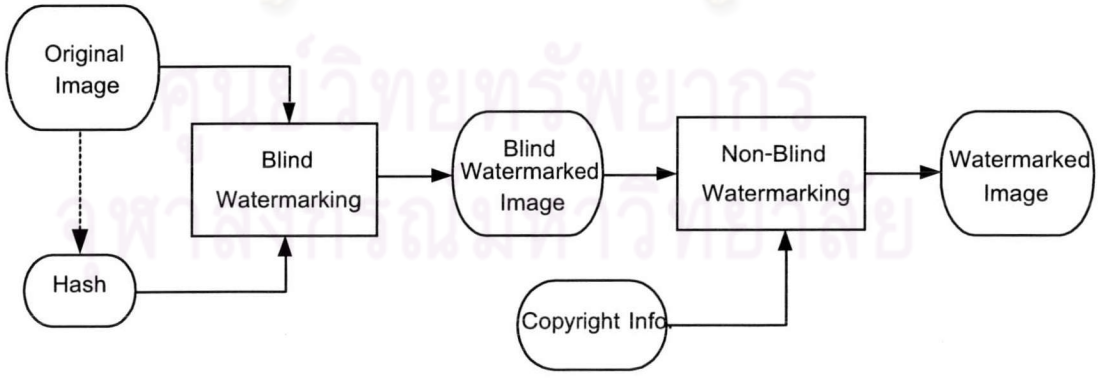
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการใส่ลายน้ำในรูปภาพ

วิธีใส่ลายน้ำที่เสนอนี้ เป็นการใช้วิธีการใส่ลายน้ำแบบบอด (Oblivious or Blind Watermarking) และแบบไม่บอด (Non-Oblivious or Non-Blind Watermarking) ร่วมกัน เพื่อให้สามารถใส่ข้อมูลได้มากและในขณะเดียวกันก็มีความปลอดภัยสูง ไม่สามารถแอบอ้างสิทธิ์ในรูปภาพด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น นำรูปต้นฉบับปลอมมาแอบอ้างใช้ในการตรวจจับลายน้ำได้ หลักการโดยรวมของทั้งสองวิธีที่ใช้คล้ายกัน คือใส่ลายน้ำซึ่งมีลักษณะคล้ายสัญญาณรบกวนเข้าไปโดยบวกกับรูปต้นฉบับในโดเมนความถี่ รักษาระดับความเข้มของลายน้ำให้ต่ำพอที่จะไม่ทำให้เกิดการมองเห็น ซึ่งในการวิจัยเกี่ยวกับการใส่ลายน้ำยังมิได้มีการกำหนดค่าที่ใช้วัดระดับการมองเห็นในที่นี้จึงใช้โปรแกรมของ Girod [21] ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบภาพ 2 ภาพ หากภาพที่ใส่ลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของจุดภาพมากเกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ค่าหนึ่งก็จะเรียกว่าเป็นจุดเสีย (bad pixel) งานวิจัยนี้จะใช้จำนวนจุดเสียเป็นตัวบอกระดับการมองเห็น (visibility level) ของลายน้ำ การตรวจจับลายน้ำทำโดยการนำรูปต้นฉบับหรือใช้การประมาณรูปต้นฉบับแล้วนำไปลบออกจากรูปทดสอบ จากนั้นจึงทำการตรวจจับลายน้ำโดยหาค่าสหสัมพันธ์ ทั้งนี้เนื่องจากลายน้ำที่ฝังเข้าไปมีพลังงานต่ำ ดังนั้นบิตที่ตรวจจับได้จึงมีความผิดพลาดเกิดขึ้น เพื่อที่จะแก้ไขความผิดพลาดนี้จึงได้อาศัยรหัสแก้ไขความผิดพลาดโดยบิตข้อมูลนั้นจะนำมาเข้ารหัสก่อนใส่ลายน้ำ โดยรหัสแก้ไขความผิดพลาดที่ใช้นั้นจะใช้รหัสเทอร์โบเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแก้ไขความผิดพลาดที่ดีที่ SNR ต่ำ



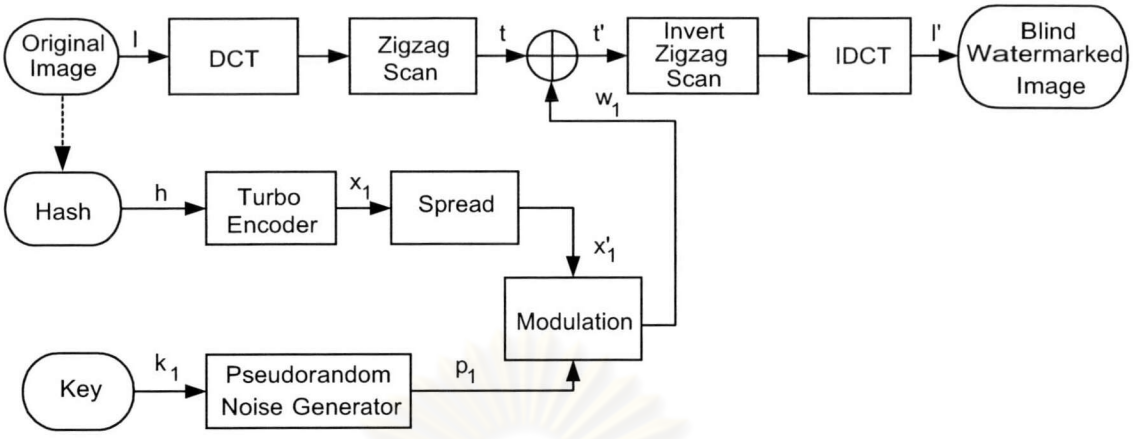
รูปที่ 3.1 วิธีการใส่ลายน้ำที่เสนอ

แผนภาพของวิธีการใส่ลายน้ำที่เสนอแสดงดังรูปที่ 3.1 รูปต้นฉบับจะถูกนำมาหา hash ขนาด 64 บิต แล้วนำข้อมูลนี้ฝังลงในรูปต้นฉบับแบบบอดเพื่อใช้ในการยืนยันรูปต้นฉบับ ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์จะถูกฝังแบบไม่บอด สุดท้ายจะได้รูปที่ถูกฝังลายน้ำ (Watermarked Image) แม้รูปภาพจะถูกนำไปผ่านการประมวลผลภาพแบบต่าง ๆ ก็ยังสามารถดึงข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์นี้ออกมาได้ และหากสงสัยเรื่องที่มาของรูปต้นฉบับก็สามารถยืนยันได้ด้วยว่ารูปต้นฉบับที่นำมาใช้เพื่อดึงข้อมูลลิขสิทธิ์นี้เป็นรูปต้นฉบับจริงหรือไม่ รายละเอียดขั้นตอนของวิธีใส่ลายน้ำที่เสนอเป็นดังนี้

3.1.1 **การใส่ลายน้ำแบบบอด** (Blind Watermarking)

ส่วนของ hash ของรูปต้นฉบับขนาด 64 บิตถูกฝังลงในรูปต้นฉบับแบบบอด วิธีการฝังข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.2 hash ของรูปต้นฉบับจะถูกนำไปเข้ารหัสเทอร์โบก่อนโดยมีอัตราการเข้ารหัส 1/3 เมื่อได้บิตข้อมูลที่เข้ารหัส x_1 จึงนำมาทำการซ้ำบิตเดิมออกไปหลาย ๆ ครั้งโดยกำหนดค่า spreading factor cr_1 ซึ่งบอกว่าจะทำซ้ำบิตข้อมูลที่เข้ารหัสกี่ครั้งเพื่อช่วยในการตัดสินใจได้ออกมาเป็น x_1' ใช้กุญแจ (key) k_1 ทำการสร้างตัวแปรสุ่มแบบเทียม p_1 มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวนเป็นหนึ่งซึ่งมีความยาวเท่ากับ x_1' นำเอา x_1' และ p_1 มามอดูเลตกันจะได้สัญญาณที่จะนำไปบวกกับภาพ w_1 ส่วนภาพต้นฉบับ I ก็จะทำการแปลงโคซายน์ (DCT) ทั้งรูปก่อนแล้วทำการจัดเรียงสัมประสิทธิ์แบบซิกแซ็ก (zigzag scan) เพื่อทำการเรียงความถี่จากความถี่ต่ำไปความถี่สูงได้เป็น t จากนั้นจึงนำไปบวกกับสัญญาณที่สร้างโดยจะทำการบวกเข้าไปยังช่วงสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเพื่อให้มีความทนทานและมองไม่เห็น โดย t' เป็นสัมประสิทธิ์หลังการบวก แสดงการฝังลายน้ำได้ตามสมการ (3.1) จากนั้นทำการแปลงกลับโคซายน์และทำกลับการเรียงสัมประสิทธิ์แบบซิกแซ็กก็จะได้ภาพที่ถูกฝังลายน้ำแบบบอด (Blind Watermarked Image) I'

