รหัสโครงการ SUT 7-709-59-12-64

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิตอล สำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์

(Design and Development of Digital Color Image Watermarking for Android Devices)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 7-709-59-12-64

รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิตอล สำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ (Design and Development of Digital Color Image Watermarking for Android Devices)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2559

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเกริกฤทธิ์ ศรีเคนและนายธีระภัทร เจริญปรุ นักศึกษาปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ช่วยงานวิจัย เก็บข้อมูลการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอ การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ (Android device) ในโดเมนของการแปลงสัญญาณ (Transform domain) เพื่อให้สัญญาณลายน้ำมีความยากลำบากต่อการสังเกต ผู้วิจัยได้ทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete wavelet transform) ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณภาพแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-resolution analysis) ในการออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลดังกล่าว ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยเทคนิคการควอนไทส์ในโดเมนของการแปลงสัญญาณโดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอการสร้างระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์โดยใช้โปรแกรม Eclipse และใช้ชุดเครื่องมือพัฒน (Software development kits) สำหรับการสร้างแอพพลิเคชัน (Android application) ผู้วิจัยยังได้แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในด้านคุณภาพด้วยการคำนวณหาค่า PSNR (Peak signal to noise ratio) ในขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำและการคำนวณค่า BER (Bit error rate) ในการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ ผลการทดสอบการทำงานที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอทั้งในด้านคุณภาพและความทนทานต่อการโจมตีของสัญญาณลายน้ำได้มีการนำเสนอไว้แล้วในรายงานฉบับนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

This research project presents a design and development of digital image watermarking algorithm for Android device based on transform domain. In order to make the watermark 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 in transform domain which does not require the original image in the watermark extraction process. In this paper we propose an efficient digital image watermarking systems for Android devices. This Android application has been developed by using Eclipse and software development kits (SDK). 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 หลักการสำคัญในการออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล 4

2.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล 5

2.2.2 สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิทัล 6

2.2.3 เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล 7

2.3 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system) 8

2.4 สรุป 9

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย **10**

3.1 บทนำ 10

3.2 การออกแบบอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนการแปลงสัญญาณ 10

3.2.1 การฝังสัญญาณลายน้ำ 10

3.2.2 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ 12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ 13
3.3.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล 14
3.3.2 การออกแบบโครโมโซมประชากรและการเข้ารหัส 14
3.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม 15
3.3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์ การปฏิบัติการทางสายพันธุ์และการแทนที่ 15
3.4 การพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนนดรอยด์ 15
3.5 สรุป 22
บทที่ ผลการวิจัย 23
4.1 บทนำ 23
4.2 ผลการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนนดรอยด์ 23
4.3 ผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล 30
4.3.1 การทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุต 34
4.3.2 การทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ 36
4.4 สรุป 41
บทที่ 5 บทสรุป 42
5.1 สรุป 42
5.2 แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต 44
บรรณานุกรม 45
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งานแอพพลิเคชัน 47
ประวัตินักวิจัย 53

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ค่า Q-Step ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ GA (Q-Step-GA) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและการประยุกต์ใช้งาน..... 34
4.2 ค่า PSNR ภาพเอาต์พุตของวิธีการที่นำเสนอ (ค่า Q-Step-GA เท่ากับ 0.04) ที่ทำการทดสอบบนแอพพลิเคชันเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, 0.05, 0.08 และวิธีการทั่วไป (ค่า Q-step เท่ากับ 1.0)..... 35
4.3 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04..... 37
4.4 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04..... 38
4.5 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 0.04 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04..... 38
4.6 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04..... 39
4.7 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบความทนทานสัญญาณลายน้ำจากการตัดภาพ 50% (50% Cropping) และการหมุนภาพตามเข็มนาฬิกา 1.0° (1.0° CW Rotation)..... 39
4.8 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบขั้นตอนวิธีบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 100 %..... 40
4.9 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบขั้นตอนวิธีบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 80 %..... 41

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิทัล 4
3.1 (ก) การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย 4 ระดับของภาพขนาด 512× 512 pixels และ (ข) การจัดเรียงแบนด์ย่อยของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในแผนภาพต้นไม้ 11
3.2 (ก) การจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละโครงสร้างต้นไม้ และ (ข) ตัวอย่างการจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตให้เป็นทรีปเปิลทรี 11
3.3 การฝังสัญญาณลายน้ำ 12
3.4 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ 12
3.5 แผนภาพการหาค่าเหมาะที่สุดด้วย GA 14
3.6 หน้าต่างการสร้างแอพพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 15
3.7 โปรแกรม Eclipse ที่ใช้ในการสร้างแอพพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 16
3.8 ขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 17
3.9 ขั้นตอนการคัดแยกสัญญาณลายน้ำสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 18
3.10 ขั้นตอนการฝังและแสดงผลสัญญาณลายน้ำบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 19
3.11 ขั้นตอนการคัดแยกและแสดงผลสัญญาณลายน้ำบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 20
4.1 ภาพไอคอน (Icon) ของแอพพลิเคชัน 24
4.2 รายละเอียดของโครงการในหน้าต่าง About ของแอพพลิเคชัน 224
4.3 ภาพของเมนูหลัก 25
4.4 ภาพขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำ Watermark Embedded 25
4.5 ขั้นตอนการเลือกหรือโหลดรูปภาพที่ทำการฝังลายน้ำ 26
4.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการฝังลายน้ำ 26
4.7 ภาพการกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มทำการฝังลายน้ำ 27
4.8 หลังจากการฝังลายน้ำภาพจะถูกเก็บอยู่ในโฟลเดอร์ Embedded Image 27
4.9 ภาพการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ Watermark Extraction 28
4.10 ขั้นตอนแรกของการคัดแยกต้องทำการโหลดภาพที่ต้องการคัดแยกลายน้ำก่อน 28
4.11 การใส่ค่าพารามิเตอร์ในการคัดแยกพร้อมรหัสลับ 29
4.12 การคัดแยกจะเริ่มทำงานเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม Extraction 29
4.13 ภาพดิจิทัลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ 30
4.14 ภาพสัญญาณลายน้ำ “SUT TCE” ที่ใช้ในการทดสอบ 30
4.15 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดภาพ “Pepper” 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.16 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Lena” 32
4.17 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Fruit” 32
4.18 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Baboon”33
4.19 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Airplane” 33
4.20 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำและ (ค) ภาพผลต่าง.. 35
4.21 เปรียบเทียบค่า PSNR จากการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, Q-Step-GA, 0.05, 0.08 และ 1.0 35
4.22 ภาพดิจิทัลจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีดิจิตอลมัลติมีเดีย เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคม เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เน็ตมีความเจริญรุดหน้าไปเร็วมาก เทคโนโลยีดังกล่าวทำให้เนื้อหา (Contents) ของสื่อผสมในรูปแบบดิจิตอล (Digital multimedia contents) สามารถส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เน็ตจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้อย่างสะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งปันข้อมูลข่าวสารสื่อดิจิตอลต่าง ๆผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำให้ข้อมูลดังกล่าวเกิดการแพร่กระจายไปทั่วโลกได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแชร์หรือการแบ่งปันข้อมูลดังกล่าวผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (Social medias) เช่น Facebook Twitter Whatapp Line เป็นต้น ซึ่งสามารถแพร่กระจายข้อมูลได้อย่างง่ายดายและรวดเร็วมาก ประกอบกับข้อมูลในรูปแบบดิจิตอลสามารถทำการประมวลผลได้ง่ายด้วยซอฟแวร์ที่มีอยู่มากมาย สามารถทำการคัดลอกโดยไม่มีการลดทอนหรือสูญเสียคุณภาพของสัญญาณ รวมทั้งยังสามารถทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขในตัวเนื้อหาข้อมูลได้ง่ายอีกด้วย จึงส่งผลให้มีการใช้งานข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดียทั้งภาพและเสียงกันอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้เกิดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของเจ้าของข้อมูลดิจิตอลมัลติมีเดีย เช่น การปลอมแปลง การดัดแปลง การทำซ้ำ การนำเสนอ การเผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยปราศจากความยินยอมจากเจ้าของข้อมูล ซึ่งอาจจะทำให้เจ้าของข้อมูลต้องเสียชื่อเสียงหรือสูญเสียรายได้ที่พึงได้รับ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญา วิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้คือการเข้ารหัสลับ (Encryption) แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด เนื่องจากการเข้ารหัสลับเป็นการป้องกันการเข้าถึงตัวข้อมูลในระหว่างการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสาร โดยมีการใช้กุญแจลับในการเข้ารหัสเพื่อสร้างข้อความไซเฟอร์ (Cipher text) ที่มีรูปลักษณ์ซึ่งต่างไปจากข้อมูลต้นฉบับโดยสิ้นเชิงก่อนที่จะส่งผ่านเครือข่ายการสื่อสาร อย่างไรก็ตาม การเข้ารหัสลับนี้มิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาในตัวข้อมูลแต่อย่างใด 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) ของสัญญาณลายน้ำกับตัวตรวจจับสัญญาณลายน้ำสูญเสียไปจึงส่งผลให้การคัดแยกสัญญาณลายน้ำเกิดความผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นการคิดค้นอัลกอริทึมที่มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายมากสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการคิดค้นและพัฒนาอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ (Copyright protection) สำหรับภาพจากอุปกรณ์แอนดรอย์ (Android devices)
2. เพื่อทำการศึกษาความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล ภายใต้สภาวะการโจมตีสัญญาณลายน้ำแบบต่าง ๆ
3. เพื่อพัฒนาโปรแกรมแอนดรอยด์ประยุกต์ (Android application) ที่สามารถฝังสัญญาณลายน้ำและตรวจจับสัญญาณลายน้ำดิจิตอลแบบทนทานโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนการแปลง (Transform domain)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB โปรแกรมภาษา C/C++ และ Java ในการจำลองอัลกอริทึมที่ได้ทำการคิดค้นและพัฒนาขึ้น
2. ภาพตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นภาพดิจิตอลจากอุปกรณ์แอนดรอย์ รวมทั้งภาพดิจิตอลมาตรฐานที่ได้จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้เช่น The USC-SIPI Image database [5] และ Waterloo BragZone [6]

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง

วิธีการดำเนินการวิจัย: มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สำรวจวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัยในฐานข้อมูลต่าง ๆ
2. ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง เช่น การแปลงสัญญาณภาพ ทฤษฎีการตรวจจับสัญญาณ การเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลและการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล
3. จัดเก็บรวบรวมข้อมูลภาพกล้องดิจิตอลและภาพจากแหล่งอื่น ๆเพื่อเป็นฐานข้อมูลการวิจัย
4. คิดค้นและออกแบบวิธีการสร้างสัญญาณลายน้ำและอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล
5. ทำการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล ภายใต้สภาวะของการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะทดสอบผ่านโปรแกรมแอนดรอยด์ประยุกต์
6. ทำการพัฒนาและทดสอบอัลกอริทึม เปรียบเทียบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยจะมีการคำนวณและเปรียบเทียบค่า Peak signal to noise ratio (PSNR) และอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate)

7. ทำการพัฒนาและทดสอบอัลกอริทึมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

8. ทำการเก็บข้อมูลผลการทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนรายงานการวิจัย

สถานที่วิจัย:

1. อาคารเครื่องมือ 11 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย: 1 ปีนับตั้งแต่วันที่อนุมัติโครงการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อัลกอริทึมการทำลายน้ำดิจิตอลสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
2. ได้แนวทางในการพัฒนาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่มีความทนทานสูงต่อการโจมตี
3. ได้องค์ความรู้สำคัญสำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนการแปลงสัญญาณ
4. เป็นการส่งเสริมให้นักศึกษาสนใจในการทำวิจัย รวมทั้งเป็นการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ให้สามารถเริ่มทำการวิจัยและพัฒนา และสามารถดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง
5. องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยจะนำไปใช้ในการเรียนการสอนนักศึกษาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรรมโทรคมนาคม ทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท

1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายเมื่อสิ้นสุดการวิจัย

จัดทำบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ในระดับชาติ และ/หรือ ระดับนานาชาติ เมื่องานวิจัยแล้วเสร็จจะขยายผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีในรูปแบบการจัดแสดงนิทรรศการหรืออื่น ๆตามความเหมาะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

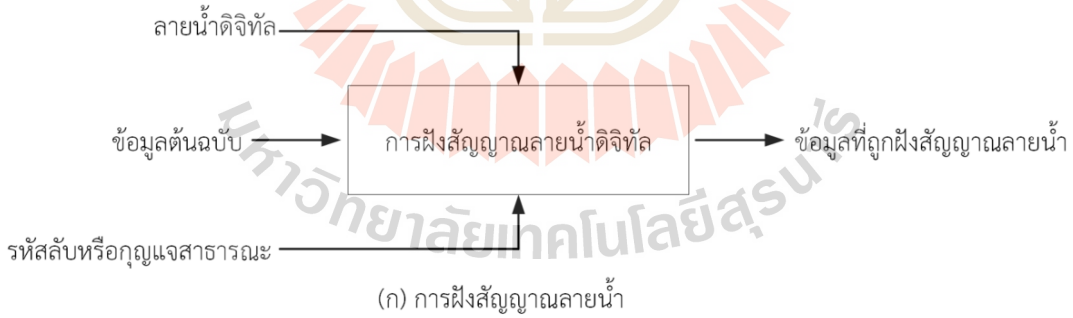
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

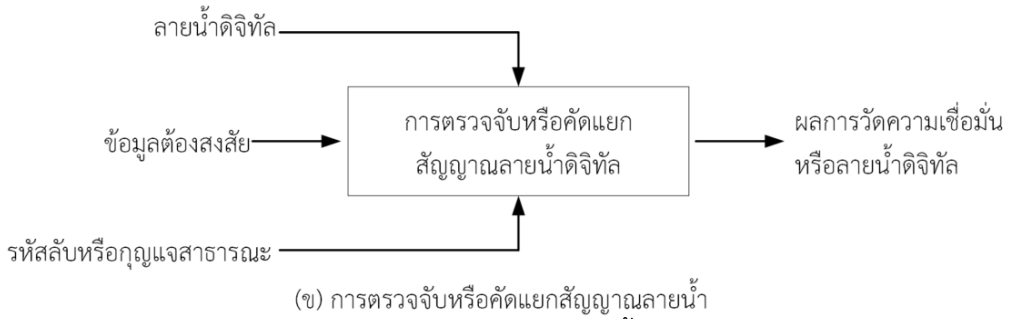
บทนี้จะนำเสนอ ทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นและมีความสำคัญมากต่อการพัฒนางานวิจัยการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วย หลักการสำคัญในการออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลและระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ งานวิจัยนี้เป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ ซึ่งต้องใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดและผู้วิจัยจะต้องออกแบบและพัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำงานงานได้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งเป็นอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีทรัพยากรในการประมวลผลที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นจะต้องมีขั้นตอนในการประมวลผลที่มีความซับซ้อนน้อยและต้องมีการใช้หน่วยความจำในการประมวลผลที่ค่อนข้างจำกัด รวมทั้งต้องใช้ทรัพยากรต่าง ๆในระบบที่ไม่มากจนเกินไปจนไม่สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2.2 หลักการสำคัญในการออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ลายน้ำ (Watermark) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาเป็นเวลาช้านาน ตัวอย่างเช่น การแทรกลายน้ำลงในธนบัตร แสตมป์หรือเอกสารสำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการปลอมแปลงหรือลอกเลียนแบบ ในปัจจุบันข้อมูลภาพและเสียงเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บจากแอนะล็อกมาเป็นข้อมูลแบบดิจิทัล แนวทางในการป้องกันที่คล้ายคลึงกับรูปแบบเดิมก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้อีกครั้ง โดยลายน้ำที่ใช้งานก็มีการเปลี่ยนรูปแบบไปเป็น ลายน้ำดิจิทัล (Digital watermark) กระบวนการในการทำลายน้ำดิจิทัลโดยทั่ว ๆไปแสดงได้ดังในรูปที่ 2.1 โดยประกอบด้วยสองส่วนคือ การฝังลายน้ำดิจิทัลและการตรวจจับหรือการคัดแยกสัญญาณลายน้ำดิจิทัล



(ก) การฝังสัญญาณลายน้ำ



(ข) การตรวจจับหรือคัดแยกสัญญาณลายน้ำ

รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิทัล

2.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล

ในขั้นตอนการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล สามารถแยกออกอธิบายเป็นข้อๆประกอบด้วย การออกแบบสัญญาณลายน้ำ การออกแบบขั้นตอนวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลและการออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ

การออกแบบสัญญาณลายน้ำ เป็นวิธีการในการสร้างสัญญาณลายน้ำสำหรับนำมาฝังหรือซ่อนในข้อมูลดิจิทัล โดยปกติแล้วสัญญาณลายน้ำจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลข่าวสารและกุญแจรหัสที่ใช้สร้างสัญญาณลายน้ำ ดังนี้

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

เมื่อ W คือสัญญาณลายน้ำดิจิทัล K คือกุญแจรหัสและ I คือข้อมูลข่าวสารซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของในข้อมูลดิจิทัล และในบางครั้งสัญญาณลายน้ำอาจจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลต้นฉบับ X ที่ต้องการจะฝังสัญญาณลายน้ำด้วย คือ

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

การออกแบบขั้นตอนวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล เป็นวิธีการในการนำสัญญาณลายน้ำ W มารวมเข้ากับข้อมูลต้นฉบับ X ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำ Y ดังนี้

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

การออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ เป็นการพิสูจน์ทราบว่ามีสัญญาณลายน้ำอยู่ในข้อมูลดิจิทัลที่เราสงสัยหรือไม่ หรือเพื่อที่จะกู้ข้อมูลข่าวสารในข้อมูลดิจิทัลที่เราสงสัย $\tilde{I}$ กลับคืนมาสำหรับใช้ในการอ้างกรรมสิทธิ์หรือระบุตัวตนที่แท้จริงของเจ้าของข้อมูลดิจิทัลนั้น กระบวนการในการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำอาจทำได้โดยใช้ข้อมูลต้นฉบับ ข้อมูลต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำ $\tilde{Y}$ และกุญแจรหัสดังนี้

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

หรืออาจไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับก็ได้ ดังนี้

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

ในทางปฏิบัติ สองข้อแรกนั้นสามารถที่จะทำดำเนินการออกแบบไปพร้อม ๆ กัน โดยเฉพาะเทคนิคในการทำลายน้ำดิจิทัลที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณลายน้ำตามชนิดข้อมูลต้นฉบับ การทำลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบที่เรียกว่า Public watermarking สามารถทำการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้โดยไม่

จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ ซึ่งในการใช้งานบางอย่างนั้นเราอาจจะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลต้นฉบับได้ และบางทีข้อมูลต้นฉบับที่ใช้ก็อาจจะไม่ใช่ข้อมูลที่แท้จริงเสมอไป ดังนั้นการตรวจจับสัญญาณลายน้ำโดยที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับจึงมีความโดดเด่น แต่ก็มีความซับซ้อนมากกว่าการตรวจจับที่ต้องอาศัยข้อมูลต้นฉบับหลายเท่าตัว การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบดังกล่าวนี้จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

2.2.2 สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิทัล

การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัลในงานแต่ละประเภท จะมีรายละเอียดและความต้องการพื้นฐานของการทำลายน้ำดิจิทัลที่แตกต่างกันไป สิ่งที่ต้องการทำลายน้ำดิจิทัลในการประยุกต์ใช้งานทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ [1, 2, 3] คือ ความยากลำบากต่อการสังเกต ความทนทานของสัญญาณลายน้ำและจำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความยากลำบากต่อการสังเกต (Imperceptibility) ขั้นตอนวิธีในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลจะต้องมีการฝังสัญญาณลายน้ำในลักษณะที่ไม่เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำโดยต้องไม่ทำให้เกิดการสังเกตเห็นได้หรือสามารถบอกความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ฝังสัญญาณลายน้ำ

ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robustness) ข้อมูลดิจิทัลที่ฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว อาจถูกประมวลผลโดยการประมวลผลสัญญาณแบบต่าง ๆ ซึ่งในระหว่างนั้นสัญญาณลายน้ำอาจถูกเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายทั้งโดยจงใจหรือไม่ก็ตาม ความทนทานของสัญญาณลายน้ำเป็นสิ่งที่ทำให้มั่นใจได้ว่าสัญญาณลายน้ำจะไม่ถูกทำลายไปในระหว่างการประมวลผลสัญญาณเหล่านั้น นอกจากนี้สัญญาณลายน้ำควรจะต้องมีความปลอดภัยจากการคุกคาม (Threat) และการโจมตี (Attack) เพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถทำการแก้ไขหรือทำลายสัญญาณลายน้ำ ทั้งนี้เพื่อที่จะขัดขวางการตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้ เราเรียกการทำลายน้ำดิจิทัลแบบนี้ว่า การทำลายน้ำแบบทนทาน (Robust watermarking) ตรงกันข้ามกับวิธีการทำลายน้ำดิจิทัลแบบเปราะบาง (Fragile watermarking) สัญญาณลายน้ำในวิธีนี้จะถูกออกแบบให้มีความเปราะบางต่อการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งก็จะมีลักษณะการประยุกต์ใช้งานที่ต่างออกไป เช่น ใช้ในการสร้างความเชื่อถือได้ของสัญญาณภาพ (Image integrity) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลภาพนั้น ๆ เป็นภาพต้นฉบับจริงหรือเป็นภาพที่มีการแก้ไขแต่งเติม (Retouch) ลายน้ำดิจิทัลแบบเปราะบางจะทำให้เกิดความมั่นใจว่าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและไม่ถูกผู้อื่นบิดเบือนไป เป็นต้น

จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ (Payload of the watermark) หมายถึงจำนวนของข้อมูลสัญญาณลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลดิจิทัล ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความจุของช่องสัญญาณและขึ้นอยู่กับขั้นตอนวิธีในการทำลายน้ำดิจิทัลเป็นอย่างมาก บางขั้นตอนวิธีสามารถฝังได้แค่เพียงบิตเดียว (One-bit watermarking) แต่บางขั้นตอนวิธีสามารถฝังได้มากกว่า 1 บิต (Multi-bits watermarking) อย่างไรก็ตามจำนวนบิตดังกล่าวจะถูกออกแบบให้เหมาะสมตามการใช้งาน สำหรับการใช้งานเพื่อการป้องกันการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา (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]

อย่างไรก็ตามในการทำลายน้ำดิจิทัลนั้น สิ่งที่ต้องการทั้งสามข้อดังกล่าวจะขัดแย้งซึ่งกันและกันเสมอ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพดีหรือมีความคล้ายกับสัญญาณภาพต้นฉบับมากที่สุด ก็ต้องฝังสัญญาณลายน้ำโดยใช้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมาก ซึ่งจะส่งผลให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดลง และหากต้องการให้จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำมีมากขึ้นก็ต้องทำการฝังสัญญาณลายน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดต่ำลงแล้วยังทำให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพลดต่ำลงเช่นกัน การยอมเสียบางส่วนเพื่อให้ได้ส่วนอื่นที่มากกว่า (Trade-off) จึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

2.2.3 เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล เมื่อแบ่งตามลักษณะการมองเห็นสัญญาณลายน้ำสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มด้วยกันคือ [3] ลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำดิจิทัลแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark) ลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้มีข้อดีคือ เมื่อมองดูภาพด้วยสายตาสามารถบอกได้ทันทีว่าภาพนั้นมีลายน้ำดิจิทัลอยู่หรือไม่ ทำให้สามารถระบุถึงเจ้าของของภาพนั้นได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบนี้มีข้อเสียคือ มีความทนทานและความปลอดภัยต่ำ สามารถถูกทำลายหรือลบออกได้โดยง่ายเพราะทราบตำแหน่งที่แน่นอนของสัญญาณลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม ลายน้ำดิจิทัลแบบไม่สามารถมองเห็นได้จะมีความทนทานและความปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากจะไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอนในการฝังสัญญาณลายน้ำ และโดยทั่วไปแล้วสัญญาณลายน้ำจะมีการกระจายอยู่เกือบทุกตำแหน่งในภาพ เมื่อพยายามลบสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการสุ่มจะทำให้คุณภาพของภาพนั้นลดต่ำลงจนทำให้มูลค่าทางการค้าของภาพนั้นเสียไป

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลยังสามารถแบ่งได้ตามโดเมนของการประมวลผลสัญญาณภาพ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม [3] กลุ่มแรกเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสพาเชียลโดเมน (Spatial domain) หรือโดเมนเชิงพื้นที่และในกลุ่มที่สองเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ (Transform domain) ซึ่งจะต้องมีการแปลงโดเมนของสัญญาณภาพก่อนทำการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล 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 การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในสพาเชียลโดเมนทั้งในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุต [1-3] ความปลอดภัยและความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยเฉพาะความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพ ซึ่งการบีบอัดสัญญาณภาพนี้เป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภาพและการส่งข้อมูลภาพดิจิทัลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.3 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system)

แอนดรอยด์ (Android) [23] เป็นระบบปฏิบัติการสำหรับอุปกรณ์แบบพกพาเคลื่อนที่ (Mobile devices) เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต โดยตั้งชื่อเลียนแบบหุ่นยนต์ในเรื่อง Star wars ที่ชื่อ ดรอยด์ (Droid) ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมาเลียนแบบมนุษย์ แอนดรอยด์เป็นซอฟท์แวร์ระบบปฏิบัติการ (Operating system) ที่มีโครงสร้างแบบเรียงทับซ้อนหรือแบบสแต็ก (Stack) โดยใช้ลินุกซ์เคอร์เนล (Linux kernel) เป็นพื้นฐานของระบบปฏิบัติการและใช้ภาษา Java ในการพัฒนา โดยมี Android SDK (Software development kits) เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาแอพพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการ Android ซึ่ง Android SDK ได้รับความนิยมในการใช้งานเป็นอย่างมากเพราะสามารถใช้งานได้ง่ายและมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ (Analysis tools) การทำงานของแอพพลิเคชัน และไลบรารีสำเร็จรูปที่ฟรี (Free library) สำหรับใช้ในการทำงานที่หลากหลายจึงช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาแอพพลิเคชันได้เป็นอย่างดี

แอนดรอยด์เริ่มพัฒนาโดยบริษัทแอนดรอยด์และได้ร่วมกับ Google ต่อจากนั้นเมื่อปี 2550 ได้มีการร่วมมือกันกว่า 30 บริษัทชั้นนำเพื่อพัฒนาระบบ และใช้ชื่อกลุ่มว่า OHA (Open Handset Alliance) โดยได้นำเอาระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ (Linux) ซึ่งนิยมนำไปใช้งานกับเครื่องแม่ข่าย (Server) เป็นหลัก นำมาลดทอนขนาดตัวระบบปฏิบัติการ (แต่ไม่ลดทอนความสามารถ) เพื่อให้เหมาะสมแก่การนำไปติดตั้งบนอุปกรณ์พกพา ที่มีขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลที่จำกัด ความร่วมมือดังกล่าวนี้มีเป้าหมายในการส่งเสริมนวัตกรรมบนเครื่องมือสื่อสาร เพื่อให้ได้รับประสบการณ์ที่เหนือกว่าแพลตฟอร์มโมบาย (Mobile platforms) ทั่วไปที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้การนำเสนอมิติใหม่ของแพลตฟอร์มระบบเปิดให้แก่นักพัฒนาจะทำช่วยให้กลุ่มคนเหล่านี้ทำงานร่วมกันได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยแอนดรอยด์จะช่วยเร่งและผลักดันบริการระบบสื่อสารรูปแบบใหม่ไปสู่ผู้บริโภคได้อย่างที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน

แอนดรอยด์เป็นซอฟท์แวร์ระบบเปิด (Open source) จึงอนุญาตให้นักพัฒนาหรือผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลด Source code เพื่อนำไปพัฒนาในแบบฉบับของตน หรือนำไปใส่ไว้ในผลิตภัณฑ์ของตนเอง ซึ่งก็มีหลายบริษัทชั้นนำที่ได้นำแอนดรอยด์ไปเป็นระบบปฏิบัติการบนโทรศัพท์มือถือและแท็บเล็ตของตนเอง ยกตัวอย่างเช่น บริษัท Samsung ได้นำแอนดรอยด์มาพัฒนาโดยสร้างแอพพลิเคชั่นเพิ่มเติมที่มีชื่อว่า TouchWiz ซึ่งเป็นระบบติดต่อกับผู้ใช้งานที่พัฒนาต่อยอดจากแอนดรอยด์ทำให้การใช้งานได้ง่ายมากขึ้น ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในปัจจุบันพัฒนาถึงรุ่นที่ 6.0 (Marshmallow) [23] โดยสามารถทำงานได้หลายหน้าจอพร้อมกันและมีการแจ้งเตือนที่แยกหมวดหมู่ได้อย่างละเอียด

การทำลายน้ำดิจิทัลสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลดิจิทัลมัลติมีเดียได้ทุกประเภท เช่น ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงเพลง เสียงดนตรี เป็นต้น สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะการทำลายน้ำดิจิทัลสำหรับภาพนิ่งแบบดิจิทัลที่ได้จากกล้องดิจิทัลทั่วไป (Generic digital camera) และภาพจากกล้องของอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile devices) ซึ่งในปัจจุปันพบว่ามีการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างแพร่หลายแต่ยังมีแอพพลิเคชัน (Applications) ที่ใช้งานด้านนี้น้อยมาก ผู้วิจัยจึงแนวความคิดที่จะพัฒนาอัลกอริทึมการทำลาย

น้ำดิจิทัลสำหรับภาพสีโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนการแปลง (Transform domain) เพื่อทำให้สัญญาณลายน้ำดิจิทัลให้มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสีย ซึ่งเทคนิคดังกล่าวได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถทำให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากขึ้นและยังสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆในอัลกอริทึมได้อย่างเหมาะสมที่สุดจึงทำให้ได้ภาพดิจิทัลเอาต์พุตที่มีคุณภาพดีขึ้นและอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอ ทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นและมีความสำคัญมากต่องานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยหลักการสำคัญในการออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลและระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ งานวิจัยนี้เป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ ซึ่งต้องใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด ผู้วิจัยจะทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ให้สามารถทำงานงานได้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile devices) ที่มีทรัพยากรในการประมวลผลสัญญาณ การแสดงผลและหน่วยความจำที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นจะต้องมีขั้นตอนในการประมวลผลที่มีความซับซ้อนน้อยและมีการใช้หน่วยความจำในการประมวลผลที่ค่อนข้างจำกัด รวมทั้งต้องใช้ทรัพยากรต่าง ๆในระบบที่ไม่มากจนเกินไปจนไม่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ รายละเอียดของการออกแบบอัลกอริทึมและผลการทดลองจะนำเสนอในบทถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึง วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัยในโครงการ การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ ผู้วิจัยจะแบ่งการนำเสนอเป็น 2 หัวข้อหลัก ๆดังนี้คือ วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย ในวิธีดำเนินการวิจัยจะนำเสนอการออกแบบขั้นตอนวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ได้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Q-step-GA) สำหรับอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นทั้งนี้เพื่อจะได้นำไปใช้ในขั้นตอนของการสร้างแอพพลิเคชันในส่วนถัดไป และจะกล่าวถึง ผลการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ของโครงการวิจัยเป็นส่วนสุดท้าย

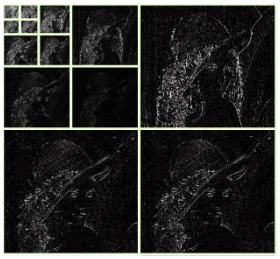
3.2 การออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนการแปลงสัญญาณ

ในการออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลในโดเมนการแปลงสัญญาณ (Transform domain) ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอโดย Wang and Lin [7] ซึ่งใช้เทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการควอนไทล์ (Quantization technique) มาทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านของคุณภาพสัญญาณและความทนทานสัญญาณลายน้ำด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ในขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำผู้วิจัยจะทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete wavelet transform; DWT) ของภาพต้นฉบับซึ่งการแปลง DWT ดังกล่าวจะมีการแยกวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่สัญญาณภาพแบบหลายระดับความละเอียดทำให้เทคนิคดังกล่าวมีความปลอดภัยสูงมากเนื่องจากสัญญาณลายน้ำจะแผ่กระจายอยู่ตลอดช่วงความถี่ของภาพต้นฉบับด้วยขนาดและความแรงสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมากและผู้ที่มีรหัสลับที่ถูกต้องเท่านั้นจึงจะสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำนี้ได้ อัลกอริทึมการฝังและการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ มีดังนี้

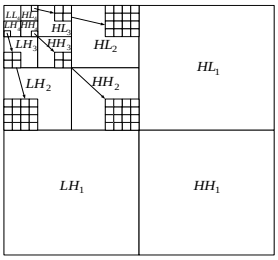
3.2.1 การฝังสัญญาณลายน้ำ (Watermark Embedding Algorithm)

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

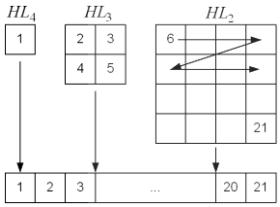


(ก)

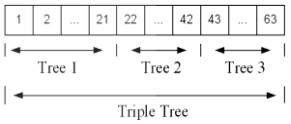


(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย 4 ระดับของภาพขนาด 512×512 pixels และ (ข) การจัดเรียงแบนด์ย่อยของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในแผนภาพต้นไม้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) การจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละโครงสร้างต้นไม้ และ (ข) ตัวอย่างการจัดเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตให้เป็นทรีปเปิลทรี

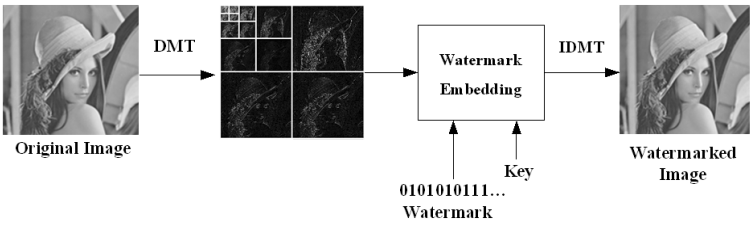
3. ทำการควอนไทล์แต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้โดยใช้ตารางมาตรฐาน JPEG quantization matrix [9] ทั้งนี้เพื่อให้มีความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธีการ JPEG

4. ในการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยทำการเลือกทรีปเปิลทรี (Tt_i) จำนวนเท่ากับ N_w ซึ่งจะได้ Tt_i for $i = 1, 2, ..., N_w$ จากนั้นทำการฝังสัญญาณลายน้ำโดยการคำนวณตามการสมการที่ (3.1) 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

3.2.2 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ (Watermark Extracting Algorithm)

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

2. ทำการควอนไทล์แต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ที่จัดกลุ่มเป็นทรีปเปิลทรี โดยใช้ตารางมาตรฐาน JPEG quantization matrix

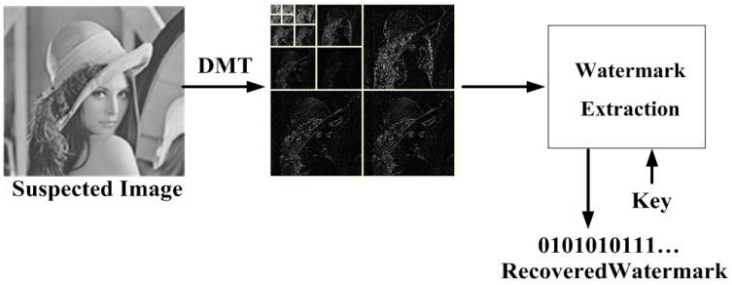
3. ทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากแผนภาพต้นไม้ทรีปเปิลทรี Tt_n โดยทำการนับจำนวนสัมประสิทธิ์ว่าเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ในทรีปเปิลทรีซึ่งทำการคำนวนได้จากตัวดำเนินการ modulo operator $Tt_i \bmod 2$ ซึ่งจะได้แต่ละบิตของสัญญาณลายน้ำตามสมการที่ (3.2) โดยมีการใช้รหัสลับในการเรียงบิตสัญญาณลายน้ำกลับคืนรูปเดิม

