, E. T. Lía, and E. J. Delp. "A Wavelet Watermarking Algorithm Based on a Tree Structure," Proc. of the SPIE International Conference on Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI, vol. 5306, San Jose, CA, 2004, pp. 571-580.
- [7] R. Caldelli, M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Geometric-invariant robust watermarking through constellation matching in the frequency domain," Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing, vol. 2, 2000, pp. 65-68.
- [8] R. Mohr and L. Morin, "Relative Positioning from Geometric Invariants," Proc. of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1991, pp. 139-144.
- [9] S. Pereira and T. Pun, "Fast robust template matching for affine resistant image watermarking," in International Workshop on Information Hiding, Ser. Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Germany: Springer-Verlag, Sept. 29-Oct. 1, 1999, vol. LNCS 1768, pp. 200-210.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววิดา ยะไวทย์
วัน เดือน ปีเกิด	14 พฤษภาคม 2513
ที่อยู่	602/28 หมู่บ้าน โสมการ์เด็นวิล ซอย 9 ถ.รัตนพิธาน ต.จอหอ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30310 โทร 0-4437-1368
ประวัติการศึกษา	2534-คอมพิวเตอร์ วิทยาลัยครูนครราชสีมา 2536-คอมพิวเตอร์ศึกษา วิทยาลัยครูมหาสารคาม
ปัจจุบัน	ทำงานที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้