รหัสโครงการ SUT 7-709-58-12-29

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพสี (Design and Development of Digital Watermarking for Color Images)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 7-709-58-12-29

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพสี (Design and Development of Digital Watermarking for Color Images)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2558

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเกริกฤทธิ์ ศรีเคนและนายธีระภัทร เจริญปรุ นักศึกษาปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ช่วยงานวิจัย เก็บข้อมูลการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอ การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของการแปลงเวฟเล็ต เพื่อให้สัญญาณลายน้ำมีความยากลำบากต่อการสังเกตผู้วิจัยได้ทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณภาพแบบหลายระดับความละเอียด ในการออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลดังกล่าวผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยเทคนิคการควอนไทล์ (Quantization technique) โดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอวิธีการออปติไมซ์เซชัน (Optimization) ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์แทนวิธีการดั้งเดิมโดยได้เลือกใช้จีนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ Q-Step สำหรับขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบดีขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ ผู้วิจัยได้แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในด้านคุณภาพด้วยการคำนวณหาค่า PSNR (Peak signal to noise ratio) ในขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำและการคำนวณค่า BER (Bit error rate) ในการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ ผลการทดสอบการทำงานที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอทั้งในด้านคุณภาพและความทนทานต่อการโจมตีของสัญญาณลายน้ำได้มีการนำเสนอไว้แล้วในรายงานฉบับนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

This research project presents a digital image watermarking algorithm in the wavelet transform domain. In order to make the watermarked signal invisible, the watermark is embedded into low frequency part of the image by taking advantage of multi-resolution characteristic of discrete wavelet transform. The embedding technique is based on quantization technique which does not require the original image in the watermark extraction process. In our optimization process, we use genetic algorithm searching for optimal parameter which is the quantization step. This parameter is optimally varied to achieve the most suitable for original image with different characteristics. In addition, we analyze the performance of the proposed algorithm in terms of peak-signal-to-noise ratio and bit error rate. The experimental results show that the proposed scheme can achieve a good robustness against most of the attacks which were included in this study.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

กิตติกรรมประกาศ ..... **ก**

บทคัดย่อ ..... **ข**

Abstract ..... **ค**

สารบัญ ..... **ง**

สารบัญตาราง ..... **ฉ**

สารบัญรูป ..... **ช**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยและสถานที่วิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง **4**

2.1 บทนำ 4

2.2 หลักการสำคัญในการออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล 4

2.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล 5

2.2.2 สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิตอล 6

2.2.3 เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล 7

2.3 จีนเนติกอัลกอริทึม 8

2.3.1 วัฏจักรของจีนเนติกอัลกอริทึม 8

2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของ GA 10

2.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม 11

2.3.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 11

2.3.5 ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม 12

2.4 สรุป 13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย 14

3.1 บทนำ 14

3.2 การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต 14

3.2.1 การฝังสัญญาณลายน้ำ 14

3.2.2 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ 16

3.2.3 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11) 13

3.2.4 การทดสอบวงจรเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน 15

3.2.5 การทดสอบวงจรเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง 16

3.2.6 การทดสอบการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 17

3.3 **การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์** 17

3.3.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล 18

3.3.2 การออกแบบโครโมโซมประชากรและการเข้ารหัส 19

3.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม 19

3.3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์ การปฏิบัติการทางสายพันธุ์และการแทนที่ 20

3.4 **ผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล** 20

3.4.1 การทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุต 24

3.4.2 การทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ 26

3.5 **สรุปผลการวิจัย** 32

บทที่ 4 บทสรุป 33

4.1 สรุป 33

4.1.1 การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต 33

4.1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ 34

4.1.3 ผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล 34

4.2 แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต 35

บรรณานุกรม 36

ประวัตินักวิจัย 38

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ค่า Q-Step ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ GA (Q-Step-GA)..... 25
ตารางที่ 3.2: ค่า PSNR ภาพเอาต์พุตการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, 0.05, 0.08, 1.0 และ Q-Step-GA..... 25
ตารางที่ 3.3 การผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 0.04 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100%..... 27
ตารางที่ 3.4 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100%..... 28
ตารางที่ 3.5 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 0.04 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80%..... 28
ตารางที่ 3.6 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วย JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80%..... 29
ตารางที่ 3.7 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบความทนทานสัญญาณลายน้ำจากการตัดภาพ 50% (50% Cropping) และการหมุนภาพตามเข็มนาฬิกา 1.0° (1.0° CW Rotation)..... 30
ตารางที่ 3.8 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบอัลกอริทึมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 100 %..... 31
ตารางที่ 3.9 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบอัลกอริทึมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 80 %..... 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิตอล 4
รูปที่ 2.2 แผนภาพวัฏจักรของ GA 9
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของ GA กับการเชื่อมโยงเข้ากับระบบ 10
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม 13
รูปที่ 3.1 (ก) การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต 4 ระดับของภาพขนาด 512×512 pixels และ (ข) การจัดเรียงแบนด์ย่อยของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตในแผนภาพต้นไม้ 15
รูปที่ 3.2 (ก) การจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละโครงสร้างต้นไม้ และ (ข) ตัวอย่างการจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตให้เป็นทรีปเปิลทรี 15
รูปที่ 3.3 การฝังสัญญาณลายน้ำ 16
รูปที่ 3.4 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ 17
รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำออปติไมซ์เซชันด้วย GA 18
รูปที่ 3.6 ภาพดิจิตอลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ 20
รูปที่ 3.7 ภาพสัญญาณลายน้ำที่ใช้ในการทดสอบ 21
รูปที่ 3.8 การลู่เข้าของ ค่า $UQI\ NC$ และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Pepper” 22
รูปที่ 3.9 การลู่เข้าของ ค่า $UQI\ NC$ และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Lena” 22
รูปที่ 3.10 การลู่เข้าของ ค่า $UQI\ NC$ และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Fruit” 23
รูปที่ 3.11 การลู่เข้าของ ค่า $UQI\ NC$ และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Baboon” 23
รูปที่ 3.12 การลู่เข้าของ ค่า $UQI\ NC$ และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Airplane” 24
รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำและ (ค) ภาพผลต่าง 25
รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบค่า PSNR จากการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, Q-Step-GA, 0.05, 0.08 และ 1.0 26
รูปที่ 3.15 ภาพดิจิตอลจากกล้องอุปกรณ์เคลื่อนที่บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีดิจิตอลมัลติมีเดีย เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีความเจริญรุดหน้าไปมาก เทคโนโลยีดังกล่าวเหล่านี้ทำให้เนื้อหาของสื่อผสมในรูปแบบดิจิตอล (Digital multimedia contents) สามารถทำการส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้อย่างสะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งปัน (Sharing) ข้อมูลข่าวสาร สื่อดิจิตอลต่าง ๆผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำให้ข้อมูลดังกล่าวเกิดการแพร่กระจายไปทั่วโลกได้อย่างรวดเร็ว ประกอบกับข้อมูลในรูปแบบดิจิตอลสามารถทำการประมวลผลได้ง่ายด้วยซอฟแวร์ที่มีอยู่มากมาย สามารถทำการคัดลอกโดยไม่มีการลดทอนหรือสูญเสียคุณภาพของสัญญาณ รวมทั้งยังสามารถทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขในตัวเนื้อหาข้อมูลได้ง่ายอีกด้วย จึงส่งผลให้มีการใช้งานข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดียทั้งภาพและเสียงกันอย่างกว้างขวาง

ปัญหาหนึ่งที่ตามมาก็คือ การละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของเจ้าของข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดีย เช่น การปลอมแปลง การดัดแปลง การทำซ้ำ การนำเสนอ การเผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยปราศจากความยินยอมจากเจ้าของข้อมูล ซึ่งอาจจะทำให้เจ้าของข้อมูลต้องเสียชื่อเสียงหรือสูญเสียรายได้ที่พึงได้รับ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญา วิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้คือการเข้ารหัสลับ (Encryption) แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด เนื่องจากการเข้ารหัสลับเป็นการป้องกันการเข้าถึงตัวข้อมูลในระหว่างการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสาร โดยมีการใช้กุญแจลับในการเข้ารหัสเพื่อสร้างข้อความไซเฟอร์ (Cipher text) ที่มีรูปลักษณ์ซึ่งต่างไปจากข้อมูลต้นฉบับโดยสิ้นเชิงก่อนที่จะส่งผ่านเครือข่ายการสื่อสาร อย่างไรก็ตามการเข้ารหัสลับนี้มิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาในตัวข้อมูลแต่อย่างใด ดังนั้นเมื่อข้อความไซเฟอร์ถึงปลายทางและถูกทำการถอดรหัสลับ (Decryption) ด้วยกุญแจลับที่ถูกต้อง ก็จะได้ข้อมูลที่เหมือนข้อมูลต้นฉบับทุกประการ และเมื่อทำการถอดรหัสลับแล้วการป้องกันข้อมูลชุดนั้นก็สิ้นสุดลง แนวทางหนึ่งที่จะสามารถป้องกันข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดียจากปัญหาดังกล่าวนี้ได้คือ “การทำลายน้ำดิจิตอล (Digital watermarking)”

การทำลายน้ำดิจิตอล เป็นวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดีย โดยทำการใส่เครื่องหมายหรือรหัสเฉพาะซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของลงในข้อมูลดิจิตอลก่อนที่จะทำการเผยแพร่สู่สาธารณชน เครื่องหมายหรือรหัสเฉพาะนี้เรียกว่า “ลายน้ำดิจิตอล (Digital watermark)” ข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในการออกแบบลายน้ำดิจิตอลอาจเป็น ตัวเลข ตัวอักษร รูปภาพ สัญลักษณ์ หรือข้อมูลทางชีวภาพ (Biometric) ที่ใช้ในการยืนยันตัวบุคคล เช่น ลายนิ้วมือแบบดิจิตอล (Digital fingerprint) ภาพม่านตา (Iris image) เป็นต้น ลายน้ำดิจิตอลที่ฝังลงไปนั้นจะอยู่ในลักษณะที่ฝังติดแน่นเป็นเนื้อเดียวกับข้อมูลดิจิตอลซึ่งทำให้ยากต่อการลบออกหรือทำลาย อย่างไรก็ตามลายน้ำดิจิตอลที่ฝังลงไปนั้นต้องไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดียลดต่ำลงจนเกินไป [1, 2]

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล คือ ความทนทานของสัญญาณลายน้ำต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต (Geometrical attacks) Cox *et al.* [3] ยกตัวอย่างเช่น การหมุนภาพ (Rotation) การย่อขยายภาพ (Scaling) การเคลื่อนของภาพ (Translation) การตัดภาพ (Cropping) การบีบอัดภาพ (Image compression) เป็นต้น ซึ่งการโจมตีดังกล่าวทำให้การเข้าจังหวะกัน (Synchronization) ของสัญญาณลายน้ำกับตัวตรวจจับสัญญาณ

ลายน้ำสูญเสียไปจึงส่งผลให้การคัดแยกสัญญาณลายน้ำเกิดความผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นการคิดค้นอัลกอริทึมที่มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายมากสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

การทำลายน้ำดิจิตอลสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดียได้ทุกประเภท เช่น ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงเพลง เสียงดนตรี เป็นต้น สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพนิ่งแบบดิจิตอลที่ได้จากกล้องดิจิตอลทั่วไป (Generic digital camera) และภาพจากกล้องของอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile devices) ซึ่งในปัจจุปันพบว่ามีการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างแพร่หลายแต่ยังมีแอพพลิเคชัน (Applications) ที่ใช้งานด้านนี้น้อยมาก ผู้วิจัยจึงแนวความคิดที่จะพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพสีโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนการแปลง (Transform domain) เพื่อทำให้สัญญาณลายน้ำดิจิตอลให้มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย ซึ่งเทคนิคดังกล่าวได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถทำให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากขึ้นและยังสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆในอัลกอริทึมได้อย่างเหมาะสมที่สุดจึงทำให้ได้ภาพดิจิตอลเอาต์พุตที่มีคุณภาพดีขึ้นและอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการคิดค้นและพัฒนาอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์สำหรับภาพดิจิตอลจากกล้องดิจิตอลทั่วไปและภาพจากกล้องดิจิตอลของอุปกรณ์เคลื่อนที่
2. เพื่อทำการศึกษาความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล ภายใต้สภาวะการโจมตีสัญญาณลายน้ำด้วยการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพ
3. เพื่อพัฒนาเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลแบบทนทานโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนการแปลงเวฟเล็ต เพื่อทำให้สัญญาณลายน้ำดิจิตอลให้มีความทนทานต่อการโจมตีและการบีบอัดสัญญาณภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB โปรแกรมภาษา C/C++ และ Java ในการจำลองอัลกอริทึมที่ได้ทำการคิดค้นและพัฒนาขึ้น
2. ภาพตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นภาพดิจิตอลจากกล้องดิจิตอลทั่วไป ภาพจากกล้องดิจิตอลของอุปกรณ์เคลื่อนที่ รวมทั้งภาพดิจิตอลมาตรฐานที่ได้จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้เช่น The USC-SIPI Image database [4] และ Waterloo BragZone [5]

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

วิธีการดำเนินการวิจัย: มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- สำรวจวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัยในฐานข้อมูลต่าง ๆ
- ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง เช่น การแปลงสัญญาณภาพ ทฤษฎีการตรวจจับสัญญาณ การเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลและการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล
- จัดเก็บรวบรวมข้อมูลภาพกล้องดิจิตอลและภาพจากแหล่งอื่น ๆเพื่อเป็นฐานข้อมูลการวิจัย
- คิดค้นและออกแบบวิธีการสร้างสัญญาณลายน้ำและอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล
- ทำการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล ภายใต้สภาวะของการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย ทั้งนี้เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขอัลกอริทึมให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากขึ้น
- ทำการพัฒนาและทดสอบอัลกอริทึม เปรียบเทียบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยจะมีการคำนวณและเปรียบเทียบค่า Peak signal to noise ratio (PSNR) และอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate)
- ทำการทดสอบอัลกอริทึมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
- ทำการเก็บข้อมูลผลการทดสอบ วิเคราะห์ผล จัดทำบทความตีพิมพ์และเขียนรายงานการวิจัย

สถานที่วิจัย:

- อาคารเครื่องมือ 4 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับภาพจากกล้องดิจิตอลและอุปกรณ์เคลื่อนที่
2. ได้แนวทางในการพัฒนาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่มีความทนทานสูงต่อการโจมตี
3. ได้องค์ความรู้สำคัญสำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนการแปลงสัญญาณ
4. เป็นการส่งเสริมให้นักศึกษาสนใจในการทำวิจัย รวมทั้งเป็นการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ให้สามารถเริ่มทำการวิจัยและพัฒนา และสามารถดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

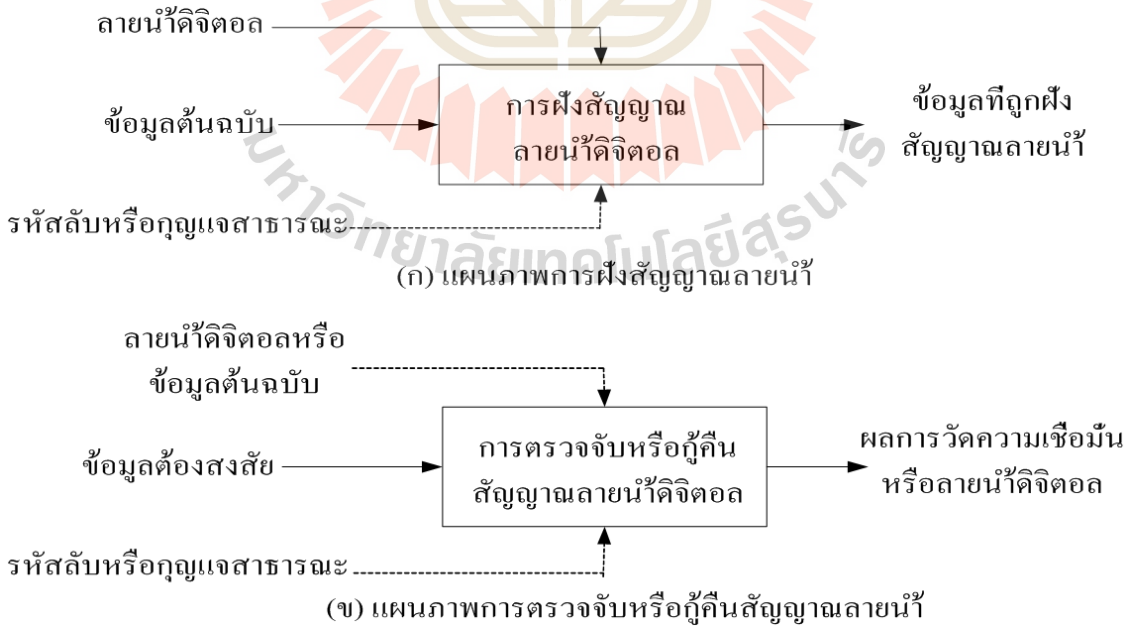
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอ ทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นและมีความสำคัญมากต่องานวิจัยการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล ซึ่งประกอบด้วย หลักการสำคัญในการออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลและหลักการสำคัญของจีนเนติกอัลกอริทึม งานวิจัยนี้เป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตเป็นหลัก ซึ่งต้องใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดและผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ โดยจะประยุกต์ใช้จีนเนติกอัลกอริทึมในขั้นตอนการออปติไมซ์เซชั่นระบบดังกล่าวซึ่งจะทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล รายละเอียดการออกแบบและผลการทดลองจะนำเสนอในบทถัดไป

2.2 หลักการสำคัญในการออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ลายน้ำ (Watermark) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาเป็นเวลาช้านาน ตัวอย่างเช่น การแทรกลายน้ำลงในธนบัตร แสตมป์หรือเอกสารสำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการปลอมแปลงหรือลอกเลียนแบบ ในปัจจุบันข้อมูลภาพและเสียงเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บจากแอนะล็อกมาเป็นข้อมูลแบบดิจิตอล แนวทางในการป้องกันแบบเดิมก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้อีกครั้ง โดยลายน้ำที่ใช้ก็มีการเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นลายน้ำดิจิตอล กระบวนการในการทำลายน้ำดิจิตอลโดยทั่ว ๆ ไปแสดงได้ดังในรูปที่ 2.1 โดยประกอบด้วยสองส่วนคือ การฝังลายน้ำดิจิตอลและการตรวจจับหรือกู้คืนลายน้ำดิจิตอล



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิตอล

2.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล

ในขั้นตอนการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล สามารถแยกออกอธิบายเป็นข้อๆประกอบด้วย การออกแบบสัญญาณลายน้ำ การออกแบบอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลและการออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ

การออกแบบสัญญาณลายน้ำ เป็นวิธีการในการสร้างสัญญาณลายน้ำสำหรับนำมาฝังหรือซ่อนในข้อมูลดิจิตอล โดยปกติแล้วสัญญาณลายน้ำจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลข่าวสารและกุญแจรหัสที่ใช้สร้างสัญญาณลายน้ำ ดังนี้

$$W = f_0(I, K) \tag{2.1}$$

เมื่อ W คือสัญญาณลายน้ำดิจิตอล K คือกุญแจรหัสและ I คือข้อมูลข่าวสารซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของในข้อมูลดิจิตอล และในบางครั้งสัญญาณลายน้ำอาจจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลต้นฉบับ X ที่ต้องการจะฝังสัญญาณลายน้ำด้วย คือ

$$W = f_0(I, K, X) \tag{2.2}$$

การออกแบบอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอล เป็นวิธีการในการนำสัญญาณลายน้ำ W มารวมเข้ากับข้อมูลต้นฉบับ X ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำ Y ดังนี้

$$Y = f_1(X, W) \tag{2.3}$$

การออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ เป็นการพิสูจน์ทราบว่ามีสัญญาณลายน้ำอยู่ในข้อมูลดิจิตอลที่เราสงสัยหรือไม่ หรือเพื่อที่จะกู้ข้อมูลข่าวสารในข้อมูลดิจิตอลที่เราสงสัย $\hat{I}$ กลับคืนมาสำหรับใช้ในการอ้างกรรมสิทธิ์หรือระบุตัวตนที่แท้จริงของเจ้าของข้อมูลดิจิตอลนั้น กระบวนการในการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำอาจทำได้โดยใช้ข้อมูลต้นฉบับ ข้อมูลต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำ $\hat{Y}$ และกุญแจรหัสดังนี้

$$\hat{I} = g(X, \hat{Y}, K) \tag{2.4}$$

หรืออาจไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับก็ได้ ดังนี้

$$\hat{I} = g(\hat{Y}, K) \tag{2.5}$$

ในทางปฏิบัติ สองข้อแรกนั้นสามารถที่จะทำดำเนินการออกแบบไปพร้อม ๆ กัน โดยเฉพาะเทคนิคในการทำลายน้ำดิจิตอลที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณลายน้ำตามชนิดข้อมูลต้นฉบับ การทำลายน้ำดิจิตอลในรูปแบบที่เรียกว่า Public watermarking สามารถทำการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ ซึ่งในการใช้งานบางอย่างนั้นเราอาจจะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลต้นฉบับได้ และบางทีข้อมูลต้นฉบับที่ใช้ก็อาจจะไม่ใช่ข้อมูลที่แท้จริงเสมอไป ดังนั้นการตรวจจับสัญญาณลายน้ำโดยที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับจึงมีความโดดเด่น แต่ก็มีความซับซ้อนมากกว่าการตรวจจับที่ต้องอาศัยข้อมูลต้นฉบับหลายเท่าตัว การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในรูปแบบดังกล่าวนี้จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

2.2.2 สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิตอล

การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิตอลในงานแต่ละประเภท จะมีรายละเอียดและความต้องการพื้นฐานของการทำลายน้ำดิจิตอลที่แตกต่างกันไป สิ่งที่ต้องการทำลายน้ำดิจิตอลในการประยุกต์ใช้งานทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ [1, 2, 3] คือ ความยากลำบากต่อการสังเกต ความทนทานของสัญญาณลายน้ำและจำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ

ความยากลำบากต่อการสังเกต (Imperceptibility) อัลกอริทึมในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลจะต้องมีการฝังสัญญาณลายน้ำในลักษณะที่ไม่เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำโดยต้องไม่ทำให้เกิดการสังเกตเห็นได้หรือสามารถบอกความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ฝังสัญญาณลายน้ำ

ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robustness) ข้อมูลดิจิตอลที่ฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว อาจถูกประมวลผลโดยการประมวลผลสัญญาณแบบต่าง ๆ ซึ่งในระหว่างนั้นสัญญาณลายน้ำอาจถูกเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายทั้งโดยจงใจหรือไม่ก็ตาม ความทนทานของสัญญาณลายน้ำเป็นสิ่งที่ทำให้มั่นใจได้ว่าสัญญาณลายน้ำจะไม่ถูกทำลายไปในระหว่างการประมวลผลสัญญาณเหล่านั้น นอกจากนี้สัญญาณลายน้ำควรจะต้องมีความปลอดภัยจากการคุกคาม (Threat) และการโจมตี (Attack) เพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถทำการแก้ไขหรือทำลายสัญญาณลายน้ำ ทั้งนี้เพื่อที่จะขัดขวางการตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้ เราเรียกการทำลายน้ำดิจิตอลแบบนี้ว่า การทำลายน้ำแบบทนทาน (Robust watermarking) ตรงกันข้ามกับวิธีการทำลายน้ำดิจิตอลแบบเปราะบาง (Fragile watermarking) สัญญาณลายน้ำในวิธีนี้จะถูกออกแบบให้มีความเปราะบางต่อการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งก็จะมีลักษณะการประยุกต์ใช้งานที่ต่างออกไป เช่น ใช้ในการสร้างความเชื่อถือได้ของสัญญาณภาพ (Image integrity) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลภาพนั้น ๆ เป็นภาพต้นฉบับจริงหรือเป็นภาพที่มีการแก้ไขแต่งเติม (Retouch) ลายน้ำดิจิตอลแบบเปราะบางจะทำให้เกิดความมั่นใจว่าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและไม่ถูกผู้อื่นบิดเบือนไป เป็นต้น

จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ (Payload of the watermark) หมายถึงจำนวนของข้อมูลสัญญาณลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลดิจิตอล ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความจุของช่องสัญญาณและขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมในการทำลายน้ำดิจิตอลเป็นอย่างมาก บางอัลกอริทึมสามารถฝังได้แค่เพียงบิตเดียว (One-bit watermarking) แต่บางอัลกอริทึมสามารถฝังได้มากกว่า 1 บิต (Multi-bits watermarking) อย่างไรก็ตามจำนวนบิตดังกล่าวจะถูกออกแบบให้เหมาะสมตามการใช้งาน สำหรับการใช้งานเพื่อการป้องกันการละเมิด

ทรัพย์สินทางปัญญา (Protection of intellectual property rights, IPR) ดูเหมือนว่า ผู้ใช้งานต้องการที่จะฝังสัญญาณลายน้ำที่เป็นข้อมูลข่าวสารในลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้กันทั่วไป เช่น International standard book numbering (ISBN) International standard recording code (ISRC) นั่นหมายความว่าควรจะมีการฝังสัญญาณลายน้ำที่เป็นข้อมูลข่าวสารประมาณ 60-70 บิต ลงในข้อมูลต้นฉบับ [3]

อย่างไรก็ตามในการทำลายน้ำดิจิตอลนั้น สิ่งที่ต้องการทั้งสามข้อดังกล่าวจะขัดแย้งซึ่งกันและกันเสมอ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพดีหรือมีความคล้ายกับสัญญาณภาพต้นฉบับมากที่สุด ก็ต้องฝังสัญญาณลายน้ำโดยใช้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมาก ซึ่งจะส่งผลให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดลง และหากต้องการให้จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำมีมากขึ้นก็ต้องทำการฝังสัญญาณลายน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดต่ำลงแล้วยังทำให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพลดต่ำลงเช่นกัน การยอมเสียบางส่วนเพื่อให้ได้ส่วนอื่นที่มากกว่า (Trade-off) จึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

2.2.3 เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล เมื่อแบ่งตามลักษณะการมองเห็นสัญญาณลายน้ำสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มด้วยกันคือ [3] ลายน้ำดิจิตอลแบบมองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำดิจิตอลแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark) ลายน้ำดิจิตอลแบบมองเห็นได้มีข้อดีคือ เมื่อมองดูภาพด้วยสายตาสามารถบอกได้ทันทีว่าภาพนั้นมีลายน้ำดิจิตอลอยู่หรือไม่ ทำให้สามารถระบุถึงเจ้าของของภาพนั้นได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ลายน้ำดิจิตอลในรูปแบบนี้มีข้อเสียคือ มีความทนทานและความปลอดภัยต่ำ สามารถถูกทำลายหรือลบออกได้โดยง่ายเพราะทราบตำแหน่งที่แน่นอนของสัญญาณลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม ลายน้ำดิจิตอลแบบไม่สามารถมองเห็นได้จะมีความทนทานและความปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากจะไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอนในการฝังสัญญาณลายน้ำ และโดยทั่วไปแล้วสัญญาณลายน้ำจะมีการกระจายอยู่เกือบทุกตำแหน่งในภาพ เมื่อพยายามลบสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการสุ่มจะทำให้คุณภาพของภาพนั้นลดต่ำลงจนทำให้มูลค่าทางการค้าของภาพนั้นเสียไป

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลยังสามารถแบ่งได้ตามโดเมนของการประมวลผลสัญญาณภาพ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม [3] กลุ่มแรกเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในสพาเชียลโดเมน (Spatial domain) และในกลุ่มที่สองเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ (Transform domain) ซึ่งต้องมีการแปลงโดเมนของสัญญาณภาพก่อนทำการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอล วิธีที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณ เช่น การแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete cosine Transform, DCT) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier transform, DFT) การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform, DWT) และการแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete multiwavelet transform, DMT) จากผลการวิจัยที่ได้มีการนำเสนอในวรรณกรรมต่าง ๆ พบว่า การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในสพาเชียลโดเมน ทั้งในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุต ความปลอดภัยและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยเฉพาะความทนทานจากการ

บีบอัดสัญญาณภาพ ซึ่งการบีบอัดสัญญาณภาพนี้เป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภาพและการส่งข้อมูลภาพดิจิตอลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.3 จีนเนติกอัลกอริทึม

จีนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm: GA) เป็นวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในวงกว้าง โดยอาศัยหลักการแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์ [50] ซึ่งจีนเนติกอัลกอริทึมมีวิวัฒนาการอยู่ในขั้นตอนของการค้นหาคำตอบและได้รับการจัดให้เป็นวิธีหนึ่งในกลุ่มของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งปัจจุบัน GA เป็นที่ยอมรับในประสิทธิภาพและมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านปัญญาประดิษฐ์ต่าง ๆ

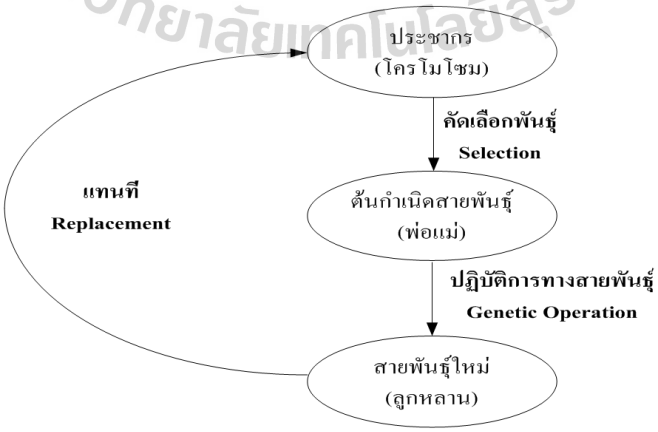
2.3.1 วัฏจักรของจีนเนติกอัลกอริทึม

วัฏจักรของ GA โดยธรรมชาติแล้วประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญคือ การคัดเลือกสายพันธุ์ ปฏิบัติการทางสายพันธุ์และการแทนที่ ดังมีรายละเอียดดังนี้

การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) คือขั้นตอนในการคัดเลือกประชากรที่ดีในระบบไปเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นถัดไป

ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operation) คือกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมด้วยวิธีการทางสายพันธุ์ เป็นขั้นตอนการสร้างลูกหลานซึ่งได้จากการรวมพันธุ์ของต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้ได้ลูกหลานที่มีส่วนผสมผสานมาจากพ่อแม่ หรือได้จากการแปรผันยีนของพ่อแม่เพื่อให้ได้ลูกหลานสายพันธุ์ใหม่เกิดขึ้น

การแทนที่ (Replacement) คือขั้นตอนการนำเอาลูกหลานกำเนิดใหม่ไปแทนที่ประชากรเก่าในรุ่นก่อนเป็นขบวนการในการคัดเลือกว่าควรจะเอาลูกหลานในกลุ่มใดไปแทนประชากรเก่าในกลุ่มใด



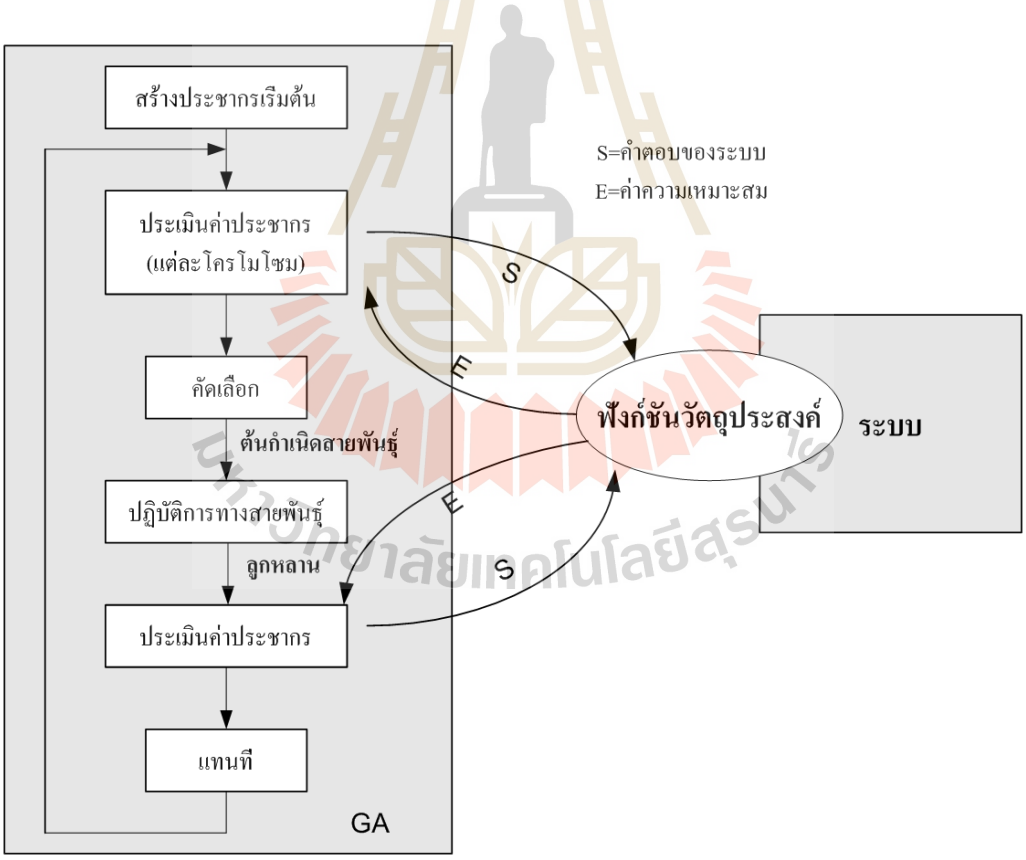
รูปที่ 2.2 แผนภาพวัฏจักรของ GA

จากแผนภาพวัฏจักรของ GA ในรูปที่ 3.21 แสดงให้เห็นว่า GA มีการจำลองวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในระบบธรรมชาติ กล่าวคือกระบวนการภายในของ GA ทำให้คำตอบของระบบที่มีอยู่เกิดวิวัฒนาการในตัวเอง อันจะนำไปสู่การปรับตัวให้กลายเป็นคำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุดได้ รายละเอียดขององค์ประกอบในแผนภาพวัฏจักร GA มีดังนี้

ประชากร (Population) ประกอบไปด้วยกลุ่มของโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบในระบบที่ต้องการค้นหา

ต้นกำเนิดสายพันธุ์ (Parents) คือกลุ่มของประชากรที่ถูกคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนในการให้กำเนิดสายพันธุ์ใหม่ในรุ่นถัดไป ประชากรกลุ่มนี้จะเปรียบเสมือนกับเป็น “พ่อแม่” สำหรับใช้ในการสืบทอดสายพันธุ์ให้ลูกหลานต่อไป

สายพันธุ์ใหม่ (Offspring) หรือ “ลูกหลาน” ในประชากรกลุ่มใหม่ที่ได้รับการถ่ายทอดสายพันธุ์มาจากพ่อแม่โดยคาดหวังที่จะได้รับสายพันธุ์ที่ดีที่สุดเพื่อถ่ายทอดต่อ ๆกันในประชากรรุ่นถัดไป



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของ GA กับการเชื่อมโยงเข้ากับระบบ

2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของ GA

ขั้นตอนการทำงานของ GA แสดงในรูปที่ 3.22 โดยแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนทั่วไปของ GA และการเชื่อมโยงกับระบบในโลกจริงเพื่อทำการค้นหาคำตอบที่ต้องการ คำตอบของระบบที่ต้องการให้ GA ทำการค้นหาจะอยู่ในรูปของโครโมโซมในกลุ่มของประชากร ดังนั้นระบบจะสามารถรู้ได้ว่าคำตอบที่มีอยู่ใน GA ณ เวลาหนึ่ง ๆนั้นดีหรือไม่อย่างไรด้วยการประเมินค่าของโครโมโซม ระบบจะมีการเชื่อมต่อกับ GA ผ่านฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์สำหรับใช้ในการประเมินค่าของโครโมโซมซึ่งจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป ขั้นตอนทั่วไปของ GA มีดังนี้

1) การสร้างประชากร โดยปกติจะใช้การสุ่ม

2) ประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากรทั้งหมดด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ เนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมภายใน GA ดังนั้นโครโมโซมจะต้องผ่านการถอดรหัสก่อนที่จะนำไปทำการคำนวณด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ได้

3) คำนวณหาค่าความเหมาะสมแล้วส่งกลับไปยัง GA

4) ใช้ค่าความเหมาะสมทำการคัดเลือกโครโมโซมของกลุ่มเพื่อนำมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนในการถ่ายทอดสายพันธุ์ให้กับรุ่นถัดไป

5) นำต้นกำเนิดสายพันธุ์มาทำการสร้างลูกหลานด้วยปฏิบัติการทางสายพันธุ์ โครโมโซมที่ได้ในขั้นตอนนี้ก็คือโครโมโซมลูกหลาน

6) คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูกหลาน โดยใช้ขั้นตอนเดียวกับข้อ 3

7) โครโมโซมในประชากรเดิมจะถูกแทนที่ด้วยลูกหลานที่ได้จากข้อ 5 ประชากรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกแทนที่ด้วยกลวิธีเฉพาะสำหรับขั้นตอนของการแทนที่โดยใช้ค่าความเหมาะสมในการตัดสิน

8) เริ่มต้นทำซ้ำจากขั้นตอนในข้อ 2) ไปเรื่อย ๆจนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการ คำตอบที่ได้จะมาจากโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรนั่นเองโดยที่สามารถใช้ค่าจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการประเมินว่าคำตอบที่ได้เป็นที่ต้องการแล้วหรือไม่

2.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม

การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness evaluation) เป็นขั้นตอนในการประเมินว่าโครโมโซมหนึ่ง ๆ ดีหรือไม่อย่างไรเทียบกับโครโมโซมอื่น ๆที่มีอยู่ในกลุ่มประชากรนั้น ๆ โดยปกติแล้วการประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะประกอบไปด้วยการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.3.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function หรือ Evaluation function) เป็นฟังก์ชันที่ใช้ที่ทำการประเมินคำตอบจากโครโมโซมโดยเทียบกับเป้าหมายของระบบ ในกรณีที่ระบบเป็นปัญหาของการค้นหาค่าต่ำสุด โครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของระบบจะมีค่าตัวเลขจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด ตัวอย่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ฟังก์ชันทั่ว ๆไปที่ใช้ในการคำนวณค่าความผิดพลาดของระบบ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของระบบดังกล่าวก็คือต้องการให้ค่าความผิดพลาดของระบบมีค่าน้อยที่สุด ค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเป็นตัวบอกว่าคำตอบของระบบขณะนั้นดีหรือไม่ดีเท่าไร เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องใช้ตัวระบบเป็นที่คำนวณค่าการประเมิน ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จึงถือเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมโยง GA เข้ากับระบบในโลกจริง ถ้ากำหนดให้โครโมโซม S ที่เวลา t ใด ๆคือ $S(t)$ เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าการประเมินของโครโมโซมนี้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$f(S(t)) = f(s_1(t), s_2(t), s_3(t), \ldots, s_L(t)) \tag{2.6}$$

โดยที่ $s_1(t), s_2(t), s_3(t), \ldots, s_L(t)$ คือคำตอบของระบบที่ผ่านการถอดรหัสให้อยู่ในรูปฟีโนไทพ์เรียบร้อยแล้ว

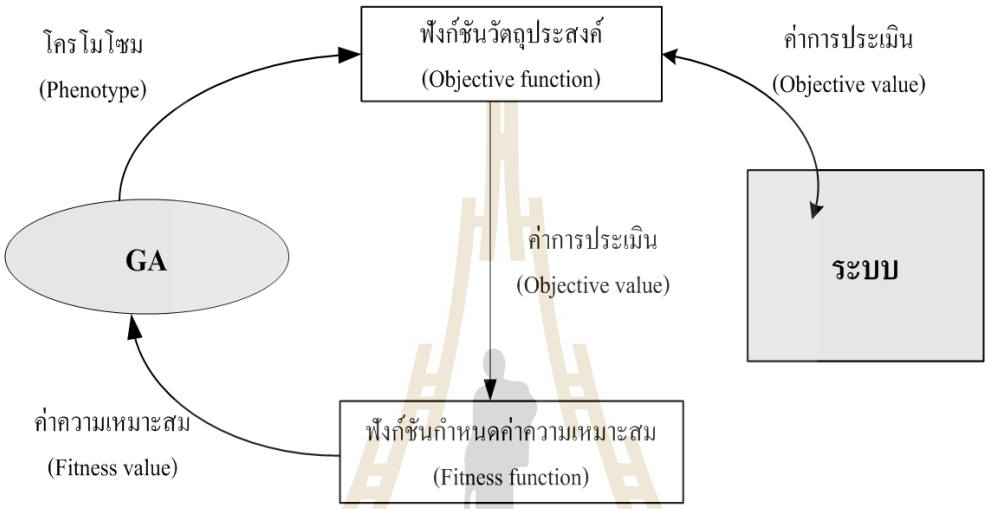
2.3.5 ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม

ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness function) เป็นฟังก์ชันที่ทำการจับคู่ค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไปเป็นค่าความเหมาะสม (Fitness value) จุดประสงค์ของฟังก์ชันนี้ก็เพื่อทำการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัวโดยมีค่าเปรียบเทียบกันเองภายในกลุ่มประชากร ค่าความเหมาะสมเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือเพื่อตัดสินคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้ในการสืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป สาเหตุที่ GA ไม่ใช้ค่าการประเมินในการคัดเลือกโครโมโซมก็เพราะว่าค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นจะมีค่าขึ้นอยู่กับระบบ จึงทำให้ตัวเลขที่ได้มีความหลากหลายและแตกต่างกันเกินไป ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมจึงเป็นการคำนวณค่าการประเมินของโครโมโซมทั้งหมดเทียบกับโครโมโซมด้วยกันเองและทำให้มีค่าที่อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันกล่าวคือ

$$E(F_i) = [E_{\min}, E_{\max}], i = 1, 2, \ldots, N \tag{2.7}$$

โดยที่ $E(F_i)$ คือฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมจากค่าการประเมิน F_i ส่วนค่า $E_{\min}$ และ $E_{\max}$ เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของค่าความเหมาะสมโดยปกติจะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการทำงานของ GA

ในรูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม เทคนิคของฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมมีอยู่หลายแบบ เทคนิคที่ใช้ง่ายและนิยมใช้เช่น วิธีกำหนดอย่างเป็นสัดส่วน (Proportional) และวิธีการกำหนดบรรทัดฐานเชิงเส้น (Linear normalization)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอ ทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นและมีความสำคัญมากต่องานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยหลักการสำคัญในการออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลและจีนเนติกอัลกอริทึม ในงานวิจัยนี้เป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตเป็นหลัก ซึ่งต้องใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดและผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ โดยจะประยุกต์ใช้ GA ในขั้นตอนการออปติไมซ์เซชั่นระบบดังกล่าวซึ่งจะทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่มีความเหมาะสมที่สุด รายละเอียดการออกแบบและผลการทดลองจะนำเสนอในบทถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัยการออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล โดยจะแยกนำเสนอเป็น 3 หัวข้อหลักดังนี้คือ การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล จากนั้นจะกล่าวถึงผลการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ และจะกล่าวถึงผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลเป็นส่วนสุดท้าย

3.2 การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

ในการออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่นำเสนอโดย Wang and Lin [7] ซึ่งใช้เทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการควอนไทล์ (Quantization technique) มาทำการพัฒนาอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านของคุณภาพสัญญาณและความทนทานสัญญาณลายน้ำด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ในขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำผู้วิจัยจะทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Discrete wavelet transform; DWT) ของภาพต้นฉบับซึ่งการแปลง DWT ดังกล่าวจะมีการแยกวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่สัญญาณภาพแบบหลายระดับความละเอียด ทำให้เทคนิคดังกล่าวมีความปลอดภัยสูงมากเนื่องจากสัญญาณลายน้ำจะแผ่กระจายอยู่ตลอดช่วงความถี่ของภาพต้นฉบับด้วยขนาดและความแรงสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมากและผู้ที่มีรหัสลับที่ถูกต้องเท่านั้นจึงจะสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำนี้ได้ การฝังและการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ มีขั้นตอนดังนี้

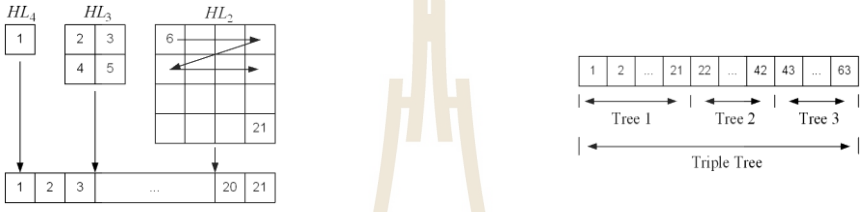
การฝังสัญญาณลายน้ำ (Watermark Embedding Algorithm)

1. สร้างสัญญาณลายน้ำ W จากลำดับที่ได้จากการสุ่มเทียม (Pseudo-random sequence) โดยเก็บ Seed ของการสุ่มไว้เป็นรหัสลับ (Secret key) จะได้ $W = \{w_i\}$ for $i = 1, 2, \ldots, N_w$ เมื่อ N_w คือขนาดความยาวของสัญญาณลายน้ำ

2. ทำการแปลงสัญญาณภาพต้นฉบับซึ่งเป็นภาพระดับเทา (Gray scale image) ด้วยการแปลง DWT จำนวน 4 ระดับ จากนั้นทำการเลือกสัมประสิทธิ์การแปลง DWT เพื่อสร้างโครงสร้างต้นไม้ (Tree structure) และจัดกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ให้มีขนาด 3072 กลุ่มย่อยและมีการรวมเป็น 3 กลุ่มหลักตามสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแบนด์ย่อยซึ่งจะเรียกว่าทรีปเปิลทรี (Triple trees)

(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 (ก) การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต 4 ระดับของภาพขนาด 512×512 pixels และ (ข) การจัดเรียงแบนด์ย่อยของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีตในแผนภาพต้นไม้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 (ก) การจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละโครงสร้างต้นไม้ และ (ข) ตัวอย่างการจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตให้เป็นทรีปเปิลทรี

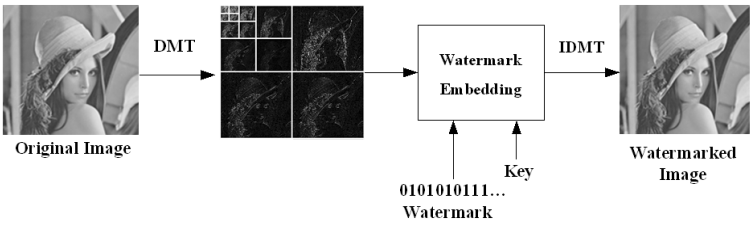
3. ทำการควอนไทล์แต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้โดยใช้ตารางมาตรฐาน JPEG quantization matrix [9] ทั้งนี้เพื่อให้มีความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธีการ JPEG

4. ในการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยทำการเลือกทรีปเปิลทรี (Tt_i) จำนวนเท่ากับ N_w ซึ่งจะได้ Tt_i for $i = 1, 2, \ldots, N_w$ จากนั้นทำการฝังสัญญาณลายน้ำโดยการคำนวณตามการสมการที่ 4 ดังนี้

$$Ttw_i = \begin{cases} Tt_i + Tt_i \bmod 2 - 1 & if\ w_i = 1 \\ Tt_i - Tt_i \bmod 2 & otherwise \end{cases} \tag{3.1}$$

เมื่อ Ttw_i คือแผนภาพต้นไม้เลือกทรีปเปิลทรีที่มีการฝังสัญญาณลายน้ำ และ mod 2 คือตัวดำเนินการ Modulo operator 2

5. ดำเนินการควอนไทล์แบบย้อนกลับ (Inverse quantization) ในแต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ที่มีการฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว จากนั้นทำการเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตย้อนกลับจากโครงสร้างแผนภาพต้นไม้และทำการแปลงเวฟเล็ตแบบย้อนกลับ (Inverse DWT) ก็จะได้ภาพเอาต์พุตที่มีการสัญญาณลายน้ำตามแผนภาพในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การฝังสัญญาณลายน้ำ

การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ (Watermark Extracting Algorithm)

1. การคัดแยกสัญญาณจะเป็นกระบวนย้อนกลับของการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยภาพที่ต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำจะถูกแปลงสัญญาณภาพด้วยการแปลง DWT จากนั้นสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแบนด์ย่อยจะถูกนำไปสร้างทรีปเปิลทรี Tt_n เมื่อ $n = 1, 2, \ldots, 1024$ โดยมีรหัสลับในการเรียง

2. ทำการควอนไทล์แต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ที่จัดกลุ่มเป็นทรีปเปิลทรี โดยใช้ตารางมาตรฐาน JPEG quantization matrix

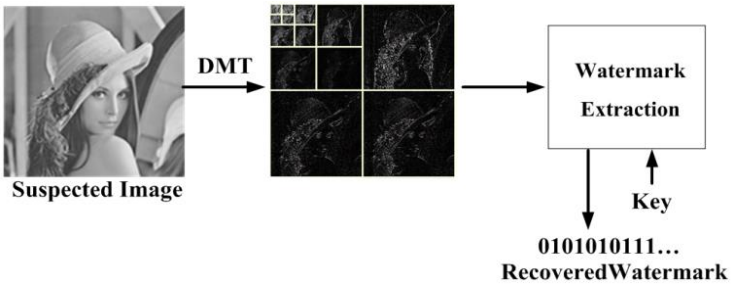
3. ทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากแผนภาพต้นไม้ทรีปเปิลทรี Tt_n โดยทำการนับจำนวนสัมประสิทธิ์ว่าเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ในทรีปเปิลทรีซึ่งทำการคำนวนได้จากตัวดำเนินการ modulo operator $Tt_i \bmod 2$ ซึ่งจะได้แต่ละบิตของสัญญาณลายน้ำตามสมการที่ 3.2 โดยมีการใช้รหัสลับในการเรียงบิตสัญญาณลายน้ำกลับคืนรูปเดิม

$$\tilde{w}_i = \begin{cases} 1 & if \quad odd \geq even \\ -1 & otherwise \end{cases} \tag{3.2}$$

4. สัญญาณลายน้ำที่ได้จากการคัดแยกจะถูกนำมาทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนกัน (Normalized correlation coefficients) ระหว่างสัญญาณลายน้ำที่คัดแยกได้ ($\tilde{W}$) กับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ (W) ด้วยสมการที่ (3.3) แผนภาพการคัดแยกสัญญาณลายน้ำแสดงในรูปที่ 3.4

$$\rho(W, \tilde{W}) = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} w_i \tilde{w}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_w} w_i^2 \sum_i \tilde{w}_i^2}} \tag{3.3}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

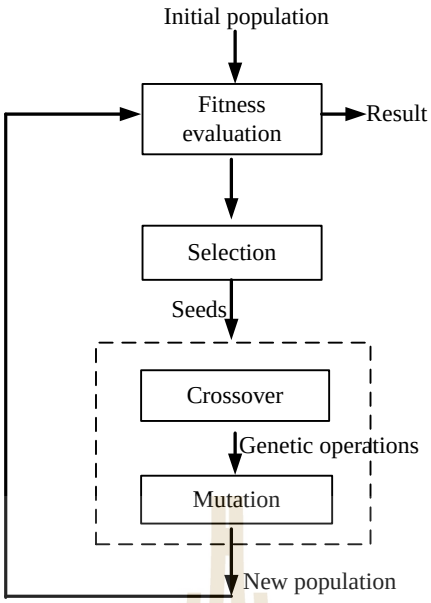


รูปที่ 3.4 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ

3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

การออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น เราสามารถมองได้ว่าเป็นปัญหาการทำออปติไมซ์เซชัน (Optimization problem) เนื่องจากว่าต้องมีการ Trade-off เพื่อให้ได้มาซึ่งสิ่งที่พึงปรารถนาหลักของระบบคือ ความยากลำบากต่อการสังเกต (Imperceptibility) ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robustness) และจำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ (Data capacity) ซึ่งทั้ง 3 สิ่งนี้จะมีการขัดแย้งซึ่งกันและกันเสมอ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการในการทำออปติไมซ์เซชันให้กับระบบด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์แทนวิธีการดั้งเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลระบบเดิมให้ดีขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือ จีนเนติกอัลกอริทึม (GA)

ในกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำ ภาพต้นฉบับจะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DWT จำนวน 4 ระดับ (4-Levels wavelet decomposition) โดยใช้ Daubechies wavelet (D4) ผลการแปลงสัญญาณโดยใช้ภาพ “Lena” แสดงดังในรูปที่ 3.3 เนื่องจากแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ LL4 มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของภาพเอาต์พุต จึงไม่ทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในแบนด์ย่อยดังกล่าว ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลจะถูกปรับแต่งให้มีความเหมาะสมมากที่สุดด้วยวิธีการของ GA โดยแผนภาพการทำออปติไมซ์เซชันแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเห็นว่า GA ถูกนำมาใช้ในการทำออปติไมซ์เซชันทั้งในขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ



รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำออปติไมซ์เซชันด้วย GA

3.3.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลของงานวิจัยนี้ จีนเนติกอัลกอริทึมถูกนำใช้ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล โดยทำการค้นหาค่า Quantization steps (Q-Step) ในแต่ละแบนด์ย่อยที่ฝังสัญญาณลายน้ำ ซึ่งค่าดังกล่าวอาจเทียบได้กับค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Watermark strength) เพื่อให้การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ จึงได้ทำการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ให้มีการนำค่าพารามิเตอร์บางค่าที่ได้จากการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำมาทำการประมวลผลร่วมกันในขณะที่ทำการออปติไมซ์เซชัน (Optimization) โดยในส่วนของการฝังสัญญาณลายน้ำจะนำค่ามาตรฐานที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของภาพดิจิตอลเป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม ส่วนในด้านการตรวจจับสัญญาณลายน้ำนั้นเราใช้ค่าที่บ่งชี้ถึงความสำเร็จในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำเป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม รายละเอียดในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วย GA อธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังในหัวข้อถัด ๆไป

3.3.2 การออกแบบโครโมโซมประชากรและการเข้ารหัส

โครโมโซมที่เป็นกลุ่มของประชากรคือตัวแทนของคำตอบของระบบที่ต้องการค้นหา วิธีการนี้กำหนดจำนวนประชากรแต่ละรุ่นประกอบด้วยโครโมโซม 30 โครโมโซมโดยจำนวนโครโมโซมนี้ได้มาจากการทดลองและใช้การเข้ารหัสโครโมโซมแบบเลขฐานสอง (Binary string) ที่มีระดับความละเอียด 32 บิต

ในการออกแบบจะได้โครโมโซมที่มีความยาว 32 บิตซึ่งแทนตัวแปร Q-Step และโครโมโซมที่ดีที่สุดที่ค้นได้ในแต่ละแบนด์ย่อยจะถูกถอดรหัสเป็นค่าพารามิเตอร์ Q-Step เพื่อใช้สำหรับการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำในแบนด์ย่อยนั้น ๆต่อไป

3.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม

ในการออกแบบฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้ใช้ค่า Universal quality index (UQI) [58] ในการบ่งชี้คุณภาพของภาพเอาต์พุตและใช้ค่า NC ในการบ่งชี้ถึงความสำเร็จในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ โดยมีการประเมินค่าความเหมาะสมของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ได้ตามสมการที่ (3-4)

$$W = \delta_{UQI} \times UQI + \delta_{NC} \times NC \tag{3-4}$$

โดยที่ UQI คือ ค่าจากการวัดคุณภาพของภาพเอาต์พุตเทียบกับภาพต้นฉบับซึ่งจะเป็นค่าที่มากกว่าศูนย์เสมอ NC คือค่า Normalized correlation ซึ่งได้จากการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ถ้าสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้ครบถ้วนทุกบิตค่า NC จะต้องมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นโครโมโซมที่เลือกไว้จะต้องให้ค่า NC ที่มากกว่าศูนย์เท่านั้น เนื่องจากเราให้ความสำคัญกับคุณภาพในการฝังและและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำเท่ากัน จึงมีการถ่วงน้ำหนัก UQI และ NC ในอัตราส่วนเท่า ๆกัน โดยต้องสอดคล้องกับเงื่อนไข $\delta_{UQI} + \delta_{NC} = 1.0$ และในกระบวนการทำออปติไมซ์เซชัน GA จะถูกใช้ทำการค้นหาค่า W ที่มากที่สุด ซึ่งหมายความว่า GA จะค้นหาค่า UQI และค่า NC ที่เหมาะสมที่สุดแก่ระบบ ดังนั้นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้ค่า $Q-Step$ จากวิธีการดังกล่าวจะให้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ดีและสัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงมากทำให้สามารถทำการตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้แน่นอน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์ การปฏิบัติการทางสายพันธุ์และการแทนที่

การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดภายในกลุ่มประชากรทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดอันดับ (Ranking selection) ส่วนการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นโครโมโซมลูกหลานที่ได้รับส่วนดีจากโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์ เราได้กำหนดอัตราการทำครอสโอเวอร์ (Crossover) เท่ากับ 0.7 และอัตราการทำมิวเทชัน (Mutation) เท่ากับ 0.005 โดยอัตราดังกล่าวนี้ได้จากการทดลองดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป หลังจากทำการคัดเลือกสายพันธุ์และทำปฏิบัติการทางสายพันธุ์

แล้ว โครโมโซมรุ่นเก่าจะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมรุ่นที่ดีกว่าสำหรับการวิวัฒนาการในรุ่นถัดไปโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยประชากรเพียงบางส่วนเพื่อรักษาโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีไว้ ซึ่งจะช่วยให้วิวัฒนาการของคำตอบในรุ่นถัดไปดีขึ้นเรื่อย ๆ

3.4 ผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

ในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของวิธีการดั้งเดิมและผลลัพธ์ก่อนการทำออปติไมซ์เซชัน ภาพดิจิตอลที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพสีมาตรฐานแบบขนาด 512×512 พิกเซล โดยจะทำการแยกสัญญาณภาพต้นฉบับปริภูมิสี RGB ออกเป็นภาพในช่องสัญญาณ R (Red) G (Green) และ B (Blue) จากนั้นทำการเลือกสัญญาณภาพเพียง 1 ช่องสัญญาณเท่านั้น ซึ่งจะได้ภาพระดับเทา (Gray scale image) สำหรับใช้ทำการฝังสัญญาณลายน้ำตามอัลกอริทึมที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.2 ผู้วิจัยได้เลือกใช้ภาพในช่องสัญญาณภาพสีน้ำเงิน (Blue) เนื่องจากสายตามนุษย์มีความไวต่อแสงสีน้ำเงินน้อยมากทำให้สัญญาณลายน้ำที่ฝังอยู่ในช่องสัญญาณภาพ B นั้นยากต่อการสังเกต และภาพในช่องสัญญาณสีน้ำเงินดังกล่าวจะถูกรวมกลับคืนเป็นปรภูมิสี RGB เดิมเมื่อฝังสัญญาณลายน้ำเรียบร้อยแล้ว

ในงานวิจัยนี้ ภาพสัญญาณลายน้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพระดับเทาขนาด 32×32 พิกเซลและภาพสัญญาณลายน้ำดังกล่าวจะถูกทำให้ยากต่อการตรวจจับด้วยการมอดูเลตกับลำดับที่ได้จากการสุ่มเทียม (Pseudo-random sequence) โดยการเก็บ Seed จากขั้นตอนการสุ่มไว้เป็นรหัสลับ (Secret key) หลังจากนั้นสัญญาณลายน้ำจะถูกฝังลงในแบนด์ย่อยของการแปลง DWT ตามอัลกอริทึมที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.2 ตัวอย่างของภาพดิจิตอลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ และภาพสัญญาณลายน้ำ แสดงในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 ตามลำดับ

Pepper Lena Fruit Baboon Airplane

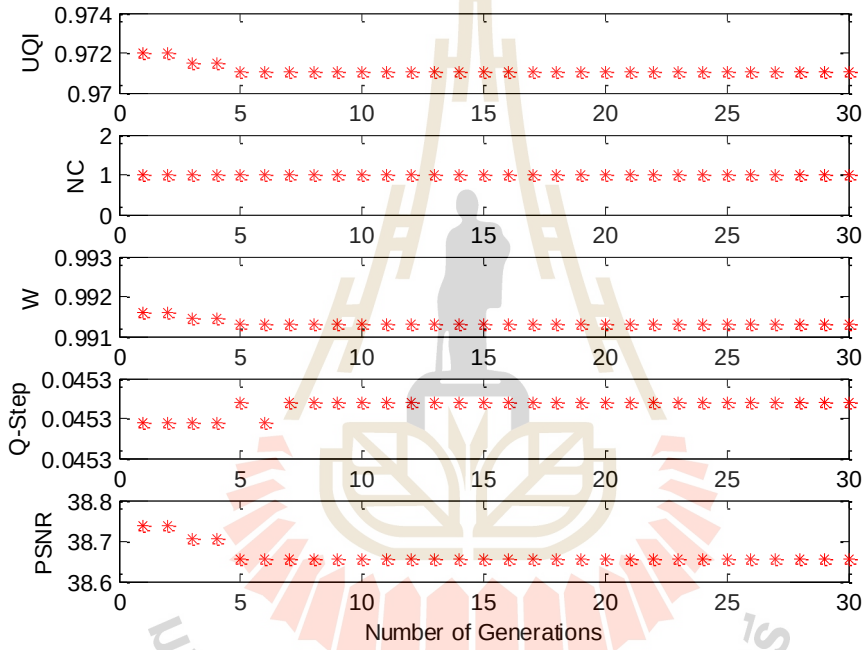
รูปที่ 3.6 ภาพดิจิตอลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3.7 ภาพสัญญาณลายน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

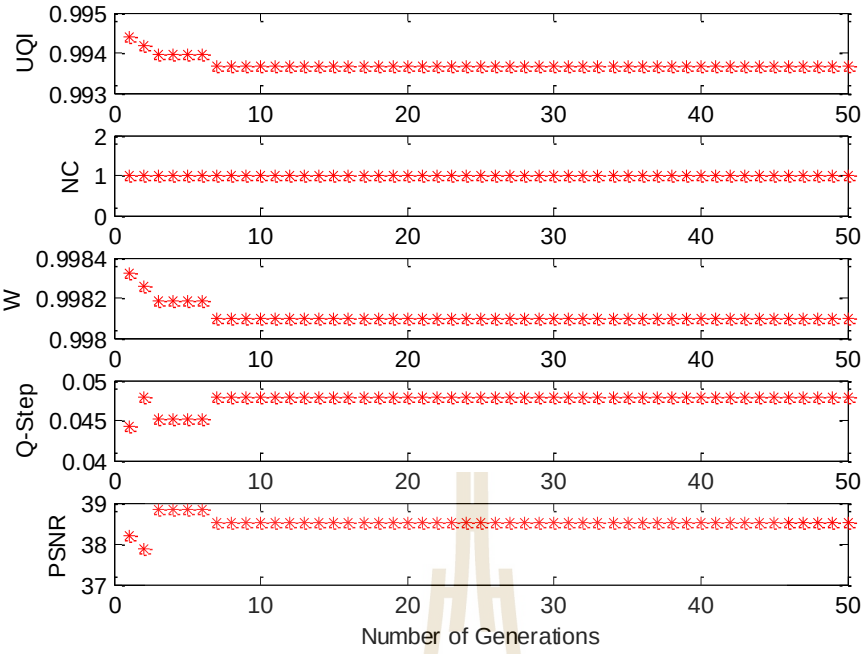
ถึงแม้ว่าวิธีการของ GA จะเป็นที่ยอมรับในวงกว้างว่าเป็นการค้นหาที่ให้ผลลัพธ์เป็นคำตอบที่มีความเหมาะสมก็ตาม เพื่อให้การค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลได้คำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เราได้ทำการทดลองเพื่อที่จะเลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับ GA ที่จะใช้ในการค้นหา โดยทำการสังเกตอัตราการทำครอสโอเวอร์ ซึ่งจากการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าอัตราการทำมิวเทชันและจำนวนของโครโมโซมซึ่งมีผลกระทบต่อการค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล โดยพบว่าค่า Probability of crossover ที่เหมาะสมมากที่สุดคือ 0.7 ซึ่งจะให้ค่า Objective value ที่ดีที่สุด ส่วนการ

สังเกตอัตราการทำมิวเทชันและจำนวนของโครโมโซมก็กระทำได้ในลักษณะเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้พบว่าอัตราการทำมิวเทชันที่เหมาะสมคือ 0.005 และจำนวนของโครโมโซมที่เหมาะสมคือ 30 โครโมโซม

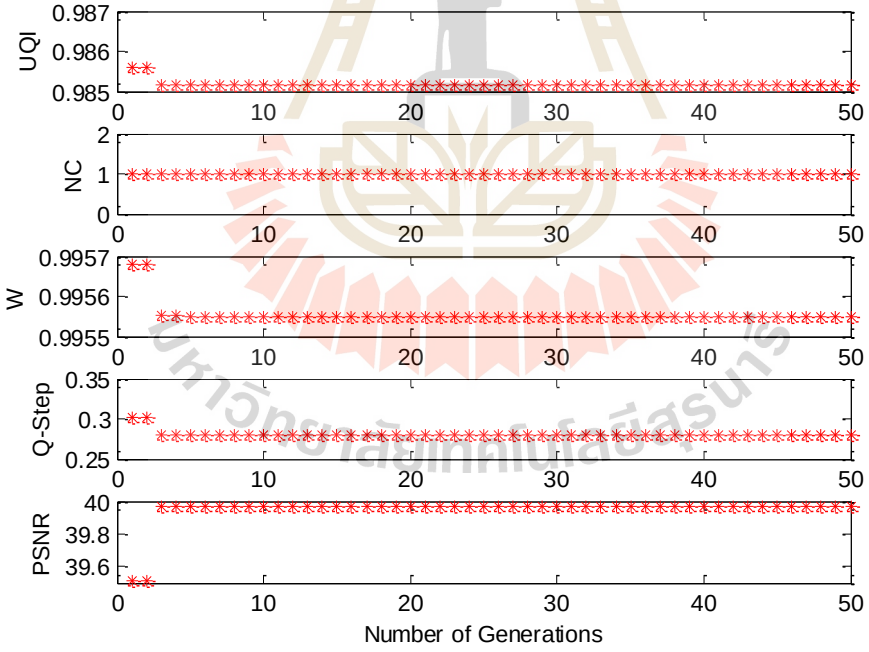
ผลจากการทำออปติไมซ์เซชันเพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่เหมาะสมในแบนด์ย่อย LH2 ด้วยวิธีการของ GA ที่ 30 หรือ 50 เจนเนอเรชัน (Generations) ตามลักษณะของการลู่เข้า (Convergence) หาคำตอบที่เหมาะสมว่าจะช้าหรือเร็วโดยใช้ภาพ Pepper, Lena, Fruit, Baboon, Airplane แสดงดังในรูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.12 ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมจากการทำออปติไมซ์เซชันดังกล่าวพบว่า ค่าพารามิเตอร์ Q-Step ที่ได้จะมีการปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะเฉพาะของภาพดิจิตอลนั้น ๆโดยในอัลกอริทึมดังกล่าวจะมีค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 0.04 – 0.05 และการทดสอบในลำดับถัดไปจะเลือกใช้ค่า Q-Step ที่ค่า 0.04 ซึ่งจะได้ทำการทดสอบคุณภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำในหัวข้อถัดไป



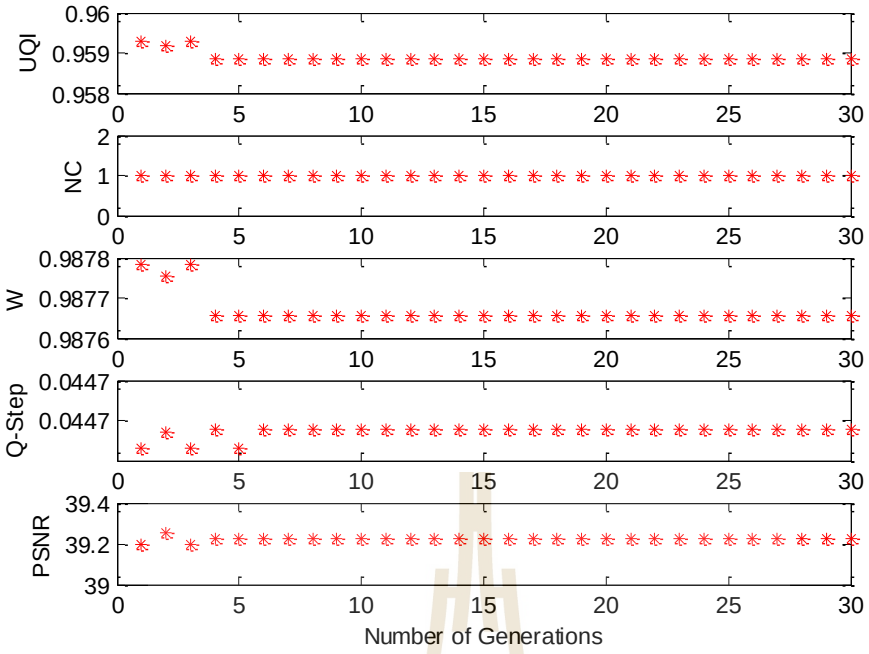
รูปที่ 3.8 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Pepper”



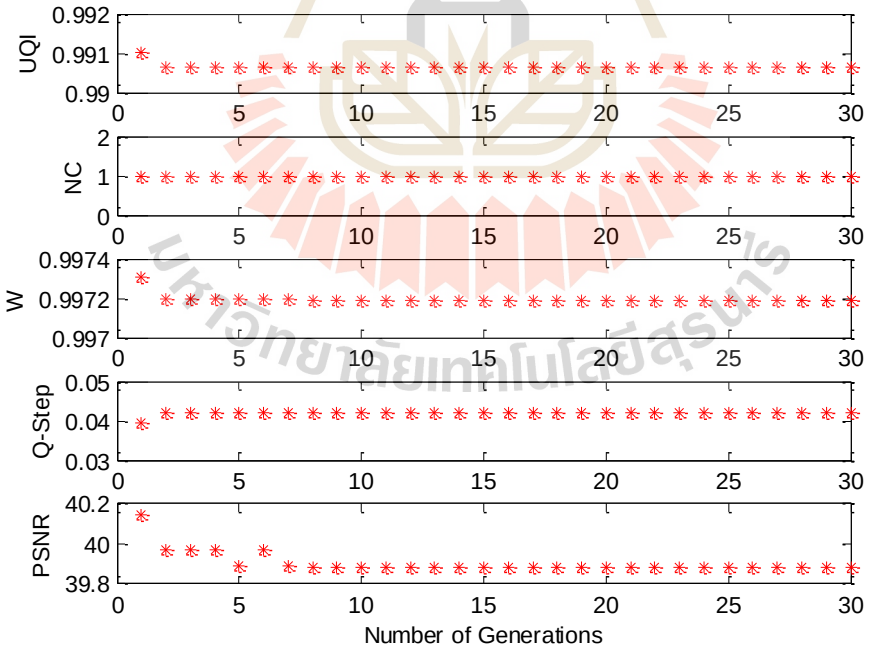
รูปที่ 3.9 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Lena”



รูปที่ 3.10 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Fruit”



รูปที่ 3.11 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Baboon”



รูปที่ 3.12 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการทำออปติไมซ์เซชันของภาพ “Airplane”

3.4.1 การทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุต

การทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุต จะเริ่มจากการฝังสัญญาณลายน้ำลงในภาพต้นฉบับโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ค้นหาได้ด้วยวิธีการของ GA จากนั้นทำการคำนวณหาค่ามาตรฐานระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพเอาต์พุตเพื่อประเมินคุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการฝังสัญญาณลายน้ำ ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินคือ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Q-Step ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ GA ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Q-Step-GA และจากรูปที่ 3.13 (ก) - (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับ “Lena” กับภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำซึ่งเราจะไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำในช่องสัญญาณ B ที่ฝังสัญญาณลายน้ำก็จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ค) ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณลายน้ำถูกฝังอยู่ในบริเวณขอบภาพซึ่งเป็นบริเวณที่ยากต่อการสังเกต ผลการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการทำออปติไมซ์เซชันด้วย GA ซึ่งใช้ภาพในการทดสอบ 5 ภาพ คือ Pepper, Lena, Fruit, Baboon และ Airplane แสดงในตารางที่ 3.2 และกราฟในรูปที่ 3.14 โดยแสดงค่าเฉลี่ย PSNR จากการทดสอบการฝังสัญญาณลายน้ำจำนวน 5 ครั้ง และพบว่าค่า Q-Step ที่ต่ำจะให้ค่า PSNR ที่สูงสอดคล้องกับหลักการในการออกแบบอัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอล และที่ค่า Q-Step-GA ตามตารางที่ 3.1 จะให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกตโดยให้ค่าเฉลี่ยของ PSNR เท่ากับ 39.24 dB ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วที่ค่า PSNR มากกว่า 30 dB ขึ้นไป [18] จะเป็นค่าที่ยอมรับได้ว่าสัญญาณภาพมีคุณภาพสูงพอและยากต่อการสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำ อย่างไรก็ตามเราจะต้องพิจารณาความทนทานของสัญญาณลายน้ำด้วยเสมอ

ตารางที่ 3.1 ค่า Q-Step ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ GA (Q-Step-GA)

Test image	Q-Step-GA
1. Pepper	0.0453
2. Lena	0.0458
3. Fruit	0.0289
4. Baboon	0.0446
5. Airplane	0.0423

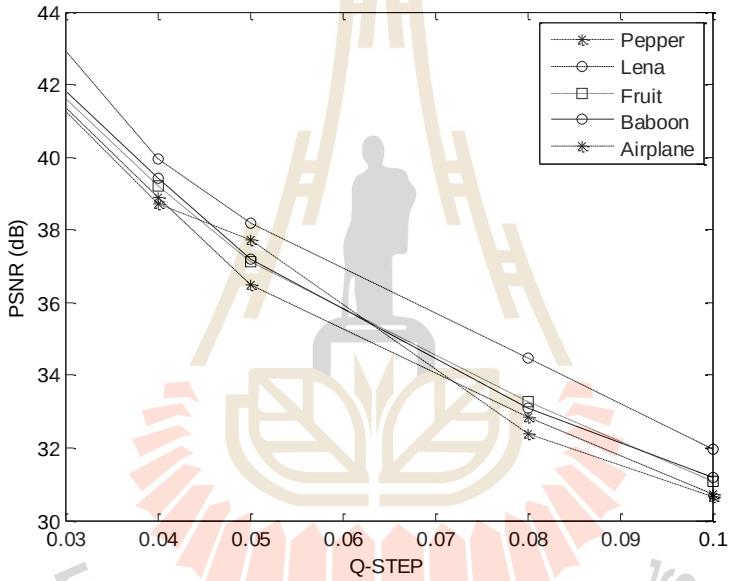
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำและ (ค) ภาพผลต่าง

ตารางที่ 3.2 ค่า PSNR ภาพเอาต์พุตจากการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, 0.05, 0.08, 1.0 และ Q-Step-GA

Test image	Q-Step				
	0.03	**Q-Step-GA**	**0.05**	**0.08**	**1.0**
1. Pepper	41.24	38.73	37.71	32.38	30.66
2. Lena	42.90	39.95	38.20	34.36	31.95
3. Fruit	41.58	39.20	37.12	33.28	31.09
4. Baboon	41.78	39.42	37.21	33.10	31.20
5. Airplane	41.32	38.90	36.50	32.86	30.71



รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบค่า PSNR จากการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, Q-Step-GA, 0.05, 0.08 และ 1.0

3.4.2 การทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำจากการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG ซึ่งถือได้ว่าเป็นการโจมตีสัญญาณลายน้ำที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งที่สุด เพราะทุกวันนี้การส่งข้อมูลรูปภาพต่าง ๆเราใช้การติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเป็นหลักและรูปภาพจะถูกบีบอัดก่อนส่งออกไปเสมอเพื่อลดขนาดของข้อมูลและเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูล ในการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG ดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบด้วยอัตราการบีบอัดที่กำหนดจากค่าปัจจัยคุณภาพ (Quality factor) เท่ากับ 80% เนื่องจากเป็นค่าเริ่มต้นที่ถูกกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้า (Default) ของโปรแกรมสำเร็จรูปหรือแอพพลิเคชัน (Applications) แบบต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบที่ค่าปัจจัยคุณภาพเท่ากับ 100% อีกค่าหนึ่งด้วย

ในการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดังกล่าว ผู้วิจัยได้ใช้การคำนวณหาค่า BER (Bit error rate) ซึ่งนิยามได้จาก อัตราส่วนระหว่างจำนวนบิตที่ผิดพลาดจากการคัดแยกสัญญาณลายน้ำเทียบกับจำนวนบิตทั้งหมดของสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝังในภาพต้นฉบับ ดังแสดงในสมการที่ (3-5)

$$BER = \frac{\text{จำนวนบิตที่ผิดพลาดจากการคัดแยก}}{\text{จำนวนบิตทั้งหมด}} \qquad (3\text{-}5)$$

ซึ่งการคำนวณค่า BER ดังกล่าวจะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความสามารถของอัลกอริทึมในการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำอย่างแท้จริง

ผลการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำจากการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG ที่ค่าคุณภาพ 100% และ 80% แสดงในตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ และผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA โดยทดสอบความทนทานสัญญาณลายน้ำจากการตัดภาพ 50% (50% Cropping) และการหมุนภาพตามเข็มนาฬิกา 1.0° (1.0° CW Rotation) แสดงในตารางที่ 3.7 โดยจากการทดสอบดังกล่าวข้างต้นพบว่า เมื่อค่า Q-Step เพิ่มขึ้นสัญญาณลายน้ำจะมีความทนทานมากยิ่งขึ้นหรือค่า BER (%) จะลดลงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและหลักการในการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล และจะสังเกตเห็นจุดเด่นของการใช้สัญญาณลายน้ำแบบรูปภาพหรือโลโก นั่นคือในกรณีที่ทำการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำแล้วพบว่าค่า BER มีค่าสูงมากหรืออัลกอริทึมสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้น แต่ก็ยังจะสามารถนำรูปภาพที่คัดแยกได้มาใช้ระบุความเป็นเจ้าของได้ เพราะสายตาจะยังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นรูปภาพหรือโลโกได้แม้ว่าจะมีค่า BER (%) ที่สูงมากก็ตาม ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของการใช้สัญญาณลายน้ำแบบรูปภาพ

ตารางที่ 3.3 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 0.04 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100%

Test image	Q-Step = 0.03			Q-Step-GA			Q-Step = 0.05		
	PSNR	BER		PSNR	BER		PSNR	BER	
1. Pepper	41.24	0.4160		38.73	0.4394		37.71	0.3994	
2. Lena	42.90	0.3232		39.95	0.0585		38.20	0.0225	

3. Fruit	41.58	0.4794		39.20	0.2998		37.12	0.0283	
4. Baboon	41.78	0.3857		39.42	0.0595		37.21	0.0244	
5. Airplane	41.32	0.5087		38.90	0.4570		36.50	0.0751	

ตารางที่ 3.4 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100%

Test image	Q-Step = 0.08			Q-Step = 0.1		
	PSNR	BER		PSNR	BER	
1. Pepper	32.38	0.4794		30.66	0.4716	
2. Lena	34.36	0.0175		31.95	0.0312	
3. Fruit	33.28	0.3925		31.09	0.3730	
4. Baboon	33.10	0.1884		31.20	0.3457	
5. Airplane	32.86	0.0478		30.71	0.0009	

ตารางที่ 3.5 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 0.04 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80%

Test image	Q-Step = 0.03			Q-Step-GA			Q-Step = 0.05		
	PSNR	BER		PSNR	BER		PSNR	BER	
1. Pepper	41.24	0.4033		38.73	0.4199		37.11	0.4345	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. Lena	39.95	0.1885		39.95	0.1855		38.20	0.0537	
3. Fruit	41.58	0.4980		39.20	0.1884		37.12	0.0290	
4. Baboon	41.78	0.3417		39.42	0.2421		37.21	0.0410	
5. Airplane	41.32	0.4511		38.90	0.4580		36.50	0.0751	

ตารางที่ 3.6 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80%

Test image	**Q-Step = 0.08**			**Q-Step = 0.1**		
	PSNR	**BER**		**PSNR**	**BER**	
1. Pepper	32.38	0.4384		30.66	0.4140	
2. Lena	34.36	0.0205		31.95	0.0332	
3. Fruit	33.28	0.3945		31.09	0.8486	
4. Baboon	33.10	0.1748		31.20	0.2539	
5. Airplane	32.86	0.0498		30.71	0.0009	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.7 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบความทนทานสัญญาณลายน้ำจากการตัดภาพ 50% (50% Cropping) และการหมุนภาพตามเข็มนาฬิกา 1.0° (1.0° CW Rotation)

Test image	50% Cropping		1.0° CW Rotation	
	BER	Logo	BER	Logo
1. Pepper	0.0390		0.1481	
2. Lena	0.4252		0.1382	
3. Fruit	0.1237		0.1446	
4. Baboon	0.4151		0.2782	
5. Airplane	0.0732		0.1377	

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำด้วยแอพพลิเคชั่นตกแต่งและบีบอัดรูปภาพ JPEG ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system) โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิตอลในการทดสอบจำนวน 5 ภาพซึ่งเป็นภาพสีขนาด 512×512 พิกเซล คือ Bear, Calendar, Color, Eleven และ Pen ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และในตารางที่ 3.14 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR จากการทดสอบการฝังสัญญาณลายน้ำและค่า BER จากการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกตโดยให้ค่าเฉลี่ยของ PSNR เท่ากับ 39.74 dB และในการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำพบว่าค่า BER ที่คำนวณได้มีค่าค่อนข้างสูงหรือสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้นแต่ก็ยังจะสามารถนำรูปภาพหรือโลโกที่คัดแยกได้มาใช้ระบุความเป็นเจ้าของได้เพราะสายตาเรายังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นรูปภาพได้อย่างค่อนข้างชัดเจน

Bear Calendar Color Eleven Pen

รูปที่ 3.15 ภาพดิจิตอลจากกล้องอุปกรณ์เคลื่อนที่บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ตารางที่ 3.8 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบอัลกอริทึมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 100 %

Test image	Q-Step-GA		
	PSNR (dB)	BER	
1. Eleven	41.19	0.3496	
2. Pen	39.40	0.0390	
3. Calendar	40.17	0.2292	
4. Bear	38.48	0.0175	
5. Color	39.57	0.4257	

ตารางที่ 3.8 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิตอลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบอัลกอริทึมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 80 %

Test image	Q-Step-GA		
	PSNR (dB)	BER	
1. Eleven	41.19	0.4658	
2. Pen	39.40	0.1376	
3. Calendar	40.17	0.3378	
4. Bear	38.48	0.0703	
5. Color	39.57	0.2373	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 สรุปผลการวิจัย

หัวข้อนี้ได้นำเสนอ การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล และกล่าวถึงผลการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ และผลการทดสอบคุณภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลเป็นส่วนสุดท้าย การทำออปติไมซ์เซชันให้กับระบบด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เป็นเทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลระบบเดิมที่ใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆจากการลองผิดลองถูก (Trial and error) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือ จีนเนติกอัลกอริทึม (GA) โดยผู้วิจัยได้ใช้จีนเนติกอัลกอริทึมในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ Q-Step สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าว จะมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของภาพดิจิตอลนั้น ๆ วิธีการนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้กับภาพดิจิตอลทั่ว ๆไป ในขั้นตอนการค้นหาด้วยจีนเนติกอัลกอริทึมนั้นเราจะสังเกตเห็นว่า จีนเนติกอัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบในวงกว้างได้โดยมีการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสม จากการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยทำการโจมตีสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการต่าง ๆพบว่า วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้จริง โดยทำให้ได้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ดีขึ้นและมีความทนทานของสัญญาณลายน้ำที่ดีเช่นเดียวกันโดยเฉพาะความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณโดยวิธีการของ JPEG ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากในการส่งข้อมูลสัญญาณภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
สรุป

4.1 สรุป

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอ การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตเพื่อใช้ในการระบุตัวตนหรือเจ้าของที่แท้จริงของภาพดิจิตอลโดยการฝังโลโกหรือภาพลายน้ำดิจิตอลลงในภาพในโดเมนของการแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีต นอกจากผู้วิจัยนี้ยังได้นำเสนอวิธีการในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ โดยเลือกใช้จีนเนติกอัลกอริทึมในการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลระบบเดิมให้ดีขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1.1 การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยเลือกเทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการควอนไทล์ (Quantization technique) มาทำการพัฒนาอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของสัญญาณและความทนทานของลายน้ำ ซึ่งผู้วิจัยทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Discrete wavelet transform; DWT) โดยภาพต้นฉบับจะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DWT จำนวน 4 ระดับ (4-Levels wavelet decomposition) ที่ใช้เวฟเล็ตแม่ Daubechies wavelet (D4) ในขั้นตอนของการแปลงสัญญาณภาพด้วย DWT ซึ่งการแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนเวฟเล็ตดังกล่าว เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณภาพดิจิตอลแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-resolution analysis) ทำให้วิธีการที่นำเสนอมีความปลอดภัยสูงมากเนื่องจากสัญญาณลายน้ำจะมีการแพร่กระจายอยู่ตลอดช่วงความถี่ของสัญญาณภาพด้วยขนาดและความแรงสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมากและผู้ที่มีรหัสลับที่ถูกต้องเท่านั้นจึงจะสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำนี้ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

เพื่อให้ระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ออกแบบขึ้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการในการทำออปติไมซ์เซชัน (Optimization) ให้กับระบบด้วยวิธีการทาง

ปัญญาประดิษฐ์แทนวิธีการดั้งเดิมโดยเลือกใช้จีนเนติกอัลกอริทึม ทั้งนี้เพื่อให้ระบบเดิมดีขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล ในกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำนั้น ภาพต้นฉบับจะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DWT จำนวน 4 ระดับและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยเทคนิคการควอนไทล์ซึ่งก็คือค่า Q-Step จะถูกปรับแต่งให้มีความเหมาะสมมากที่สุดด้วยวิธีการของ GA และในระบบที่ออกแบบขึ้นนั้น GA จะถูกนำมาใช้ในการทำออปติไมซ์เซชันทั้งในขั้นตอนของการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ซึ่งจะเห็นได้จากการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ให้มีการนำค่าพารามิเตอร์บางค่าที่ได้จากการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำมาทำการประมวลผลร่วมกันในขณะที่ทำการออปติไมซ์เซชัน โดยในส่วนของการฝังสัญญาณลายน้ำจะนำค่ามาตรฐานที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของภาพดิจิตอล (PSNR) เป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม ส่วนในด้านการตรวจจับสัญญาณลายน้ำนั้นได้ใช้ค่าที่บ่งชี้ถึงความสำเร็จในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ (NC) เป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม

4.1.3 ผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

ผลการทดสอบด้านคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุตในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลนั้น พบว่า ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำจะไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำโดยแสดงค่าเฉลี่ย PSNR จากการทดสอบการฝังสัญญาณลายน้ำจำนวน 5 ครั้ง และพบว่าค่า Q-Step ที่ต่ำจะให้ค่า PSNR ที่สูงสอดคล้องกับหลักการในการออกแบบอัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอล และที่ค่าพารามิเตอร์จากกระบวนการของ GA คือ Q-Step-GA สามารถให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกตโดยมีค่าเฉลี่ยของ PSNR เท่ากับ 39.24 dB

ในการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดังกล่าว ผู้วิจัยได้ใช้การคำนวณหาค่า BER (Bit error rate) ซึ่งนิยามได้จาก อัตราส่วนระหว่างจำนวนบิตที่ผิดพลาดจากการคัดแยกสัญญาณลายน้ำเทียบกับจำนวนบิตทั้งหมดของสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝังในภาพต้นฉบับ โดยพบว่าเมื่อค่า Q-Step เพิ่มขึ้นสัญญาณลายน้ำจะมีความทนทานมากยิ่งขึ้นหรือค่า BER (%) จะลดลงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและหลักการในการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล และจะสังเกตเห็นจุดเด่นของการใช้สัญญาณลายน้ำแบบรูปภาพหรือโลโก นั่นคือในกรณีที่ทำการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำแล้วพบว่าค่า BER มีค่าสูงหรืออัลกอริทึมสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้น แต่เราก็ยังสามารถนำรูปภาพลายน้ำที่ทำการคัดแยกได้มาใช้ในการระบุความเป็นเจ้าของได้เพราะว่าสายตาจะยังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นลักษณะรูปภาพหรือโลโกได้ดีแม้ว่าจะมีค่า BER (%) ที่สูงมากก็ตาม ซึ่งนับว่าเป็นจุดเด่นของวิธีการที่นำเสนอ ผลการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยทำการโจมตีสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการต่าง ๆพบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่ม

ความทนทานของสัญญาณลายน้ำได้ดีโดยเฉพาะความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณภาพโดยวิธีการ JPEG ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากในการส่งผ่านข้อมูลสัญญาณภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

4.2 แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.) การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่นำองค์ประกอบของสีหลักในภาพมาใช้ขั้นตอนการออปติไมซ์เซชันหรือในการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.) การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปหรือแอพพลิเคชัน (Application) การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่สามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile devices) แบบต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] S. -J. Lee and S. -H. Jung, "A Survey of Watermarking Techniques Applied to Multimedia," In Proc. IEEE ISIE, Vol. 1, pp. 272-277, June 2001.

[2] F. Hartung and M. Kitter, "Multimedia Watermarking Techniques", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87(7), pp. 1079-1107, July 1999.

[3] I. Cox, M. Miller, and J. Bloom, 2002. Digital Watermarking. Morgan-Kaufmann, San Francisco, CA, ISBN: 1-55860-714-5.

[4] The USC-SIPI Image database [On-line]. Available: http://sipi.usc.edu/services/database/Database.html

[5] Waterloo BragZone [On-line]. Available: http://links.uwaterloo.ca/bragzone.base.html

[6] G. Sun and Y. Yu, "DWT Based Watermarking Algorithm for Color Image." In Proc. 2007 Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Beijing, China, pp. 1823-1826, 2007.

[7] A. Hu and N. Chen. "A Blind Watermarking Algorithm for Color Image Based on Wavelet Transform and Fourier Transform." In Proc. IEEE The 9th International Conference for Young Computer Scientists, pp. 1453-1458, 2008.

[8] S. Zheng, Y. Zhu and X. Wang, "A New RST-Invariant Watermarking Scheme Based on Texture Features," In Proc. e-Forensic ICST 2008, vol. 1, pp. 272-277, January 2008.

[9] D. R. Elshafie, N. Kharma and R. Ward, "Parameter optimization of an embedded watermark using a genetic algorithm." In Proc. The 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2008), pp. 1263-1267, 2008.

[10] Y. Chen, Y. Zhang and L. Peng, "A Novel Optimal color image Watermarking Scheme," In Proc. Third International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. Wuhan, China, pp. 121-124, 2009.

[11] Q. T. Yang, T. G. Gao and L. Fan. "A Novel Robust Watermarking Scheme Based on Neural Network" In Proc. IEEE International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS), Tianjin, China, pp. 71-75, 2010.

[12] N. V. Dharwadkar, B. B. Amberker and A. Gorai, "Non-blind watermarking scheme for color images in RGB space using DWT-SVD", In Proc. 2011 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), pp. 489-493, 2011.

[13] R. Dubolia, R. Singh, S. S. Bhadoria and R. Gupta, "Digital Image Watermarking by Using Discrete Wavelet Transform and Discrete Cosine Transform and Comparison Based on PSNR", In. Proc. 2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), pp. 593-596, 2011.

[14] J. H. Kim, S. H. Lee, and K. R. Kwon, "A Satellite Image Watermarking Scheme Based on Perspective Distance," In. Proc. 17 th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV), Busan, Korea, pp. 1-4, 2011.

[15] M. Imran and A. Ghafoor, "A PCA-DWT-SVD based color image watermarking ," In. Proc. 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Vol.1, pp. 1147 – 1152, 2012.

[16] R. Agarwal; M. S. Santhanam and K. Venugopalan, “Multichannel digital watermarking of color images using SVD,” In Proc. 2011 International Conference on Image Information Processing (ICIIP), Vol. 1, pp. 1 – 6, 2012.

[17] E. Duymaz and A. Akan, “ A novel image watermarking approach,” In Proc. 2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Vol. 1, pp. 473 – 476, 2013.

[18] S. Saha and R. Vemuri, “How do image statistics impact lossy coding performance”, In Proc. 2000 International Symposium on Information Technology (ITCC 2000), Vol. 1, pp. 42-47, 27-29 March 2000, Las Vegas, NV, USA.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์

(ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Flt.Lt.Dr.Prayoth Kumsawat

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ที่อยู่ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044 224392 โทรสาร 044 224603
E-mail: prayoth@sut.ac.th

ประวัติการศึกษา

2549 วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2541 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2536 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	โรงเรียนนายเรืออากาศ

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Digital signal and image processing
- Artificial intelligence and applications
- Microcontroller and embedded systems

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี