Image Compression

Passakon Prathombutr

Data compression can solve the problem of insufficient data storage area, particularly image data that needs large amout of storage area in computer devices. This article introduces data compression techniques, focusing on image compression, and also describes fundamentals of digital image processing and transform coding.

การอัดข้อมูลรูปภาพ

*ภาสกร ประถมบุตร**

คำนำ

ยุคปัจจุบันเป็นยุคของข่าวสารข้อมูล ทั้งข้อมูลทางด้านธุรกิจ วิทยาศาสตร์ การแพทย์ อุตสาหกรรม ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้จะปรากฏในรูปของข้อความหรือรูปภาพซึ่งสามารถจัดเก็บได้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูลอันได้แก่ จานแม่เหล็ก เทปแม่เหล็ก ฯลฯ แต่การจัดเก็บข้อมูลไม่ว่าจะเป็นข้อความหรือรูปภาพจำเป็นจะต้องใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลรูปภาพ เช่น รูปภาพสีขนาด 3x5 นิ้ว ที่อ่านเข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วยความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว 256 สี จะต้องใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บมากถึง 1.35 เมกกะไบท์ ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีทางด้านอุปกรณ์เก็บข้อมูลจะได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพียงใดก็ตาม แต่ก็ประสบปัญหาอุปกรณ์เก็บข้อมูลมีความจุไม่เพียงพอ เนื่องจากปริมาณข้อมูลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา

การแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นสามารถทำได้โดยการอัดข้อมูลเพื่อลดขนาดข้อมูลในเนื้อที่จัดเก็บให้มีขนาดเล็กลง ทำให้อุปกรณ์เก็บข้อมูลสามารถเก็บข้อมูลได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ขนาดข้อมูลที่เล็กลงยังช่วยประหยัดเวลาในการสื่อสารข้อมูลได้วิธีหนึ่ง

หากข้อมูลเป็นรูปภาพการอัดข้อมูลที่ดีจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของรูปภาพที่กระจายกลับคืนมา เวลาที่ใช้ในการอัดข้อมูลและการกระจายกลับ รวมทั้งรูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการอัดจะต้องเหมาะกับอุปกรณ์ในการจัดเก็บหรืออุปกรณ์ในการสื่อสารด้วย

การอัดข้อมูล

การอัดข้อมูลเป็นการลดขนาดของข้อมูลให้น้อยลง เพื่อสะดวกในการจัดเก็บ และประหยัดเวลาในการส่งถ่ายข้อมูล เทคนิคการอัดข้อมูลสามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบย้อนกลับได้ (Reversible) และแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible) (Lynch 1991)

- การอัดข้อมูลแบบย้อนกลับได้ เป็นการอัดข้อมูลโดยเข้ารหัสเพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Redundancy Reduction) ข้อมูลที่กระจายกลับจากการอัดข้อมูลจะเหมือนกับต้นฉบับเดิมอย่างสมบูรณ์ บางครั้งจึงเรียกว่าการเข้ารหัสแบบไร้สัญญาณรบกวน (Noiseless Coding) ตัวอย่างการอัดข้อมูลที่ใช้เทคนิคนี้ได้แก่ ฮัฟแมน (Huffman) แชนนอน ฟาโน (Shannon Fano) และ Run Length Coding เป็นต้น

- การอัดข้อมูลแบบย้อนกลับไม่ได้ เป็นการอัดข้อมูลโดยเลือกเก็บข้อมูลไว้แต่เพียงบางส่วนจึงเห็นได้ว่าข้อมูลที่กระจายกลับจากการอัดข้อมูลจะไม่สมบูรณ์ เทคนิคที่จัดว่าเป็นการอัดข้อมูลแบบย้อนกลับไม่ได้มีหลายชนิด เช่น การเข้ารหัสการ