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการฝังลายน้ำแบบบอด

$$t' = t + \alpha_1 . p_1 . x_1' \qquad (3.1)$$

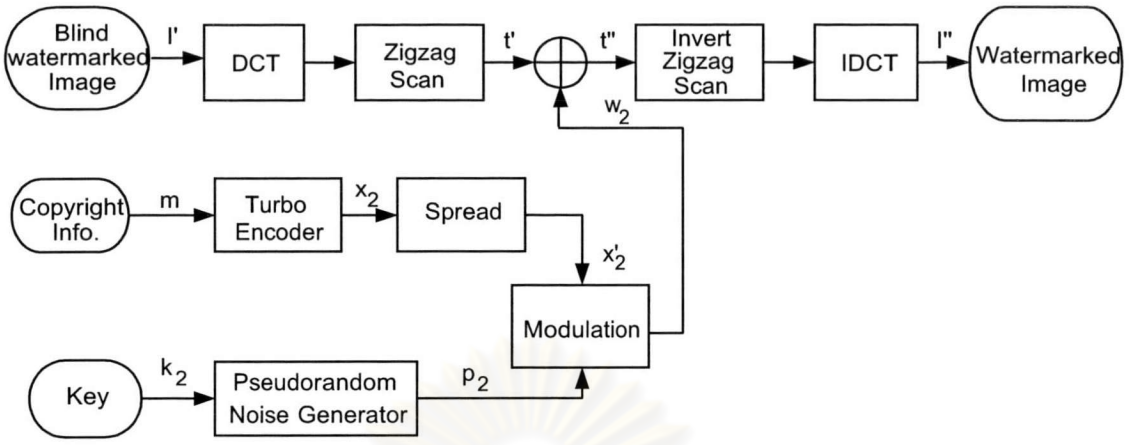
α_1 คือความเข้มในการฝังลายน้ำแบบบอด

3.1.2 **การใส่ลายน้ำแบบไม่บอด** (Non-Blind Watermarking)

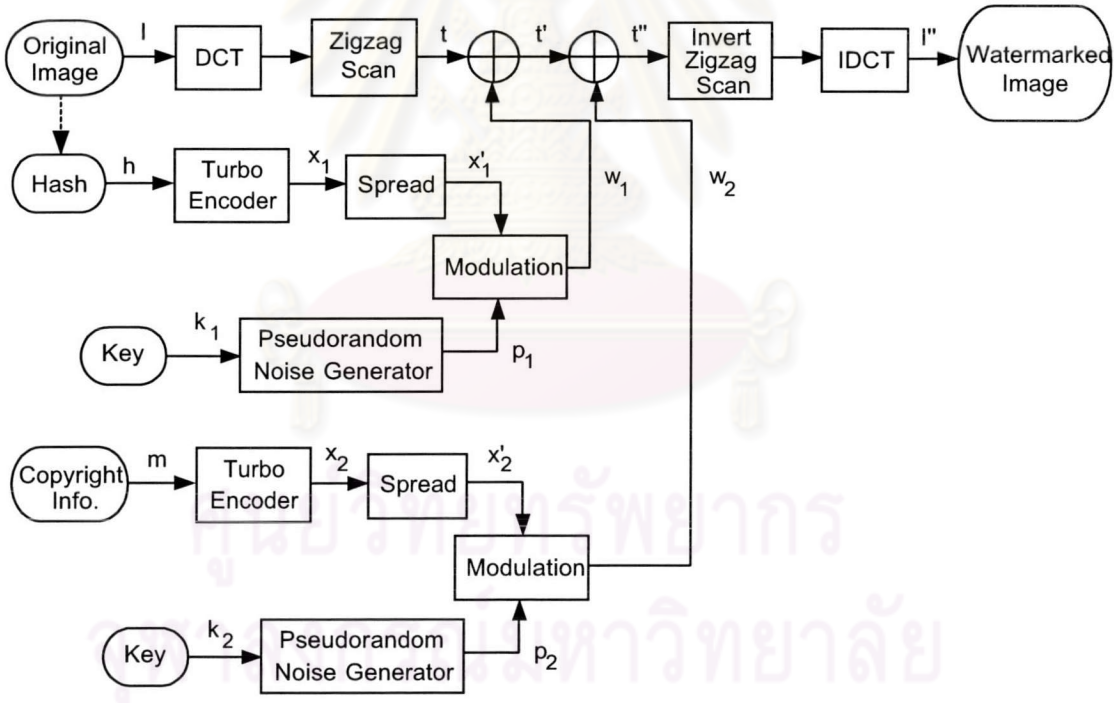
เมื่อได้รูปที่ฝัง hash ของรูปต้นฉบับ I' แล้ว ขั้นต่อไปคือการฝังข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์โดยวิธีการฝังลายน้ำแบบไม่บอด วิธีการฝังข้อมูลคล้ายกับการฝังข้อมูลแบบบอดดังแสดงในรูปที่ 3.3 รูปต้นฉบับคือ Blind Watermarked Image I' จะทำการแปลงโคซายน์ทั้งรูปแล้วเรียงสัมประสิทธิ์แบบซิกแซ็กได้เป็น t' นำบิตข้อมูล m ไปเข้ารหัสเทอร์โบโดยมีอัตราการเข้ารหัส 1/3 ได้บิตข้อมูลที่เข้ารหัส x_2 หลังจากนั้นขั้นตอนเหมือนกับการฝังข้อมูลแบบบอด ตัวแปรสุ่มแบบเทียม p_2 ถูกสร้างโดยกุญแจอีกตัวหนึ่ง k_2 การฝังลายน้ำแสดงในสมการ (3.2) โดย t'' เป็นสัมประสิทธิ์หลังการบวก จากนั้นทำกลับการเรียงสัมประสิทธิ์แบบซิกแซ็ก (invert zigzag scan) และทำการแปลงกลับโคซายน์ (IDCT) ก็จะได้ภาพที่ถูกฝังลายน้ำ (Watermarked Image) I'' สามารถเผยแพร่ได้โดยไม่เกิดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์

$$t'' = t' + \alpha_2 . p_2 . x_2' \qquad (3.2)$$

α_2 คือความเข้มในการฝังลายน้ำแบบไม่บอด



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำแบบไม่บอด



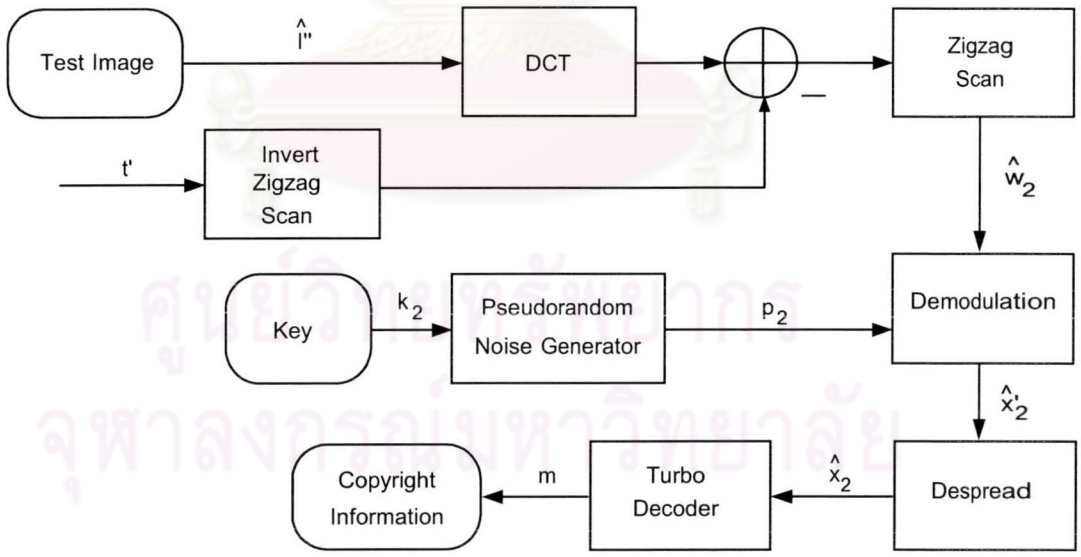
รูปที่ 3.4 การฝังลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดพร้อมกัน

การใส่ลายน้ำทั้งสองแบบสามารถทำพร้อมกันได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยการใส่ลายน้ำทั้งสองในโดเมนความถี่ แล้วจึงทำ invert zigzag scan และแปลงกลับโคไซน์เพื่อให้ได้

ภาพที่ถูกฝังลายน้ำ (Watermarked Image) I'' โดยไม่จำเป็นต้องมี Blind Watermarked Image I' ก่อนแล้วจึงจะฝังข้อมูลลิขสิทธิ์ตาม 3.1.2 ได้ ทั้งนี้ ลำดับก่อนหลังของการใส่ลายน้ำทั้งสองแบบไม่ทำให้เกิดผลต่างกันแต่อย่างใด

3.1.3 การตรวจจับข้อมูลลิขสิทธิ์

การดึงข้อมูลลิขสิทธิ์ที่ถูกฝังอยู่ออกมา ทำได้โดยการตรวจจับลายน้ำแบบไม่บอด ซึ่งต้องใช้รูปต้นฉบับในการตรวจจับ สำหรับการใช้วิธีใส่ลายน้ำ 2 วิธีร่วมกันนี้ อาจกล่าวได้ว่ารูปต้นฉบับที่ต้องใช้ในที่นี้คือรูปที่ผ่านการใส่ลายน้ำแบบบอด หรือใส่ hash ของรูปต้นฉบับเข้าไปแล้ว ดังขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 3.5 รูปทดสอบ $\hat{I}$ ที่ต้องการตรวจจับลายน้ำจะถูกทำการแปลงโคไซน์ทั้งรูป นำรูปต้นฉบับไปฝัง hash ของมันตามรูปที่ 3.2 จนได้ t' ออกมา ทำ invert-zigzag scan แล้วนำไปลบออกจากรูปทดสอบ $\hat{I}$ ที่แปลงโคไซน์แล้ว นำเมตริกซ์ที่ได้จากการลบไปเรียงแบบซิกแซ็กก็จะได้ค่าประมาณของสัญญาณที่บวกเข้าไป $\hat{w}_2$ จากนั้นใช้กุญแจที่เหมือนกับที่ใช้ในตอนแรก k_2 สร้างตัวแปรสุ่มแบบเทียม p_2 แล้วนำมาดีมอดูเลตกับ $\hat{w}_2$ จะได้ $\hat{x}'_2$ จากนั้นนำเอาสัญญาณที่เรียงซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งมารวมกันเป็นชุดเดียวได้ $\hat{x}_2$ แล้วนำไปถอดรหัสเทอร์โบเพื่อให้ได้บิตข้อมูล m ที่ต้องการ

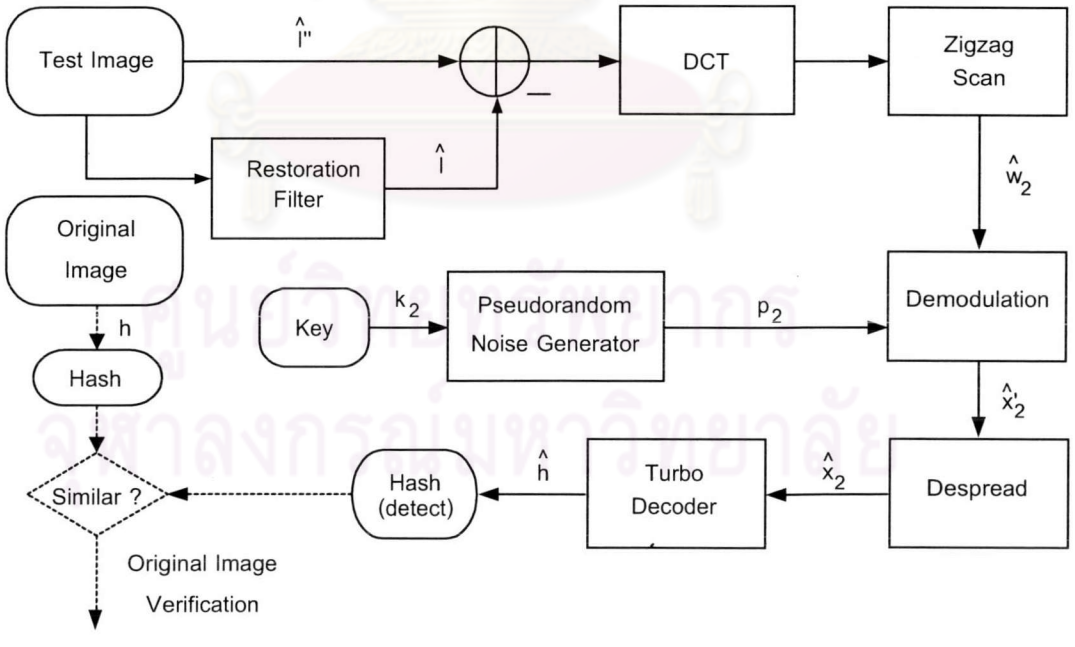


รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการตรวจจับข้อมูลลิขสิทธิ์

3.1.4 การยืนยันต้นฉบับ

ความจำเป็นต้องใช้รูปต้นฉบับในการตรวจจับข้อมูลลิขสิทธิ์จากรูปภาพ ทำให้จำเป็นต้องมีวิธีการพิสูจน์หรือยืนยันว่ารูปต้นฉบับที่นำมาใช้นั้นเป็นรูปต้นฉบับจริง วิธีใส่ลายน้ำในรูปภาพที่เสนอนี้มีวิธีการยืนยันรูปต้นฉบับโดยการตรวจจับลายน้ำแบบบอดจากรูปทดสอบ ซึ่งลายน้ำนี้คือ hash ขนาด 64 บิตที่ถูกฝังอยู่ในรูปภาพด้วยวิธีตามขั้นตอน 3.1.1 พร้อมกับนำรูปต้นฉบับที่ถืออยู่มาทำการหา hash ขนาด 64 บิตด้วยวิธีเดียวกัน รูปต้นฉบับนั้นจะเป็นรูปต้นฉบับที่แท้จริงก็ต่อเมื่อลายน้ำที่ตรวจจับได้ต้องเหมือนกับ hash ที่หาได้ทุกบิต เนื่องจากคุณสมบัติของ hash function ที่ว่า ข้อมูลที่จะทำให้ได้ hash เหมือนกันต้องเป็นข้อมูลที่เหมือนกันทุกประการเท่านั้น และนอกจากนั้น hashing เป็นกระบวนการทางเดียว ดังนั้นการที่จะตรวจจับ hash จากรูปทดสอบแล้วสร้างต้นฉบับจริงขึ้นมาจึงเป็นไปไม่ได้อีกด้วย

วิธีการตรวจจับลายน้ำแบบบอดมีลักษณะคล้ายกับการตรวจจับลายน้ำแบบไม่บอดในหัวข้อ 3.1.3 ต่างกันที่จะใช้การประมาณรูปต้นฉบับแล้วนำไปลบจากรูปทดสอบ $\hat{I}$ โดยใช้ image restoration filter เป็น Weiner filter ขนาด 5 x 5 จุดภาพ แทนที่จะใช้รูปต้นฉบับโดยตรง วิธีการตรวจจับลายน้ำแบบบอดเพื่อการยืนยันต้นฉบับแสดงดังรูปที่ 3.6

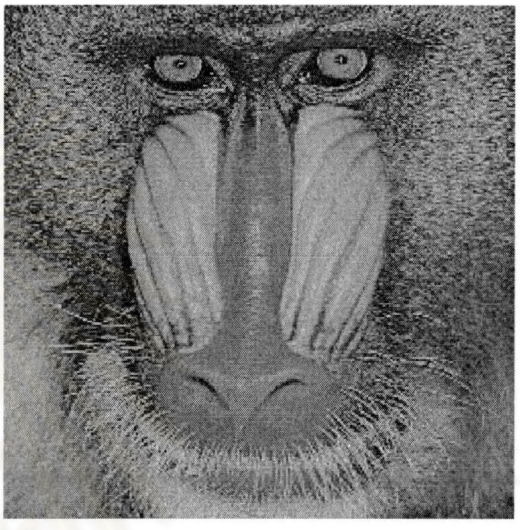


รูปที่ 3.6 การยืนยันรูปต้นฉบับ

3.2 รูปที่ใช้ทดสอบ

รูปภาพที่นำมาทดสอบในการใส่ลายน้ำจะใช้ภาพ Gray Scale 8 บิต ของ Lena, Baboon, Boat และ Cameraman ขนาด 256 x 256 จุดภาพในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 – 3.10

รูปที่ 3.7 ภาพ Lena



รูปที่ 3.8 ภาพ Baboon

รูปที่ 3.9 ภาพ Cameraman

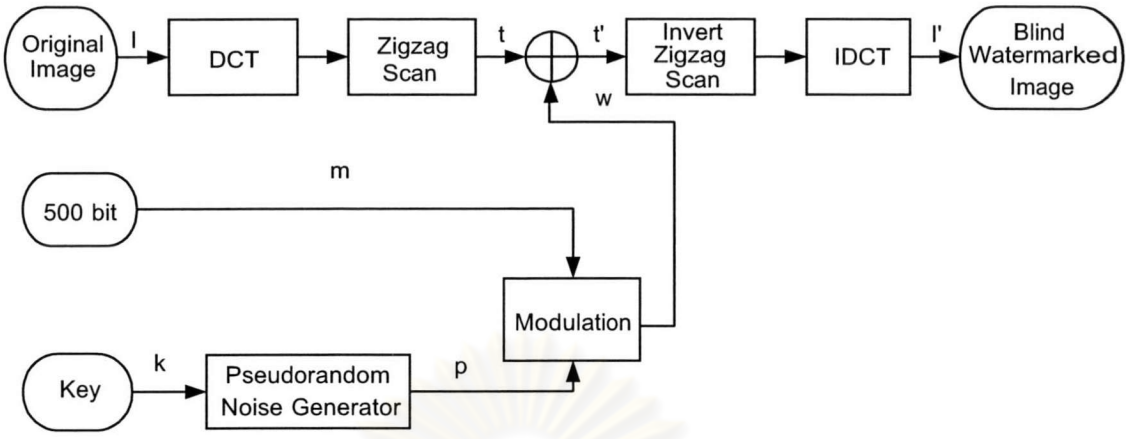
รูปที่ 3.10 ภาพ Boat

3.3 การหาช่วงสัมประสิทธิ์ในการใส่ลายน้ำ

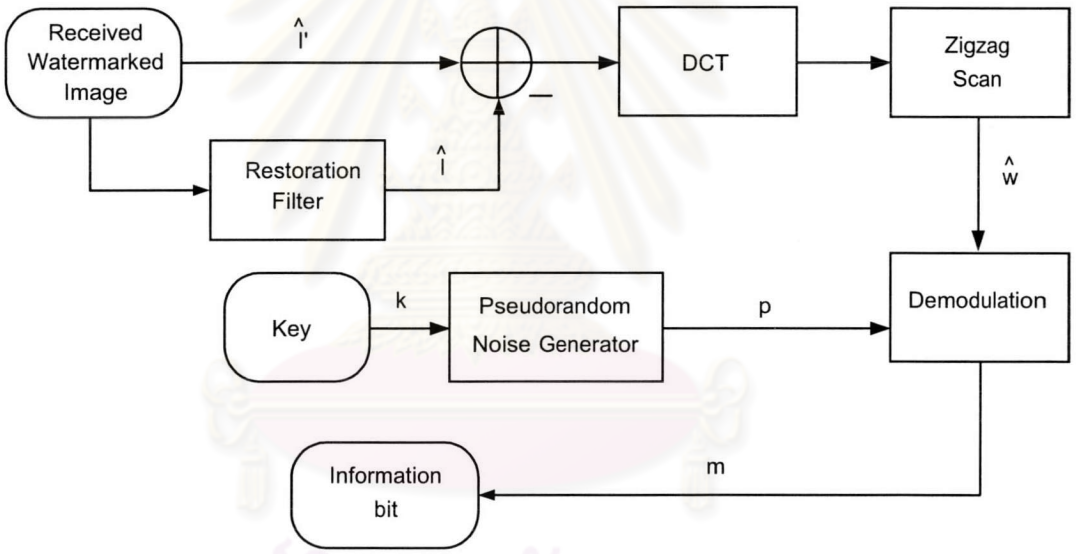
วิธีการใส่ลายน้ำในรูปภาพที่เสนอเป็นการใส่ลายน้ำในโดเมนความถี่โดยใช้การแปลงโคไซน์ จึงจำเป็นที่จะต้องทราบช่วงสัมประสิทธิ์การแปลงโคไซน์ที่จะใส่ลายน้ำลงไป ช่วงสัมประสิทธิ์ที่จะใช้ต้องทำให้สามารถตรวจจับลายน้ำได้ถูกต้องที่สุดเมื่อรูปภาพถูกนำไปผ่านการประมวลผลภาพแบบต่าง ๆ และเนื่องจากการบีบอัดภาพ JPEG เป็นการประมวลผลภาพที่สำคัญที่สุดในการทดสอบความทนทานของลายน้ำ เพราะเป็นรูปแบบการบีบอัดภาพที่แพร่หลายมากในอินเตอร์เนตทำให้รูปภาพอาจถูกละเมิดลิขสิทธิ์โดยใช้รูปแบบนี้แจกจ่ายไปได้ง่าย ดังนั้นจึงเลือกใช้การทดสอบความทนทานต่อการบีบอัดภาพ JPEG ในการหาช่วงสัมประสิทธิ์นี้ ในการทดสอบความทนทานจะทำ JPEG ที่ Quality Factor 80 เนื่องจากที่ระดับนี้รูปยังอยู่ในระดับที่คุณภาพไม่ต่างไปจากรูปก่อนทำ JPEG มากนัก โดยอัลกอริทึมที่ใช้เป็นแบบ baseline

การหาช่วงสัมประสิทธิ์นี้จะทำทั้งกับการใส่ลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอด โดยแต่ละรูปทดสอบจะมีช่วงสัมประสิทธิ์ของแต่ละรูป วิธีการหาโดยหลักการแล้วคล้ายกันคือ รูปทดสอบจะถูกนำมาใส่ลายน้ำขนาด 500 บิตโดยไม่มีการเข้ารหัสและไม่มีการ spread ในช่วงสัมประสิทธิ์การแปลงโคไซน์ทีละบล็อก แต่ละบล็อกมีจำนวนสัมประสิทธิ์ 500 ตำแหน่ง นำภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้วมาเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับเพื่อหาจุดเสีย (bad pixels) ที่เกิดจากการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีของ Girod แล้วทำการบีบอัดภาพแบบ JPEG จากนั้นนำภาพที่ใส่ลายน้ำแล้วไปทำการตรวจจับลายน้ำแบบบอดหรือแบบไม่บอดสำหรับแต่ละกรณี แล้วหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ของบิตที่ตรวจจับได้กับบิตข้อมูลที่ใส่เข้าไป ทำเช่นนี้กับทุกบล็อกของรูปทดสอบ ซึ่งสำหรับรูปขนาด 256 x 256 จุดภาพ จะมีจำนวนสัมประสิทธิ์ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นต้องทำทั้งหมด || 65536 / 500|| เท่ากับ 141 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งเปลี่ยนค่าความเข้มของลายน้ำ α จาก 1 ถึง 35 และบิตข้อมูลที่ฝังเหมือนกันทุกครั้ง บันทึกค่าจำนวนจุดเสียและค่าสหสัมพันธ์ไว้ แสดงวิธีการหาช่วงสัมประสิทธิ์นี้ดังรูปที่ 3.11 – 3.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

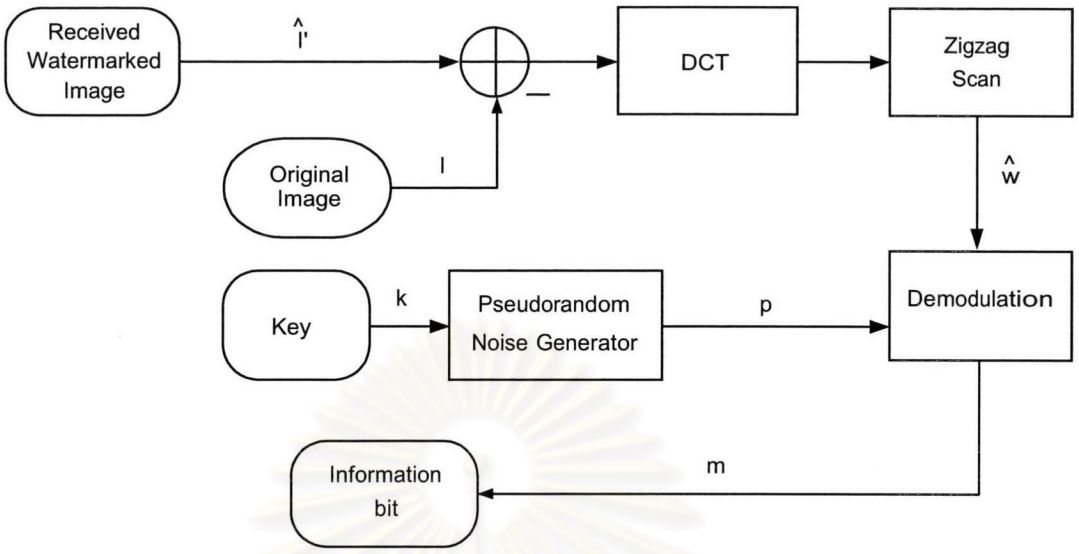


รูปที่ 3.11 การฝังลายน้ำในการหาช่วงสัมประสิทธิ์การใส่ลายน้ำ



รูปที่ 3.12 การตรวจจับลายน้ำแบบบอดในการหาช่วงสัมประสิทธิ์การใส่ลายน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



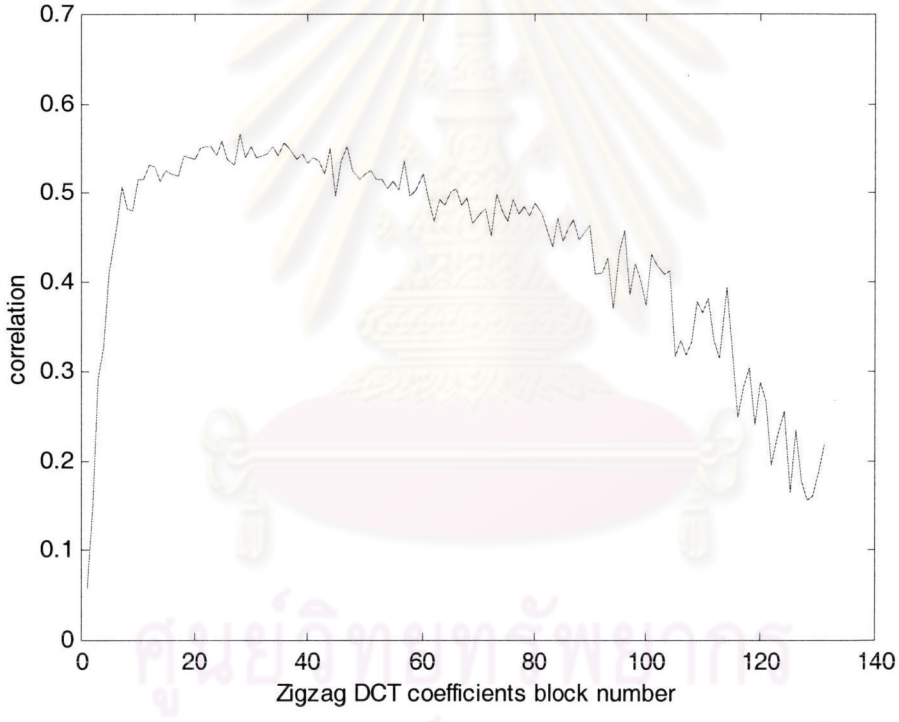
รูปที่ 3.13 การตรวจจับลายน้ำแบบไม่บอดในการหาช่วงสัมประสิทธิ์การใส่ลายน้ำ

เมื่อได้ข้อมูลจนครบแล้ว จะนำมาหาค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละบล็อกที่ระดับการมองเห็นของลายน้ำเดียวกันหรือคือจำนวนจุดเสียเท่ากัน ในที่นี้ใช้จำนวน 200 จุด โดยนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟของจำนวนของจุดเสียในแต่และบล็อกเมื่อกำหนดให้ความเข้มของลายน้ำคงที่ และกราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกเมื่อกำหนดให้ความเข้มของลายน้ำคงที่ จากนั้นจึงใช้การประมาณ (Interpolation) ทำการเขียนกราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกโดยกำหนดให้จำนวนจุดเสียคงที่โดยที่ค่าความเข้มของลายน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงได้ ได้ผลดังนี้

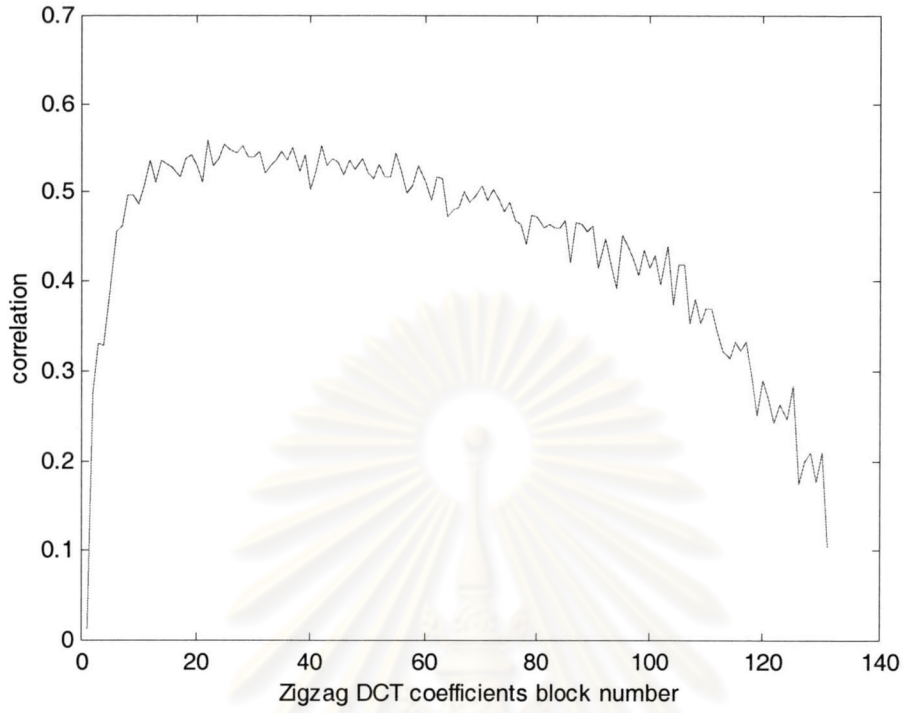
3.3.1 ช่วงสัมประสิทธิ์ของการฝังลายน้ำแบบบอด

พิจารณารูปที่ 3.14 – 3.17 ซึ่งเป็นกราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของรูปทดสอบแต่ละรูป เมื่อกำหนดให้จำนวนจุดเสียเท่ากับ 200 จุด เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์จะแสดงถึงบิตที่ได้เมื่อผ่านการตรวจจับลายน้ำว่ามีความเหมือนกับบิตที่ฝังเพียงใด ช่วงสัมประสิทธิ์ที่จะใส่ลายน้ำจึงควรที่จะมีค่านี้มาก จากกราฟจะใช้ช่วงที่มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.5 ขึ้นไปในการฝังลายน้ำ จะได้ช่วงสัมประสิทธิ์สำหรับแต่ละรูปทดสอบเป็นดังนี้

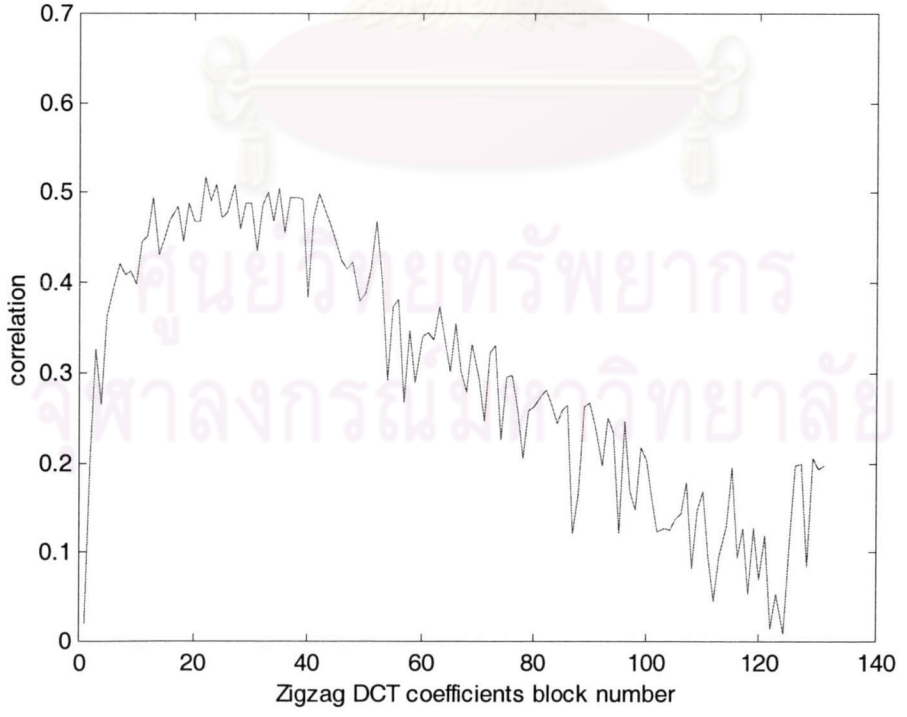
- ภาพ Lena ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 5001 – 30000
- ภาพ Boat ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 5001 - 32500
- ภาพ Baboon ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 5501 - 20000
- ภาพ Cameraman ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 5001 - 20000



รูปที่ 3.14 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Lena ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด

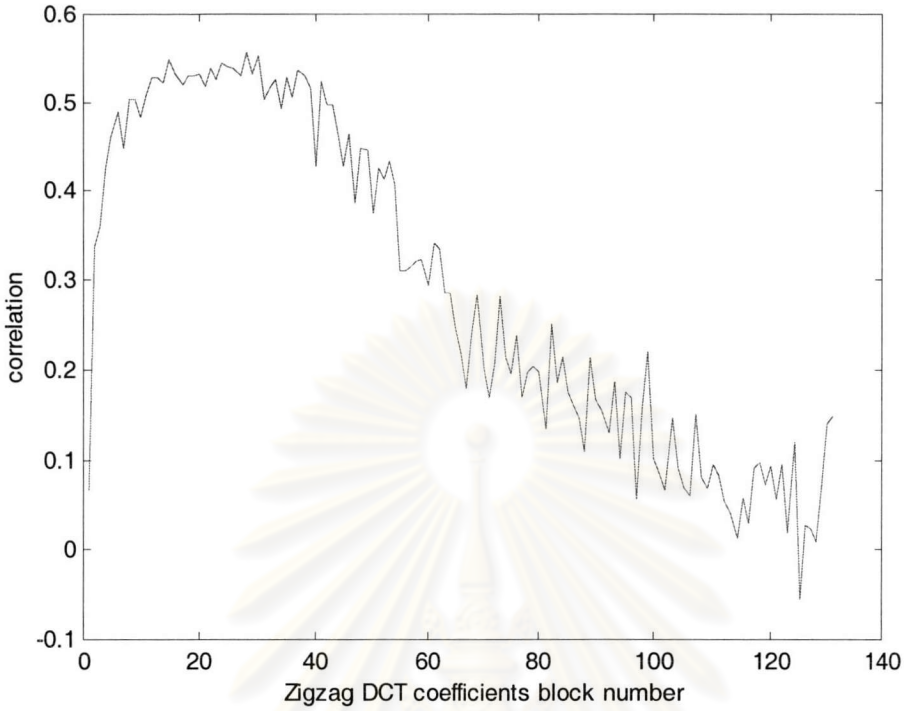


รูปที่ 3.15 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Boat ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด



รูปที่ 3.16 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Baboon ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



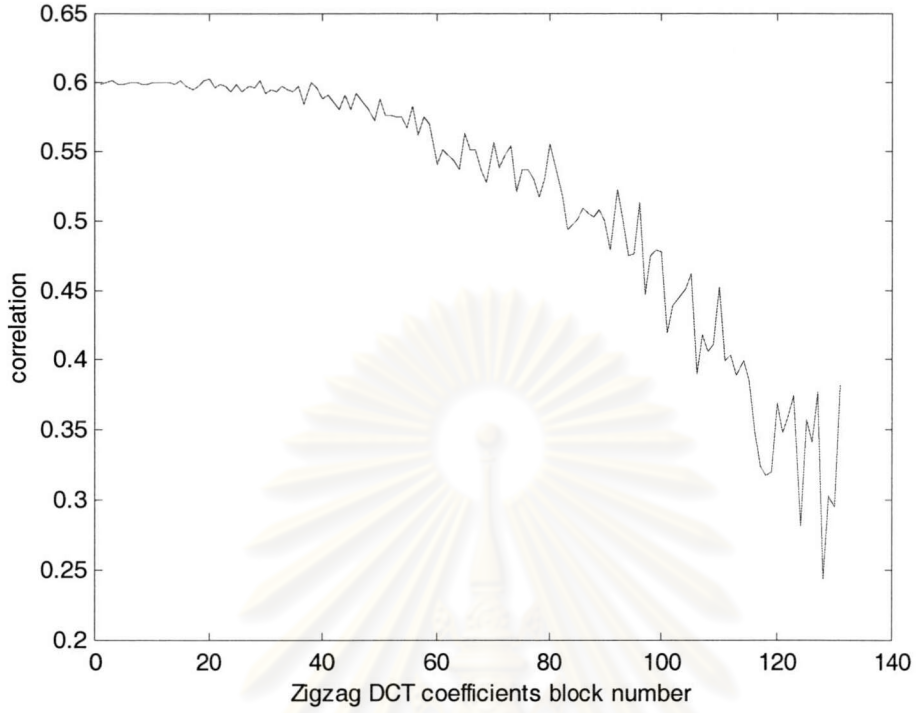
รูปที่ 3.17 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Cameraman ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด

3.3.2 ช่วงสัมประสิทธิ์ของการฝังลายน้ำแบบไม่บอด

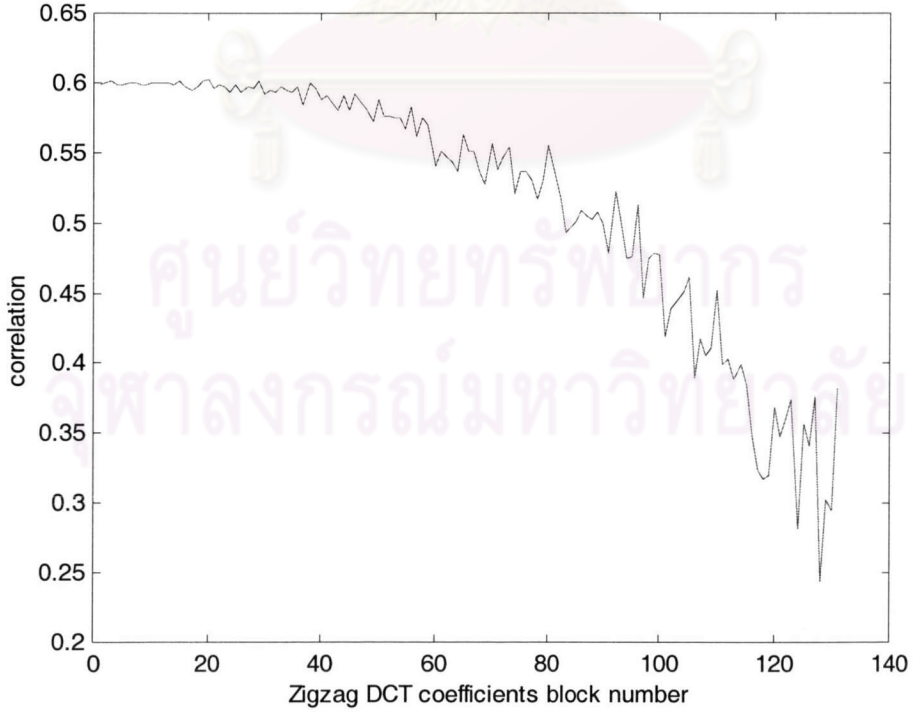
เช่นเดียวกับการหาช่วงสัมประสิทธิ์ของการฝังลายน้ำแบบบอด จากกราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกเมื่อกำหนดให้มีจำนวนจุดเสีย 200 จุด ในรูปที่ 3.18 – 3.21 จะหาช่วงสัมประสิทธิ์การฝังลายน้ำแบบไม่บอดของแต่ละรูปทดสอบได้ดังนี้

- ภาพ Lena ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 1 – 41500
- ภาพ Boat ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 1 - 47500
- ภาพ Baboon ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 1 - 46500
- ภาพ Cameraman ใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ตำแหน่งที่ 1 - 37500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

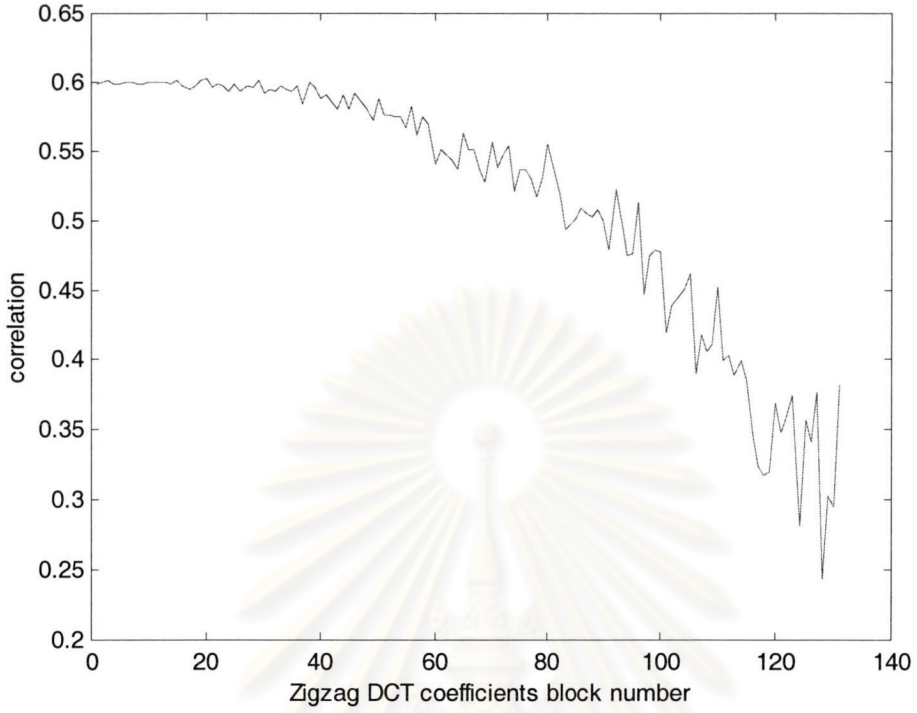


รูปที่ 3.18 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Lena ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด

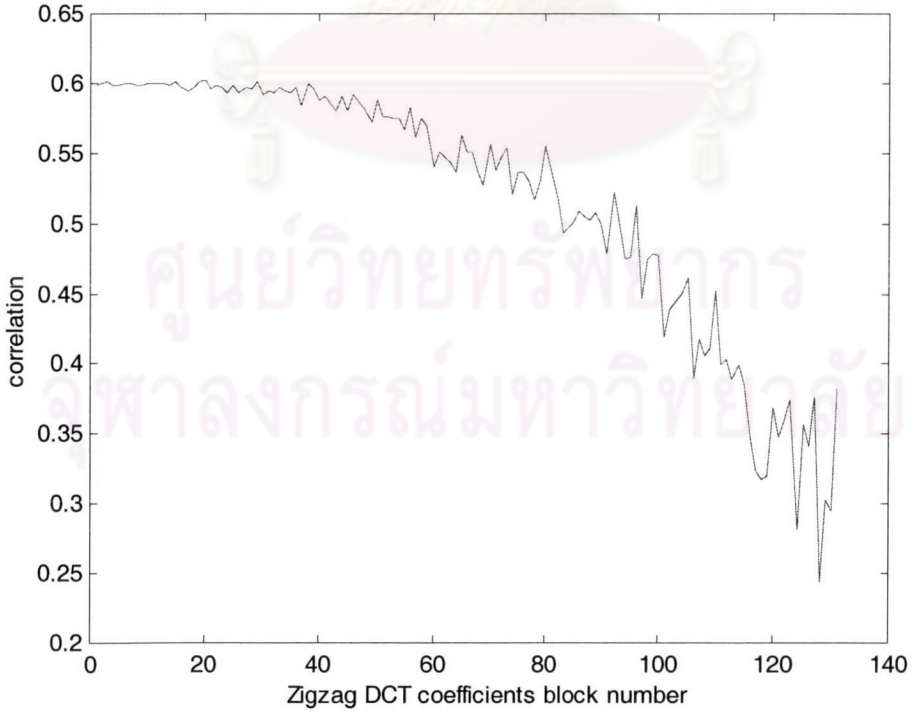


รูปที่ 3.19 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Boat ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.20 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Baboon ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด



รูปที่ 3.21 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Cameraman ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด

3.4 การหาความเข้มของลายน้ำ

เมื่อได้ช่วงของสัมประสิทธิ์การแปลงโคไซน์ที่จะใส่ลายน้ำแล้ว ขั้นต่อไปคือการหาความเข้มของลายน้ำที่เหมาะสม วิธีการใส่ลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดร่วมกันนี้ มีเงื่อนไขสำหรับการหาความเข้มของลายน้ำอยู่ 2 ประการ คือ

- ต้องสามารถตรวจจับ hash ที่ถูกฝังอยู่ได้อย่างถูกต้องทั้งหมด
- ต้องไม่ทำให้เกิดการมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของภาพที่ใส่ลายน้ำ

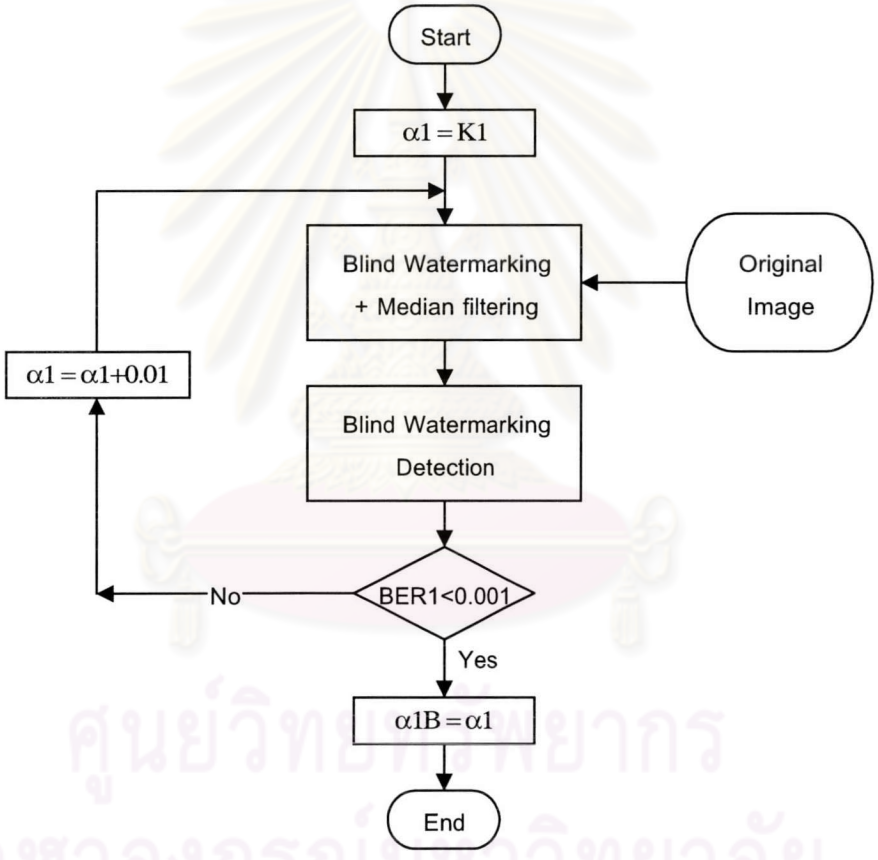
พิจารณาเงื่อนไขทั้งสองข้อจะเห็นว่า การที่จะตรวจจับ hash ได้ถูกต้องทั้งหมดนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มของการใส่ลายน้ำแบบบอด α_1 ซึ่งต้องมีค่ามากพอในระดับหนึ่ง ส่วนการที่จะได้การมองไม่เห็นของลายน้ำ (Imperceptibility) ต้องพิจารณาจำนวนจุดเสียที่เกิดขึ้นเมื่อได้ใส่ลายน้ำทั้งสองแบบลงไปแล้ว และเนื่องจากต้องใช้ความเข้มของการใส่ลายน้ำแบบบอดเป็น α_1 เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อแรก ดังนั้นความเข้มของการใส่ลายน้ำแบบไม่บอด α_2 หาได้โดยใส่ลายน้ำแบบบอดด้วยความเข้ม α_1 และใส่ลายน้ำแบบไม่บอดด้วยความเข้ม α_2 ค่า α_2 ที่เหมาะสมคือค่าที่มากที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดการมองเห็นลายน้ำ ในที่นี้ใช้เกณฑ์ว่าจำนวนจุดเสียต้องไม่เกิน 200 จุด ทั้งนี้ จะฝังลายน้ำโดยใช้ช่วงสัมประสิทธิ์ที่หาไว้แล้วสำหรับแต่ละรูปทดสอบในหัวข้อ 3.3

เงื่อนไขแรกคือการตรวจจับ hash ได้ถูกต้องทั้งหมดนั้น ทำเมื่อนำรูปทดสอบไปผ่านการประมวลผลภาพแล้ว และจากการทดสอบพบว่า ในการประมวลผลภาพทั้งหมดที่จะทดสอบอันได้แก่ การบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80, Median filtering, Histogram Equalization, การใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์, และการตัดรูปออก (Cropping) นั้น การทดสอบที่ให้ผลด้อยที่สุดหรือต้องใช้ความเข้มของลายน้ำมากที่สุดเพื่อให้ดึงลายน้ำที่ฝังอยู่ออกมาได้อย่างถูกต้องคือ Median filtering ดังนั้นจึงหาความเข้มลายน้ำตามเงื่อนไขแรกโดยนำรูปทดสอบไปผ่าน Median Filter เพื่อให้ความเข้มที่หาได้ใช้ได้กับการประมวลผลภาพแบบอื่น ๆ ด้วย

วิธีการหาความเข้มของลายน้ำที่ใช้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.23 เริ่มจากนำรูปต้นฉบับมาใส่ลายน้ำแบบบอดด้วยค่าความเข้ม α_1 ค่าหนึ่งเท่ากับ $\alpha_1 B$ จากนั้นนำไปใส่ลายน้ำแบบไม่บอดด้วยค่าความเข้ม α_2 หาค่า α_2 ที่มากที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดจุดเสียเกิน 200 จุด ได้ α_{2g} เก็บค่านั้นไว้พร้อมทั้งหาจำนวนบิตที่ฝังได้เมื่อใช้ค่านั้นด้วย แล้วนำรูปต้นฉบับมาฝังลายน้ำความยาวเท่ากับจำนวนบิตที่หาไว้แบบไม่บอดด้วยความเข้ม α_{2g} ฝังลายน้ำแบบบอด นำไปทำ Median filtering แล้วตรวจจับลายน้ำ หาค่า α_1 ซึ่งทำให้อัตราความผิดพลาดของบิต (Bit Error Rate,

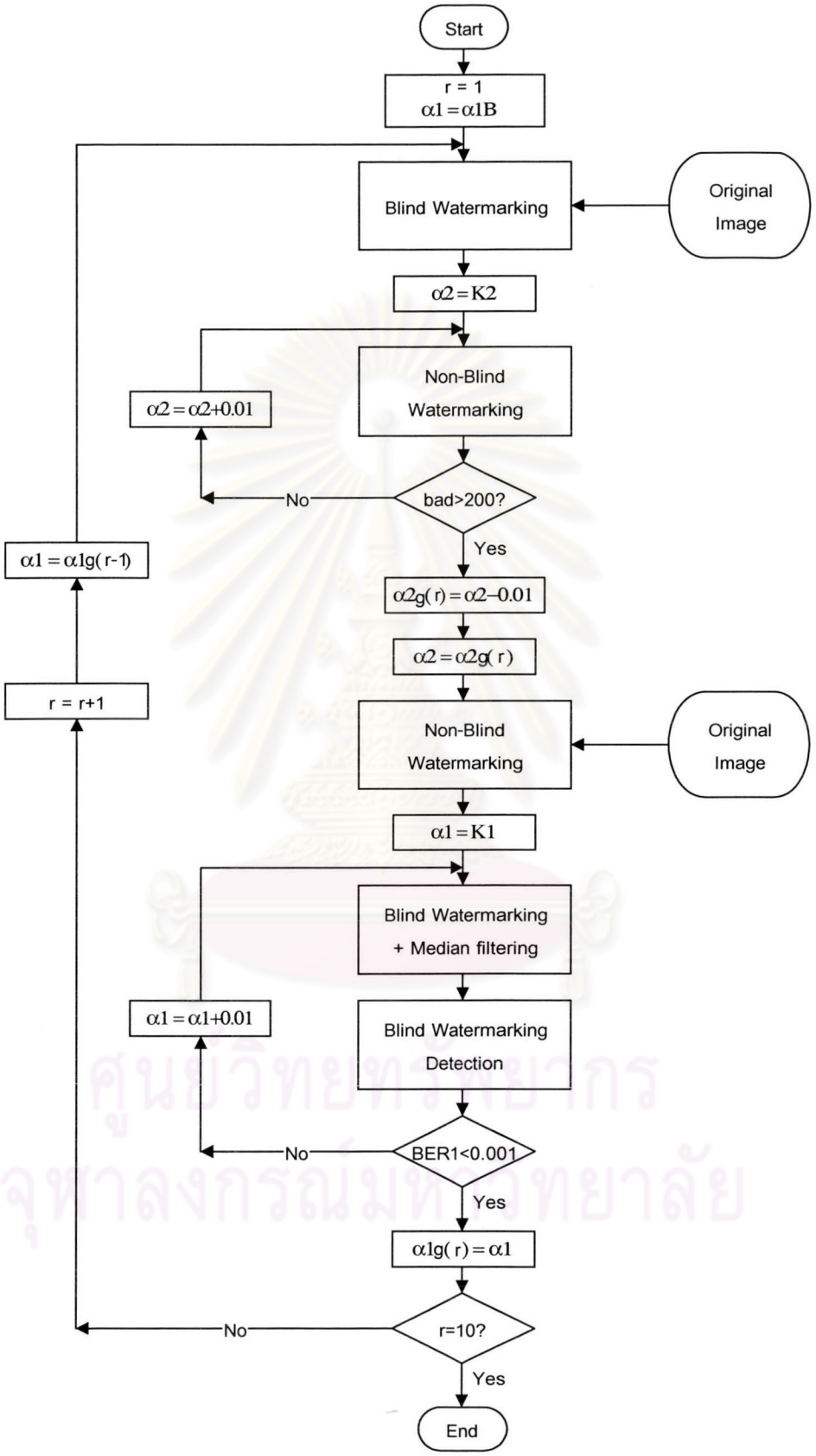
BER) ของการฝังลายน้ำแบบบอด (BER1) ไม่เกิน 10^{-3} ได้ α_{1g} บันทึกค่าไว้ จากนั้นกลับไปทำตั้งแต่ต้นใหม่ด้วย α_1 เท่ากับ α_{1g} ทำเช่นนี้จนค่า α_{1g} และ α_{2g} มีค่าประมาณคงที่ จะได้ว่าค่านั้นคือความเข้มลายน้ำที่เหมาะสมสำหรับรูปทดสอบนั้น

รูปที่ 3.22 แสดงการหาค่าเริ่มต้นของ α_1 คือ $\alpha_1 B$ ซึ่งเป็นค่า α_1 ที่ทำให้ BER ไม่เกิน 10-3 เมื่อฝังลายน้ำคือ hash ขนาด 64 บิต แบบบอดอย่างเดียว และนำรูปที่ฝังลายน้ำไปผ่าน Median filter แล้วจึงตรวจจับ



รูปที่ 3.22 การหา $\alpha_1 B$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.23 การหาความเข้มลายน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการหาความเข้มลายน้ำสำหรับแต่ละรูปทดสอบพร้อมทั้งช่วงสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการฝังลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดเป็นดังนี้

รูปทดสอบ	การฝังลายน้ำแบบบอด		การฝังลายน้ำแบบไม่บอด	
	α_1	ช่วงสัมประสิทธิ์	α_2	ช่วงสัมประสิทธิ์
Lena	1.86	5001-30000	2.24	1-41500
Boat	2.25	5001-32500	2.12	1-47500
Baboon	3.29	5501-20000	1.90	1-46500
Cameraman	1.57	5001-20000	2.86	1-37500

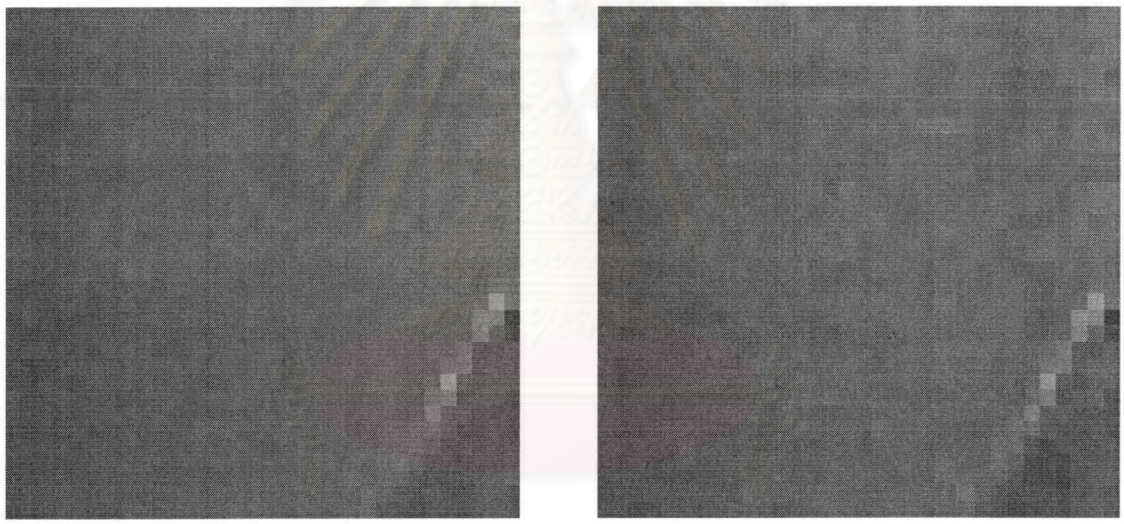
ตารางที่ 3.1 ความเข้มลายน้ำและช่วงสัมประสิทธิ์ของแต่ละรูปทดสอบ

3.5 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำ

รูปที่ 3.24 แสดงรูป Lena ซึ่งใส่ลายน้ำทั้งแบบบอดและแบบไม่บอดเข้าไปด้วยความเข้มและช่วงสัมประสิทธิ์การแปลงโคไซน์ที่ได้หาไว้แล้ว เปรียบเทียบกับรูปต้นฉบับด้านซ้าย ส่วนรูปที่ 3.25 แสดงจุดเสีย (bad pixel) ที่เกิดขึ้นในภาพที่ใส่ลายน้ำ จุดเสียคือตำแหน่งที่เป็นสีดำซึ่งหาโดยใช้โปรแกรมของ Girod

รูปที่ 3.24 รูป Lena ต้นฉบับ (ซ้าย) และรูป Lena ที่ฝังลายน้ำด้วยวิธีที่เสนอ (ขวา)

รูปที่ 3.25 จุดเสียที่เกิดขึ้นในภาพที่ใส่ลายน้ำ



รูปที่ 3.26 ภาพขยายบริเวณในกรอบของรูปต้นฉบับ (ซ้าย) และรูปที่ฝังลายน้ำ (ขวา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย