การเปรียบเทียบการอัดข้อมูลรูปภาพ แบบเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอดทรี กับ JPEG

Comparison of Image Compression: Transform Coding with Quadtree Technique v.s. JPEG

นงลักษณ์ โควาวิสารัช * ประภาส จงสถิตย์วัฒนา *
ธนะพงษ์ โพธิปิติ ** สภา จรรยาชัชวาล **
* อาจารย์ ** นิสิตชั้นปีที่ 3
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ. บทความนี้เปรียบเทียบวิธีการอัดข้อมูลรูปภาพแบบมีการสูญเสียข้อมูล คือการเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอดทรี กับวิธีของ JPEG (Joint Photographic Experts Group) ซึ่งทั้งสองวิธีใช้การแปลงแบบ DCT เหมือนกัน แต่จะมีข้อแตกต่างกันในขั้นตอนของการคัดเลือกและจัดเก็บค่าที่มีความสำคัญ จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าวิธีเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอดทรีนี้ใช้ได้ผลดีกับภาพทุกระดับความถี่ และให้ประสิทธิภาพของทั้งคุณภาพของภาพที่ได้จากการกระจายกลับดีในระดับหนึ่ง แต่อัตราส่วนการอัดไม่ดีเท่าของ JPEG

Abstract. This paper compares two lossy image compression techniques: a transform coding with quadtree technique (TQT) and JPEG (Joint Photographic Experts Group). Both methods use the DCT transformation but they differ in the process of entropy encoding. From the experiments, the results show that the TQT method works well with all images with different frequencies. The quality of the decompressed images is good compared to JPEG but compression ratios are not as good as JPEG.

1. บทนำ

ในโลกปัจจุบันที่การติดต่อสื่อสารข้อมูลมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในแง่ของเนื้อหาของข้อมูลและความรวดเร็ว ทันต่อเหตุการณ์ ข้อมูลที่สื่อสารกันนั้นมักจะอยู่ในรูปแบบของข้อความ รูปภาพ หรือเสียง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกอัดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลน้อย นอกจากนี้การอัดข้อมูลยังช่วยประหยัดที่เก็บในหน่วยความจำสำรองอีกด้วย

สำหรับการอัดข้อมูลรูปภาพที่ดีนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงนอกจากเรื่องอัตราส่วนของการอัดข้อมูลแล้ว ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพของภาพที่จะได้กลับคืนมาจากการอัดด้วย แต่การคำนึงในแง่ของคุณภาพของภาพว่าจะดีหรือไม่เพียงใดนั้น ก็มักขึ้นกับงานที่จะนำภาพนั้นๆ ไปประยุกต์ใช้ด้วยเช่นกัน

ดังนั้น การวิจัยในด้านการอัดข้อมูลจึงมีความสำคัญ และได้กระทำต่อเนื่องกันมานานแล้ว ทั้งในแง่ของการอัดข้อมูลอักขระ ข้อมูลรูปภาพขาวดำ ข้อมูลรูปภาพหลายระดับความเทา (gray scale images) ข้อมูลรูปภาพสี สำหรับงานวิจัยนี้ ครอบคลุมรูปภาพที่มีหลายระดับความเทา