---

*ภาสกร ประถมบุตร วท.ม. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน

แปลง (Transform Coding) การเข้ารหัสแบบคาด-คะเน (PredictiveCoding) และ Multipath Search Coding เป็นต้น แต่วิธีที่ได้รับความนิยมและพัฒนาขึ้นเป็นมาตรฐานคือ การเข้ารหัสการแปลง

การอัดข้อมูลรูปภาพ

การอัดข้อมูลรูปภาพเป็นการปรับแต่งหรือจัดเก็บข้อมูลรูปภาพให้อยู่ในรูปแบบที่ลดเนื้อที่ในการจัดเก็บและช่วยประหยัดเวลาในการรับส่งข้อมูลรูปภาพ

การอัดข้อมูลรูปภาพมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปแบบของรูปภาพและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการอัดข้อมูลรูปภาพคือ

- เวลาที่ใช้ในการอัดข้อมูลและการกระ-จายกลับต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้พอใจ

- รูปภาพที่กระจายกลับจากข้อมูลที่ถูกอัดคุณภาพต้องไม่ด้อยลงไปมากเกินควร

- รูปแบบของข้อมูลที่ถูกอัดต้องเหมาะสมแก่การเก็บ หรือการส่งถ่ายข้อมูล

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการพื้นฐานของการอัดข้อมูลเฉพาะรูปภาพประเภทความเข้มต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยวิธีพื้นฐานดังต่อไปนี้ (Low 1991)

1. วิธีการอัดข้อมูลโดยหลักสถิติ (Statistical Compression)

ข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์มีพื้นฐานการเก็บในระบบของเลขฐานสองหรือบิตศูนย์ หนึ่ง เท่านั้น ดังนั้นค่าความเข้มในแต่ละจุดบนจอภาพหรือพิกเซล (pixel) ที่มีได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้แทนรหัสความเข้มต่อา พิกเซล เช่น จอภาพ VGA ขนาดความละเอียด 640 x 480 และ 16 ระดับความเข้มแสดงว่าใช้จำนวนบิต 4 บิต แทนรหัสความเข้มตั้งแต่ค่า 0-15 ดังนั้นจะต้องใช้หน่วยความจำทั้งสิ้น 4 x 640 x 480หรือเท่ากับ 150 กิโลไบท์ เพื่อเก็บภาพตามขนาดดังกล่าว แต่ถ้าพิจารณาจากค่าทางสถิติของโอกาสที่จะเกิดระดับความเข้มในแต่ละระดับ จะพบว่าแต่ละระดับความเข้มมีโอกาสเกิดขึ้นมากน้อยต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถลดขนาดในการจัดเก็บลงได้โดยการจัดรหัสที่แทนระดับความเข้มใหม่ตามโอกาสการเกิดที่มากน้อยต่างกันนั้น เช่นเมื่อพบว่ารูปภาพมีระดับความเข้มเป็นดังนี้

พบว่ามีอยู่ 4 ระดับความเข้มที่เกิดขึ้นในรูปภาพบ่อยที่สุดหรือคิดเป็น 60% จะแทนด้วยรหัสเพียง 3 บิตคือ 000 001 010 011 และมีอีก 4 ระดับความเข้มที่เกิดขึ้นในรูปภาพรองลงมาหรือคิดเป็น 30% ก็จะแทนด้วยรหัส 4 บิตดังนี้คือ 1000 1001 1010 1011

ส่วนระดับความเข้มในรูปภาพที่เหลือซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้น 10% จะแทนด้วยรหัส 5 บิตคือ 11000 11001 11010 11011 11100 11101 11110 11111

จะสังเกตได้ว่าในการกำหนดรหัสใหม่นี้ ส่วนต้นของรหัสที่ยาวกว่าจะไม่ซ้ำกับส่วนของรหัสที่สั้นกว่า เมื่อแทนด้วยรหัสตามนี้แล้วขนาดของแฟ้มข้อมูลจะลดขนาดจาก 150 กิโลไบท์ลงเหลือ (0.6 x 3) + (0.3 x 4) + (0.1 x 5) x 640 x 480 = 131.25 กิโลไบท์ และจำนวนบิตเฉลี่ยที่ใช้จะลดลงจาก 4 บิตเหลือ 3.5 บิตเท่านั้น

2. Spatial Compression

Spatial Compression เป็นการอัดข้อมูลโดยอาศัยความซ้ำของข้อมูลที่อยู่ติดกันดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวเลขข้างล่างแสดงระดับความเข้มในกรอบขนาด 6x4 จะสังเกตเห็นได้ว่ามีบางค่าในตำแหน่งติดกัน มีระดับความเข้มซ้ำกัน

1 2 1 1 1 1

1 3 4 4 4 4

1 1 3 3 3 5

1 1 1 1 3 3

เมื่อนำมาเรียงลำดับทั้ง 24 ค่าจะได้ลำดับดังนี้

1 2 1 1 1 1 3 4 4 4 4 1 1 3 3 3 5 1 1 1 1 3 3

เทคนิคของการเข้ารหัสแบบนี้ วิธีหนึ่งคือ Run Length coding ซึ่งเหมาะสำหรับการอัดข้อมูลที่มีค่าซ้ำกันมาก ๆในตำแหน่งที่ติดกัน การเข้ารหัสด้วยเทคนิคนี้กระทำได้โดยการจัดคู่ลำดับของค่าความเข้มและความซ้ำโดยให้ค่าแรกแทนระดับความเข้ม และค่าที่สองแทนจำนวนความซ้ำที่เกิดขึ้น จากข้อมูล 24 ค่าข้างต้น จะเข้ารหัสได้ดังนี้

(1,1) (2,1) (1,5) (3,1) (4,4) (1,2) (3,3) (5,1) (1,4) (3,2)

เมื่อนำมาเรียงลำดับเพื่อการจัดเก็บจะได้ดังนี้

1 1 2 1 1 5 3 1 4 4 1 2 3 3 5 1 1 4 3 2

ซึ่งจะเห็นได้ว่าลดจำนวนข้อมูลในการจัดเก็บลงเหลือเพียง 20 ค่าจากจำนวนข้อมูลเดิม 24 ค่า

นอกจากนี้อาจจะใช้วิธี Run Length Coding ร่วมกับวิธีการอัดข้อมูลตามหลักสถิติ ตามที่กล่าวมาแล้วเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ

3. การเข้ารหัสแบบใช้เส้นแสดงรูปร่าง (Contour Coding)

การเข้ารหัสแบบใช้เส้นแสดงรูปร่างเป็นการอัดข้อมูลด้วยการเข้ารหัส เส้นแสดงรูปร่างของพื้นที่ของพิกเซลที่มีระดับความเข้มเดียวกันแทนการเก็บระดับความเข้มทุกตำแหน่งในพื้นที่นั้น วิธีนี้จึงเหมาะกับรูปภาพที่มีระดับความเข้มเดียวกันเป็นบริเวณกว้างดังตัวอย่างข้อมูลต่อไปนี้

1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2

1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2

1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2

1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเส้นแสดงรูปร่างของพื้นที่ที่มีระดับความเข้มต่างกันเป็นดังนี้

0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0

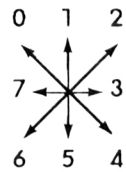
0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0

จุดเริ่มต้นของขอบคือจุด (8,0) แล้วย้ายมายังจุดต่าง ๆ ดังนี้

(7,1) (6,2) (7,3) (8,3) (9,3) (10,3) (11,4)

ให้ตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเส้นแสดงรูปร่าง ซึ่งเป็นไปได้ 8 ทิศทาง กำหนดด้วยรหัสดังต่อไปนี้



จากข้อมูลข้างต้นเราสามารถเข้ารหัสเส้นแสดงรูปร่างด้วยรหัสทิศทาง โดยเริ่มจากจุด (8,0) ได้รหัสใหม่ดังนี้ 6 6 4 3 3 3 4

ซึ่งแต่ละทิศทางแทนด้วยจำนวนบิตเพียง 3 บิต เพราะฉะนั้นจำนวนบิตที่ใช้ทั้งหมดจะคำนวณได้จากจำนวนบิตที่ใช้แทนตำแหน่งเริ่มต้นของเส้น

แสดงรูปร่างรวมกับจำนวนบิตที่ใช้แทนทิศทางและจำนวนบิตที่ใช้แทนค่าความเข้มระหว่างเส้นแสดงรูปร่างดังนี้

จำนวนบิตที่ใช้ = จำนวนบิตแทนตำแหน่ง(8,0)
+(7 x 3) บิตแทนทิศทาง
+จำนวนบิตที่ใช้แทนค่าความเข้มระหว่างเส้นแสดงรูปร่าง

4. การอัดแบบควอนไทซิ่ง (Quantizing Compression)

เทคนิคควอนไทซิ่งเป็นการลดจำนวนของระดับความเข้มลงจากเดิม เพื่อลดขนาดรหัสที่ใช้แทนค่าความเข้มเช่น จากรูปภาพเดิมที่มีระดับความเข้มเท่ากับ 256 ระดับ หากลดจำนวนระดับความเข้มลงเหลือ 16 ระดับ จะมีผลให้ใช้จำนวนบิตที่แทนระดับความเข้มลดลงจาก 8 บิตต่อหนึ่งระดับความเข้ม เหลือเพียง 4 บิตต่อหนึ่งระดับความเข้ม

ให้ P เป็นจำนวนพิกเซลของรูปภาพที่ต้องการอัดข้อมูลให้เหลือ N ระดับความเข้ม เริ่มต้นพิจารณาด้วยการสร้างฮิสโตแกรม (Histogram) ของระดับความเข้มในภาพ แล้วแบ่งระดับความเข้มใหม่มีจำนวน N ระดับ โดยการเฉลี่ยให้จำนวนพิกเซลในแต่ละช่วงมีจำนวนเท่า ๆ กันคือช่วงละ P/N พิกเซล แล้วใช้ค่ามัธยฐานของแต่ละช่วงเป็นตัวแทนของระดับความเข้มใหม่ในช่วงนั้น ๆ แทน

ตัวอย่าง สมมติให้รูปภาพซึ่งมี 10 ระดับความเข้มมีรูปแบบดังต่อไปนี้

2 9 6 4 8 2 6 3 8 5 9 3 7

3 8 5 4 7 6 3 8 2 8 4 7 3

3 8 4 7 4 9 2 3 8 2 7 4 9

3 9 4 7 2 7 6 2 1 6 5 3 0

2 0 4 3 8 9 5 4 7 1 2 8 3

เมื่อต้องการอัดข้อมูลรูปภาพนี้ โดยลดระดับความเข้มให้เหลือ4 ระดับความเข้ม หรือให้เหลือ 2 บิตต่อพิกเซล เริ่มด้วยการสร้างฮิสโตแกรมของข้อมูลข้างต้นจะได้ลักษณะฮิสโตแกรมดังต่อไปนี้

ระดับความเข้ม	จำนวนพิกเซล
0	**
1	**
2	*********
3	**********
4	*********
5	****
6	*****
7	********
8	*********
9	******

ถ้าต้องการแบ่งระดับความเข้มเป็น 4 ระดับ จากพิกเซลทั้งหมด 65 พิกเซล จะแบ่งได้ช่วงละ 16.25 พิกเซล ดังนั้นช่วงที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นดังนี้

จำนวนพิกเซลในแต่ละช่วง	ระดับความเข้ม	จำนวนพิกเซล
	0	**
13	1	**
	2	*********
20	3	**********
	4	*********
	5	****
17	6	*****
	7	********
15	8	*********
	9	******

ใช้ค่ามัธยฐานของแต่ละช่วงแทนความเข้มใหม่ตามลำดับดังนี้คือ 2, 3, 6 และ 8 ดังนั้นรูปใหม่ที่ได้จะเป็นดังนี้

0 3 2 1 3 0 2 1 3 2 3 1 2

1 3 2 1 2 2 1 3 0 3 1 2 1

1 3 1 2 1 3 0 1 3 0 2 1 3

1 3 1 2 0 2 2 0 0 2 2 1 0

0 0 1 1 3 3 2 1 2 0 0 3 0

ในการเก็บด้วยรหัสใหม่ซึ่งมีจำนวนระดับความเข้มน้อยลง จำนวนบิตที่ใช้แทนค่าระดับความเข้มจึงลดลงไปด้วย แต่ก็จำเป็นต้องมีตารางเก็บค่าระดับความเข้มใหม่กับรหัสที่ใช้ด้วย

5. การเข้ารหัสการแปลง

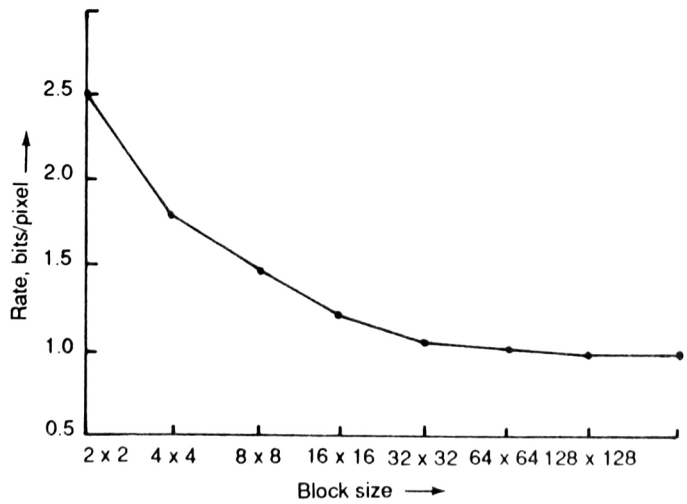
การเข้ารหัสการแปลงคือการอัดข้อมูลในพื้นที่การแปลง ซึ่งได้จากการแปลงเชิงเส้น เพื่อแปลงข้อมูลจากพื้นที่สัญญาณให้อยู่ในพื้นที่การแปลง ข้อมูลหรือค่าสัมประสิทธิ์แต่ละตัวในพื้นที่การแปลงจะมีสหสัมพันธ์น้อยกว่าข้อมูลในพื้นที่สัญญาณ ทำให้สามารถลดการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดที่ซ้ำซ้อนกันลงได้ นอกจากนี้ในพื้นที่การแปลงจะมีข้อมูลสัมประสิทธิ์ที่มีพลังงานสูงรวมอยู่เป็นกลุ่ม ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า Energy Compaction property จึงสามารถเลือกเฉพาะสัมประสิทธิ์กลุ่มที่มีพลังงานสูงซึ่งมีความสำคัญต่อการแปลงกลับของภาพมาเข้ารหัสแทนการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ทุกตัว จึงมีผลให้ใช้เนื้อที่ในการเก็บและเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลน้อยลง

ขั้นตอนการเข้ารหัสการแปลงโดยละเอียด(Wintz 1972, Gregary 1991) มีลำดับดังต่อไปนี้

1. แบ่งรูปภาพเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดย่อย

เพื่อให้สามารถเข้ารหัสการแปลงได้สะดวกขึ้นจะแบ่งรูปภาพออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดย่อยหลาย ๆ รูป แล้วเข้ารหัสการแปลงในพื้นที่ย่อยเหล่านี้แทนรูปภาพซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ามาก ๆ เพื่อช่วยลดเวลาในการคำนวณของการแปลงเชิงเส้น นอกจากนี้การเข้ารหัสการแปลงในแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อยจะช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนเมื่อนำมาทำโดยฮาร์ดแวร์

รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อยและจำนวนบิตต่อพิกเซลของการเข้ารหัสการแปลงกับข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบGaussian จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการเข้ารหัสการแปลงกับพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดใหญ่มากไม่มีผลช่วยให้อัตราส่วนการอัดเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อยและจำนวนบิตต่อพิกเซลของการเข้ารหัสการแปลงกับข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบ Gaussian

JPEG ได้เลือกใช้พื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 8 x 8 เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ โดยผลจากการวิจัยพบว่าการเพิ่มขนาดของพื้นที่สี่เหลี่ยมมากกว่านี้ไม่ช่วยให้อัตราส่วนการอัดดีขึ้น (Jain 1989)

2. การแปลงเชิงเส้นกับข้อมูลในแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อย หัวใจสำคัญของขบวนการอัดข้อมูลแบบเข้ารหัสการแปลงนี้ก็คือ การแปลงเชิงเส้นซึ่งใช้กันมากในการวิเคราะห์สัญญาณดิจิตอล เช่น การแปลงระดับความต่างศักย์ในโดเมนของเวลามาเป็นโดเมนของความถี่ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์โดยที่สามารถแปลงกลับรูปแบบเดิมได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับการแปลงข้อมูลรูปภาพมาอยู่ในโดเมนของความถี่ซึ่งสามารถตัดค่าสัมประสิทธิ์บางส่วนทิ้งได้โดยไม่มีผลกระทบต่อรูปภาพที่แปลงกลับมากนัก โดยอาศัยหลักการนี้จึงนำมาใช้กับการอัดข้อมูลรูปภาพ

การแปลงเชิงเส้นที่ใช้ในการเข้ารหัสการแปลงในสัญญาณแบบดิจิตอลมีอยู่หลายวิธีเช่น Principal Component Transform (Karhunen-Loeve Transform), Discrete Fourier Transform, Discrete Cosine Transform, Hadamard หรือ Harr Transform (Ahmed 1974, Lynch 1991, Peason 1991) ฯลฯ Karhunen-Loeve Transform นับว่าเป็นการแปลงที่ให้ผลดีที่สุดในแง่ที่ให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error) ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการแปลงชนิดอื่น ๆในกรณีที่ต้องแปลงข้อมูลกลับมาอยู่ในพื้นที่สัญญาณโดยใช้ข้อมูลในพื้นที่การแปลงเพียงบางส่วน แต่วิธีนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากต้องการข้อมูลทางสถิติซึ่งบางครั้งไม่สามารถทราบได้ หรือไม่สามารถประมาณได้ถูกต้อง นอกจากนั้นยังเป็นการคำนวณที่ซับซ้อนยุ่งยากอีกด้วย

การแปลงที่นิยมใช้ในการเข้ารหัสการแปลง คือ Discrete Cosine Transform (DCT) ซึ่งเป็นการแปลงเชิงเส้นวิธีหนึ่งที่มีคุณสมบัติเด่นคือ ในทางทฤษฎี DCT จะให้ประสิทธิภาพในการอัดข้อมูลใกล้เคียงกับ Optimum Transformation ส่วนในทางปฏิบัติ ขั้นตอนวิธีในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของ DCT สามารถคำนวณอย่างลัดได้ด้วยวิธี Fast Cosine Transform (FCT) ในทำนองเดียวกับ Fast Fourier Transform (FFT) ซึ่งมีจำนวนครั้งในการคำนวณน้อย จึงช่วยประหยัดเวลาได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้แล้วค่าสัมประสิทธิ์ของ DCT ยังเป็นเลขจำนวนจริง ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน

3. การคัดเลือกสัมประสิทธิ์ สัมประสิทธิ์ที่คัดเลือกมาเพื่อเข้ารหัสต่อไปก็คือ สัมประสิทธิ์ที่มีค่าสัมบูรณ์สูง ๆ เพราะสัมประสิทธิ์เหล่านี้มีความสำคัญต่อการกระจายกลับสู่รูปภาพหลังการทำ Inverse Transformation การคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ทำได้ 2 วิธีคือ การคัดเลือกสัมประสิทธิ์แบบเข้ารหัสตามโซน (Zonal Coding) และใช้การคัดเลือกสัมประสิทธิ์ด้วยการเข้ารหัสแบบขีดแบ่ง

- การเข้ารหัสตามโซน การคัดเลือกสัมประสิทธิ์แบบเข้ารหัสตามโซน (Jain 1989) เป็นการคัดเลือกเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ภายในโซนที่กำหนดไว้เพื่อนำมาเข้ารหัส วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือต้องกำหนดโซนความถี่ให้เหมาะสมกับความถี่ของรูปภาพไว้ล่วงหน้า ดังนั้นการคัดเลือกสัมประสิทธิ์ของภาพความถี่ต่าง ๆ ด้วยโซนที่เจาะจงเพียงโซนเดียวจึงมักไม่ให้ผลดี

- การเข้ารหัสแบบขีดแบ่ง การคัดเลือกสัมประสิทธิ์โดยการเข้ารหัสแบบขีดแบ่ง (Jain 1989) เป็นการคัดเลือกเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงกว่าค่าขีดแบ่งที่ตั้งไว้มาเข้ารหัส วิธีการนี้มีข้อดีคือสามารถใช้ได้กับภาพที่มีความถี่ต่าง ๆ กัน เนื่องจากสัมประสิทธิ์ที่มีความสำคัญสูงต่อการกระจายกลับสู่รูปภาพเดิมที่ตำแหน่งต่าง ๆ จะถูกคัดเลือกไว้ได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของภาพ แต่วิธีนี้ก็มีข้อเสีย

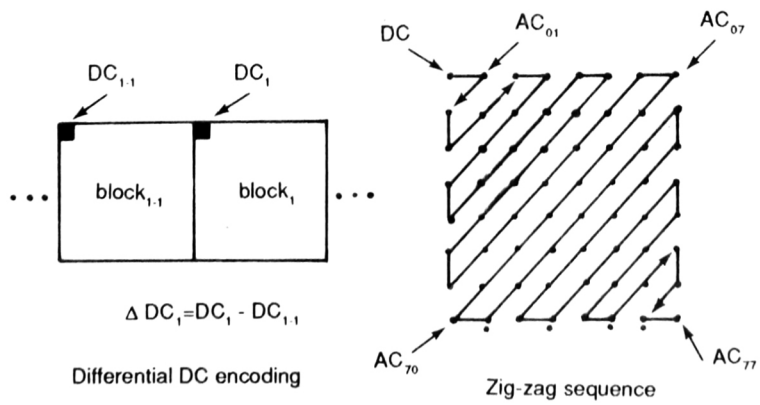
คือจะต้องส่งตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ไปพร้อมกับตัวสัมประสิทธิ์ด้วยเสมอจึงมีผลทำให้อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ไม่ดีเท่าการคัดเลือกสัมประสิทธิ์แบบเข้ารหัสตามโซน

4. การควอนไทซ์ค่าสัมประสิทธิ์ เมื่อคัดเลือกสัมประสิทธิ์ที่ต้องการได้แล้ว จะควอนไทซ์ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านั้นเพื่อให้สามารถแทนค่าได้ด้วยจำนวนบิตที่กำหนดไว้ก่อนที่จะเข้ารหัสต่อไป โดยต้องคำนึงถึงคุณภาพของรูปเป็นสำคัญเช่น ผลจากการแปลง DCT ของข้อมูลรูปภาพขนาด 8 บิต หรือ 256 ระดับความเข้ม จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง -1,024 ถึง 1,023 หรือจะต้องใช้จำนวนบิตเท่ากับ 11 บิตในการแทนค่า วิธีการลดจำนวนบิตเหล่านี้ทำได้ด้วยการควอนไทซ์ซึ่งเป็นการลดความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ลงไป ขั้นตอนนี้เองที่ทำให้การอัดข้อมูลนี้เป็นการอัดข้อมูลแบบย้อนกลับไม่สมบูรณ์ บางครั้งเรียกการทำควอนไทซ์นี้ว่าเป็นการทำ Many-to-one Mapping

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์มีความแปรปรวนสูง การใช้ค่าควอนไทซ์เพียงค่าเดียวจึงให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ปัญหานี้แก้โดยการควอนไทซ์ด้วยค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เสมือนเป็นการทำ Normalized Coefficient เพื่อให้ใช้จำนวนบิตในการจัดเก็บเท่ากันหมด

JPEG ใช้วิธีการสร้างตารางค่าสำหรับควอนไทซ์ในขณะที่เรียกใช้โปรแกรม โดยได้ทดลองหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควอนไทซ์จนกระทั่ง ISO ได้พัฒนาขึ้นเป็นมาตรฐานใช้สำหรับ JPEG โดยสามารถเลือกระดับคุณภาพได้ ตารางควอนไทซ์นี้สามารถเลือกระดับคุณภาพของผลจากการอัดได้ ถ้าเลือกระดับคุณภาพดีอัตราส่วนการอัดก็จะด้อยลงไป ในทางกลับกันถ้าเลือกระดับคุณภาพต่ำอัตราส่วนการอัดก็จะดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพอใจของผู้ใช้งาน

5. การจัดเก็บหรือส่งสัมประสิทธิ์ดีซี สัมประสิทธิ์ดีซีเป็นค่าที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของรูปภาพที่ได้จากการกระจายกลับเพราะแสดงถึงค่าเฉลี่ยความเข้มของข้อมูลทั้งพื้นที่สี่เหลี่ยมและยังมีค่าสูงกว่าสัมประสิทธิ์เอซีมาก ข้อมูลสัมประสิทธิ์ดีซีจะถูกจัดเก็บหรือส่งแยกจากขบวนการเข้ารหัสของสัมประสิทธิ์เอซี ภาพความถี่ต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์ดีซีในแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ติดกันไม่ห่างกันมากเนื่องจากแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมมีระดับความเข้มใกล้เคียงกัน จึงสามารถจัดเก็บหรือส่งสัมประสิทธิ์ดีซีโดยใช้ค่าผลต่างระหว่างพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ติดกันได้เพื่อลดขนาดของข้อมูลที่จัดเก็บหรือส่ง เทคนิคในการจัดลำดับบล็อคเพื่อหาค่าผลต่างวิธีหนึ่งคือการจัดลำดับแบบ Zig-Zag ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลำดับการจัดเก็บแบบ Zig-Zag

6. การเข้ารหัส ขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการเข้ารหัสการแปลงคือการเข้ารหัสแบบย้อนกลับได้กับค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับการคัดเลือก JPEG ได้เสนอการเข้ารหัสในขั้นตอนนี้ไว้ 2 วิธีคือ ฮัฟแมน และ Arithmetic coding

บรรณานุกรม

Ahmed, N., Natarajan, T., and Rao, K.R. 1974. *Discrete Cosince Transform.* **IEEE Trans. on Computers** 23 (January) : 90-93.

Jain, Anil K. 1989. **Fundamentals of Digital Image Processing.** Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall.

Low, Adrian. 1991. **Introductory Computer Vision and Image Processing.** New York : McGraw-Hill.

Lynch, Thomas J. 1991. **Data Compression Techniques and Applications.** Belmont, Calif. : Lifetime Learning Publication.

Peason, Don. 1991. **Image Processing.** New York : McGraw-Hill.

Wintz, P.A. 1972. *Transform Picture Coding.* **Proc. IEEE** 60 (July) : 809-820.