



การศึกษา เพื่อพัฒนากระบวนการการฝังข้อมูลแบบกู้คืนกลับได้
โดยใช้ DMT-2 บิตสำหรับภาพทางการแพทย์

โดย
ชัยพร ปานยินดี

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2561



A Study to Develop Reversible Data Hiding Using
DMT-2 bits for Medical Images

By
Chaiyaporn Panyindee

Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2561

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยการสนับสนุนงบประมาณโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจำปี 2561 ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการจัดทำโครงการวิจัยนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของผู้เขียน ที่ให้ความหวังใย ให้การสนับสนุนให้คำปรึกษา และให้กำลังใจแก่ผู้เขียนตลอดมาสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บุคคลทุกคนที่มีได้เอื้อนามมา ณ ที่นี้ ที่ได้ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนตลอดมา คุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากโครงการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชัยพร ปานยินดี

2561



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : INN-๐๕/๒๕๖๑

ชื่อโครงการ : การศึกษา เพื่อพัฒนากระบวนการการฝังข้อมูลแบบกู้คืนกลับได้โดยใช้ DMT-2 บิต สำหรับภาพทางการแพทย์

ชื่อนักวิจัย : ชัยพร ปานยินดี (ดร.)

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการฝังข้อมูลแบบสองบิต ที่สามารถกู้คืนกลับได้บนพื้นฐานของเทคนิค DMT สำหรับภาพทางการแพทย์ หนึ่งกลยุทธ์ถูกใช้เพื่อให้บรรลุการฝังข้อมูลที่สูงขึ้นในขณะที่ความบิดเบือนเท่าเดิม หรือ ต่ำลง ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายขนาดเล็กสามารถฝังข้อมูลสองบิตได้ถูกใช้ประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญ ภาพที่มีพื้นผิวที่ราบเรียบ และในบางพื้นที่ที่มีความแปรปรวนสูง เช่น ภาพทางการแพทย์ถูกทดสอบ ประโยชน์อื่น ๆ ที่ได้รับจากการใช้ DMT 2 บิต เครื่องมือในการบีบอัดเพื่อลดขนาดของพื้นที่แมปเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นอีกต่อไป ขนาดของพื้นที่แมปเล็กลงจนสามารถฝังเป็นส่วนหนึ่งไปกับเพย์โหลดได้ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นวิธีการที่นำเสนอสามารถบรรลุความจุในการฝังที่สูงกว่าในขณะที่ความบิดเบือนยังคงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานในอดีต

คำสำคัญ : การทดสอบฝังสองครั้งผ่าน (DMT), การฝังข้อมูลแบบกู้คืนกลับได้ (RDH)

E-mail Address : (chaiyaporn.pan@rmutr.ac.th)

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ. 2560 – สิงหาคม พ.ศ. 2561



Abstract

Code of project : INN-๐๕/๒๕๖๑
Project name : A Study to Develop Reversible Data Hiding Based on
DMT 2-bits for Medical Images
Researcher name : Chaiyaporn Panyindee (Dr.)

This research presents a method to embed two bits that can be recovered based on the double modification testing (DMT) technique for medical images. One strategy was used to achieve higher data embedding while producing the same or lower distortion. The small prediction error values can be expanded to hide information (2-bits), which can be utilized significantly. Images with a smooth surface and some areas with high variability, such as medical images, were tested. Another benefit of using DMT 2-bit is that compression tools to reduce the location map size are not necessary. The size of the location map is smaller and can be embedded as part of the payload. The results show that the proposed method can achieve a better capacity to embed while the distortion remains low when compared to previous work.

Keywords: double modification testing (DMT), reversible data hiding (RDH).

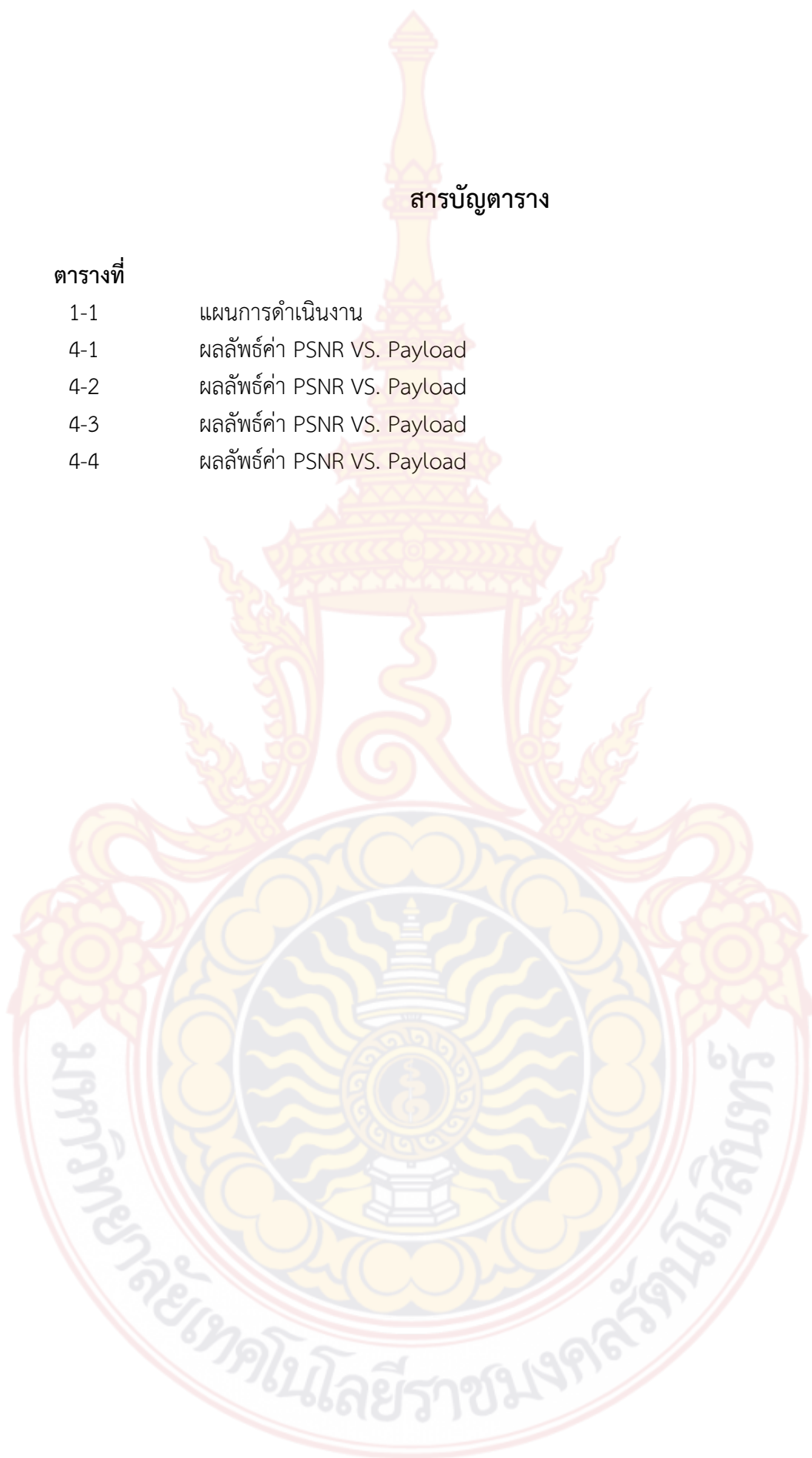
E-mail Address : (chaiyaporn.pan@rmutr.ac.th)
Period of project : October 2017 - August 2018

สารบัญ

	หน้า	
กิตติกรรมประกาศ	ค	
บทคัดย่อภาษาไทย	ง	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ	
สารบัญ	ฉ	
สารบัญตาราง	ช	
สารบัญภาพ	ฌ	
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ที่มา และความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขต	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
	1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2	ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 การเข้ารหัสของอัลกอริทึม [15]	4
	2.2 การถอดรหัสของอัลกอริทึม [15]	5
บทที่ 3	วิธีการที่นำเสนอ	8
บทที่ 4	ผลการวิจัย และผลการวิเคราะห์	11
บทที่ 5	สรุปผล และข้อเสนอแนะ	17
	5.1 สรุปผล	17
	5.2 ปัญหา	17
	5.3 แนวทางการแก้ปัญหา	17
	5.4 การนำไปใช้ประโยชน์/แนวทางการประยุกต์ หรือการพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่น ๆ	17
บรรณานุกรม		18
ประวัติผู้วิจัย		20

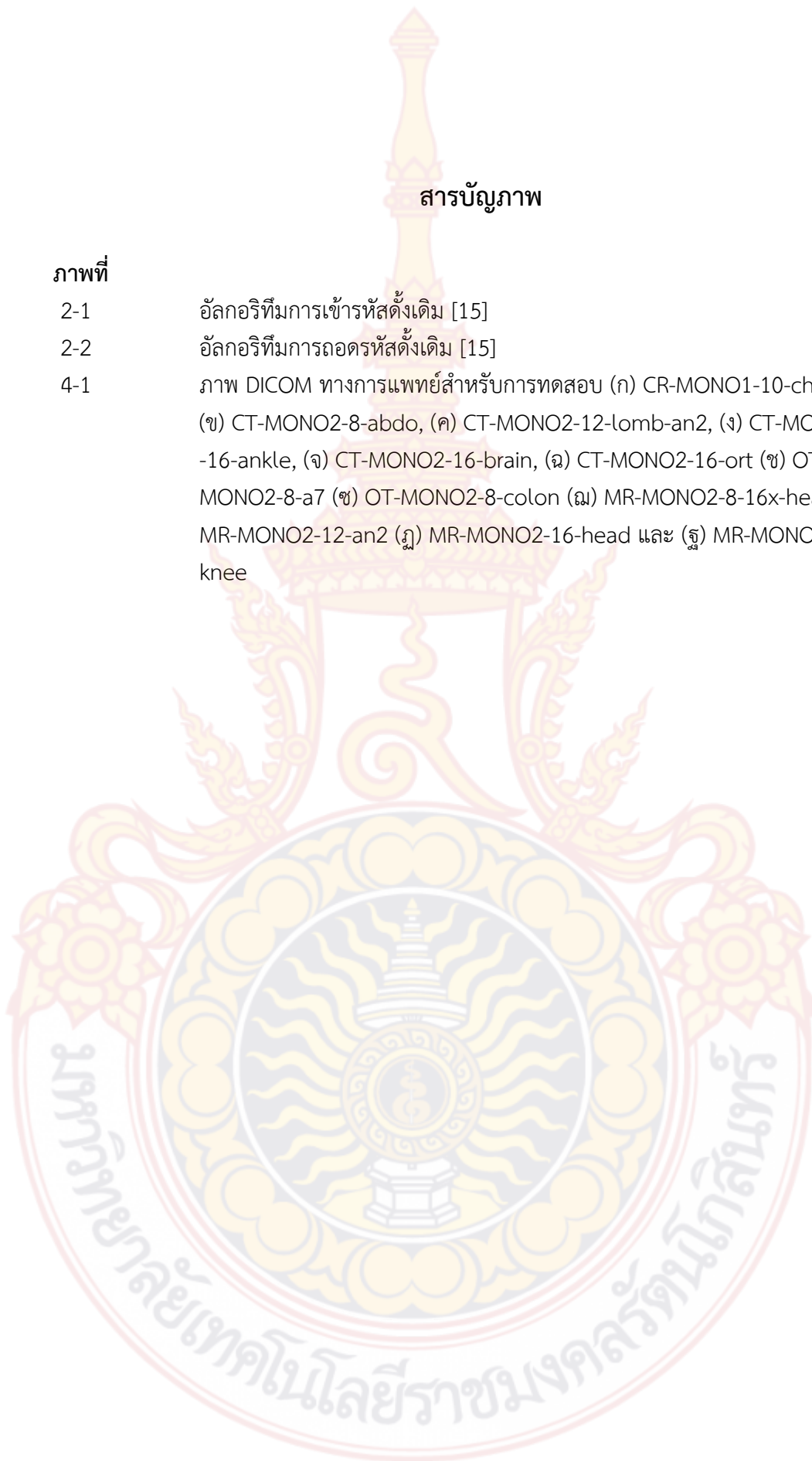
สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แผนการดำเนินงาน	2
4-1	ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload	14
4-2	ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload	14
4-3	ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload	15
4-4	ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload	15



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	อัลกอริทึมการเข้ารหัสดั้งเดิม [15]	4
2-2	อัลกอริทึมการถอดรหัสดั้งเดิม [15]	6
4-1	ภาพ DICOM ทางารแพทย์สำหรับการทดสอบ (ก) CR-MONO1-10-chest, (ข) CT-MONO2-8-abdo, (ค) CT-MONO2-12-lomb-an2, (ง) CT-MONO2-16-ankle, (จ) CT-MONO2-16-brain, (ฉ) CT-MONO2-16-ort (ช) OT-MONO2-8-a7 (ซ) OT-MONO2-8-colon (ฌ) MR-MONO2-8-16x-heart(ญ) MR-MONO2-12-an2 (ฎ) MR-MONO2-16-head และ (ฐ) MR-MONO2-16-knee	13



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

DICOM เป็นมาตรฐานของรูปแบบไฟล์ภาพทางการแพทย์ เช่น CT scan, MRI, CR และ ultrasound เป็นต้น เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนกันได้ระหว่างเครื่องมือทางการแพทย์ที่แตกต่าง การสื่อสารข้อมูลทางการแพทย์ระหว่างผู้ให้บริการกับระบบ telemedicine กำลังเป็นที่นิยม การส่งภาพทางการแพทย์ผ่านเครือข่ายแบบใช้สาย หรือไร้สายเป็นกิจวัตรประจำวันของแพทย์ การส่งภาพทางการแพทย์ และข้อมูลทางการแพทย์ผ่านเครือข่ายทางอินเทอร์เน็ตอาจไม่ปลอดภัย และมีความเสี่ยงต่อการถูกเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต เพื่อป้องกันการเข้าถึงข้อมูลที่ไม่ได้รับอนุญาต เทคนิคการซ่อนข้อมูล (data hiding) [1]-[8] ลงในภาพถูกใช้ อย่างไรก็ตาม เทคนิคการซ่อนข้อมูลแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ปริมาณการฝังที่ต่ำ ภาพที่ถูกฝังข้อมูลลงไปแล้วไม่สามารถกู้คืนภาพต้นฉบับได้ทั้งหมด ซึ่งทางการแพทย์ไม่สามารถยอมรับการสูญเสียดังกล่าวนี้ได้เพราะอาจส่งผลกระทบต่อวินิจฉัย ดังนั้น ปัญหานี้ได้รับการแก้ไขโดยใช้วิธีการฝังข้อมูลแบบกู้คืนกลับได้ (Reversible Data Hiding: RDH) คุณลักษณะสำคัญของ RDH คือภาพต้นฉบับ และข้อมูลที่ถูกฝังสามารถกู้คืนกลับได้ทั้งหมดแบบไม่สูญเสีย

ทศวรรษที่ผ่านมา มีหลายเทคนิคที่ถูกนำเสนอ และพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับ RDH เช่น การขยายค่าความแตกต่าง (DE) [9], การเลื่อนฮิสโตแกรม (HS) [10]-[11], การทำนายข้อผิดพลาดในการขยายตัว (PEE) [12], integer transform [13]-[14] ฯลฯ มีการอ้างอิงจำนวนมากสำหรับอัลกอริธึม [15] ซึ่งรวมหลายเทคนิคเข้าด้วยกันอย่างมีนัยสำคัญ อาทิ PEE, HS, Sorting, DMT เป็นต้น และถูกกล่าวขานถึงการลดขนาดของพื้นที่แมป เครื่องมือในการบีบอัดข้อมูลไม่จำเป็นต้องใช้อีกต่อไป อัลกอริธึมของพวกเขาถูกปรับปรุงในหลายแง่มุมได้แก่ การปรับปรุง ประสิทธิภาพของตัวทำนาย [16] การปรับปรุงเทคนิค Sorting [17] หรือการปรับปรุง HS โดยการโมดิไฟล์ค่าเทรตโฮลด์ [18] เป็นต้น หนึ่งในเทคนิคที่มีส่วนสำคัญของอัลกอริธึมที่ช่วยลดขนาดของพื้นที่แมปอย่างมีนัยสำคัญคือ DMT เทคนิค DMT ถูกใช้สำหรับการทดสอบพิกเซลก่อนการฝัง การทดสอบจะฝังข้อมูลบิตแบบสองครั้งโดยไม่เกิดปัญหา Overflow และ Underflow รายละเอียดจะถูกอธิบายต่อในหัวข้อที่ 3

ในบทความนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษารูปแบบของเทคนิค DMT บนพื้นฐานของอัลกอริธึม [15] ซึ่งใช้ประโยชน์สำหรับการทดสอบพิกเซลที่สามารถฝังได้สองครั้งผ่านโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหา Overflow และ Underflow ในการฝังสองบิต และหนึ่งบิตสำหรับพิกเซลอื่น ๆ เพื่อให้สามารถฝังข้อมูลได้สูงขึ้น ในขณะที่การบิตเบือนยังคงต่ำ ภาพทางการแพทย์ถูกพิจารณาสำหรับการทดสอบ บริเวณพื้นผิวที่ราบเรียบช่วยให้ประสิทธิภาพของการทำนายโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบสี่ทิศทาง และ DMT ที่ถูกโมดิไฟล์สำหรับสองบิตเป็นไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อแก้ปัญหาขั้นตอนวิธี DMT ของกระบวนการฝังข้อมูลแบบกู้คืนกลับได้สำหรับภาพทางการแพทย์

2. เพื่อให้ฝั่งข้อมูลได้มากขึ้น และลดความบิดเบือนให้ต่ำลง

1.3 ขอบเขต

- 1 ศึกษาวิธีการการซ่อน และการกู้คืนกลับของข้อมูลสำหรับภาพทางการแพทย์
- 2 พัฒนา และออกแบบวิธีการการซ่อน และการกู้คืนกลับของข้อมูลสำหรับภาพทางการแพทย์
- 3 ทำการทดสอบวิธีการการซ่อน และการกู้คืนกลับของข้อมูลสำหรับภาพทางการแพทย์ตามขอบเขตที่กำหนดเบื้องต้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขั้นสูง
- 4 วิเคราะห์การทำงานของวิธีการการซ่อน และการกู้คืนกลับของข้อมูลสำหรับภาพทางการแพทย์โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมก่อนหน้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเก็บข้อมูลลับ และกู้คืนกลับได้สำหรับภาพทางการแพทย์
2. สามารถนำไปพัฒนาต่อ และประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินการ

กระบวนการวิจัย	ระยะเวลา											
	ต.	พ.	ธ.	ม.	ก.	มี.	เม.	พ.	มิ.	ก.	ส.	ก.
	ค.	ย.	ค.	ค.	พ.	ค.	ย.	ค.	ย.	ค.	ค.	ย.
	6	6	6	6	6	6	61	6	6	6	6	6
	0	0	0	1	1	1		1	1	1	1	1
1. รวบรวมทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2. วิเคราะห์ปัญหา และสรุปแนวทางการแก้ปัญหา												
2. ออกแบบระบบการเข้ารหัส และถอดรหัส												
4. ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง												
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง												

กระบวนกรวิจัย	ระยะเวลา											
	ต. ค.	พ. ย.	ธ. ค.	ม. ค.	ก. พ.	มี. ค.	เม. ย.	พ. ค.	มิ. ย.	ก. ค.	ส. ค.	ก. ย.
	6 0	6 0	6 0	6 1	6 1	6 1	61	6 1	6 1	6 1	6 1	6 1
6. ปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาด												
7. สรุปผลงานวิจัย												

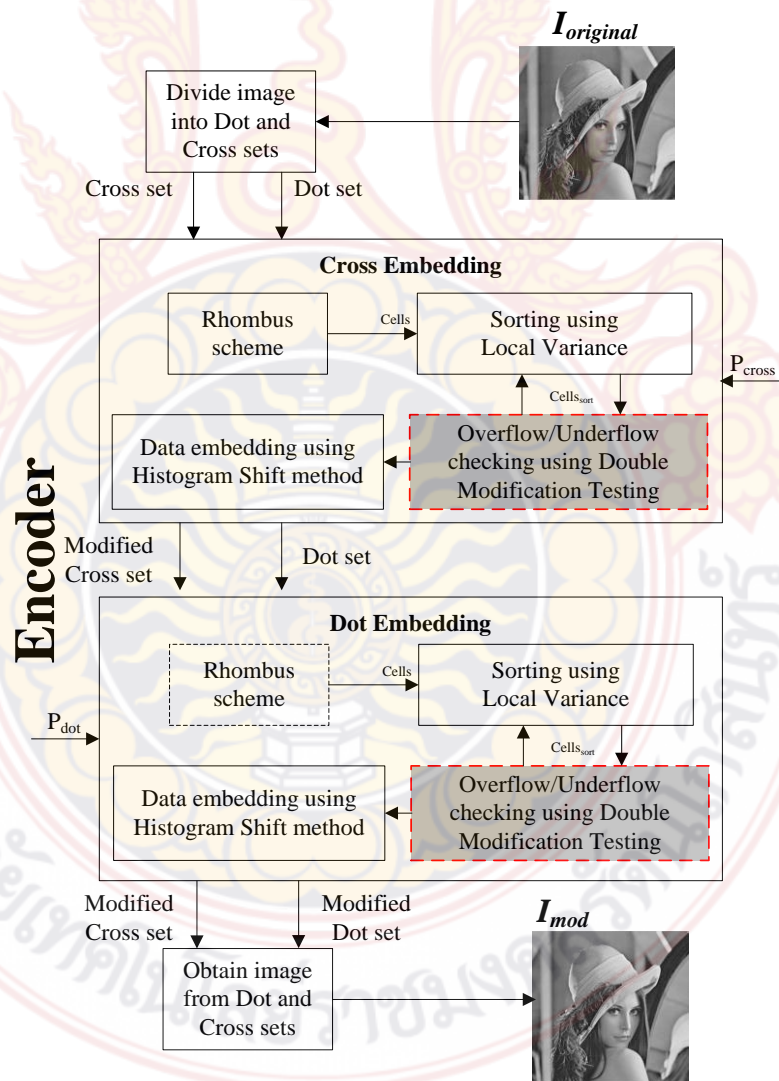


บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเข้ารหัสของอัลกอริทึม [15]

อัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องกับ RDH [15] กระบวนการเข้ารหัสของพวกเขามีขั้นตอนดังรูปที่ 2-1 ภาพต้นฉบับถูกแบ่งออกเป็นสองเซต ประกอบด้วย ครอสเซต และดอทเซต หนึ่งในรูปแบบการทำนายที่สามารถเรียงลำดับพิกเซลได้คือ Rhombus สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$u'_{i,j} = \left\lfloor \frac{v_{i,j+1} + v_{i-1,j} + v_{i,j-1} + v_{i+1,j}}{4} \right\rfloor \quad (1)$$



รูปที่ 2-1 อัลกอริทึมการเข้ารหัสดั้งเดิม [15]

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย $d_{i,j}$ ของเทคนิค PEE [12] ถูกใช้แทนค่าความแตกต่างของเทคนิค DE [9] คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_{i,j} = u_{i,j} - u'_{i,j} \quad (2)$$

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม PEE เทคนิคการเรียงลำดับข้อมูลถูกใช้ดังสมการที่ (3)

$$\mu_{i,j} = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 (\Delta v_k - \Delta \hat{v}_k)^2 \quad (3)$$

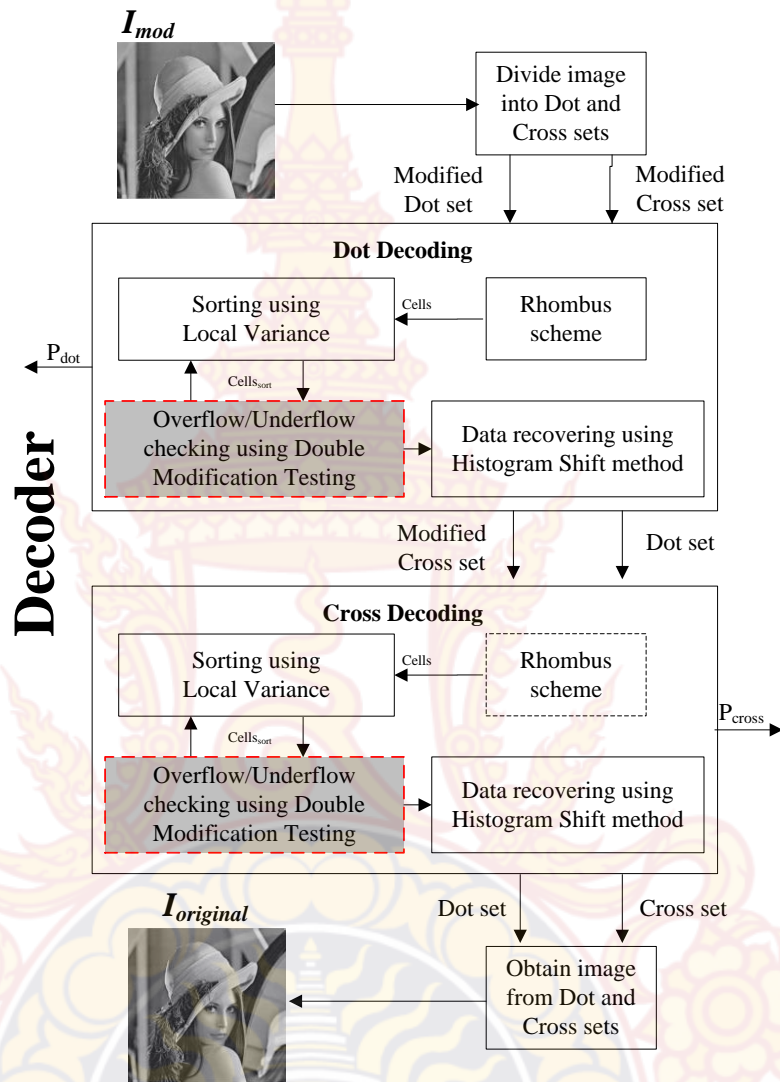
ค่าความแปรปรวน $\mu_{i,j}$ ถูกใช้อย่างมีนัยสำคัญในการจัดเรียงลำดับของพิกเซลก่อนการฝัง สิ่งกีดขวางตำแหน่งสำหรับการทำนายโดยใช้รูปแบบ Rhombus จะสอดคล้องกับตำแหน่งสำหรับการคำนวณค่าความแปรปรวน เพื่อให้การเรียงลำดับมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อทุกพิกเซลถูกจัดเรียงกระบวนการทดสอบพิกเซล DMT จะถูกใช้สำหรับการตรวจสอบสถานะ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป ขั้นตอนสุดท้ายเทคนิค HS จะถูกใช้สำหรับการฝังดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับข้อสังเกต การขยายของค่า t_n และ t_p ตามปริมาณข้อมูลที่ต้องการฝัง การขยายที่ค่า t_n ก่อน มักให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการขยายค่า t_p ในส่วนใหญ่ของภาพมาตรฐานระดับเทา

$$D_{i,j} = \begin{cases} 2d_{i,j} + b & d_{i,j} \in [t_n; t_p] \\ d_{i,j} + t_p + 1 & d_{i,j} > t_n, t_p \geq 0 \\ d_{i,j} + t_n & d_{i,j} > t_n, t_p < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$U_{i,j} = D_{i,j} + u'_{i,j} \quad (5)$$

2.2 การถอดรหัสของอัลกอริทึม [15]

การกู้คืนข้อมูลจะทำย้อนกลับขั้นตอนการเข้ารหัสดังแสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 อัลกอริทึมการถอดรหัสดั้งเดิม [15]

โดยเมื่อได้ภาพที่ผ่านการฝังข้อมูลจะแบ่งภาพออกเป็นครอสเซต และดอทเซตเหมือนกับขั้นตอนการฝัง และทำขั้นตอนการทำนายโดยใช้สมการที่ (1), คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายโดยใช้สมการที่ (2), คำนวณค่าการเรียงลำดับข้อมูลโดยใช้สมการที่ (3), ใช้ DMT สำหรับตรวจสอบพิกเซลและสุดท้ายใช้เทคนิค HS ในการกู้คืนข้อมูล ดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ

$$d_{i,j} = \begin{cases} \lfloor D_{i,j}/2 \rfloor & \text{if } D_{i,j} \in [2t_n; 2t_p + 1] \\ D_{i,j} - t_p - 1 & \text{if } D_{i,j} > 2t_p + 1 \text{ and } t_n \geq 0 \\ D_{i,j} - t_n & \text{if } D_{i,j} < 2t_n \text{ and } t_n < 0 \end{cases} \quad (6)$$

และ

$$b = D_{i,j} \bmod 2, D_{i,j} \in [2T_n; 2T_p + 1] \quad (7)$$

ข้อสังเกต การกู้คืนข้อมูลจะเริ่มจากเขตสุดท้ายที่ทำการฝัง ตัวอย่างเช่น เมื่อฝังในครอสเซต และตามด้วยดอทเซต การกู้คืนจะเริ่มจากดอทเซต และตามด้วยครอสเซต เพื่อให้ลำดับการกู้คืนถูกต้อง



บทที่ 3 วิธีการที่นำเสนอ

DMT หรือที่รู้จักในชื่อ Two-Pass Testing [15], [16] ถูกใช้เพื่อตรวจสอบสถานะของ พิกเซลก่อนการฝัง บางพิกเซลสามารถฝังข้อมูลได้ เช่น พิกเซลที่อยู่ในเซตของ EE และ ES บาง พิกเซลไม่สามารถฝังข้อมูลได้ และต้องเก็บพื้นที่แมป (L) เช่น พิกเซลที่อยู่ในเซตของ E, S, NE และ NS เพื่อรับประกันว่า DMT จะสามารถใช้ได้กับภาพทางการแพทย์ DICOM (8 บิต และ 16 บิต) ในแต่ ละการทดสอบ DMT ต้องได้รับการปรับปรุงตามเงื่อนไขของปัญหา Overflow และ Underflow โดยทั่วไป ค่าเฉลี่ยที่เป็นไปได้ของภาพระดับเทา 8 บิต/พิกเซล ซึ่งค่าพิกเซลเหล่านี้สามารถ ปรับเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง [0; 255] เราสามารถปรับปรุง และเขียนนิยามของ DMT ใหม่ สำหรับการฝัง ข้อมูล และกู้คืนข้อมูลได้ดังนี้

นิยามที่ 1 เซตที่เป็นไปได้สำหรับการฝังข้อมูล:

- $EE(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq 2d_{i,j} + 1 \leq t_p) \wedge (u'_{i,j} + 4d_{i,j} + 3 \leq 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq 2d_{i,j} < 0) \wedge (u'_{i,j} + 4d_{i,j} \geq 0)\}$
- $ES(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq d_{i,j} \leq t_p) \wedge (2d_{i,j} + 1 > t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + t_p + 2 \leq 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq d_{i,j} < 0) \wedge (2d_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + t_n \geq 0)\}$
- $SS(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (d_{i,j} > t_p) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + 2t_p + 2 \leq 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (d_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + 2t_n \geq 0)\}$
- $E(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq 2d_{i,j} + 1 \leq t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + 1 \leq 2^B - 1) \wedge (u'_{i,j} + 4d_{i,j} + 3 > 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (0 \leq d_{i,j} \leq t_p) \wedge (2d_{i,j} + 1 > t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + 1 \leq 2^B - 1) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + t_p + 2 > 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq 2d_{i,j} < 0) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} \geq 0) \wedge (u'_{i,j} + 4d_{i,j} < 0)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq d_{i,j} < 0) \wedge (2d_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} \geq 0) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + t_n < 0)\}$
- $NE(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq d_{i,j} \leq t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} + 1 > 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq d_{i,j} < 0) \wedge (u'_{i,j} + 2d_{i,j} < 0)\}$
- $S(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (d_{i,j} > t_p) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + t_p + 1 \leq 2^B - 1) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + 2t_p + 2 > 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (d_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + t_n \geq 0) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + 2t_n < 0)\}$
- $NS(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (d_{i,j} > t_p) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + t_p + 1 > 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (d_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + d_{i,j} + t_n < 0)\}$

นิยามที่ 2 เซตที่เป็นไปได้สำหรับการกู้คืนข้อมูล:

- $EE(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq D_{i,j} \leq t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2D_{i,j} + 1 \leq 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq D_{i,j} < 0) \wedge (u'_{i,j} + 2D_{i,j} \geq 0)\}$
- $ES(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (t_p < D_{i,j} \leq 2t_p + 1) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_p + 1 \leq 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (2t_n \leq D_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_n \geq 0)\}$
- $SS(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (D_{i,j} > 2t_p + 1) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_p + 1 \leq 2^B - 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (D_{i,j} < 2t_n) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_n \geq 0)\}$
- $E(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq D_{i,j} \leq t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2D_{i,j} + 1 > 2^B - 1) \wedge (L_{i,j} = 0)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_p < D_{i,j} \leq 2t_p + 1) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_p + 1 > 2^B - 1) \wedge (L_{i,j} = 0)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq D_{i,j} < 0) \wedge (u'_{i,j} + 2D_{i,j} < 0) \wedge (L_{i,j} = 0)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (2t_n \leq D_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_n < 0) \wedge (L_{i,j} = 0)\}$
- $NE(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (0 \leq D_{i,j} \leq t_p) \wedge (u'_{i,j} + 2D_{i,j} + 1 > 2^B - 1) \wedge (L_{i,j} = 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (t_n \leq D_{i,j} < 0) \wedge (u'_{i,j} + 2D_{i,j} < 0) \wedge (L_{i,j} = 1)\}$
- $S(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (D_{i,j} > 2t_p + 1) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_p + 1 > 2^B - 1) \wedge (L_{i,j} = 0)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (D_{i,j} < 2t_n) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_n < 0) \wedge (L_{i,j} = 0)\}$
- $NS(t_p, t_n) \in \{(i, j) \in J \mid (D_{i,j} > t_p) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_p + 1 > 2^B - 1) \wedge (L_{i,j} = 1)\} \cup \{(i, j) \in J \mid (D_{i,j} < t_n) \wedge (u'_{i,j} + D_{i,j} + t_n < 0) \wedge (L_{i,j} = 1)\}$

สังเกตค่าสูงสุดคือ $2B-1$ ตามความลึกของบิตภาพ สองเซตสำหรับการตรวจสอบสถานะของพิกเซล (EE และ ES) ซึ่งถูกใช้สำหรับการฝัง 1 บิต โดยเทคนิค HS ตาม [11]-[12] เซตเหล่านี้สามารถปรับเปลี่ยนได้สองครั้งโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหา Overflow และ Underflow อีกหนึ่งเซตคือ SS ถูกใช้สำหรับการเลื่อนข้อมูลเพื่อไม่ให้ไปซ้อนทับกับพื้นที่ในการฝัง [12] ทั้งสามเซตจากที่กล่าวข้างต้นสามารถปรับเปลี่ยนได้สองครั้งโดยไม่ต้องเก็บแมป (L) ในเซตที่มีปัญหาและต้องเก็บพื้นที่แมปประกอบด้วย E, NE, S และ NS รายละเอียดเพิ่มเติม และเหตุผลที่ไม่ใช้เซต E ในการฝังสามารถอ่านได้ใน [16]

หนึ่งกลยุทธ์ถูกพิจารณาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฝัง พิจารณาพิกเซลที่ถูกตรวจสอบก่อนหน้าโดย DMT กรณีที่อยู่ในเซต EE พิกเซลที่สามารถฝังได้สองครั้งโดยไม่เกิดปัญหา underflow และ overflow ส่วนใหญ่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายเป็นศูนย์ ($d = 0$) ซึ่งอีกนัยหนึ่งพิกเซลรอบข้างที่ใช้ในการทำนาย หายได้ถูกต้องดังสมการที่ (2) การทำนายโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากสี่ตำแหน่งรอบข้างที่ปรากฏในสมการที่ (1) มีนัยสำคัญต่อพิกเซลที่มีความราบเรียบ หรือในความหมายอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงช้า ๆ ของค่าเฉลี่ยในบริเวณที่ติดกัน ซึ่งภาพทางการแพทย์ส่วนใหญ่เป็นเช่นนั้น ผู้วิจัยจึงได้โมดิไฟล์ DMT เพิ่มอีกสองเซตโดยทดสอบการฝังในครั้งที่สาม (EEE) และทดสอบการเลื่อน

(EES) เพื่อให้แน่ใจว่าพิกเซลเหล่านี้สามารถฝังข้อมูลได้ 2 บิต โดยสามารถกู้คืนกลับได้ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหา underflow และ overflow แสดงตัวอย่าง EEE และ EES ดังนี้

เซต EEE $tp = 3; u = 65528; u' = 65528;$

$d = 0, d < tp; U = u' + D$

$$= 65528 + 2(0) + 1 = 65529$$

(ทดสอบฝังข้อมูลในรอบที่ 1 ผ่าน)

$(D = 1) < tp; U = u' + 2D + 1$

$$= 65528 + 2 + 1 = 65531$$

(ทดสอบฝังข้อมูลในรอบที่ 2 ผ่าน)

$(D = 3) = tp; U = u' + 2D + 1$

$$= 65528 + 6 + 1 = 65535$$

(ทดสอบฝังข้อมูลในรอบที่ 3 ผ่าน)

เซต EES $tp = 2; u = 65528; u' = 65528;$

$d = 0, d < tp; U = u' + D$

$$= 65528 + 2(0) + 1 = 65529$$

(ทดสอบฝังข้อมูลในรอบที่ 1 ผ่าน)

$(D = 1) < tp; U = u' + 2D + 1$

$$= 65528 + 2 + 1 = 65531$$

(ทดสอบฝังข้อมูลในรอบที่ 2 ผ่าน)

$(D = 3) > tp; U = u' + D + tp + 1$

$$= 65528 + 3 + 2 + 1 = 65534$$

(ทดสอบเลื่อนข้อมูลในรอบที่ 1 ผ่าน)

อย่างไรก็ตาม เซต EE และ ES ยังคงถูกใช้สำหรับการซ่อน 1 บิต สำหรับเซต SS, E, S, NE และ NS ยังคงอยู่บนพื้นฐาน DMT [16] ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายทั้งหมดถูกตรวจสอบตามนิยามของ DMT ร่วมกับสองเซตใหม่ EEE และ EES การคำนวณใหม่สำหรับการฝังจะใช้สมการที่ (8) และ (5) ดังนี้

$$D_{i,j} = \begin{cases} 4d_{i,j} + b_1 & \text{if } (i, j) \in EEE \cup EES \\ 2d_{i,j} + b_2 & \text{if } (i, j) \in EE \cup ES \\ 2d_{i,j} + \begin{cases} 0 & \text{if } (i, j) \in E \wedge d_{i,j} < 0 \\ 1 & \text{if } (i, j) \in E \wedge d_{i,j} \geq 0 \end{cases} & \\ d_{i,j} + \begin{cases} t_n & \text{if } (i, j) \in SS \cup S \wedge d_{i,j} < 0 \\ t_p + 1 & \text{if } (i, j) \in SS \cup S \wedge d_{i,j} \geq 0 \end{cases} & \\ d_{i,j} & \text{if } (i, j) \in NE \cup NS \end{cases} \quad (8)$$

โดยที่ $b_1 \in \{0, 1, 2, 3\}$ แสดงถึงค่าของสองบิตที่เป็นไปได้ $b_2 \in \{0, 1\}$ แสดงถึงค่าหนึ่งบิตที่เป็นไปได้ สถานะของเซตที่ต้องเก็บพื้นที่แมป (L) สามารถสร้างได้โดยใช้สมการดังนี้

$$L_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{if } (i, j) \in E \cup S \\ 1 & \text{if } (i, j) \in NE \cup NS \\ \text{undefined} & \text{if } (i, j) \in EE \cup ES \cup SS \end{cases} \quad (9)$$

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายต้นฉบับสามารถกู้คืนได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$d_{i,j} = \begin{cases} \lfloor D_{i,j} / 4 \rfloor & \text{if } (i, j) \in EEE \cup EES \\ \lfloor D_{i,j} / 2 \rfloor & \text{if } (i, j) \in EE \cup ES \cup E \\ D_{i,j} - \begin{cases} t_n & \text{if } (i, j) \in SS \cup S \wedge D_{i,j} < 0 \\ t_p + 1 & \text{if } (i, j) \in SS \cup S \wedge D_{i,j} \geq 0 \end{cases} & \\ D_{i,j} & \text{if } (i, j) \in NE \cup NS \end{cases} \quad (10)$$

บิตข้อมูลที่ถูกลบ (b1 และ b2) ถูกกู้คืนโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

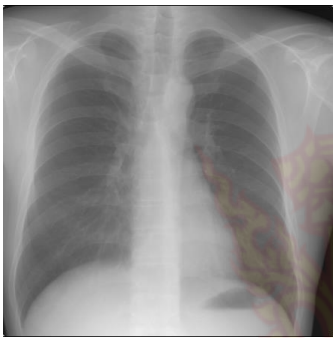
$$b_1 = D_{i,j} \bmod 4, \text{ if } (i, j) \in EEE, EES \text{ และ}$$

$$b_2 = D_{i,j} \bmod 2, \text{ if } (i, j) \in EE, ES \quad (11)$$

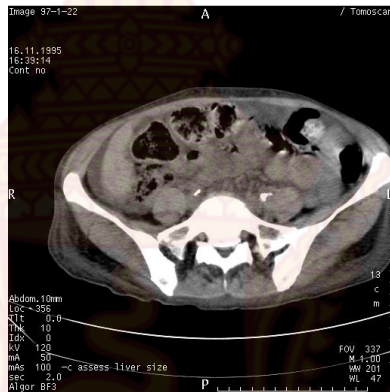
สำหรับการกู้คืนข้อมูลกลับตามรูปแบบโครงสร้างการฝัง Cross-Dot embedding [15] หรือแบ่งภาพเป็นสองเรย์เยอร์สำหรับการฝัง กล่าวคือ เมื่อฝังเรย์เยอร์ใดเรย์เยอร์หนึ่งเสร็จ เรย์เยอร์ที่สองจะถูกฝังต่อ สังเกตว่า การฝังในเรย์เยอร์ที่หนึ่งจะไม่กระทบเรย์เยอร์ที่สองทำให้สามารถกู้คืนต้นฉบับกลับได้ เพื่อให้การกู้คืนข้อมูลถูกต้อง เรย์เยอร์ที่สองต้องถูกกู้คืนข้อมูลก่อน สำหรับพารามิเตอร์ในการกู้คืนข้อมูลควรถูกส่งไปพร้อมกับภาพต้นฉบับ ข้อมูลชุดนี้เรียกว่าเฮดเดอร์ไฟล์ ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ 34 บิตเซลแรกในภาพ ซึ่งแยกเป็น 7 บิตสำหรับค่า t_n อีก 7 บิตสำหรับค่า t_p และ 20 บิตสำหรับขนาดของเพย์โหลด ค่า LSB ต้นฉบับทั้ง 34 ตำแหน่งแรกที่ถูกถอดออกจะถูกรวมไปพร้อมกับเพย์โหลดที่ต้องการฝัง ขนาดของเฮดเดอร์ไฟล์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 4 ผลการวิจัย และผลการวิเคราะห์

ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ผู้วิจัยทดสอบกับภาพ DICOM ทาง
การแพทย์ที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 4-1 (ก)-(ฐ)



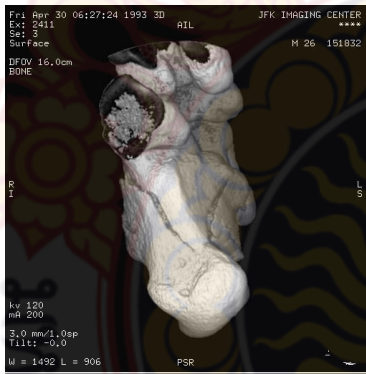
(ก)



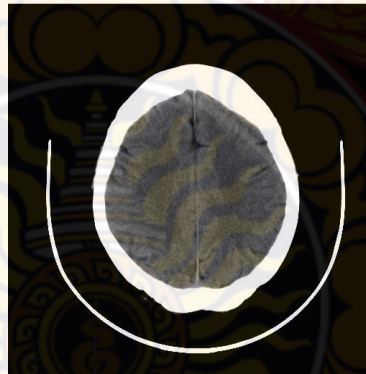
(ข)



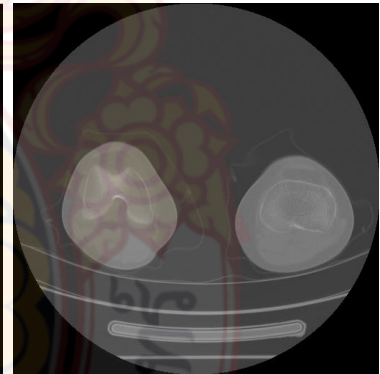
(ค)



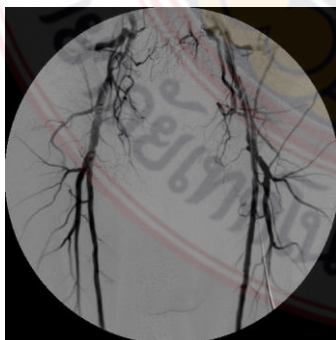
(ง)



(จ)



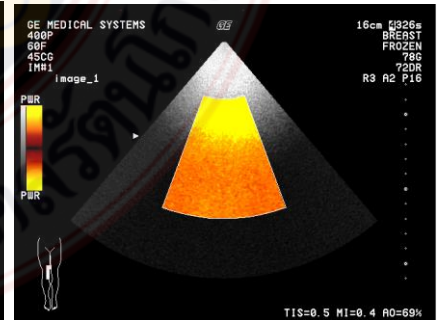
(ฉ)



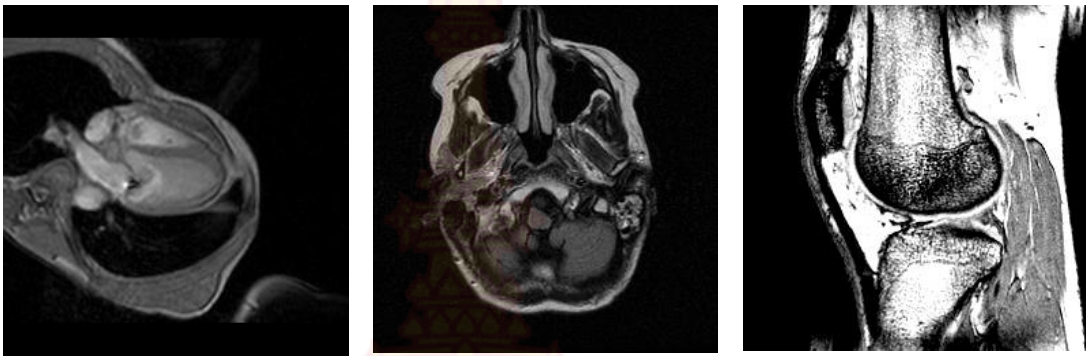
(ช)



(ซ)



(ฐ)



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4-1 ภาพ DICOM ทางการแพทย์สำหรับการทดสอบ (ก) CR-MONO1-10-chest, (ข) CT-MONO2-8-abdo, (ค) CT-MONO2-12-lomb-an2, (ง) CT-MONO2-16-ankle, (จ) CT-MONO2-16-brain, (ฉ) CT-MONO2-16-ort (ช) OT-MONO2-8-a7 (ซ) OT-MONO2-8-colon (ฌ) MR-MONO2-8-16x-heart(ญ) MR-MONO2-12-an2 (ฎ) MR-MONO2-16-head และ (ฐ) MR-MONO2-16-knee

ภาพเหล่านี้สามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://www.barre.nom.fr/medical/samples/> คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ MacBook Pro with Retina display ร่วมกับ Intel(R) Core(TM) i7-3720QM CPU @ 2.60 GHz, 8 GB memory ประมวลผลผ่านระบบปฏิบัติการ Windows 7 (64-bit) และโปรแกรม Matlab (version R2009a) บิตในการทดสอบเป็นแบบสุ่มถูกเรียงเป็นแถวสำหรับการฝัง เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ อัตราส่วนของสัญญาณสูงสุดต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR) ถูกใช้คำนวณดังนี้

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(2^B - 1)^2}{MSE} \right) \quad (12)$$

โดยที่ B คือ ระดับความลึกของบิตเฉดสีที่เป็นไปได้ กรณีที่เป็น 16 บิต ค่าเฉดสีสูงสุดของพิกเซลคือ 65535 MSE คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) คำนวณได้จากผลต่างของพิกเซลของภาพต้นฉบับกับพิกเซลที่ถูกฝัง ตามลำดับ

สำหรับการทดสอบ ผู้วิจัยแบ่งการฝังข้อมูลบิตเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกประกอบไปด้วยภาพ (ก)-(ฌ) ปรากฏอยู่ในตาราง 1-3 ค่าบิตเริ่มต้นสำหรับการฝังอยู่ที่ 10,000 บิต และเพิ่มขึ้นจนถึง 300,000 บิต กลุ่มที่สองประกอบด้วยภาพ (ญ)-(ฐ) เริ่มต้นการฝังที่ 1,000 บิต จนถึง 30,000 บิต ผลลัพธ์ทั้งหมดของวิธีการที่เสนอถูกเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมดั้งเดิม [15] ดังแสดงในตารางที่ 1-4 ค่า PSNR ที่ได้รับสูงกว่างานดั้งเดิม ในขณะที่ขนาดของการฝังสูงขึ้น พิกเซลส่วนใหญ่ของภาพทางการแพทย์ที่ทดสอบมีความราบเรียบ ดังนั้น สถานะส่วนใหญ่ของพิกเซลในภาพเหล่านี้คือ EEE และ EES การฝังสองบิตบรรลุความบิดเบือนที่ต่ำกว่าปริมาณการฝังที่สูงขึ้น สังเกต ภาพ (ข) และ (จ) มี

พื้นที่ส่วนใหญ่เข้าใกล้ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ส่งผลให้เกิดปัญหา Overflow ซึ่งไม่สามารถฝังข้อมูลลงในพื้นที่เหล่านี้ได้ และต้องเก็บแมป ในภาพ (ซ) และ (ฐ) มีลักษณะพื้นที่พิกเซลที่มีความแปรปรวนสูง ซึ่งให้ค่าการทำนายที่ถูกต้อง ($d = 0$) น้อยกว่าภาพอื่น ๆ การฝังข้อมูลลงในพิกเซลที่มีความผิดพลาดจากการทำนายขนาดใหญ่มักก่อให้เกิดปัญหา Overflow และ Underflow เช่นเดียวกัน และต้องเก็บพื้นที่แมป ข้อเท็จจริงจากการทดลอง ผู้วิจัยพบว่า การขยายระดับของเฉดสี เช่น จากภาพระดับเทา 8 บิต ขยายเป็น 12 บิต หรือ 16 บิต ก็จะมีปัญหา Overflow และ Underflow เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม กลยุทธ์การฝังสองบิตควรสงวนไว้สำหรับภาพที่มีความราบเรียบ หรือที่มี ค่า $d = 0$ จำนวนสูง ๆ กรณีที่ภาพมีความแปรปรวนสูงแนะนำให้ใช้ตัวทำนายแบบปรับเปลี่ยนได้ตามลักษณะของภาพ และขนาดของการฝัง

ตารางที่ 4-1 ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload

Payload (bits)	PSNR (dB)					
	CR-MONO1-10-chest (440x440x16)		CT-MONO2-8-abdo (512x512x8)		CT-MONO2-12-lomb-an2(512x512x16)	
	[15]	proposed	[15]	proposed	[15]	proposed
10,000	61.965	63.948	64.069	65.176	63.563	64.832
30,000	57.018	59.098	58.977	59.658	58.814	60.005
50,000	54.669	56.713	56.162	56.474	56.515	57.944
90,000	51.989	54.149	47.011	52.858	54.059	55.365
120,000	50.602	52.876	-	-	52.867	54.179
150,000	48.255	51.843	-	-	51.921	53.233
170,000	47.563	51.274	-	-	51.380	52.676
190,000	46.334	50.704	-	-	50.884	52.213
200,000	-	49.778	-	-	49.933	51.980
220,000	-	49.110	-	-	49.531	51.589
250,000	-	-	-	-	48.719	51.017
300,000	-	-	-	-	-	49.451

ตารางที่ 4-2 ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload

Payload (bits)	PSNR (dB)					
	CT-MONO2-16-ankle (512x512x16)		CT-MONO2-16-brain (512x512x16)		CT-MONO2-16-ort (512x512x16)	
	[15]	proposed	[15]	proposed	[15]	proposed
10,000	65.118	66.168	64.291	65.190	63.692	65.033
30,000	60.445	61.338	58.343	59.014	58.216	59.769

50,000	58.276	59.130	55.295	56.046	55.275	57.412
90,000	55.670	56.561	49.708	53.987	52.282	54.455
120,000	54.477	55.320	-	-	49.784	53.377
150,000	53.509	54.356	-	-	47.909	52.258
170,000	52.980	53.803	-	-	46.558	50.892
190,000	52.050	53.307	-	-	-	50.266
200,000	50.923	53.085	-	-	-	49.755
220,000	47.638	52.468	-	-	-	-
250,000	-	49.368	-	-	-	-
300,000	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4-3 ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload

Payload (bits)	PSNR (dB)					
	OT-MONO2-8-a7 (512x512x8)		OT-MONO2-8-colon (512x512x8)		US-RGB-8-epicard-1 (640x480x8)	
	[15]	proposed	[15]	proposed	[15]	proposed
10,000	63.753	64.910	63.898	65.157	66.213	66.993
30,000	58.007	59.209	58.430	59.415	61.461	62.242
50,000	50.308	55.997	53.759	56.905	59.281	59.974
90,000	43.678	50.680	43.253	50.075	55.924	56.582
120,000	41.128	48.870	40.183	47.477	54.668	55.374
150,000	39.009	46.764	-	44.937	53.617	54.365
170,000	37.741	45.583	-	42.834	51.569	53.841
190,000	-	44.385	-	-	-	52.655
200,000	-	43.789	-	-	-	51.678
220,000	-	-	-	-	-	-
250,000	-	-	-	-	-	-
300,000	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4-4 ผลลัพธ์ค่า PSNR VS. Payload

Payload (bits)	PSNR (dB)					
	MR-MONO2-8-16x- heart (256x256x16)		MR-MONO2-16-head (256x256x16)		MR-MONO2-16-knee (256x256x16)	
	[15]	proposed	[15]	proposed	[15]	proposed
1,000	67.813	69.907	53.462	65.939	68.247	69.763

3,000	62.997	64.909	51.377	60.868	63.431	65.159
5,000	60.788	62.952	49.543	58.776	57.768	62.831
9,000	57.780	59.681	47.359	56.221	-	57.513
12,000	56.568	58.201	40.390	55.028	-	43.412
15,000	50.052		38.704	54.104	-	41.209
17,000	48.083	56.872	37.495	53.622	-	39.285
19,000	46.136	54.511	-	53.145	-	36.123
20,000	45.400	53.996	-	52.933	-	-
22,000	43.447	53.130	-	52.502	-	-
25,000	-	51.210	-	51.879	-	-
30,000	-	48.768	-	50.572	-	-



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผล และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ของโครงการ โดยแบ่งออกเป็นสรุปผล ปัญหา แนวทางการแก้ปัญหา การนำไปใช้ประโยชน์/แนวทางการประยุกต์ใช้ และการพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่น ๆ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอหนึ่งกลยุทธ์ใหม่สำหรับการฝังสองบิตบนพื้นฐานของเทคนิค DMT โดยมุ่งเน้นภาพ DICOM ทางการแพทย์ DMT ถูกโมดิไฟล์เพิ่มเติมอีกสองสถานะ EEE และ EES สำหรับการฝังสองบิตที่เป็นไปได้ บริเวณพิกเซลที่ราบเรียบถูกใช้ประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญสำหรับการฝังควบคู่ไปกับตัวทำนายค่าเฉลี่ยแบบสี่ทิศทางทำให้การทำนายส่วนใหญ่ถูกต้อง พื้นที่แมปไม่ถูกใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพย์โหลดที่มีขนาดเล็ก

5.2 ปัญหา

ในการทดสอบการฝังข้อมูลพบว่า การเพิ่มเซต EEE และ EES จากเดิมสี่เซตกลายเป็นสิบหกเซต ส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการประมวลผลที่สูงขึ้น ในขณะที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น การขยายเซตจากเดิมยังคงส่งผลต่อค่า t_n และ t_p ที่ไกลออกไปถึงแม้ผลลัพธ์ขนาดฝังจะดีขึ้นก็ตาม แต่ความบิดเบือนหลังการฝังจะสูงขึ้นตามการปรับ t_n และ t_p

5.3 แนวทางการแก้ปัญหา

การควบคุมค่าที่เหมาะสมสำหรับ t_n และ t_p น่าจะเป็นทางออกของการแก้ปัญหาความบิดเบือนที่สูงขึ้น รวมถึงระยะเวลาในการประมวลผล เส้นทางของการปรับ t_n และ t_p ควรถูกสำรวจสำหรับเส้นทางที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

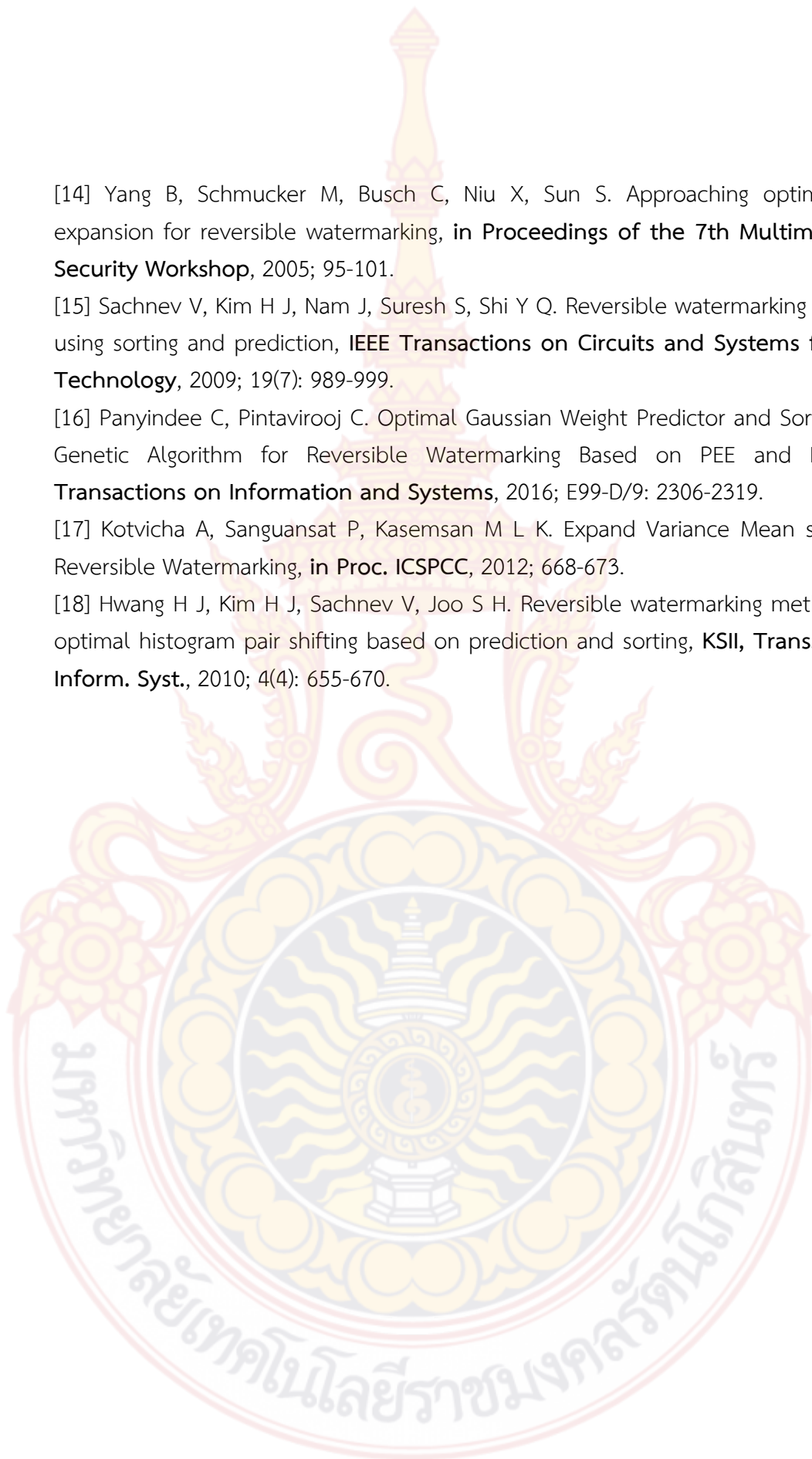
5.4 การนำไปใช้ประโยชน์/แนวทางการประยุกต์ หรือการพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่น ๆ

สามารถนำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับภาพทั่วไปในการอำพราง หรือซ่อนข้อมูลที่ไม่ต้องการเปิดเผย และงานทางการทหารที่ต้องการอำพรางข้อมูลที่เป็นความลับ รวมไปถึงข้อมูลที่มีลักษณะเป็นดิจิทัลสองมิติสามารถนำไปใช้งานร่วมกันได้

บรรณานุกรม

- [1] Tirkel A Z, Rankin G A, van Schyndel R M, Ho W J, Mee N R A, Osborne C F. Electronic water mark, in **Digital Image Computing, Technology and Applications (DICTA'93)**. Sidney, Australia, 1993; 666-673.
- [2] Caronni G. Assuring ownership rights for digital images, in **Proc. Reliable IT Systems**, VIS 95, Germany, 1995.
- [3] Cox I J, Kilian J, Leighton T, Shamoon T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia, **IEEE Trans. Image Processing**, 1997; 6: 1673-1687.
- [4] Augot D, Boucqueau J M, Delaigle J F, Fontaine C, Goray E. Secure delivery of images over open networks, **Proc. IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information**, 1999; 87: 1251-1266.
- [5] Langelaar G C, Setyawan I, Lagendijk R L. Watermarking digital image and video data: A state-of-the-art overview, **IEEE Signal Processing Mag.**, 2000; 17(5): 20-46.
- [6] Fridrich J. Image watermarking for tamper detection, in **Proc. ICIP'98**, Chicago, IL, 1998; 409-413.
- [7] Kundur D, Hatzinakos D. Digital watermarking for telltale tamper proofing and authentication, **Proc. IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information**, 1999; 87: 1167-1180.
- [8] Yeung M M, Mintzer F. Invisible watermarking for image verification, **J. Electron. Imag.**, 1998; 7(3): 578-591.
- [9] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion, **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, 2003; 13(8): 890-896.
- [10] Ni Z, Shi Y Q, Ansari N, Su W, Sun Q, Lin X. Robust lossless image data hiding, in **Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME '04)**, 2004; 3: 2199-2202.
- [11] Thodi D M, Rodriguez J J. Reversible watermarking by prediction-error expansion, in **Proceedings of the 6th IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation**, 2004.
- [12] Thodi D M, Rodríguez J J. Expansion embedding techniques for reversible watermarking, **Image Processing, IEEE Transactions on Image Processing**, 2007; 16:721-730.
- [13] Yang B, Schmucker M, Funk W, Busch C, Sun S. Integer DCT-based reversible watermarking for images using companding technique, in **Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI, Proceedings of SPIE**, 2004; 5306: 405-415.

- [14] Yang B, Schmucker M, Busch C, Niu X, Sun S. Approaching optimal value expansion for reversible watermarking, in **Proceedings of the 7th Multimedia and Security Workshop**, 2005; 95-101.
- [15] Sachnev V, Kim H J, Nam J, Suresh S, Shi Y Q. Reversible watermarking algorithm using sorting and prediction, **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, 2009; 19(7): 989-999.
- [16] Panyindee C, Pintavirooj C. Optimal Gaussian Weight Predictor and Sorting Using Genetic Algorithm for Reversible Watermarking Based on PEE and HS, **IEICE Transactions on Information and Systems**, 2016; E99-D/9: 2306-2319.
- [17] Kotvicha A, Sanguansat P, Kasemsan M L K. Expand Variance Mean sorting for Reversible Watermarking, in **Proc. ICSPCC**, 2012; 668-673.
- [18] Hwang H J, Kim H J, Sachnev V, Joo S H. Reversible watermarking method using optimal histogram pair shifting based on prediction and sorting, **KSII, Trans. Internet Inform. Syst.**, 2010; 4(4): 655-670.





ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ สกุล ดร.ชัยพร ปานยินดี

2. ตำแหน่งปัจจุบัน หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อําเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 0-28894585-7
โทรศัพท์มือถือ 081-2850997
โทรสาร 0-28894585-7 7
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
chaiyaporn.pan@gmail.com, chaiyaporn.pan@rmutr.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2559
ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หลักสูตรวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปี พ.ศ.2552
ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หลักสูตรครุศาสตร์
อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2550

5. สาขาวิชาการที่มีคามชำนาญพิเศษ

Image processing, information hiding

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

- C. Panyindee and W. Chiracharit, “Detection of Lung Tumors in Chest PET/CT images Mapping”, Proceedings of The 2th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON-2008), Bangkok, Thailand, Nov 10-11, 2008.

- C. Panyindee and W. Chiracharit, “Registration of Lung Tumors in Chest PET/CT Images”, Proceedings of International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC 2009), Siam City Hotel, Bangkok, Thailand, January 22-23, 2009.

- 
- **C. Panyindee**, P. Tosranon and C. Pintavirooj, “Robustness of Geodesics to Affine Transformation”, Proceedings of The 4th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2011), Chiang Mai, Thailand, Nov 9-11, 2011.
 - **C. Panyindee** and C. Pintavirooj, “Reversible Watermarking Algorithm in Application for Medical Images”, Proceedings of The 5th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2012), Sunee Grand Hotel, Ubon Ratchathani, Thailand and Champasak, Laos, Dec 5-7, 2012.
 - **C. Panyindee** and C. Pintavirooj, “Reversible Watermarking Using Gaussian Weight Prediction and Genetic Algorithm”, Proceedings of The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMAC2013), The Royal Garden Hotel, Kowloon, Hong Kong, vol.1, pp. 457-461, Mar. 2013.
 - **C. Panyindee** and C. Pintavirooj, “Optimizations Using the Genetic Algorithm for Reversible Watermarking”, Proceedings of The 4th Annual International Conference of the Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology Association (ECTI-CON'13), Kribi, Thailand, pp. 1-5, May 15-17, 2013.
 - **C. Panyindee** and C. Pintavirooj, “QR Codes Application for Reversible Watermarking Algorithm in Biomedical Images”, Proceedings of The 6th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2013), Kribi, Thailand, pp. 155, Oct 23-25, 2013.
 - **C. Panyindee**, “DMT-Based Reversible Watermarking for CT Images”, Proceedings of The 7th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2015), Pattaya, Thailand, Oct 25-27, 2015.
 - **C. Panyindee**, “Appropriate Variance Mean for Sorting Based on a Reversible Watermarking Algorithm”, Proceedings of The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMAC2016), The Royal Garden Hotel, Kowloon, Hong Kong, vol.1, Mar. 2016.