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

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

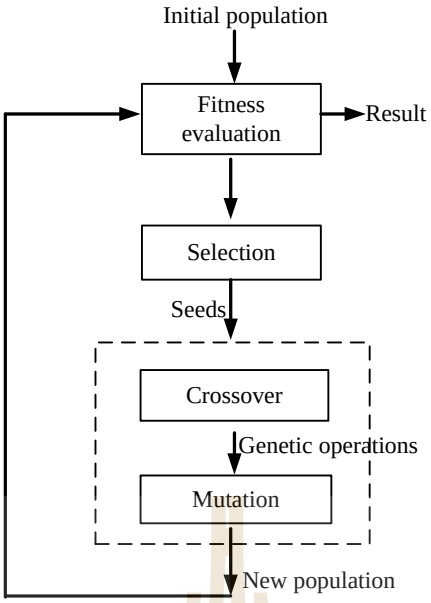


รูปที่ 3.4 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำ

3.3 การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

การออกแบบระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น เราสามารถมองได้ว่าเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization problem) เนื่องจากว่าต้องมีการ Trade-off เพื่อให้ได้มาซึ่งสิ่งที่พึงปรารถนาหลักของระบบคือ ความยากลำบากต่อการสังเกต (Imperceptibility) ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robustness) และจำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ (Data capacity) ซึ่งทั้ง 3 สิ่งนี้จะมีการขัดแย้งซึ่งกันและกันเสมอ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการในการหาค่าเหมาะที่สุดให้กับระบบด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์แทนวิธีการดั้งเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลระบบเดิมให้ดีขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิทัล 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 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลจะถูกปรับแต่งให้มีความเหมาะสมมากที่สุดด้วยวิธีการของ GA โดยแผนภาพการหาค่าเหมาะที่สุดแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเห็นว่า GA ถูกนำมาใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุดทั้งในขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ



รูปที่ 3.5 แผนภาพการหาค่าเหมาะที่สุดด้วย GA

3.3.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลของงานวิจัยนี้ จีนเนติกอัลกอริทึมถูกนำใช้ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล โดยทำการค้นหาค่า Quantization steps (Q-Step) ในแต่ละแบนด์ย่อยที่ฝังสัญญาณลายน้ำ ซึ่งค่าดังกล่าวอาจเทียบได้กับค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Watermark strength) เพื่อให้การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในด้านคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ จึงได้ทำการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ให้มีการนำค่าพารามิเตอร์บางค่าที่ได้จากการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำมาทำการประมวลผลร่วมกันในขณะที่ทำการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) โดยในส่วนของการฝังสัญญาณลายน้ำจะนำค่ามาตรฐานที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของภาพดิจิทัลเป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม ส่วนในด้านการตรวจจับสัญญาณลายน้ำนั้นเราใช้ค่าที่บ่งชี้ถึงความสำเร็จในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำเป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม รายละเอียดในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วย 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) [10] 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 $\delta_{UQI} + \delta_{NC} = 1.0$ และในกระบวนการหาค่าเหมาะที่สุด GA จะถูกใช้ทำการค้นหาค่า W ที่มากที่สุด ซึ่งหมายความว่า GA จะค้นหาค่า UQI และค่า NC ที่เหมาะสมที่สุดแก่ระบบ ดังนั้นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยใช้ค่า $Q - Step$ จากวิธีการดังกล่าวจะให้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ดีและสัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงมากทำให้สามารถทำการตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้แน่นอน

3.3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์ การปฏิบัติการทางสายพันธุ์และการแทนที่

การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดภายในกลุ่มประชากรทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดอันดับ (Ranking selection) ส่วนการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นโครโมโซมลูกหลานที่ได้รับส่วนดีจากโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์ เราได้กำหนดอัตราการทำครอสโอเวอร์ (Crossover) เท่ากับ 0.7 และอัตราการทำมิวเทชัน (Mutation) เท่ากับ 0.005 โดยอัตราดังกล่าวนี้ได้จากการทดลองดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป หลังจากทำการคัดเลือกสายพันธุ์และทำปฏิบัติการทางสายพันธุ์แล้ว โครโมโซมรุ่นเก่าจะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมรุ่นที่ดีกว่าสำหรับการวิวัฒนาการในรุ่นถัดไปโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยประชากรเพียงบางส่วนเพื่อรักษาโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีไว้ ซึ่งจะช่วยให้วิวัฒนาการของคำตอบในรุ่นถัดไปดีขึ้นเรื่อย ๆ

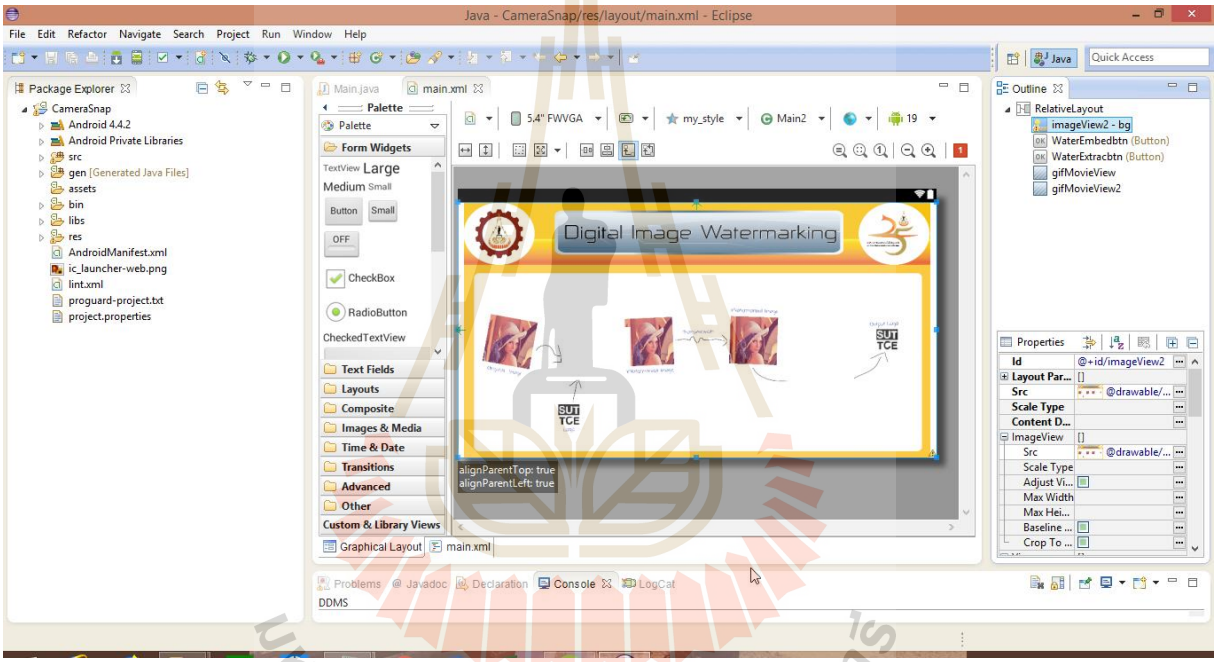
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 การพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

การพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในปัจจุบัน มีเครื่องมือหรือโปรแกรมการพัฒนาที่ทันสมัยและใช้งานได้อย่างสะดวก เมื่อทำการพัฒนาเสร็จสามารถนำไปใช้งานได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบต่าง ๆ สำหรับการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ตามจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้นั้น ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม Eclipse จากเวปไซต์ https://www.eclipse.org/downloads/ ซึ่งเป็นนับว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอพพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ทันสมัย รองรับอุปกรณ์แอนดรอยด์รุ่นใหม่ ๆและสามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 8

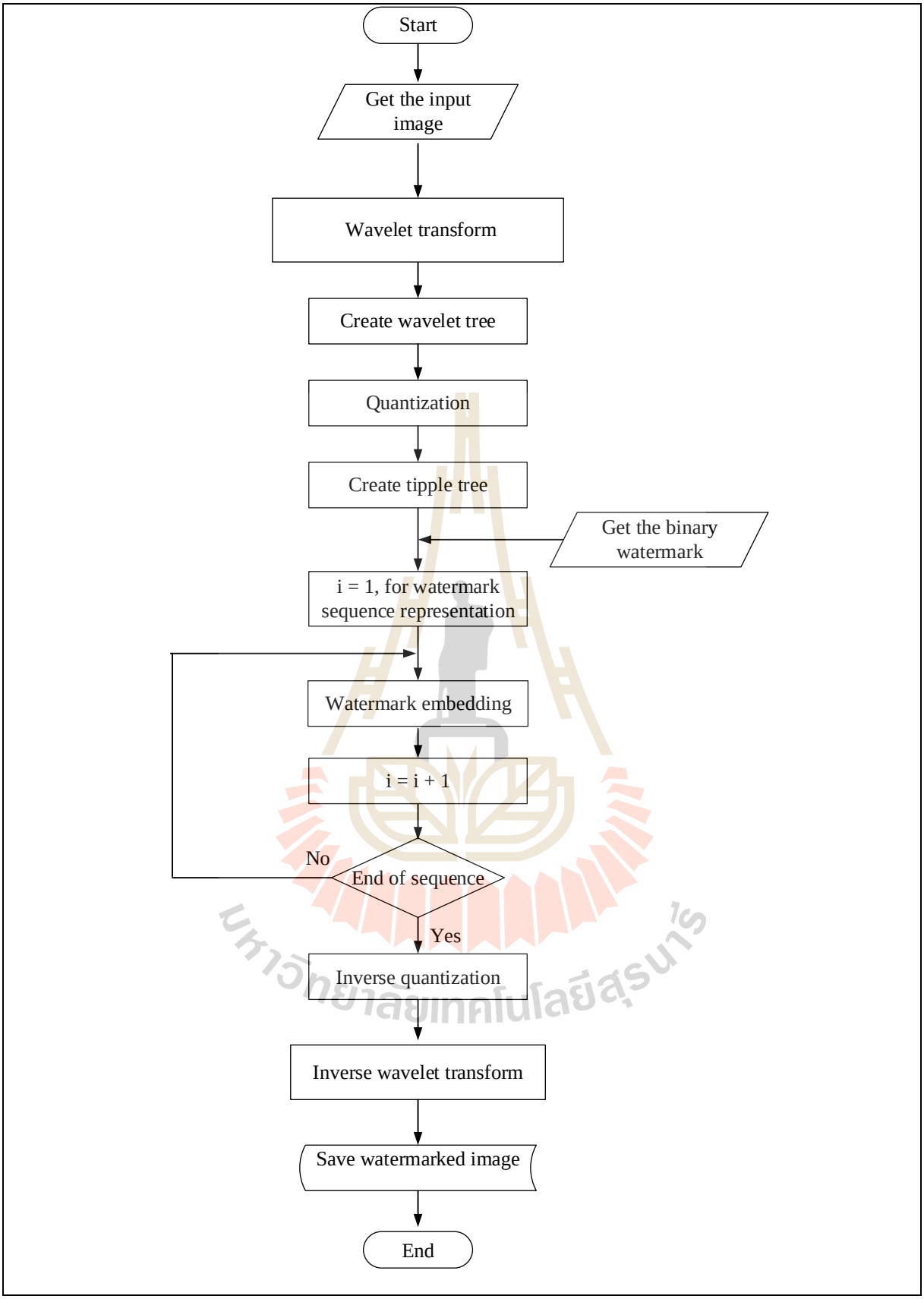
ในกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำที่ทำงานบนแอพพลิเคชัน (Application) ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นั้น ภาพต้นฉบับจะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DWT จำนวน 4 ระดับและ

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยเทคนิคการควอนไทล์ซึ่งก็คือค่า Q-Step จะถูกปรับแต่งให้มีความเหมาะสมมากที่สุดด้วยวิธีการของ GA และในระบบที่ออกแบบขึ้นนั้น GA จะถูกนำมาใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุดทั้งในขั้นตอนของการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ซึ่งจะเห็นได้จากการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ให้มีการนำค่าพารามิเตอร์บางค่าที่ได้จากการฝังสัญญาณลายน้ำและการตรวจจับสัญญาณลายน้ำมาทำการประมวลผลร่วมกันในขณะที่ทำการออปติไมซ์เซชัน โดยในส่วนของการฝังสัญญาณลายน้ำจะนำค่ามาตรฐานที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของภาพดิจิทัล (PSNR) เป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม ส่วนในด้านการตรวจจับสัญญาณลายน้ำนั้นได้ใช้ค่าที่บ่งชี้ถึงความสำเร็จในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ (NC) เป็นตัวประเมินค่าความเหมาะสม โดยในขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะที่สุดเราจะได้ค่า Q-Step ที่สอดคล้องกับอัลกอริทึมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น ซึ่งจะเป็นค่า Q-Step-GA ที่จะให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกต แผนภาพการการพัฒนาโปรแกรมหรือแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์แสดงในรูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.11

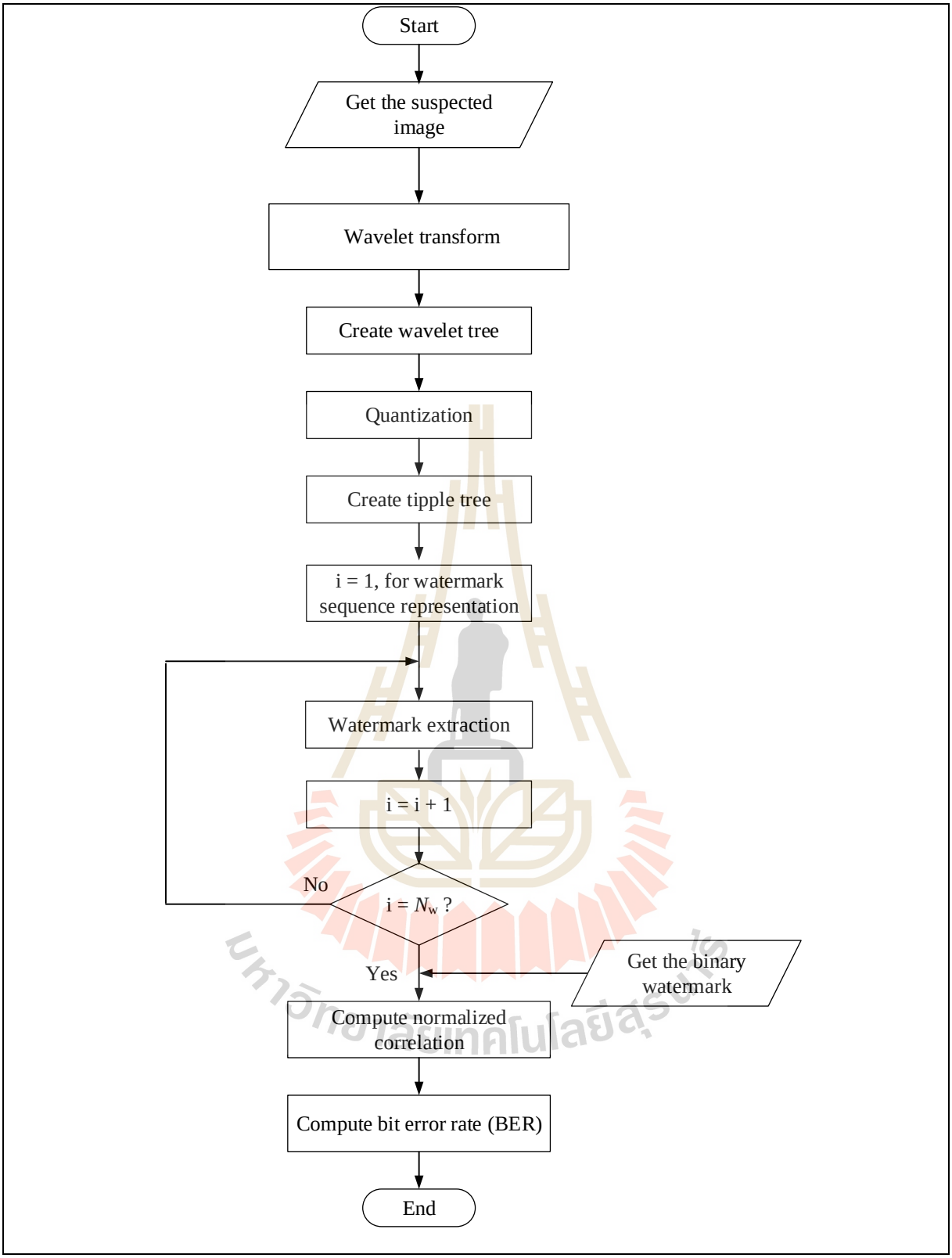


รูปที่ 3.6 หน้าต่างการสร้างแอพพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

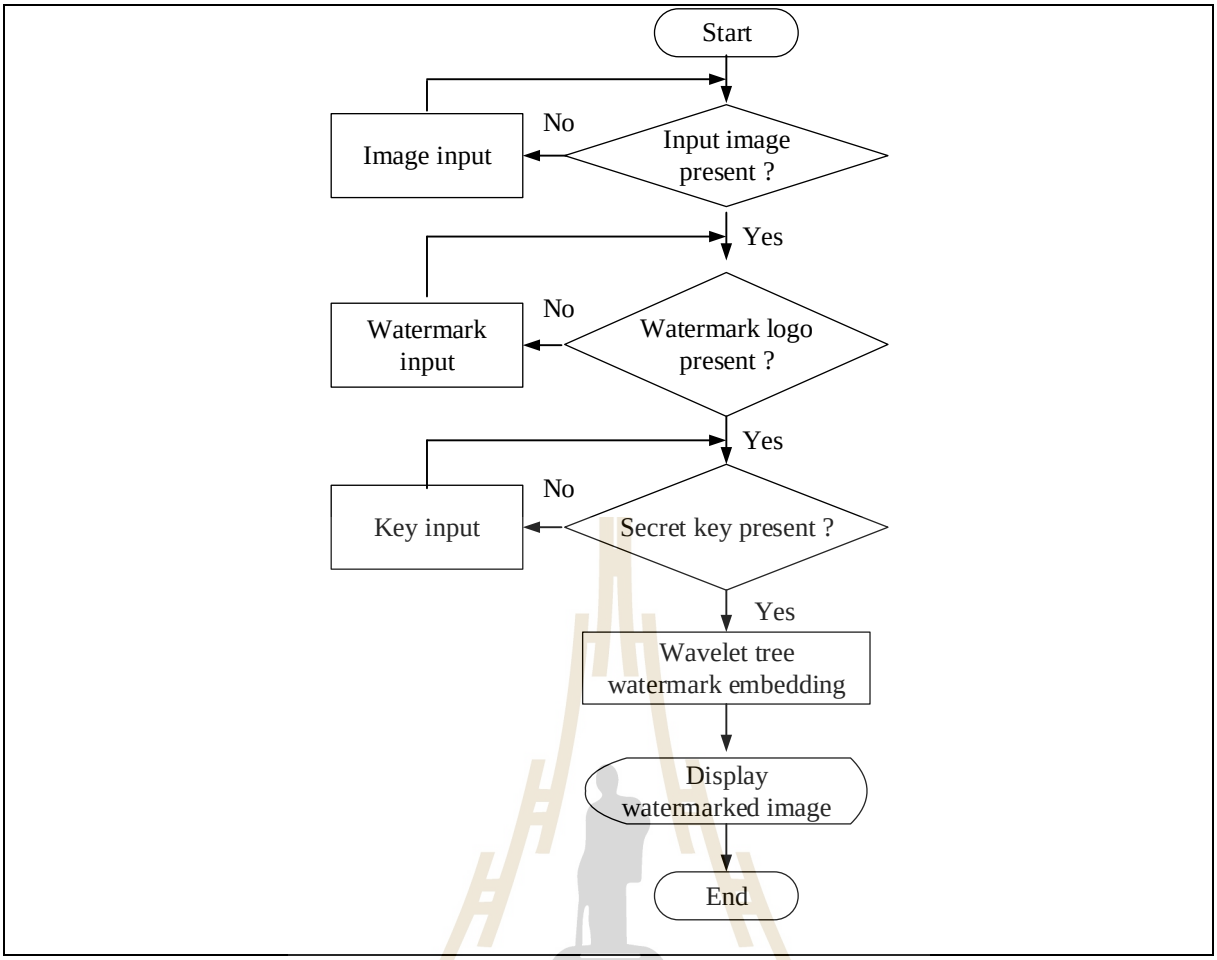
รูปที่ 3.7 โปรแกรม Eclipse ที่ใช้ในการสร้างแอพพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

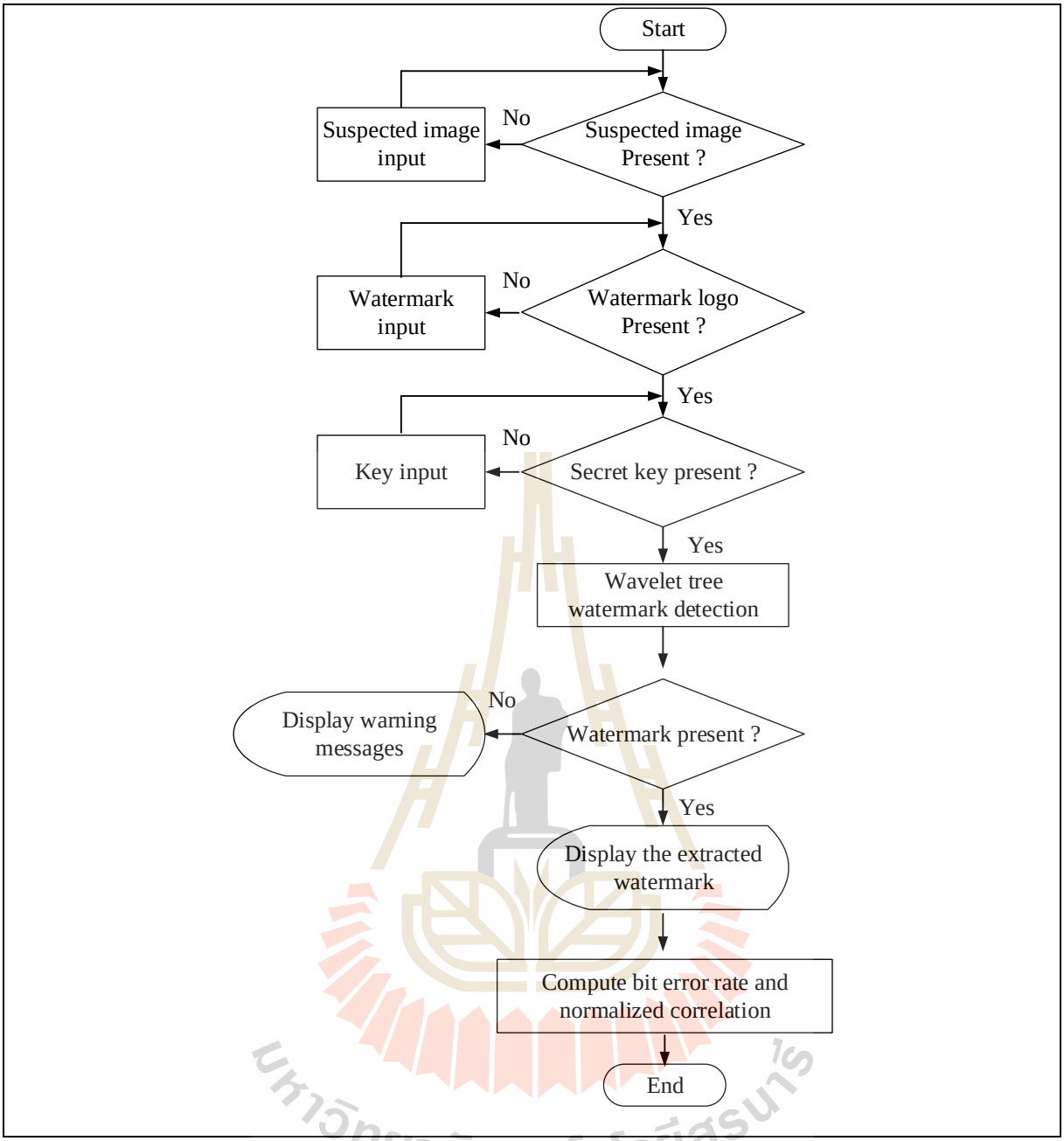


รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการคัดแยกสัญญาณลายน้ำสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการฝังและแสดงผลสัญญาณลายน้ำบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการคัดแยกและแสดงผลสัญญาณลายน้ำบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพการทำงานตามอัลกอริทึมในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลและการคัดแยกสัญญาณลายน้ำตามลำดับ โดยจะมีหลักการทำงานและขั้นตอนการทำงานตามที่ได้นำเสนอไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ส่วนในรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 จะแสดงแผนภาพการทำงานตามอัลกอริทึมในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลและการคัดแยกสัญญาณลายน้ำที่นำมาประยุกต์ใช้กับการใช้งานจริงบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาในรูปแบบของ Native App คือ เป็นแอพพลิเคชั่นถูกพัฒนาขึ้นด้วยชุดคำสั่ง (Library) และเครื่องมือที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมหรือแอพพิเคชั่น (Software development kits ; SDK) ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยเฉพาะโดยผู้วิจัยเน้นการพัฒนาแอพพลิเคชันให้สามารถใช้งานได้ง่าย (User friendly interface) ซึ่งจะมีความแตกต่างไปจากขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมอยู่บ้างเล็กน้อยเนื่องจากจะต้องออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานเชื่อมต่อหรือเข้าถึงการทำงานของโปรแกรมของระบบระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในรูปแบบกราฟิก (Graphic user interface; GUI) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้งาน การป้อนค่าอินพุตต่าง ๆให้กับระบบถ้าผู้ใช้งานยังทำการป้อนข้อมูลอินพุตไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้องโปรแกรมก็จะไม่สามารถประมวลผลได้หรือประมวลผลได้แต่ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง ตัวโปรแกรมจึงต้องมีการตรวจสอบว่าผู้ใช้งานป้อนข้อมูลครบถ้วนหรือไม่ ถ้าไม่ครบถ้วนก็จะมีการแจ้งเตือนเป็นข้อความ (Warning messages) บนโปรแกรม ดังนั้นการออกแบบโปรแกรมเพื่อรองรับผู้ใช้งานแบบ GUI จึงมีขั้นตอนที่ค่อนข้างละเอียดพอสมควร การฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในรูปที่ 3.10 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สร้างสัญญาณลายน้ำจากโลโก้แบบไบนารี (Binary logo) และเรียงลำดับรูปภาพโลโกใหม่โดยใช้ลำดับที่ได้จากการสุ่มเทียม (Pseudo-random sequence) และเก็บ Seed ของการสุ่มไว้เป็นรหัสลับ (Secret key) และเก็บสัญญาณลายน้ำเป็นข้อมูลแบบไบนารี (Binary watermark)

2. ในกรณีที่ภาพต้นฉบับเป็นภาพสี (Color image) จะทำการแยกองค์ประกอบของภาพสีก่อนทำการฝังสัญญาณลายน้ำโดยทำการแยกเป็นองค์ประกอบสี R (Red) G (Green) และ B (Blue) ผู้วิจัยเลือกใช้องค์ประกอบ B(Blue) ในการฝังสัญญาณลายน้ำเนื่องจากสายตาของมนุษย์เรามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำเงินน้อยกว่าสีอื่นๆ จากนั้นจะแปลงโดเมนสัญญาณภาพต้นฉบับด้วยการแปลง DWT จำนวน 4 ระดับ และทำการเลือกสัมประสิทธิ์การแปลง DWT เพื่อสร้างโครงสร้างต้นไม้ (Tree structure) และจัดกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ให้มีขนาด 3072 กลุ่มย่อยและมีการรวมเป็น 3 กลุ่มหลักตามสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแบนด์ย่อยซึ่งจะเรียกว่าทรีปเปิลทรี (Triple trees) และมีการใช้รหัสลับในการเรียงทรีปเปิลทรี

3. ทำการควอนไทล์แต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้โดยใช้ตารางมาตรฐาน JPEG quantization matrix [9] ทั้งนี้เพื่อให้มีความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธีการ JPEG

4. ในการฝังสัญญาณลายน้ำจะทำการเลือกทรีปเปิลทรี (Tt_i) จำนวนเท่ากับ N_w โดยทำการฝังสัญญาณลายน้ำตามการสมการที่ (3.1)

5. ดำเนินการควอนไทล์แบบย้อนกลับ (Inverse quantization) ในแต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ที่มีการฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว จากนั้นทำการเรียงสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตย้อนกลับจากโครงสร้างแผนภาพต้นไม้และทำการแปลงเวฟเล็ตแบบย้อนกลับ (Inverse DWT) จำนวน 4 ระดับก็จะได้ภาพเอาต์พุตที่มีการฝังสัญญาณลายน้ำไว้ในรูปภาพเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจะมีการบันทึกรูปภาพลงในโฟลเดอร์ที่กำหนด

สำหรับขั้นตอนการคัดแยกสัญญาณลายน้ำสำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีแผนภาพแสดงขั้นตอนดังในรูปที่ 3.11 โดยเริ่มจากให้ผู้ใช้งานป้อนภาพที่ต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำโดยเลือกจากโฟลเดอร์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ จากนั้นดำเนินการคัดแยกสัญญาณลายน้ำดังนี้

1. การคัดแยกสัญญาณจะเป็นกระบวนย้อนกลับของการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยภาพที่ต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำจะถูกแปลงสัญญาณภาพด้วยการแปลง DWT จำนวน 4 ระดับจากนั้นสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแบนด์ย่อยจะถูกนำไปสร้างทรีปเปิลทรีโดยมีการใช้รหัสลับในการเรียงทรีปเปิลทรี

2. ทำการควอนไทล์แต่ละกลุ่มของแผนภาพต้นไม้ที่จัดกลุ่มเป็นทรีปเปิลทรี โดยใช้ตารางมาตรฐาน JPEG quantization matrix

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

4. สัญญาณลายน้ำที่ได้จากการคัดแยกจะถูกนำมาทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือนกัน NC (Normalized correlation coefficients) ระหว่างสัญญาณลายน้ำที่คัดแยกได้ ($\widetilde{W}$) กับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ (W) ตามสมการที่ (3.3) จากนั้นจะทำการคำนวณค่า BER (Bit error rate) พร้อมแสดงภาพสัญญาณลายน้ำที่ถูกคัดแยก NC และ BER บนโปรแกรมต่อไป

3.5 สรุป

บทนี้นำเสนอ วิธีดำเนินการวิจัยในการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอเป็น 2 หัวข้อหลัก ๆคือ วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย ในส่วนของวิธีดำเนินการวิจัยได้นำเสนอการออกแบบขั้นตอนวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล และการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ได้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Q-step-GA) สำหรับอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นทั้งนี้เพื่อจะได้นำค่าดังกล่าวไปใช้ในขั้นตอนของการสร้างแอพพลิเคชันในขั้นตอนถัดไป ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาในรูปแบบของ Native App คือ เป็นแอพพลิเคชันถูกพัฒนาขึ้นด้วยชุดคำสั่ง (Library) และเครื่องมือที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมหรือแอพพิเคชั่น (Software development kits ; SDK) ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยเฉพาะโดยผู้วิจัยเน้นการพัฒนาแอพพลิเคชันให้สามารถใช้งานได้ง่าย โดยผลการทดลองจะนำเสนอในบทถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิจัย

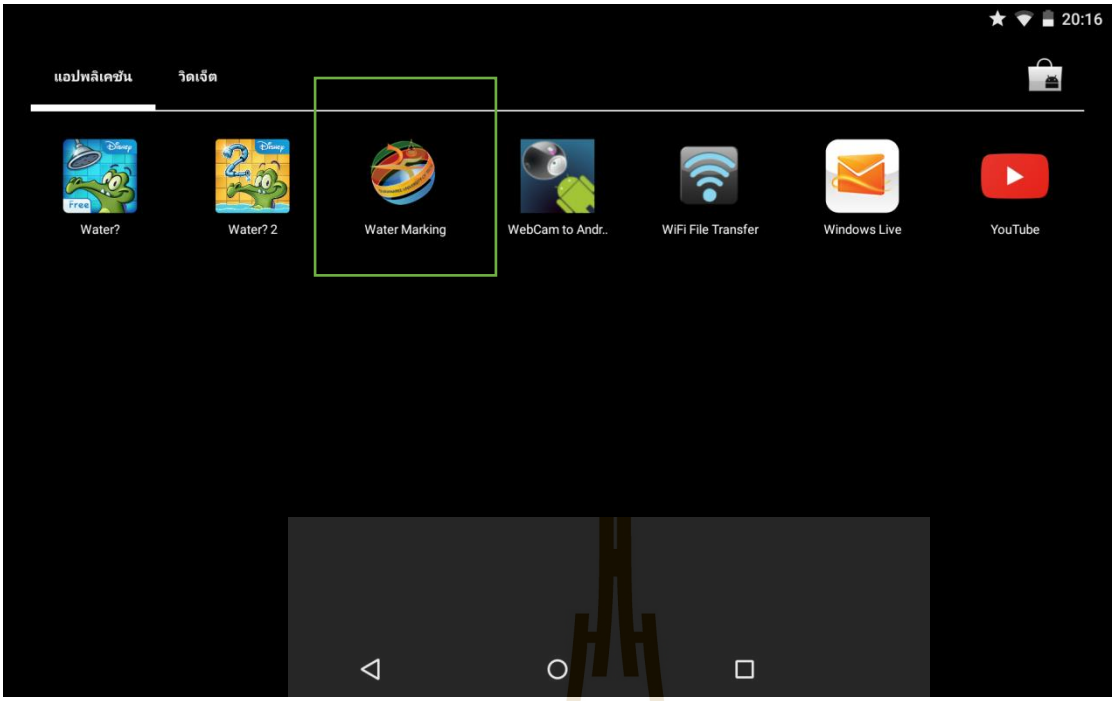
4.1 บทนำ

ในบทที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยของโครงการ การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิตอลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ โดยได้กล่าวถึง การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอเป็น 2 หัวข้อหลัก ๆดังนี้คือ วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย ในวิธีดำเนินการวิจัยได้นำเสนอการออกแบบขั้นตอนวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยเทคนิคและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ได้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Q-step-GA) สำหรับอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นทั้งนี้เพื่อจะได้นำไปใช้ในขั้นตอนของการสร้างแอพพลิเคชันในส่วนถัดไป และในบทนี้จะนำเสนอผลการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ การทดสอบคุณภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำสำหรับภาพสีแบบดิจิทัลที่ใช้งานบนอุปกรณ์แอนดรอยด์ และจะกล่าวถึงสรุปผลการทดลองของโครงการวิจัยเป็นส่วนสุดท้าย

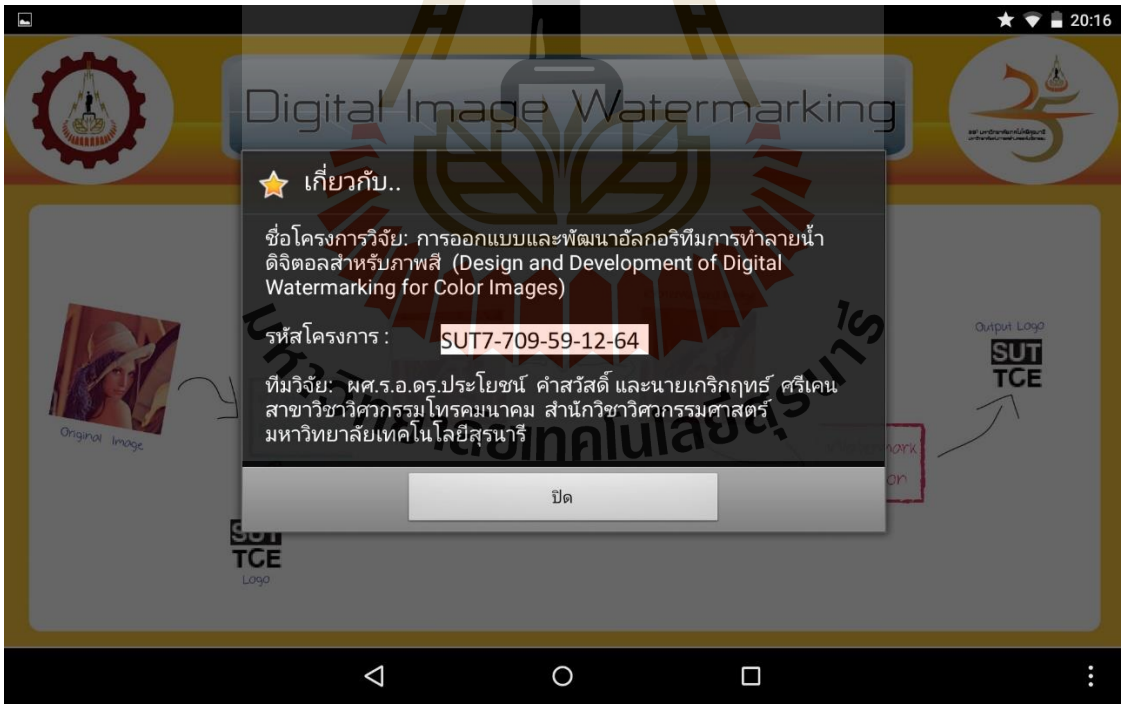
4.2 ผลการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

การพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาในรูปแบบของ Native App คือ เป็นแอพพลิเคชั่นถูกพัฒนาขึ้นด้วยชุดคำสั่ง (Library) และเครื่องมือที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมหรือแอพพิเคชั่น (Software development kits ; SDK) ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยเฉพาะ ผลการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์แสดงในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.12 โดยผู้วิจัยเน้นการพัฒนาแอพพลิเคชันให้สามารถใช้งานได้ง่าย (User friendly interface)

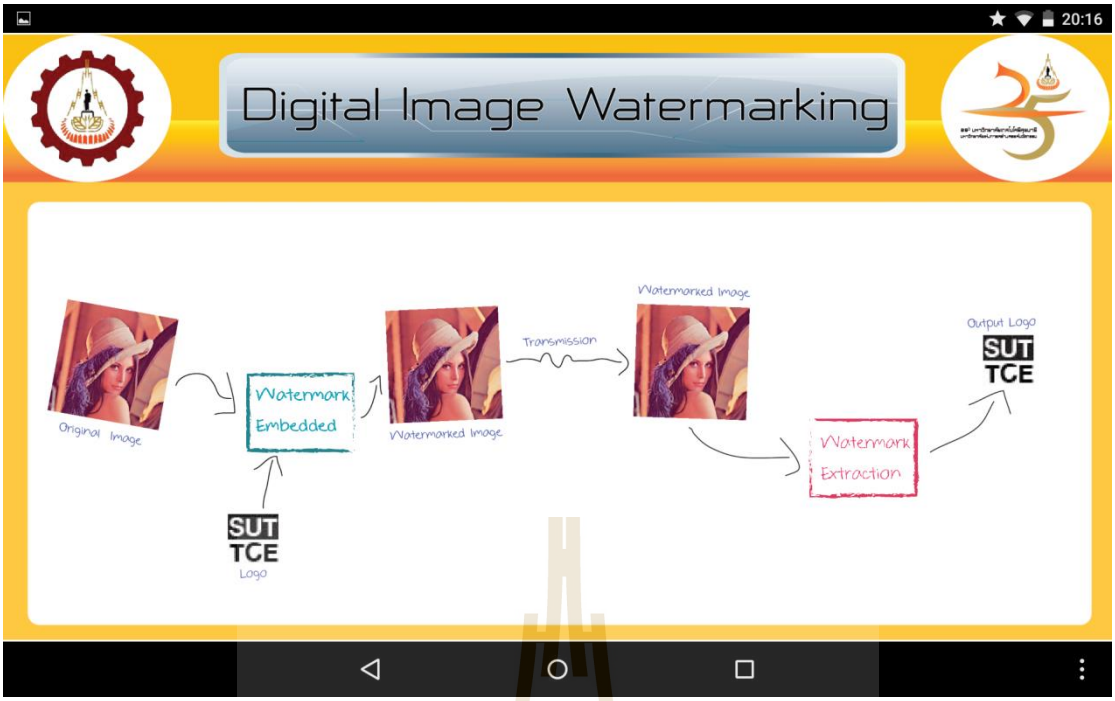
ในการทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชัน ผู้วิจัยจะทำการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำด้วยการใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลที่อยู่บนอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบแท็ปเล็ตยี่ห้อ Google รุ่น Nexus ติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system 4.0.4) และจะใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลในการทดสอบจำนวน 5 ภาพ ใช้โหมดการถ่ายภาพแบบปกติ ผลการติดตั้งแอพพลิเคชันดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.13



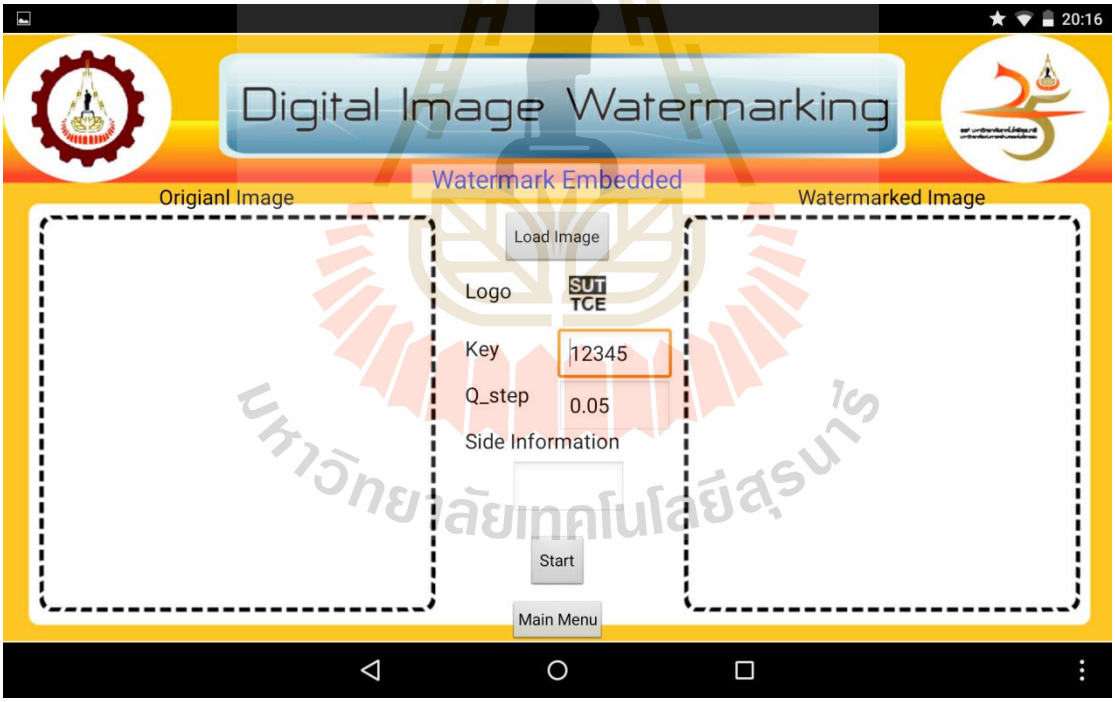
รูปที่ 4.1 ภาพไอคอน (Icon) ของแอพพลิเคชัน



รูปที่ 4.2 รายละเอียดของโครงการในหน้าต่าง About ของแอพพลิเคชัน

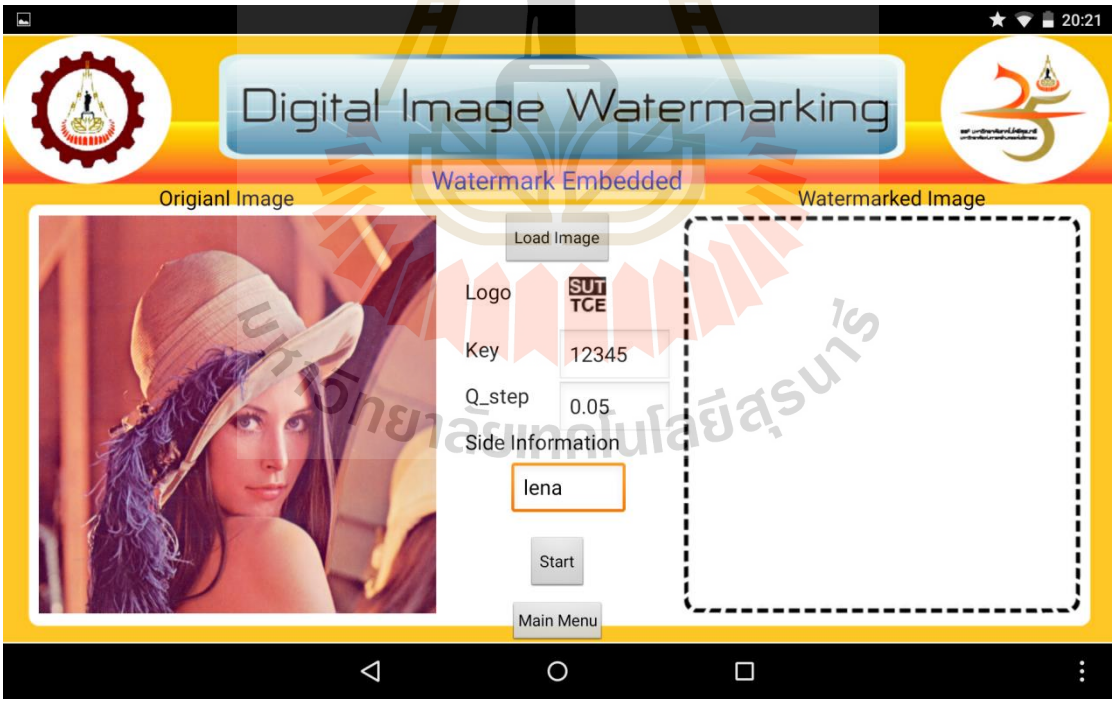


รูปที่ 4.3 ภาพของเมนูหลัก



รูปที่ 4.4 ภาพขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำ Watermark Embedded

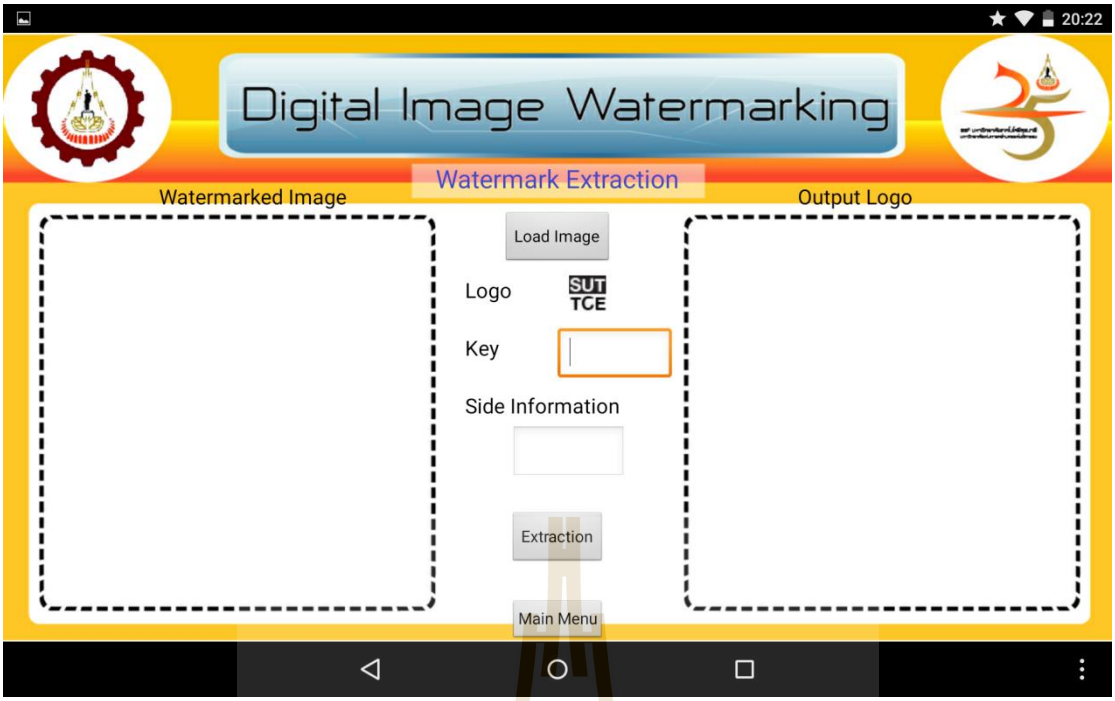
รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการเลือกหรือโหลดรูปภาพที่ทำการฝังลายน้ำ



รูปที่ 4.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการฝังลายน้ำ

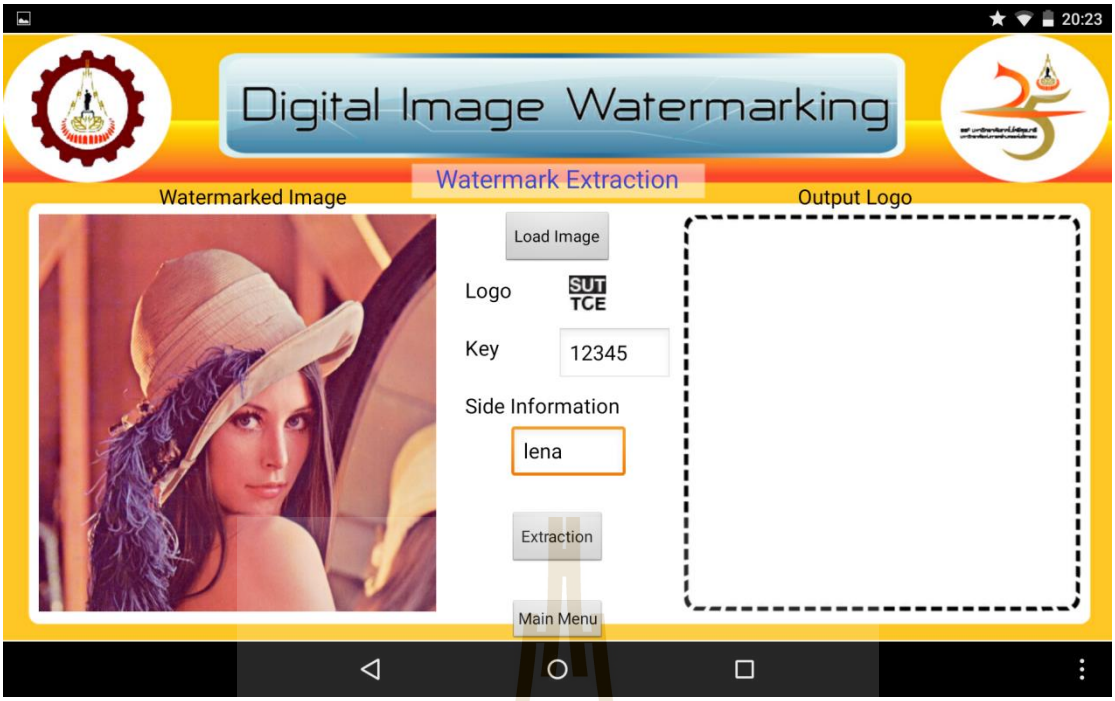
รูปที่ 4.7 ภาพการกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มทำการฝังลายน้ำ

รูปที่ 4.8 หลังจากการฝังลายน้ำภาพจะถูกเก็บอยู่ในโฟลเดอร์ EmbeddedImage



รูปที่ 4.9 ภาพการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ Watermark Extraction

รูปที่ 4.10 ขั้นตอนแรกของการคัดแยกต้องทำการโหลดภาพที่ต้องการคัดแยกลายน้ำก่อน



รูปที่ 4.11 การใส่ค่าพารามิเตอร์ในการคัดแยกพร้อมรหัสลับ

รูปที่ 4.12 การคัดแยกจะเริ่มทำงานเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม Extraction

4.3 ผลการทดสอบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

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

ในงานวิจัยนี้ ภาพสัญญาณลายน้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพระดับเทาขนาด 32×32 พิกเซลและภาพสัญญาณลายน้ำดังกล่าวจะถูกทำให้ยากต่อการตรวจจับด้วยการมอดูเลตกับลำดับที่ได้จากการสุ่มเทียม (Pseudo-random sequence) โดยมีการเก็บบันทึก Seed จากขั้นตอนการสุ่มไว้เป็นรหัสลับ (Secret key) หลังจากนั้นสัญญาณลายน้ำจะถูกฝังลงในแบนด์ย่อยของการแปลง DWT ตามขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.2 ตัวอย่างของภาพดิจิทัลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ และภาพสัญญาณลายน้ำ แสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ

Pepper Lena Fruit Baboon Airplane

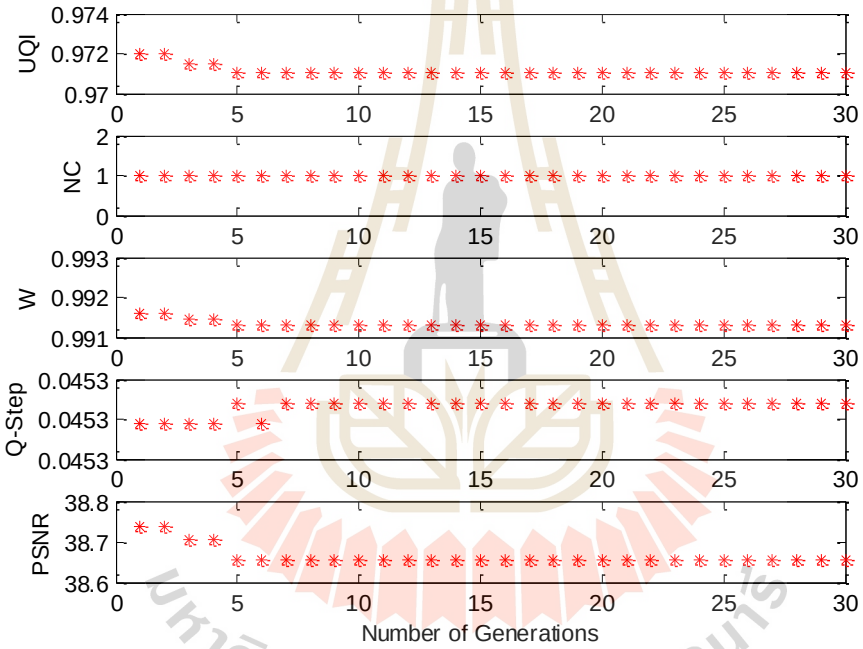
รูปที่ 4.13 ภาพดิจิทัลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 4.14 ภาพสัญญาณลายน้ำ “SUT TCE” ที่ใช้ในการทดสอบ

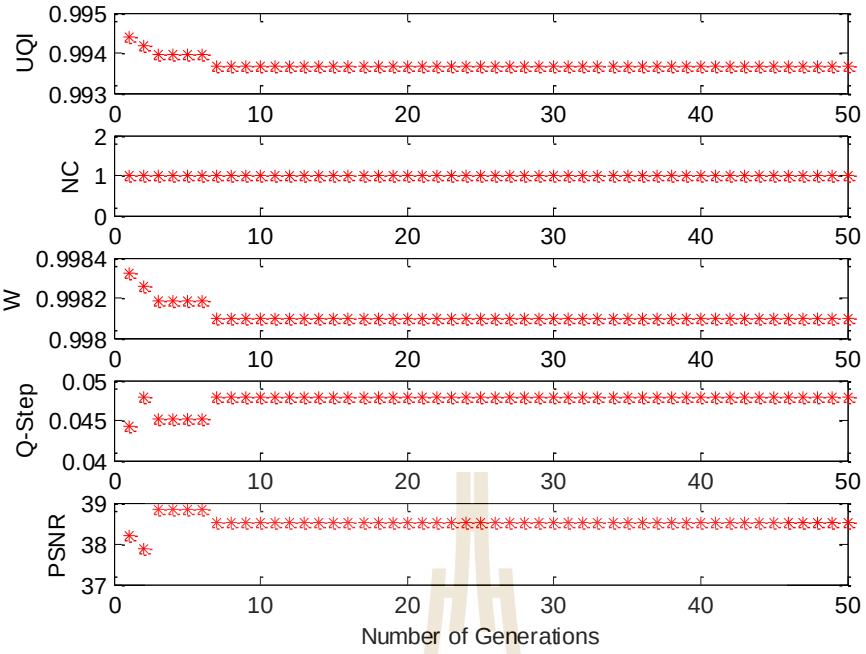
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการคำนวณหาค่าที่เหมาะที่สุดของ GA ทั้งนี้เพื่อให้การค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลได้คำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยได้ทำการทดลองเพื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ของ GA ที่จะใช้ในการค้นหาคำตอบโดยทำการสังเกตอัตราการทำครอสโอเวอร์ จากการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าอัตราการทำมิวเทชันและจำนวนของโครโมโซมซึ่งมีผลกระทบต่อการค้นหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล โดยพบว่าค่า Probability of crossover ที่เหมาะสมมากที่สุดคือ 0.7 ซึ่งจะให้ค่า Objective value ที่ดีที่สุด ส่วนการสังเกตอัตราการทำมิวเทชันและจำนวนของโครโมโซมก็กระทำ

ได้ในลักษณะเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้พบว่าอัตราการทำมิวเทชันที่เหมาะสมคือ 0.005 และจำนวนของโครโมโซมที่เหมาะสมคือ 30 โครโมโซม

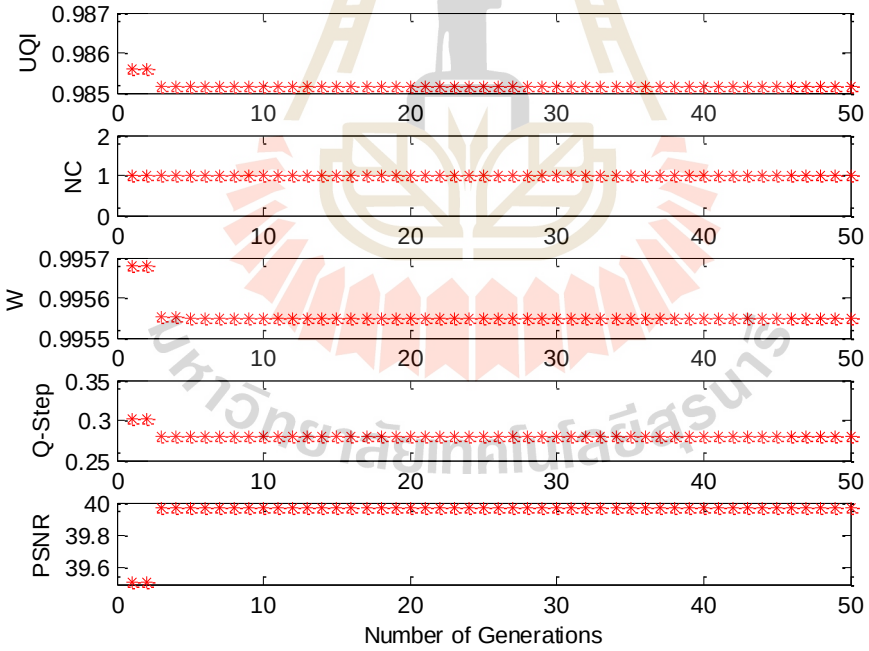
ผลจากการหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่เหมาะสมในแบนด์ย่อย LH2 ด้วยวิธีการของ GA ที่ 30 หรือ 50 เจนเนอเรชัน (Generations) ตามลักษณะของการลู่เข้า (Convergence) หาคำตอบที่เหมาะสมว่าจะช้าหรือเร็วโดยใช้ภาพ Pepper, Lena, Fruit, Baboon, Airplane แสดงดังในรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.19 ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมจากการหาค่าเหมาะที่สุดดังกล่าวพบว่า ค่าพารามิเตอร์ Q-Step ที่ได้จะมีการปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะเฉพาะของภาพดิจิทัลนั้น ๆโดยในขั้นตอนวิธีดังกล่าวจะมีค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 0.04 – 0.05 ดังนั้นในขั้นตอนการทดสอบและการพัฒนาแอพพลิเคชันสำหรับแอนดรอยด์ในลำดับถัดไป ผู้วิจัยจะเลือกใช้ค่า Q-Step ที่ค่า 0.04 (จากค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้คือ 0.04138) และจะนำเสนอผลการทดสอบคุณภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำในหัวข้อถัดไป



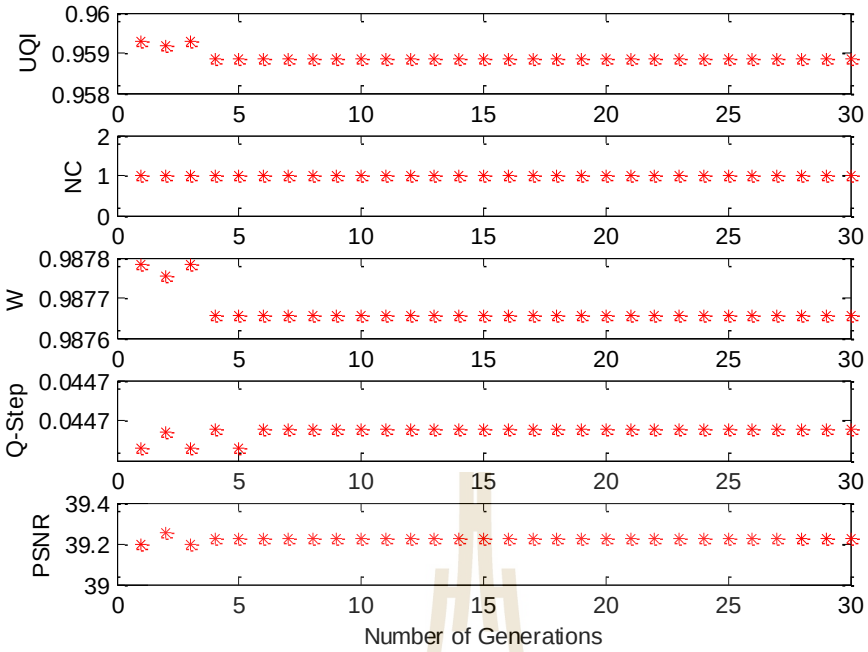
รูปที่ 4.15 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Pepper”



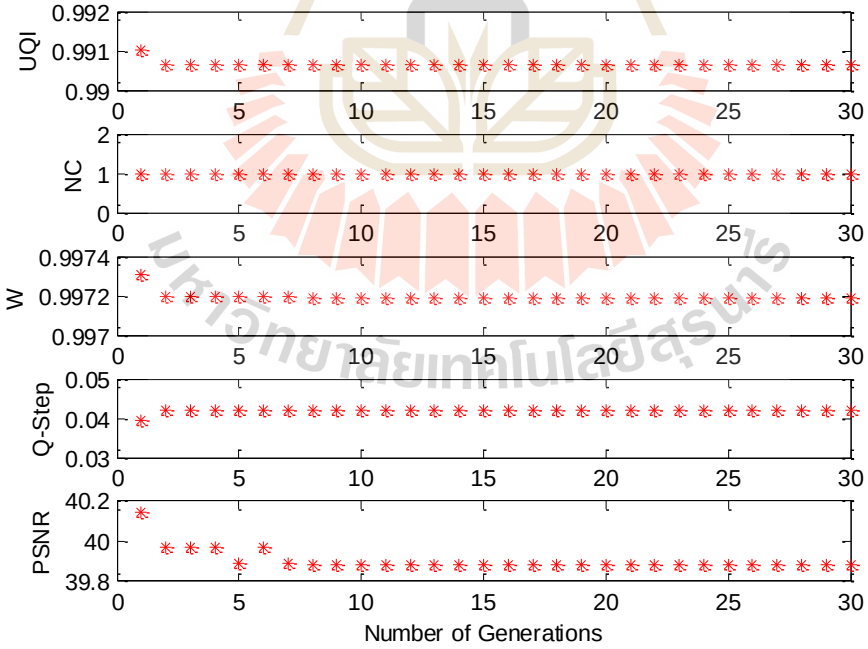
รูปที่ 4.16 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Lena”



รูปที่ 4.17 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Fruit”



รูปที่ 4.18 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Baboon”



รูปที่ 4.19 การลู่เข้าของ ค่า UQI NC และ $Q-Step$ จากการหาค่าเหมาะที่สุดของภาพ “Airplane”

4.3.1 การทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุต

การทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุต จะเริ่มจากการฝังสัญญาณลายน้ำลงในภาพต้นฉบับโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ค้นหาได้ด้วยวิธีการของ GA จากนั้นทำการคำนวณหาค่ามาตรฐานระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพเอาต์พุตเพื่อประเมินคุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการฝังสัญญาณลายน้ำ ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินคือ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak signal to noise ratio; PSNR)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Q-Step ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ GA ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Q-Step-GA และจากรูปที่ 4.20 (ก) - (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับ “Lena” กับภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำซึ่งเราจะไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำในช่องสัญญาณ B ที่ฝังสัญญาณลายน้ำก็จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ค) ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณลายน้ำถูกฝังอยู่ในบริเวณขอบภาพซึ่งเป็นบริเวณที่ยากต่อการสังเกต ผลการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุดด้วย GA ซึ่งใช้ภาพในการทดสอบ 5 ภาพ คือ Pepper, Lena, Fruit, Baboon และ Airplane แสดงในตารางที่ 4.2 และกราฟในรูปที่ 4.21 โดยแสดงค่าเฉลี่ย PSNR จากการทดสอบการฝังสัญญาณลายน้ำจำนวน 5 ครั้ง และพบว่าค่า Q-Step ที่ต่ำจะให้ค่า PSNR ที่สูงสอดคล้องกับหลักการในการออกแบบขั้นตอนวิธีการทำลายน้ำดิจิทัล และที่ค่า Q-Step-GA ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04138 ตามตารางที่ 4.1 จะให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกตโดยให้ค่าเฉลี่ยของ PSNR เท่ากับ 39.24 dB ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วที่ค่า PSNR มากกว่า 30 dB ขึ้นไป [18] จะเป็นค่าที่ยอมรับได้ว่าสัญญาณภาพมีคุณภาพสูงเพียงพอและยากต่อการสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำ อย่างไรก็ตามเราจะต้องพิจารณาความทนทานของสัญญาณลายน้ำให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานด้วยเสมอ

ตารางที่ 4.1 ค่า Q-Step ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ GA (Q-Step-GA)

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

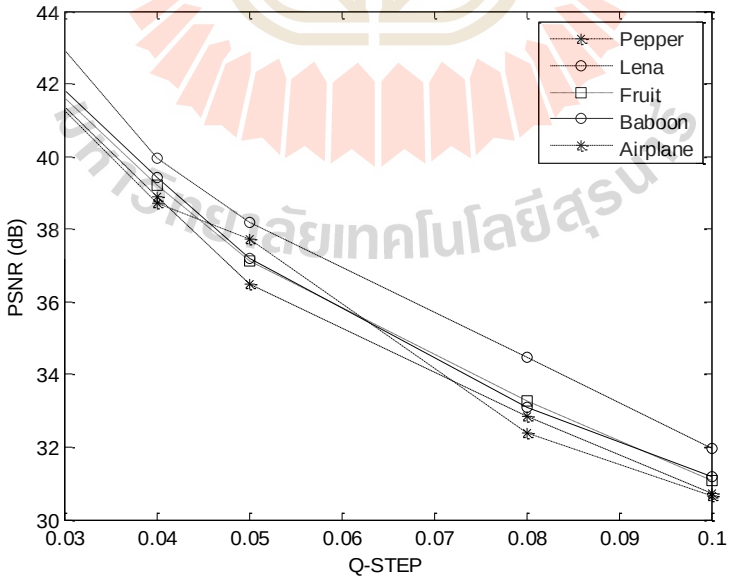
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำและ (ค) ภาพผลต่าง

ตารางที่ 4.2 ค่า PSNR ภาพเอาต์พุตของวิธีการที่นำเสนอ (ค่า Q-Step-GA เท่ากับ 0.04) ที่ทำการทดสอบบนแอพพลิเคชันเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, 0.05, 0.08 และวิธีการทั่วไป (ค่า Q-step เท่ากับ 1.0)

Test image	Q-Step				
	0.03	Q-Step-GA 0.04	0.05	0.08	1.0
1. Pepper	41.24	38.53	37.71	32.38	30.66
2. Lena	42.90	39.65	38.20	34.36	31.95
3. Fruit	41.58	39.03	37.12	33.28	31.09
4. Baboon	41.78	39.12	37.21	33.10	31.20
5. Airplane	41.32	38.54	36.50	32.86	30.71



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่า PSNR จากการทดสอบที่ค่า Q-step เท่ากับ 0.03, Q-Step-GA, 0.05, 0.08 และ 1.0

4.3.2 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 (4-1)

$$BER = \frac{\text{จำนวนบิตที่ผิดพลาดจากการคัดแยก}}{\text{จำนวนบิตทั้งหมด}} \qquad (4\text{-}1)$$

ซึ่งการคำนวณค่า BER ดังกล่าวจะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความสามารถของขั้นตอนวิธีในการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำอย่างแท้จริง

ผลการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำจากการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG ที่ค่าคุณภาพ 100% และ 80% แสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ และผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA โดยทดสอบความทนทานสัญญาณลายน้ำจากการตัดภาพ 50% (50% Cropping) และการหมุนภาพตามเข็มนาฬิกา 1.0° (1.0° CW Rotation) แสดงในตารางที่ 4.7 โดยจากการทดสอบดังกล่าวข้างต้นพบว่า เมื่อค่า Q-Step เพิ่มขึ้นสัญญาณลายน้ำจะมีความทนทานมากยิ่งขึ้นหรือค่า BER (%) จะลดลงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและหลักการในการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล และจะสังเกตเห็นจุดเด่นของการใช้สัญญาณลายน้ำแบบรูปภาพหรือโลโก นั่นคือในกรณีที่ทำการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำแล้วพบว่าค่า BER มีค่าสูงมากหรือขั้นตอนวิธีสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้น แต่ก็ยังจะสามารถนำรูปภาพที่คัดแยกได้มาใช้ระบุความเป็นเจ้าของได้ เพราะสายตาจะยังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นรูปภาพหรือโลโกได้แม้ว่าจะมีค่า BER (%) ที่สูงมากก็ตาม ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของการใช้สัญญาณลายน้ำแบบรูปภาพ

ผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า การฝังสัญญาณลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Watermark strength) หรือในงานวิจัยนี้แทนด้วยค่า Q-Step ซึ่งการใช้ค่า Q-Step ที่น้อยเกินไปจะทำให้ได้ภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำที่มีค่าคุณภาพที่ดีมากโดยสังเกตได้จากค่า PSNR ของภาพมีค่าสูงมากเนื่องจากสัญญาณลายน้ำที่ฝังลงไปกระจายในภาพซึ่งเปรียบดังสัญญาณรบกวนที่มีความแกร่งหรือความรุนแรงน้อย ๆนั้นจะไม่สามารถไปรบกวนองค์ประกอบหลักในสัญญาณภาพต้นฉบับ

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากสัญญาณภาพที่ถูกบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) ต่าง ๆจะพบว่าสัญญาณลายน้ำที่ถูกคัดแยกได้จะสูญหายไปเกือบหมดหรือมีค่าความผิดพลาดมากโดยสังเกตได้จากค่า BER (Bit error rate) ที่ค่อนข้างสูงแทบจะไม่สังเกตเห็นรูปร่างโลโกลายน้ำดิจิทัล ในทางตรงกันข้ามเมื่อทำการเพิ่มระดับของค่าความแกร่งสัญญาณลายน้ำ พบว่าภาพที่ฝังสัญญาณลาย

น้ำที่มีคุณภาพที่ลดลงโดยสังเกตได้จากค่า PSNR ที่มีค่าลดลง หรือสัญญาณลายน้ำไปรบกวนองค์ประกอบหลักในสัญญาณภาพต้นฉบับและเมื่อทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากสัญญาณภาพที่ถูกบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) ต่าง ๆก็จะพบว่าสัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากขึ้นโดยสามารถทำการคัดแยกได้เกือบทั้งหมด ทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยมากโดยสังเกตจากค่า BER (Bit error rate) ที่มีค่าค่อนข้างต่ำและจะสังเกตเห็นรูปร่างโลโกลายน้ำดิจิทัลที่ค่อนข้างชัดเจนมากกว่ากรณีแรก

ในการหาค่าที่เหมาะสมของระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลนั้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ใช้จีนเนติกอัลกอริทึมทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ Q-Step ซึ่งเป็นค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล จากผลการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวจะมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของภาพดิจิทัลนั้นๆ วิธีการนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้กับภาพดิจิทัลทั่วๆ ไป ในขั้นตอนการค้นหาด้วยจีนเนติกอัลกอริทึมนั้นเราจะสังเกตเห็นว่าจีนเนติกอัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบในวงกว้างได้โดยมีการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสม และจากการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำโดยทำการโจมตีสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการต่างๆ พบว่า วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้จริง โดยทำให้ได้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ดีขึ้นและพบว่ามีความทนทานของสัญญาณลายน้ำมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04

Test image	Q-Step = 0.03			Q-Step-GA 0.04			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	0.0527		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 4.4 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 100% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04

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 4.5 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.03 0.04 และ 0.05 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04

Test image	Q-Step = 0.03			Q-Step-GA 0.04			Q-Step = 0.05		
	PSNR	BER		PSNR	BER		PSNR	BER	
1. Pepper	41.24	0.4033		38.73	0.4199		37.11	0.4345	
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 4.6 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ค่า Q-Step เท่ากับ 0.08 และ 0.1 และทดสอบความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธี JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) 80% เพื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบบนแอพพลิเคชันที่ Q-Step-GA เท่ากับ 0.04

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	

ตารางที่ 4.7 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า 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	

นอกจากการทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชันด้วยภาพมาตราฐานแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำด้วยการใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลที่อยู่บนอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบแท็ปเล็ตยี่ห้อ Google รุ่น Nexus ติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system 4.0.4) โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลในการทดสอบจำนวน 5 ภาพ ใช้โหมดการถ่ายภาพแบบปกติ จากนั้นทำการตัดขอบภาพให้มีขนาดภาพเท่ากับ 512×512 พิกเซล และเรียกชื่อภาพตามองค์ประกอบภาพ เช่น 100, Coffee, Sushi, Tomato และ Vegetable ดังแสดงในรูปที่ 4.22

ในตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR จากการทดสอบการฝังสัญญาณลายน้ำและค่า BER จากการคัดแยกสัญญาณลายน้ำ พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกตโดยให้ค่าเฉลี่ยของ PSNR เท่ากับ 37.26 dB และในการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำพบว่าค่า BER ที่คำนวณได้มีค่าค่อนข้างสูงหรือสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้นแต่ก็ยังจะสามารถนำรูปภาพหรือโลโกที่คัดแยกได้มาใช้ระบุความเป็นเจ้าของได้เพราะสายตาเรายังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นรูปภาพได้อย่างค่อนข้างชัดเจน

100 Coffee Sushi Tomato Vegetable

รูปที่ 4.22 ภาพดิจิทัลจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ตารางที่ 4.8 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบขั้นตอนวิธีบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 100 %

Test image	Q-Step-GA 0.04		
	PSNR (dB)	BER	
1. 100	38.56	0.0478	
2. Sushi	37.20	0.0223	
3. Coffee	32.83	0.0019	
4. Tomato	38.34	0.0191	
5. Vegetable	39.40	0.0590	

ตารางที่ 4.9 ผลการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากการฝังลายน้ำดิจิทัลที่ใช้ค่า Q-Step-GA จากกระบวนการของ GA และทดสอบขั้นตอนวิธีบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ JPEG 80 %

Test image	Q-Step-GA 0.04		
	PSNR (dB)	BER	
1. 100	38.56	0.0511	
2. Sushi	37.20	0.3925	
3. Coffee	32.83	0.0312	
4. Tomato	38.34	0.3457	
5. Vegetable	39.40	0.3570	

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 ได้แสดงค่าเฉลี่ย PSNR (dB) จากการฝังสัญญาณลายน้ำและค่า BER จากการคัดแยกสัญญาณลายน้ำที่ค่าคุณภาพการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG 100% และ 80% ตามลำดับโดยจะพบว่า เมื่อค่า PSNR มีค่ามากจะทำให้ค่า BER จากการคัดแยกสัญญาณลายน้ำมีค่าลดลง และค่า BER จะลดลงมากขึ้นเมื่อลดระดับค่าคุณภาพในการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ JPEG หรืออาจกล่าวได้ว่าการบีบอัดสัญญาณภาพที่มากเกินไปก็สามารถทำลายสัญญาณลายน้ำดิจิทัลในภาพให้หายไปได้ อย่างไรก็ตามเมื่อบีบอัดมากขึ้นค่าคุณภาพของสัญญาณภาพก็ลดลงตามไปด้วยจนบางครั้งอาจจะลดลงจนภาพนั้นไม่มีคุณค่าอีกต่อไป

4.4 สรุป

ในการนำเสนอผลการวิจัยในโครงการ การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอเป็น 2 หัวข้อหลัก ๆคือ วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย ในส่วนของวิธีดำเนินการวิจัยได้นำเสนอการออกแบบขั้นตอนวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ได้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ (Q-step-GA) เพื่อจะได้นำค่าดังกล่าวไปใช้ในขั้นตอนของการสร้างแอพพลิเคชัน และในส่วนของผลการวิจัย ได้นำเสนอผลการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ การทดสอบคุณภาพและความทนทานของสัญญาณลายน้ำสำหรับภาพสีแบบดิจิทัลที่ใช้งานบนอุปกรณ์แอนดรอยด์ การพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สามารถใช้งานได้จริงโดยได้นำเสนอผลการทดสอบการทำงานที่ใช้ภาพมาตราฐานในการทดสอบด้านคุณภาพและทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ ซึ่งพบว่าได้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ดีและมีความทนทานของสัญญาณลายน้ำที่ดีเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะภาพเอาต์พุตมีความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณโดยวิธีการของ JPEG ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการบีบอัดสัญญาณภาพเป็นอย่างโดยการบีบอัดดังกล่าวถูกใช้ในการส่งข้อมูลสัญญาณภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุป

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอ การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลสำหรับอุปกรณ์แอนดรอยด์ การทำลายน้ำภาพสีแบบดิจิทัลมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ (Copyright protection) หรือเพื่อใช้ในการระบุตัวตนหรือเจ้าของที่แท้จริงของภาพดิจิทัลนั้น ๆ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างแอพพลิเคชัน (Application) สำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์แอนดรอย์ (Android devices) โดยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถทำการฝังสัญญาณลายน้ำและทำตรวจจับสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบทนทานได้ ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การคิดค้นและพัฒนาอัลกอริทึมการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ (Copyright protection) สำหรับภาพจากอุปกรณ์แอนดรอย์ (Android devices) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนการแปลง (Transform domain) เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าทำให้เกิดความทนทานของสัญญาณลายน้ำมากกว่าเทคนิคและวิธีการที่ใช้การประมวลผลบนโดเมนเชิงพื้นที่ (Spatial domain) ในการดำเนินงานวิจัยนั้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลโดยเลือกเทคนิคการฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการควอนไทล์ (Quantization technique) มาทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านคุณภาพของสัญญาณและความทนทานของลายน้ำ ซึ่งผู้วิจัยทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete wavelet transform; DWT) โดยภาพต้นฉบับจะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DWT จำนวน 4 ระดับ (4-Levels wavelet decomposition) ที่ใช้เวฟเล็ตแม่ Daubechies wavelet (D4) ในขั้นตอนของการแปลงสัญญาณภาพด้วย DWT ซึ่งการแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนเวฟเล็ตดังกล่าว เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณภาพดิจิทัลแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-resolution analysis) ทำให้วิธีการที่นำเสนอมีความปลอดภัยสูงมากเนื่องจากสัญญาณลายน้ำจะมีการแพร่กระจายอยู่ตลอดช่วงความถี่ของสัญญาณภาพด้วยขนาดและความแรงสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมากและผู้ที่มีรหัสลับที่ถูกต้องเท่านั้นจึงจะสามารถตรวจจับสัญญาณลายน้ำนี้ได้

5.1.2 ในการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลภายใต้สภาวะการโจมตีสัญญาณลายน้ำในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปพัฒนาเป็นโปรแกรมแอนดรอยด์ประยุกต์หรือแอนดรอยด์แอพพลิเคชัน (Android application) ที่สามารถฝังสัญญาณลายน้ำและตรวจจับสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบทนทานได้โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนการแปลง (Transform domain) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลภายใต้สภาวะของการโจมตีเชิงเรขาคณิตและการบีบอัดสัญญาณภาพแบบมีการสูญเสียโดยใช้การบีบอัดสัญญาณภาพด้วยวิธีการ JPEG นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบแอนดรอยด์แอพพลิเคชันในขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยมีการคำนวณและ

เปรียบเทียบค่า Peak signal to noise ratio (PSNR) และอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate) ของการทำลายน้ำดิจิทัล ในการทดสอบด้านคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุตในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลนั้นพบว่า ภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำจะไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำโดยแสดงค่าเฉลี่ย PSNR จากการทดสอบการฝังสัญญาณลายน้ำพบว่า ค่า Q-Step ที่มีน้อยลงจะให้ค่า PSNR ที่สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและหลักการในการออกแบบการทำลายน้ำดิจิทัล จากการทดสอบพบว่ามีค่าเฉลี่ยของ PSNR ในการทดสอบภาพมาตราฐานเท่ากับ 39.24 dB ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วที่ค่า PSNR มากกว่า 30 dB ขึ้นไปถือว่าเป็นค่าคุณภาพที่ยอมรับได้หรือสัญญาณภาพมีคุณภาพสูงเพียงพอและยากต่อการสังเกตที่จะเห็นความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำ

5.1.3 การคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากสัญญาณภาพที่ถูกบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) ต่าง ๆจะพบว่าสัญญาณลายน้ำที่ถูกคัดแยกได้จะสูญหายไปเกือบหมดหรือมีค่าความผิดพลาดมากโดยสังเกตได้จากค่า BER (Bit error rate) ที่ค่อนข้างสูงแทบจะไม่สังเกตเห็นรูปร่างโลโกลายน้ำดิจิทัล ในทางตรงกันข้ามเมื่อทำการเพิ่มระดับของค่าความแกร่งสัญญาณลายน้ำพบว่าภาพที่ฝังสัญญาณลายน้ำที่มีคุณภาพที่ลดลงโดยสังเกตได้จากค่า PSNR ที่มีค่าลดลง หรือสัญญาณลายน้ำไปรบกวนองค์ประกอบหลักในสัญญาณภาพต้นฉบับและเมื่อทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำจากสัญญาณภาพที่ถูกบีบอัดด้วยวิธีการ JPEG ที่ค่าคุณภาพ (Quality) ต่าง ๆก็จะพบว่าสัญญาณลายน้ำมีความทนทานมากขึ้นโดยสามารถทำการคัดแยกได้เกือบทั้งหมด ทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยมากโดยสังเกตจากค่า BER (Bit error rate) ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มความทนทานของสัญญาณลายน้ำได้ดีโดยเฉพาะความทนทานต่อการบีบอัดสัญญาณภาพโดยวิธีการ JPEG ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการบีบอัดสัญญาณภาพเป็นอย่างมากในการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

5.1.4 การทดสอบความทนทานของสัญญาณลายน้ำ ได้แสดงให้เห็นจุดเด่นของการใช้สัญญาณลายน้ำแบบรูปภาพไบนารี (Binary image) หรือโลโก (Logo) นั่นคือ ในกรณีที่ทำการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำแล้วพบว่าค่า BER มีค่าสูงหรือขั้นตอนวิธีสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้น แต่เราก็ยังสามารถนำรูปภาพลายน้ำที่ทำการคัดแยกได้มาใช้ในการระบุความเป็นเจ้าของได้เพราะว่าสายตามนุษย์จะยังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นลักษณะรูปภาพหรือโลโกได้ดีแม้ว่าจะมีค่า BER ที่สูงมากก็ตาม ซึ่งนับว่าเป็นจุดเด่นของวิธีการที่นำเสนอ

5.1.5 ในการพัฒนาแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณภาพของภาพเอาต์พุตและความทนทานของสัญญาณลายน้ำด้วยการติดตั้งแอพพลิเคชันการทำลายน้ำดิจิทัลและใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลที่อยู่บนอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบแท็ปเล็ต ยี่ห้อ Google รุ่น Nexus ติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android operating system 4.0.4) โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลในโหมดการถ่ายภาพแบบปกติ ซึ่งพบว่าได้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ดีและมีความทนทานของสัญญาณลายน้ำที่ดีเช่นเดียวกันการทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชันด้วยภาพมาตราฐาน โดยพบว่าแอพพลิเคชันที่นำเสนอให้ค่า PSNR ที่มากเพียงพอจนยากต่อการสังเกตโดยให้ค่าเฉลี่ยของ PSNR เท่ากับ 37.26 dB และในการตรวจจับและคัดแยกสัญญาณลายน้ำพบว่าค่า BER ที่คำนวณได้มีค่าค่อนข้างสูงหรือสามารถทำการคัดแยกสัญญาณลายน้ำได้บางเพียงส่วนเท่านั้นแต่ก็ยังจะสามารถนำรูปภาพหรือโลโกที่คัดแยกได้มาใช้ระบุความเป็นเจ้าของได้เพราะสายตาเรายังสามารถสังเกตเห็นรูปร่างของสัญญาณลายน้ำที่เป็นรูปภาพได้อย่างค่อนข้างชัดเจน

5.2 แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.2.1 การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลของภาพสีที่นำมีการนำองค์ประกอบของสีหลักจากปริภูมิแบบต่าง ๆมาใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำซึ่งคาดว่าจะทำให้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.2 การพัฒนาแอพพลิเคชัน (Application) การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile devices) แบบต่าง ๆทั้งในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และ iOS เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงกับภาพจากกล้องของอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น

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] A. Srikaew, "Genetic Algorithms," Suranaree Journal of Science and Technology, vol. 1, pp. 69-83, January 2004.

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

[7] Wang, S.-H. and Lin, Y. -P., "Wavelet tree quantization for copyright protection watermarking," Image Processing, IEEE Transactions on, vol. 13, pp. 154-165, Feb. 2004.

[8] 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.

[9] A. Piva et. al., "DCT Based Watermark Recovery without Resorting to the Uncorrupted Original Signal," Proc. IEEE International Conf. on Image Processing, ICIP-97, vol.1, pp. 520-523, 1997.

[10] Z. Wang and A. C. Bovik, "A Universal Image Quality Index, " *IEEE Signal Processing Letters,* vol. 9, no. 3, pp. 81-84, Mar. 2002.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

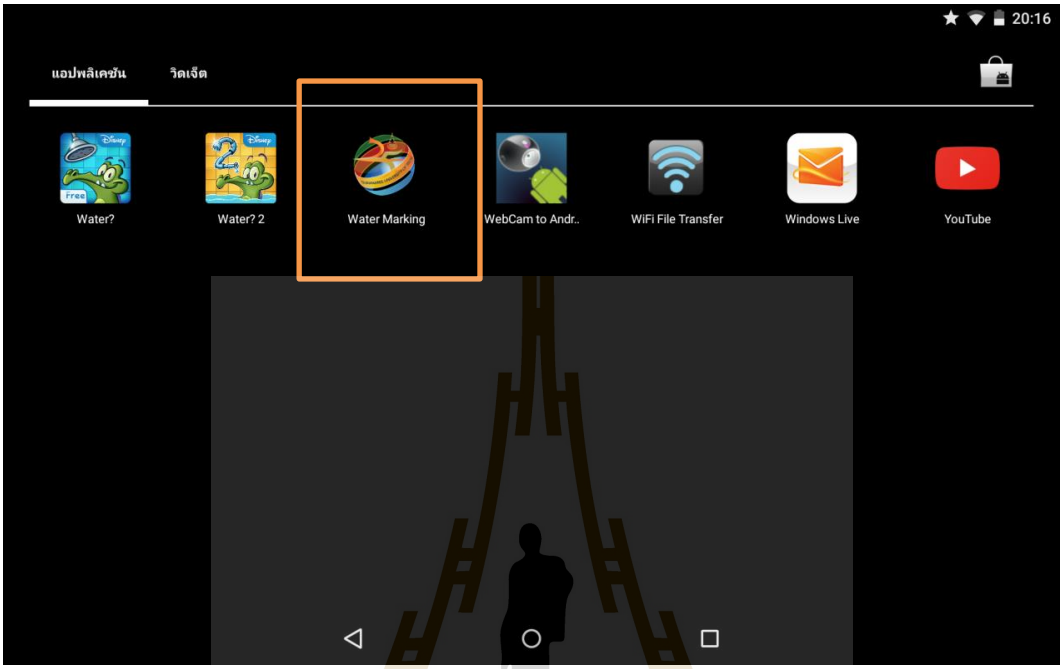
[23] Android developers, Available from: https://developer.android.com/index.html

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

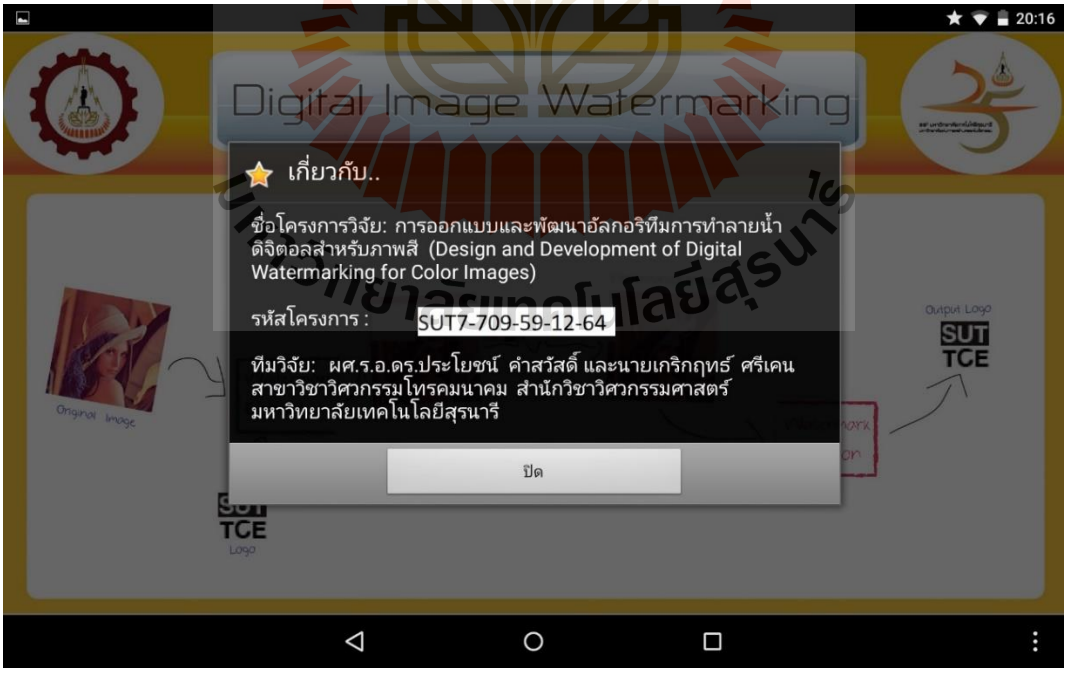
ภาคผนวก ก.

คู่มือการใช้งานแอพพลิเคชัน

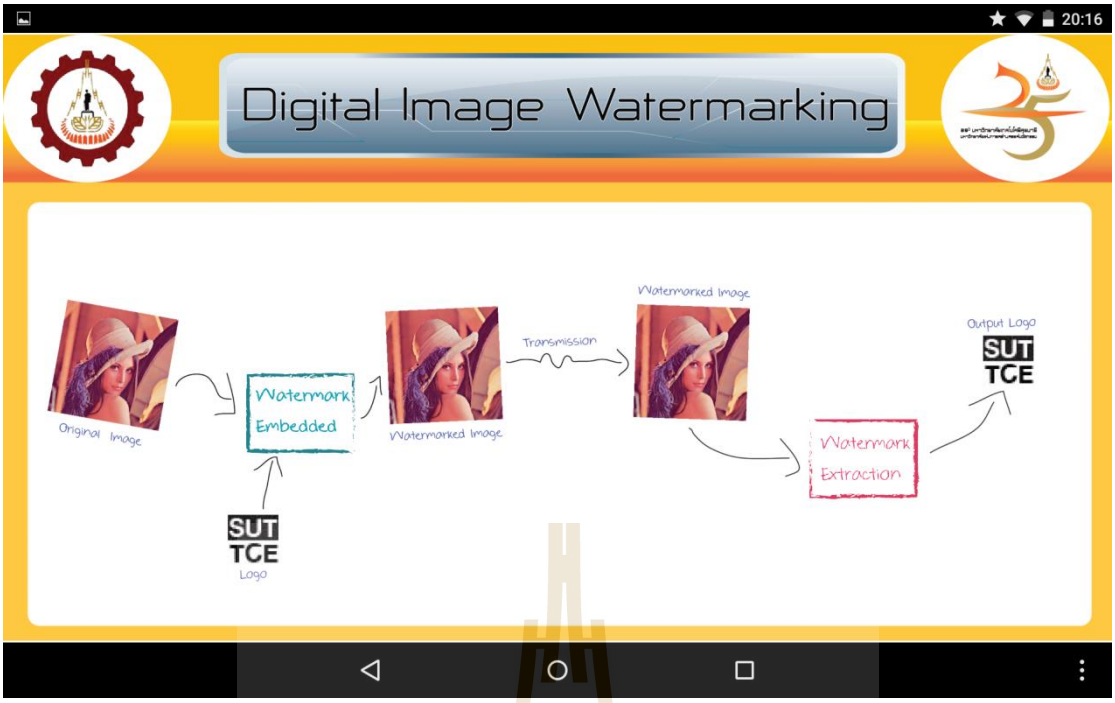
การใช้งานแอพพลิเคชันดังกล่าว มีขั้นตอนตามรูปที่ ก.1 ถึงรูปที่ ก.12 ดังต่อไปนี้



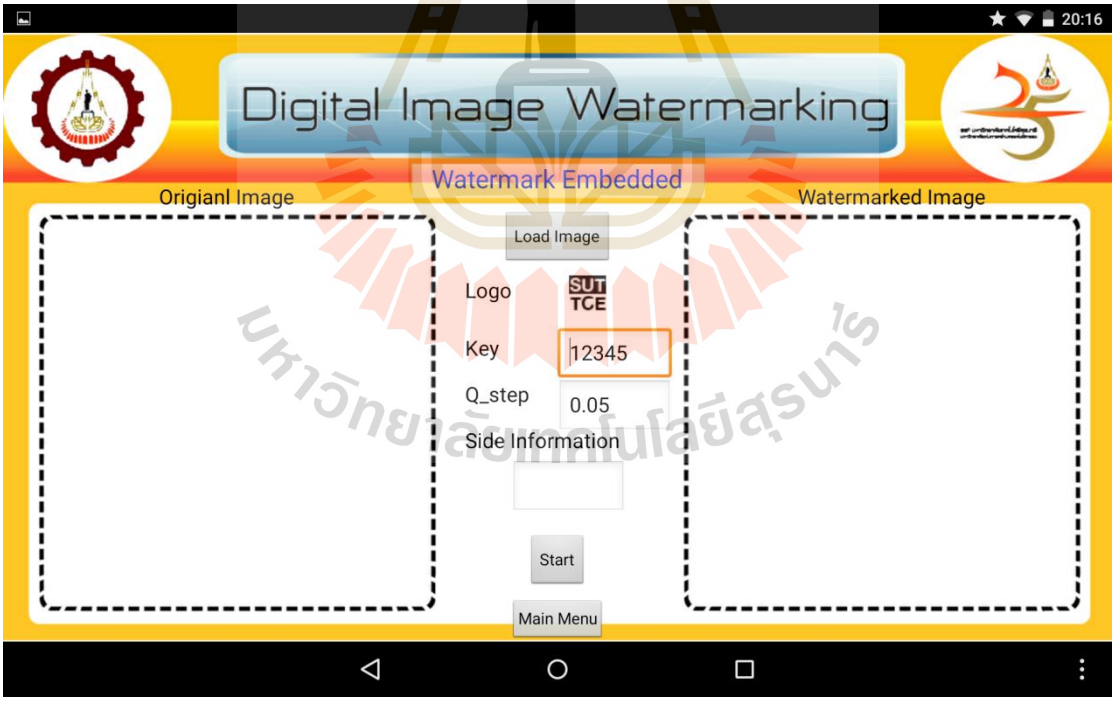
รูปที่ ก.1 เปิดแอพพลิเคชันโดยใช้ไอคอน (Icon) บนระบบปฏิบัติการแอนด์ดรอยด์



รูปที่ ก.2 รายละเอียดของโปรแกรมในหน้าต่าง About

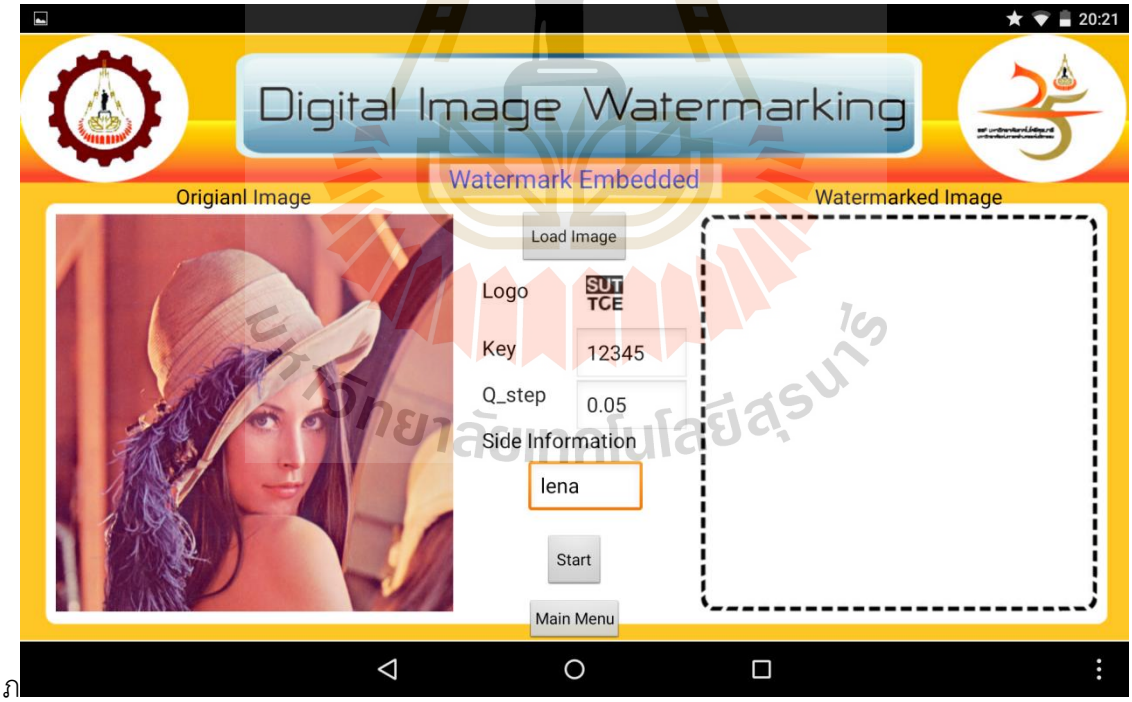


รูปที่ ก.3 หน้าต่างเมนูหลัก



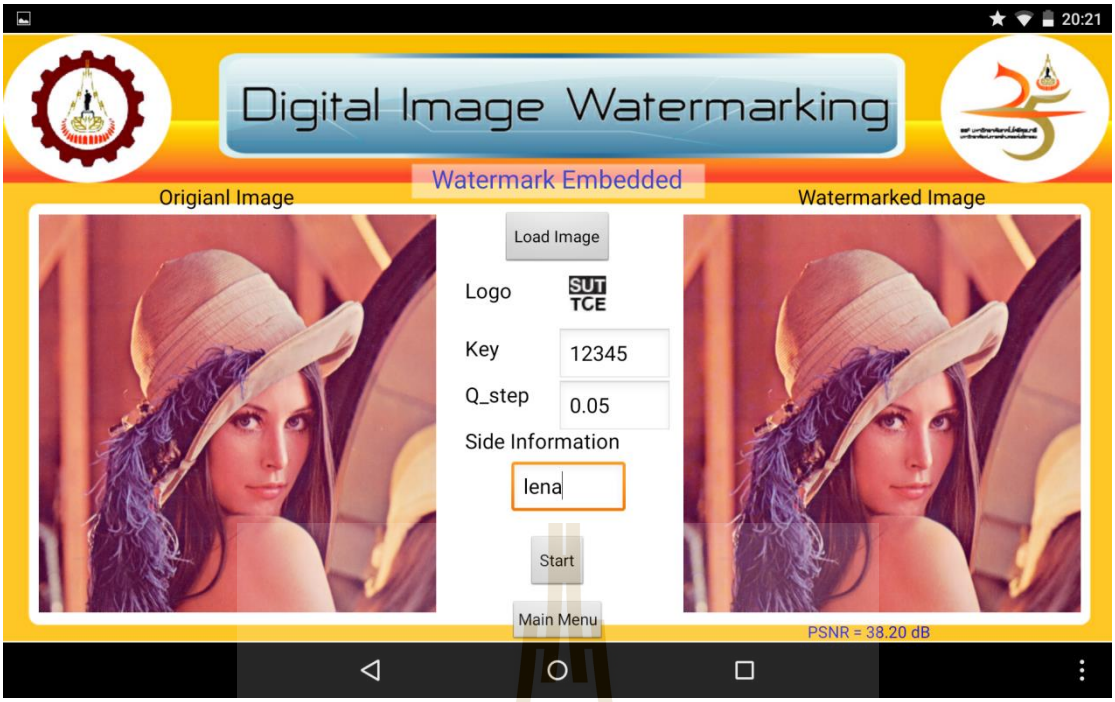
รูปที่ ก.4 กดเลือกฟังก์ชัน Watermark Embedded ในการฝังสัญญาณลายน้ำ

รูปที่ ก.5 โหลดรูปภาพที่จะทำการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล



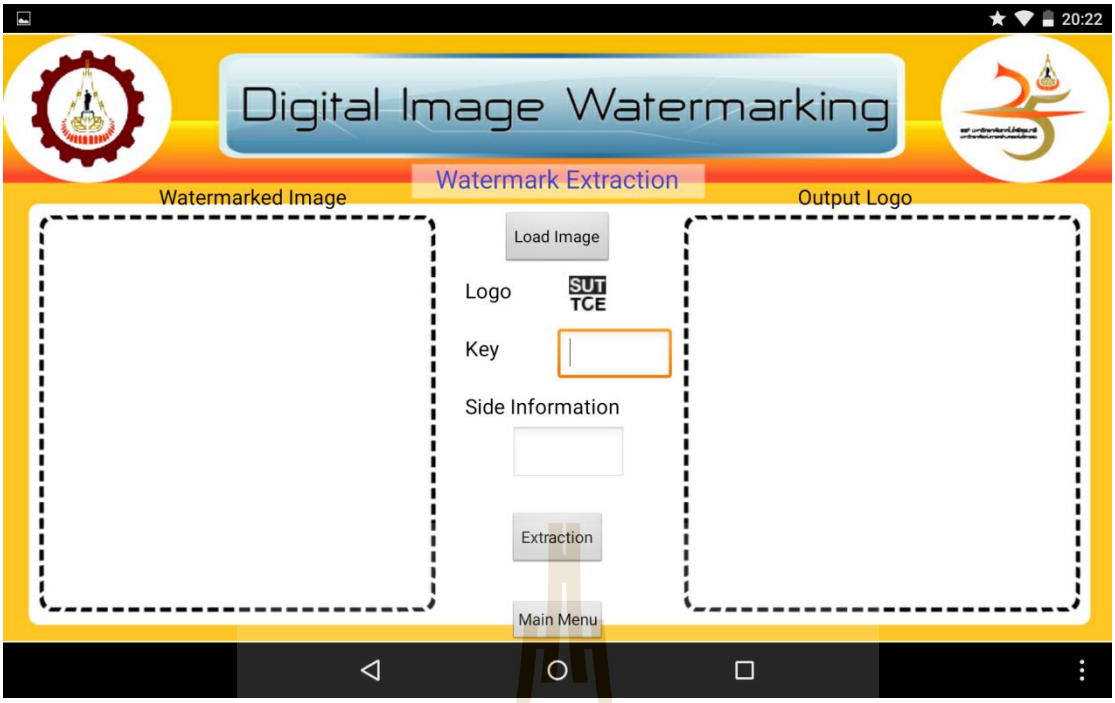
ภ

รูปที่ ก.6 ใส่ค่าพารามิเตอร์การฝังสัญญาณลายน้ำ



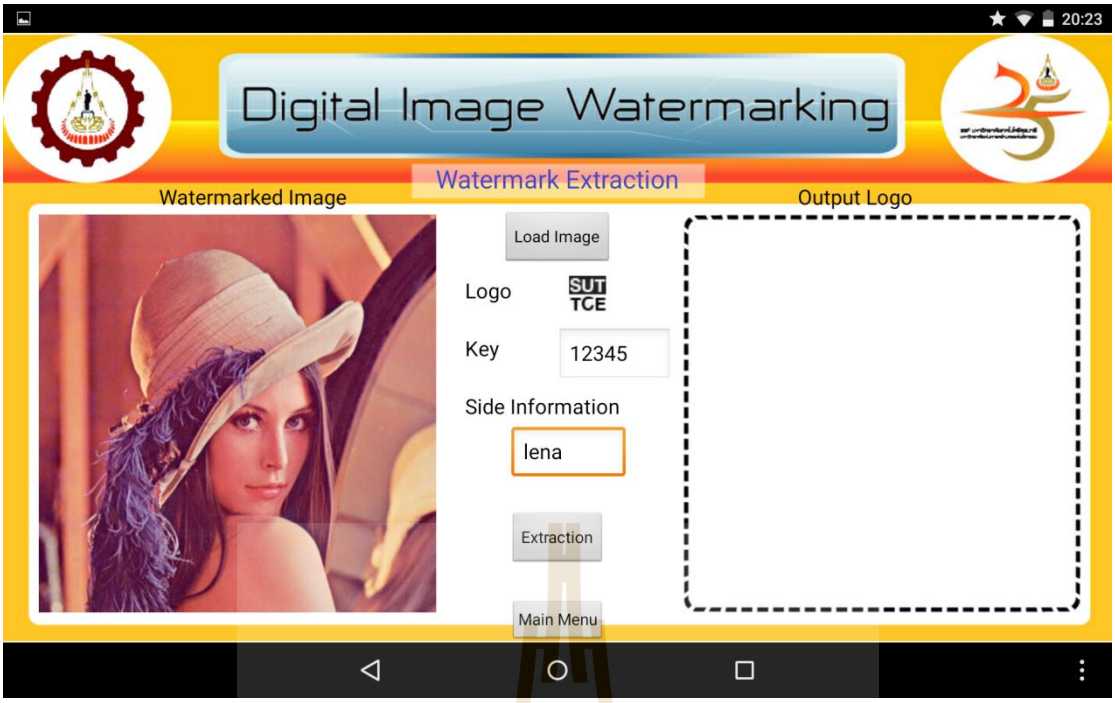
รูปที่ ก.7 กดปุ่ม Start เพื่อฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

รูปที่ ก.8 ภาพหลังการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลจะอยู่ในโฟลเดอร์ Embedded Image



รูปที่ ก.9 กดเลือกฟังก์ชั่น Watermark Extraction เพื่อตรวจจับหรือคัดแยกสัญญาณลายน้ำ

รูปที่ ก.10 โหลดภาพที่ต้องการตรวจจับหรือคัดแยกสัญญาณลายน้ำดิจิทัล



รูปที่ ก.11 ใส่ค่าพารามิเตอร์

รูปที่ ก.12 กดปุ่ม Extraction เพื่อคัดแยกสัญญาณลายน้ำดิจิทัลและแสดงผล

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