2. หลักการพื้นฐานของการอัดข้อมูล

การอัดข้อมูลแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือการอัดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสียข้อมูล (Lossless compression) คือเมื่ออัดข้อมูลแล้วกระจายข้อมูลกลับคืนมา ก็จะต้องได้ข้อมูลเหมือนเดิมครบถ้วนทุกประการ ด้วยเหตุนี้ การอัดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสียข้อมูลจึงมักถูกใช้กับข้อมูลประเภทที่ข้อมูลจะสูญเสียไปไม่ได้ เช่นข้อมูลประเภทข้อความ หรือแฟ้มข้อมูลโปรแกรม เป็นต้น ในอดีต การอัดข้อมูลรูปภาพก็ใช้แนวทางการอัดแบบนี้ โดยอาศัยหลักการลดการซ้ำซ้อนของข้อมูล (redundancy reduction) และการใช้จำนวนบิตที่เก็บค่าข้อมูลไม่คงที่ (variable-length coding) ดังเช่น การเข้ารหัสแบบ Shannon-Fano (ปลายทศวรรษ 1940) และแบบ Huffman (1951) [2] และเมื่อประมาณปลายทศวรรษ 1970 ถึงต้นทศวรรษ 1980 ซึ่งมีการใช้รูปกราฟิกมากขึ้นในระดับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ก็ใช้วิธีการอัดข้อมูล แบบไม่มีการสูญเสียข้อมูลเช่นกัน และที่ใช้กันแพร่หลายก็คือการอัดในรูปแบบแฟ้มข้อมูลรูปภาพของ PCX, GIF, และ BMP ซึ่งให้อัตราการอัดระหว่าง 10% ถึง 90% สำหรับรูปภาพกราฟิก [1]

การอัดข้อมูลแบบที่สองคือแบบที่มีการสูญเสียข้อมูล (Lossy compression) เมื่ออัดข้อมูลแล้วกระจายข้อมูลกลับ จะมีความเพี้ยนและสูญหายของข้อมูลไปจากข้อมูลต้นฉบับด้วย ซึ่งการยอมสูญเสียข้อมูลบางส่วนนี้ก็เพื่อแลกกับการอัดข้อมูลให้เล็กลงได้มากขึ้น [1] ข้อมูลประเภทรูปภาพและข้อมูลเสียงจัดเป็นข้อมูลที่เหมาะสำหรับการอัดข้อมูลแบบหลังนี้ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งใน spatial domain เช่น Predictive coding technique [2] และใน transform space โดยการแปลงข้อมูลรูปภาพใน spatial domain ไปอยู่ในรูปแบบของการแปลง เช่นการใช้ Karhuneu-Loeve (KLT), discrete Fourier (DFT) และ discrete cosine (DCT) เป็นต้น จากนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงจะถูก quantize และเข้ารหัส ดังเช่นวิธีของ JPEG (Joint Photographic Experts Group) และวิธีการเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอด ทรี (Transform Coding With Quadtree Technique - TQT) [4] ซึ่งถูกนำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตของนายภาสกร ประถมบุตร โดยมีนาวาโท อโณทัย รัตตะรังสี และนงลักษณ์ โควาวิสารัช เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบดังนำเสนอในรายงานนี้ เป็นต้น

3. การอัดข้อมูลรูปภาพแบบ JPEG [1] [3]

Joint Photographic Experts Groups เป็นกลุ่มที่ถูกจัดตั้งโดยความพยายามของ ISO และ CCITT เพื่อกำหนดมาตรฐานการอัดข้อมูลและการให้รหัสสำหรับรูปภาพ วิธีการที่ใช้อัดข้อมูลนี้จะทำในโดเมนของความถี่ โดยใช้ DCT (Discrete Cosine Transform) แปลงสัญญานภาพใน spatial domain ไปเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงในโดเมนของความถี่ โดยมีสมการของการแปลงค่าเป็น [1]

$$\mathrm{DCT(i,j)} = \frac{1}{\sqrt{2\,\mathrm{N}}} C(i)C(j)\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} pixel(x,y)\cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)i\pi}{2N}\right]$$

โดย $c(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ถ้า x = 0 และ $c(x) = 0$ ถ้า x > 0 ...(1)

และมีสมการการแปลงกลับเป็นดังนี้

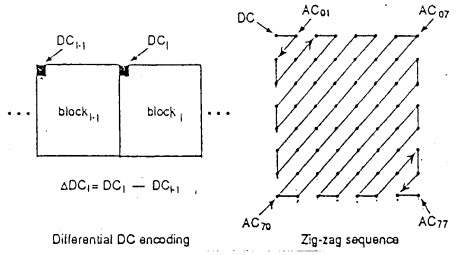
$$pixel(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\,\mathrm{N}}}\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1} C(i)C(j)\,\mathrm{DCT(i,j)}\cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)i\pi}{2N}\right]$$

โดย $c(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ถ้า x = 0 และ $c(x) = 0$ ถ้า x > 0 ...(2)

ทั้งนี้ การแปลงค่าสัมประสิทธิ์ DCT เหล่านี้ ถ้าข้อมูลจำนวนยิ่งมาก ก็จะเสียเวลาและทำการคำนวณมาก ดังนั้น JPEG จึงกำหนดให้ทำการแปลงรูปภาพโดยตัดแบ่งเป็นบล็อกย่อย ๆ ของรูปภาพ ขนาดบล็อกละ 8 x 8 พิกเซล

ลำดับต่อไปเป็นขั้นตอน Quantization ซึ่งเป็นการปรับค่าเพื่อให้ลดจำนวนบิตที่ใช้เก็บตัวเลข เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่มีค่าสูงเป็นค่าที่มีความสำคัญ และ JPEG ได้เล็งเห็นว่าหากมองค่าข้อมูลสัมประสิทธิ์ DCT เป็นบล็อกขนาด 8 x 8 ที่มีเส้นทแยงแบ่งจากบนขวามาล่างซ้ายแล้ว พบว่า ข้อมูลสัมประสิทธิ์ DCT มีแนวโน้มที่ลดค่าลงมากในโซนของสามเหลี่ยมครึ่งขวาล่าง ดังนั้น การ quantize ข้อมูล จึงพยายามลดความสำคัญของข้อมูลในโซนดังกล่าวลงให้เป็นศูนย์มากที่สุด นั่นคือวิธี JPEG ได้ให้ความสำคัญและจัดเก็บข้อมูลภาพในโซนความถี่ต่ำนั่นเอง

สุดท้ายคือขั้นตอนของการเลือกจัดเก็บข้อมูล JPEG จะเก็บค่าข้อมูลสัมประสิทธิ์ DCT ที่ตำแหน่ง DC คือที่ตำแหน่ง (0,0) และจัดเก็บค่า DC ของบล็อกถัด ๆ ไปเป็นค่าผลต่างระหว่างบล็อก ส่วนค่าอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ภายในบล็อกนั้น JPEG ได้เลือกใช้วิธีของ Huffman หรือ arithmetic coding เพื่อเก็บข้อมูลค่าอื่น ๆ ที่เหลืออยู่โดยใช้ลำดับเป็นซิกแซก ซึ่งจะทำให้ค่าที่เป็นศูนย์ที่อยู่ติดกันเป็นส่วนใหญ่ในโซนของสามเหลี่ยมครึ่งขวาล่าง



รูปที่ 1 แสดงลำดับการเก็บข้อมูลแบบซิกแซก

4. การอัดข้อมูลรูปภาพแบบเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอดทรี - TQT [4]

วิธีการอัดข้อมูลรูปภาพแบบนี้ได้แนวความคิดว่า ในขั้นตอนของการคัดเลือกและจัดเก็บค่าสัมประสิทธิ์ DCT ของ JPEG นั้นทำโดยประเมินหรือกำหนดโซนความถี่ของข้อมูลที่จะจัดเก็บไว้ล่วงหน้าแล้ว คือบริเวณสามเหลี่ยมซ้ายบนซึ่งเป็นโซนความถี่ต่ำ ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะทำการพัฒนาการอัดข้อมูลขึ้นโดยไม่จำกัดโซนความถี่ของรูปภาพโดยอาศัยวิธีคัดเลือกค่าที่จะเก็บโดยการตั้งค่าเกณฑ์แบ่ง (threshold) ขึ้น

ดังนั้น ส่วนแรกของวิธีการนี้จะคล้ายกับวิธี JPEG คือ แปลงข้อมูลให้เป็นโดเมนของความถี่ด้วย DCT โดยมีสมการของการแปลงเช่นเดียวกับสมการที่ (1) และ (2) ข้างต้น โดยการแปลงข้อมูลนี้จะใช้เป็นบล็อกของข้อมูลขนาด 8 x 8 เช่นเดียวกันกับ JPEG

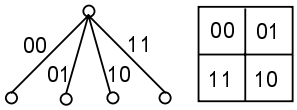
ขั้นตอนต่อมา เป็นการแบ่งโซนเพื่อจัดเก็บค่าสัมประสิทธิ์ DCT ในโครงสร้างของควอดทรี โดยการคัดเลือกค่าที่กำหนดเป็นเกณฑ์แบ่ง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่มีความสำคัญต่อการแปลงข้อมูลกลับจะเป็นค่าที่มีค่าสัมบูรณ์มาก ดังนั้น การตั้งเกณฑ์การคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ DCT (threshold value) ที่เหมาะสมแล้วจึงคัดเลือกเฉพาะค่าที่สูงกว่า จึงเป็นการคัดเลือกที่ไม่ได้กำหนดโซนความถี่ของข้อมูลไว้ล่วงหน้า แต่การจัดเก็บข้อมูลของวิธีนี้จำเป็นต้องเก็บตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่จัดเก็บด้วย ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า การจัดเก็บตำแหน่งที่ไม่รัดกุมจะทำให้การอัดข้อมูลมีประสิทธิภาพการอัดต่ำได้ นอกจากนี้ การ

เลือกค่าเกณฑ์ก็มีผลต่อคุณภาพของภาพที่กลับคืนมาจากการกระจายกลับด้วย

4.1 การแบ่งโซนความถี่ในโครงสร้างควอดทรี

การแบ่งโซนความถี่ในโครงสร้างควอดทรีนั้น มีลักษณะการแบ่งเป็นลำดับชั้น (hierarchy) โดยที่บล็อกขนาด 8x8 ค่า โดยบล็อกหนึ่ง ๆ จะถูกแบ่งเป็นสี่ส่วนหรือสี่โซนเท่า ๆ กัน และถ้ามีการแบ่งย่อยลงไปอีก ก็จะแบ่งเป็นสี่ส่วนย่อยที่เท่า ๆ กันลงไปตามลำดับ การเก็บข้อมูลจะเป็นลักษณะโครงสร้างแบบต้นไม้ที่มีกิ่งยื่นจากโหนด (node) ที่ไม่ใช่โหนดปลายทาง (terminal node) เท่ากับสี่กิ่ง

การคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ DCT จะทำโดยพิจารณาจากสี่ส่วนย่อยทีละส่วนว่า สมควรที่ข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้หรือไม่ หรือควรจะมีการแบ่งส่วนย่อยสี่ส่วนถัดไป การให้รหัสเพื่อแสดงเส้นทางของควอดทรี ทำได้โดยกำหนดรหัสตามรูปที่ 2 นี้



รูปที่ 2 แสดงรหัสเส้นทางของควอดทรี

4.2 การคัดเลือก quantize และจัดเก็บค่า DCT

หลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาคัดเลือก quantize และจัดเก็บค่าสัมประสิทธิ์ DCT นั้น ใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Diviation - S.D.) คือ $S.D._{NxN}$ ของบล็อกขนาด NxN และใช้ค่าฟังก์ชันเกณฑ์แบ่งค่าหนึ่ง เรียกว่า $f(x_{NxN})$ ซึ่งค่า S.D. ที่ถูกคำนวณสำหรับบล็อกใหญ่ คือค่าของบล็อกขนาด 8x8 (เรียกว่าเป็นบล็อกแม่) นั้น จะเป็นค่าหลักที่ใช้พิจารณาค่าในบล็อกย่อย (เรียกว่าเป็นบล็อกลูก) ขนาด 4x4 ถัดไป คือ $S.D._{N/2xN/2}$ และ $f(x_{N/2xN/2})$ และถ้ามีการแบ่งบล็อกย่อยลงไปอีกเป็น 2x2 ก็จะใช้ค่าของบล็อกย่อย (ลูก) คือ $S.D._{N/4xN/4}$ และ $f(x_{N/4xN/4})$ เทียบกับบล็อกใหญ่ (แม่) คือ $S.D._{N/2xN/2}$ และค่า $f(x_{NxN})$ เป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนไม่สามารถแบ่งบล็อกย่อยต่อไปได้อีก โดยการพิจารณาบล็อกย่อย ใช้การพิจารณาจากบล็อก 00, 01, 10, 11 ตามลำดับ

ในแต่ละบล็อกที่พิจารณา ถ้าบล็อกลูกนี้มีค่า S.D. มากกว่าค่า S.D. ของบล็อกแม่ที่อยู่ถัดขึ้นมาหนึ่งระดับ ก็แสดงว่าข้อมูลสัมประสิทธิ์ DCT ของบล็อกลูกนี้ยังมีการกระจายของข้อมูลมาก สมควรแบ่งเป็นบล็อกย่อยลงไปเพื่อพิจารณาต่อไปอีก แต่ถ้าบล็อกลูกนี้มีค่า S.D. น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า S.D. ของบล็อกแม่ ก็แสดงว่าข้อมูลสัมประสิทธิ์ DCT ของบล็อกลูกนี้มีการกระจายของข้อมูลไม่มาก ให้พิจารณาค่า f(x) ของบล็อกลูกนี้เทียบกับค่าเกณฑ์แบ่ง (คือค่า f(x) ของบล็อกขนาด 8x8) หากว่า f(x) ของบล็อกย่อยนี้มากกว่าค่าเกณฑ์แบ่ง ให้เก็บข้อมูลทุกตัวในบล็อกย่อยนี้ โดยเก็บค่าสัมประสิทธิ์ DCT และรหัสเส้นทางควอดทรีแสดงตำแหน่งของบล็อกไว้ด้วย แต่ถ้าค่า f(x) ของบล็อกย่อยนี้น้อยกว่าค่าเกณฑ์แบ่ง ก็ไม่ต้องเก็บข้อมูลของบล็อกลูกนี้เลย แล้วพิจารณาบล็อกถัดไป

สำหรับค่าเกณฑ์แบ่ง f(x) ที่ใช้ครั้งนี้ พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean) ค่ามัธยฐาน (median) และค่าเฉลี่ยเลขคณิตยกกำลังสอง ($mean^2$)

5. การเปรียบเทียบวิธีการอัดข้อมูลรูปภาพแบบTQT กับ JPEG

เนื่องจากวิธีการอัดข้อมูลรูปภาพสองวิธีนี้มีความคล้ายคลึงกันมากในแง่ของลักษณะข้อมูลที่จะถูกนำมาจัดเก็บซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ความแตกต่างกันคือวิธีการคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่จะนำมาจัดเก็บ ส่วนการให้รหัสก็สามารถทำคล้ายคลึงกันได้เพราะลักษณะข้อมูลคล้ายกันดังกล่าว ดังนั้นสำหรับการเปรียบเทียบวิธีการอัดข้อมูลสองวิธีนี้ นอกจากจะใช้การตัดสินด้วยความรู้สึกของคนที่ดูภาพที่ได้จากการกระจายกลับด้วยตาแล้ว ยังได้ทำในเชิงเปรียบเทียบปริมาณความจุของข้อมูลโดยดูจากจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ถูกเก็บ และความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ได้จากการกระจายกลับคืนมา โดยดูจากค่า NMSE (Normalized Mean Square Error) กับค่า RMS (Root Mean Square) ของ error ดังสมการต่อไปนี้

$$NMSE\,[f(n_1,n_2),p(n_1,n_2)] = \frac{Var[f(n_1,n_2)-p(n_1,n_2)]}{Var[f(n_1,n_2)]} \times 100\% \ldots(3)$$

$$RMS\,[f(n_1,n_2),p(n_1,n_2)] = \sqrt{\frac{\sum[f(n_1,n_2)-p(n_1,n_2)]^2}{N}} \ldots(4)$$

$f(n_1,n_2)$ = ฟังก์ชันค่าความเข้มของรูปภาพต้นฉบับ

$p(n_1,n_2)$ = ฟังก์ชันค่าความเข้มของรูปภาพที่ได้จากการกระจายกลับจากข้อมูลที่ถูกอัด

$Var[\,.\,]$ = ค่าความแปรปรวน

6. ผลการทดสอบ

การทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้เลือกรูปภาพ 256 ระดับความเทาที่มีขนาด 320 x 200 พิกเซล ที่หลายระดับความถี่ โดยใช้ภาพลายน้ำบนธนบัตร ภาพหญิงสาว (Lenna) ภาพเสือชีต้า ภาพหนู ภาพส่วนจมูกและหนวดของลิงบาบูน ภาพตารางหมากรุกที่มีความเข้มสองระดับ มาทดสอบอัดข้อมูลโดยวิธี TQT แล้วนับจำนวนสัมประสิทธิ์ที่จะต้องเก็บไว้ และจำนวน path แล้วทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีการของ JPEG ซึ่งนับจำนวนสัมประสิทธิ์ DCT และ จำนวนศูนย์ที่ต้องเก็บ เพื่อตัดปัญหาความได้เปรียบเสียเปรียบของการเข้ารหัสเพื่ออัดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสีย ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของทั้งสองวิธี ได้ผลการทดสอบดังนี้

รูปภาพที่ได้จากการแปลงกลับจากวิธี JPEG มีลักษณะ tiling คือเหมือนการเรียงบล็อกสี่เหลี่ยมที่ภายในบล็อกมีระดับความเทาใกล้กันเป็นบล็อก ๆ ต่อเนื่อง ในขณะที่วิธี TQT จะให้ภาพที่ดูเหมือนกับการเรียงบล็อกสี่เหลี่ยมเช่นเดียวกัน แต่จะมีความแตกต่างกันภายในบล็อกสี่เหลี่ยมมากกว่าวิธี JPEG ทำให้มองดูเหมือนกับว่าภาพอย่างหลังนี้มีความเพี้ยนน้อยกว่า

ตารางที่ 1 แสดงผลการอัดข้อมูลแบบ TQT โดยการเปรียบเทียบการใช้ค่า threshold แบบต่าง ๆ กัน ซึ่งผลการทดสอบกับรูปภาพชนิดต่าง ๆ กันหลายความถี่ ปรากฏว่า การใช้ค่ามัธยฐานของค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ให้ผลดีที่สุดสำหรับทุกภาพ คือ จากความรู้สึกของคนมองเห็นว่าภาพมีความเพี้ยนไปน้อยที่สุด ซึ่งค่า NMSE และค่า RMS(error) ที่วัดได้ก็ต่ำสุดด้วย ส่วนค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ DCT และค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ยกกำลังสอง ให้ผลดีรองลงมาโดยลำดับ

รูปภาพ	ค่า threshold	จำนวนตัวที่ต้องเก็บ DCT coeff.	จำนวนตัวที่ต้องเก็บ path	NMSE (%)	RMS (error)
LENNA	*MEDIAN*	***26940***	***6485***	***0.368***	***3.469***
	MEAN	14487	4972	0.762	5.049
	MEAN-SQUARE	8611	3630	1.325	6.619
ธนบัตร	*MEDIAN*	***28002***	***6978***	***2.40***	***9.150***
	MEAN	17721	5594	3.370	11.090
	MEAN-SQUARE	11332	4337	4.460	13.030
MOUSE	*MEDIAN*	***27564***	***7164***	***0.057***	***1.864***
	MEAN	17996	5771	0.115	2.552
	MEAN-SQUARE	12626	4614	0.225	3.456
ROSE	*MEDIAN*	***19957***	***4513***	***0.876***	***6.280***
	MEAN	11251	3571	1.565	8.397
	MEAN-SQUARE	7556	2814	2.289	10.084
BABOON	*MEDIAN*	***26976***	***6984***	***3.097***	***7.677***
ส่วนจมูก	MEAN	18115	5722	4.126	9.033
และหนวด	MEAN-SQUARE	12730	4592	5.636	10.590
ลิง *BABOON*	*MEDIAN*	***27575***	***7342***	***2.564***	***8.740***
ส่วนตา	MEAN	19175	6043	3.276	10.069
และแก้ม	MEAN-SQUARE	13394	4812	4.345	11.716
เสือ	*MEDIAN*	***27500***	***6679***	***0.7965***	***7.536***
CHEETAH	MEAN	16718	5228	1.308	9.743
	MEAN-SQUARE	10538	6043	2.002	12.045
ภาพตาราง	*MEDIAN*	***15000***	***6000***	***6.593***	***44.447***
หมากรุกที่มี	MEAN	9000	3000	7.263	47.253
สีเทา 2 ระดับ	MEAN-SQUARE	9000	3000	7.263	47.253

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการเลือกใช้ค่า threshold ในวิธีเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอดทรี

สำหรับการวัดความสามารถของ JPEG นั้น ได้ทดสอบโดยใช้ค่า Quality factor ต่าง ๆ กัน ซึ่งถ้าปรับค่านี้ให้มีค่ามาก จะได้ประสิทธิภาพการอัดข้อมูลภาพที่ดีขึ้นในขณะเดียวกันก็จะสูญเสียข้อมูลมากขึ้น และทำให้ค่า NMSE และ RMS(error) มากขึ้น ค่า Quality factor ที่ใช้ คือ 5, 10, 20 แล้ววัดจำนวนสัมประสิทธิ์ DCT และจำนวนศูนย์ที่ต้องเก็บ ดังแสดงในตารางที่ 2

รูปภาพ	วิธี JPEG	จำนวนที่ต้องเก็บข้อมูล DCT coeff.	จำนวนที่ต้องเก็บข้อมูล ศูนย์	NMSE	RMS (error)
LENNA	Q.F. = 5	5522	58478	1.088	6.372
	Q.F. = 10	3480	60520	2.007	8.537
	Q.F. = 20	2187	61813	3.423	11.148
ธนบัตร	Q.F. = 5	9229	54771	3.856	12.593
	Q.F. = 10	4795	59205	6.061	15.801
	Q.F. = 20	2608	61392	8.109	18.505
MOUSE	Q.F. = 5	2484	61516	.20	3.542
	Q.F. = 10	1824	62176	.385	4.898
	Q.F. = 20	1396	62604	.522	5.791
ROSE	Q.F. = 5	5495	58505	1.418	8.387
	Q.F. = 10	3446	60554	2.307	10.683
	Q.F. = 20	2172	61828	3.576	13.465
BABOON	Q.F. = 5	7998	56002	4.911	10.608
ส่วนจมูก	Q.F. = 10	4295	59705	8.507	13.663
และหนวด	Q.F. = 20	2249	61751	12.846	16.634
เสือ	Q.F. = 5	9190	54810	4.043	11.90
CHEETAH	Q.F. = 10	4681	59319	7.197	15.662
	Q.F. = 20	2365	61635	10.355	18.857
ภาพตาราง	Q.F. = 5	16000	48000	.548	89.047
หมากรุก	Q.F. = 10	8000	56000	3.378	32.466
ที่มีสีเทา2 ระดับ	Q.F. = 20	3000	61000	7.816	59.087

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบ JPEG ที่ใช้ quality factor ต่าง ๆ กัน

รูปภาพ	วิธีการอัดข้อมูล	จำนวนที่ต้องเก็บข้อมูล DCT coeff.	จำนวนที่ต้องเก็บข้อมูล path/ศูนย์	NMSE (%)	RMS (error)
LENNA	TQT (mean-square)	8611	3630	1.325	6.619
	JPEG (Q.F. = 5)	5522	58478	1.088	6.372
ธนบัตร	TQT (mean)	17721	5594	3.370	11.090
	JPEG (Q.F. = 5)	9229	54771	3.856	12.593
MOUSE	TQT (mean-square)	12626	4614	.225	3.456
	JPEG (Q.F. = 5)	2484	61516	.20	3.542
ROSE	TQT (mean)	11251	3571	1.565	8.397
	JPEG (Q.F. = 5)	5495	58505	1.418	8.387
BABOON	TQT (mean-square)	12730	4592	5.636	10.590
จมูกและ	JPEG (Q.F. = 5)	7998	56002	4.911	10.608
หนวด					
CHEETAH	TQT (mean-square)	13394	4812	2.002	12.045
	JPEG (Q.F. = 5)	9190	54810	4.043	11.90
HI1	TQT (median)	15000	6000	6.593	44.447
	JPEG (Q.F. = 20)	3000	61000	7.816	59.087

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบ TQT กับ JPEG ที่มีค่า NMSE และ RMS (error) ใกล้เคียงกัน

เมื่อนำผลทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบโดยเลือกรูปที่ NMSE (ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความเพี้ยนของข้อมูลเทียบกับการกระจายของข้อมูลรูปภาพต้นฉบับ) และ RMS(error) (แสดงความเพี้ยนของข้อมูลของสองวิธี) ใกล้เคียงกัน จะเห็นได้จากตารางที่ 3 ว่าจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ JPEG เก็บน้อยกว่าวิธี TQT ส่วนการเทียบจำนวนศูนย์ของ JPEG กับจำนวน path ที่ต้องเก็บของ TQT

นั้นไม่สามารถเทียบกันอย่างตรงไปตรงมาได้ เพราะจำนวนศูนย์ของ JPEG จะใช้จำนวนบิตในการเข้ารหัสน้อยกว่าการเก็บ path ของ TQT ซึ่งทำให้ประมาณได้ว่า วิธีการ TQT นี้มีอัตราส่วนการอัดข้อมูลที่น้อยกว่าวิธี JPEG

7. สรุป

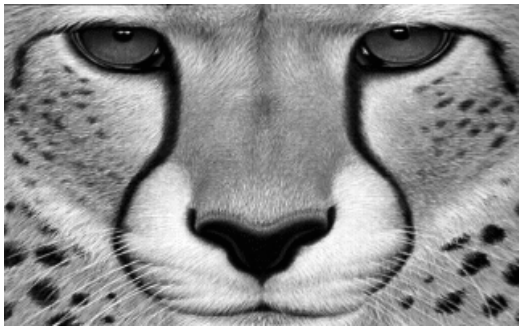
วิธี TQT เทียบกับ JPEG แล้ว มีอัตราส่วนการอัดรูปน้อยกว่าแต่คุณภาพรูปเป็นที่น่าพอใจ เป็นวิธีที่เหมาะจะใช้กับรูปภาพต่าง ๆ โดยไม่มีการกำหนดโซนความถี่ล่วงหน้า โดยการคัดเลือกค่าสัมบูรณ์ DCT ของค่าที่สูงกว่าค่าเกณฑ์ (threshold) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้ค่าเกณฑ์แบ่งสามอย่างคือ ค่ามัธยฐาน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าเฉลี่ยเลขคณิตยกกำลังสอง ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่า ค่ามัธยฐานให้คุณภาพดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Nelson, M. [1991] “The Data Compression Book.” M&T Publishing Inc.
2. Gonzalez, R.C. & Woods, R.E. [1992] “Digital Image Processing.” Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
3. Kay, D. C. & Levine, J. R. [1992] “Graphics File Formats.” Windcrest Books/McGraw-Hil, Inc.
4. ภาสกร ประถมบุตร. [2535] การอัดข้อมูลรูปภาพแบบเข้ารหัสการแปลงด้วยเทคนิคควอดทรี, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก แสดงภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

bank (ต้นฉบับ)



cheetah (original)

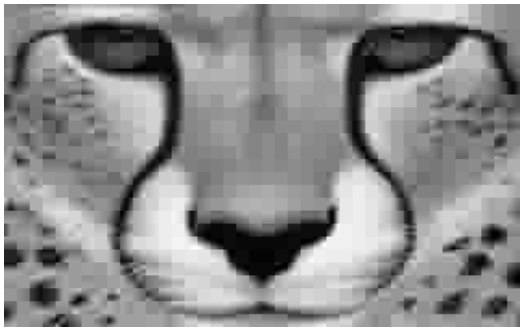
ธนบัตร (TQT median)

cheetah (TQT mean-square)

ธนบัตร (JPEG Q.F. 5)

cheetah (JPEG Q.F.=5)

ธนบัตร (JPEG Q.F. 30)



cheetah (JPEG Q.F.=30)