

รายงานโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2547

เรื่อง

การวิจัยวิธีการปรับมุมเอียงและมุมเงยของภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลเพื่อการ

ตรวจจับลายน้ำดิจิทัล

A Study of Digital-Camera Image Perspective Correction Methods for
Digital Watermark Detection

โดย

รศ. ดร. นพพร โชติกกำธร

นายณัฐพล พันธุ์วงศ์

นางสาววิดา ยะไวทย์

RCH

TS

1115

61765

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 64380

วัน,เดือน,ปี..... 11 ก.ย. 2549

b. 11648090
i.

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การตรวจจับลายน้ำดิจิทัลในรูปภาพที่ผ่านการบิดเบือนทางเรขาคณิตมีอุปสรรคอันเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำในขณะที่ทำการตรวจจับให้สอดคล้องตรงกันกับตำแหน่งที่ซ่อนจริงได้สืบเนื่องจากปัญหาดังกล่าว ได้มีการพัฒนาวิธีการฝังและตรวจจับลายน้ำดิจิทัลที่สามารถทนทานต่อรูปแบบการบิดเบือนภาพเชิงเรขาคณิตที่เกิดจากการแปลงเชิงสัมพรรค (Affine Transform) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการแปลงเชิงสัมพรรคเป็นเพียงรูปแบบเฉพาะของการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต เมื่อเปรียบเทียบกับ การแปลงเชิงภาพฉาย (Projective Transform) ทำให้วิธีการเหล่านั้นไม่สามารถใช้งานได้ ในกรณีที่มีการบิดเบือนภาพเชิงภาพฉายซึ่งในทางปฏิบัติเกิดขึ้นได้ เช่น ในกรณีของการถ่ายรูป ในโครงการวิจัยนี้ ได้มีการพัฒนาเทคนิคลายน้ำดิจิทัลขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ ในกรณีที่ภาพมีการบิดเบือนเชิงเรขาคณิตแบบภาพฉาย โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นอาศัยหลักการของคุณสมบัติความไม่แปรผันของอัตราส่วนระยะทางของจุดสี่จุดบนเส้นตรงเดียวกัน โดยอาศัยจุดสี่จุดที่อยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งสามารถหาได้จาก การตรวจจับคุณลักษณะสำคัญที่อยู่ในรูปภาพ ทำให้สามารถสร้างจุด 3 จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันได้จำนวน 2 ชุด จากแต่ละชุดของจุด 3 จุดดังกล่าว แต่ละจุดที่ใช้ซ่อนลายน้ำบนเส้นตรงแต่ละเส้นสามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะทางระหว่างจุดดังกล่าวกับจุดที่เหลือ 3 จุดข้างต้น นอกจากนี้ในการวิจัย ได้นำเสนอวิธีการในการเพิ่มจำนวนจุดที่ใช้ในการซ่อนข้อมูลเพิ่มเติมจากจุดบนแนวเส้นตรงที่หาได้โดยวิธีการดังกล่าว ทำให้สามารถใช้พื้นที่ของรูปภาพในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีการแก้ไขปัญหาคัดเบือนของภาพโดยใช้การแปลงย้อนกลับ โดยพิจารณาในประเด็นของระดับความซับซ้อนในการประมวลผล ในส่วนของการทดลองในงานวิจัยได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล เมื่อรูปภาพที่ต้องการตรวจสอบได้ผ่านการบิดเบือนแบบต่าง ๆ มาก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ได้มีการศึกษาผลกระทบอันเนื่องจากการพิมพ์ภาพที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัลออกมาเป็นรูปภาพ จากนั้นจึงทำการแปลงรูปดังกล่าวกลับเป็นภาพดิจิทัลโดยอาศัยการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล จากการทดลองพบว่า วิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการซ่อนและตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้ แม้รูปหาดังกล่าวจะผ่านกระบวนการบิดเบือนแบบภาพฉายและอื่น ๆ อันเป็นผลมาจากกระบวนการพิมพ์และการถ่ายภาพ

ABSTRACT

Detection of a digital watermark in images distorted by geometric transforms is made difficult by the so-called synchronization problem. Many watermarking methods have been developed to be robust against an affine transform. Based on such assumption, those methods fail under a more general projective transform. A projective type of distortion is found, for example, when an image is acquired through picture photographing. In this research project, a digital image watermarking method was developed so that it is invariant to planar project transform. The method is based on a projective invariance property of the cross-ratio of four collinear points. Based on four coplanar points as obtained by extracting feature points from the host image, two sets of three collinear points are obtained. From each set of three collinear points, each watermark embedding location can be obtained through its cross-ratio relationship with those aforementioned three collinear points. A method to increase the number of embedding points in addition to those primarily derived from these sets of collinear points is also proposed. A comparison in terms of computational requirement between the proposed method with a direct inverse transformation approach was also investigated. The proposed method was experimented with different types of image distortion. In particular, experiments with a printed watermarked picture was re-digitized by shooting a picture with a digital camera, were carried out. It was found from those experiments that the proposed method was capable for watermark detection under a projective transformation and other distortions appeared in the printing and digital photographing processes.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากเงินรายได้ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และกึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
บทที่	
1. ที่มาของปัญหาและวัตถุประสงค์	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
2. ไลยน้ำดิจิตอลและบิดเบือนภาพเชิงเรขาคณิต	4
2.1 การแปลงภาพเชิงเรขาคณิต.....	4
2.2 เทคนิคไลยน้ำดิจิตอลสำหรับภาพที่มีการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต.....	6
3. เทคนิคไลยน้ำดิจิตอลสำหรับภาพที่ผ่านการแปลงเชิงฉายภาพ	9
3.1 หลักการเบื้องต้น.....	9
3.2 เทคนิคไลยน้ำดิจิตอลโดยใช้การคำนวณตำแหน่งที่ฝังจากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนไขว้.....	10
3.3 การชดเชยการคำนวณตำแหน่งที่ฝังผิดพลาด	13
3.4 การฝังไลยน้ำดิจิตอลโดยการใช้จุดที่มีลักษณะสำคัญของรูปภาพ	14
4. ผลการทดลอง.....	17
4.1 การทดลองตรวจสอบรูปภาพดิจิตอล.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองตรวจสอบรูปภาพที่ผ่านการพิมพ์.....	19
5. สรุปผลการวิจัย.....	23
เอกสารอ้างอิง.....	24
ภาคผนวก.....	25



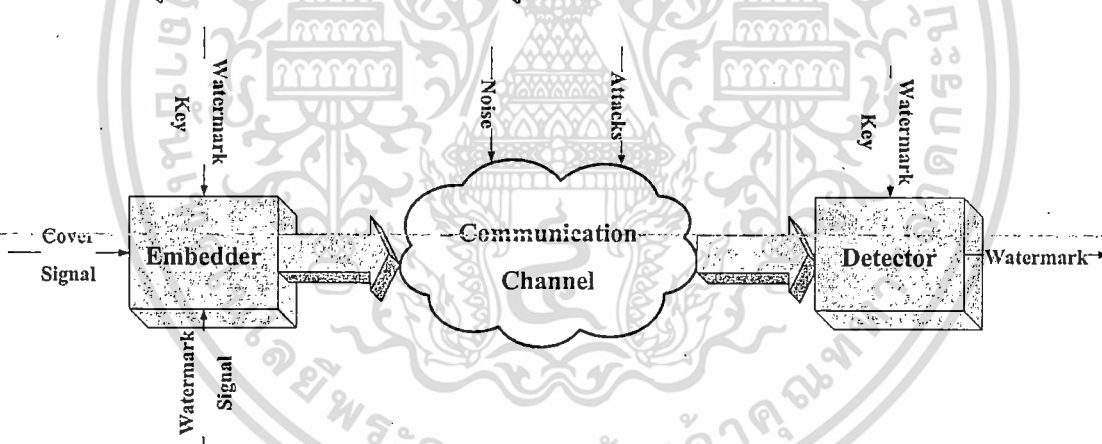
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ที่มาของปัญหาและวัตถุประสงค์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ สื่อประสม และระบบเครือข่าย มีการพัฒนาขึ้นและมีผู้ใช้งานเป็นอย่างมากจึงส่งผลให้ข้อมูลต่าง ๆ ถูกเข้าถึงและนำไปใช้ได้ง่ายและรวดเร็ว เพิ่มข้อมูลรูปภาพในรูปแบบดิจิทัลเป็นข้อมูลหนึ่งที่ถูกเข้าถึงและบางครั้งถูกแอบอ้างนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต เทคนิคการสร้างลายน้ำดิจิทัลสำหรับสื่อประเภทรูปภาพจึงถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อที่จะทำการฝังข้อมูลลิขสิทธิ์ (Copyright) ของเพิ่มข้อมูลรูปภาพนั้นลงไป นอกจากนี้ ในปัจจุบันเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับสื่อประเภทรูปภาพได้ถูกพัฒนาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกมากมายเช่น การเพิ่มข้อมูลประกอบเกี่ยวกับรูปภาพ (Data annotation) หรือการฝังข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่ารูปภาพนั้น ได้ถูกตัดแปลงมาก่อนหรือไม่ (Authentication) โดยระบบของการสื่อสารด้วยข้อมูลลายน้ำดิจิทัลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการสื่อสารผ่านการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิทัล

ระบบการสื่อสารด้วยข้อมูลลายน้ำดิจิทัลประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนฝังข้อมูล (Embedder) ซึ่งเป็นส่วนในการฝังข้อมูลเข้าไปในรูปภาพที่ต้องการจะใช้ในการสื่อสาร โดยที่ข้อมูลเข้าของส่วนนี้คือเพิ่มข้อมูลรูปภาพที่ต้องการจะฝังลายน้ำดิจิทัล (Cover Signal) และข้อมูลลายน้ำดิจิทัล (Watermark Signal) สำหรับรหัสลับ (Watermark Key) เพื่อสร้างความปลอดภัยในการเข้าถึงลายน้ำดิจิทัล ซึ่งจะมีหรือไม่มีขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ เมื่อได้รูปภาพที่ผ่านการฝังข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำไปใช้ในการสื่อสารได้ตามปกติ ซึ่งในระหว่างการสื่อสารอาจจะมีสัญญาณรบกวน (Noise) หรือการบิดเบือนรูปภาพในรูปแบบต่าง ๆ (Attack) เกิดขึ้นทำให้ข้อมูลรูปภาพและข้อมูลลายน้ำดิจิทัลเสียหายได้ ซึ่งรูปภาพที่ผ่านการฝังข้อมูลลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิทัลจะต้องมีความทนทานต่อสิ่งเหล่านี้ ส่วนสำคัญส่วนที่สองคือส่วนตรวจจับข้อมูลลายน้ำดิจิทัล (Detector) ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจจับและถอดข้อมูลลายน้ำดิจิทัลออกมาจากรูปภาพนั้น ๆ โดยที่หากมีการเข้ารหัสข้อมูลไว้ ก็จะต้องมีกระบวนการในการถอดรหัสด้วยโดยใช้รหัสลับ (Watermark Key) ที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลมาใช้ในการถอดรหัส ซึ่งเมื่อผ่านการถอดรหัสและการถอดข้อมูลแล้วก็จะได้ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลตามที่ได้บรรจุลงไป

การฝังลายน้ำดิจิทัลนั้นควรจะมีคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ดังนี้ [1]

- ความทนทาน (Robustness) ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลควรจะคงอยู่ในรูปภาพนั้น ๆ ไม่ว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับรูปภาพนั้นก็ตาม เช่นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของรูปภาพ หรือการโจมตีจากผู้ที่ต้องการจะทำลายรูปภาพเหล่านี้

- ความสามารถในการซ่อนข้อมูล (Imperceptibility) นั่นคือรูปภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว และรูปภาพต้นฉบับจะต้องไม่แตกต่างกันหรือ ไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทการรับรู้ของมนุษย์โดยทั่วไปได้โดยง่าย

- ปริมาณข้อมูลที่สามารถบรรจุได้ (Capacity) รูปภาพที่ทำลายน้ำดิจิทัล ควรจะสามารถบรรจุข้อมูลได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลคือ รูปภาพในส่วนของตรวจจับลายน้ำ ถูกบิดเบือนไปจากเดิม ซึ่งมีสาเหตุต่าง ๆ กัน เช่น การบีบอัดข้อมูล การปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการเพิ่ม/ลดความสว่างหรือความเปรียบต่าง ตลอดจนการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต (geometric distortion) ซึ่งมีผลสัดส่วนของสิ่งที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพ อันอาจเกิดจาก กระบวนการลด/เพิ่มขนาดภาพ แบบไม่คงสัดส่วน การแปลงสัมพรรค (affine transform) และการแปลงเชิงภาพฉาย (projective transform) โดยในกรณีหลังอาจเกิดขึ้นได้จากการกระบวนการถ่ายหรือแปลงภาพบนกระดาษกลับเป็นข้อมูลเพื่อการประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้การบิดเบือนรูปภาพอาจเกิดจากการที่มีผู้สนใจจะลบหรือทำลายข้อมูลลายน้ำดิจิทัล สาเหตุอื่น ๆ ที่มีผลทำให้การตรวจจับลายน้ำดิจิทัลมีปัญหาเช่นการตัดแบ่งส่วนภาพ (Crop) ซึ่งทำให้ข้อมูลบางส่วนของภาพหายไป อันอาจจะรวมถึงข้อมูลในส่วนที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วย นอกจากนี้การพิมพ์ภาพ และการแปลงรูปภาพกลับมาอยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ข้อมูลลายน้ำดิจิทัลเสียหายได้ ในอันที่จะสามารถนำลายน้ำดิจิทัลไปใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้าง ปัญหาและอุปสรรคพื้นฐานดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบิดเบือนที่เกิดจากการแปลงเชิงภาพฉาย ซึ่งยังไม่พบว่ามีมีการศึกษาการใช้ลายน้ำดิจิทัลกับกรณีดังกล่าวมาก่อน หากแต่เป็นรูปแบบของการบิดเบือนภาพที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปในทางปฏิบัติ

1.2 วัตถุประสงค์และขั้นตอนการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการสร้างข้อมูลลายน้ำดิจิทัลที่มีความทนทานต่อการบิดเบือนภาพอันเนื่องมาจากการแปลงเชิงภาพฉาย ตลอดจนการบิดเบือนอื่น ๆ อันเป็นผลมาจากกระบวนการพิมพ์และถ่ายภาพ โดยในการวิจัยประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีในการสร้างลายน้ำดิจิทัลที่มีความทนทานต่อการแปลงเชิงภาพฉาย (Projective Transform) และการตัดแบ่งส่วนภาพ โดยใช้ตำแหน่งของจุดมุมภาพ 4 มุม
- 2) ทำการประยุกต์ใช้วิธีการตามข้อ 1) โดยอาศัยลักษณะสำคัญภายในรูปภาพหรือจุดพีเจอร์ (Feature Point) แทนจุดมุมของภาพ
- 3) ทำการพัฒนาวิธีการค้นหาตำแหน่งของจุดพีเจอร์ที่ใช้ในการสร้างพื้นที่สำหรับการฝังลายน้ำดิจิทัล ในส่วนของการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล
- 4) ทำการประเมินผลการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลจากรูปภาพที่ผ่านการกราดภาพ (Scan) และรูปภาพที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตในการศึกษาไว้ดังนี้

1. ในการศึกษา พิจารณาเฉพาะกรณีของรูปภาพระดับสีเทา
2. พิจารณาผลกระทบในการตรวจจับภาพอันเกิดการบิดเบือนภาพที่เป็นผลมาจากกระบวนการถ่าย และพิมพ์ภาพเป็นหลัก
3. การทดลองเพื่อประเมินผลการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลกับรูปภาพที่ผ่านการกราดภาพหรือถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลจะใช้จุดมุมทั้งสี่ของรูปภาพเป็นจุดพีเจอร์ และในการกราดภาพและถ่ายภาพจะต้องกราดภาพหรือถ่ายภาพตลอดทั้งรูปภาพ
4. กล้องถ่ายภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นกล้องถ่ายภาพดิจิทัลความละเอียด 5 ล้านพิกเซล

บทที่ 2

ลายน้ำดิจิทัลและการบิดเบือนภาพเชิงเรขาคณิต

2.1 การแปลงภาพเชิงเรขาคณิต

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการที่จะพัฒนาลายน้ำดิจิทัลที่มีความทนทานต่อการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอรูปแบบหลัก ๆ ของการแปลงเชิงเรขาคณิต 2 รูปแบบ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการบิดเบือนต่อรูปภาพดังกล่าว

2.1.1 การแปลงเชิงสัมพรรค

การแปลงเชิงสัมพรรค (affine transform) จะประกอบไปด้วยการส่งจุดภาพ (mapping) แบบเชิงเส้นของทั้งรูปภาพ อันได้แก่ การหมุนภาพ, การปรับขนาดรูปภาพ, การเลื่อนของรูปภาพ และการเลื่อนตำแหน่งภายในรูปภาพ โดยการแปลงเชิงสัมพรรคจะมีคุณสมบัติดังนี้

- เส้นตรงที่ขนานจะยังคงอยู่แม้จะถูกแปลงไป
- จุดตัดของเส้นตรงสองเส้นจะเป็นจุดเดิม และค่าอัตราส่วนไขว้ (cross ratio) จะไม่เปลี่ยนแปลง

สมการของการแปลงเชิงสัมพรรคสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ซึ่งจากสมการที่ 1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงสัมพรรคนี้มีระดับขั้นความเสรี (degree of freedom) เท่ากับ 6 โดยที่ค่าตัวแปร a, b, c, d, e และ f สามารถคำนวณได้จากการแก้สมการเชิงเส้น 6 สมการที่สร้างขึ้นโดยข้อมูลพิกัดของจุดอ้างอิง 3 จุดในรูปภาพทั้งก่อนการแปลง และหลังการแปลงเชิงสัมพรรค

2.1.2 การแปลงเชิงภาพฉาย

การแปลงเชิงภาพฉาย (projective transform) จะประกอบไปด้วยการแปลงเชิงสัมพรรค ร่วมกับการฉาย (projection) ซึ่งการฉายโดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็นสองแบบคือ การฉายเชิงตั้งฉาก (orthogonal projection) โดยที่แนวการฉายจะตั้งฉากกับระนาบของการฉาย การฉายอีกรูปแบบหนึ่งคือ การฉายเชิงทัศนมิติ (perspective

projection) จะมีแนวทางการฉายจะไม่ตั้งฉากกับระนาบของการฉาย ยกเว้นกรณีที่แสงที่มาตกกระทบกับระนาบของการฉายนั้นมาจากระยะอนันต์ ซึ่งมีผลให้เส้นตรงขนานที่ไม่ขนานกับระนาบการฉายจะไม่ขนานกันอีก หลังจากผ่านการฉายเชิงทัศนมิติ โดยเส้นขนานเหล่านั้นจะไปตัดกัน ณ จุดหนึ่งที่เราเรียกว่าจุดสูญหาย (vanishing point)

การแปลงเชิงภาพฉายที่มีการฉายเชิงทัศนมิตินั้นมีคุณสมบัติดังนี้

- เส้นขนานหลังการแปลงมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป
- ตำแหน่งของจุดตัดของเส้นตรงสองเส้น และค่าอัตราส่วนไขว้ (Cross Ratio) จะไม่เปลี่ยนแปลง
- เส้นตรงจะยังคงเป็นเส้นตรงเช่นเดิมแม้จะผ่านการแปลงมาแล้ว

การแปลงเชิงภาพฉายแทนได้ด้วยสมการที่ 2 ต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} su \\ sv \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 การแปลงนี้มีระดับขั้นความเสรี (degree of freedom) เท่ากับ 8 โดยที่ค่าตัวแปร a, b, c, d, e, f, g และ h สามารถคำนวณได้จากการแก้สมการเชิงเส้น 8 สมการที่สร้างขึ้นโดยข้อมูลพิกัดของจุดอ้างอิง 4 จุดในรูปภาพทั้งก่อนการแปลง และหลังการแปลงเชิงภาพฉาย

จากความรู้ข้างต้นสามารถนำมาเขียนตารางสรุปคุณสมบัติของการแปลงสัมพรรคและการแปลงเชิงภาพฉายได้ดังตารางที่ 1 และ 2 จากตารางที่ 1 เป็นการสรุปว่าการแปลงเชิงภาพฉายเป็นลักษณะทั่วไปของการแปลงสัมพรรค ซึ่งคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างลายน้ำดิจิทัลที่มีความทนทานต่อการการแปลงทั้งสองรูปแบบคือ ตำแหน่งจุดตัดของเส้นตรงสองเส้น และค่าอัตราส่วนไขว้ ดังได้แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งทฤษฎีเกี่ยวกับอัตราส่วนไขว้นี้จะได้นำไปใช้ในการพัฒนาเทคนิคลายน้ำดิจิทัลที่ทนทานต่อการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต อันจะได้นำมาใช้ในการวิจัยต่อไป

	การแปลงสัมพรรค	การแปลงเชิงภาพฉาย
การเลื่อนตำแหน่งในภาพ	√	√
การปรับขนาดของรูปภาพ	√	√
การหมุนรูปภาพ	√	√
การเอียงภาพ	√	√
การฉายภาพ	X	√

ตารางที่ 1 รูปแบบการแปลงที่เกิดขึ้นในการแปลงสัมพรรคและการแปลงเชิงภาพฉาย

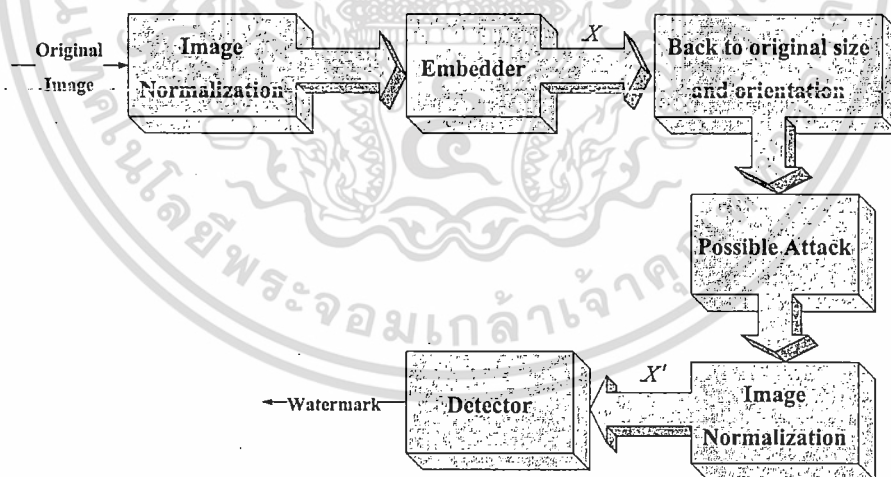
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	การแปลงสัมพรรค	การแปลงเชิงภาพฉาย
ระยะระหว่างจุดสองจุด	X	X
ขนาดของมุม	X	X
อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดสองจุด	X	X
เส้นขนาน	√	X
ตำแหน่งของจุดตัดของเส้นตรงสองเส้น	√	√
ค่าอัตราส่วนไขว้	√	√

ตารางที่ 2 คุณสมบัติที่มีความทนทานภายใต้การแปลงสัมพรรคและการแปลงเชิงภาพฉาย

2.2 เทคนิคฉายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพที่มีการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต

งานวิจัยด้านฉายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพที่มีการบิดเบือนเชิงเรขาคณิตส่วนใหญ่จะพิจารณากรณีของการแปลงสัมพรรค (affine transform) ซึ่งครอบคลุมถึงการ ปรับตัดส่วนและขนาดภาพ การหมุน และการเลื่อนตำแหน่ง เป็นต้น โดยงานวิจัยเหล่านี้สามารถจัดแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มตามแนวทางการแก้ปัญหา คือ Image normalization based watermarking [2], Invariant transform domain based watermarking [3], Template matching based watermarking [4.], Featured extraction based watermarking [5]

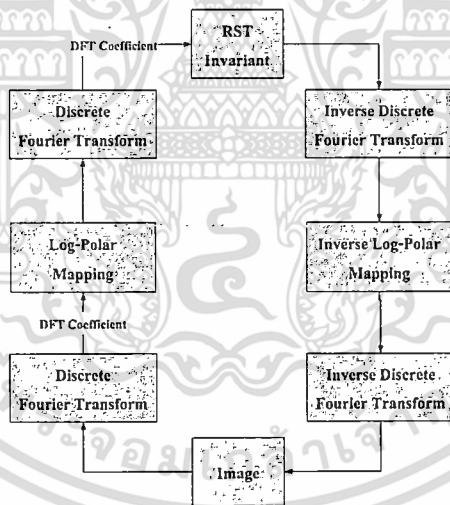


รูปที่ 2 ระบบการสร้างฉายน้ำดิจิทัลด้วยวิธี image normalization [2]

Masoud Alghoniemy และ Ahmed H. Tewfik [2] ได้พัฒนาวิธีการสร้างฉายน้ำดิจิทัลด้วยวิธี image normalization ขึ้น โดยจะทำการเปลี่ยนรูปภาพที่ต้องการจะฝังฉายน้ำดิจิทัลให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานก่อนโดยใช้ค่า image moment แล้วจึงทำการบรรจุข้อมูลฉายน้ำดิจิทัลลงไปตามรูปที่ 2 โดยที่รูปภาพมาตรฐาน

(normalized image) ที่ส่วนภาคของการบรรจุข้อมูล, X จะต้องมีความถี่และลักษณะที่เหมือนกันกับรูปภาพมาตรฐานที่ส่วนถอดข้อมูล, X' เพื่อที่จะสามารถตรวจจับและถอดข้อมูลลายน้ำดิจิตอลออกมาได้ สำหรับงานวิจัยนี้มีข้อเสียที่สำคัญคือค่า image moment จะเปลี่ยนแปลงไปหากรูปภาพได้รับการแก้ไขเช่น การตัดส่วนภาพ และการเพิ่มสัญญาณรบกวนลงไปในรูปแบบ

งานวิจัยในกลุ่ม invariant transform domain based watermarking เป็นงานวิจัยที่ค้นหาขอบเขต (domain) ที่มีความทนทานต่อการบิดเบี้ยวแบบต่างๆ เพื่อจะทำการแปลงรูปภาพจากขอบเขตทางพื้นที่ (spatial domain) ไปยังขอบเขตที่ต้องการ ซึ่ง Joseph J.K. Ó Ruanaidh และ Thierry Pan [3] ได้ทำการวิจัยเทคนิคการสร้างลายน้ำดิจิตอลโดยทำการแปลงรูปภาพจากขอบเขตทางพื้นที่ไปยังขอบเขต Fourier-Mellin ดังรูปที่ 3 ซึ่งภายใต้ขอบเขตนี้ข้อมูลลายน้ำดิจิตอลจะมีความทนทานต่อการบิดเบี้ยวแบบ RST (การหมุนของรูปภาพ, การเปลี่ยนขนาดของรูปภาพ และการเลื่อนตำแหน่งภายในรูปภาพ) ซึ่งงานวิจัยนี้ทำให้รูปภาพที่มีลายน้ำดิจิตอลฝังอยู่มีความทนทานต่อการบิดเบี้ยวหรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ตามขอบเขตที่ได้แปลงไป แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการแปลงไปยังขอบเขตนั้น ๆ และแปลงกลับมาสู่ขอบเขตทางพื้นที่จะต้องใช้การคำนวณที่ถูกต้องมาก ๆ เพื่อที่จะให้รูปภาพไม่ได้รับความเสียหาย อีกทั้งยังเป็นเรื่องยากที่จะค้นหาขอบเขตที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงได้ในทุก ๆ รูปแบบ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการสร้างลายน้ำดิจิตอลด้วยการแปลง Fourier-Mellin

ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มเติมความทนทาน และเพื่อให้การตรวจจับลายน้ำดิจิตอลมีความถูกต้องมากขึ้นจึงได้มีการพัฒนาการสร้างลายน้ำดิจิตอลโดยมีการฝังเทมเพลต (Template) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่มีความหมาย และไม่รบกวนข้อมูลลายน้ำดิจิตอล ลงไปยังรูปภาพพร้อมกับการฝังลายน้ำดิจิตอล ซึ่งข้อมูลเทมเพลตนี้จะนำมาช่วยในการหาเมทริกซ์เพื่อใช้ในการแปลงผกผัน (inverse transform) ซึ่งโดยทั่วไปงานวิจัยในกลุ่ม template matching based watermarking [4] นี้จะใช้ร่วมกับการฝังลายน้ำดิจิตอลในขอบเขต Fourier-Mellin โดยเทมเพลตจะถูก

ฝั่งลงไปยังตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดเฉพาะที่ (local peak) สำหรับงานวิจัยในกลุ่มนี้นั้นจะพบปัญหาในการค้นหาตำแหน่งที่ฝั่งเทมเพลตจะต้องใช้การคำนวณที่สูง ในขณะที่ต้องทำให้การค้นหาเทมเพลตโดยผู้ไม่ประสงค์ดีกระทำได้ยาก

งานวิจัยในกลุ่มสุดท้ายคือ feature extraction based watermarking เป็นงานวิจัยที่ทำการใช้ข้อมูลที่สำคัญในรูปภาพมาคำนวณหาตำแหน่งในการฝังลายน้ำดิจิทัล ซึ่งตำแหน่งที่จะถูกคัดเลือกมาเป็นจุดคุณลักษณะสำคัญเหล่านั้นควรจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ด้วย ตัวอย่างของงานวิจัยในกลุ่มนี้เป็นการใช้จุดมุมภายในรูปภาพเพื่อหาพื้นที่ในการฝังลายน้ำดิจิทัล โดยการเชื่อมต่อจุดเหล่านั้นให้เป็นพื้นที่สามเหลี่ยมโดยใช้ delaunay tessellation algorithm ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย P. Bas, J-M. Chassery and B. Macq [5] สำหรับงานวิจัยในกลุ่มนี้นั้นจะได้ผลดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการเลือกตำแหน่งของจุดพีเจอร์และการนำมาใช้งาน

ตัวอย่างงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้กับรูปภาพที่ได้รับการแปลงเชิงภาพฉาย (projection transform) เนื่องจากงานวิจัยเหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้สมมติฐานที่รูปภาพจะมีการบิดเบี้ยวจากการแปลงเชิงสัมพรรค (affine transform) เท่านั้น ในขณะที่การแปลงเชิงสัมพรรคเป็นกรณีเฉพาะของการแปลงเชิงภาพฉาย



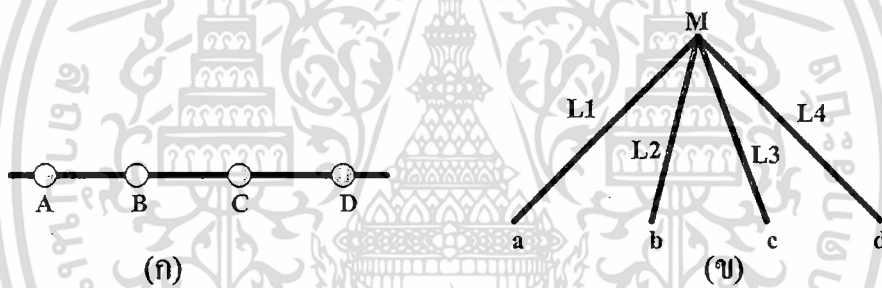
บทที่ 3

เทคนิคฉายนำดิจิตอลสำหรับภาพที่ผ่านการแปลงเชิงภาพฉาย

3.1 หลักการเบื้องต้น

เทคนิคฉายนำดิจิตอลที่มีความทนทานต่อการแปลงเชิงภาพฉาย ซึ่งนำเสนอในรายงานฉบับนี้ อาศัยหลักการการไม่แปรผันตามการแปลงเชิงภาพฉายของค่าอัตราส่วนไขว้ของระยะห่างระหว่างจุดบนเส้นตรง ดังนั้นในลำดับแรกจะขอกล่าวถึงทฤษฎีดังกล่าวพอสังเขปดังต่อไปนี้

ค่าอัตราส่วนไขว้สามารถคำนวณได้จากตำแหน่งของจุดสี่จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน (4 collinear Points) และจากเส้นตรงสี่เส้นที่มาบรรจบกัน (4 concurrent Lines) ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งค่าอัตราส่วนไขว้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หากการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นแบบระนาบเดียวกัน (coplanar) [6]



รูปที่ 4 (ก) จุดสี่จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน และ (ข) เส้นตรงสี่เส้นที่มาบรรจบกัน

จากรูปที่ 4(ก) ค่าอัตราส่วนไขว้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$[A, B; C, D] = \frac{\overline{AC} \times \overline{BD}}{\overline{AD} \times \overline{BC}} \quad (3)$$

โดยที่จุด A และจุด B เป็นจุดอ้างอิงและค่า \overline{AB} เป็นระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean distance) ระหว่างจุดสองจุด

จากรูปที่ 4(ข) ค่าอัตราส่วนไขว้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$[L1, L2; L3, L4] = \frac{\sin(aMc) \times \sin(bMd)}{\sin(aMd) \times \sin(bMc)} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ให้เส้นตรง $L1$ และเส้นตรง $L2$ เป็นเส้นอ้างอิง และ $\sin(abc)$ คือค่าไซน์ของมุมอันเกิดจากจุด a b และ c

จากสมการที่ 3 และ 4 พบว่าหากสามารถกำหนดจุดอ้างอิง หรือเส้นตรงอ้างอิงทั้งสองได้อย่างถูกต้อง และสามารถรู้ตำแหน่งของจุดหรือเส้นตรงที่ตามได้ รวมทั้งรู้ค่าอัตราส่วนไขว้ของจุดหรือเส้นตรงทั้งสี่แล้ว จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของจุดหรือเส้นตรงที่สี่ได้ โดยในทางปฏิบัตินั้น ค่าอัตราส่วนไขว้ที่คำนวณจากตำแหน่งของจุดสี่จุดที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายและมีความซับซ้อนน้อยกว่าการคำนวณค่าอัตราส่วนไขว้จากเส้นตรงที่มาบรรจบกัน

3.2 เทคนิคฉายน้ำดิจิตอลโดยใช้การคำนวณตำแหน่งที่ฝังจากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนไขว้

ในการสร้างรูปแบบฉายน้ำดิจิตอลที่ซ่อนลงในรูปภาพนั้น ในงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีการซ่อนแบบฉายน้ำดิจิตอลแบบ spread spectrum ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ซ่อนฉายน้ำดิจิตอล จะถูกกำหนดไว้โดยใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของอัตราส่วนไขว้ (cross ratio) ของระยะห่างระหว่างจุด 4 จุดบนเส้นตรงเดียวกัน (collinear points) โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นมีข้อกำหนดว่าต้องทราบจุดมุมของภาพทั้ง 4 (ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถหาได้โดยใช้เทคนิคการหาลักษณะสำคัญในภาพหรือโดยการใช้ผู้ใช้ช่วยระบุ) อนึ่งงานวิจัยในอดีตที่ได้มีการนำหลักการของอัตราส่วนไขว้มาใช้กับฉายน้ำดิจิตอลได้แก่ [7-8] อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวนำเสนอวิธีการที่ใช้งานใน frequency domain และไม่มีความสามารถในแง่ความทนทานต่อการบิดเบือนเชิงเรขาคณิต

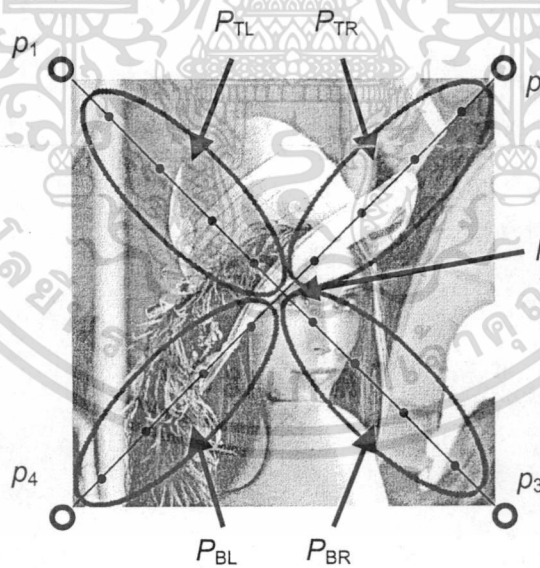
ในการอธิบายวิธีการดังกล่าว จะทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้ในการฝังฉายน้ำดิจิตอล และส่วนที่ใช้ในการตรวจจับฉายน้ำดิจิตอล

- ก) การฝังฉายน้ำดิจิตอล มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้
1. กำหนดค่า cross-ratio เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของการฝังฉายน้ำดิจิตอล
 2. จากมุม 4 มุมของภาพ (p_1 ถึง p_4) ทำการสร้างสมการเส้นทแยงมุมขึ้น 2 เส้น จากนั้นทำการคำนวณหาจุดตัดของเส้นทแยงมุมทั้งสองเส้นกำหนดให้ $p_c = (x_c, y_c)$ แทนจุดตัดดังกล่าว
 3. โดยการใช้ค่า cross-ratio ที่ได้กำหนดไว้แล้ว ประกอบกับเซตของจุดสามจุดบนแนวเส้นตรงเดียวกันอันเกิดจากจุดมุม 2 มุม และ จุดตัด p_c (ซึ่งมีได้จำนวน 2 เซต) ทำการคำนวณหาจุดฝังฉายน้ำหลักตามแนวของเส้นทแยงมุมแต่ละเส้นดังกล่าวข้างต้น โดยอาศัยความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างจุดต่าง ๆ กับจุดที่ฝังฉายน้ำแต่ละจุดตามสมการที่ 3 เช่น ในกรณีของจุดฝังหลักที่อยู่ตามแนวเส้นทแยงที่เชื่อมจุด p_1 กับ p_3 จุด A, C และ D ในสมการดังกล่าวถูกแทนด้วย p_1 p_c และ p_3 ตามลำดับ ประกอบกับค่า cross-ratio ที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า จุด B ซึ่งได้แก่จุดฝังฉายน้ำที่ต้องการหาสามารถคำนวณได้โดยแก้สมการที่ 3 ดังกล่าว
 4. แบ่งจุดฝังฉายน้ำหลักที่ได้จากข้อ 3 เป็น 4 กลุ่ม อันได้แก่ P_{TL} P_{TR} P_{BL} และ P_{BR} ดังแสดงในรูปที่ 5 (อนึ่งการแบ่งดังกล่าวเพื่อประโยชน์ในการอธิบายอัลกอริทึมเท่านั้น)

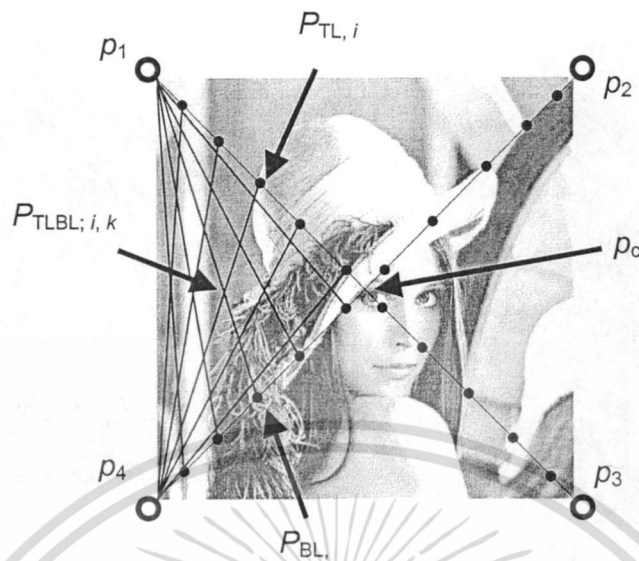
5. โดยอาศัยเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดมุมกับจุดฝังลายน้ำหลัก ทำการคำนวณจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น เพื่อหาคำแหน่งของจุดฝังลายน้ำเพิ่มเติม ตัวอย่าง เช่น ในรูปที่ 6 ตำแหน่งเพิ่มเติม $P_{TLBL;i,k}$ หาได้จากจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้นอันเกิดจาก $p_1, P_{TL;i}, p_4$, และ $P_{BL;k}$
6. ทำการคำนวณหาจุดตัดในลักษณะดังกล่าวสำหรับส่วนที่เหลือในภาพ จะได้ตำแหน่งของการซ่อนลายน้ำทั้งหมด ดังตัวอย่างในรูปที่ 7
7. ทำการซ่อนลายน้ำลงในตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้คำนวณไว้ในขั้นตอน 1-6 ซึ่งกำหนดให้ $p_i^e, i = 1, 2, \dots, N$, แทนตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัลที่หาได้ทั้งหมด N จุด ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการฝังลายน้ำแบบ spread spectrum โดยอาศัยลายน้ำที่ได้จากการสุ่มตัวเลข 1 และ -1 ($w_i \in \{-1, 1\}, i = 1, 2, \dots, N$) และมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ จากลายน้ำดังกล่าว ทำการฝังลงไปในรูปแบบตามสมการต่อไปนี้

$$I_e(x_i, y_i) = I(x_i, y_i) + (\alpha \cdot w_i) \quad (5)$$

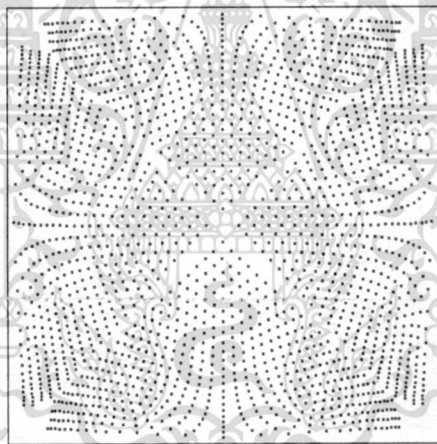
โดยที่ $I(x_i, y_i)$ แทนรูปภาพต้นฉบับ และ (x_i, y_i) เป็นตำแหน่งในภาพของจุด p_i^e ส่วน α เป็นค่าสเกลควบคุมระดับลายน้ำที่ซ่อนลงในภาพ



รูปที่ 5 แสดงจุดมุมของภาพ จุดที่เส้นทแยงมุม 2 เส้นตัดกัน และการจัดแบ่งจุดที่ฝังลายน้ำหลักออกเป็น 4 ชุด



รูปที่ 6 แสดงการหาจุดฝังลายน้ำดิจิทัลเพิ่มเติม



รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งที่ใช้ฝังลายน้ำดิจิทัล (ในภาพมิได้แสดงตำแหน่งหลักในแนวเส้นทแยงมุม)

ข) การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จากรูปภาพที่ต้องการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล ทำการระบุมุม 4 มุมของภาพ (\tilde{p}_1 ถึง \tilde{p}_4) ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยการกำหนดของผู้ใช้ หรือโดยการใช้วิธีการตรวจจับคุณลักษณะสำคัญของภาพ (feature extraction)
2. จากมุมภาพที่ได้ และเซตของค่า cross-ratio ที่ใช้ในขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำดิจิทัล ทำการคำนวณหาตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัล โดยใช้วิธีการในลักษณะเดียวกับขั้นตอนที่ 2-6 ของการซ่อนลายน้ำดิจิทัล ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น กำหนดให้ $\tilde{p}_i^e, i = 1, 2, \dots, N$, เป็นตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัลที่คำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัลที่คำนวณได้ ทำการหาค่า correlation coefficient ระหว่างค่าความสว่างของพิกเซลในรูปภาพ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังกล่าว กับลายน้ำดิจิทัล ดังสมการต่อไปนี้

$$C(I_e, w) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{I}_e(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i) \cdot \tilde{w}(i))}{\sigma_{\tilde{I}_e} \cdot \sigma_w} \quad (6)$$

โดยที่ $\tilde{I}(x, y)$ เป็นรูปภาพที่อาจมีลายน้ำซ่อนอยู่ และอาจแตกต่างจากภาพต้นฉบับต้น เนื่องมาจากกระบวนการบิดเบือนภาพแบบต่าง ๆ และได้ทำการลบค่าเฉลี่ยความสว่างของพิกเซลในภาพออกแล้ว $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ คือตำแหน่งบนรูปภาพของจุด \tilde{p}_i^e ส่วน $\sigma_{\tilde{I}_e}$ และ σ_w เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสว่างของพิกเซลใน $\tilde{I}_e(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ และของลายน้ำดิจิทัลตามลำดับ ในการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล จะอาศัยค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (threshold) หากมีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิง แสดงว่าภาพดังกล่าวมีลายน้ำดิจิทัลซ่อนอยู่ ในการกำหนดค่าอ้างอิงอาจใช้วิธีการทางสถิติดังเช่นวิธีการที่เสนอใน [9]

3.3 การลดหย่อนการคำนวณตำแหน่งที่ผิดพลาด

ในทางปฏิบัติ ตำแหน่งการซ่อนข้อมูลที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสัดส่วนไขว้ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3 มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริง เนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ อาทิ เช่น การระบุตำแหน่งมุมของภาพที่ไม่สามารถกระทำได้อย่างถูกต้อง ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากความจำเป็นที่จะต้องปรับค่าตำแหน่งให้ตรงจุดกึ่งกลางของแต่ละพิกเซล ผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน หรือ การบิดเบือนที่กระทำกับภาพ ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำเป็นผลทำให้ค่า correlation coefficient ที่คำนวณได้ในขั้นตอนของการตรวจสอบลดต่ำลงจนไม่สามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัลได้ ถึงแม้ว่าจะได้ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ในปริมาณความเข้มที่สูงก็ตาม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ได้ทำการฝังแต่ละบิตของลายน้ำดิจิทัลลงในภาพโดยใช้พื้นที่ในการฝังมากกว่า 1 พิกเซล ตัวอย่าง เช่น ในรูปที่ 8 แต่ละบิตของลายน้ำถูกฝังลงในภาพโดยใช้พื้นที่ขนาด 9x9 พิกเซล เป็นต้น

(0,0)														(0,14)
(14,0)														(14,14)

รูปที่ 8 แสดงพื้นที่ในภาพที่ใช้ในการฝังแต่ละบิตของลายน้ำ

3.4 การฝังลายน้ำดิจิทัลโดยการใช้จุดที่มีลักษณะสำคัญของรูปภาพ

ปัญหาประการสำคัญของการใช้รูปภาพในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลในหัวข้อ 3.2 ได้แก่ ผลอันเกิดจากการตัดแบ่งส่วนภาพ (cropping) ซึ่งทำให้ตำแหน่งรูปภาพใหม่ผิดไปจากเดิม อันจะส่งผลทำให้ไม่สามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลโดยทั่วไปเพื่อป้องกันปัญหาการตัดแบ่งส่วนภาพจำเป็นจะต้องทำการฝังข้อมูลชุดเดียวกันซ้ำ ๆ ไว้ ณ หลาย ๆ พื้นที่ของรูปภาพ โดยในแต่ละพื้นที่ต้องใช้จุดอ้างอิงบริเวณใกล้เคียงแทนการใช้จุดมุมของภาพ เพื่อไม่ให้จุดอ้างอิงดังกล่าวเปลี่ยนไปเมื่อมีการตัดแบ่งภาพ ในงานวิจัยนี้เสนอการใช้จุดคุณลักษณะสำคัญของภาพเป็นจุดอ้างอิงแทนการใช้มุมภาพ สำหรับแก้ปัญหาดังกล่าว โดยในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอถึงวิธีการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมภายในรูปภาพโดยใช้จุดลักษณะสำคัญ โดยรูปทรงสี่เหลี่ยมที่สร้างได้นี้จะครอบคลุมพื้นที่ภายในที่ใช้ฝังลายน้ำดิจิทัล ซึ่งขั้นตอนในการฝังลายน้ำโดยอาศัยคุณลักษณะสำคัญอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ก) การฝังลายน้ำดิจิทัล

1. ทำการหาจุดลักษณะสำคัญ, $P_i^f, i = 1, 2, \dots, M$ ที่จะใช้ในการคำนวณหาจุดในการฝังลายน้ำดิจิทัล จากนั้นเลือกจุดที่มีความโดดเด่นมาจำนวน K จุด เช่น โดยการพิจารณาจากค่าคะแนนที่คำนวณได้จากอัลกอริทึมที่ใช้หาจุดลักษณะสำคัญ
2. เลือกจุดลักษณะสำคัญ ที่มีค่าคะแนนสูงสุด L จุด เพื่อใช้เป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างพื้นที่รูปทรงสี่เหลี่ยม กำหนดให้จุดดังกล่าวแทนด้วย $P_k^c, k = 1, 2, \dots, L$
3. สำหรับแต่ละจุดศูนย์กลาง ทำการคำนวณหามุมระหว่างเวกเตอร์ที่เชื่อมระหว่างจุดศูนย์กลาง, P_k^c และจุดลักษณะสำคัญอื่น ๆ กับเวกเตอร์อ้างอิงหนึ่งหน่วย $v = [0 \ 1]$ จากนั้นทำการเรียงจุดลักษณะสำคัญ (ยกเว้น P_k^c) ตามลำดับค่ามุมที่คำนวณได้ แทนจุดที่ได้เรียงลำดับแล้วดังกล่าวด้วย $P_i^{sf}, i = 1, 2, \dots, K-1$
4. สำหรับแต่ละจุดศูนย์กลาง และจุดลักษณะสำคัญที่เลือกมาอีกสามจุด ประกอบกันเป็นพื้นที่รูปทรงสี่เหลี่ยม โดยเริ่มจาก P_1^{sf}, P_2^{sf} และ P_3^{sf} หลังจากนั้นทำการประกอบรูปสี่เหลี่ยมอื่น ๆ โดยใช้จุดลักษณะสำคัญในลำดับถัดไปที่ละ 2 ลำดับ เช่น หลังจากรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ประกอบขึ้นจากจุดศูนย์กลาง และจุด P_1^{sf}, P_2^{sf} และ P_3^{sf} แล้ว รูปทรงสี่เหลี่ยมถัดไปประกอบขึ้นจากจุดศูนย์กลาง และจุด P_3^{sf}, P_4^{sf} และ P_5^{sf}
5. จากแต่ละรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ประกอบขึ้นในข้อ 4 ใช้จุดมุมทั้ง 4 ทำการคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้ตำแหน่งของจุดตัดของเส้นตรง และค่าอัตราส่วนไขว้ ตามวิธีการที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2 จากนั้นทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในจุดที่คำนวณได้ (เช่น โดยอาศัยเทคนิค spread spectrum ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2)

5. ในกรณีที่ในขั้นตอนที่ 4 สามารถตรวจพบลายน้ำดิจิทัล จุด P_k^s สำหรับชุดการค้นหาถัดไปคือจุดที่สี่ของรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้ เช่น จากรูป 9(ข) จุดดังกล่าวได้แก่ P_1^3
6. ในกรณีที่ในขั้นตอนที่ 4 ไม่สามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้ ใด จุด P_k^s สำหรับชุดการค้นหาถัดไป คือจุดถัดไปของจุด P_k^s ของกลุ่มนั้น เช่น จากรูปที่ 9 (ข) หากไม่สามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้ จุด P_k^s ของการค้นหาชุดถัดไปคือ P_1^2



บทที่ 4

การทดลอง

4.1 การทดลองตรวจสอบรูปภาพดิจิทัล

การทดลองในส่วนที่ 1 กระทำกับรูปภาพดิจิทัล โดยภาพที่ใช้ทดสอบ หลังจากทำการซ่อนข้อมูลลายน้ำแล้วยังคงมีการจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัล จนถึงกระบวนการในการตรวจสอบลายน้ำ

การทดลองที่ 1 การทดสอบผลของการแปลงเชิงภาพฉาย

ในการทดลองนี้ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลขนาด 1600 บิต จำนวน 50 แบบลงไปในรูปแบบพระดัสีเทหา 5 รูป โดยใช้การสร้างพื้นที่รูปทรงสี่เหลี่ยมจากจุดพีเจอร่าในรูปภาพ โดยจุดพีเจอร่าที่ใช้ในการพิจารณานั้นเลือกจากการใช้วิธีการหาจุดมุมของ Harris การฝังลายน้ำดิจิทัลใช้วิธีการแผ่สเปกตรัม โดยมีค่ากำลังของลายน้ำดิจิทัลเป็น 3 และเพื่อเป็นการป้องกันการหาตำแหน่งกลาดเคลื่อนจึงทำการฝังลายน้ำดิจิทัลเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 5x5 ทำการบิดเบือนรูปภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเชิงภาพฉายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแนวของการฉายจะประกอบด้วยแนวการฉายในแนวตั้ง และแนวการฉายในแนวราบ ด้วยมุมของการฉายเป็น 5, 10 และ 15 องศา ดังรูปที่ 10 จากนั้นทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลจากรูปภาพที่บิดเบือนทั้งหมด โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ผ่านการปรับให้อยู่ในรูปมาตรฐาน $(= C(\tilde{I}_e, W) \cdot \sqrt{N})$ และใช้ค่าขีดแบ่ง (threshold) เท่ากับ 4 ผลของรูปภาพที่สามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้อย่างน้อยหนึ่งพื้นที่สี่เหลี่ยมที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้เป็นดังตารางที่ 3 ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าสามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้โดยรวมมากกว่าร้อยละ 97

64380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 10 (ก) รูปภาพหลังการบิดเบือนด้วยการแปลงเชิงภาพหลายด้วยมุมของการฉายเท่ากับ 5 องศา, (ข) รูปภาพหลังการบิดเบือนด้วยการแปลงเชิงภาพหลายด้วยมุมของการฉายเท่ากับ 10 องศา และ (ค) รูปภาพหลังการบิดเบือนด้วยการแปลงเชิงภาพหลายด้วยมุมของการฉายเท่ากับ 15 องศา

รูปภาพ	มุมของการฉาย		
	5°	10°	15°
Lena	99.12 %	98.95 %	98.64 %
Pepper	99.21 %	98.83 %	98.59 %
Baboon	98.45 %	98.15 %	97.94 %
Cameraman	99.14 %	98.94 %	98.73 %
Plane	99.25 %	98.96 %	98.79 %
รวม	99.04 %	98.77 %	98.56 %

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลสำหรับการแปลงเชิงภาพหลาย

การทดลองที่ 2 การทดสอบผลของการตัดส่วนภาพพร้อมกับการแปลงเชิงภาพหลาย

การทดลองนี้รูปภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้วจะถูกทำการตัดแบ่งส่วนภาพให้เหลือขนาดร้อยละ 80 และ 90 ของขนาดภาพเดิม โดยการตัดแบ่งส่วนภาพจะเป็นการตัดแบ่งจะบริเวณขอบของภาพเข้ามาด้านละเท่ากัน ๆ จากนั้นทำการแปลงเชิงภาพหลายกับรูปภาพด้วยมุมของการฉายเป็น 15 องศา จากนั้นทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลด้วยค่าขีดแบ่งเท่ากับ 4 ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 พบว่าโดยที่โดยรวมแล้วสามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้มากกว่าร้อยละ 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ	ขนาดของรูปภาพส่วนที่เหลือ	
	90%	80%
Lena	98.25 %	97.96 %
Pepper	97.94 %	97.63 %
Baboon	97.59 %	97.16 %
Cameraman	98.14 %	97.92 %
Plane	98.34 %	98.04 %
รวม	98.08 %	97.10 %

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ผ่านการตัดส่วนภาพร่วมกับการแปลงเชิงภาพฉาย

4.2 การทดลองตรวจสอบรูปภาพที่ผ่านการพิมพ์

การทดลองในส่วนที่ 2 กระทำกับรูปภาพที่ได้ถูกพิมพ์บนกระดาษ โดยกระบวนการพิมพ์ภาพถ่าย (photographic printing)

การทดลองที่ 3 การทดสอบผลของกระบวนการพิมพ์ภาพถ่ายและการกราดภาพ (scanning)

ในการทดลองนี้จะทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพ โดยใช้จุดมุมทั้งสี่ของรูปภาพเป็นจุดลักษณะสำคัญ (วิธีการตามหัวข้อ 3.2) ทำการฝังข้อมูล 10 บิต โดยที่แต่ละบิตจะถูกนำไปคูณกับรูปแบบของลายน้ำดิจิทัลขนาด 600 บิต การฝังลายน้ำดิจิทัลใช้วิธีการแปรสเปกตรัม ด้วยค่ากำลังของลายน้ำดิจิทัลเท่ากับ 5 และขนาดของรูปทรงสี่เหลี่ยมในการฝังลายน้ำเท่ากับ 9x9

ทำการพิมพ์รูปภาพที่ฝังลายน้ำดิจิทัลออกมาบนกระดาษ แล้วทำการนำเข้าด้วยเครื่องกราดภาพรูปละ 20 ครั้ง แล้วทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลด้วยค่าขีดแบ่งเท่ากับ 4 ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าโดยรวมแล้วสามารถตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้มากกว่าร้อยละ 96

รูปภาพ	ผลการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล
Lena	96.54 %
Pepper	96.43 %
Baboon	96.87 %
Cameraman	96.82 %
Plane	96.86 %
รวม	96.70 %

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลสำหรับรูปภาพที่นำเข้าด้วยเครื่องกราฟิก

การทดลองที่ 4 การทดสอบผลของกระบวนการพิมพ์ภาพถ่ายและการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

ในการทดลองนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพระดับสีเทาขนาด 2133x2133 พิกเซลจำนวน 6 รูป โดยฝังข้อมูลจำนวน 10 บิต แต่ละบิตจะถูกคูณด้วยรูปแบบของลายน้ำดิจิทัลขนาด 600 บิต ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธี Spread spectrum ด้วยค่ากำลังของลายน้ำเท่ากับ 3
2. ทำการพิมพ์ภาพออกมาด้วยขนาดของกระดาษเท่ากับ 8x10 นิ้ว โดยไม่มีการปรับค่าสี และเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกระดาษที่ทำการพิมพ์ออกมา
3. ทำการถ่ายรูปในแต่ละมุม (pan) มุมละ 50 ครั้ง โดยไม่มีการหมุนกล้อง (rotation) ระยะห่าง 3 เมตร ความเร็วชัตเตอร์เท่ากับ 1/60 วินาที และระยะโฟกัสเท่ากับ 144 ทำการถ่ายรูปที่มุมเงย (tilting/elevation angle) และมุมเอียง (panning/azimuth angle) ต่าง ๆ ตัวอย่างของรูปภาพที่ผ่านการถ่ายภาพแสดงดังรูปที่ 12

ผลการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล โดยใช้ค่า normalized correlation Coefficient และค่า threshold เท่ากับ 3 แสดงดังตารางที่ 6 จำนวนรูปภาพที่แสดงในตารางเป็นกรณีที่สามารถทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้ครบทุกบิตข้อมูล จากตารางดังกล่าว พบว่ารูปภาพที่ทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลโดยมีค่า normalized correlation coefficient สูงกว่าค่า threshold มีจำนวนสูงกว่าร้อยละ 90 ของจำนวนรูปภาพที่นำมาทดลองตรวจจับลายน้ำ และพบว่ามุมของการฉายจะมีผลต่อการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล กล่าวคือหากมุมของการฉายเพิ่มมากขึ้น จำนวนของรูปภาพที่ได้รับค่า normalized correlation coefficient จะต่ำลง

รูป	มุมการถ่ายภาพ			
	5 องศา	10 องศา	15 องศา	20 องศา
Lena	48	48	47	47
Baboon	49	49	48	48
Cameraman	47	47	46	45
Plane	48	48	47	46

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนภาพที่สามารถตรวจจับข้อมูลที่ซ่อน โดยลายน้ำดิจิทัลได้ครบทุกบิต



ก)

ข)

รูปที่ 11 ตัวอย่างรูปภาพที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยมุมหันและมุมเงยเท่ากับ ก) 10 องศา ข) 20 องศา

จากนั้นทำการทดสอบการหมุนกล้อง 10 องศา (rotation angle) ที่ตำแหน่งของมุมกล้อง (azimuth and elevation angles) ต่าง ๆ ขณะบันทึกภาพ โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพระดับสีเทาขนาด 2133x2133 พิกเซลจำนวน 6 รูป โดยฝังข้อมูลจำนวน 10 บิต แต่ละบิตจะถูกคูณด้วยรูปแบบของลายน้ำดิจิทัลขนาด 600 บิต ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธี Spread spectrum ด้วยค่ากำลังของลายน้ำเท่ากับ 3
2. ทำการพิมพ์ภาพออกมาด้วยขนาดของกระดาษเท่ากับ 8x10 นิ้ว โดยไม่มีการปรับค่าสี และเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกระดาษที่ทำการพิมพ์ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการถ่ายรูปในแต่ละมุม แต่ละตำแหน่ง จำนวน 50 ครั้ง ทำการหมุนกล้องตามเข็มนาฬิกา 10 องศา ระยะห่าง 3 เมตร ความเร็วชัตเตอร์เท่ากับ 1/60 วินาที และระยะโฟกัสเท่ากับ 144 ตัวอย่างของรูปภาพที่ผ่านการถ่ายภาพเป็นดังรูปที่ 13

ผลการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล โดยใช้ค่า normalized correlation coefficient และค่า threshold เท่ากับ 3 แสดงในตารางที่ 7 จำนวนรูปภาพที่แสดงในตารางเป็นกรณีที่สามารถทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้ครบทุกบิตข้อมูล

รูป	มุมการถ่ายภาพ			
	5 องศา	10 องศา	15 องศา	20 องศา
Lena	48	47	47	46
Baboon	48	48	47	47
Cameraman	46	45	45	44
Plane	47	47	46	46

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนภาพที่สามารถตรวจจับข้อมูลที่ซ่อนโดยลายน้ำดิจิทัลได้ครบทุกบิต สำหรับกรณีที่มีการหมุนกล้อง

จากผลการทดลองในตารางที่ 7 พบว่ารูปภาพที่ทำการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลโดยมีค่า normalized correlation coefficient สูงกว่าค่า threshold จะมีจำนวนสูงกว่าร้อยละ 88 ของจำนวนรูปภาพที่นำมาทดลองตรวจจับลายน้ำ และพบว่ามุมของการฉายรวมทั้งการหมุนกล้องมีผลต่อการตรวจจับลายน้ำดิจิทัล



ก)



ข)

รูปที่ 12 ตัวอย่างรูปภาพที่ถ่ายโดยการหมุนกล้องตามเข็มนาฬิกา 10 องศา โดยมีมุมของการฉาย (azimuth และ elevation) เท่ากับ ก) 10 องศา ข) 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

รายงานฉบับนี้นำเสนอผลการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลจากรูปภาพที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัลซึ่งถูกบิดเบือนไป อันเนื่องมาจากการแปลงเชิงภาพฉาย ซึ่งเกิดขึ้นจากการถ่ายภาพโดยใช้มือถือกล้อง ทำให้ไม่สามารถวางมุมกล้องให้มุมเอียงอยู่ในตำแหน่งที่ระนาบของการถ่ายภาพขนานกับระนาบของรูปภาพที่ถ่ายได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเทคนิคลายน้ำดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้ภายใต้การแปลงดังกล่าว โดยอาศัยอัตราส่วนไขว้ของระยะห่างระหว่างจุดบนเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งมีคุณสมบัติไม่แปรผันตามการแปลงเชิงภาพฉาย ซึ่งรายงานฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการซ่อนและตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล 2 วิธี โดยวิธีที่หนึ่งอาศัยจุดมุมทั้ง 4 ของรูปภาพในการคำนวณหาตำแหน่งที่ซ่อนลายน้ำดิจิทัล ในขณะที่วิธีที่ 2 ใช้จุดศูนย์กลางสำคัญของภาพแทนจุดมุมภาพ เพื่อแก้ปัญหาการระบุจุดมุมผิดของวิธีการแรกอันเนื่องมาจากการตัดแบ่งบางส่วนของภาพออกไป (cropping) โดยในการทดลอง ได้ทำการทดลองทั้งกับกรณีที่มีการแปลงเชิงภาพฉายกระทำโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และกรณีที่การแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการถ่ายรูปที่ได้จากการพิมพ์ภาพถ่าย (photographic printing) โดยอาศัยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ผลจากการทดลองพบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการตรวจจับลายน้ำดิจิทัลได้โดยเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 95 % (ยกเว้นการทดลองสุดท้ายที่ได้ผลการตรวจจับต่ำกว่า 90 %) แนวทางการศึกษาเพื่อปรับปรุงงานที่นำเสนอในรายงานฉบับนี้มีดังต่อไปนี้

- ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการที่ 2 ซึ่งอาศัยคุณลักษณะสำคัญของภาพ กับกรณีของการพิมพ์และถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล
- ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพและความถูกต้องในการคำนวณและตรวจจับข้อมูลที่ซ่อนด้วยลายน้ำดิจิทัลโดยการเพิ่มเติมข้อมูลในการทำ error correction เข้าไป
- ทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอในกรณีที่ระดับความละเอียดในการถ่ายภาพน้อยกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นกับกล้องถ่ายภาพที่ติดมากับโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.Benders, D. Grul, N. Morimoto, and A. Lu. "Techniques for data hiding." IBM Systems Journals, vol. 3, No. 3&4, 1996. age 313-336
- [2] Masoud Alghoniemy and Ahmed H. Tewfik, "Geometric Distortion Correction through image normalization." in Proc. International Conference on Multimedia and Expo, 2000.
- [3] 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.
- [4] Shelby Pereira and Thierry Pun, "Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarks", IEEE Transactions on Image Processing, pp.1123-1129, 2000.
- [5] P. Bas, J-M. Chassery and B. Macq, "Geometrically Invariant Watermarking Using Feature Points," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 11, no. 9, pp. 1014-1028, 2002.
- [6] Coxeter, H. S. M. and Greitzer, S. L. "Collinearity and Concurrence." Geometry Revisited, Ch. 3, Math. Assoc. Amer., pp. 51-79, 1967.
- [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, pp. 65-68, 2000.
- [8] O. Guitart Pla, E. T. Lin, and E. J. Delp, "A Wavelet Watermarking Algorithm Based on a Tree Structure," to appear in Proc. of the SPIE International Conference on Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI, vol. 5306, San Jose, CA, 2004, pp. 571-580, 2004.
- [9] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, **Digital Watermarking**, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.

ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Nopporn Chotikakamthorn and Wiyada Yawai, "Digital Watermarking Technique for Perspective Image", in *Proc. International Conference on Control, Automation and Systems 2004*, pp. 1090-1093, 2004.
- [2] Natapon Pantuwong, Wiyada Yawai, and Nopporn Chotikakamthorn "Digital Watermarking Technique for Projective-distorted Image Using Collinear Points," To appear in *EUSIPCO 2005*.
- [3] Natapon Pantuwong, and Nopporn Chotikakamthorn, "Efficient Perspective-Invariant Digital Watermarking Algorithm", *ITC-CSCC 2005*, Korea, pp. 391-392, 2005.