

การบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์โดยการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์
MEDICAL IMAGE COMPRESSION USING DIFFERENTIAL PULSE CODE
MODULATION



นายชัยรัตน์ ฤทธิรงค์

MR. CHAIRAT RITTIRONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....27283

วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2540

พ.ศ. 2539

ISBN 974-621-670-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEDICAL IMAGE COMPRESSION USING DIFFERENTIAL PULSE CODE MODULATION



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1996

ISBN 974-621-670-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์โดยการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์
นักศึกษา	นายชัยรัตน์ ฤทธิรงค์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2539

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการนำวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพมาใช้งานด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น โทรศัพท์ระบบดิจิทัล การสื่อสารของข้อมูลภาพ สื่อการสอนแบบต่างๆ และโดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้กับข้อมูลของภาพทางการแพทย์ ซึ่งวิธีการของการบีบอัดข้อมูลภาพทั่วไปจะใช้วิธีที่ยอมให้มีการสูญเสียของข้อมูลได้ โดยอาจทำให้เกิดการสูญเสียของข้อมูลบางส่วนที่สำคัญไป ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีการลดข้อมูลภาพโดยใช้วิธีการของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ ได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของวิธีการนี้ระหว่างตัวทำนายที่เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวทำนายที่ไม่เป็นเชิงเส้นหรือตัวทำนายแบบมีฐาน โดยใช้ตัวควอนไทซ์ที่ระดับของการควอนไทซ์ Δ (Step size) เท่ากับ 16 (4 บิต, 16 ระดับ) และ Δ เท่ากับ 8 (5 บิต, 32 ระดับ) ตามลำดับ ข้อดีของวิธีการใช้ตัวทำนายแบบมีฐานนี้จะทำให้สามารถรักษารายละเอียดของวัตถุในภาพไว้ได้และมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวน โดยคุณภาพของภาพที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอมีความผิดเพี้ยนที่ต่ำจึงเหมาะสมสำหรับงานประยุกต์ของภาพทางการแพทย์

THESIS TITLE	MEDICAL IMAGE COMPRESSION USING DIFFERENTIAL PULSE CODE MODULATION
STUDENT	CHAIRAT RITTIRONG
THESIS ADVISOR	DR. YUTTAPONG RANGSANSERI
LEVEL OF STUDY	MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT	TELECOMMUNICATION ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
YEAR	1996

Abstract

At present, an image compression is widely used in many applications such as digital TV, image data communications, multimedia and some important informations in medical image applications. Generally, the data compression technique might destroy some important information. In this research, we propose an image compression by mean of Differential Pulse Code Modulation (DPCM). A Comparative study between two types of predictors, linear predictors and median (non-linear) predictors, will be presented. The quantization used in our technique is uniform type, the experimental results are obtained with the step size (Δ) assigned to 8 and 16 respectively. It is found that median predictor makes robust noise and preserves edges in reconstruction of images, the DPCM provides lower degradation on reconstructed images, hence it is more effecience in medical image applications.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก อาจารย์ ดร.บุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในด้านการศึกษาผู้วิจัยตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ทางด้านวิชาความรู้ในหลายๆ ด้าน ขอกราบขอบพระคุณ ดร. สุธิ ผู้เจริญชนะชัย ที่ให้ความกรุณาชี้แนะแนวทางด้านวิชาการและความรู้ต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์หมอรามาตร์ วัชรสินธุ์ ที่ให้ความกรุณาทางด้านข้อมูลต่างๆ ทางแพทย์

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่า และได้กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ที่ทำให้กำลังใจทำให้เกิดมีมานะในการศึกษา และขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน และน้องๆ ทุกคน ทั้งทางคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนเพื่อนร่วมรุ่นทุกคนที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจต่อผู้วิจัยตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณสภาวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้มอบทุนการศึกษาในการทำวิจัยซึ่งช่วยให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชัยรัตน์ ฤทธิรงค์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	VIII

บทที่

1. บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	3
2. หลักการพื้นฐานของการบีบอัดข้อมูลภาพ	4
การจำแนกประเภทของการบีบอัดข้อมูล	4
ลำดับขั้นตอนหลักของการบีบอัดข้อมูลภาพทั่วไป	6
การเข้ารหัสแบบเอนโทรปี	7
เอนโทรปีและการเข้ารหัสคำแบบ Variable-length (Entropy and Variable-Length Code-word Assignment).....	8
การเข้ารหัสแบบฮัฟแมน	10
การควอนไทซ์	12
การเข้ารหัสแบบซอร์ส	15
การเข้ารหัสทำนาย	16
การเข้ารหัสภาพแบบการแปลงรูป.....	17
การเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง	21
มาตรฐานของการบีบอัดข้อมูลภาพหนึ่ง	23
3. การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์.....	25
หลักการทั่วไป	26

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
ขั้นตอนการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์.....	26
ตัวทำนายเชิงเส้น	29
ตัวทำนายแบบมัลติฐาน	35
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	39
ความถูกต้องของข้อมูลภาพ.....	39
สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่องของสัญญาณการส่ง	40
ลำดับขั้นตอนของการทดลองการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์.....	43
ผลของการทดลองจากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น.....	46
ผลของการทดลองจากการใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐาน	57
ผลจากการใช้ตัวทำนายมัลติฐานในสมการที่ (3.35).....	57
ผลจากการใช้ตัวทำนายมัลติฐานในสมการที่ (3.36).....	66
5. สรุปผลและแนวทางการพัฒนา.....	76
สรุปผลการวิจัย.....	76
ข้อเสนอแนะ	86
ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการพัฒนา	87
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก.....	91
ประวัติผู้เขียน.....	92

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดงกระบวนการนำข้อมูลภาพจากฟิล์มมาทำการเก็บในรูปของข้อมูลดิจิทัล.....	1
2. แสดงภาพเริ่มต้นขนาด 256x256 โดยใช้ 8 บิตต่อจุดภาพ	2
3. แสดงลำดับขั้นตอนในการบีบอัดข้อมูลภาพทั่วไป.....	6
4. แสดงภาพแสดงการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน.....	10
5. แสดงการกระจายของความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์ม	12
6. (ก) และ(ข) แสดงแบบการควอนไทซ์มิดเทรตและแบบมิดไรซ์ตามลำดับ	13
7. แสดงระดับของการควอนไทซ์.....	14
8. (ก) และ (ข) แสดงบล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสและการถอดรหัสข้อมูลภาพ ด้วยวิธีการเข้ารหัสทำนายตามลำดับ	16
9. แสดงตัวอย่างการเข้ารหัสการแปลงจากโดเมนหนึ่งไปอีกโดเมนหนึ่ง.....	17
10. แสดงการแปลงแบบฟูริเยร์และการแปลงแบบดิสครีตโคไซน์.....	19
11. แสดงการแปลงดิสครีตโคไซน์แบบ 2 มิติ	20
12. แสดงการแปลงดิสครีตโคไซน์ที่ทำในบล็อก 8x8.....	20
13. แสดงการเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง.....	21
14. แสดงกราฟผลของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์.....	25
15. แสดงบล็อกไดอะแกรมของวิธี DPCM ทั้งด้านส่งและด้านรับ	27
16. แสดงถึงโครงสร้างของการทำนาย	29
17. แสดงตำแหน่ง A, B, C ของจุดภาพใกล้เคียงกับจุดทำนาย.....	33
18. แสดงตัวอย่างภาพ MRI (ก) ภาพเริ่มต้น (ข) ภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับ ภาพผลต่างจากการทำนาย	34
19. แสดงโครงสร้างพื้นฐานของการเข้ารหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ด้วยตัวทำนายแบบมีพื้นฐาน	37
20. แสดงการหาค่ามีพื้นฐานจากตัวทำนายเชิงเส้นย่อยๆ.....	37
21. แสดงสมมติฐานของสัญญาณรบกวน.....	41
22. แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์	43
23. ขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลด้วยการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์	44

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

24. แสดงภาพเริ่มต้นที่นำมาใช้สำหรับทดลองการบีบอัดข้อมูล	45
25. แสดงภาพที่ได้จากการทำนายเชิงเส้น.....	48
26. แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1%	51
27. แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3%	53
28. แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5%	55
29. ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.35	59
26. แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1%	61
27. แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3%	63
28. แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5%	65
31. ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.36	68
32. แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1% โดยการทำนายแบบมัธยฐาน สมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ 16 และ 8 ตามลำดับ	71
33. แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3% โดยการทำนายแบบมัธยฐาน สมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ 16 และ 8 ตามลำดับ	73
34. แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5% โดยการทำนายแบบมัธยฐาน สมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ 16 และ 8 ตามลำดับ	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงการจัดแบ่งการเข้ารหัสและการบีบอัดข้อมูลภาพแบบต่างๆ	5
2. แสดงตัวอย่างของ Uniform-length codeword ด้วยค่าของข่าวสารที่เป็นไปได้ 8 ค่า.....	7
3. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยปราศจากสัญญาณรบกวน	47
4. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยการเพิ่มสัญญาณที่ 1%	50
5. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยการเพิ่มสัญญาณที่ 3%	52
6. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยการเพิ่มสัญญาณที่ 5%	54
7. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.35 โดยปราศจาก สัญญาณรบกวน.....	58
8. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.35 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน ที่ 1%	60
9. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.35 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน ที่ 3%	62
10. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.35 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน ที่ 5%	64
11. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.36 โดยปราศจาก สัญญาณรบกวน.....	67
12. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.36 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน ที่ 1%	70
13. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.36 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน ที่ 3%	72
14. แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.36 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน ที่ 5%	74
15. แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีปราศจากสัญญาณรบกวน	80

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16. แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมีฐานสมการที่ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีเพิ่มสัญญาณรบกวน 1%	83
17. แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมีฐานสมการที่ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีเพิ่มสัญญาณรบกวน 3%	84
18. แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมีฐานสมการที่ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%	85



บทที่ 1

บทนำ

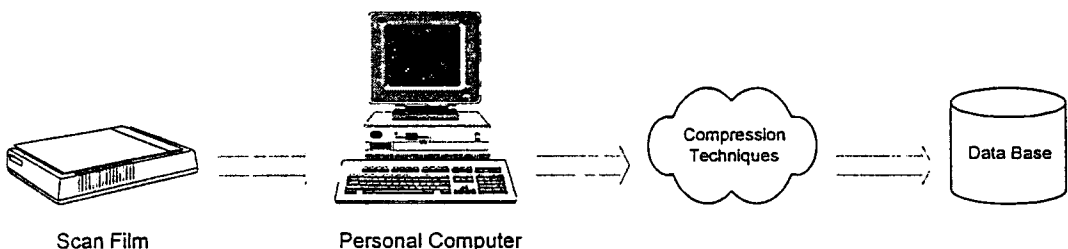
ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันวิทยาการทางด้านของการประมวลผลข้อมูลภาพนั้นได้มีบทบาทที่สำคัญมากกับงานประเภทต่างๆ ในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะกับงานทางด้านสาธารณสุข ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำศาสตร์ทางด้านการประมวลผลภาพเข้าประยุกต์ใช้เกี่ยวกับข้อมูลภาพทางการแพทย์ เนื่องจากข้อมูลภาพทางการแพทย์ที่ได้มาจากแหล่งต่างๆ เช่นจากเครื่อง MRI, CT-SCAN, ULTRA-SOUND ฯลฯ เป็นต้น โดยทั่วไปข้อมูลเหล่านี้จะเก็บอยู่ในเทปแม่เหล็กหรือดิสก์ แต่โดยส่วนใหญ่จะเก็บในลักษณะที่เป็นฟิล์ม ซึ่งเป็นขั้นตอนทั่วไปสำหรับแพทย์ที่จะทำการวินิจฉัยโรค โดยตัวของฟิล์มนั้นมีข้อด้อยในหลายๆ ด้านดังนี้คือ

1. พื้นที่ของการเก็บที่ใหญ่และต้องมีเงื่อนไขของการเก็บที่มาก
2. ความคงทนและอายุที่จำกัดของฟิล์ม
3. ความสิ้นเปลืองของค่าใช้จ่ายต่างๆ รวมทั้งเวลาในการขนส่งและการทำสำรองฟิล์ม
4. การสูญหายของฟิล์ม

ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดภาระอย่างมากต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำข้อมูลภาพทางการแพทย์ที่อยู่ในรูปของฟิล์มมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เรียกว่าสัญญาณข้อมูลดิจิทัล โดยอาศัยกระบวนการแปลงตามภาพที่ 1

ภาพที่ 1



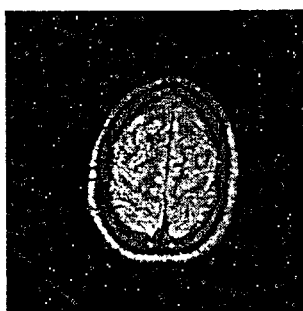
แสดงกระบวนการนำข้อมูลภาพจากฟิล์มมาทำการเก็บในรูปของข้อมูลดิจิทัล

โดยการนำฟิล์มมาผ่านเครื่องสแกนฟิล์มเพื่อให้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล แล้วนำมาผ่านอัลกอริทึมของการบีบอัดข้อมูลภาพเพื่อให้ได้ขนาดของข้อมูลที่เล็กลงก่อนที่จะทำการเก็บลงในหน่วยของการเก็บตามลำดับ

จากภาพที่ 1 ข้อมูลดิจิทัลสามารถที่จะได้มาโดยการผ่านเครื่องสแกนแต่ทั้งนี้ข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้ก็มีขนาดใหญ่มาก จึงเป็นเหตุให้ใช้พื้นที่สำหรับการเก็บเพิ่มขึ้นตามลำดับไปด้วย ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์เพื่อที่จะทำการลดขนาดข้อมูลนั้นๆ ลงก่อนที่จะทำการเก็บในขั้นตอนสุดท้าย

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งของการบีบอัดข้อมูลภาพนั้นก็คือการเตรียมข้อมูลภาพเริ่มต้น (Original image data) โดยข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ใช้ข้อมูลของภาพทางการแพทย์ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับข้อมูลภาพทั่วไป โดยข้อมูลภาพนี้จะเรียกว่าข้อมูลภาพเริ่มต้นจะมีขนาด 256X256X8 บิต ดังภาพที่ 2 และเนื่องจากกระบวนการจากภาพที่ 1 เป็นกระบวนการพื้นฐานทั่วไป แต่แตกต่างกันตรงที่ภาพผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นจะต้องมีความถูกต้องและแม่นยำสูงมากและด้วยเหตุที่เป็นข้อมูลของภาพจึงมีขนาดของข้อมูลที่ใหญ่มากดังนั้นขณะทำการจัดเก็บจึงต้องใช้พื้นที่ในการเก็บเป็นจำนวนมากตามขนาดของข้อมูลแต่ในขณะเดียวกันปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการจัดเก็บนั้นได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วโดยสามารถที่จะเพิ่มขนาดของความจุของข้อมูลมากขึ้นอีกหลายเท่าตัว อีกทั้งขนาดของตัวฮาร์ดแวร์เองก็มีขนาดที่เล็กลงตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น ฮาร์ดดิสก์ CD-ROM MAGNETO-OPTICAL DISK เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถที่จะลดปัญหาในการจัดเก็บไปได้ส่วนหนึ่ง แต่เมื่อนำมาใช้ในการสื่อสารเช่นแพทย์ทางไกล (Telemedicine) แล้วขนาดของข้อมูลภาพจะเป็นอุปสรรคอย่างมากทั้งทางด้านช่องสัญญาณสื่อสารที่มีอัตราของการรับส่งที่จำกัดและเวลาที่ใช้ในการรับส่ง ซึ่งถ้าขนาดของข้อมูลภาพที่ใหญ่อาจจะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูง

ภาพที่ 2



แสดงภาพเริ่มต้นขนาด 256x256 โดยใช้ 8 บิตต่อจุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเป็นการศึกษาหาแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคนิคของการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์ โดยวิทยานิพนธ์ได้มุ่งเน้นศึกษาในวิธีที่ยอมให้มีการสูญเสียของข้อมูลไปในส่วนที่ความสามารถของสายตามนุษย์ไม่อาจจะแยกออกได้ โดยยังคงไว้ในส่วนของข้อมูลสำคัญ
2. ช่วยลดในส่วนของค่าใช้จ่าย ขนาดของเนื้อที่ที่ใช้สำหรับในการเก็บรักษาข้อมูลภาพ และเวลาในการทำสำเนาของข้อมูล การขนส่ง ซึ่งทำได้ รวดเร็วและมากครั้ง
3. เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับแพทย์ทางไกล (Telemedicine) ซึ่งเป็นผลมาจากข้อมูลที่มีขนาดเล็กทำให้ลดเวลาของการส่งข้อมูลภาพลงไปได้มาก

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอเทคนิคของการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์ โดยรายละเอียดของการวิจัยและเนื้อหาแยกออกได้เป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการพื้นฐานของการบีบอัดข้อมูลภาพ เพื่อให้เกิดความเข้าใจขั้นตอนต่างๆ ของการประมวลผลการบีบอัดข้อมูลภาพ โดยเริ่มจากการจัดลักษณะของการเข้ารหัส ขั้นตอนพื้นฐานของการนำข้อมูลภาพมาทำการบีบอัด การเข้ารหัสที่ไม่สูญเสีย การควอนไทซ์ การเข้ารหัสที่ยอมให้มีการสูญเสียแบบต่างๆ และกล่าวถึงอัลกอริทึมมาตรฐานที่ใช้สำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพ

บทที่ 3 การบีบอัดข้อมูลภาพด้วยวิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ โดยกล่าวถึงหลักการทั่วไปของการบีบอัดข้อมูลภาพด้วยวิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ ตัวทำนายเชิงเส้น และตัวทำนายแบบมีฐาน

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงมาตรฐานที่ใช้วัดคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์แบบต่างๆ สมมติฐานของการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่องข่ายของสัญญาณสื่อสาร และตารางเปรียบเทียบผลที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลภาพด้วยวิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

บทที่ 5 บทสรุป จะกล่าวถึงผลสรุปจากการวิจัย และข้อเสนอแนะของแนวทางพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานของการบีบอัดข้อมูลภาพ

ข้อมูลต่างๆ เช่นภาพนิ่ง เสียง และวิดีโอ นั้นจำเป็นต้องใช้พื้นที่ของการเก็บที่มีความสูง ซึ่งในกรณีของภาพจากวิดีโอ นั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีของ CD สำหรับการเก็บข้อมูลที่มีจำนวนมาก ทำนองเดียวกันขนาดของข้อมูลที่ใหญ่ก็เป็นอุปสรรคที่สำคัญอย่างหนึ่งของการนำมาใช้งานกับด้านการสื่อสารที่อาศัยการส่งผ่านข้อมูลบนช่องสื่อสารซึ่งมีความจุของช่องการสื่อสารที่จำกัดและค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นข้อมูลที่มีจำนวนมากจะทำให้อัตราของการส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งใช้เวลาในการสื่อสารนานขึ้น ด้วยเหตุนี้ระบบต่างๆ จึงให้ความสำคัญกับการลดขนาดของข้อมูลหรือที่เรียกว่าการบีบอัดข้อมูลเช่นเดียวกันวิธีการของการบีบอัดข้อมูลนั้นมีได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีจะมีความแตกต่างกันไป

การจำแนกประเภทของการบีบอัดข้อมูล

ในเทคนิคของการบีบอัดข้อมูลนั้น สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักคือ

1. การบีบอัดของข้อมูลที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless compression) เป็นวิธีการที่ข้อมูลข่าวสารเมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้จะเหมือนข้อมูลเริ่มต้นเสมอ
2. การบีบอัดข้อมูลแบบยอมให้มีการสูญเสีย (Lossy compression) วิธีนี้ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการขยายข้อมูลกลับจะมีความแตกต่างกับข้อมูลก่อนทำการบีบอัดเริ่มต้น

วิธีการบีบอัดข้อมูลภาพนั้นมีด้วยกันหลายวิธีซึ่งในแต่ละวิธีมีความเหมาะสมตามแต่ลักษณะของการนำไปใช้งาน และสามารถจำแนกตามความแตกต่างของการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆ กัน โดยจากตารางที่ 1 สามารถแยกออกได้เป็น การเข้ารหัสแบบเอนโทรปี (Entropy coding) การเข้ารหัสแบบซอร์ส (Source coding) และการเข้ารหัสแบบไฮบริด (Hybrid coding) โดยมีความแตกต่างในแต่ละวิธีคือการเข้ารหัสแบบเอนโทรปี (Entropy coding) เป็นกระบวนการของการเข้ารหัสแบบไม่มีการสูญเสียของข้อมูล ในขณะที่การเข้ารหัสแบบซอร์สเป็นกระบวนการของการเข้ารหัสแบบมีการสูญเสียของข้อมูลไปบางส่วน และสุดท้ายจะเป็นวิธีที่พบมากที่สุดในระบบมัลติมีเดียก็คือ การเข้ารหัสแบบไฮบริดซึ่งเป็นการนำหลักการของการเข้ารหัสทั้งสองแบบข้าง

ต้นมาผสมกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

Entropy Coding	Runlength Coding	
	Huffman Coding	
	Arithmetic Coding	
Source Coding	Prediction	DPCM
		DM
	Transformation	FFT
		DCT
	Image Model Coding	
Hybrid Coding	JPEG	
	MPEG	

แสดงการจัดแบ่งการเข้ารหัสและการบีบอัดข้อมูลภาพแบบต่างๆ

การเข้ารหัสแบบเอนโทรปี การเข้ารหัสแบบนี้จะไม่คำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของข้อมูลที่นำมาผ่านกระบวนการ โดยสายข้อมูลจะถูกนำมาทำการบีบอัดโดยการใช้การทำลำดับของข้อมูลทางดิจิทัล การเข้ารหัสแบบนี้จะเรียกว่าการเข้ารหัสที่ไม่มีการสูญเสียจะหมายถึงในขณะทำการขยายข้อมูลที่บีบอัดจะได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ อาทิเช่นการเข้ารหัสแบบรันเลนจ์ (Run-length) การเข้ารหัสแบบฮัฟแมน (Huffman) เป็นต้น

การเข้ารหัสแบบขรุขระ จะพิจารณาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือองค์ประกอบของข้อมูลเริ่มต้นเป็นหลัก ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะกล่าวถึงวิธีการบีบอัดที่เกิดการสูญเสียของข้อมูล โดยการเข้ารหัสแบบนี้จะให้อัตราของการบีบอัดที่สูงกว่าแบบเอนโทรปี แต่จะทำให้ข้อมูลของผลลัพธ์ที่ได้ออกมามีการสูญเสียข้อมูลบางส่วนไป และเทคนิคของการเข้ารหัสสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ

1. การเข้ารหัสการแปลงรูป เป็นการใช้เทคนิคของการแปลงรูปจากโดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่ง เช่นการแปลงดิสครีตโคไซน์ (DCT) จะเป็นการแปลงรูปจากโดเมนสเปเชียลไปยังโดเมนของความถี่
2. การเข้ารหัสทำนาย เป็นการใช้เทคนิคของการทำนาย (Prediction) ทำนายข้อมูลที่เกิดขึ้นในปัจจุบันโดยอาศัยข้อมูลจากอดีตที่ผ่านมา แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าของข้อมูลเริ่มต้นเพื่อที่จะได้ค่าผลต่าง เช่นการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) เป็นต้น

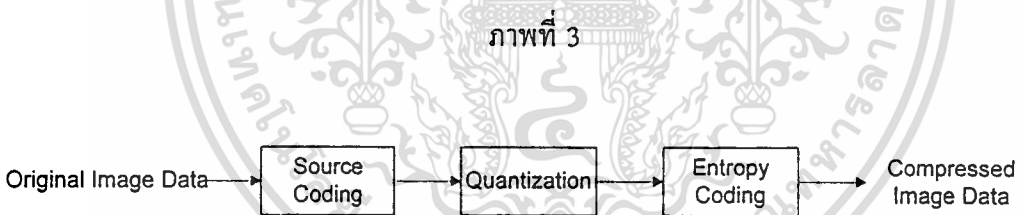
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง (Image model coding) เป็นการนำข้อมูลเริ่มต้นมาทำการวิเคราะห์ (Analysis) เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองของข้อมูลขึ้นมา โดยทางด้านตัวรับจะนำแบบจำลองนั้นมาทำการสังเคราะห์ (Synthesis) เพื่อที่จะสร้างข้อมูลผลลัพธ์

การเข้ารหัสแบบไฮยบริด เป็นการนำหลักการที่ได้จากวิธีที่กล่าวข้างต้นมาผสมเข้าด้วยกัน ตัวอย่างของวิธีการนี้เช่น JPEG (Joint photographic expert group) ซึ่งจะอาศัยพื้นฐานหลักของการแปลงรูปแบบคิสตรีตโคไซน์ ผสมกันกับการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

ลำดับขั้นตอนหลักของการบีบอัดข้อมูลภาพทั่วไป

สำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพนั้นอาจจะแบ่งลำดับขั้นตอนของการบีบอัดข้อมูลภาพทั่วไป เช่นในการบีบอัดข้อมูลภาพนิ่ง วิดีโอ หรือข้อมูลเสียง เป็นต้น โดยแสดงในภาพที่ 3 สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้ดังนี้ [1]



แสดงลำดับขั้นตอนในการบีบอัดข้อมูลภาพทั่วไป

1. การเข้ารหัสแบบซอร์ส เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้กระบวนการของเทคนิคการบีบอัดแบบต่างๆ เช่นการเข้ารหัสทำนาย การเข้ารหัสแบบแปลงรูปเป็นต้น

2. การควอนไทซ์ เป็นขั้นตอนที่สองของการบีบอัดข้อมูล โดยการนำข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกมาทำการแบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยแต่ละช่วงที่แบ่งนั้นอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมของวิธีการ แล้วทำการแทนช่วงของข้อมูลอินพุต ด้วยค่าระดับที่เป็นเลขจำนวนเต็มค่าๆ หนึ่งเพื่อกำหนดค่าของแฮทพุทที่ได้ออกมา แต่วิธีนี้จะทำให้ข้อมูลสูญเสียรายละเอียดและความถูกต้องลงไปจะมากหรือน้อยขึ้นกับความละเอียดของช่วงที่ถูกกำหนด

3. การเข้ารหัสแวนโตรีปี จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการบีบอัดข้อมูลภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการนำอัลกอริธึมของการเข้ารหัสแบบไม่สูญเสียเข้ามาใช้ในการบีบอัดข้อมูลที่ได้หลังจากข้อมูลผ่านการควอนไทซ์ ตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสแบบฮัฟแมน เป็นต้น

รายละเอียดและลำดับขั้นตอนทั้งสามของการบีบอัดข้อมูลภาพจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไปนี้

การเข้ารหัสแบบแวนโตรีปี

การเข้ารหัสแบบแวนโตรีปี เป็นการเข้ารหัสข้อมูลที่ได้จากการสูญเสียโดยจากภาพที่ 3 นั้นข้อมูลที่จะมาเป็นข้อมูลทางอินพุตก็คือข้อมูลที่ได้จากการควอนไทซ์ โดยผลจากการควอนไทซ์ เราจะได้ระดับของค่าผลลัพธ์ที่เป็นเลขจำนวนเต็มค่าๆ หนึ่ง โดยสมมติว่ามี L ค่า ซึ่งการควอนไทซ์จะกล่าวละเอียดในหัวข้อถัดไป ลำดับต่อไปคือทำการกำหนดรหัสคำ (Codeword) เฉพาะให้กับค่าของระดับผลลัพธ์ L ในแต่ละค่า ส่วนในด้านของการรับรหัสคำนั้นตัวรับสามารถที่จะระบุค่าของระดับผลลัพธ์ได้โดยการเปิดหาค่าจากการเปิดตารางดู (Look-up table) ซึ่งสามารถที่จะระบุค่าของระดับผลลัพธ์แต่ละค่าที่แตกต่างกันออกมาได้ เพราะเนื่องจากรหัสคำที่เข้ามาทางด้านรับได้นั้นถูกกำหนดค่าของระดับผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน [3]

ตารางที่ 2

ข้อมูลข่าวสาร	รหัสคำ
a_1	000
a_2	001
a_3	010
a_4	011
a_5	100
a_6	101
a_7	110
a_8	111

แสดงตัวอย่างของ Uniform-length codeword ด้วยค่าของข่าวสารที่เป็นไปได้ 8 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เนื่องจากระดับค่าของผลลัพธ์นั้นมีมากกว่า 1 ค่า จะถูกส่งเป็นแบบซีเควนซ์ (Sequence) ดังนั้นรหัสคำจะต้องออกแบบมาเพื่อให้ด้านรับเมื่อรับแบบซีเควนซ์แล้วจะต้องระบุรหัสคำที่ถูกต้องออกมา รหัสคำที่มีคุณสมบัติเหล่านี้จะเรียกว่า Uniquely decodable สมมติว่าเมื่อเราให้ $L = 4$ เราจะกำหนด 00 ให้กับ r_1 , 01 ให้กับ r_2 , 10 ให้กับ r_3 และ 11 ให้กับ r_4 ผลลัพธ์จะเป็นรหัส Unique decoder แต่ถักรหัสที่ถูกสร้างโดยการกำหนด 0 ให้กับ r_1 , 1 ให้กับ r_2 , 10 ให้กับ r_3 และ 11 ให้กับ r_4 ซึ่งแบบนี้จะไม่ใช่ Uniquely decodable ยกตัวอย่างเช่น เมื่อ 100 ถูกรับเข้ามาเราสามารถที่จะถอดรหัสออกมาได้ทั้ง r_3r_1 และ $r_2r_1r_1$ เช่น ข่าวสารที่แตกต่างกัน L ค่า มีค่าที่เป็นไปได้ a_i ค่า โดยที่ $1 \leq i \leq L$ โดยแต่ละค่าของ a_i จะแทนระดับของค่าผลลัพธ์ สำหรับการเข้ารหัสแบบ Uniform length นั้น จะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ในวิธีนี้แต่ละค่าของความยาวที่เป็นไปได้ของข่าวสารจะถูกเข้ารหัสให้มีความยาวของรหัสที่เท่าๆ กัน ของค่าข่าวสารที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทุกๆ ค่า ยกตัวอย่างเช่น เลือก $L = 8$ โดยแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งความยาวของแต่ละรหัสนั้นจะมีค่าเท่ากับ $\log_2 L = \log_2 8 = 3$ bit โดยเราจะนำมาอ้างอิงสำหรับความต้องการจำนวนของบิตในการเข้ารหัสคำก็คืออัตราของบิต (Bit rate) นั่นเอง อัตราบิตในตัวอย่างนี้จะมีค่าเท่ากับ 3 บิต/จำนวนหนึ่งข่าวสาร แต่ถักรหัสมีมากกว่าหนึ่งข่าวสารแล้วจะทำให้เกิดค่าอัตราบิตเฉลี่ย (Average bit rate) ขึ้นมา โดยกำหนดให้เท่ากับจำนวนรวมของบิตที่ต้องการหารด้วยจำนวนของข่าวสารรวมทั้งหมด สำหรับคุณสมบัติของการเข้ารหัสแบบ Uniform-length นั้น ค่าของอัตราของบิตเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับอัตราบิตต่อหนึ่งข่าวสาร [2]

เอนโทรปีและการเข้ารหัสแบบ Variable-length (Entropy and Variable-Length Codeword Assignment)

จากที่กล่าวมาในการเข้ารหัสของ Uniform - length นั้น แม้ว่าจะเป็นสิ่งที่ยังแต่ไม่ใช่สิ่งที่เหมาะสมที่สุด ถ้าพิจารณาในแง่ของอัตราบิตเฉลี่ย (Average bit) เช่น สมมติว่า เราจะกำหนดรหัสคำที่สั้นกว่าให้กับข่าวสารที่มีค่าของความน่าจะเป็นมากกว่า และกำหนดรหัสคำที่ยาวกว่าสำหรับข่าวสารที่มีค่าของความน่าจะเป็นน้อยกว่า ดังนี้แล้วจะเป็นการทำให้อัตราของบิตเฉลี่ยลด จะเรียกว่ารหัสแบบ Variable-Length โดยรหัสคำได้ถูกออกแบบมาจากหลักพื้นฐานทางสถิติของค่าความเป็นไปได้ของข่าวสารที่แตกต่างกัน วิธีการออกแบบนี้จะเรียกว่าการเข้ารหัสทางสถิติ (Statistical coding) เพื่อที่จะอธิบายปัญหาในการออกแบบรหัสคำเพื่อให้ได้อัตราบิตเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุด จึงต้องมีปริมาณการวัดข่าวสารขึ้นมาเพื่อที่จะวัดประสิทธิภาพของการเข้ารหัสแบบต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ค่าของเอนโทรปี (Entropy) เป็นตัวเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราของข่าวสารเฉลี่ย (Average information)

จากทฤษฎีของข้อมูลข่าวสาร (Information theory) ค่าของเอนโทรปี H ในสมการ 2.1 คือ อัตราของบิตเฉลี่ยที่มีได้ในข่าวสารทั้งหมดในการเข้ารหัสข่าวสาร

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i \quad (2.1)$$

โดย P_i เป็นความน่าจะเป็นของข่าวสาร a_i และเนื่องจาก $\sum_{i=1}^L P_i = 1$ สามารถแสดงได้ว่า

$$0 \leq H \leq \log_2 L \quad (2.2)$$

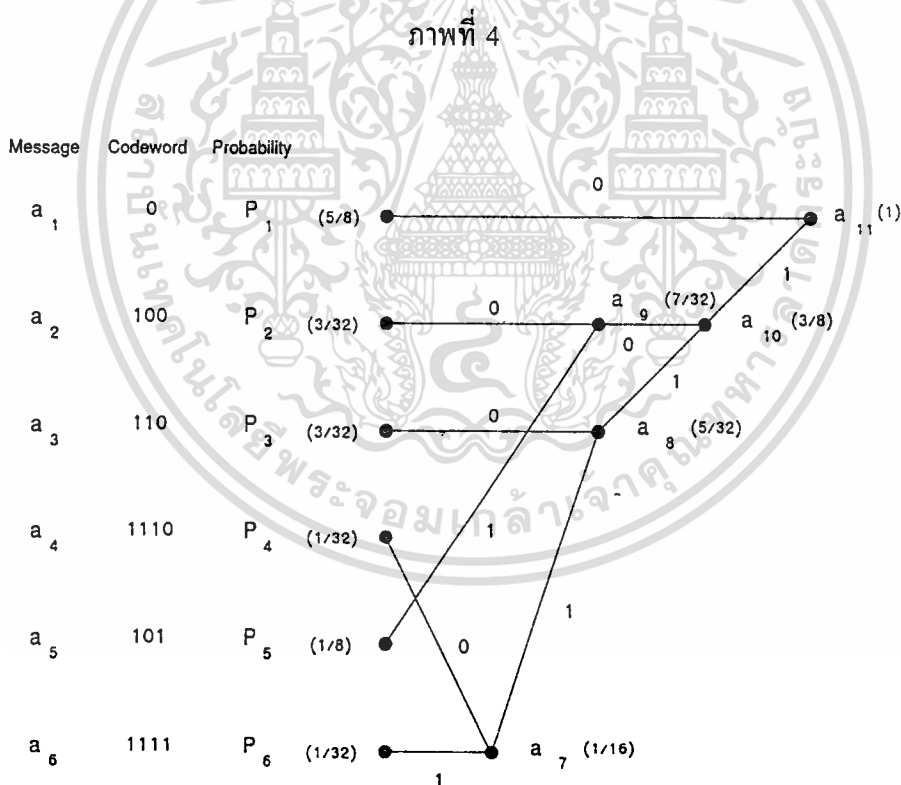
สมมติ $L = 2$ ถ้า $P_1 = 1$ และ $P_2 = 0$ แล้วค่าของเอนโทรปีจะเท่ากับ 0 และเป็นค่าที่เป็นไปได้ที่น้อยที่สุดสำหรับ $L = 2$ ในกรณีนี้ข่าวสารให้เป็น a_i ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 นั่นคือข่าวสารนั้นจะไม่มีข้อมูลข่าวสารใหม่เกิดขึ้น ในทางกลับกัน สมมติว่า $P_1 = P_2 = 1/2$ แล้วจะได้ค่าของ H เท่ากับ 1 และเป็นค่าความเป็นไปได้สูงสุดของ $L = 2$ ในกรณีนี้มีความเป็นไปได้ของข่าวสาร 2 ข่าวสาร คือ a_1 และ a_2 มีค่าเท่ากัน

ค่าของเอนโทรปี H ในสมการ 2.1 คือการบอกถึงอัตราของบิตเฉลี่ยที่มีได้ในข่าวสารทั้งหมดในการเข้ารหัสข่าวสาร จากผลลัพธ์นี้แม้ว่าจะไม่ใช่วิธีที่เฉพาะสำหรับการออกแบบรหัสคำแต่ก็เป็นสิ่งที่มีประโยชน์มาก สมมติว่ารหัสคำที่ใช้มีอัตราบิตเฉลี่ยที่มีค่าเดียวหรือใกล้เคียงกันกับค่าของเอนโทรปี ที่คำนวณได้ เราจึงรู้ทันทีว่ารหัสคำนี้คือรหัสที่เหมาะสม (Optimal) ยกตัวอย่างเช่น สมมติ L ได้ถูกแสดงในเทอมของยกกำลังสอง และมีค่าของความเป็นไปได้ของข่าวสารแต่ละค่าเป็น a_i ที่มีค่าของความน่าจะเป็นที่เท่ากันทุกค่า ดังนั้น $P_i = 1/L$ สำหรับ $1 \leq i \leq L$ จากสมการที่ 2.2 ค่าของเอนโทรปี H สำหรับกรณีนี้จะมีค่าเท่ากับ $\log_2 L$ และวิธีการของการเข้ารหัสคำแบบ Uniform-length นั้นจะได้อัตราของบิตเฉลี่ยเท่ากับ $\log_2 L$ บิตต่อหนึ่งข่าวสาร (Bit/message) นั้นหมายความว่าค่าของเอนโทรปีนั้นจะถูกใช้เป็นมาตรฐานของการวัด วิธีการเข้ารหัสคำแบบต่างๆ เช่นถ้าอัตราบิตเฉลี่ยของการเข้ารหัสคำวิธีหนึ่งได้ถูกออกแบบขึ้นมา โดยผลที่ได้มีค่าอัตราบิตเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าของเอนโทรปีแล้ว เราสามารถบอกได้ทันทีว่าวิธีที่ออกแบบเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสแบบฮัฟแมน

วิธีหนึ่งของการออกแบบรหัสค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งง่ายสำหรับการนำมาใช้และผลที่ได้ ออกมานั้นมีความเป็นไปได้ของอัตราบิตเฉลี่ยต่ำที่สุดนั้นคือการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน ตัวอย่างของการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4 ในตัวอย่างจะให้ $L = 6$ ด้วยความน่าจะเป็น สำหรับข่าวสารที่เป็นไปได้นั้นจะถูกแทนด้วยโหนดแต่ละโหนด ในขั้นแรกของการเข้ารหัส ฮัฟแมน เราจะทำการเลือกข่าวสาร 2 ข่าวสารที่มีความน่าจะเป็นต่ำสุด จากตัวอย่างจะได้ a_4 และ a_6 แล้วทำการรวมค่าของความน่าจะเป็นของข่าวสาร 2 ข่าวสารนี้เข้าด้วยกัน และจะได้โหนดใหม่ อีกหนึ่งโหนดที่มีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นของ a_4, a_6 รวมกัน แล้วทำการกำหนดให้ กิ่ง (branch) 1 ใน 2 อันนี้มีค่าเป็น 0 และกำหนดค่าเป็น 1 สำหรับกิ่ง (branch) ที่เหลือ โดยที่ 0 และ 1 ที่กำหนด



เป็นภาพแสดงการเข้ารหัสแบบ ฮัฟแมน โดยค่าของความน่าจะเป็นของข่าวสารที่สูงนั้นจะถูก กำหนดด้วยรหัสค่าที่สั้น

นี้สามารถวางสลับกันได้ซึ่งจะไม่มีผลต่ออัตราของบิตเฉลี่ย ขณะนี้เราจะได้ a_7 ซึ่งเป็นโหนดที่เกิดจาก a_4 และ a_6 และมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $1/16$ แล้วทำการเลือกจากข่าวสาร 5 ตัวที่เหลืออยู่คือ a_1, a_2, a_3, a_5 และ a_7 โดยเลือกข่าวสารที่มีความน่าจะเป็นน้อยที่สุด 2 ข่าวสาร ซึ่งครั้งนี้เราจะได้ a_3 กับ a_7 ทำการรวมค่าของความน่าจะเป็นของ 2 ตัวที่เลือกมา จะได้โหนดใหม่ คือ a_8 ซึ่งมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $5/32$ แล้วทำการกำหนด 0 ให้กับหนึ่งในสองกิ่งของ 2 ข่าวสารนั้น แล้วกำหนด 1 ให้กับกิ่งที่เหลือเราจะทำแบบนี้ไปจนกระทั่งเหลือโหนดเดียวซึ่งมีความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 สำหรับในการกำหนดรหัสคำที่จะกำหนดให้กับข่าวสารแต่ละข่าวสารนั้น จะเริ่มต้นที่โหนดสุดท้ายที่มีความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 แล้วตามด้วยกิ่ง ซึ่งจะนำไปสู่ข่าวสารที่เราสนใจ และทำการจัดเรียงค่าของตัว 0 และ 1 ที่อยู่บนกิ่งนั้นๆ จากตัวอย่างข่าวสาร a_4 นั้น จะมีรหัสคำเท่ากับ 1110 และรหัสคำตัวต่างๆ ที่กำหนดให้กับข่าวสารที่เหลือจะแสดงในภาพ 4 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าข่าวสารที่มีค่าของความน่าจะเป็นสูงนั้นรหัสคำที่ได้จะสั้นกว่าข่าวสารที่มีค่าของความน่าจะเป็นที่ต่ำกว่า สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพของการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน และการเข้ารหัสแบบ Uniform-length ด้วยเอนโทรปี H โดยจากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วนั้น เราคำนวณค่าของอัตราบิตเฉลี่ยโดยวิธีการเข้ารหัสแบบ Uniform-length แบบฮัฟแมนและค่าของเอนโทรปี โดยผลที่ได้จะเป็นดังนี้

การเข้ารหัสแบบ Uniform length = $\log_2 8 = 3$ บิตต่อจำนวนข่าวสาร

การเข้ารหัสฮัฟแมนคือผลรวมของค่าของความน่าจะเป็นคูณกับจำนวนบิตในแต่ละโหนด =

$$\frac{5}{8} \times 1 + \frac{3}{32} \times 3 + \frac{3}{32} \times 3 + \frac{1}{32} \times 4 + \frac{1}{8} \times 3 + \frac{1}{32} \times 4 = \frac{29}{16} \approx 1.813$$

บิตต่อจำนวนข่าวสาร

จากสมการ 2.1 ค่าของเอนโทรปี (H) =

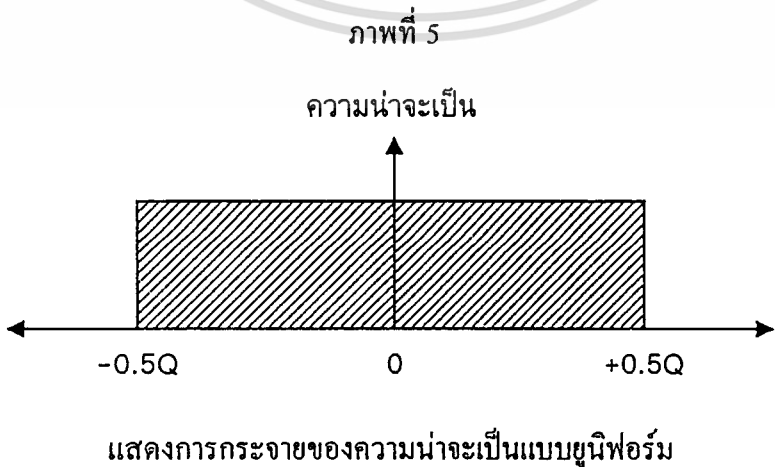
$$-\left(\frac{5}{8} \log_2 \frac{5}{8} + \frac{5}{8} \log_2 \frac{5}{8} + \frac{5}{8} \log_2 \frac{5}{8} + \frac{5}{8} \log_2 \frac{5}{8} + \frac{5}{8} \log_2 \frac{5}{8} + \frac{5}{8} \log_2 \frac{5}{8}\right)$$

บิตต่อจำนวนข่าวสาร

จากตัวอย่างเมื่อคำนวณค่าของอัตราบิตเฉลี่ยออกมาแล้วจะเห็นว่าค่าที่ได้จากฮัฟแมน นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าของเอนโทรปีมากที่สุด จากนั้นของเอนโทรปีแสดงว่าการเข้ารหัสแบบ ฮัฟแมน นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเข้ารหัสแบบ Uniform-length เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

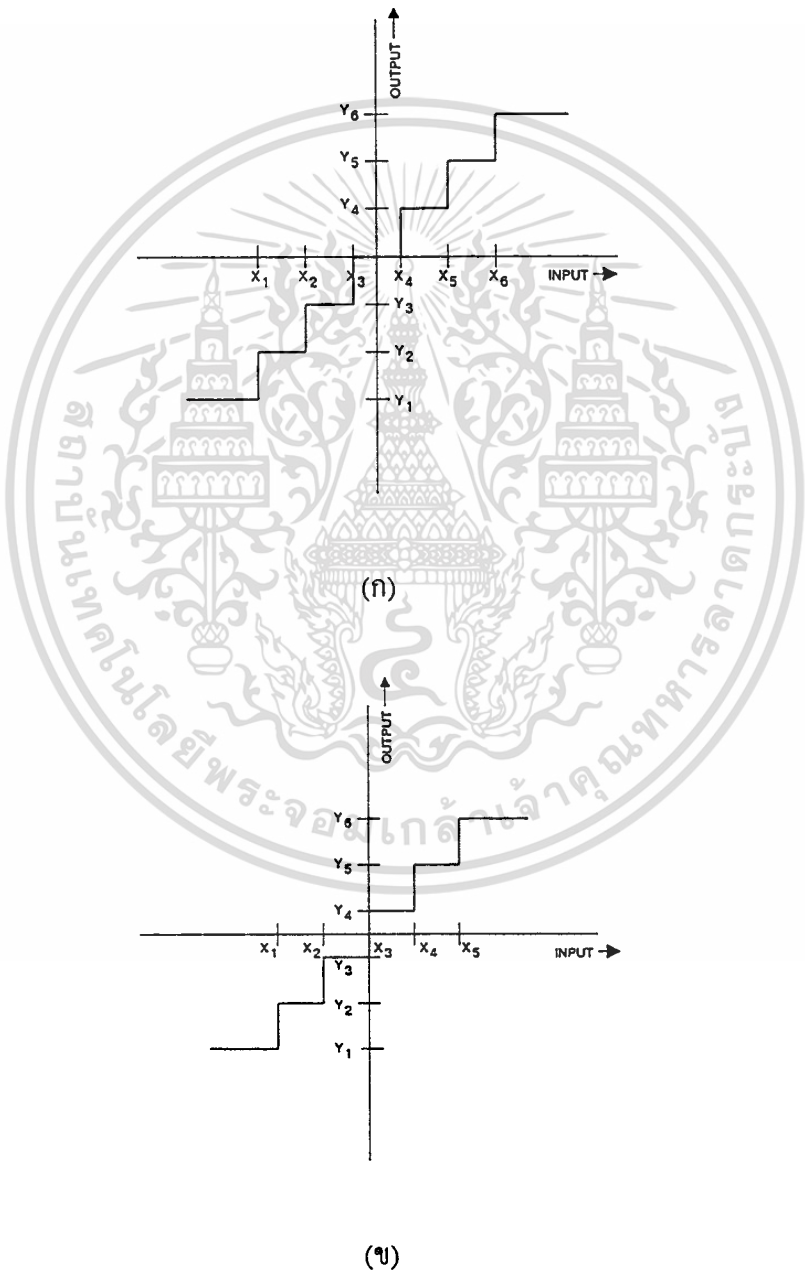
การควอนไทซ์ (Quantization)

องค์ประกอบอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลก็คือการควอนไทซ์ เนื่องจากสัญญาณอินพุตเริ่มต้นนั้นเป็นสัญญาณที่มีความเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในการวัดค่าของสัญญาณจะวัดจากค่าของสัญญาณในขณะใดขณะหนึ่ง (Sampling) โดยที่ค่าที่ได้นั้นจะมีความเที่ยงตรงหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวัด โดยตัวของการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลนั้น จะทำการแบ่งระดับของสัญญาณอินพุตออกเป็นช่วงๆ โดยช่วงเหล่านั้นจะแทนด้วยค่าที่เป็นตัวเลขค่าหนึ่งๆ สำหรับประโยชน์ของวิธีการนี้ที่พบเห็นโดยทั่วไปก็คือการนำมาประยุกต์ใช้กับ การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์(Pulse code modulation) ในโทรศัพท์ โดยการแบ่งของช่วงสัญญาณนั้นอาจจะไม่เท่ากัน (Non-uniform) ตลอดทั้งช่วงของสัญญาณก็ได้ อย่างไรก็ตามในการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นเราอาจจะเรียกการดิจิไทซ์ของสัญญาณ (Digitize) โดยทั่วไปของการควอนไทซ์สัญญาณภาพจะแบ่งช่วงของการควอนไทซ์ออกเป็นช่วงที่เท่าๆ กัน (Uniform quantization) สำหรับในการแทนค่าที่เป็นตัวเลขให้กับสัญญาณอินพุตทำได้โดยแบ่งระดับในการควอนไทซ์ออกเป็นช่วงๆ แล้วทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่เข้ามาตกอยู่ในช่วงที่แบ่งไว้ แล้วแทนค่าของสัญญาณอินพุตด้วยค่าตัวเลขของช่วงที่สัญญาณอินพุตตกอยู่ขณะนั้น และในขณะเดียวกันก็จะเกิดค่าผิดพลาด (Error) ขึ้นมาด้วยแต่ค่าผิดพลาดนี้จะไม่เกินครึ่งหนึ่งของช่วงการควอนไทซ์แต่ละช่วง ซึ่งค่าผิดพลาดนี้จะอยู่ในระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 ของช่วงการควอนไทซ์แต่ละช่วง (Q) ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจะเป็นการกระจายของความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์มของการผิดพลาดเนื่องจากการควอนไทซ์ (Probability distribution of quantization error) [3]



โดยในทางปฏิบัติแล้วนั้น ตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล จะมีการชดเชยในส่วนของการเกิดความผิดพลาดจากการควอนไทซ์สัญญาณ โดยจะใช้เทคนิคที่เรียกว่าการดิทเทอ (Dithering) โดยเทคนิคนี้จะทำการบวกสัญญาณรบกวนเข้าไปในสัญญาณ

ภาพที่ 6



แสดงภาพ (ก) และ (ข) แสดงการควอนไทซ์ แบบมิดเทรคและแบบมิดไรซ์ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

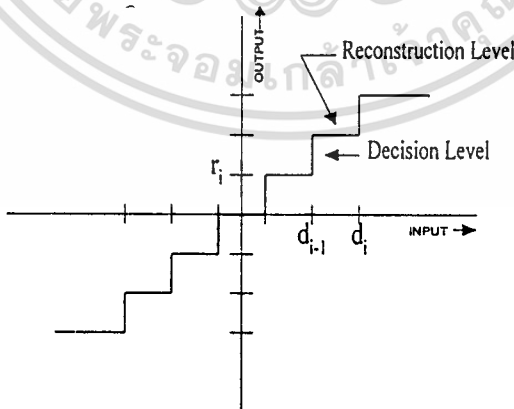
อินพุตก่อนที่จะผ่านการควอนไทซ์ ผลที่ได้นั้นเมื่อดูจากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแล้วจะมีความราบเรียบเป็นอย่างมาก และโดยทั่วไปแล้วรูปแบบของการควอนไทซ์นั้นสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ด้วยกันคือ [5]

- 1. ตัวควอนไทซ์แบบมิดเทรด (Midtread quantizer)
- 2. ตัวควอนไทซ์แบบมิดไรซ์ (Midrise quantizer)

เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาที่การควอนไทซ์แบบยูนิฟอร์มแล้วสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบเหมือนกันคือ

- 1. ตัวควอนไทซ์แบบมิดเทรดยูนิฟอร์ม (Midtread uniform quantizer) ลักษณะของการควอนไทซ์แบบนี้ คือค่าของสัญญาณอินพุตที่อยู่ในช่วงใกล้กับค่าที่เป็นศูนย์นั้นจะถูกแทนด้วยค่าของสัญญาณเข้าที่พุดที่เป็นศูนย์ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก)
- 2. ตัวควอนไทซ์แบบมิดไรซ์ยูนิฟอร์ม (Midrise uniform quantizer) จากในภาพที่ 6 (ข) จะมีสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณที่อยู่ใกล้กับค่าที่เป็นศูนย์ในช่วงบวก (+) และลบ (-) โดยแทนค่าสัญญาณอินพุตใกล้กับค่าที่เป็นศูนย์ทางด้านบวก ด้วยค่าของระดับที่เป็นค่าบวกให้กับสัญญาณเข้าที่พุด และแทนค่าสัญญาณอินพุตใกล้กับค่าที่เป็นศูนย์ทางด้านลบ ด้วยค่าของระดับที่เป็นค่าลบให้กับสัญญาณเข้าที่พุด

ภาพที่ 7



แสดงระดับของการควอนไทซ์

ในการประมวลผลของสัญญาณทางเชิงเลข จะแบ่งระดับหรือย่านของข้อมูลออกเป็นช่วงๆ โดยที่แต่ละช่วงจะแทนระดับของข้อมูลที่เป็นค่าเดียวๆ ในที่นี้ก็คือการควอนไทซ์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท [6] ได้แก่

- 1. แบบยูนิฟอร์ม (Uniform)
- 2. แบบนอน-ยูนิฟอร์ม (Non-Uniform)

ในที่นี้ได้เลือกการควอนไทซ์แบบยูนิฟอร์مدังแสดงในภาพที่ 7 ในการออกแบบตัวควอนไทซ์นั้นโดยจะมี $d_i ; i = 0,1,2,...,L$ หมายถึงระดับของการตัดสินใจ (Decision Level) เมื่อมีข้อมูลอินพุตเข้ามาในช่วงของระดับการตัดสินใจจะทำให้เกิด $r_i ; i = 1,2,3,...,L$ ซึ่งหมายถึงระดับของข้อมูลผลลัพท์ (Reconstruction Level) โดยที่

$$\begin{aligned} d_i - d_{i-1} &= \Delta \quad ; 1 \leq i \leq L \\ r_i &= \left[\frac{d_i + d_{i-1}}{2} \right] / 2 \quad ; 1 \leq i \leq L \end{aligned} \tag{2.3}$$

เมื่อ Δ เรียกว่าช่วงห่างของการควอนไทซ์ ซึ่งจาก (2.3) จะเห็นว่า Δ นี้เป็นค่าคงที่เท่ากันตลอดย่านของข้อมูลอินพุต จึงเรียกการควอนไทซ์นี้ว่าเป็นแบบยูนิฟอร์ม

การเข้ารหัสแบบซอร์ส (Source coding)

การเข้ารหัสแบบซอร์ส เป็นการเข้ารหัสเพื่อทำการบีบอัดข้อมูล ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งการบีบอัดข้อมูลโดยไม่มีการสูญเสียและแบบมีการสูญเสีย แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะกล่าวถึงแบบมีการสูญเสียมากกว่า เนื่องจากสามารถให้อัตราของการบีบอัดที่ดีกว่า จากตารางที่ 1 นั้นจะแบ่งเทคนิคของการเข้ารหัสแบบหลายๆ ได้เป็น

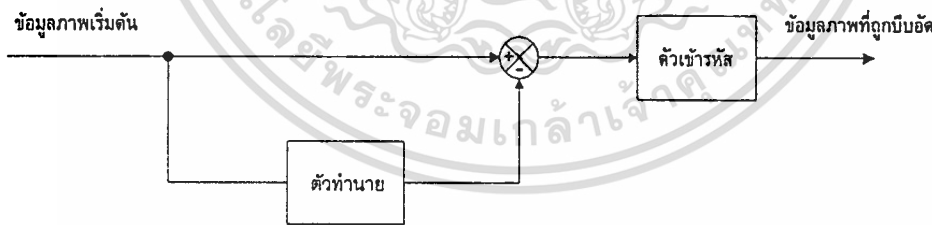
- 1. การเข้ารหัสทำนาย
- 2. การเข้ารหัสการแปลงรูป
- 3. การเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง

การเข้ารหัสทำนาย (Predictive coding)

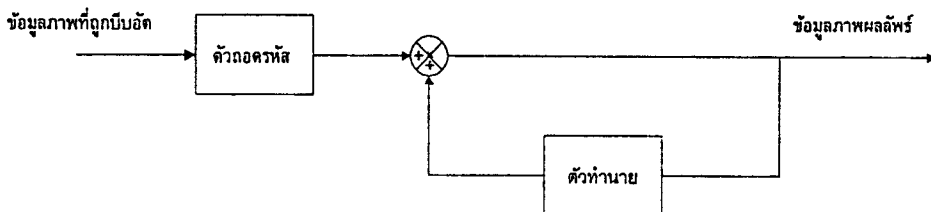
ในกรณีของข้อมูลภาพโดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะเด่นในแง่ของจุดภาพที่อยู่ติดกันจะมีความสัมพันธ์ต่อกันสูง (High correlations) นั่นคือค่าของข้อมูลข่าวสารซึ่งในที่นี้จะเป็นจุดภาพสามารถทำการหาได้จากการตรวจสอบจากค่าของจุดภาพที่อยู่บริเวณรอบๆ ของจุดภาพที่เราสนใจ จากคุณสมบัตินี้เองได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการเข้ารหัสแบบทำนาย วิธีการนี้ทำขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งจุดภาพจากการทำนายโดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่คำนวณจากจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดที่จะถูกทำนาย วิธีหนึ่งของการนำเทคนิคนี้มาใช้ก็คือการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิง-อนุพันธ์ที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless differential pulse code modulation, DPCM) ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยภาพ (ก) เป็นการเข้ารหัสจากผลต่างที่ได้ระหว่างข้อมูลเริ่มต้นกับค่าที่ได้จากตัวทำนาย ส่วนภาพ (ข) เป็นตัวถอดรหัสเมื่อรับข้อมูลที่เข้ามาจากภาพ (ก) จะนำมาบวกกับค่าของตัวทำนายที่มีฟังก์ชันของตัวทำนายเช่นเดียวกันกับตัวเข้ารหัส ซึ่งผลที่ได้ออกมานั้นจะเรียกว่าข้อมูลผลลัพธ์

ในการลดขนาดของข้อมูลส่วนใหญ่แล้วนิยมที่จะยอมให้เกิดการสูญเสียของข้อมูลบางส่วนไป ซึ่งสามารถทำให้อัตราของจำนวนบิตต่อจุดภาพที่ได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลดขนาด

ภาพที่ 8



(ก)



(ข)

ภาพ (ก) และ (ข) แสดงบล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสข้อมูลภาพการถอดรหัสข้อมูลภาพด้วยวิธีการเข้ารหัสทำนายตามลำดับ

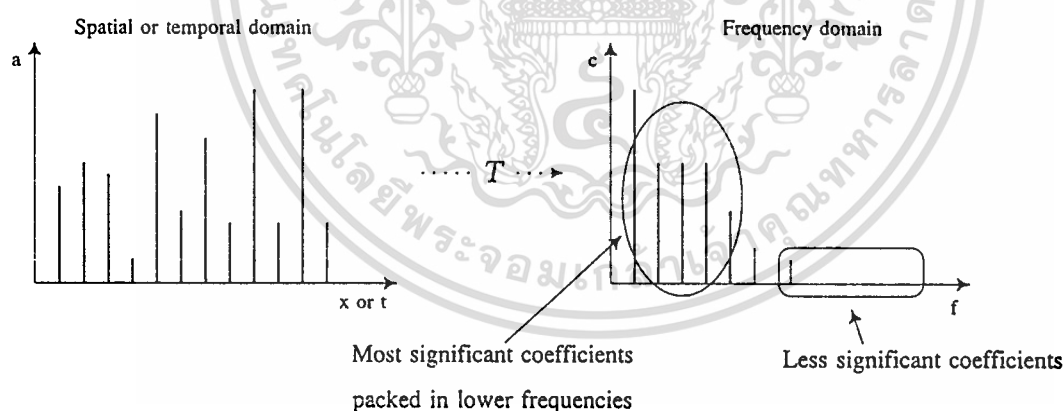
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้อมูลที่ไม่เกิดการสูญเสีย และผลที่ตามมาของวิธีการนี้ก็คือภาพของผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณภาพด้อยลง (Degradations) แต่ในการด้อยลงไปนี้อาจจะปรากฏออกมาให้เห็นหรืออาจจะไม่ปรากฏก็ได้ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติในการมองเห็นที่ต่างกันของสายตามนุษย์ [4]

การเข้ารหัสภาพแบบการแปลงรูป

การเข้ารหัสการแปลงรูปนี้ถือเป็นขั้นตอนแรกของการเข้ารหัสแบบฮอว์ธอร์ส โดยหลักของการเข้ารหัสแปลงรูปก็คือ เป็นการนำข้อมูลเริ่มต้นซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในสเปเชียลโดเมน (Spatial-domain) มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปของโดเมนอื่นๆ ที่เหมาะสมสำหรับวิธีการบีบอัดนั้นๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วการแปลงจะอยู่ในโดเมนของความถี่ กระบวนการแปลงแต่ละแบบสามารถทำกลับให้อยู่ในรูปแบบเดิมได้โดยการแปลงข้อมูลกลับ (Inverse transform) ดังตัวอย่างในภาพที่ 9 การแปลงจากโดเมนสเปเชียลไปสู่โดเมนของความถี่ โดยหลังจากการแปลงแล้วจะได้สัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญสูง (Most significant coefficients) และนัยสำคัญน้อย (Less significant coefficients)

ภาพที่ 9



แสดงตัวอย่างการเข้ารหัสการแปลงจากโดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่ง

(a เป็นค่าขนาดของสัญญาณ และ c เป็นค่าขนาดของกลุ่มพลังงาน)

การแปลงมีด้วยกันหลายแบบ ตัวอย่างเช่นการแปลงแบบฟูริเยร์ (Fourier transform) โคไซน์ (Cosine transform) แบบฮาร์ (Haar transform) แบบฮาร์ดามาร์ด (Hadamard transform) หรือการแปลงแบบคาร์ฮูเนนเลิฟ (Karhunen Loeve transform) เป็นต้น และที่นิยมมากในการนำมาใช้สำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพก็คือการแปลงแบบโคไซน์

เอ็กสเพรสชันเป็นเอ็กสเพรสชันที่แสดงถึงวิธีการแปลงนี้เพื่อที่วิศวกรจะเข้าใจว่าทำไมมันไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงดีสคริตโคไซน์

การแปลงดีสคริตโคไซน์ (DCT) นั้น เป็นวิธีที่นิยมมากในเรื่องของการบีบอัดของข้อมูล ที่ต้องการความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ [4] และวิธีการนี้ก็เป็นกระบวนการของการบีบอัดข้อมูล ที่มีการสูญเสีย (Lossy compression) โดยวิธีที่ใช้เป็นมาตรฐานอยู่ขณะนี้ก็คือ JPEG (Joint photography expert group) โดยมีพื้นฐานของการแปลงดีสคริตโคไซน์เป็นหลัก

โดยการนำข้อมูลภาพเริ่มต้น (Source image) มาทำการแบ่งเป็นบล็อกของข้อมูล เช่น บล็อกข้อมูลขนาด 8x8 จุดภาพ เป็นต้น โดยที่แต่ละบล็อกจะไม่มี การซ้อนทับกัน ในแต่ละบล็อก นั้นจะใช้การแปลงดีสคริตโคไซน์แบบ 2 มิติ เข้ามาทำการแปลงโดยแสดงดังสมการที่ (2.4) และ ทำนองเดียวกันเมื่อต้องการแปลงกลับจะทำการแปลงกลับด้วยการแปลงกลับแบบดีสคริตโคไซน์ (Inverse DCT) ดังแสดงในสมการที่ (2.5)

สมการการแปลงดีสคริตโคไซน์ (Forward DCT)

$$F(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(u) C(v) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) \cos \left[\frac{\pi (2i+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi (2j+1)v}{2N} \right] \quad (2.4)$$

สมการการแปลงกลับดีสคริตโคไซน์ (Inverse DCT)

$$f(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u) C(v) F(u, v) \cos \left[\frac{\pi (2i+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi (2j+1)v}{2N} \right] \quad (2.5)$$

โดย

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & ; u, v = 0 \\ 1 & ; other \end{cases}$$

และ

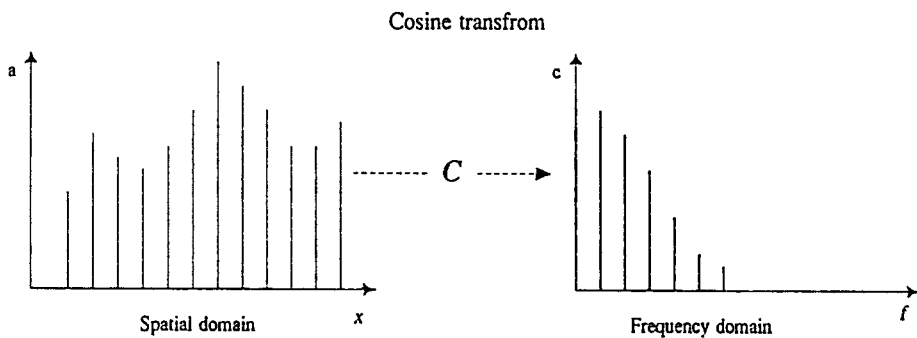
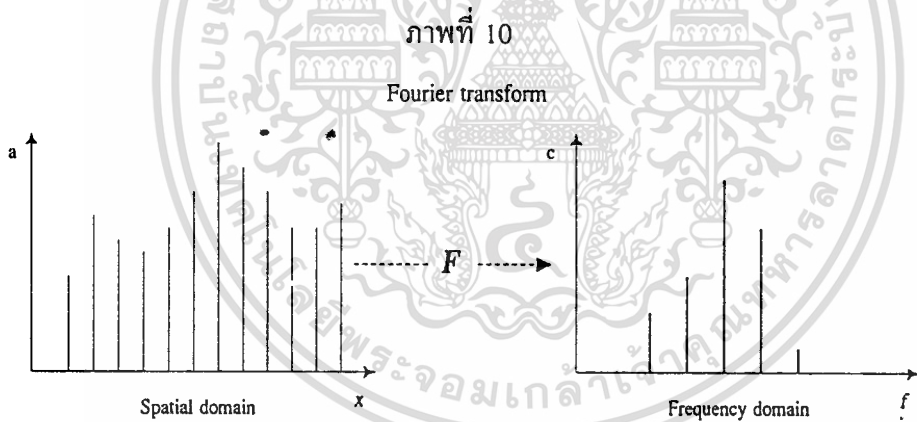
$f(i, j)$ เป็นข้อมูลภาพเริ่มต้นและภาพผลลัพธ์

$F(u, v)$ เป็นสัมประสิทธิ์ของการแปลง

ภาพที่ 10 นั้นเป็นการทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในโดเมนของความถี่ ซึ่งข้อมูลในโดเมนความถี่จะมีลักษณะเด่นอยู่ 3 ประการที่เห็นได้ชัด

1. ค่าความถี่ที่ศูนย์ จะเป็นค่าของความเข้มเฉลี่ยของข้อมูล
2. ค่าความถี่สูงเป็นค่าที่บอกถึงข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง
3. ค่าความถี่ต่ำ เป็นค่าที่บอกรายละเอียดโดยรวมของข้อมูล

จากภาพที่ 10 จะสังเกตได้ว่าพลังงานที่ได้ในโดเมนของความถี่ของการแปลงแบบฟูริเยร์ นั้นจะมีลักษณะของการกระจายที่มากกว่าการแปลงแบบดิสคริตโคไซน์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากภาพที่ 11 แสดงการแปลงข้อมูล 2 มิติ โดย a เป็นค่าขนาดของสัญญาณ และ c เป็นค่าขนาดของกลุ่มพลังงาน

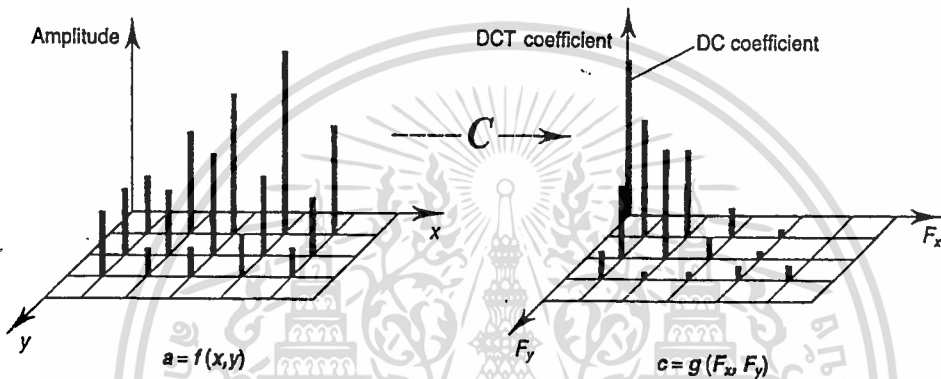


แสดงการแปลงแบบฟูริเยร์และการแปลงแบบดิสคริตโคไซน์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละบล็อกของ 8×8 นั้นจะมีด้วยกันทั้งหมด 64 ค่า โดยแต่ละค่าจะแสดงขนาด (Amplitude) ของแต่ละค่าที่เข้ามา ขนาดของสัญญาณนี้จะเป็นฟังก์ชันของจุดพิกัด 2 จุด โดยสมมติให้ $a = f(x, y)$ โดย x, y จะเป็นมิติของสเปเชียลโดเมน โดยตัวอย่างในภาพที่ 11 และ 12 แสดงภาพในลักษณะ 3 มิติ ในบางส่วนของบล็อก 8×8

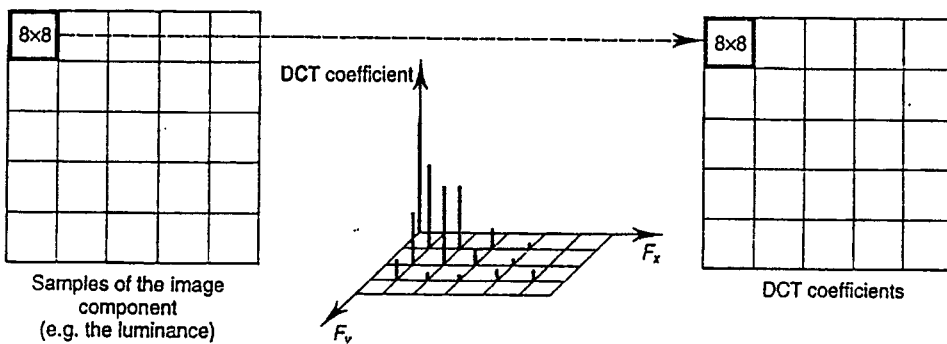
ภาพที่ 11



แสดงการแปลงดิสครีตโคไซน์แบบ 2 มิติ

หลังจากผ่านกระบวนการแปลงด้วยดิสครีตโคไซน์มาจะได้รูปแบบของฟังก์ชันที่อยู่ในโดเมนของความถี่โดยสมมติให้มีฟังก์ชันเป็น $c = g(F_x, F_y)$ โดย c จะเป็นค่าของสัมประสิทธิ์ ส่วนค่าของ F_x และ F_y จะแสดงถึงค่าที่เกิดขึ้นในแกนของความถี่ในแต่ละทิศทาง โดยจากภาพที่ 12 เป็นการแสดงการแปลงรูปแบบดิสครีตโคไซน์

ภาพที่ 12



แสดงการแปลงดิสครีตโคไซน์ที่ทำในบล็อกขนาด 8×8

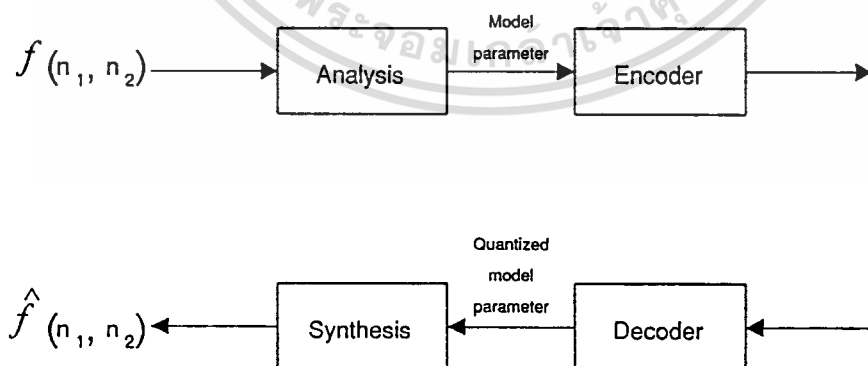
สัมประสิทธิ์ของ $g(0,0)$ นั้นจะเป็นสัมประสิทธิ์ที่ค่าความถี่ 0 ซึ่งจะเรียกว่าสัมประสิทธิ์ DC ซึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าในแต่ละบล็อก

ในแต่ละค่าภายในบล็อกของข้อมูลภาพ ซึ่งโดยปกติค่าของจุดภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยจากจุดถึงจุด ดังนั้นขนาดของความถี่ที่ต่ำที่สุดจะสูงที่สุด ส่วนค่าของความถี่กลางและสูงจะมีค่าที่น้อยหรืออาจจะเป็นศูนย์ซึ่งในส่วนนี้จะไม่นำมาใช้ อาจจะต้องตัดทอนลงไปถึงจะเห็นจากภาพที่ 12

การเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง (Image model coding)

ในการเข้ารหัสภาพจำลองนั้น ข้อมูลภาพหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของข้อมูลภาพจะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองและพารามิเตอร์ของแบบจำลองนี้จะใช้สำหรับการสังเคราะห์ข้อมูลของภาพผลลัพธ์ ทางด้านตัวส่งนั้นจะนำข้อมูลภาพเริ่มต้นมาทำการวิเคราะห์ (Analysis) เพื่อที่จะประมาณให้เป็นค่าของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และทางด้านของตัวรับนั้นจะทำการสังเคราะห์ (Synthesis) ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้จากถูกประมาณและควอนไทซ์มาสร้างข้อมูลภาพผลลัพธ์ ดังภาพที่ 13 แสดงการเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง ซึ่งส่วนที่สำคัญของการเข้ารหัสแบบนี้จะอยู่ที่ระบบของการวิเคราะห์และการสังเคราะห์ (Analysis/Synthesis) การเข้ารหัสแบบการจำลอง

ภาพที่ 13



แสดงการเข้ารหัสด้วยภาพจำลอง

ข้อมูลภาพนี้มีศักยภาพที่สูงสำหรับการสังเคราะห์ข้อมูลภาพให้ได้อย่างชัดเจนที่อัตราของบิต (Bit rate) ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การแปลงรูป (Transforms) หลายๆ แบบ [5] วิธีการในการสังเคราะห์ภาพของการเข้ารหัสแบบการจำลองข้อมูลภาพนั้น ไม่ต้องการรายละเอียดของความเข้มของภาพ ยกตัวอย่างเช่น ส่วนที่เป็นพื้นหลังของภาพ เช่น พื้นหญ้า ฟ้า และกำแพง อาจจะเป็นสิ่งที่ไม่สำคัญสำหรับความชัดเจนของภาพ โดยเราอาจจะสามารถแทนพื้นหลังของภาพเหล่านั้นด้วยพื้นหลังของภาพที่คล้ายๆ กันที่สามารถสังเคราะห์ได้จากการสร้างแบบจำลองอย่างง่าย (Simple model) ขึ้นมา

ในการเข้ารหัสแบบการจำลองข้อมูลภาพเราพยายามที่จะรักษารายละเอียดในส่วนที่สำคัญของข้อมูลภาพเช่นขอบของวัตถุในภาพเอาไว้เพื่อความชัดเจนของภาพผลลัพธ์ และทำการประมาณอย่างหยาบๆ ในส่วนของข้อมูลที่มีรายละเอียดในส่วนที่สำคัญน้อย เช่น ภาพพื้นหลัง (Background) เป็นต้น ด้วยการจำลองของข้อมูลภาพอย่างง่าย (Simple image model) ในการปรับความคมชัดของการเข้ารหัสแบบการแปลงรูปนั้นจะพยายามที่จะสร้างค่าของข้อมูลผลลัพธ์ให้มีค่าของข้อมูลภาพที่มีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของภาพเริ่มต้น (Original image) ซึ่งจะแทนด้วย $f(n_1, n_2)$ ในการเข้ารหัสการแปลงรูปนั้นความแตกต่างระหว่างภาพเริ่มต้น $f(n_1, n_2)$ และภาพผลลัพธ์ $\hat{f}(n_1, n_2)$ จะมาจากการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเข้ารหัสแบบการแปลงรูปแล้วนำมาผ่านการควอนไทซ์ แต่ถ้าจะให้ $f(n_1, n_2)$ สามารถที่จะสร้างขึ้นมาอย่างถูกต้องโดยมีค่าของความแตกต่างที่เล็กมากหรือเกือบจะไม่มีเลยนั้น พารามิเตอร์ ที่ได้จากวิธีเดียวกันดังกล่าวดังกล่าวจะต้องไม่นำผ่านการควอนไทซ์

ส่วนในการเข้ารหัสแบบการจำลองข้อมูลภาพนั้นความแตกต่างระหว่าง $f(n_1, n_2)$ และการวิเคราะห์ $\hat{f}(n_1, n_2)$ จะได้มาจากการนำพารามิเตอร์ของการจำลองข้อมูลมาผ่านการควอนไทซ์ จึงทำให้เกิดการผิดพลาดของการจำลองแบบข้อมูล (Modeling error) และโดยทั่วๆ ไปแล้วจะเป็นไปได้ยากที่การนำค่าของพารามิเตอร์แบบจำลองมาทำการสร้างข้อมูลภาพผลลัพธ์ $\hat{f}(n_1, n_2)$ ขึ้นมาได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพเริ่มต้น $f(n_1, n_2)$ แม้กระทั่งไม่มีการนำพารามิเตอร์นี้มาผ่านการควอนไทซ์ก็ตาม ถึงกระนั้นจำนวนของพารามิเตอร์โดยรวมของการเข้ารหัสแบบการจำลองข้อมูลภาพจะมีจำนวนที่น้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเข้ารหัสแบบอื่นๆ เช่นการเข้ารหัสแบบการแปลงรูป เป็นต้น สิ่งนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการเข้ารหัสแบบการจำลองข้อมูลภาพซึ่งเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานหรือระบบที่ต้องการอัตราของบิตที่ต่ำมาก

มาตรฐานของการบีบอัดข้อมูลภาพนิ่ง

การบีบอัดข้อมูลภาพโดยทั่วไปจะมีอัลกอริทึมที่ใช้เป็นมาตรฐานอยู่ชนิดหนึ่งนั่นก็คือมาตรฐาน JPEG โดยตัว JPEG นี้เป็นมาตรฐานของการบีบอัดข้อมูลที่นำมาใช้กับภาพนิ่งทั้งที่เป็นภาพสีเทา (Gray-scale images) หรือภาพสี (Color images) ซึ่งหลักการทำงานของ JPEG จะเป็นการผสมผสานกันของการแปลงแบบดิสครีตโคไซน์ การควอนไทซ์ การเข้ารหัสแบบ DPCM เทคนิคการเข้ารหัสแบบ Run-length และการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน โดยตัว JPEG เองมีความสามารถทำงานได้ทั้งแบบการบีบอัดข้อมูลที่มีการสูญเสียและที่ปราศจากการสูญเสีย และสามารถอธิบายถึงหลักการทำงานได้ดังนี้

1. นำข้อมูลภาพเริ่มต้นมาแบ่งออกเป็นบล็อก เช่นขนาดของบล็อก 8×8 เป็นต้น แล้วนำแต่ละบล็อกมาทำการแปลงข้อมูลโดยใช้หลักของการแปลงดิสครีตโคไซน์แบบ 2 มิติ ค่าที่ได้จากการแปลงในแต่ละบล็อกจะเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการแปลง
2. สัมประสิทธิ์ที่ได้ในแต่ละบล็อกจะถูกทำการให้น้ำหนัก (Weight) หรือที่เรียกว่า Normalize โดยทำการสร้างเมทริกซ์ Normalize ที่มีขนาดเท่ากับบล็อกขึ้นมา ซึ่งค่าของเมทริกซ์นี้จะเป็นค่าคงที่จำนวนเต็มจริงขนาด 8 บิต โดยใช้ค่านี้ทำการ Normalize กับทุกๆ บล็อกของสัมประสิทธิ์การแปลง
3. สัมประสิทธิ์ตัวที่อยู่ทางด้านบนซ้ายสุดของแต่ละบล็อกจะเรียกว่าสัมประสิทธิ์แบบ DC สัมประสิทธิ์นี้ภายหลังจากการควอนไทซ์แล้วจะถูกนำมาเข้ารหัส DPCM ที่ไม่เกิดการสูญเสียด้วยการใช้ตัวทำนายแบบ 1 มิติ (1-D Predictor) การเข้ารหัสแบบนี้จะได้ค่าความแตกต่างของสัมประสิทธิ์ของ DC ในแต่ละบล็อกออกมา แล้วนำค่าของความแตกต่างนี้มาทำการเข้ารหัสโดยใช้ตารางการเข้ารหัสแบบ ฮัฟแมน แล้วส่งไปยังตัวรับซึ่งจะเรียกส่วนนี้ว่าส่วนของ Header information
4. สัมประสิทธิ์ที่เหลือของแต่ละบล็อกคือสัมประสิทธิ์ AC ภายหลังจากการควอนไทซ์ สัมประสิทธิ์นี้จะทำให้เกิดค่าที่เป็นศูนย์ (0) เสียส่วนใหญ่ของแต่ละบล็อก โดยจะเกิดเฉพาะกับความถี่ที่สูงๆ แล้วนำค่าเหล่านี้มาผ่านกระบวนการหนึ่งที่จะเปลี่ยนสัมประสิทธิ์ในรูปของ 2

มิติให้อยู่ในรูปของ 1 มิติซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการซิกแซก (Zig-Zag) ทำโดยการจัดเรียงค่าของสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากไปหาน้อย

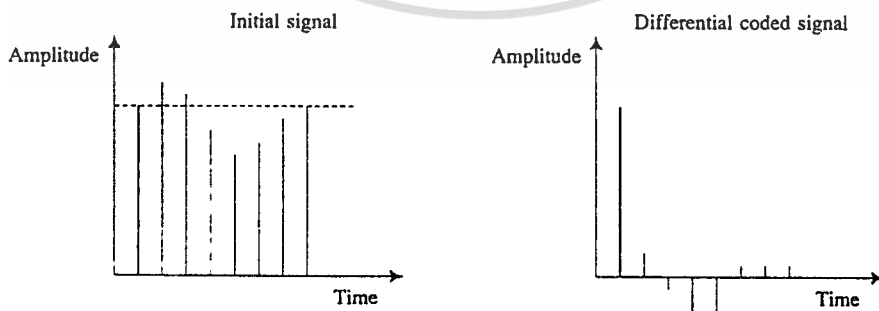
5. นำสัมประสิทธิ์ AC ที่ไม่เป็นศูนย์ ที่ได้มาทำการเข้ารหัสซึ่งเรียกส่วนนี้ว่าส่วนประกอบของข้อมูลข่าวสาร
6. ทางด้านของตัวถอดรหัส ข้อมูลที่รับเข้ามาจะถูกถอดรหัสครั้งแรกด้วยตัวถอดรหัสแบบฮัฟแมน และจะได้สัมประสิทธิ์ที่อยู่ในรูปของการควอนไทซ์ออกมา แล้วนำค่าของสัมประสิทธิ์นี้มาทำการ Denormalize ด้วยการคูณแอมพลิจูดของ Normalize และจะได้บล็อกออกมาอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ DCT ซึ่งเป็นค่าของความถี่ จึงต้องทำการแปลงกลับเพื่อให้อยู่ในรูปของข้อมูลจุดภาพด้วยการแปลงกลับของดิสครีตโคไซน์ ซึ่งผลที่ได้นั้นจะสามารถประมาณว่ามีค่าข้อมูลผลลัพธ์ (Reconstruction image) ใกล้เคียงกับค่าของข้อมูลเริ่มต้นทั้งนี้ค่าที่ผิดพลาดของข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นจะมากเท่าไรขึ้นอยู่กับค่าของการควอนไทซ์

บทที่ 3

การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจมาก เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเข้ารหัสแบบอื่นๆ วิธีนี้จะอาศัยเทคนิคของการเข้ารหัสทำนายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของการเข้ารหัสแบบซอร์สในบทที่ 2 โดยผลที่ได้จากการทำนายนี้จะนำมาลบกับค่าของข้อมูลภาพเริ่มต้นเพื่อหาค่าของความแตกต่างหรือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทำนายแล้วนำมาทำการควอนไทซ์ ก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลหรือส่งออกไปตามข่ายของการสื่อสารต่างๆ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 14 รูปทางด้านซ้ายแสดงกราฟที่หนาจะแสดงถึงค่าของข้อมูลที่นำมาใช้เป็นค่าเริ่มต้น (Initial signal) ให้กับฟังก์ชันของการทำนายซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของวิธีนี้ และรูปทางขวามือนั้น แสดงกราฟบางจะแสดงถึงค่าของผลต่างระหว่างข้อมูลเริ่มต้นกับค่าของข้อมูลที่ได้จากการทำนาย

ภาพที่ 14



แสดงกราฟผลของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทั่วไป

การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์นั้น จะแบ่งเป็นขั้นตอนของการเข้ารหัสเพื่อที่จะเก็บหรือส่ง และขั้นตอนของการถอดรหัส ในขั้นตอนแรกฟังก์ชันตัวทำนายจะมีหน้าที่ทำนายข้อมูลของจุดภาพปัจจุบันโดยอาศัยข้อมูลของจุดภาพก่อนหน้านี้ในอดีตที่อยู่ติดกัน ผลของข้อมูลจุดภาพที่ได้จากการทำนายจะนำมาทำการลบกับจุดของข้อมูลภาพเริ่มต้นแบบจุดต่อจุดซึ่งจะทำให้ได้ค่าของความแตกต่างออกมา แล้วนำมาผ่านกระบวนการควอนไทซ์เพื่อจัดระดับกลุ่มของข้อมูลในระดับที่เหมาะสม และข้อมูลที่ผ่านการควอนไทซ์แล้วจะถูกนำมาจัดเรียงบิตซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้การเข้ารหัสแบบฮัฟแมนซึ่งเป็นที่นิยมทั่วไปแต่อาจจะมีแบบอื่นที่ดีกว่าแต่ในที่นี้จะไม่กล่าวถึง ซึ่งผลที่ได้จากขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีขนาดเล็กมากซึ่งพร้อมที่นำไปทำการเก็บเป็นฐานข้อมูลหรือทำการส่งออกไปตามข่ายของการสื่อสารแบบต่างๆ ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนของการถอดรหัส เมื่อมีการรับข้อมูลที่เข้ารหัสเข้ามาซึ่งอยู่ในรูปของค่าความแตกต่าง ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงต้องสร้างค่าของข้อมูลจากการทำนายแบบเดียวกันขึ้นมาแล้วนำไปบวกกับค่าของข้อมูลผลต่างที่เข้ามาทางอินพุตของตัวถอดรหัส โดยผลของการบวกจะเป็นค่าของข้อมูลผลลัพธ์ซึ่งถือว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลภาพเริ่มต้น ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการแบ่งระดับความละเอียดและชนิดของการควอนไทซ์

ขั้นตอนการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

ให้ $f(m,n)$ เป็นข้อมูลภาพเริ่มต้นที่เข้ามาทางอินพุตของภาพที่ 15 โดยแทนข้อมูลนี้ด้วยระดับสีเทาของจุดภาพที่ตำแหน่งของแถวที่ " m " และหลักที่ " n " ของภาพ ค่าระดับสีเทานี้จะอยู่ในย่านของจำนวนเต็มบวกตั้งแต่ 0 ถึง $(2^B - 1)$ โดยที่ B คือจำนวนของบิตที่ใช้แสดงในแต่ละจุดภาพและค่าจำกัดความจะเป็นดังนี้

$\hat{f}(m,n)$ ค่าที่ได้ของการทำนาย

$e(m,n)$ ค่าความแตกต่างหรือผิดพลาดจากการทำนาย

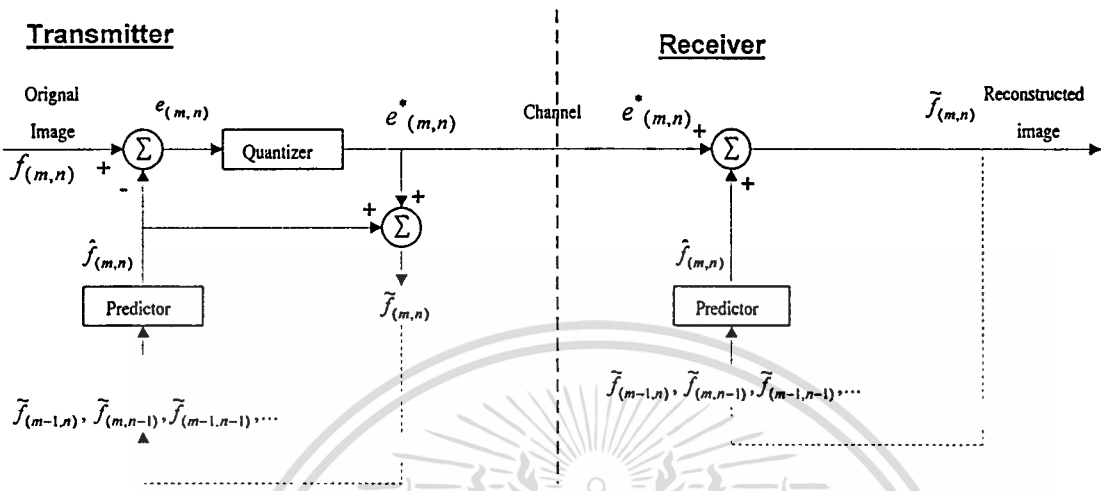
$e^*(m,n)$ ค่าที่ได้จากการควอนไทซ์ $e(m,n)$

$q(m,n)$ ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการควอนไทซ์ $e(m,n)$

$\tilde{f}(m,n)$ ค่าที่สร้างกลับมาได้ใกล้เคียงกับค่าต้นแบบ

$r(m,n)$ ค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลเริ่มต้นกับข้อมูลผลลัพธ์

ภาพที่ 15



แสดงบล็อกไดอะแกรมของวิธี DPCM ทั้งด้านส่งและด้านรับ

ขั้นตอนของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์นี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\hat{f}(m,n) = \text{Predictor} \{f(m,n)\} \quad (3.1)$$

ในสมการ (3.1) $\hat{f}(m,n)$ เป็นฟังก์ชันของการทำนาย (Predictor) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลเริ่มต้น ตามขั้นตอนของภาพที่ 15

ผลต่างระหว่างข้อมูลที่ต้องการเข้ารหัสและข้อมูลที่ได้จากตัวทำนายเรียกว่าค่าผิดพลาดหรือค่าผลต่างของตัวทำนาย

$$e(m,n) = f(m,n) - \hat{f}(m,n) \quad (3.2)$$

ค่าผลต่างนี้คือข้อมูลที่ใช้ในการส่งสำหรับข้อมูลเริ่มต้น $f(m,n)$ แต่ละตัว ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดของข้อมูลทั้งหมดจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูล ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดมีค่าต่ำหมายถึงอัตราการบีบอัดข้อมูลที่สูงนั่นเอง

ในทางปฏิบัติ ก่อนที่จะส่งค่าผลต่าง $e(m,n)$ ออกไป เราอาจจะทำการควอนไทซ์เพื่อจัดกลุ่มของข้อมูล ซึ่งจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e^*(m,n) = e(m,n) - q(m,n) \quad (3.3)$$

หลังจากนั้น จึงนำมาเข้ารหัสเพื่อกำหนดรหัสคำ (Codeword) โดยวิธีการของฮัฟแมนต่อไป จากขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของทางตัวส่งหรือตัวเข้ารหัสโดยพร้อมที่จะนำข้อมูลส่วนนี้ไปเก็บเป็นฐานข้อมูลหรือทำการส่งออกในข่ายการสื่อสารต่างๆ โดยในที่นี้จะไม่แสดงในส่วนของการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน

ในขั้นตอนของทางด้านตัวรับหรือตัวถอดรหัสข้อมูล โดยเมื่อตัวรับได้รับ $e^*(m,n)$ เข้ามาตัวรับจะทำการสร้าง $\hat{f}(m,n)$ ขึ้นมาซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับสมการ (3.1) แล้วนำมาบวกเข้ากับ $e^*(m,n)$ ทำให้ได้

$$\tilde{f}(m,n) = \hat{f}(m,n) + e^*(m,n) \quad (3.4)$$

โดยจะถือว่า $\tilde{f}(m,n) \equiv f(m,n)$ นั่นคือค่าของข้อมูลผลลัพธ์จะมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลเริ่มต้นมากที่สุด ซึ่งความใกล้เคียงนี้เราจะวัดจากค่าของ $r(m,n)$ โดย

$$r(m,n) = f(m,n) - \tilde{f}(m,n) \quad (3.5)$$

จากสมการ (3.2) จะได้

$$f(m,n) = e(m,n) + \hat{f}(m,n) \quad (3.6)$$

และจากสมการ (3.4)

$$\hat{f}(m,n) = \tilde{f}(m,n) - e^*(m,n) \quad (3.7)$$

ดังนั้นแทน (3.6) และ (3.7) ใน (3.5) จะได้

$$r(m,n) = e(m,n) - e^*(m,n) \quad (3.8)$$

และจากสมการ (3.3) จะได้

$$r(m,n)=q(m,n)$$

(3.9)

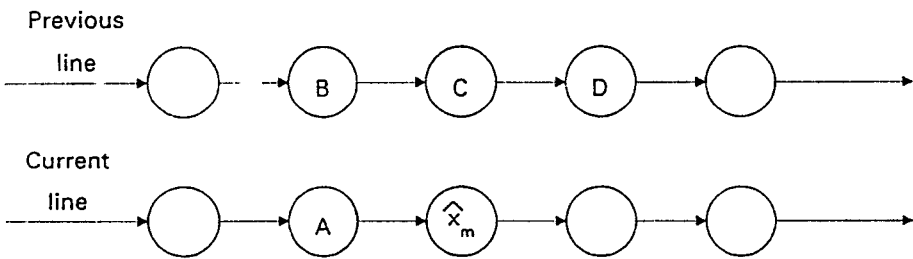
ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าผิดพลาดหลังการสร้างภาพข้อมูลผลลัพธ์จะสัมพันธ์กับค่าผิดพลาดจากการควอนไทซ์

ดังได้กล่าวมาแล้ว ฟังก์ชันของตัวทำนายมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อประสิทธิภาพของ DPCM ตัวทำนายที่นิยมใช้ทั่วไปมักใช้ฟังก์ชันแบบเชิงเส้น (Linear predictor) แต่ก็ได้มีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear predictor) สำหรับตัวทำนายเช่นเดียวกัน เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป

ตัวทำนายเชิงเส้น (Linear Predictor)

เนื่องจากธรรมชาติของข้อมูลภาพโดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กันสูง (High correlation) ในระหว่างจุดภาพที่อยู่ชิดกัน ดังจะเห็นได้จากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในภาพนั้น พบว่าโดยส่วนใหญ่เกรเดียนท์ของภาพจะมีค่าต่ำคือจะมีลักษณะของข้อมูลที่คล้ายกันนอกจากบริเวณของขอบภาพหรือขอบของวัตถุในภาพเท่านั้น นั่นคือโครงสร้างของการเข้ารหัสทำนายเชิงเส้นซึ่งใช้หลักของการทำนายเชิงเส้น (Linear prediction) เพื่อที่จะทำนายค่าของจุดภาพที่อยู่ถัดไป โดยอาศัยลักษณะพื้นฐานของข้อมูลภาพที่กล่าวมา และโดยทั่วไปแล้วในการนำเสนอวิธีการของการเข้ารหัสทำนายเชิงเส้น จะใช้การอธิบายจากวิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) วิธีการนี้จะหาค่าความแตกต่างของข้อมูลภาพ (Differential image) ซึ่งเกิดจากค่าของจุดภาพเริ่มต้นนำ

ภาพที่ 16



แสดงถึงโครงสร้างของการทำนาย

มาลบค่าจุดภาพที่ได้จากการทำนาย ดังนั้นตัวแปรหลักของวิธีการนี้คือตัวทำนาย โดยตัวทำนายนี้จะอ้างอิงจากพื้นฐานการทำนายเชิงเส้นจากภาพที่ 16 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

โดย

x_m เป็นค่าของจุดภาพจริงปัจจุบัน

$\hat{x}_m$ เป็นค่าของจุดภาพที่ได้จากการทำนายโดยมีสมการเป็น

$$\hat{x}_m = \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i x_i \quad (3.10)$$

α_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวทำนาย

และค่าของความแตกต่างของข้อมูลภาพคือ

$$e_m = x_m - \hat{x}_m \quad (3.11)$$

กลุ่มของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวทำนายนั้น อาจจะเป็นค่าคงที่ค่าๆ หนึ่งเพื่อใช้กับภาพทุกๆ ภาพ (Global prediction) หรืออาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อมีข้อมูลภาพใหม่เข้ามาชนิดภาพต่อภาพ (Local prediction) และถ้ามีการทำนายค่าของจุดภาพอยู่ในเส้นแกน (Scan line) เดียวกันจะเรียกว่า การทำนายแบบ 1 มิติ (1-D prediction) แต่ถ้ามีการนำค่าของจุดภาพในเส้นแกนเดียวกันรวมกับค่าของจุดภาพที่อยู่ในเส้นแกนก่อนหน้านั้น (Previous lines) แล้วจะเรียกว่า การทำนายแบบ 2 มิติ (2-D prediction) เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการทำนายแบบ 1 มิติกับการทำนายแบบ 2 มิติ แล้วพบว่าการใช้การทำนายแบบ 2 มิติ จะให้ผลในด้านคุณภาพของภาพที่ดีกว่าประมาณ 2-3 เดซิเบล[4] และจำนวนของจุดภาพที่นำมาใช้ในการทำนายจะถูกเรียกว่า อันดับ (Order) ของตัวทำนาย โดยอันดับที่เหมาะสมที่สุดจะใช้ที่อันดับ 3 [4]

สำหรับการหาค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวทำนายที่เหมาะสมนั้น (Optimal predictor) จะใช้ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย เป็นบรรทัดฐานในการหาสัมประสิทธิ์ของตัวทำนายที่เหมาะสม โดยการประมาณค่าของ x_m ที่ดีที่สุดก็คือจะได้ค่าของ $\hat{x}_m$ ที่มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากันนั้นคือค่าของ e_m จะต้องมิต่ำที่น้อยที่สุดแสดงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_e^2 = E\left[\left(x_m - \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i x_i\right)^2\right] \tag{3.12}$$

และค่าที่น้อยที่สุดจะหาจากการใช้สมการเชิงเส้น (Linear equation) โดยให้

$$E\left[\left(x_m - \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i x_i\right) x_i\right] = 0, \quad i = 0, 1, \dots, (m-1) \tag{3.13}$$

การเลือกค่าของสัมประสิทธิ์ที่เป็นแบบตัวทำนายครอบคลุม (Global predictor) โดยการตั้งสมมติฐานแบบจำลองของข้อมูลอย่างง่ายขึ้นมาและนำมาหาผลตอบสนองในสมการ (3.13) แบบจำลองของข้อมูลที่เราจะรู้จักอย่างหนึ่งก็คือ Markov model ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับข้อมูลของภาพหลายแบบ และการหาฟังก์ชัน Autocorrelation ของแบบจำลองนี้คือ

$$R_{k,l} = \bar{x}^2 + \sigma^2 \rho_v^{|k|} \rho_h^{|l|} \tag{3.14}$$

โดย

- $\bar{x}$ เป็นข้อมูลภาพเฉลี่ย
- σ^2 เป็นความแปรปรวนของข้อมูล
- k, l เป็นตำแหน่งของข้อมูลในแนวดิ่งและแนวนอนตามลำดับ
- ρ_v เป็นสัมประสิทธิ์ Correlation ทางแนวดิ่ง
- ρ_h เป็นสัมประสิทธิ์ Correlation ทางแนวนอน

สำหรับชนิดของข้อมูลที่เป็นข้อมูลภาพนั้นจะใช้ค่าของ ρ_v และ ρ_h ที่ไม่เกิน 0.9 [3] ยกตัวอย่างเช่นเมื่อพิจารณาตัวทำนายอันดับ 4 ที่มีสัมประสิทธิ์เป็น $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$ และ α_D โดยเป็นสัมประสิทธิ์ของจุดภาพ A, B, C และ D ตามลำดับ ตามภาพที่ 16 และประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพผลต่างที่ได้มาจากการลบกันของแต่ละจุดภาพทุกๆ จุดภาพเท่ากับศูนย์นั่นคือ $\bar{x} = 0$ ดังนั้นแล้วจากสมการที่ (3.13) จะได้สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองดังนี้ [4]

$$\alpha_A = \rho_h \quad \alpha_B = -\rho_h \rho_v \quad \alpha_C = \rho_v \quad \alpha_D = 0 \tag{3.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้ตัวทำนายเป็น

$$\hat{x}_m = \rho_h A - \rho_h \rho_v B + \rho_v C \quad (3.16)$$

ในการคำนวณเพื่อหาค่าของตัวทำนายที่เหมาะสมนั้น มักจะตั้งสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพเท่ากับศูนย์เสมอ แต่ปัญหาจะอยู่ที่ในทางปฏิบัติค่าเฉลี่ยอาจจะไม่เป็นศูนย์ ซึ่งผลที่จะตามมาก็คือทำให้การประมาณค่าของตัวทำนายเกิดการไบอัส (Bias) หรือออฟเซต (Offset) ขึ้นที่จุดของค่าเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ ตัวอย่างเช่นสมการของข้อมูลภาพผลต่างคือ

$$\begin{aligned} E\{e_m\} &= E\left\{x_m - \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i x_i\right\} \\ &= E\{x_m\} - \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i E\{x_i\} \\ &= \bar{x} \left(1 - \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i\right) \end{aligned} \quad (3.17)$$

เมื่อ $\bar{x}$ นั้นไม่เป็นศูนย์ จากสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพเท่ากับศูนย์ จะเห็นได้ว่าในสมการ (3.17) นั้นเทอมในวงเล็บต้องรวมกันแล้วเท่ากับศูนย์จึงจะทำให้การสมมติฐานเป็นจริงนั่นคือจะได้

$$\sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i = 1 \quad (3.18)$$

ทำนองเดียวกันสมการที่ (3.18) จะแสดงให้เห็นว่าค่าของสัมประสิทธิ์เมื่อรวมกันทั้งหมดแล้วจะต้องเท่ากับหนึ่งซึ่งจะเป็นตัวบังคับให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพเท่ากับศูนย์โดยไม่คำนึงถึงค่าของ $\bar{x}$ แต่จะมีข้อเสียที่อาจเป็นไปได้คือในเรื่องของ Channel error ที่เกิดขึ้นจะสามารถแพร่ผ่านไปยังในส่วนที่เหลือขณะทำการหาค่าของข้อมูลภาพผลลัพธ์ ดังนั้นโดยปกติจะให้ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงหนึ่งทั้งนี้สามารถที่จะลดการเกิดของ Channel error ลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า [3] และมีบางตัวอย่างของตัวทำนายดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{x} = 0.97A$$
$$\hat{x} = 0.50A+0.50B$$
$$\hat{x} = 0.90A-0.81B+0.90C$$
$$\hat{x} = 0.75A-0.50B+0.75C$$
$$\hat{x} = A-B+C$$

ตัวทำนาย 1 มิติ อันดับที่ 1

ตัวทำนาย 2 มิติ อันดับที่ 2

ตัวทำนาย 2 มิติ อันดับที่ 3

ตัวทำนาย 2 มิติ อันดับที่ 3

ตัวทำนาย 2 มิติ อันดับที่ 3

(3.19)

(3.20)

(3.21)

(3.22)

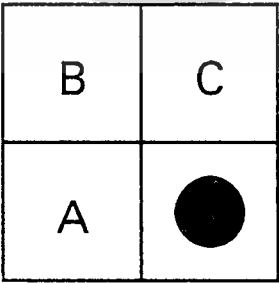
(3.23)

สำหรับชนิดของข้อมูลภาพ หรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลภาพโดยทั่วไปแล้ว ค่าของจุดภาพที่อยู่ชิดกันจะมีความสัมพันธ์กันสูง นั่นคือจำนวนของข้อมูลข่าวสารส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กันสูงระหว่างจุดภาพใดๆ กับค่าของจุดภาพที่อยู่รอบๆ จากคุณสมบัตินี้เองจึงสามารถสร้างตัวทำนายขึ้นมาโดยอาศัยหลักการของการทำนายเชิงเส้น (Linear Prediction) นำมาใช้เพื่อที่จะทำการทำนายค่าของจุดภาพโดยใช้จุดภาพที่อยู่รอบๆ เป็นตัวอ้างอิง ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 17 แสดงตำแหน่งของการทำนายแบบ 2 มิติ โดยจากที่กล่าวข้างต้น เราได้เลือกใช้การทำนายแบบ 2 มิติ อันดับที่ 3 ซึ่งกลุ่มของค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้จะเป็นแบบครอบคลุมก็จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์กับข้อมูลภาพเริ่มต้นที่เข้ามา โดยจาก [4] ได้มีตัวอย่างจากการทดลองหลายๆ ค่า ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์คือ $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.75$ และ $\alpha_3 = 0.50$ และเขียนเป็นสมการของการทำนายเชิงเส้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นแบบครอบคลุมได้คือ

$$f(m,n) = \alpha_1A - \alpha_3B + \alpha_2C$$

(3.24)

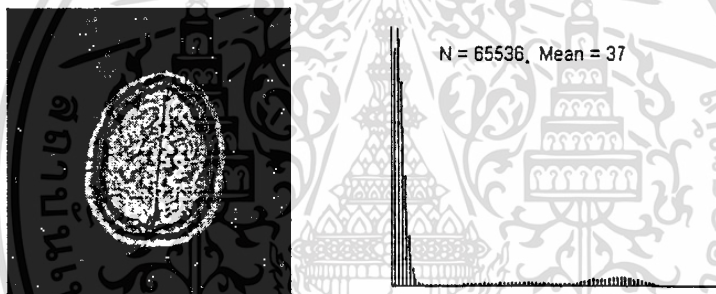
ภาพที่ 17



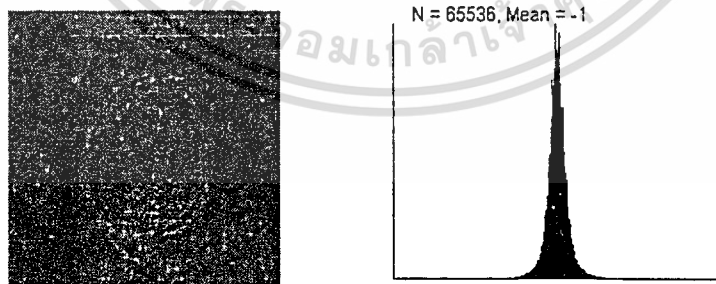
แสดงตำแหน่ง A, B, C ของจุดภาพใกล้เคียงกับจุดทำนาย

ค่าผิดพลาดของการทำนายคำนวณได้จากผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพจากการทำนาย ถูกนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการเข้ารหัสภาพมักจะมีฟังก์ชันของความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ที่สามารถประมาณโดยสมการของ Laplacian Distribution [2] โดยเราสังเกตได้ว่าข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงแคบๆ เท่านั้นและสามารถที่จะพิจารณาได้ดังภาพที่ 18 ซึ่งแสดงตัวอย่างกรณีภาพ MRI เปรียบเทียบให้เห็นระหว่างภาพเริ่มต้น (ก) ซึ่งมีรายละเอียดของจุดภาพสูงกับผลต่างที่เกิดขึ้นจากตัวทำนาย (ข) ซึ่งมีความแปรปรวนที่ต่ำกว่า

ภาพที่ 18



(ก)



(ข)

แสดงตัวอย่างภาพ MRI (ก) ภาพเริ่มต้น (ข) ภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพจากการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวทำนายแบบมัธยฐาน

ตัวกรองแบบมัธยฐานเป็นเทคนิคที่ใช้กับการประมวลสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น ที่มีประโยชน์มากสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนบนข้อมูลภาพ วิธีการทำงานของตัวกรองนี้ทำโดยสร้างหน้าต่าง (Window) ของตัวกรองขึ้นมาเช่นหน้าต่างขนาด 3×3 หรือ 5×5 ฯลฯ เป็นต้น ทำการเลื่อนหน้าต่างผ่านตามลำดับของจุดภาพ แล้วแทนค่าของจุดภาพที่สนใจกลางหน้าต่างนั้นด้วยค่ามัธยฐาน โดยกระทำเช่นเดียวกันนี้กับทุกๆ จุดของข้อมูลภาพ และที่สำคัญจำนวนของจุดในหน้าต่างจะต้องเป็นเลขคี่

การกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบนข้อมูลภาพนั้น เทคนิคของตัวกรองเชิงเส้นเฉลี่ยจุดข้างเคียง (Neighborhood averaging) นั้นสามารถที่จะกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีพอสมควร แต่เทคนิคนี้มีข้อเสียตรงที่ข้อมูลภาพหลังจากการผ่านตัวกรองชนิดนี้จะสูญเสียความคมชัดของขอบภาพไป แต่เทคนิคของตัวกรองแบบมัธยฐานมีข้อดีที่มากกว่าตัวกรองเชิงเส้นเฉลี่ยจุดข้างเคียงสามารถอธิบายได้ดังนี้ [8]

1. สามารถรักษารายละเอียดของภาพซึ่งถือเป็นข้อมูลที่สำคัญของข้อมูลภาพไว้ได้ โดยในขณะที่ตัวกรองเชิงเส้นเฉลี่ยจุดข้างเคียงนั้นจะทำให้สูญเสียความคมชัดของขอบภาพไป ทำให้ภาพที่ได้ลักษณะขาดความคมชัด (Blur)

2. มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยเฉพาะในแบบอิมพัลส์ (Impulse noise)

ตัวกรองมัธยฐานแบบ 1 มิติ (One-dimensional median filters)

การทำมัธยฐานของข้อมูลตัวเลขใดๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Median}(x[1], \dots, x[L]) \quad (3.25)$$

เมื่อ x คือข้อมูลตัวเลข และ L คือเลขจำนวนเต็มคี่ ยกตัวอย่างของการหาค่ามัธยฐาน เช่น

$$\text{Median}(0, 7, 10, 0, 5) = 5$$

ฟังก์ชันของตัวกรองแบบมัธฐาน ที่กระทำโดยเรียงลำดับข้อมูล $x[m]$ โดยที่ $m \in \mathbb{Z}$ สามารถนิยามได้ดังนี้

$$y[m] = \text{Median} (x[m-k], \dots, x[m], \dots, x[m+k]) ; m \in \mathbb{Z} \quad (3.26)$$

เมื่อ $k = (L-1)/2$ และ Z เป็นเซตของจำนวนเต็มบวก

ตัวกรองมัธฐานแบบ 2 มิติ (Two-dimensional median filters)

ตัวกรองมัธฐาน 2 มิติ โดยมี A เป็นหน้าตาของตัวกรอง กระทำบนภาพที่ตำแหน่ง $x(i, j)$ โดย i, j เป็นตำแหน่งของข้อมูลภาพ สามารถนิยามได้ดังนี้ [8]

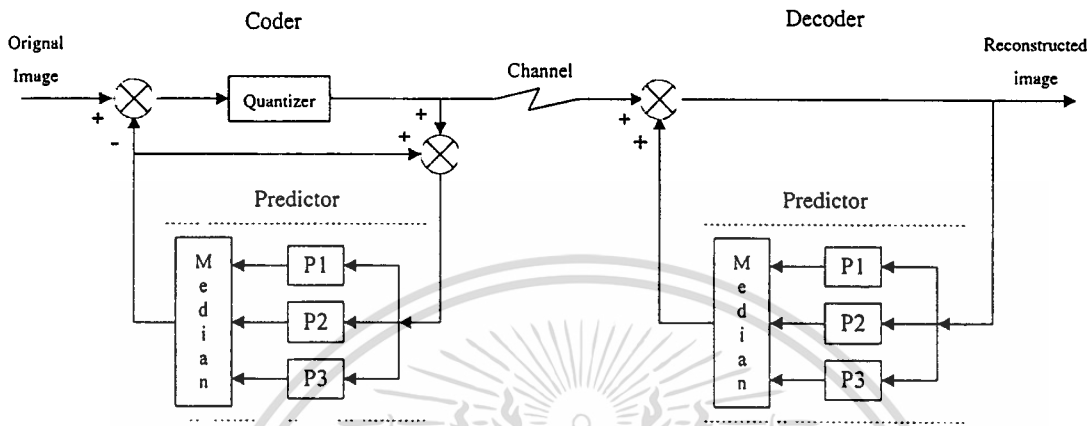
$$y(i, j) = \text{Median} \{x(i+r, j+s), (r, s) \in A \mid (i, j) \in \mathbb{Z}^2\} \quad (3.27)$$

$y(i, j)$ เป็นข้อมูลที่ได้จากการหาค่ามัธฐาน
ขณะที่ $\mathbb{Z}^2 = \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$ ในระนาบของภาพและ $A \subset \mathbb{Z}^2$

และเนื่องจากลักษณะของข้อมูลภาพทั่วไป การรักษาขอบของภาพหรือขอบของวัตถุในภาพสำหรับการประมวลผลภาพทางดิจิทัลเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง เช่นเดียวกันในการนำข้อมูลภาพทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้งานกับการบีบอัดข้อมูลภาพ จึงต้องให้ความสำคัญกับการรักษาข้อมูลในส่วนขอบของภาพหรือขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์โดยใช้การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์โดยใช้การทำนายแบบเชิงเส้นที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นของบทนี้ ซึ่งสามารถให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ออกมาในระดับที่ดี [4,10] แต่ทั้งนี้ต้องมีเงื่อนไขของข้อมูลภาพเริ่มต้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลน้อย และอาจจะต้องให้สมมุติฐานไม่มีการเกิดสัญญาณรบกวนที่อาจมาจากตัวกำเนิดต่างๆ ภายนอกจึงจะทำให้การใช้การทำนายแบบเชิงเส้นสามารถที่จะทำนายจุดของภาพได้ใกล้เคียงกับจุดของภาพเริ่มต้น

จากที่กล่าวข้างต้นในเรื่องของตัวกรองแบบมัธฐาน โดยสำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัลนั้นการกรองมัธฐานซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีข้อดีที่สามารถที่จะรักษาขอบของภาพไว้ได้เป็นอย่างดีและกำจัดสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี [13] จึงมีแนวคิดของการนำมาประยุกต์ใช้กับตัวทำนายของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ซึ่งในที่นี้ก็คือการทำนายแบบมัธฐานหรือ

ภาพที่ 19

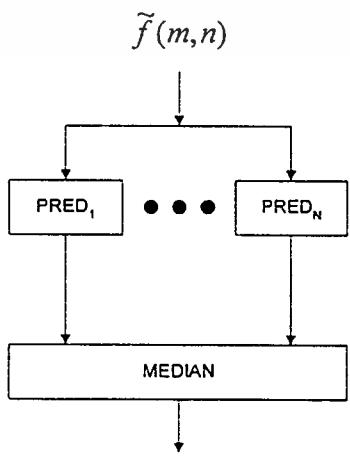


แสดงโครงสร้างพื้นฐานของการเข้ารหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ด้วยตัวทำนายแบบมัธฐาน

สามารถแสดงดังภาพที่ 19 ซึ่งแสดงโครงสร้างพื้นฐานของการเข้ารหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ด้วยตัวทำนายแบบมัธฐาน โดยนำมาแทนในส่วนของตัวทำนายแบบเชิงเส้น [11]

เทคนิคของการออกแบบตัวทำนายแบบมัธฐานนี้ คือการนำฟังก์ชันของตัวทำนายแบบเชิงเส้นย่อยๆ แบบต่างๆ โดยมีโครงสร้างแสดงตามภาพที่ 20 มาทำการหาค่ามัธฐาน แล้วนำค่ามัธฐานที่ได้มาเป็นตัวกำหนดค่าในตำแหน่งของข้อมูลภาพที่ต้องการ และจาก [4] ตัวทำนายแบบเชิงเส้นย่อยๆ มีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งสามารถยกตัวอย่างของฟังก์ชันตัวทำนายได้ดังนี้

ภาพที่ 20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PRED_1 \quad \tilde{f}_1(m,n) = A \quad (3.28)$$

$$PRED_2 \quad \tilde{f}_2(m,n) = B \quad (3.29)$$

$$PRED_3 \quad \tilde{f}_3(m,n) = A + B - C \quad (3.30)$$

$$PRED_4 \quad \tilde{f}_4(m,n) = 0.5A + 0.5B \quad (3.31)$$

$$PRED_5 \quad \tilde{f}_5(m,n) = A + 0.5B - 0.5C \quad (3.32)$$

$$PRED_6 \quad \tilde{f}_6(m,n) = B + 0.5A - 0.5C \quad (3.33)$$

$$PRED_7 \quad \tilde{f}_7(m,n) = 0.75A + 0.5B - 0.75C \quad (3.34)$$

โดย A, B, C เป็นตำแหน่งตามภาพที่ 17

และนำ (3.28)-(3.34) ซึ่งเป็นตัวทำนายแบบเชิงเส้นย่อยๆ มาทำการหาค่ามัธยฐานจะได้

$$MED_1 = MEDIAN(PRED_1, PRED_3, PRED_4) \quad (3.35)$$

$$MED_2 = MEDIAN(PRED_5, PRED_6, PRED_7) \quad (3.36)$$

สำหรับการเลือกฟังก์ชันของการทำนายที่เป็นแบบเชิงเส้นในแบบต่างๆ ตามตัวอย่างที่แสดงดังสมการที่ (3.28) - (3.34) โดยในวิทยานิพนธ์นี้ ได้เลือกทำการทดสอบของการทำนายแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยแบ่งได้เป็น MED_1 และ MED_2 ตามสมการที่ (3.35) และ (3.36) ตามลำดับ สำหรับการแบ่งฟังก์ชันทำนายเชิงเส้นออก 2 สมการนั้น เป็นการสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเปรียบเทียบและเลือกใช้งาน โดยฟังก์ชันของตัวทำนายเชิงเส้นนั้นสามารถมีด้วยกันหลายอันดับต่างๆ กัน ดังนั้นจึงเลือกให้ MED_1 เป็นฟังก์ชันของการทำนายแบบมัธยฐานที่สร้างมาจากการเลือกใช้ฟังก์ชันตัวทำนายเชิงเส้นที่มีอันดับที่ต่างกัน และ MED_2 สร้างจากฟังก์ชันตัวทำนายที่มีอันดับที่เหมือนกัน สำหรับผลของฟังก์ชันทั้งสองสามารถแสดงถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละฟังก์ชัน โดยจะแสดงและเปรียบเทียบผลของการทำงานในบทที่ 4 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งเป็นบทของการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการเสนอการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์ โดยใช้วิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ ซึ่งได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อข้างต้น โดยวิธีนี้จะมีส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ตัวทำนาย จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือตัวทำนายแบบเชิงเส้น และตัวทำนายแบบไม่เป็นเชิงเส้นหรือตัวทำนายแบบมัลติฐาน
2. ตัวควอนไทซ์ สำหรับในการทดลองจะให้ค่าของระดับการควอนไทซ์คงที่ไว้ที่ขนาดของ Δ เท่ากับ 16 (4 บิต, 16 ระดับ) และ Δ เท่ากับ 8 (5 บิต, 32 ระดับ) โดยจะใช้ค่าทั้ง 2 นี้กับตัวทำนายทั้ง 2 แบบ

การทดลองจะใช้กับข้อมูลภาพทางการแพทย์ภาพซึ่งใช้เป็นข้อมูลภาพเริ่มต้น ที่มีขนาด 256x256 จุดภาพ ในแต่ละจุดภาพให้หน่วยความจำขนาด 8 บิต ทำให้แสดงความละเอียดได้ทั้งหมด 256 ระดับ ดังนั้นภาพเริ่มต้นแต่ละภาพจะใช้เนื้อที่ขนาด 65536 ไบต์

ความถูกต้องของข้อมูลภาพ (Image fidelity)

ในการหาคุณภาพของภาพผลลัพธ์ (Reconstructed image) ที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลภาพในที่นี้จะใช้การหาค่าของจำนวนบิตต่อจุดภาพ (Bit per pixel, BPP) ค่าผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root-mean-squared error, RMSE) และค่าของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio, SNR) เป็นตัววัดค่าความผิดพลาดและคุณภาพของภาพผลลัพธ์โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพเริ่มต้นดังแสดงในสมการต่อไปนี้ [1]

จำนวนของบิตต่อจุดภาพ (BPP) จะเท่ากับขนาดของข้อมูลหลังการบีบอัดคูณกับจำนวนของบิตหารจุดภาพของข้อมูลเริ่มต้น (โดยทั่วไปคือ 8 บิตต่อจุดภาพ) หารด้วยจำนวนของข้อมูลภาพเริ่มต้นทั้งหมดนั่นคือ

$$BPP = \frac{(\text{ขนาดของข้อมูลภาพผลลัพธ์}) \times 8}{\text{ขนาดของข้อมูลภาพเริ่มต้นทั้งหมด}} \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2} \tag{4.2}$$

$$SNR = (10) \bullet \log \frac{\sum_{i,j=1}^N [f(i,j)]^2}{\sum_{i,j=1}^N [r(i,j)]^2} \text{ dB} \tag{4.3}$$

โดยที่

- $i, j = 1, \dots, N$
- N คือขนาดของข้อมูลใน 1 แถว (หรือคอลัมน์)
- $f(i, j)$ คือค่าของข้อมูลเริ่มต้น
- $\hat{f}(i, j)$ คือค่าของข้อมูลผลลัพธ์

ค่าของความผิดพลาดที่ได้นั้น จะบ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างข้อมูลภาพเริ่มต้นกับข้อมูลภาพผลลัพธ์ แต่การตรวจสอบเหล่านี้อาจจะไม่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้จากการมองเห็น ซึ่งบ่อยครั้งที่พบว่า ภาพผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นอาจจะมีค่าที่แตกต่างจากการวัดด้วยการมองเห็น เนื่องมาจากคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของภาพนั้น เราจะใช้สายตาเป็นตัววัดซึ่งอาจจะถือว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจสอบคุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ได้

สถานการณ์รบกวนที่เกิดขึ้นในช่องของสัญญาณการส่ง

ในปัจจุบันการบีบอัดหรือการลดขนาดข้อมูลภาพทางการแพทย์ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในด้านเทคโนโลยีการสื่อสาร โทรคมนาคม และคอมพิวเตอร์ ถึงแม้วิทยาการด้านนี้จะพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังมีข้อจำกัดทางด้านขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เป็นตัวกำหนด เช่น ระบบสายโทรศัพท์ หรือข่ายของการสื่อสารแบบต่างๆ งานแขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารก็คือ งานส่งข้อมูลภาพจากแห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบของข่ายสัญญาณสื่อสาร ซึ่งในขณะที่ทำการส่งข้อมูลไปนั้นอาจจะมีการรบกวนจากแหล่งกำเนิดใดๆ ที่ใกล้เคียงกับข่ายของการสื่อสารนั้นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูลทางด้านของตัวรับขึ้นมาได้ ในทำนองเดียวกับของการบีบอัดข้อมูลภาพ แล้วส่งไปตามข่ายของการสื่อสาร อาจมีสัญญาณรบกวนทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ถูกนำมาขยายทางด้านรับได้

ภาพที่ 21



แสดงสมมุติฐานของการเกิดสัญญาณรบกวน

จากที่กล่าวในบทที่ 3 ในสมการ (3.35), (3.36) ได้เสนอเทคนิคและหลักการของการทำนายแบบมัลติฐานซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้ในช่องของสัญญาณสื่อสารขณะทำการส่ง โดยการนำภาพเริ่มต้นมาทำการบีบอัดโดยใช้การทำนายแบบมัลติฐาน ทั้งด้านส่งและด้านรับแล้วทำการตั้งสมมุติฐานในการเข้ามาของสัญญาณรบกวนในช่องสื่อสารกันดังภาพที่ 21 ซึ่งในที่นี้จะใช้สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ (Impulse noise) กับข้อมูลที่พร้อมที่จะส่ง เมื่อถึงด้านรับก็จะนำภาพกลับมาโดยใช้การทำนายแบบมัลติฐานเหมือนกัน

ข้อมูลภาพสามารถทำให้ด้อยคุณภาพลงไปได้เมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นกับข้อมูลของภาพโดยอาจจะเนื่องมาจากขั้นตอนการเก็บภาพจากอุปกรณ์การเก็บภาพแบบต่างๆ หรือในการส่งข้อมูลภาพไปตามข่ายการสื่อสาร แต่ในที่นี้จะพิจารณาถึงการเกิดสัญญาณรบกวนจากการส่งข้อมูลภาพ

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งของข้อมูลภาพนั้น โดยปกติคือสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ ซึ่งมีรูปแบบปรากฏในลักษณะของอิมพัลส์ที่เป็นขาวและดำ [4] และสามารถจำลองรูปแบบของการเกิดสัญญาณรบกวนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(m,n)=\begin{cases} z(m,n) & \text{with probability } p \\ f(m,n) & \text{with probability } 1-p \end{cases} \tag{4.1}$$

$f(m,n)$	ข้อมูลภาพเริ่มต้น
$g(m,n)$	ข้อมูลภาพเกิดสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่ง m,n
p	เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวน
$z(m,n)$	อิมพัลส์ของสัญญาณรบกวนที่ปรากฏด้วยความน่าจะเป็น p

เนื่องจากข้อมูลภาพเริ่มต้นเป็นข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาอยู่ระหว่าง 0 - 255 โดยค่า 0 จะแสดงระดับของสีดำและค่า 255 จะแสดงระดับของสีขาว ดังนั้นเราจึงให้ค่าของอิมพัลส์คงที่อยู่ที่ 0 กับ 255 สำหรับการกระจายของอิมพัลส์จะใช้ฟังก์ชันของการสุ่มของโปรแกรมภาษา C ซึ่งเป็นการกระจายแบบยูนิฟอร์ม

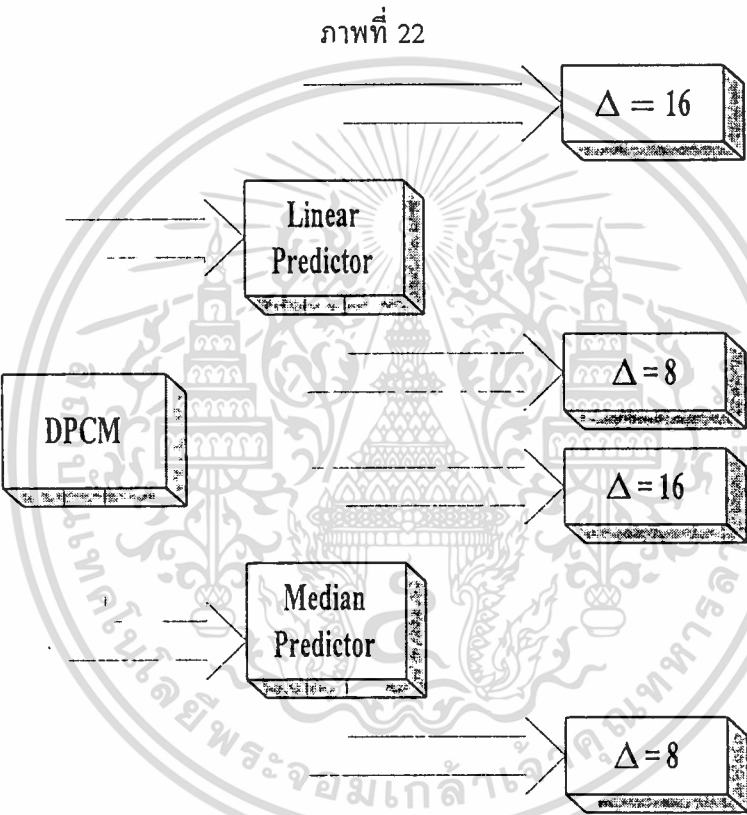
สำหรับการใส่สัญญาณรบกวนจะทำการใส่สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ที่มีการกระจายเป็นแบบยูนิฟอร์มด้วยความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวน 3 แบบด้วยกันคือ $P_a = 0.01$ (จำนวนจุดภาพ 100 จุด จะมีโอกาสเกิดของสัญญาณรบกวนประมาณ 1 จุด) $P_a = 0.03$ และ $P_a = 0.05$ ตามลำดับ (ที่ 1%, 3% และที่ 5%)

ขั้นตอนการทดลองการสมมติฐานของการเกิดสัญญาณรบกวน

.. เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ต้องการที่จะศึกษาถึงความคงทนต่อสัญญาณรบกวนของวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ DPCM ที่ได้ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังนั้นขั้นตอนการทดลองของวิธีการจะแตกต่างกับวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพที่ปราศจากสัญญาณรบกวนเล็กน้อยโดยจะสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 21 จะเห็นว่าขณะทำการใส่สัญญาณรบกวนเข้าไปในนั้นจะทำการใส่ในขั้นตอนหลังจากข้อมูลได้ผ่านการควอนไทซ์มาแล้ว และอาจจะมีวิธีการที่จะทดสอบผลของการเกิดสัญญาณรบกวนได้หลายวิธีแต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ตามขั้นตอนดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากต้องการความถูกต้องของการใส่สัญญาณรบกวนที่เป็นแบบอิมพัลส์ (จุดขาวและจุดดำ) และเพื่อง่ายต่อการพิจารณาในการทดสอบวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM

ลำดับขั้นตอนของการทดลองการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

การทดลองได้วางแผนของการทดลองตามภาพที่ 22 โดยเริ่มจากบล็อกของ DPCM ซึ่งจะทำกรทดลองกับการทำนายแบบเชิงเส้นและแบบมัชฐานโดยทั้งสองแบบจะผ่านการควอนไทซ์ที่ระดับขั้น Δ เท่ากับ 16 และ 8 ตามลำดับ

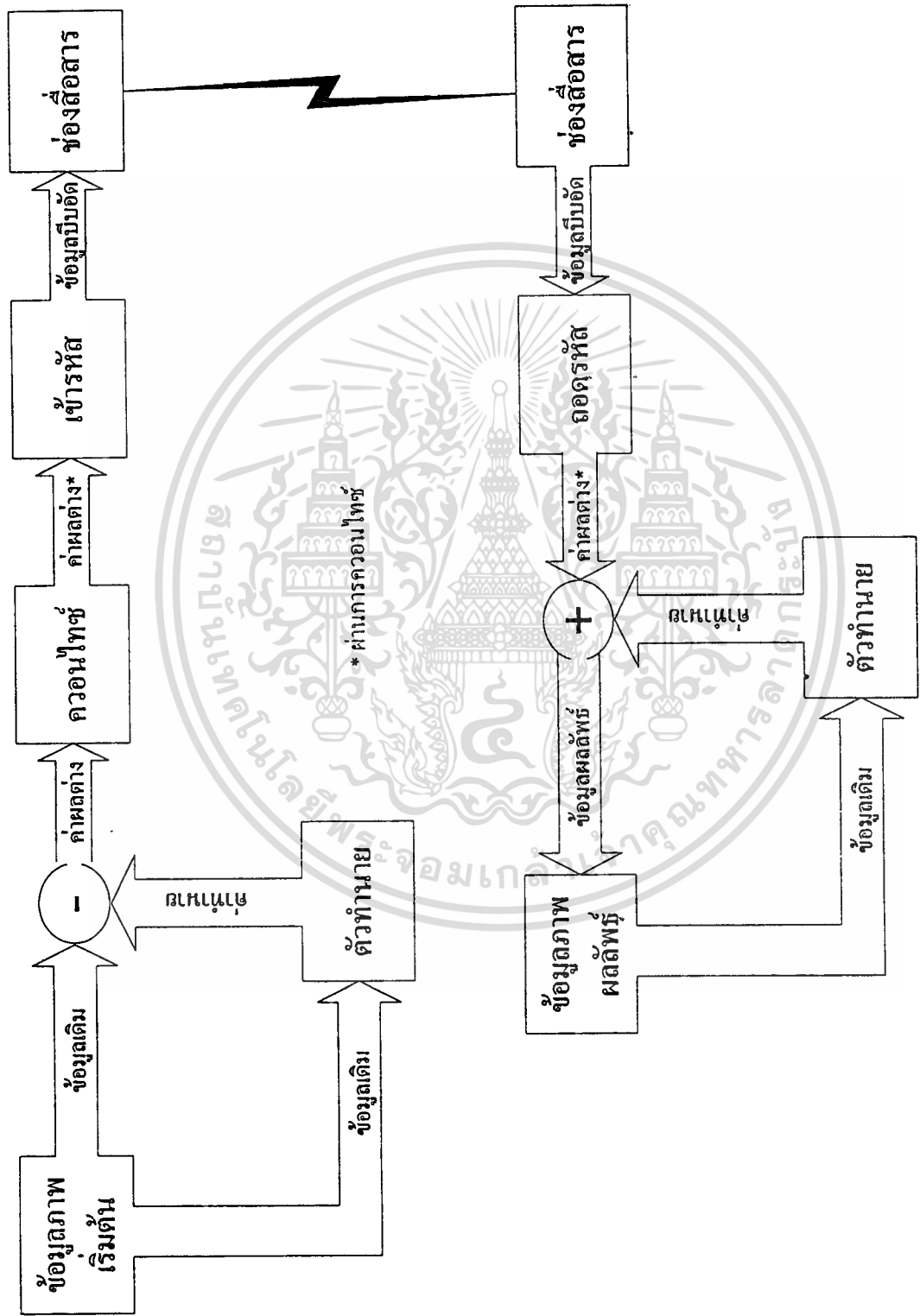


แสดงลำดับขั้นตอนในการทดลองการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

และภาพที่ 23 จะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธี DPCM โดยเริ่มจากตัวเข้ารหัส (Coder) นำข้อมูลเริ่มต้นมาผ่านการทำนายแล้วนำมาลบกับข้อมูลเริ่มต้นเพื่อหาผลต่าง และค่าผลต่างนั้นจะนำมาผ่านกระบวนการควอนไทซ์แล้วส่งต่อไปยังตัวเข้ารหัสโดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การเข้ารหัสแบบฮัฟแมน สุดท้ายหลังจากกระบวนการเข้ารหัสก็จะได้ข้อมูลที่บีบอัด ส่วนทางด้านตัวถอดรหัส (Decoder) นั้นเมื่อได้ข้อมูลที่บีบอัดมาแล้วก็จะผ่านการขยายข้อมูลจากตัวถอดรหัสฮัฟแมนเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่อยู่ในรูปของผลต่างที่ผ่านตัวควอนไทซ์ ขั้นตอนต่อไปทำการสร้างฟังก์ชันของตัวทำนายที่เหมือนกับทางด้านตัวเข้ารหัส แล้วนำทั้งสองตัวนี้มาบวกกัน

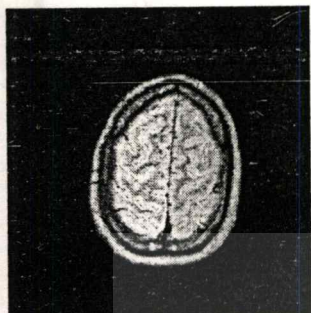
โดยผลที่ได้ก็จะได้เป็นค่าของข้อมูลผลลัพธ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 23

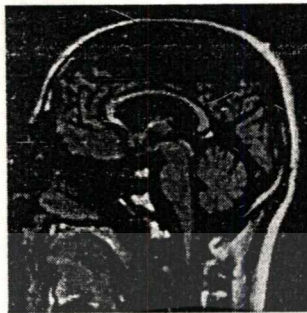


ขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลด้วยการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์

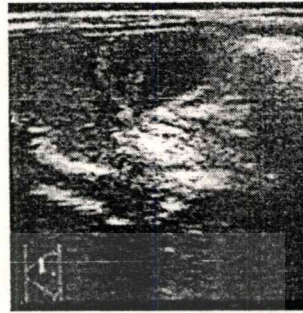
ภาพที่ 24



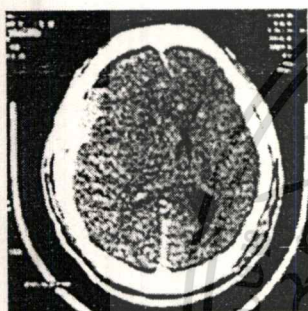
ภาพ MRI01



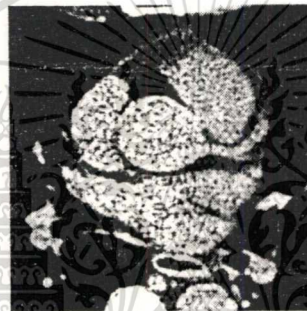
ภาพ MRI02



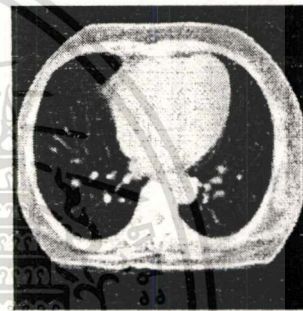
ภาพ ULTRA



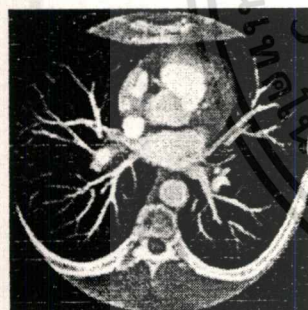
ภาพ CT01



ภาพ CT02



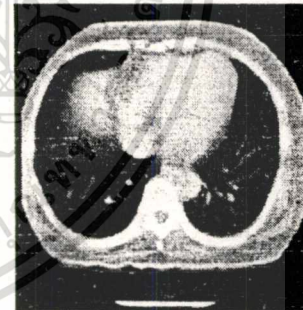
ภาพ CT03



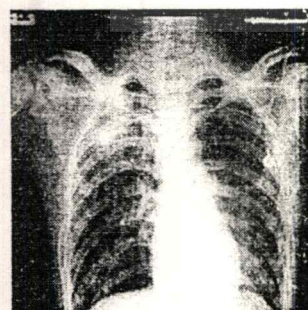
ภาพ CT04



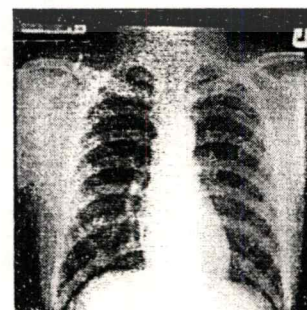
ภาพ CT05



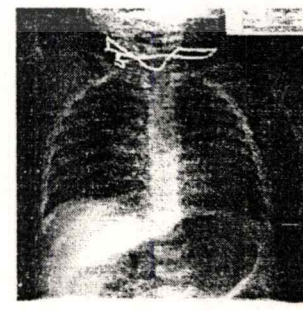
ภาพ CT06



ภาพ X-RAY01



ภาพ X-RAY02



ภาพ X-RAY03

แสดงภาพเริ่มต้นที่นำมาใช้สำหรับการทดลองการบีบอัดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการทดลองจากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น

ผลจากการทดลองโดยใช้ตัวทำนายเชิงเส้นจากสมการ (3.22) ซึ่งเป็นแบบ 2 มิติ อันดับที่ 3 กับภาพเริ่มต้นเป็นภาพ MRI, ภาพ X-ray ภาพ CT และภาพ Ultra-sound โดยแต่ละภาพมีขนาด 256x256x8 บิต โดยแสดงตัวอย่างของการนำภาพมาบีบอัดบางตัวอย่างดังภาพที่ 24 และในผลของการทดลองจะใช้ภาพของ MRI เป็นหลักในการแสดงผลลัพธ์ที่ได้ และสามารถแบ่งผลการทดลองเปรียบเทียบออกได้เป็น

1 ผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น ในสมมติฐานที่ปราศจากการรบกวนของสัญญาณรบกวน โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงคุณภาพที่ได้และอัตราของการสูญเสียจากการใช้วิธีการนี้โดยใช้ค่าของ SNR, RMSE และBPP เป็นตัวเปรียบเทียบวัดดังตารางที่ 3 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 25 (ก) แสดงภาพเริ่มต้น (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบทำนายเชิงเส้น โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

2 ผลจากการตั้งสมมติฐานของการเกิดของสัญญาณรบกวน โดยสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้จะมีลักษณะของการเกิดแต่ละจุดเป็นแบบอิมพัลส์ของขาวและดำ โดยผลของคุณภาพของข้อมูลผลลัพธ์และอัตราของการสูญเสียของข้อมูลที่เกิดขึ้นโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลเริ่มต้นนั้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการทดลองการเกิดของสัญญาณรบกวน 3 แบบ ด้วยกันคือ

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1 %

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3 %

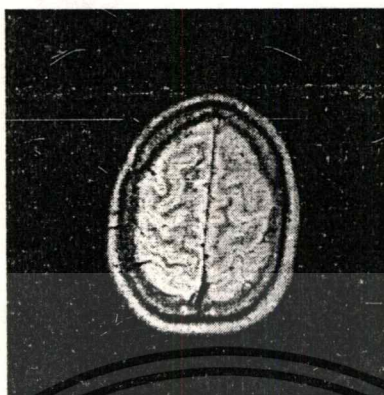
ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5 %

ตารางที่ 3

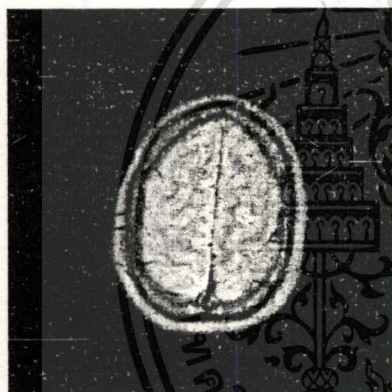
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้น						
	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
ภาพเริ่มต้น	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	24.687	4.185	1.25	29.854	2.301	1.55
MRI02	20.260	4.321	1.23	26.261	2.166	1.64
CT01	29.217	4.427	1.67	35.035	2.266	2.28
CT02	27.713	4.399	1.38	33.816	2.179	1.88
CT03	26.298	4.419	1.31	32.153	2.248	1.75
CT04	29.207	4.442	1.22	35.262	2.212	1.54
CT05	30.207	4.442	1.14	37.499	2.161	1.36
CT06	28.890	4.486	1.21	34.955	2.231	1.54
XRAY01	26.096	4.475	1.09	31.757	2.335	1.32
XRAY02	26.020	4.526	1.13	31.798	2.327	1.46
XRAY03	30.196	4.553	1.17	35.968	2.343	1.47
XRAY04	29.886	4.538	1.10	35.623	2.344	1.28
XRAY05	29.805	4.473	1.22	35.534	2.313	1.43
ULTRA01	30.950	4.412	1.26	36.543	2.318	1.60
ULTRA02	28.778	4.635	1.13	34.693	2.346	1.37
เฉลี่ย	27.880	4.448	1.234	33.783	2.272	1.56

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น ในกรณีปราศจากสัญญาณรบกวนกับภาพ MRI, X-RAY, CT และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จดภาพ

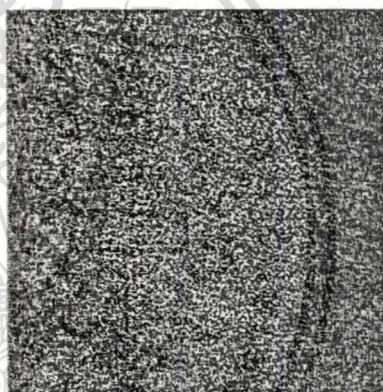
ภาพที่ 25



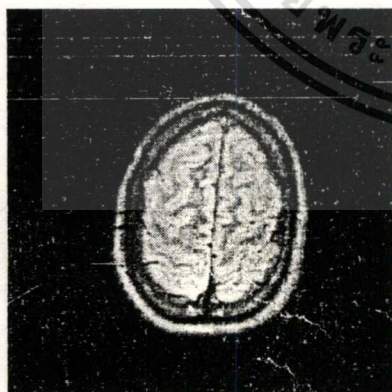
(ก)



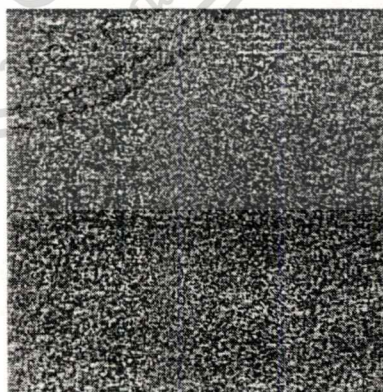
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพที่ได้จากการทำนายเชิงเส้น

(ก) แสดงภาพเริ่มต้น (ข), (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จาก DPCM โดยการทำนายเชิงเส้น และใช้การคววนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 4 และจากการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 26 นั้น ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบเชิงเส้นสมการที่ 3.22 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

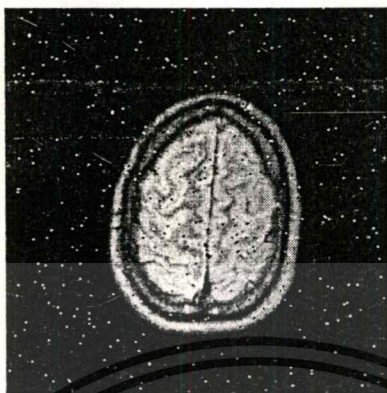
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงทันทีเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 และสามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 26 จะมีจุดสีขาวเกิดขึ้นที่ตำแหน่งของแถวและหลักแรกของข้อมูลซึ่งจะใช้สำหรับเป็นค่าเริ่มต้น (Initial value) ของตัวทำนาย ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การทำนายทางด้านตัวรับหรือตัวถอดรหัสทำนายค่าออกมาผิดพลาด

ตารางที่ 4

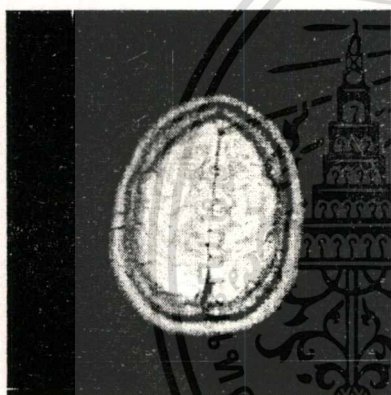
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้น						
	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
ภาพเริ่มต้น	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	21.723	5.879	1.33	24.988	4.037	1.62
MRI02	17.700	5.803	1.50	21.267	3.848	1.89
CT01	25.730	6.614	2.00	27.992	5.097	2.57
CT02	20.363	9.376	1.75	21.142	10.252	2.20
CT03	21.495	7.306	1.46	21.914	7.667	1.90
CT04	23.587	8.484	1.36	24.779	7.396	1.67
CT05	20.038	16.130	1.27	22.474	12.185	1.49
CT06	23.582	8.264	1.35	30.892	3.634	1.66
XRAY01	20.667	8.362	1.35	26.223	4.410	1.58
XRAY02	20.213	8.833	1.28	25.727	4.682	1.61
XRAY03	26.885	6.666	1.44	30.697	4.298	1.73
XRAY04	24.503	8.434	1.28	30.479	4.239	1.45
XRAY05	25.889	7.020	1.55	27.397	5.902	1.75
ULTRA01	25.780	8.002	1.63	29.876	4.993	1.95
ULTRA02	25.628	6.662	1.52	30.892	3.634	1.74
เฉลี่ย	22.998	8.122	1.471	26.369	5.751	1.78

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1% กับภาพ MRI, CT และ X-RAY และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จุดภาพ

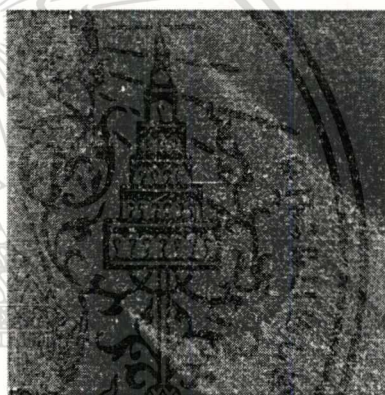
ภาพที่ 26



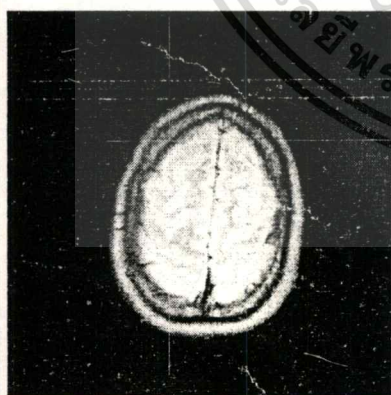
(ก)



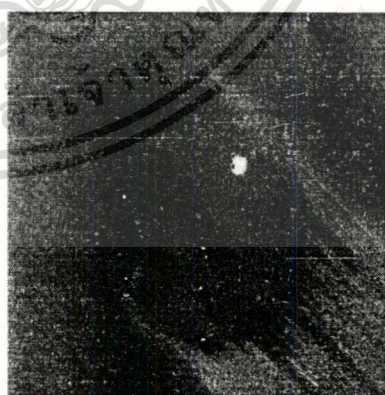
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

แสดงผลจากสมมุติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานของการรบกวนสัญญาณ 1% (ข), (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จาก DPCM โดยการทำนายเชิงเส้น และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ เอและร(ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 5 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 27 ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบเชิงเส้นสมการที่ 3.22 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 และตารางที่ 4 สามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 27

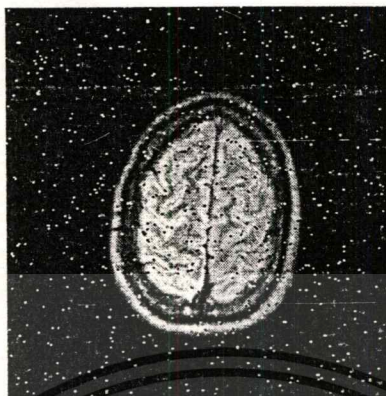
ตารางที่ 5

การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้น						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	19.785	7.341	1.35	21.095	6.324	1.64
MRI02	16.512	6.653	1.56	17.071	6.239	1.94
CT01	23.519	8.531	2.05	23.854	8.208	2.62
CT02	19.136	11.808	1.81	19.136	11.618	2.26
CT03	19.256	9.922	1.52	20.655	8.445	1.95
CT04	22.397	9.730	1.41	23.711	8.364	1.72
CT05	22.245	12.511	1.33	22.374	12.326	1.54
CT06	21.926	10.000	1.40	25.105	6.935	1.72
XRAY01	18.957	10.181	1.42	22.835	6.515	1.64
XRAY02	18.766	10.434	1.35	22.846	6.523	1.67
XRAY03	23.189	10.202	1.50	26.461	7.000	1.79
XRAY04	22.968	10.065	1.35	25.566	7.462	1.52
XRAY05	21.876	11.144	1.61	26.265	6.723	1.81
ULTRA01	22.681	11.093	1.70	24.842	8.913	2.00
ULTRA02	22.911	9.108	1.57	24.446	7.633	1.80
เฉลี่ย	21.074	9.914	1.528	23.084	7.948	1.84

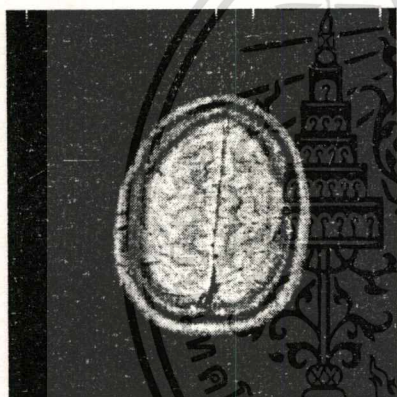
แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 3% กับภาพ MRI, CT

เอกสารนี้และ X-RAY และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จุดภาพ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

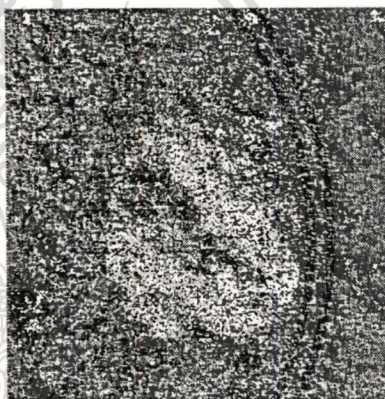
ภาพที่ 27



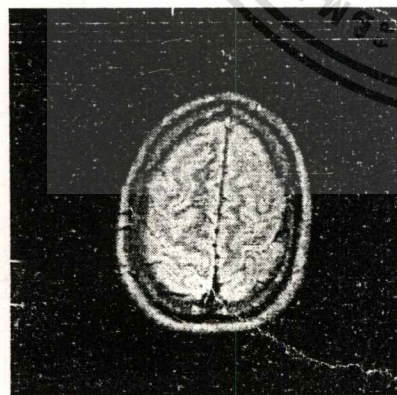
(ก)



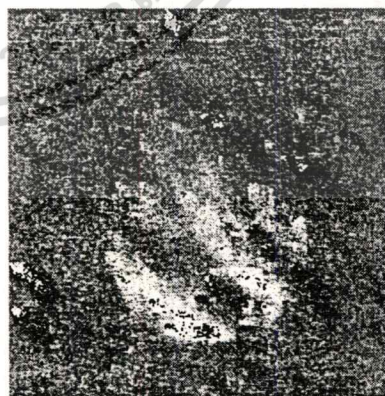
(ข)



(ค)



(ค)



(ง)

แสดงผลจากสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานของการรบกวนสัญญาณ 3% (ข), (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จาก

DPCM โดยการทำนายเชิงเส้น และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานที่กระศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 6 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 28 ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI 01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบเชิงเส้นสมการที่ 3.22 โดยใช้การคววนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

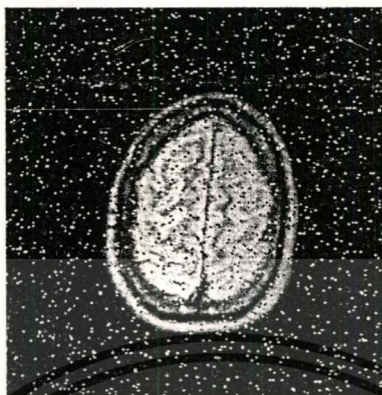
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงมากขึ้นไปอีก เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 สามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 28

ตารางที่ 6

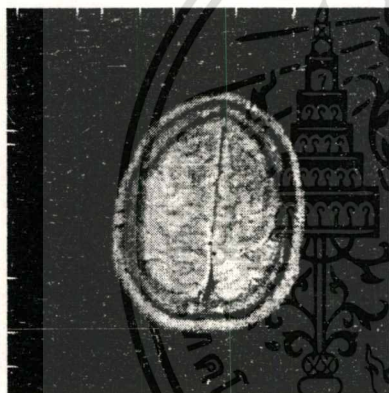
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้น						
ภาพเริ่มต้น	คววนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			คววนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	16.512	10.711	1.50	19.526	7.572	1.78
MRI02	13.260	9.674	1.65	14.211	8.671	2.03
CT01	20.323	12.325	2.14	21.218	11.118	2.70
CT02	18.332	12.953	1.90	16.815	15.425	2.34
CT03	17.407	12.275	1.62	17.182	12.415	2.04
CT04	20.213	12.511	1.52	21.592	10.675	1.82
CT05	21.159	14.177	1.44	21.407	13.778	1.64
CT06	20.637	11.862	1.51	23.393	8.616	1.81
XRAY01	18.441	10.803	1.53	21.077	7.976	1.75
XRAY02	17.096	12.647	1.46	20.573	8.475	1.77
XRAY03	20.658	13.653	1.60	23.630	9.697	1.88
XRAY04	20.557	13.285	1.46	22.913	10.128	1.62
XRAY05	19.677	14.354	1.71	22.066	10.903	1.91
ULTRA01	21.512	13.078	1.46	23.197	10.772	1.77
ULTRA02	20.616	11.862	1.69	23.393	8.616	1.90
เฉลี่ย	19.093	12.411	1.61	20.812	10.322	1.91

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายเชิงเส้น โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 5% กับภาพ MRI, CT

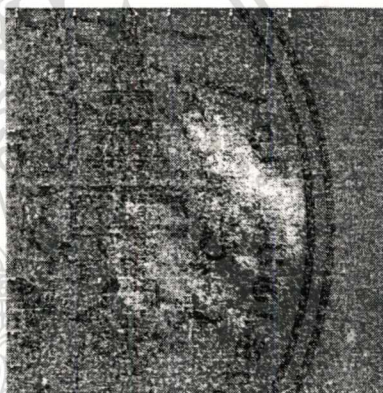
ภาพที่ 28



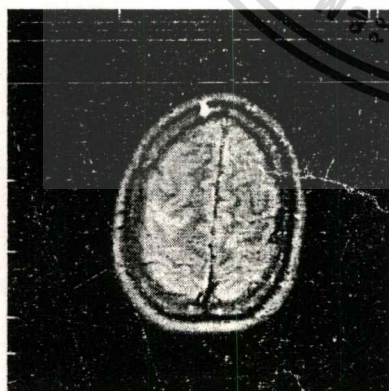
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

แสดงผลจากสมมุติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5%

แสดง (ก) แสดงภาพสมมุติฐานของการรบกวนสัญญาณ 5% (ข), (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้

จาก DPCM โดยการทำนายเชิงเส้น และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตาม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของการทดลองการบีบอัดข้อมูลภาพโดยใช้ตัวทำนายเชิงเส้น จะเห็นว่าเมื่อดูจากสายตาทั้งจากภาพผลลัพธ์และภาพผลต่างที่ได้จะมีความไม่ราบเรียบ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ที่ใช้การทำนายเชิงเส้นจะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ฉับพลัน โดยเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 17 กับสมการที่ 3.22 โดยแต่ละจุดแทนโดย A, B และ C ซึ่งถ้า A, B และ C ตัวใดตัวหนึ่งมีค่าของข้อมูลที่แตกต่างกันมากๆ จะทำให้ค่าของการทำนาย $\hat{f}(x,y)$ เกิดความผิดพลาดและเมื่อนำมาลบกับค่าของข้อมูลเริ่มต้น $f(x,y)$ จะทำให้เกิดค่าของ Prediction error สูงและเนื่องจากคุณสมบัติของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ที่อาศัยเพียงข้อมูลที่แถวและหลักในอดีตสร้างฟังก์ชันของการทำนายเพื่อการเกิดของข้อมูลในอนาคตขึ้นมาได้ ดังนั้นหากเกิดการผิดพลาดในการทำนายที่จุดใดจุดหนึ่งจะทำให้มีผลต่อเนื่องหรือแพร่ผ่าน (Diffusion) ไปยังจุดของข้อมูลภาพที่จะถูกทำนายถัดไป



ผลของการทดลองจากการใช้ตัวทำนายแบบมัธยฐาน

ตัวทำนายแบบมัธยฐานที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นการนำเอาตัวทำนายเชิงเส้นย่อยๆ มาทำการหาค่ามัธยฐานโดยรายละเอียดได้กล่าวในหัวข้อของตัวทำนายมัธยฐานในบทที่ 3 โดยการทดลองเปรียบเทียบกับการตั้งสมมติฐานการปราศจากการเกิดของสัญญาณรบกวน และการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 3% และจะแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. ผลจากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานจากสมการ (3.35)
2. ผลจากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานจากสมการ (3.36)

• ผลจากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานในสมการที่ (3.35)

จากการทดลองการใช้ตัวทำนายแบบมัธยฐาน สามารถแบ่งผลการทดลองเปรียบเทียบออกได้เป็น

1. ผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐาน จากการใช้สมการที่ 3.35 ในสมมติฐานที่ปราศจากการรบกวนของสัญญาณรบกวน โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงคุณภาพที่ได้และอัตราของการสูญเสียจากการใช้วิธีการนี้โดยใช้ค่าของ SNR, RMSE และBPP เป็นตัวเปรียบเทียบวัดดังตารางที่ 7 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 29 (ก) แสดงภาพเริ่มต้น (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.35 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ 4 บิตและ 5 บิต ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

2. ผลจากการตั้งสมมติฐานของการเกิดของสัญญาณรบกวน โดยสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้จะมีลักษณะของการเกิดแต่ละจุดเป็นแบบอิมพัลส์ของขาวและดำ โดยผลของคุณภาพของข้อมูลผลลัพธ์และอัตราการสูญเสียของข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลเริ่มต้นนั้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการทดลองการเกิดของสัญญาณรบกวน 3 แบบ ด้วยกันคือ

- ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1 %
- ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3 %
- ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5 %

จากการทดลองผลจากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานจากสมการ (3.35) จากทั้งตารางและรูปภาพ จะเห็นได้ว่าไม่เหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธี DPCM ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จะไม่นำมาพิจารณาหรืออ้างอิงสำหรับการทดลองอีกต่อไป

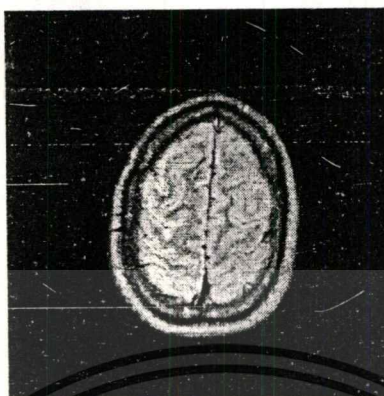
ผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานจากการใช้สมการที่ 3.35 ในสมมติฐานของการปราศจาก
การเกิดของสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 7

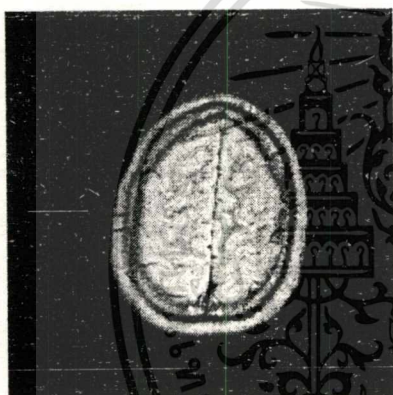
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมัธยฐาน						
	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
ภาพเริ่มต้น	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	23.981	4.533	1.54	29.757	2.331	1.97
MRI02	22.960	5.019	1.89	26.980	2.527	2.43
CT01	29.132	4.471	2.50	35.052	2.261	3.19
CT02	26.808	4.882	2.12	32.874	2.428	2.76
CT03	25.451	4.862	1.82	31.429	2.443	2.39
CT04	28.226	4.973	1.65	34.198	2.501	2.08
CT05	30.155	5.033	1.33	36.131	2.529	1.60
CT06	28.039	4.947	1.59	34.008	2.488	2.02
XRAY01	25.807	4.627	1.26	31.700	2.348	1.48
XRAY02	25.781	4.653	1.25	31.701	2.353	1.57
XRAY03	30.040	4.636	1.53	35.984	2.338	2.05
XRAY04	29.696	4.639	1.42	35.614	2.347	1.86
XRAY05	25.571	7.283	1.49	26.117	6.839	1.77
ULTRA01	30.503	4.645	1.89	36.414	2.352	2.34
ULTRA02	28.709	4.406	1.49	34.691	2.347	1.86
เฉลี่ย	27.390	4.907	1.651	32.843	2.695	2.091

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.35 ในกรณีปราศจากสัญญาณรบกวน กับภาพ
MRI, X-RAY, CT และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จุดภาพ

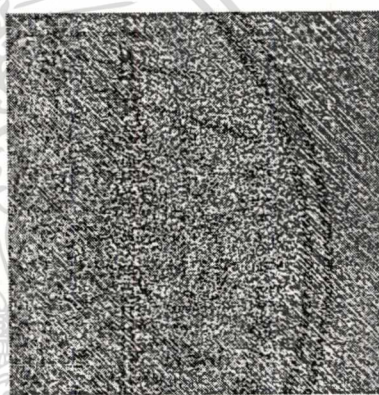
ภาพที่ 29



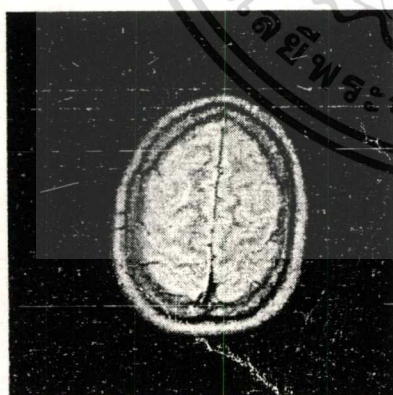
(ก)



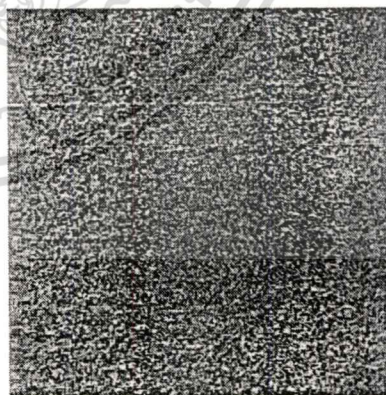
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัลติฐานสมการที่ 3.35

(ก) แสดงภาพเริ่มต้น (ข), (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จาก DPCM โดยการทำนายแบบมัลติฐานสมการที่ 3.35 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง),

(จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ภายใต้การสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 8 และจากการแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 30 นั้น ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.35 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

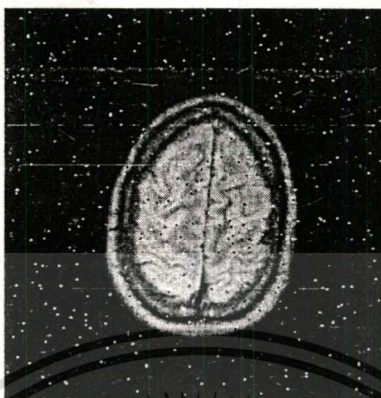
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงทันทีเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 7 และสามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 30

ตารางที่ 8

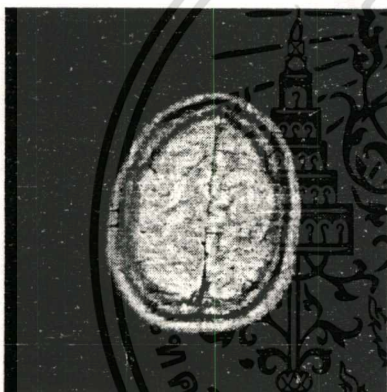
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมัธยฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	19.961	7.202	1.61	24.188	4.426	2.04
MRI02	17.268	8.615	1.96	21.979	6.305	2.49
CT01	22.960	9.098	2.57	22.725	9.347	3.24
CT02	22.636	7.891	2.18	22.965	7.598	2.81
CT03	21.334	7.810	1.88	22.504	6.826	2.44
CT04	23.493	8.576	1.71	24.309	7.808	2.14
CT05	23.740	7.763	1.40	26.390	10.532	1.66
CT06	22.346	9.528	1.65	24.838	7.151	2.07
XRAY01	23.135	6.293	1.34	28.859	3.256	1.56
XRAY02	23.651	5.946	1.33	25.355	4.886	1.64
XRAY03	26.807	6.726	1.60	28.312	4.091	2.12
XRAY04	26.261	6.889	1.49	28.389	5.392	1.93
XRAY05	24.583	8.160	1.57	22.064	10.905	1.84
ULTRA01	25.859	7.928	1.96	28.139	6.098	2.40
ULTRA02	25.897	6.458	1.57	29.430	4.306	1.93
เฉลี่ย	23.505	7.658	1.72	25.373	6.595	2.15

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานสมการ 3.35 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1% กับ

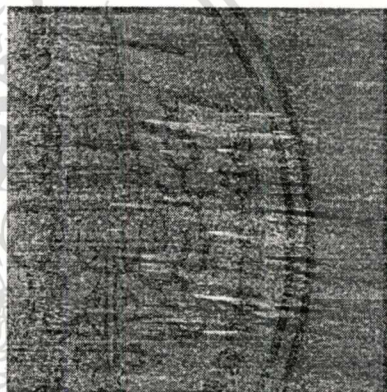
ภาพที่ 30



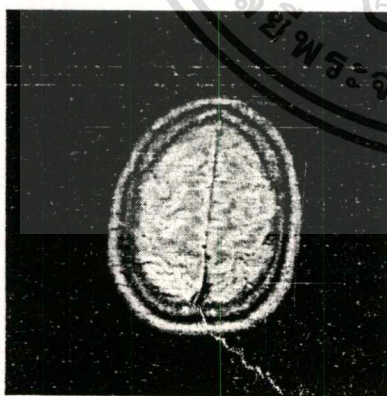
(ก)



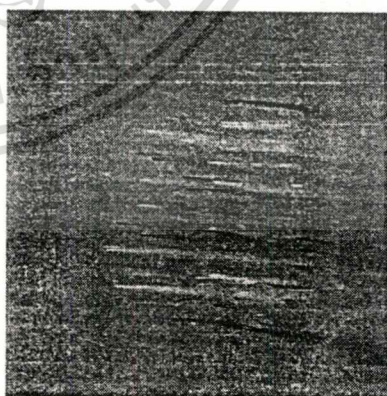
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนาย

แบบมัลติฐานสมการที่ 3.35 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพ เริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์
 ไม่วากรณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3 %

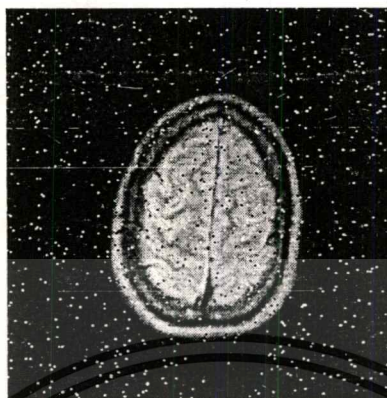
จะเห็นได้จากตารางที่ 9 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 31 นั้น ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบมีฐานสมการที่ 3.35 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงทันทีเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 7 และตารางที่ 8 โดยสามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 31

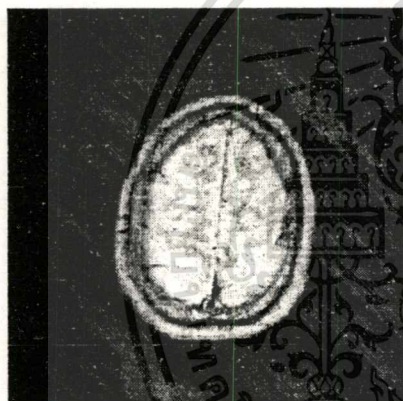
ตารางที่ 9

การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมีฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	17.038	10.083	1.67	21.660	5.922	2.10
MRI02	15.726	10.288	2.01	19.683	10.338	2.54
CT01	23.033	10.978	2.02	23.406	10.516	2.45
CT02	19.853	13.010	2.61	20.024	12.756	3.29
CT03	17.545	12.082	1.93	17.863	11.647	2.49
CT04	19.361	13.800	1.77	21.000	11.428	2.18
CT05	22.397	12.294	1.45	23.819	10.437	1.71
CT06	20.739	11.464	1.71	21.812	10.132	2.13
XRAY01	21.183	7.879	1.40	26.822	4.116	1.62
XRAY02	17.562	11.985	1.39	23.713	5.903	1.71
XRAY03	24.993	8.288	1.66	26.640	6.857	2.17
XRAY04	24.357	8.577	1.56	24.321	8.612	1.99
XRAY05	22.445	10.437	1.63	24.801	7.958	1.90
ULTRA01	23.033	10.978	2.02	23.406	10.516	2.45
ULTRA02	23.911	8.118	1.63	26.131	6.287	1.99
เฉลี่ย	20.878	10.684	1.76	23.006	8.895	2.18

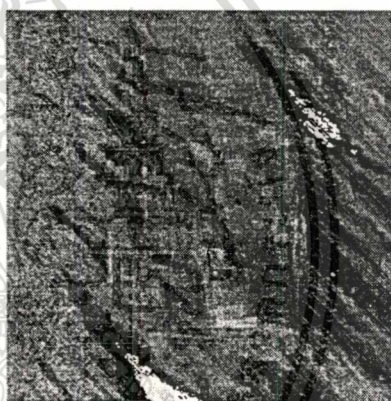
ภาพที่ 31



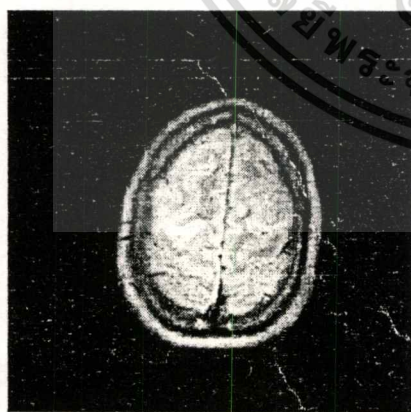
(ก)



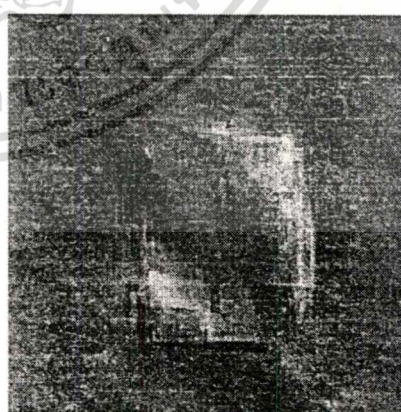
(ข)



(ค)



(ค)



(ง)

แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3% (ข), (ค) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จาก

DPCM โดยการทำนายแบบมีขฐานสมการที่ 3.35 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ(ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพ เริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 10 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 32 ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายมาตรฐานสมการที่ 3.35 โดยการใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

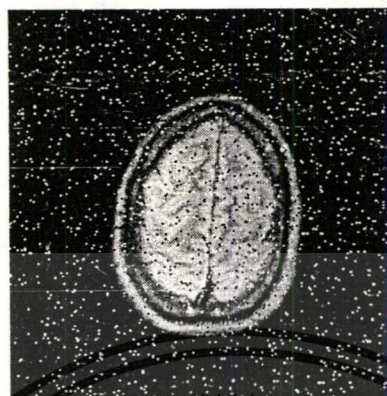
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงมากขึ้นไปอีก เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 7 ตารางที่ 8 และตารางที่ 9 สามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 32

ตารางที่ 10

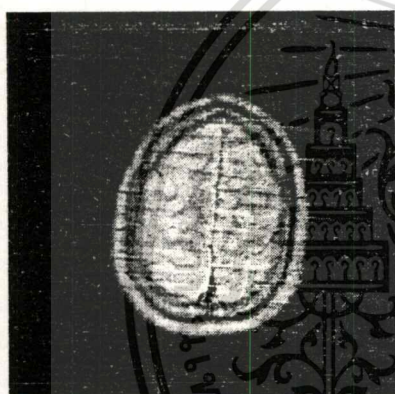
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมาตรฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	15.879	11.522	1.77	17.227	9.865	2.19
MRI02	13.352	15.171	2.10	15.172	12.304	2.56
CT01	17.255	17.546	2.69	17.722	16.627	3.35
CT02	16.304	16.360	2.32	17.365	14.477	2.93
CT03	15.095	16.019	2.02	16.903	13.009	2.57
CT04	18.039	16.069	1.87	18.180	15.810	2.27
CT05	20.675	14.990	1.55	21.839	13.109	1.81
CT06	16.711	18.229	1.80	18.193	15.369	2.21
XRAY01	19.579	9.477	1.51	24.138	5.607	1.73
XRAY02	19.210	9.915	1.50	19.741	9.327	1.81
XRAY03	21.573	12.288	1.76	23.854	9.450	18612
XRAY04	20.075	14.042	1.66	20.829	12.874	2.09
XRAY05	22.032	10.945	1.73	22.488	10.386	1.99
ULTRA01	21.673	12.839	2.11	21.414	13.226	2.54
ULTRA02	21.278	10.993	1.73	23.682	8.335	2.08
เฉลี่ย	18.582	13.760	1.874	19.916	11.985	2.29

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมาตรฐานสมการ 3.35 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 5% กับ

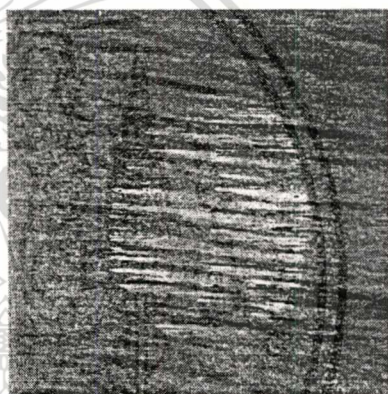
ภาพที่ 32



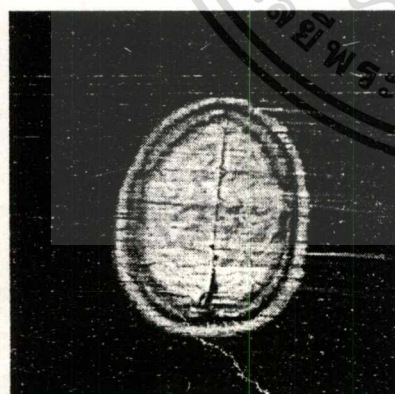
(ก)



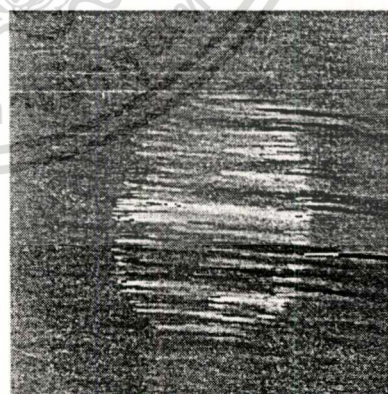
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัลติฐานสมการที่ 3.35 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานในสมการที่ (3.36)

จากการทดลองการใช้ตัวทำนายแบบมัธยฐาน สามารถแบ่งผลการทดลองเปรียบเทียบออกได้เป็น

1. ผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัธยฐานจากการใช้สมการที่ 3.36 ในสมมติฐานของการปราศจากการเกิดของสัญญาณรบกวน โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงคุณภาพที่ได้และอัตราของการสูญเสียจากการใช้วิธีการนี้โดยใช้ค่าของ SNR, RMSE และ BPP เป็นตัวเปรียบเทียบวัดดังตารางที่ 11 จะเห็นว่าค่าที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับการทำนายเชิงเส้นในตารางที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้การทำนายเชิงเส้นย่อยๆ เป็นแบบ 2 มิติ อันดับที่ 3 เหมือนกันทั้งสามตัว โดยแต่ละตัวโดยจากพื้นฐานของการทำนายเชิงเส้นแล้วค่าที่จะออกมาใกล้เคียงหรืออาจจะเท่ากันก็ได้ และเมื่อนำค่าที่ได้เหล่านี้มาทำการหาค่ามัธยฐานแล้วจะได้ค่าที่ออกมาใกล้เคียงหรืออาจจะเท่ากันกับการใช้ตัวทำนายแบบเดี่ยวๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 7 จะดีกว่า และข้อดีของการทำมัธยฐานก็คือความสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนและการรักษาขอบของวัตถุในภาพได้ดี [4] และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 33 (ก) แสดงภาพเริ่มต้น (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

2. ผลจากการตั้งสมมติฐานของการเกิดของสัญญาณรบกวน โดยสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้จะมีลักษณะของการเกิดแต่ละจุดเป็นแบบอิมพัลส์ของขาวและดำ โดยผลของคุณภาพของข้อมูลผลลัพธ์และอัตราของการสูญเสียของข้อมูลที่เกิดขึ้นโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลเริ่มต้นนั้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการทดลองการเกิดของสัญญาณรบกวน 3 แบบ ด้วยกันคือ

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1 %

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3 %

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5 %

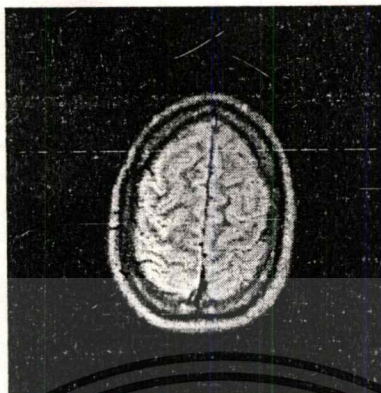
ผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมาตรฐานจากการใช้สมการที่ 3.36 ในสมมติฐานของการปราศจาก
การเกิดของสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 11

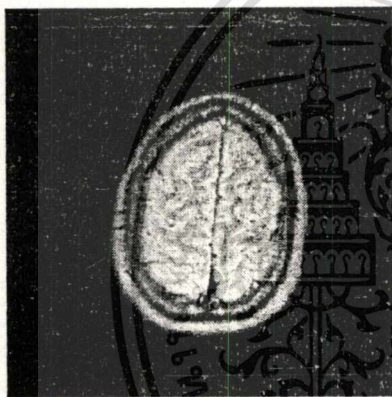
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมาตรฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	24.682	4.184	1.25	29.854	2.304	1.55
MRI02	23.631	4.141	1.25	27.291	2.158	1.63
CT01	29.203	4.434	1.66	35.022	2.269	2.25
CT02	28.069	4.222	1.37	33.574	2.240	1.84
CT03	26.374	4.372	1.32	31.985	2.291	1.72
CT04	29.495	4.297	1.21	35.067	2.263	1.49
CT05	30.207	4.442	1.10	37.887	2.118	1.23
CT06	29.135	4.361	1.20	34.738	2.288	1.46
XRAY01	26.076	4.486	1.11	31.752	2.334	1.37
XRAY02	26.026	4.523	1.14	31.797	2.328	1.48
XRAY03	30.189	4.557	1.18	35.992	2.336	1.50
XRAY04	29.896	4.533	1.10	35.682	2.329	1.28
XRAY05	29.776	4.488	1.21	35.559	2.306	1.41
ULTRA01	30.832	4.473	1.27	36.551	2.328	1.58
ULTRA02	28.881	4.581	1.13	34.756	2.329	1.32
เฉลี่ย	28.164	4.406	1.23	33.833	2.281	1.54

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมาตรฐานสมการ 3.36 ในกรณีปราศจากสัญญาณรบกวน กับภาพ
MRI, X-RAY, CT และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จุดภาพ

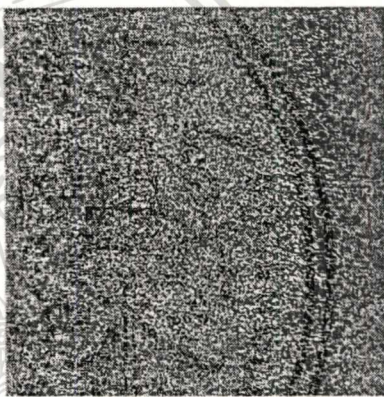
ภาพที่ 33



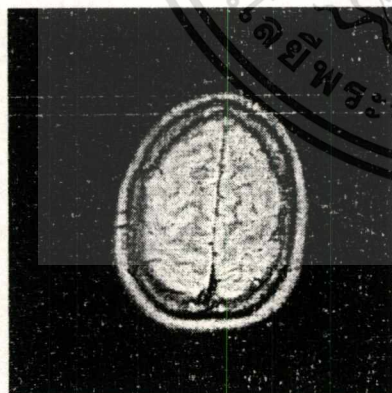
(ก)



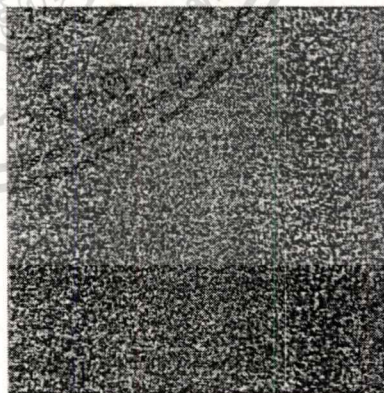
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัชฌิมาสมการที่ 3.36

(ก) แสดงภาพเริ่มต้น (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัชฌิมาสมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่าง
 ระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 12 และจากการแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากภาพที่ 34 นั้น ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบมัธยฐานสมการที่ 3.36 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

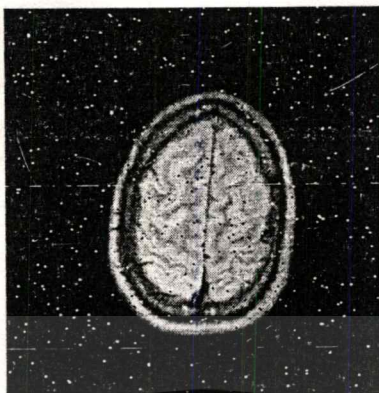
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงทันทีเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 11 และสามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 34 ที่ตำแหน่งของแถวและหลักแรกของข้อมูลผลลัพธ์ซึ่งจะใช้สำหรับเป็นค่าเริ่มต้น (Initial value) ของตัวทำนายจะไม่เกิดการรบกวนของสัญญาณรบกวนหรือนัยหนึ่งก็คือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งดังกล่าวจะถูกกำจัดโดยค่ามัธยฐานก่อน ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การทำนายทางด้านตัวรับหรือตัวถอดรหัสทำนายค่าออกมาผิดพลาดได้น้อยลง

ตารางที่ 12

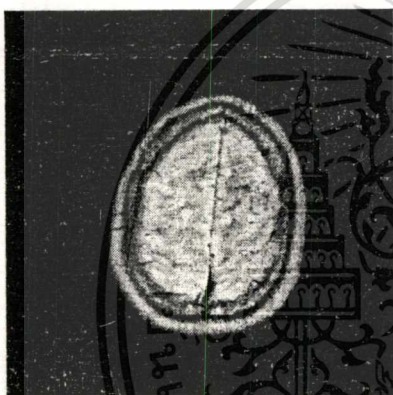
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	22.256	5.529	1.34	25.474	3.817	1.64
MRI02	19.700	6.510	1.51	22.345	3.814	1.88
CT01	24.767	7.389	1.99	27.537	5.371	2.55
CT02	19.364	9.865	1.74	20.698	11.501	2.18
CT03	20.742	8.362	1.47	22.387	6.919	1.87
CT04	22.497	9.618	1.34	26.114	6.342	1.62
CT05	17.972	20.461	1.24	21.263	14.009	1.36
CT06	22.856	8.144	1.24	27.805	5.185	1.59
XRAY01	21.283	7.789	1.37	25.357	4.873	1.63
XRAY02	21.243	7.846	1.29	25.296	4.920	1.63
XRAY03	26.722	6.793	1.45	28.780	5.360	1.76
XRAY04	25.674	7.370	1.29	28.938	5.062	1.45
XRAY05	25.769	7.199	1.53	25.359	7.463	1.72
ULTRA01	25.584	8.184	1.64	29.971	4.939	1.94
ULTRA02	23.883	8.144	1.52	27.805	5.185	1.70
เฉลี่ย	22.776	8.613	1.46	25.586	6.317	1.76

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัลติฐานสมการ 3.36 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1% กับภาพ MRI, X-RAY ,CT และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จุดภาพ

ภาพที่ 34



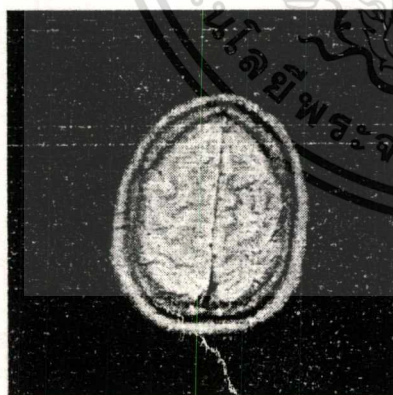
(ก)



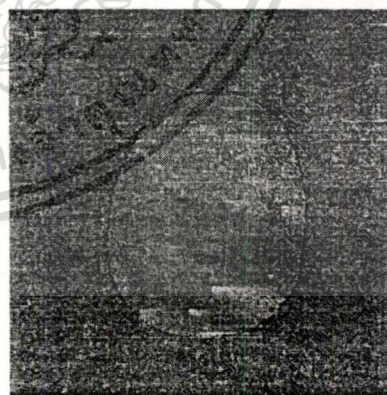
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 1% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัลติฐานสมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพ เริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 13 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 35 นั้น ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 3% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายแบบมีพื้นฐานสมการที่ 3.36 และใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

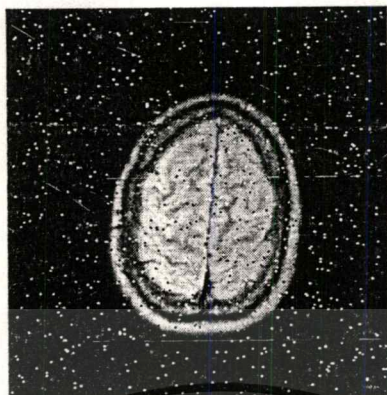
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงทันทีเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 11 และตารางที่ 12 โดยสามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 35

ตารางที่ 13

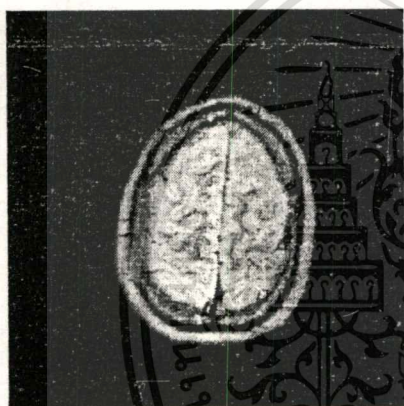
การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมีพื้นฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	21.398	6.115	1.29	21.612	5.954	1.49
MRI02	17.171	8.181	1.57	20.218	5.488	1.93
CT01	22.109	10.034	2.05	23.720	8.335	2.50
CT02	19.701	11.064	1.80	19.606	11.186	2.23
CT03	20.210	8.889	1.52	18.951	10.276	1.92
CT04	21.773	10.454	1.40	23.754	8.323	1.67
CT05	18.187	19.962	1.30	19.351	17.457	1.42
CT06	22.069	9.837	1.39	24.326	7.586	1.64
XRAY01	17.594	11.910	1.44	20.516	8.108	1.69
XRAY02	19.228	9.894	1.36	21.872	7.298	1.69
XRAY03	21.026	13.087	1.51	23.788	9.522	1.81
XRAY04	21.271	12.236	1.35	26.141	6.985	1.51
XRAY05	21.010	12.312	1.59	25.151	7.663	1.78
ULTRA01	22.634	11.493	1.71	24.698	9.063	1.99
ULTRA02	19.136	14.066	1.58	22.986	9.030	1.76
เฉลี่ย	20.301	11.302	1.52	22.446	8.818	1.80

แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมีพื้นฐานสมการ 3.36 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 3% กับ

ภาพที่ 35



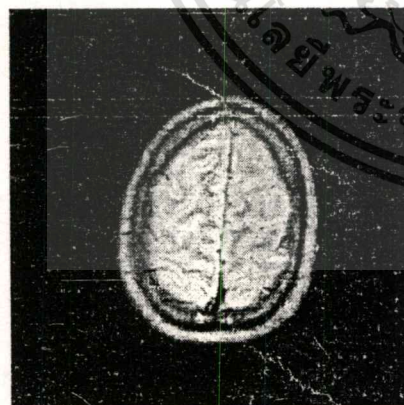
(ก)



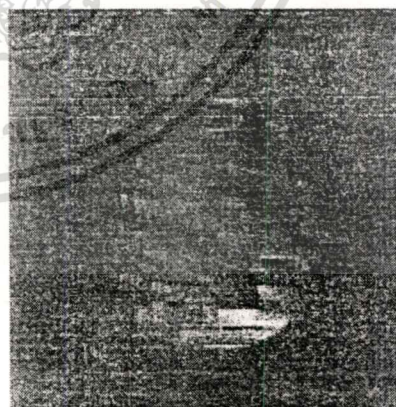
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 3% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัลติสแกนที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพ เริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5 %

จะเห็นได้จากตารางที่ 14 และแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 36 ซึ่งจากภาพได้แสดงตัวอย่างของภาพ MRI01 โดย (ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 5% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM โดยการทำนายมัชยฐานสมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

จากตารางจะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นค่าของ SNR จะลดลงมากขึ้นไปอีก เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 11 ตารางที่ 12 และตารางที่ 13 สามารถสังเกตจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 36

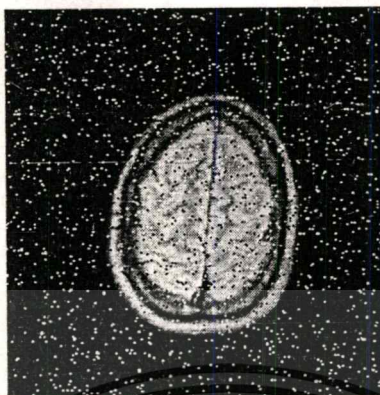
ตารางที่ 14

การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (DPCM) โดยใช้ตัวทำนายแบบมัชยฐาน						
ภาพเริ่มต้น	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
MRI01	16.754	10.035	1.51	19.945	7.214	1.79
MRI02	13.470	9.443	1.66	16.838	6.408	2.03
CT01	19.601	13.393	2.14	20.280	12.386	2.68
CT02	18.072	12.974	1.89	18.977	12.026	2.31
CT03	16.949	12.941	1.62	18.909	10.326	2.02
CT04	19.908	11.314	1.51	20.753	11.758	1.77
CT05	18.344	19.604	1.40	17.732	21.033	1.52
CT06	18.435	14.947	1.50	20.406	11.913	1.74
XRAY01	21.845	12.297	1.54	20.915	16.213	1.79
XRAY02	20.284	12.971	1.47	19.954	12.701	1.79
XRAY03	18.638	17.228	1.61	21.386	12.556	1.91
XRAY04	19.729	14.612	1.46	21.632	12.374	1.62
XRAY05	18.486	16.463	1.70	18.596	16.257	1.88
ULTRA01	19.996	15.572	1.80	22.605	11.532	2.08
ULTRA02	18.376	15.353	1.68	23.520	8.594	1.86
เฉลี่ย	18.592	13.943	1.63	20.163	12.219	1.91

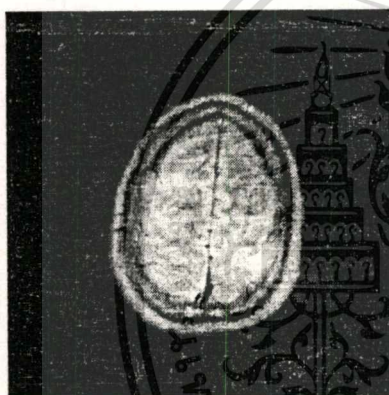
แสดงผลที่ได้จากการใช้ตัวทำนายมัชยฐานสมการ 3.36 โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 5% กับ

ภาพ MRI, X-RAY, CT และ ULTRA-SOUND (US) ขนาด 256x256 จุดภาพ

ภาพที่ 36



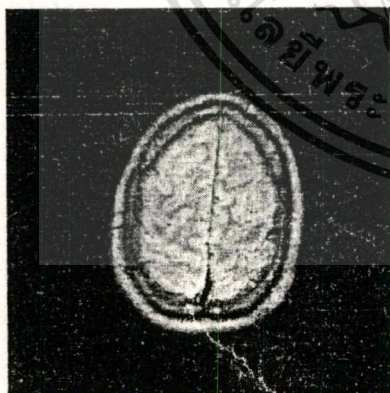
(ก)



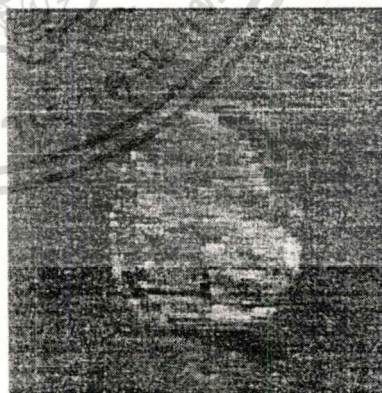
(ข)



(ง)



(ค)



(จ)

แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5%

(ก) แสดงภาพสมมติฐานการเกิดสัญญาณรบกวน 5% (ข), (ค) ภาพที่ได้จากการทำนายแบบมัลติฐานสมการที่ 3.36 โดยใช้การควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 ตามลำดับ และ (ง), (จ) แสดงภาพผลต่างระหว่างภาพ เริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์แบบการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ โดยอาศัยหลักของการทำนายแบบต่างๆ และใช้การควอนไทซ์ที่ระดับแตกต่างกัน 2 แบบ คือ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 วิธีการก็คือจะใช้หลักการของการยอมให้มีการสูญเสียของข้อมูลบางส่วนไป เพื่อมุ่งเน้นสำหรับการลดขนาดของข้อมูลภาพให้เหลือน้อยที่สุด และคุณภาพของภาพที่มีความถูกต้อง เพื่อประยุกต์การใช้งานเกี่ยวกับทางด้านฐานข้อมูลหรือเกี่ยวกับระบบแพทย์ทางไกล โดยส่วนของขั้นตอนการทำสามารถสรุปเนื้อหาเป็น 2 ส่วนหลักใหญ่ๆ ดังนี้คือ

การบีบอัดข้อมูลภาพโดยใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้น ซึ่งตัวทำนายจะเป็นแบบ 2 มิติ อันดับที่ 3 ดังสมการ 3.22 และใช้ตัวควอนไทซ์ที่เป็นแบบยูนิฟอร์ม จากผลการทดลองโดยการตั้งข้อสมมติฐาน 2 แบบ คือขณะที่ปราศจากการเกิดของสัญญาณรบกวนและขณะที่เพิ่มการรบกวนของสัญญาณรบกวนที่ 1% 3% และ 5% พบว่า

เมื่อพิจารณาที่สมมติฐานของการไม่เกิดสัญญาณรบกวนใดๆ ขึ้น จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับการควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16 และ Δ เท่ากับ 8 จะเห็นว่าที่ระดับ Δ เท่ากับ 16 แม้ว่าจะได้อัตราของบิตที่ต่ำกว่า Δ เท่ากับ 8 แต่อัตราของการสูญเสียที่เกิดขึ้นก็มีมากตามมาด้วย โดยจากภาพผลลัพธ์แสดงในภาพที่ 25 (ข) และ (ค) เมื่อพิจารณาจากสายตาแล้วอาจจะไม่สังเกตเห็นความแตกต่าง แต่ภาพ (ง) และ (จ) เป็นภาพแสดงถึงความแตกต่างระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพผลลัพธ์จะพบว่าภาพ (ง) จะมีลักษณะที่หยาบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ (จ) ทั้งนี้จะแสดงให้เห็นถึงค่าความผิดพลาดที่มีมากกว่าเนื่องจากช่วงห่างที่มากกว่า

เมื่อพิจารณาที่สมมติฐานของการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 1% จากผลการทดลองในตารางที่ 4 จะเห็นว่าอัตราของการสูญเสียจะมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 อยู่ประมาณช่วง 4-6 เดซิเบล เมื่อสังเกตจากค่าเฉลี่ยของตาราง และจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ในภาพที่ 26 (ข), (ค)

สร้างฟังก์ชันให้กับตัวทำนาย ดังนั้นหากเกิดการผิดพลาดขึ้นในแถวและหลักแรกขึ้นมาในขณะที่ทำการส่งหรือถอดรหัสทางด้านตัวรับจะทำให้การสร้างข้อมูลของการทำนายแตกต่างจากทางด้านตัวส่งหรือเข้ารหัส ดังจะเห็นจากการผิดพลาดของการสร้างข้อมูลผลลัพธ์ขึ้นดัง ภาพที่ 26 (ข), (ค) และสามารถผิดพลาดได้ชัดเจนจากภาพที่ 26 (ง) และ (จ)

เมื่อพิจารณาที่สมมติฐานของการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 3% จากผลการทดลองในตารางที่ 5 จะเห็นว่าสังเกตจากค่าเฉลี่ยของตารางอัตราของการสูญเสียจะมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 อยู่ประมาณช่วง 5-8 เดซิเบล และประมาณ 1-3 เดซิเบล เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4 สังเกตภาพผลลัพธ์ที่ได้ในภาพที่ 27

เมื่อพิจารณาที่สมมติฐานของการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 5% จากผลการทดลองในตารางที่ 6 จะเห็นว่าจากค่าเฉลี่ยของตารางอัตราของการสูญเสียจะมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 อยู่ประมาณช่วง 8-10 เดซิเบล ประมาณ 4-5 เดซิเบล ของตารางที่ 4 และประมาณ 1-3 เดซิเบล เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 สังเกตภาพผลลัพธ์ที่ได้ในภาพที่ 28

การบีบอัดข้อมูลภาพโดยใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐาน เป็นการนำเทคนิคของการกรองแบบมัลติฐาน ซึ่งมีข้อดีในการกำจัดสัญญาณรบกวนและรักษาขอบของภาพ โดยหลักการคือนำฟังก์ชันของตัวทำนายเชิงเส้นย่อยๆ มาทำการหาค่ามัลติฐานดังสมการ 3.36 จากผลการทดลองโดยการตั้งข้อสมมติฐาน 2 แบบ คือขณะที่ปราศจากการเกิดของสัญญาณรบกวน และการเกิดสัญญาณรบกวนพบว่า

พิจารณาที่สมมติฐานของการไม่เกิดสัญญาณรบกวนใดๆ ขึ้น จากผลการทดลองดังตารางที่ 11 เป็นการทำนายมัลติฐานของสมการที่ 3.36 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการทำนายเชิงเส้นกับตารางที่ 11 แล้วจะพบว่าจากค่าเฉลี่ยของตารางอัตราของการสูญเสียของตารางที่ 3 มีอัตราที่ใกล้เคียงกันทั้งสองตาราง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้การทำนายเชิงเส้นย่อยๆ เป็นแบบ 2 มิติ อันดับที่ 3 เหมือนกันทั้งสามตัว โดยแต่ละตัวมีพื้นฐานของการทำนายเชิงเส้นทำให้ค่าที่ออกมาจะมีค่าใกล้เคียงหรืออาจจะเท่ากันก็ได้ ดังนั้นในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวนจะพบว่าการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ที่ใช้ตัวทำนายเชิงเส้นจะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันกับการใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐานดังแสดงภาพผลลัพธ์ให้เห็นในภาพที่ 25 ซึ่งเป็นการทำนายแบบเชิงเส้นและภาพที่ 33 เป็นการทำนายแบบมัลติฐานตามลำดับ

ผลจากการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 1% จากผลการทดลองจะได้ตามตารางที่ 4 และ 12 ซึ่งเป็นการวัดเชิงตัวเลขจะเห็นว่าอัตราของการสูญเสีย (RMSE) และการวัดคุณภาพของภาพ (SNR) จะมีค่าใกล้เคียงกันมากแต่โดยส่วนใหญ่แล้วในตารางที่ 12 นั้น จะมีค่าที่ได้เปรียบของ SNR และในการวัด BPP จะเห็นว่ามีค่าของ BPP ที่ได้โดยเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4 ซึ่งเป็นการทำนายเชิงเส้น และเมื่อเปรียบเทียบจากภาพผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ 3.36 ดังภาพที่ 34 กับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากตัวทำนายเชิงเส้นในภาพที่ 26 ด้วยการมองเห็นด้วยตาแล้วจะเห็นว่าทั้งคุณภาพที่ได้ของภาพจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าดังภาพที่ 34 (ข), (ค) และจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากภาพผลต่างในภาพที่ 34 (ง) และ (จ) โดยในส่วนของภาพที่ 26 นั้นจะมีจุดของสัญญาณรบกวนที่กำจัดไม่หมด

ผลจากการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 3% จากผลการทดลองจะได้ตามตารางที่ 13 เมื่อมีการวัดผลเชิงเลขโดยมีการเปรียบเทียบกับตารางที่ 5 ในเงื่อนไขเดียวกัน จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐานนั้น ในหลายๆ ภาพจะมีค่าที่ต่ำกว่าหรือในอีกหลายๆ ภาพมีค่าของตัวเลข (เช่นค่าของ SNR เป็นต้น) ที่สูงกว่าทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากการเพิ่มสัญญาณรบกวนนั้นในแต่ละครั้งจะมีการเกิดที่ไม่ซ้ำกันและตำแหน่งการเกิดที่ต่างกัน แต่ถ้าในแง่ของการมองด้วยสายตาแล้วจากภาพที่ 35 เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 27 แล้วภาพที่ 35 จะให้ความชัดเจนของภาพมากกว่า และจากค่าเฉลี่ยที่ได้ของตารางที่ 13 นั้น จะมีค่าตัวเลขที่ได้ต่ำกว่าตารางที่ 5 ประมาณ 1 เดซิเบล

ผลจากการเกิดของสัญญาณรบกวนที่ 5% จากผลการทดลองจะได้ตามตารางที่ 14 จะเห็นว่าค่าการวัดเชิงเลข (เช่น ค่า SNR) จะมีค่าที่ต่ำลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 1% และ 3% ของการทำนายทั้ง 2 แบบ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของการเกิดการรบกวนเพิ่มขึ้นจากเดิม แต่เมื่อดูผลจากภาพที่ 36 แล้วพบว่าภาพที่ได้จะดีกว่าภาพที่ 28 แต่ภาพที่ได้จะไม่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้น สำหรับค่าจากการทดลองที่เห็นว่าเหมาะสมควรจะไม่เกินกว่า 5 % ของการรบกวนของสัญญาณ แต่ค่าที่ 3 % จะเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบของการบีบอัดแบบ DPCM โดยมีการรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้น และจากค่าเฉลี่ยที่ได้ในตารางที่ 14 นั้นจะมีค่าที่ต่ำกว่าในตารางที่ 6 อยู่ในช่วง 1-2 เดซิเบล

ดังนั้นสามารถสรุปแยกออกได้เป็น

การทดลองในขณะไม่มีสัญญาณรบกวน

การทดสอบกับภาพ MRI โดยเปรียบเทียบระหว่าง DPCM ที่ใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้นและแบบมัลติฐานพบว่า จากตารางที่ 3 และ 11 นั้น เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ดังตารางที่ 15 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ย SNR, RMSE และ BPP ของทั้งสองวิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีของตัวทำนายแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานสมการ 3.36 นั้น จะให้ค่าที่ดีกว่าการทำนายเชิงเส้น โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยประมาณ 7.49% ที่ Δ เท่ากับ 16 และ 1.84% ที่ Δ เท่ากับ 8

การทดสอบกับภาพ CT จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 15 ในส่วนของภาพ CT นั้น จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ของวิธีการทำนายแบบมาตรฐานสมการ 3.36 จะให้ค่าเฉลี่ย SNR, RMSE และ BPP ที่ดีกว่าแต่ไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับการทำนายเชิงเส้น และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยจะได้ประมาณ 0.55% ที่ Δ เท่ากับ 16 และ 1.29% ที่ Δ เท่ากับ 8

การทดสอบกับภาพ X-RAY จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 15 ในส่วนของภาพ X-RAY นั้น จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ของวิธีการทำนายแบบมาตรฐานสมการ 3.36 จะให้ค่าเฉลี่ย SNR, RMSE และ BPP ที่ Δ เท่ากับ 16 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยจะได้ประมาณ 0.028% ในทางที่ด้อยกว่าแต่ไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับการทำนายเชิงเส้น และที่ Δ เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยจะได้ประมาณ 0.06% ในทางที่ดีกว่าการทำนายแบบเชิงเส้น

การทดสอบกับภาพ ULTRA SOUND จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 15 ในส่วนของภาพ ULTRA SOUND นั้น จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ของวิธีการทำนายแบบมาตรฐานสมการ 3.36 จะให้ค่าเฉลี่ย SNR, RMSE และ BPP ที่ Δ เท่ากับ 16 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยจะได้ประมาณ 0.001% ในทางที่ด้อยกว่าแต่แตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับการทำนายเชิงเส้น และที่ Δ เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยจะได้ประมาณ 0.1% ในทางที่ดีกว่าการทำนายแบบเชิงเส้น

จากผลลัพธ์ที่ได้เมื่อดูจากค่าเฉลี่ยของแต่ละภาพของตารางที่ 15 จะพบว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมของการทำนายแบบมาตรฐานจะให้ค่าที่ดีกว่าการทำนายแบบเชิงเส้นแต่มีค่าของความต่างก็น้อยมาก

ตารางที่ 15

ค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐาน						
	ควอนไทล์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทล์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
ภาพ MRI						
เชิงเส้น	22.47	4.25	1.24	28.06	2.23	1.59
มัลติฐาน	24.16	4.16	1.25	28.57	2.23	1.59
ภาพ CT						
เชิงเส้น	28.59	4.436	1.32	34.21	2.16	1.72
มัลติฐาน	28.75	4.35	1.31	34.71	2.245	1.66
ภาพ X-RAY						
เชิงเส้น	28.40	4.51	1.42	34.13	2.33	1.39
มัลติฐาน	28.39	4.51	1.14	34.15	2.32	1.40
ภาพ ULYRA SOUND						
เชิงเส้น	29.86	4.52	1.19	35.62	2.33	1.48
มัลติฐาน	29.86	4.52	1.20	35.65	2.32	1.45

แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐานสมการ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีปราศจากสัญญาณรบกวน

การทดลองในขณะเกิดการรบกวนของสัญญาณรบกวนที่ 1%

การทดสอบกับภาพ MRI จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 16, 17 และ 18 ของการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ให้กับการทำนายแบบเชิงเส้นและการทำนายแบบมัลติฐานจะเห็นว่า

ที่ 1% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 6.42% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 3.38%

ที่ 3% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 6.25% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 9.60%

ที่ 5% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 1.51% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 9.02%

การทดสอบกับภาพ CT จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 16, 17 และ 18 ของการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ให้กับการทำนายแบบเชิงเส้นและการทำนายแบบมัลติฐานจะเห็นว่า

ที่ 1% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 0.82% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 7.14%

ที่ 3% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่า เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 3.44% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 3.80%

ที่ 5% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 5.72% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 0.69%

การทดสอบกับภาพ X-RAY จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 16, 17 และ 18 ของการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ให้กับการทำนายแบบเชิงเส้นและการทำนายแบบมัลติฐานจะเห็นว่า

ที่ 1% การทำนายแบบมัลติฐานจะให้ค่าเฉลี่ยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 2.15% จะดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายเชิงเส้น และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 4.83% ในทางที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3% การทำนายแบบมัธยฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 5.32% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 5.24%

ที่ 5% การทำนายแบบมัธยฐานจะให้ค่าเฉลี่ยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายเชิงเส้น ที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 2.65% จะดีกว่าและที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 7.05% ในทางที่ดีกว่า

การทดสอบกับภาพ ULTRA SOUND จากตารางค่าเฉลี่ยตารางที่ 16, 17 และ 18 ของการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ให้กับการทำนายแบบเชิงเส้นและการทำนายแบบมัธยฐานจะเห็นว่า

ที่ 1% การทำนายแบบมัธยฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 3.77% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 4.92%

ที่ 3% การทำนายแบบมัธยฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 8.38% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 3.25%

ที่ 5% การทำนายแบบมัธยฐานจะให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ Δ เท่ากับ 16 จะได้ 8.90% และที่ Δ เท่ากับ 8 จะได้ 0.99%

* หมายเหตุ การหาค่าของเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยจะคิดเทียบจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากตัวทำนายเชิงเส้น และในที่นี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของ SNR ที่ได้จากตัวทำนายเชิงเส้นเทียบกับ SNR ที่ได้จากตัวทำนายมัธยฐาน โดยค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของ SNR เท่ากับ SNR ของการทำนายเชิงเส้นลบกับ SNR ของการทำนายมัธยฐานทั้งหมดคูณด้วย 100 และหารด้วย ค่าของ SNR ของการทำนายเชิงเส้น

ตารางที่ 16

ค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐาน						
	ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทซ์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
ภาพ MRI						
เชิงเส้น	19.71	5.84	1.45	23.13	3.94	1.76
มัลติฐาน	20.98	6.02	1.42	23.91	3.16	1.76
ภาพ CT						
เชิงเส้น	21.41	10.42	1.58	22.47	9.31	1.96
มัลติฐาน	21.59	10.64	1.50	24.08	8.22	1.86
ภาพ X-RAY						
เชิงเส้น	23.63	7.86	1.38	28.10	4.70	1.62
มัลติฐาน	24.14	7.39	1.38	26.75	5.53	1.62
ภาพ ULYRA SOUND						
เชิงเส้น	25.7	7.33	1.57	30.38	4.31	1.84
มัลติฐาน	24.73	8.16	1.58	28.89	5.06	1.82

แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐานสมการ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีเพิ่มสัญญาณรบกวน 1%

ตารางที่ 17

ค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐาน						
	ควอนไทล์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทล์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
ภาพ MRI						
เชิงเส้น	18.15	6.99	1.45	19.08	6.28	1.79
มัลติฐาน	19.28	7.14	1.43	20.92	5.72	1.71
ภาพ CT						
เชิงเส้น	21.41	10.42	1.58	22.47	9.31	1.96
มัลติฐาน	20.67	11.71	1.57	21.62	10.53	1.89
ภาพ X-RAY						
เชิงเส้น	21.15	10.41	1.45	24.79	6.84	1.68
มัลติฐาน	20.03	11.89	1.45	23.49	7.91	1.69
ภาพ ULYRA SOUND						
เชิงเส้น	22.80	10.10	1.63	24.64	8.27	1.90
มัลติฐาน	20.89	12.78	1.64	23.84	9.04	1.87

แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐานสมการ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีเพิ่มสัญญาณรบกวน 3%

ตารางที่ 18

ค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมีฐาน						
	ควอนไทล์ที่ Δ เท่ากับ 16			ควอนไทล์ที่ Δ เท่ากับ 8		
	SNR	RMSE	BPP	SNR	RMSE	BPP
ภาพ MRI						
เชิงเส้น	14.89	10.19	1.57	16.87	8.12	1.90
มีฐาน	15.11	9.73	1.58	18.39	6.81	1.91
ภาพ CT						
เชิงเส้น	19.68	12.68	1.68	20.27	12.01	2.05
มีฐาน	18.55	14.20	1.67	19.51	13.24	2.01
ภาพ X-RAY						
เชิงเส้น	19.29	12.95	1.55	22.05	9.43	1.78
มีฐาน	19.80	14.71	1.55	22.50	8.02	1.79
ภาพ ULYRA SOUND						
เชิงเส้น	21.06	12.47	1.57	23.30	9.69	1.83
มีฐาน	19.19	15.46	1.74	23.60	9.45	1.97

แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างตัวทำนายเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมีฐานสมการ 3.36 ของข้อมูลภาพแต่ละชนิด ในกรณีเพิ่มสัญญาณรบกวน 5%

สรุป

จากการสรุปในแต่ละวิธีของแต่ละลักษณะของภาพเริ่มต้นจะเห็นว่า

ในขณะไม่เกิดสัญญาณรบกวนนั้นการบีบอัดข้อมูลแบบ DPCM ที่ใช้การทำนายแบบเชิงเส้นและการทำนายแบบมัธยฐานกับภาพเริ่มต้นแบบต่างๆ กันนั้นทั้งสองวิธีจะให้ค่าของตัวเลขที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การทำนายแบบมัธยฐานจะให้ค่าที่ดีกว่า ถึงกระนั้นการทำนายแบบมัธยฐานก็มีข้อเสียเปรียบคือเรื่องของวิธีการที่ซับซ้อนและที่ยุ่งยากกว่าการทำนายแบบเชิงเส้น

เมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นนั้น จะเห็นว่าค่าตัวเลขที่ได้นั้นของทั้งสองวิธีจะให้ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละลักษณะของภาพเริ่มต้น โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อสังเกตจากค่าของตัวเลขที่เปรียบในตารางผลการทดลองวิธีของการทำนายแบบมัธยฐานจะเหมาะกับการนำไปใช้กับภาพ MRI มากกว่าภาพ CT X-RAY และภาพ ULTRA SOUND

ข้อเสนอแนะ

- เรื่องของการวัดคุณภาพนั้นจะแบ่งออกเป็นการวัดเชิงเลขและการวัดด้วยการมองเห็นจากการมองของมนุษย์
ในการวัดเชิงเลขนั้นในเงื่อนไขปกติ (ในที่นี้หมายถึงการไม่เกิดการรบกวนของสัญญาณรบกวน) ค่าที่ได้จากการบีบอัดแบบ DPCM โดยใช้การทำนายทั้งสองแบบจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันสำหรับเมื่อข้อมูลถูกระทบจากสัญญาณรบกวนภายนอก (โดยในที่นี้เป็นการตั้งสมมติฐานของการเกิดสัญญาณรบกวนที่ 1% 3% และ 5%) ในการวัดเชิงเลขนั้น อาจจะไม่บอกค่าที่สามารถเปรียบเทียบที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการสมมติฐานนั้นเกิดจากการสุ่มการเกิดสัญญาณรบกวนซึ่งหมายถึงว่าในการเกิดของสัญญาณรบกวนแต่ละครั้งจะมีการเกิดที่ไม่เหมือนกัน จึงเป็นสาเหตุหลักที่ค่าในเชิงเลขมีค่าที่แตกต่างกัน แต่ในเรื่องของการมองเห็นแล้วสามารถจะเห็นได้ชัดเจนจากภาพที่ 34 เปรียบเทียบกับภาพที่ 28 ภายใต้งานไขเดียวกัน จะสามารถให้ความชัดเจนที่มากกว่า แต่จากการทดลองค่าของสัญญาณรบกวนไม่ควรจะเกิน 3 %
- จากการเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับกรณีของ DPCM ที่ใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อสังเกตจากค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละตารางแล้วจะพบว่าค่าตัวเลขของตัวทำนายแบบมัธยฐานนั้นยังมีการรบกวนของสัญญาณสูงจะทำให้ค่าตัวเลขที่ได้มีค่าด้อยลง

- การใช้ตัวควอนไทซ์ที่มีช่วงของระดับที่แคบจะสามารถให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ตัวควอนไทซ์ที่มีช่วงของระดับที่กว้าง
- สำหรับกรณีของช่องสื่อสารที่ปราศจากสัญญาณรบกวน เช่นในการจัดเก็บภาพนั้น ควรจะเลือกใช้วิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์โดยใช้ตัวทำนายแบบเชิงเส้นซึ่งคำนวณได้ง่ายและให้ภาพผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูง
- จากผลของการทดลอง การเลือกใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐาน ควรเลือกใช้ตัวทำนายแบบที่มีมิติและอันดับที่เท่ากันคือ MED_2 และการใช้ตัวทำนายแบบมัลติฐานนั้นจะมีความซับซ้อนมากกว่าแต่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการใช้ ตัวทำนายแบบเชิงเส้นในกรณีของการส่งภาพผ่านช่องสื่อสารที่มีสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนสูง กล่าวคือสามารถจะรักษาขอบของภาพและลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่าการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพทางการแพทย์ที่ใช้ตัวทำนายแบบต่างๆ พบว่าสามารถให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพ ทั้งตัวทำนายแบบเชิงเส้นและตัวทำนายแบบมัลติฐาน โดยเฉพาะตัวทำนายแบบมัลติฐานจะมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมากกว่า และสามารถรักษาขอบของวัตถุในภาพที่ดีกว่า จึงนับว่าเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ในการรับส่งข้อมูลภาพทางการแพทย์ผ่านเครือข่ายการสื่อสารที่มีสัญญาณรบกวน เช่น โครงการแพทย์ทางไกล เป็นต้น

การวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้เน้นไปทางด้านการออกแบบระบบการเข้ารหัสและการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด โดยไม่ได้ทำการศึกษาในส่วนของการสื่อสาร ดังนั้นการทดลองจึงทำการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์และจัดเก็บข้อมูลลงในไฟล์ข้อมูล แล้วนำไฟล์ข้อมูลนั้นมาทำการถอดรหัสเพื่อที่จะแสดงผลดูความถูกต้องของวิธีการทำงาน.

ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการพัฒนา

เนื่องจากข้อมูลภาพที่ได้มาจากการนำฟิล์มมาผ่านเครื่องสแกนฟิล์มหรือการเก็บภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ทางการแพทย์ ข้อมูลภาพที่ได้ยังขาดความคมชัดทำให้ต้องเสียเวลาในการปรับแต่งความคมชัดก่อนจะนำมาใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้น อีกทั้งปัญหาของการวัดความถูกต้องของผลลัพธ์ยังต้องอาศัยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการรับรองผล การเกิดของสัญญาณรบกวนในแต่ละครั้งจะเกิดในตำแหน่งที่ต่างกัน เป็นสาเหตุให้การวัดค่าผลลัพธ์เชิงเลขกระทำไม่ได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นในการวัดคุณภาพของผลลัพธ์จึงต้องอาศัยการมองเห็นของมนุษย์เป็นตัวตรวจสอบในขั้นสุดท้าย และสุดท้ายจะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปัญหาเกี่ยวกับเรื่องของซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้ในการคอมพิวเตอร์โปรแกรมนั้นบางตัวไม่สามารถทำงานได้ตามประสงค์ อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเป็นที่ตัวโปรแกรมที่เราเขียนมีปัญหาทำให้เสียเวลาในการค้นหาข้อผิดพลาด ซึ่งที่จริงแล้วเพียงแค่เปลี่ยนตัวคอมพิวเตอร์ก็สามารถทำงานได้ตามปกติ

สำหรับแนวทางการพัฒนาต่อสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนคือพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ โดยในส่วนของพัฒนาทางซอฟต์แวร์ สามารถพัฒนาในส่วนของตัวทำนายและตัวควอนไทซ์ให้เป็นแบบปรับตัวเองได้ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และในส่วนของพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์จะเห็นว่าวิธีการนี้มีการประมวลผลในเกนเวลานั้นหมายความว่าไม่มีการนำข้อมูลมาทำการแปลงไปสู่โดเมนอื่น ดังนั้นจึงเหมาะแก่การนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ของการบีบอัดข้อมูลภาพ เพื่อให้มีการทำงานเป็นแบบเวลาจริงได้



บรรณานุกรม

- [1] R. Steinmetz and K. Nahrstedt, *Mutimedia: Computing, Communications and Applications*, Prentice Hall Series in Innovative Technology, pp. 113-143, 1995.
- [2] J. S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Prentice-Hall International Inc., pp. 614-659, 1990.
- [3] P. E. Mattison, *Practical Digital Video with Programming Example in C*, John Wiley & Son., Inc., pp. 158-178, 1994.
- [4] M. Rabbani and P. W. Jones, *Digital Image Compression Techniques*, SPIE Opt. Eng., vol.TT07, pp. 58-128, 1991.
- [5] A. Rosenfeld and A. Kak, *Digital Picture Processing*, Academic Press Inc., 2nd Ed., Vol.1. pp. 107-111, 1982.
- [6] T. J. Lynch, *Data Compression Techniques and Applications*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.
- [7] A. K. Jain, "Image data compression :A review," *Proc. IEEE*, vol. 69, no. 3, pp. 349-389, 1981.
- [8] ยอดเยี่ยม ปราโมทย์ภิกขุ, "การจำแนกภาพโดยวิธีเช็กแมนเตชัน"วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2532.
- [9] T. Jarske and Y. Neuvo, "Adaptive DPCM with Median Type Predictors," *IEEE Trans. Consumer Elec.*, Vol. 37, No. 3, August 1991.
- [10] ชัยรัตน์ ฤทธิรงค์, ดร. สุธี ผู้เจริญชนะชัย และดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี, "การบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์โดยวิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์", วารสารคอมพิวเตอร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 117 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2539.
- [11] ชัยรัตน์ ฤทธิรงค์, ดร. สุธี ผู้เจริญชนะชัย และดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี, "การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์โดยใช้การทำนายแบบมัลติฐาน,"วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] R. Veldhuis and M. Breuwer, *An Introduction to Source Coding*, Printice Hall Inc., pp. 181-191, 1993.
- [13] I. Pitas, "Noise Generators for Digital Image Processing," in *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, 1993.
- [14] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," *Commun ACM*, vol.34, no 4, pp. 30-44, 1991.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ชัยรัตน์ ฤทธิรงค์, สุธี ผู้เจริญชนะชัย และบุทรพงษ์ รังสรรค์เสรี, “การบีบอัดข้อมูลภาพทางการแพทย์โดยวิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์,” วารสารคอมพิวเตอร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 117 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2539
- [2] ชัยรัตน์ ฤทธิรงค์, สุธี ผู้เจริญชนะชัย และบุทรพงษ์ รังสรรค์เสรี, “การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์โดยใช้การทำนายแบบมัลติฐาน,” วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2539
- [3] ชัยรัตน์ ฤทธิรงค์, ศิริโชค ปรีดโคตกพร และสิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์, “การวิเคราะห์อย่างง่ายของวงจรขยายแบบคลาสอี,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายชัยรัตน์ ฤทธิรงค์
เกิดวันที่ 14 เมษายน 2513 ที่จังหวัดพิจิตร
การศึกษา ปีการศึกษา 2519-2525 ระดับประถม โรงเรียนไกรวิทยอนุสรณ์ กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2525-2528 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบางปะกอกวิทยาคม กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2528-2530 ระดับ ปวช. สาขา อิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีสยาม กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2530-2532 ระดับ ปวส. สาขา ไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2532-2534 ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทาง-อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร