

การปรับปรุงการควบคุมอัตราของการเข้ารหัส H.264 สำหรับการส่งวิดีโอ
ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่



นายณัฐ ศรีไสววิไล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2847-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RATE CONTROL IMPROVEMENT OF H.264 CODING FOR VIDEO TRANSPORT
OVER RETRANSMISSION - BASED WIRELESS CHANNELS



Mr. Nat Srisawaivilai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2847-2


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการควบคุมอัตราของการเข้ารหัส H.264 สำหรับการส่ง วีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่
โดย	นายณัชร ศรีไสววิไล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์

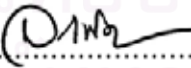
คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ทิเรก สารวณิชย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต บุญพหลกุล)

นัษฐ์ ศรีไสววิไล : การปรับปรุงการควบคุมอัตราของการเข้ารหัส H.264 สำหรับการส่ง
 วิดีทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่. (RATE CONTROL IMPROVEMENT
 OF H.264 CODING FOR VIDEO TRANSPORT OVER RETRANSMISSION –
 BASED WIRELESS CHANNELS) อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์, 112
 หน้า. ISBN 974-53-2847-2.

ในปัจจุบันการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ส่งผลให้การส่ง
 ข้อมูลสื่อประสมที่ถูกรหัส เช่นภาพ และ วิดีทัศน์ ผ่านโครงข่ายไร้สายเกิดขึ้นได้ มาตรฐาน
 การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 เป็นมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่ถูกออกแบบ
 ให้เหมาะสำหรับการส่งวิดีโอไร้สาย อย่างไรก็ตามการส่งวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายยังมี
 ปัญหาที่ท้าทายหลายประการอันเนื่องมาจากลักษณะเฟดดิ้งพหุวิถี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี
 กระบวนการควบคุมความผิดพลาด เช่นการแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (FEC) และ/
 หรือ การร้องขอการส่งใหม่อัตโนมัติ (ARQ) ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสม
 โดยเฉพาะเมื่อมีการประยุกต์ใช้ร่วมกับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ

วิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์การทำงานของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ
 H.264 เมื่อส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการควบคุมความผิดพลาดด้วยวิธี ARQ จาก
 การศึกษาพบว่าการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ ทำให้ข้อมูลที่ได้รับมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นแต่
 ทำให้สัญญาณวิดีโอที่ได้รับมีจำนวนเฟรมกระโดดเพิ่มขึ้นและมีค่าคุณภาพของสัญญาณวิดีโอ
 ที่ลดลง วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราของมาตรฐาน
 การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 สำหรับการส่งสัญญาณวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่
 มีการส่งใหม่ โดยอาศัยการทำนายวิสัยสามารถล่วงหน้าของช่องสัญญาณและการตรวจสอบ
 จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเพื่อนำไปปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราทั้งใน
 ระดับเฟรมและในระดับหน่วยพื้นฐาน ผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงให้
 คุณภาพของสัญญาณวิดีโอเฉลี่ยดีขึ้นสูงสุด 1.84 dB และทำให้ไม่มีเฟรมกระโดดเมื่อ
 เปรียบเทียบกับวิธีควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต..... หังวี่ ศรีไสววิไล
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ผศ.ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์
 ปีการศึกษา..... 2548.....

4670351421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS: H.264 / WIRELESS CHANNEL / ARQ / RATE CONTROL

NAT SRISAWAIVILAI: RATE CONTROL IMPROVEMENT OF H.264 CODING FOR VIDEO TRANSPORT OVER RETRANSMISSION – BASED WIRELESS CHANNELS. THESIS ADVISOR: ASSISTANT. PROF. SUPAVADEE ARAMVITH. Ph.D., 112 pp. ISBN 974-53-2847-2.

Presently rapid development in wireless communication technology enables the transmission of coded multimedia data such as images, and video through wireless network. The new video coding standard named H.264 is designed to for the suitability for wireless video transmission. Nevertheless video transmissions over wireless channels have many challenging problems, due to Multipath fading characteristic. Thus, effective error control mechanisms such as forward error correction (FEC) and/or automatic repeat request (ARQ) have been proven to be suitable approaches especially when applied jointly with video coding. One important component of video encoder is rate control. Its main function is to allocate number of bits to each video frame. Rate control has a buffer to smooth out bits to constant bit rate channel.

In this thesis, we investigate the scenario of wireless H.264 video transmission where ARQ has been adopted as an error control technique. While using ARQ can ensure reliable transmission, consecutive retransmissions cause the degraded PSNR and a lot of frames skipped. We then propose an improved rate-control by monitoring buffer occupancy and integrating channel throughput estimate for both frame and basic unit layers. Simulation results indicate our propose scheme can improve PSNR of up to 1.84 dB with no frames skipped, compared to that of H.264.

Department..... Electrical Engineering..... Student's signature..... Nat Srisawavilai.....
 Field of study..... Electrical Engineering..... Advisor's signature..... S. Aramvith.....
 Academic year 2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ผศ. สุภาวดี อร่ามวิทย์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยสำหรับศูนย์เชี่ยวชาญทางกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล กองทุนรัชดาสมโภชภิเชก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความสนับสนุนในส่วนของคุณและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับช่วยทำงานวิจัย ซึ่งทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยความราบรื่น

ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน น้อง และคนรอบตัวของผู้วิจัยทุกคน ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่ภายในศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยีระบบโทรคมนาคม (Center of Excellence in Telecommunication System) หรือที่ได้ก็ตามสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้า ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา รวมถึงกำลังใจและความเข้าใจที่มีให้ข้าพเจ้าเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์.....	3
1.2.1 มาตรฐานของ ITU – T.....	3
1.2.2 มาตรฐานของ ISO/IEC.....	4
1.3 แนวทางการนำเสนอ.....	6
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2 ความรู้พื้นฐาน.....	8
2.1 วีดิทัศน์ดิจิทัล (Digital Video).....	8
2.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264.....	9
2.2.1 ชนิดของรูปภาพ.....	10
2.2.2 การเข้ารหัสภายในเฟรม.....	11
2.2.3 การเข้ารหัสระหว่างเฟรม.....	15
2.2.4 การแปลงและการแปลงผกผัน (Transform and Inverse Transform).....	16
2.2.5 การควอนไทซ์และการสแกนค่าสัมประสิทธิ์.....	17
2.2.6 การเข้ารหัสแบบเอนโทรปี.....	18
2.2.7 การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) และ การชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation).....	18

2.2.8	รูปแบบการจัดเรียงสัญญาณ.....	20
2.3	การควบคุมอัตราสำหรับการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264	21
2.3.1	การควบคุมอัตราระดับกลุ่มภาพ.....	22
2.3.2	การควบคุมอัตราระดับเฟรม.....	23
2.3.2.1	ส่วน Pre – Encoding State	24
2.3.2.2	ส่วน Post –Encoding Stage.....	27
2.3.3	การควบคุมอัตราระดับหน่วยพื้นฐาน.....	27
2.3.3.1	นิยามของหน่วยพื้นฐาน (Basic Unit)	27
2.3.3.2	การควบคุมอัตราของหน่วยพื้นฐาน.....	28
2.4	การวัดคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์	31
2.4.1	ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE).....	31
2.4.2	ค่าอัตราส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR).....	31
2.5	ลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สาย	32
2.6	วิธีการควบคุมความผิดพลาด.....	33
2.6.1	FEC (Forward Error Correction).....	34
2.6.2	ARQ (Automatic Repeat Request).....	34
3	รายละเอียดเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และระบบที่นำเสนอ.....	36
3.1	ช่องสัญญาณไร้สาย.....	36
3.2	การศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ในรูปแบบของการประเมินคุณภาพโดยใช้ค่า PSNR ภายใต้การจำลองการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายจำลอง ที่อัตราความผิดพลาดของแพ็คเกจและความยาวเบริสต์ที่ระดับต่างๆ.....	38
3.2.1	สมมุติฐานใช้ในการจำลองระบบ	38
3.2.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ.....	38
3.2.3	ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์.....	40
3.3	การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการควบคุมอัตราระดับเฟรม โดยใช้ข้อมูลป้อนกลับที่ได้จากช่องสัญญาณและแบบจำลองของช่องสัญญาณสำหรับการส่งวีดิทัศน์ไร้สาย... ..	50
3.3.1	โมเดลช่องสัญญาณ.....	50

บทที่	หน้า
3.3.2 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการควบคุมอัตราในระดับเฟรม.....	53
3.3.3 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐาน.....	55
4 ผลการทดสอบ.....	60
4.1 ขั้นตอนการทดสอบ.....	60
4.1.1 การกำหนดพารามิเตอร์ในการเข้ารหัส.....	60
4.1.2 ลำดับภาพที่ใช้ในการทดสอบ.....	61
4.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์การเข้ารหัส.....	62
4.2.1 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งซ้ำ.....	62
4.2.1.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman.....	63
4.2.1.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone.....	64
4.2.1.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent.....	65
4.2.1.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo.....	66
4.2.2 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งซ้ำ.....	67
4.2.2.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman.....	68
4.2.2.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone.....	69
4.2.2.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent.....	70
4.2.2.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo.....	71
4.2.3 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งปานกลาง.....	72
4.2.3.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman.....	73
4.2.3.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone.....	74
4.2.3.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent.....	75
4.2.3.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo.....	76

4.2.4	เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งปานกลาง.....	77
4.2.4.1	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman.....	78
4.2.4.2	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone.....	79
4.2.4.3	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent.....	80
4.2.4.4	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo.....	81
4.2.5	เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งเร็ว.....	82
4.2.5.1	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman.....	83
4.2.5.2	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone.....	84
4.2.5.3	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent.....	85
4.2.5.4	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo.....	86
4.2.6	เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งเร็ว.....	87
4.2.6.1	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman.....	88
4.2.6.2	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone.....	89
4.2.6.3	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent.....	90
4.2.6.4	ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo.....	91
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	93
5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	94
	รายการอ้างอิง.....	95
	ภาคผนวก.....	98
	บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....	99
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1	บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264..... 9
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเฟรมแบบ I P และ B ในการทำนายการเคลื่อนที่..... 11
รูปที่ 2.3	ส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4..... 12
รูปที่ 2.4	ตำแหน่งส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4..... 13
รูปที่ 2.5	การเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 โหมด 0 ถึง 8..... 14
รูปที่ 2.6	เข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16X16 โหมด 0 ถึง 3..... 15
รูปที่ 2.7	การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์..... 16
รูปที่ 2.8	วิธีการกราดค่าสัมประสิทธิ์แบบซิกแซกและแบบคู่..... 17
รูปที่ 2.9	การแบ่งบล็อกขนาด 16X16..... 18
รูปที่ 2.10	การแบ่งบล็อกขนาด 8X8..... 18
รูปที่ 2.11	แสดงการแบ่งบล็อกภายในภาพ..... 19
รูปที่ 2.12	การประมาณการเคลื่อนที่..... 19
รูปที่ 2.13	แสดงการหาค่าจุดภาพระหว่าง 2 จุดภาพ..... 20
รูปที่ 2.14	การแบ่งกลุ่มสไลซ์..... 21
รูปที่ 2.15	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมอัตราสำหรับมาตรฐาน H.264..... 22
รูปที่ 2.16	ขนาดหน่วยพื้นฐาน..... 28
รูปที่ 2.17	ระยะเฉลี่ยของการเฟดดิ้งและอัตราการตัดระดับ..... 33
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมการจำลองช่องสัญญาณไร้สาย..... 37
รูปที่ 3.2	ระบบการเข้ารหัสที่ใช้ในการทดสอบ..... 40
รูปที่ 3.3	ผลการทดสอบลำดับภาพของลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz 43
รูปที่ 3.4	ผลการทดสอบลำดับภาพของลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz 44
รูปที่ 3.5	ผลการทดสอบลำดับภาพของลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz 45
รูปที่ 3.6	ผลการทดสอบลำดับภาพของลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz..... 46

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 3.7	ผลการทดสอบลำดับภาพของลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz.....	47
รูปที่ 3.8	ผลการทดสอบลำดับภาพของลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz.....	48
รูปที่ 3.9	แบบจำลอง Markov สองสถานะ.....	50
รูปที่ 4.1	สัญญาณวิดีโอที่ค้นที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	62
รูปที่ 4.2	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม สำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	63
รูปที่ 4.3	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม สำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	64
รูปที่ 4.4	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม สำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	65
รูปที่ 4.5	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม สำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	66
รูปที่ 4.6	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วย พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	68
รูปที่ 4.7	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วย พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	69
รูปที่ 4.8	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วย พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	70
รูปที่ 4.9	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วย พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 1 Hz.....	71
รูปที่ 4.10	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 10 Hz.....	73
รูปที่ 4.11	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 10 Hz.....	74
รูปที่ 4.12	ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรม พื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี Doppler Frequency เท่ากับ 10 Hz.....	75

สารบัญตาราง

ตารางประกอบ	หน้า
ตารางที่ 1.1 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ของ ITU-T.....	4
ตารางที่ 1.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ของ ISO/IEC.....	5
ตารางที่ 2.1 รูปแบบของสัญญาณวีดิทัศน์ที่ใช้งานในปัจจุบัน.....	8
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณไร้สายแบบเฟดดิ้งช้า.....	38
ตารางที่ 3.2 ค่าสถิติของช่องสัญญาณไร้สายจำลองที่ใช้ในการทดสอบ.....	39
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	39
ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมกระโดดและค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ระหว่างการควบคุมอัตราสำหรับ H.264 ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ไม่มีคามผิดพลาดและช่องสัญญาณไร้สายที่มีความถี่ ดอปเปลอร์เท่ากับ 1 Hz ที่มีความผิดพลาดโดยใช้ ARQ.....	49
ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมกระโดดและค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ระหว่างการควบคุมอัตราสำหรับ H.264 ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ไม่มีคามผิดพลาดและช่องสัญญาณไร้สายที่มีความถี่ ดอปเปลอร์เท่ากับ 10 Hz ที่มีความผิดพลาดโดยใช้ ARQ.....	49
ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมกระโดดและค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ระหว่างการควบคุมอัตราสำหรับ H.264 ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ไม่มีคามผิดพลาดและช่องสัญญาณไร้สายที่มีความถี่ ดอปเปลอร์เท่ากับ 40 Hz ที่มีความผิดพลาดโดยใช้ ARQ.....	49
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	61
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 1 Hz.....	67
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 1 Hz.....	72
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 10 Hz.....	77
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 10 Hz.....	82
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz.....	87

ตารางประกอบ

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน
สำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz.....92



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลสื่อประสม (Multimedia) เช่น ออดิโอ ภาพ วิดีทัศน์ ในการนำไปใช้ร่วมกับวีดิทัศน์ที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์เข้ามาช่วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์ร่วมกับงานทางด้านสื่อสารไร้สายเช่น โทรศัพท์ภาพ (Video Phone) การประชุมสัมมนาทางวีดิทัศน์ (Video Conferencing) วีดิทัศน์ตามคำขอ (Video on Demand) และวีดิทัศน์ตรวจการณ์ (Video Surveillance)

ตัวอย่างมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารไร้สายได้แก่ MPEG - 2 [1] MPEG - 4 [2] H.263 [3] และ H.264 [4] สำหรับมาตรฐาน H.264 เป็นมาตรฐานที่ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพของการเข้ารหัส (Coding efficiency) สูงและเหมาะสมกับการส่งผ่านโครงข่าย (Network friendly) เหมาะสำหรับการนำไปใช้ร่วมกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย [5] โดยในงานวิจัยของ [6] ได้กล่าวถึงภาพรวมในการนำมาตราฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานด้านต่างๆของระบบสื่อสารไร้สายและวิเคราะห์สมรรถนะของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เพื่อนำไปใช้กับระบบสื่อสารไร้สายที่มีบริการวีดิทัศน์แบบสนทนา (Conversational services)

ส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ คือ การควบคุมอัตรา (Rate control) การควบคุมอัตรา คือ การจัดสรรบิตที่เหมาะสมให้แก่เฟรมในการเข้ารหัสวีดิทัศน์ ทั้งนี้เนื่องมาจากสัญญาณวีดิทัศน์ที่ถูกบีบอัดจะมีอัตราบิตไม่เท่ากันในแต่ละเฟรมขึ้นกับความซับซ้อนของแต่ละเฟรมวีดิทัศน์ บิตที่เข้ารหัสจะถูกส่งผ่านบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสซึ่งจะทยอยส่งบิตออกสู่ช่องสัญญาณด้วยอัตราบิตคงที่เท่ากับอัตราบิตของช่องสัญญาณ ดังนั้นหน้าที่สำคัญของการควบคุมอัตราคือการหาค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละเฟรมเพื่อเข้ารหัสให้ตรงกับอัตราบิตของช่องสัญญาณที่กำหนดไว้ สำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 การหาค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการควบคุมอัตราจะใช้ แบบจำลองเชิงเส้น (Linear model) ในการทำนายค่าอัตราส่วนของความแตกต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Difference) และแบบจำลองกำลังสองของอัตราบิตกับความเพี้ยนของข้อมูล (Quadratic rate - distortion model) ในการทำนายค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ งานวิจัยต่อมาได้ปรับปรุงขั้นตอนการ

ควบคุมอัตราสำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ [7] ได้ปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 ที่มีการจำกัดการประวิงเวลา โดยพัฒนาเทคนิคการปรับค่าถ่วงน้ำหนักบิตเป้าหมาย เพื่อนำไปใช้ในการรับส่งสัญญาณวีดิทัศน์ในระบบสื่อสารที่มีการประวิงเวลาดำ งานวิจัยของ [8] ทำการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 โดยอาศัยค่าอัตราส่วนของความแตกต่างสัมบูรณ์ ในการวัดความซับซ้อนของแต่ละเฟรมเพื่อนำไปพัฒนาขั้นตอนการจัดสรรบิตของการควบคุมอัตราในระดับเฟรม งานวิจัยของ [9] ปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมโดยใช้ค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) ร่วมกับค่าอัตราส่วนของความแตกต่างสัมบูรณ์เพื่อพัฒนาการวัดความซับซ้อนของแต่ละเฟรมและนำไปใช้ในการจัดสรรบิตของแต่ละเฟรม อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้พิจารณากรณีของการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณไร้สายมีการลดทอนของสัญญาณ ข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายอาจสูญหายหรือผิดพลาด ระบบสื่อสารไร้สายจึงจำเป็นต้องมีวิธีควบคุมความผิดพลาด (Error Control) วิธีควบคุมความผิดพลาดแบ่งเป็นสองวิธีหลักคือ การเข้ารหัสการแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (Forward Error Correction : FEC) และ ARQ (Automatic Repeat Request) สำหรับวิธี ARQ เป็นการควบคุมความผิดพลาดวิธีหนึ่งที่ยอมรับกัน โดยจะต้องอาศัยช่องสัญญาณแบบป้อนกลับ (Feedback Channel) ข้อมูลที่ส่งจะอยู่ในรูปของกลุ่มข้อมูล (Packet) ในแต่ละกลุ่มข้อมูลจะเพิ่มเติมลำดับของข้อมูลและรหัสที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาด เช่น CRC (Cyclic Redundancy Check) ข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาจะช่วยให้ทางฝั่งรับสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและทำการร้องขอให้มีการส่งข้อมูลใหม่ (Retransmission) เมื่อเกิดความผิดพลาดหรือเกิดการสูญหายของข้อมูล ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนของวิธี ARQ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยมาตรฐาน H.264 ในงานวิจัย [10] ได้นำเสนอการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ สำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 โดยใช้การคัดเลือกข้อมูลที่จะทำการส่งใหม่จากเฟรมภาพอ้างอิงที่สะสมไว้เพื่อใช้ในการสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต งานวิจัย [11] ปรับปรุงการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ สำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 โดยใช้ระยะเวลาของการส่งข้อมูลใหม่กับคุณภาพของข้อมูลที่ได้รับมาวางแผนในการจัดส่งข้อมูลใหม่ เพื่อนำไปใช้สำหรับงานทางด้านวีดิทัศน์สตรีมมิง (Video streaming) เมื่อส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายของโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สายยุคที่ 3 (3G) อย่างไรก็ตามการนำวิธี ARQ มาใช้ร่วมกับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์สำหรับการส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย จะส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการ

ควบคุมอัตราของการเข้ารหัสวีดิทัศน์ โดยในงานวิจัยของ [12] แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของบิตสะสมเมื่อมีการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ ซึ่งจะส่งผลให้วิสัยสามารถของช่องสัญญาณ (Channel Throughput) ลดลงส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการควบคุมอัตราทำให้คุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ที่ได้รับลดลง จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการควบคุมอัตราสำหรับการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่ โดยงานวิจัยของ [12] [13] เสนอวิธีการควบคุมอัตราสำหรับการสื่อสารบนช่องสัญญาณไร้สายเมื่อเกิดการส่งข้อมูลใหม่ด้วยวิธี ARQ โดยใช้แนวคิดของแบบจำลองสถานะมาปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.263 งานวิจัยของ [14] เสนอวิธีการควบคุมอัตราสำหรับการสื่อสารบนช่องสัญญาณไร้สายเมื่อเกิดความผิดพลาดในการสื่อสาร โดยมีแนวคิดของการปรับตัวได้อัตโนมัติของตัวเข้ารหัส การกำหนดมาโครบล็อกสำหรับการเข้ารหัสภายในเฟรมและการปรับระดับค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์มาใช้ร่วมกับวิธีควบคุมความผิดพลาดด้วยวิธีการส่งใหม่แบบผสม (Hybrid ARQ) ของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.263 งานวิจัยของ [15] เสนอแนวคิดของการควบคุมอัตราสำหรับการสื่อสารบนช่องสัญญาณไร้สายแบบเวลาจริงที่มีการควบคุมความผิดพลาดด้วยวิธี ARQ ภายใต้ข้อจำกัดของบัพเฟอร์ตัวเข้ารหัส โดยใช้เงื่อนไขของช่องสัญญาณในการป้องกันบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสไม่ให้น้อยเกินไปและมากเกินไป

1.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์

มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาโดยมาตรฐานที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายได้รับการจัดทำโดย 2 องค์กรหลัก ได้แก่ ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Sector) และ ISO/IEC (International Standard Organization/International Electro technical Commission) โดยได้กำหนดมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ดังนี้

1.2.1 มาตรฐานของ ITU-T

องค์กร ITU-T เริ่มต้นตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 1980 มุ่งเน้นในการใช้งานกับเครื่องโทรศัพท์ภาพ หรือ การประชุมสัมมนาทางโทรศัพท์ โดยกำหนดมาตรฐานตระกูล H (H-series) มาตรฐานต่างๆในตระกูล H แสดงไว้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ของ ITU-T

หมายเลขมาตรฐาน	ปีที่กำหนดใช้	วัตถุประสงค์
H.261	ค.ศ.1990	เพื่อจัดการระบบการประชุมสัมมนาทางวีดิทัศน์ผ่านโครงข่าย ISDN (ISDN Videoconference network)
H.262 (ร่วมกับ ISO/IEC)	ค.ศ.1995	เพื่อการส่งกระจายสัญญาณ broadcast และพัฒนาการเก็บข้อมูลเหมือน MPEG-2
H.263	ค.ศ.1998	เพื่อจัดการและเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์เพื่อส่งผ่านโครงข่ายอัตราบิตต่ำและโครงข่ายไร้สาย
H.263+	ค.ศ.1999	พัฒนาจาก H.263 โดยมีฟังก์ชันการทำงานมากขึ้น เช่น การเข้ารหัสเพื่อป้องกันความผิดพลาด
H.263++	ค.ศ.2000	พัฒนาจาก H.263+ โดยมีฟังก์ชันการทำงานมากขึ้น เช่น ขนาดบล็อกสำหรับการประมาณการเคลื่อนที่มีขนาดเล็กลง
H.26L	ค.ศ.2002	เพื่อจัดการและเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์เพื่อส่งผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตและการให้บริการสัญญาณวีดิทัศน์
H.264	ค.ศ. 2003	เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับงานทางวีดิทัศน์ดิจิทัลแบบเต็มรูปแบบ

1.2.2 มาตรฐานของ ISO/IEC

องค์กร ISO/IEC กำหนดมาตรฐานตระกูล MPEG (Moving Picture Experts Group) โดยเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1988 มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเทคนิคการบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์และออดิโอ เพื่อเก็บลงสื่อดิจิทัล และส่งผ่านโครงข่ายอัตราบิตสูง โดยมาตรฐานต่างๆในตระกูล MPEG แสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ของ ISO/IEC

หมายเลขมาตรฐาน	ปีที่กำหนดใช้	วัตถุประสงค์
MPEG-1	ค.ศ.1992	เพื่อเข้ารหัสข้อมูลภาพเคลื่อนไหวสำหรับสื่อประสมและการเก็บข้อมูลในสื่อเก็บข้อมูล เช่น แผ่นซีดีรอม(Video CD) และMP3
MPEG-2	ค.ศ..1995	พัฒนาจาก MPEG-1 เพื่อการส่งกระจายสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัลความละเอียดสูง(HDTV) โทรทัศน์ผ่านดาวเทียมและเคเบิล รวมถึงพัฒนาการเก็บข้อมูลลงสื่อเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น DVD
MPEG-4	ค.ศ. 1999 (เวอร์ชัน 1) ค.ศ. 2000 (เวอร์ชัน 2)	เพื่อการส่งสัญญาณวีดิทัศน์แบบอัตราบิตต่ำมาก (Very low bit rate) และนำไปประยุกต์ใช้งานทางอินเทอร์เน็ตแบบโต้ตอบกันได้ (Interactive) มุ่งเน้นในการบีบอัดและใช้งานทางมัลติมีเดีย
MPEG-7	ค.ศ. 2001	เพื่อพัฒนามาตรฐานการสืบค้นหาและการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสื่อประสม
MPEG-21	ค.ศ.2002	Multimedia Framework เพื่อวางระบบการสื่อสารสื่อประสมให้สามารถสื่อสารกันเป็นระบบเดียวกัน
MPEG – 4 Part 10	ค.ศ. 2003	เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับงานทางวีดิทัศน์ดิจิทัลแบบเต็มรูปแบบ

สำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เริ่มต้นเมื่อในปี ค.ศ. 1998 ได้ริเริ่มพัฒนามาตรฐานใหม่โดยเบื้องต้นใช้ชื่อว่า H.26L ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น H.264 / MPEG – 4 PART 10 ซึ่งมีอีกชื่อหนึ่งว่า Advanced Video Coding (AVC) โดยร่วมมือกันระหว่าง ITU-T และ ISO /IEC เป็น Joint video team (JVT) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับงานทางวีดิทัศน์ดิจิทัลแบบเต็มรูปแบบ [5] เช่น การสื่อสารสัญญาณวีดิ

ทัศน์ที่มีอัตราบิตต่ำสำหรับโครงข่ายไร้สาย การแพร่ภาพบนโทรทัศน์ที่ความละเอียดมาตรฐาน (standard-definition broadcast television) การแพร่ภาพบนโทรทัศน์ที่ความละเอียดขั้นสูง (high definition broadcast television) การสตรีม (stream) สัญญาณวีดิทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต (internet) และ การแสดงภาพคุณภาพสูงสุดสำหรับการประยุกต์ใช้ในโรงภาพยนตร์ เป็นต้น

1.3 แนวทางการนำเสนอ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เมื่อส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการควบคุมความผิดพลาดด้วยวิธี ARQ จากการศึกษาพบว่าการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการควบคุมอัตรา ทำให้สัญญาณวีดิทัศน์ที่ได้รับมีจำนวนเฟรมกระโดดเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง วิทยานิพนธ์ได้นำเสนอการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 สำหรับการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่ โดยนำแบบจำลองสถานะของช่องสัญญาณไร้สายเข้ามาช่วยทำนายสถานะล่วงหน้าของช่องสัญญาณเพื่อนำไปปรับปรุงขั้นตอนการจัดสรรบิตของการควบคุมอัตราทั้งในระดับเฟรมและในระดับหน่วยพื้นฐานทำให้คุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ดีขึ้น

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปรับปรุงวิธีการควบคุมอัตราของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 สำหรับการส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ปรับปรุงขั้นตอนในการควบคุมอัตราทั้งในระดับเฟรมและในระดับหน่วยพื้นฐานของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เพื่อนำไปใช้สำหรับช่องสัญญาณไร้สายที่มีการควบคุมความผิดพลาดด้วยวิธีการส่งข้อมูลใหม่ โดยนำแบบจำลองสถานะของช่องสัญญาณมาใช้ในการทำนายสถานะช่องสัญญาณล่วงหน้าและประมาณบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลใหม่

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานและขั้นตอนการเข้ารหัสของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264

2. ศึกษาขั้นตอนและเทคนิคที่นำมาใช้ในการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264
3. ศึกษาแบบจำลองสถานะช่องสัญญาณไร้สาย
4. ศึกษาคุณลักษณะช่องสัญญาณไร้สายและโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณไร้สาย
5. ศึกษาและทำการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับเฟรม
6. ศึกษาและทำการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐาน
7. ทำการทดสอบวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล
8. จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ขั้นตอนวิธีในการปรับปรุงการควบคุมอัตราสำหรับการส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ใช้มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 ในการเข้ารหัส
3. นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีควบคุมความผิดพลาดวิธีอื่น เช่น FEC
4. เป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อสำหรับการส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์คือพื้นฐานของ วิดิทัศน์ดิจิทัล หลักการทำงานพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์ตามมาตรฐาน H.264 และการควบคุมอัตราของการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์ H.264

2.1 วิดิทัศน์ดิจิทัล (Digital Video)

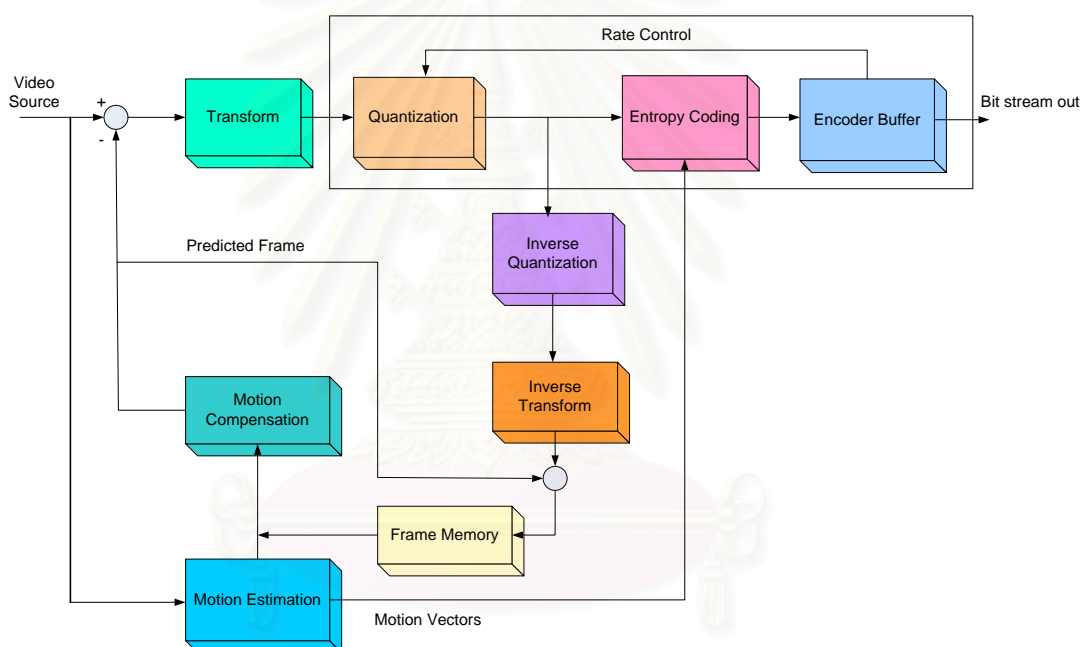
วิดิทัศน์ดิจิทัลเป็นกลุ่มภาพที่มาจากการบันทึกจากกล้องดิจิทัล หรือสแกนรูปจาก ภาพแอนาล็อก (analog) โดยมีหน่วยเป็นเฟรมต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น เฟรมต่อวินาที แต่ละภาพ จะประกอบไปด้วยจุดภาพมาจากการสุ่มตัวอย่าง และผ่านการควอนไทซ์ โดยแต่ละจุดภาพ ประกอบ ด้วย ส่วนประกอบความส่องสว่าง (luminance component) และส่วนประกอบ สัญญาณสี (chrominance component) โดยทั่วไปความส่องสว่างของแต่ละภาพเมื่อผ่าน การควอนไทซ์แล้วจะถูกแบ่งออกเป็น 256 ระดับ ดังนั้นจุดภาพแต่ละจุดสามารถแสดงด้วยความ ส่องสว่างตั้งแต่ 0 ถึง 255 สำหรับความเข้มสีไม่มีความจำเป็นต้องแสดงทุกจุดภาพเนื่องจาก ความสามารถในการรับสีของระบบประสาทในการมองเห็นของมนุษย์น้อยกว่าความส่องสว่างจึงมี จำนวนจุดความเข้มสีแล้วแต่กำหนด [16] รูปแบบของสัญญาณวิดิทัศน์บางชนิดกำหนดไว้ดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปแบบของสัญญาณวิดิทัศน์ที่ใช้งานในปัจจุบัน

รูปแบบ	ความละเอียด	อัตราเฟรม	Y:Cb:Cr	การกราด
BT.601 (NTSC)	720 x 480	30	4:2:2	interlaced
BT.601 (PAL)	720 x 576	25	4:2:2	interlaced
SIF(NTSC)	352 x 240	30	4:2:0	progressive
SIF(PAL)	352 x 288	25	4:2:0	progressive
CIF	352 x 288	30	4:2:0	progressive
QCIF	176 x 144	30	4:2:0	progressive

2.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264

มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 มีหลักการพื้นฐานเหมือนกับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอทั่วไป คือ ใช้หลักการลดความซ้ำซ้อน (Redundancy) ซึ่งมีทั้งการลดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ (Spatial Redundancy) และการลดความซ้ำซ้อนเชิงเวลา (Temporal Redundancy) โดยเรียกการเข้ารหัสที่มีการลดความซ้ำซ้อนทั้งในเชิงพื้นที่และในเชิงเวลาว่าการเข้ารหัสแบบผสม (Hybrid Coding) สำหรับหลักการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264

โดยทั่วไปสัญญาณวิดีโอที่เข้ามาในแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งให้อยู่ในรูปแบบของบล็อกขนาด 16X16 จุดภาพที่เรียกว่ามาโครบล็อก (Macroblock) ในแต่ละมาโครบล็อกจะทำการเข้ารหัสภายในเฟรม (Intra frame Coding) ซึ่งเป็นการลดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ หรือ การเข้ารหัสระหว่างเฟรม (Inter Coding) ซึ่งเป็นการลดความซ้ำซ้อนเชิงเวลา ขึ้นอยู่กับการกำหนดชนิดของรูปภาพในแต่ละเฟรมที่จะทำการเข้ารหัส ถ้าเป็นเฟรมชนิด I (Intra Frame) จะทำการเข้ารหัสภายในเฟรมเท่านั้น แต่ถ้าเป็นเฟรมชนิด P (Predicted Frame) หรือเฟรมชนิด B (Bidirectional Interpolated Frame) จะทำการเข้ารหัสระหว่างเฟรม

ในเฟรมแรกแต่ละมาโครบล็อกในเฟรมนั้นจะถูกแปลงจากโดเมนทางปริภูมิ (Spatial Domain) ให้อยู่ในรูปแบบของโดเมนทางความถี่ (Frequency Domain) โดยใช้การแปลงจำนวนเต็ม (Integer Transform) ซึ่งจะทำภายในบล็อกขนาด 4×4 จุดภาพ จากนั้นจะทำการควอนไทซ์ (Quantization) สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเพื่อบีบอัดข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้ถ้ามีการนำการควบคุมอัตรา (Rate Control) มาใช้การควบคุมอัตราจะทำการหาค่าควอนไทซ์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้อัตราบิตของ จากนั้นสัมประสิทธิ์ของการควอนไทซ์จะให้อยู่ในรูปมิติเดียวด้วยวิธีการสแกนแบบซิกแซก (Zigzag Scan) และนำไปลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy Coding)

สัญญาณที่ผ่านการแปลงและการควอนไทซ์แล้ว จะทำการแปลงค่าควอนไทซ์ย้อนกลับ (Inverse Quantization) และทำการแปลงผกผันจำนวนเต็ม (Inverse Integer Transform) ให้อยู่ในรูปแบบของโดเมนทางเวลาเพื่อนำไปใช้เป็นเฟรมอ้างอิง (Reference Frame) ที่จะใช้ในขั้นตอนการประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) ซึ่งจะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector) นำไปเข้ารหัสเอนโทรปี และสำหรับขั้นตอนการชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation) ซึ่งเฟรมที่ได้จากการชดเชยการเคลื่อนที่ที่จะนำไปใช้ในการหาเฟรมส่วนเหลือ (Residual Frame) ซึ่งจะนำไปเข้ารหัสต่อไปของการเข้ารหัสระหว่างเฟรม

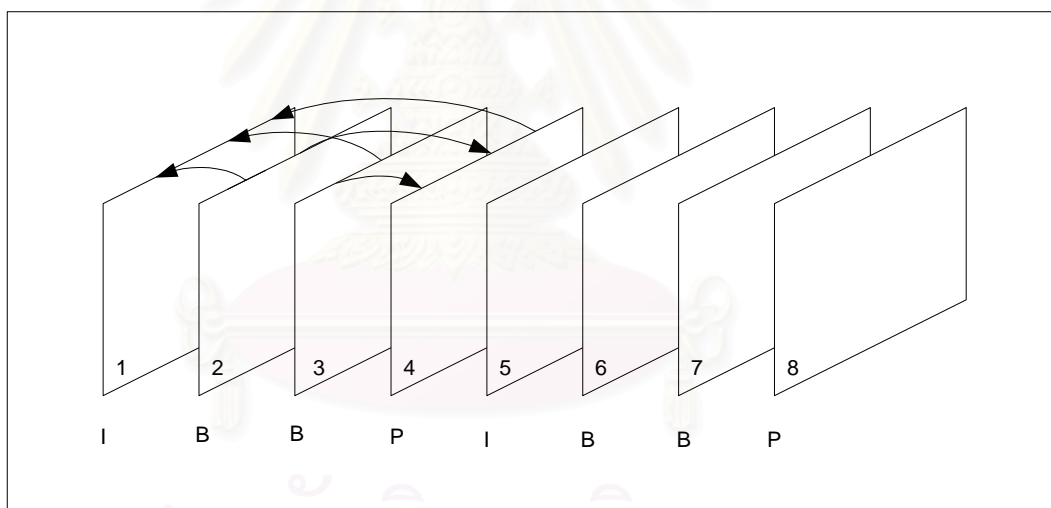
2.2.1 ชนิดของรูปภาพ

ชนิดของรูปภาพแบ่งตามลักษณะของการเข้ารหัสสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่ I และ B โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. I (Intra) เป็นภาพที่เข้ารหัสโดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลจากเฟรมอื่น ดังนั้นลำดับภาพของวิดีโอเฟรมแรกจะเป็นภาพแบบ I เสมอ โดยเป็นเฟรมที่ถูกบีบอัดภายในเฟรม ใช้เป็นจุดเข้าถึง (access point) ของการเข้าถึงแบบสุ่ม ภาพแบบ I มีอัตราการบีบอัดข้อมูลต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับภาพทั้งสามแบบ
2. P (Predicted) เป็นภาพที่เข้ารหัสโดยอาศัยข้อมูลของเฟรมก่อนหน้า และสามารถถอดรหัสโดยอาศัยข้อมูลของเฟรมก่อนหน้า ซึ่งเฟรมก่อนหน้าเรียกว่า เฟรมอ้างอิงซึ่งอาจจะเป็น I หรือ P เฟรมก็ได้ สำหรับการอ้างอิงถึงข้อมูลของเฟรมอ้างอิงต้องระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่มาด้วย ผลของการบีบอัดภาพแบบ P มีขนาดประมาณร้อยละ 30 ถึง 50 ของเฟรมแบบ I

3. B (Bidirectional interpolated) เป็นภาพที่เข้ารหัสและถอดรหัสโดยอาศัยข้อมูลทั้งจากอดีตและอนาคต รวมกับค่าการเคลื่อนที่ของเฟรมดังกล่าวทั้งสองเฟรม โดยละเลยค่าความเพี้ยนของภาพที่ได้จากการประมาณ ดังนั้นเฟรมชนิดนี้จะไม่ใช้เป็นเฟรมอ้างอิง ภาพชนิดนี้ให้การบีบอัดข้อมูลสูงสุด กล่าวคือ มีขนาดเหลือเพียงร้อยละ 15 ถึง 25 ของเฟรมแบบ I เท่านั้น

โดยถ้าเรียงจำนวนบิตที่ต้องใช้สำหรับเข้ารหัสชนิดต่างจากมากไปหาน้อย พบว่ามากที่สุดคือภาพแบบ I รองลงมาคือภาพแบบ P น้อยที่สุด คือภาพแบบ B ความสัมพันธ์ระหว่างภาพแบบ I P และ B เป็นดังรูปที่ 2.2 ภาพเฟรมลำดับที่ 4 ซึ่งเป็นภาพแบบ P ได้จากการอ้างอิงเฟรมลำดับที่ 1 (เฟรมแบบ I) ส่วนเฟรมแบบ B ทั้งสองเฟรมในลำดับที่ 2 และ 3 ได้จากการอ้างอิงเฟรมแบบ I และ P



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟรมแบบ I P และ B ในการทำนายการเคลื่อนที่

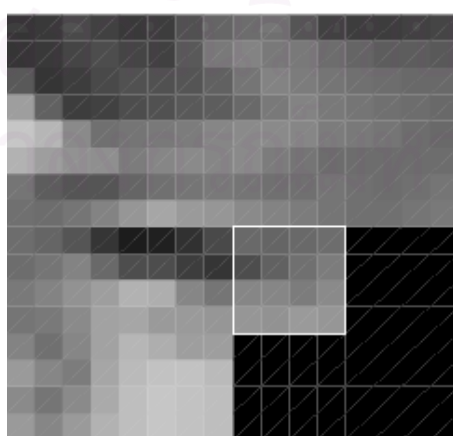
2.2.2 การเข้ารหัสภายในเฟรม

การเข้ารหัสชนิดนี้เป็นการลดความซ้ำซ้อนในโดเมนปริภูมิ (Spatial Redundancy) ของเฟรมด้วยการบีบอัดข้อมูลพื้นฐานการพิจารณาความซ้ำซ้อนของข้อมูลภายในหนึ่งเฟรมโดยเทคนิคต่างๆดังนี้

1. การสุ่มข้อมูล (Sub sampling) คือ การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่สแกนแบบบางส่วน กล่าวคือ การเข้ารหัสแบบบางพิกเซลหรือเข้าด้วยค่าเฉลี่ยของจุดภาพเท่านั้น ทำให้สามารถลดข้อมูลลงได้แต่มีผลเสีย คือ ความคมชัดของภาพลดลง เพราะ ข้อมูลบางส่วนที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัสต้องถูกสร้างขึ้นใหม่โดยการประมาณ(Interpolation)
2. การควอนไทซ์แบบหยาบหรือการลดความลึกของจุดภาพ (Coarse Quantization or Depth Reduction) เป็นการลดจำนวนข้อมูลโดยข้อมูลบางส่วนของภาพถูกทิ้งไป
3. การเข้ารหัสแบบการแปลง (Transform coding) ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลภาพจากโดเมนปริภูมิ (Spatial domain) เป็นโดเมนความถี่ (Frequency Domain) สัมประสิทธิ์จากการแปลงจะอยู่ในรูปสองมิติและถูกจัดให้อยู่มิติเดียวเพื่อทำการเข้ารหัสต่อไป
4. การทำควอนไทซ์แบบเวกเตอร์ (Vector Quantization) ข้อมูลภาพจะถูกแบ่งกลุ่มและแสดงแทนด้วยสัญลักษณ์จากชุดรหัส (code book) เพื่อทำการส่งสัญลักษณ์แทนเท่านั้น ซึ่งเป็นการประหยัดจำนวนบิตในการส่ง

สำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่สแกน H.264 การเข้ารหัสภายในเฟรมจะแบ่งออกเป็นบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4×4 จุดภาพทั้งหมด 9 โหมดและบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16×16 จุดภาพ ทั้งหมด 4 โหมดและสำหรับบล็อกส่วนประกอบสีขนาด 4×4 4 โหมด โดยการเลือกโหมดของการเข้ารหัสเลือกจากการหาค่าความแตกต่างสัมบูรณ์รวม (Sum Absolute Difference Error) ที่น้อยที่สุด

สำหรับบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4×4 จุดภาพที่จะทำการเข้ารหัสแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยแต่ละจุดภาพ (a ถึง p) สามารถแสดงดังรูปที่ 2.4 โดยแต่ละโหมดมีรายละเอียดดังนี้



ตัวอย่างบล็อกส่วนประกอบ
ความส่องสว่างขนาด 4×4
จุดภาพ

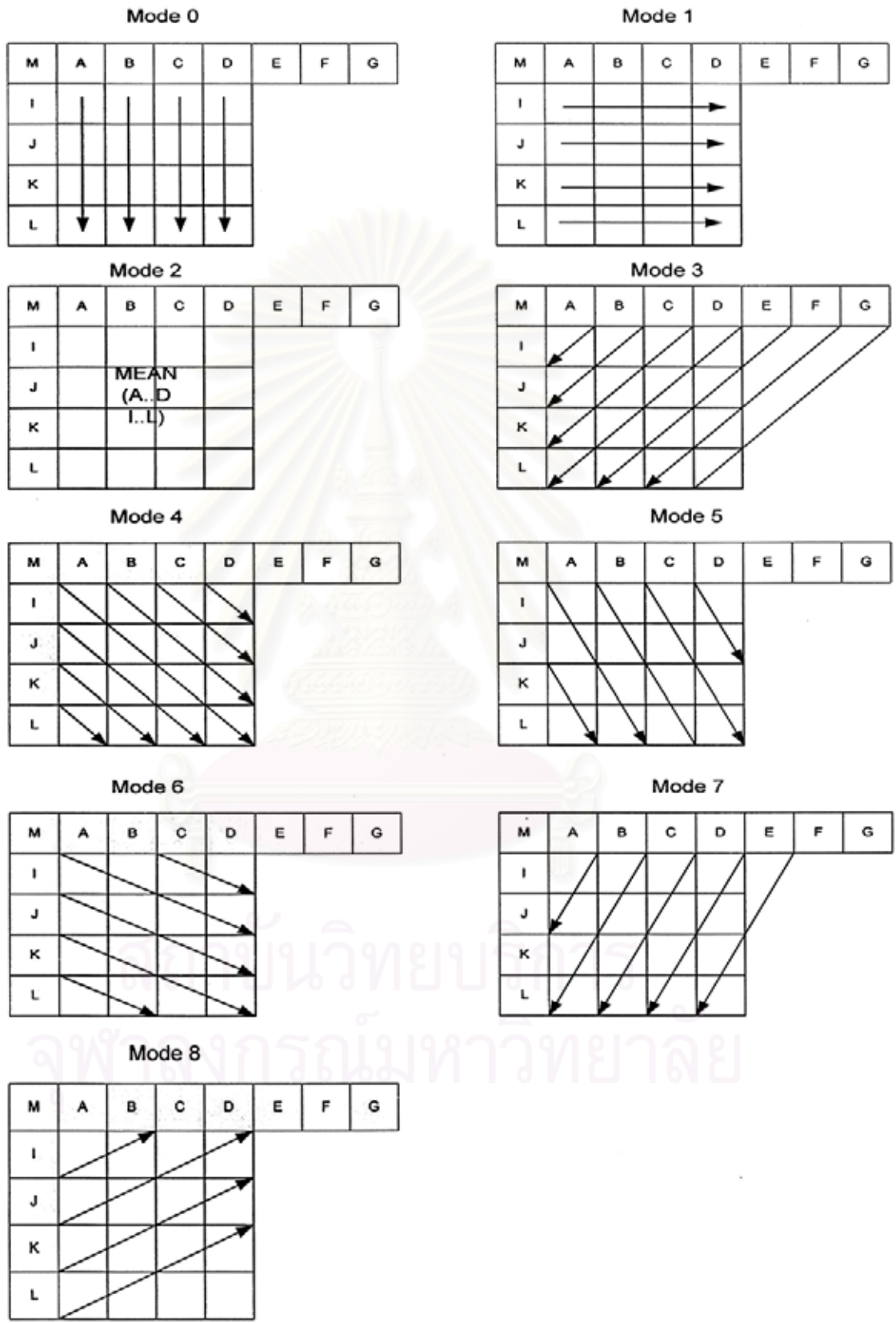
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4×4 จุดภาพ [17]

M	A	B	C	D	E	F	G
I	a	b	c	d			
J	e	f	g	h			
K	i	j	k	l			
L	m	n	o	p			

รูปที่ 2.4 ตำแหน่งส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4

- โหมด 0 คำนวณจากการประมาณในแนวตั้งจากจุดภาพ A B C และ D
- โหมด 1 คำนวณจากการประมาณในแนวนอนจากจุดภาพ I J K และ L
- โหมด 2 คำนวณจากค่าเฉลี่ยตั้งแต่ A B C D และ I J K และ L
- โหมด 3 คำนวณจากจุดภาพ A B C D E F และ G ตามแนวทแยง 45 องศา กับแนวตั้ง จากขวา ลงมา ซ้าย
- โหมด 4 คำนวณจากจุดภาพ A B C D I J และ K ตามแนวทแยง 45 องศา กับแนวตั้ง จากซ้าย ลงมา ขวา
- โหมด 5 คำนวณจากจุดภาพ A B C D และ J ตามแนวทแยง 26.6 องศา กับแนวตั้ง จากซ้าย ลงมา ขวา
- โหมด 6 คำนวณจากจุดภาพ A C I J และ K ตามแนวทแยง 63.4 องศา กับแนวตั้ง จากซ้าย ลงมา ขวา
- โหมด 7 คำนวณจากจุดภาพ A B C D และ E ตามแนวทแยง 26.6 องศา กับแนวตั้ง จากขวา ลงมา ซ้าย
- โหมด 8 คำนวณจากจุดภาพ I J K และ L ตามแนวทแยง 63.4 องศา กับแนวตั้ง จากซ้าย ขึ้นไป ขวา

โดยสามารถแสดงดังรูปที่ 2.5

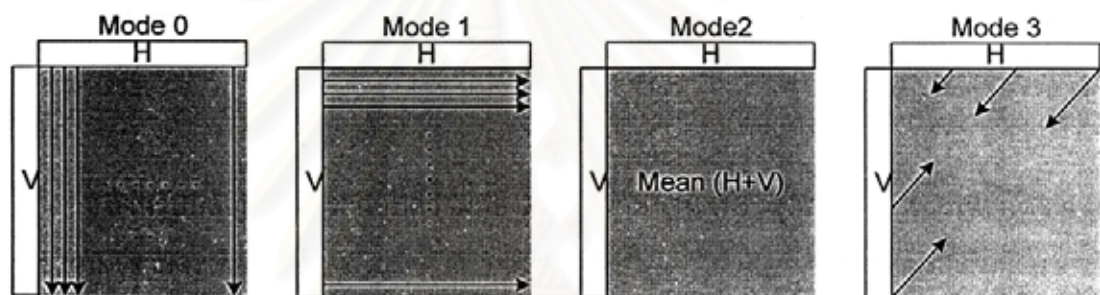


รูปที่ 2.5 การเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 โหมด 0 ถึง 8

สำหรับบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16X16 จุดภาพ สามารถหาได้จาก 4 โหมด รายละเอียดดังนี้

- โหมด 0 คำนวณจากการประมาณในแนวตั้งจากกลุ่มจุดภาพ H
- โหมด 1 คำนวณจากการประมาณในแนวนอนจากกลุ่มจุดภาพ V
- โหมด 2 คำนวณจากค่าเฉลี่ยจากกลุ่มจุดภาพ H และ V
- โหมด 3 คำนวณจากกลุ่มจุดภาพ H ในแนวทแยงลงจากขวามาซ้าย และจากกลุ่มจุดภาพ V ในแนวทแยงขึ้นจากซ้ายไปขวา

โดยสามารถแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เข้รหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16X16 โหมด 0 ถึง 3

สำหรับการเข้รหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความเข้มสีขนาด 8X8 มีทั้งหมด 4 โหมดลักษณะคล้ายกับการเข้รหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16x16

2.2.3 การเข้รหัสระหว่างเฟรม

เนื่องจากสัญญาณวิดีโอที่ติดกันจะมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางปริภูมิ-เวลา (Spatial temporal correlation) ซึ่งทำให้เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เพื่อต้องการลดข้อมูลที่ซ้ำซ้อนนี้จึงใช้เทคนิคต่างๆ ดังนี้

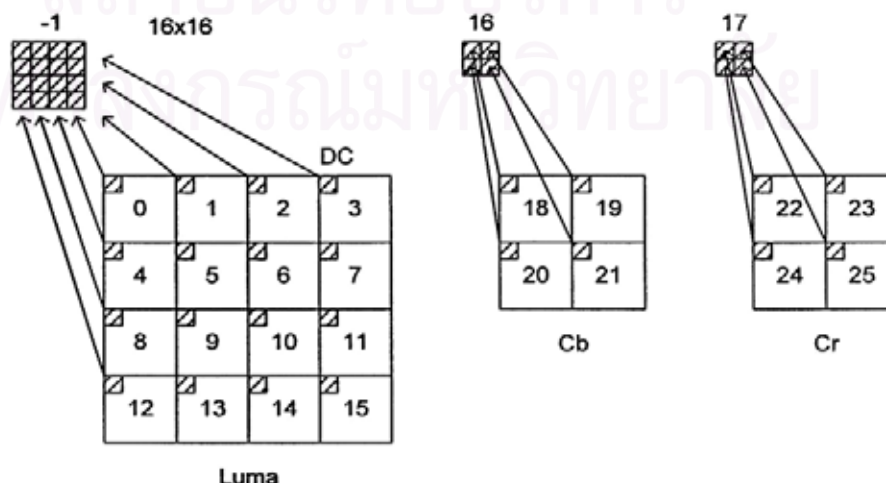
1. การเข้รหัสแบบสุ่มทางเวลา (Time Sub Sampling) การเข้รหัสเฉพาะบางเฟรมโดยที่ตัวถอดรหัสต้องทำการสร้างเฟรมที่หายไปขึ้นแทน
2. การเข้รหัสค่าความแตกต่าง (Different Coding) มี 2 แบบ คือ การเข้รหัสเฉพาะความแตกต่างระหว่างเฟรมและการเข้รหัสค่าความแตกต่างระหว่างบล็อก (Block-Based Different Coding) โดยการเข้รหัสเฉพาะความแตกต่างระหว่างเฟรมอาศัยความสัมพันธ์

ของลำดับภาพที่อยู่ติดกันจำเป็นต้องใช้ส่วนหัว (overhead) ในการบ่งบอกว่าจุดภาพใดมีการเปลี่ยนแปลง จุดภาพใดไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนการเข้ารหัสค่าความแตกต่างระหว่างบล็อกต่างกันตรงที่ภาพจะถูกแบ่งเป็นบล็อกย่อยๆก่อน หลังจากนั้นแต่ละบล็อกจะถูกนำมาเปรียบเทียบ

3. การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) และ การชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation) เป็นวิธีการที่สร้างขึ้นเพื่อลดข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการส่งสัญญาณวิดีโอ ข้อมูลที่ต้องส่งไป คือ ภาพอ้างอิง (Reference Image) เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector) และค่าความผิดพลาดของภาพ (Residue) สังเกตได้ว่ายิ่งข้อมูลภาพแสดงความผิดพลาดน้อยเท่าใด การเข้ารหัสระหว่างเฟรมยังสามารถบีบอัดได้มากขึ้นเท่านั้น หรือ อีกแง่มุมหนึ่งก็คือ ยิ่งการประมาณการเคลื่อนที่แม่นยำมากขึ้นยิ่งทำให้ความผิดพลาดน้อยลงทำให้บีบอัดได้มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้น การประมาณการเคลื่อนที่จึงมีบทบาทสำคัญในส่วนของการบีบอัดสัญญาณวิดีโอ

2.2.4 การแปลงและการแปลงผกผัน (Transform and Inverse Transform)

สำหรับมาตรฐาน H.264 ใช้การแปลงแบบจำนวนเต็ม (Integer Transform) ขนาดบล็อก 4×4 การแปลงแบบจำนวนเต็มใช้พื้นฐานจากการแปลงแบบ DCT (Discrete Cosine Transform) ซึ่งกรณีที่ทำการแปลงผกผันจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารูปแบบการแปลงแบบ DCT โดยถ้าบล็อกนั้นเข้ารหัสแบบภายในเฟรม ค่าสัมประสิทธิ์ DC ของบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างจะถูกนำมาจัดเรียงและทำการส่งไปก่อน แล้วจึงทำการส่งข้อมูลของบล็อกที่เหลือแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์

อินพุท X ขนาด 4x4 การแปลงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$Y = AXA^T = \begin{bmatrix} a & a & a & a \\ b & c & -c & -b \\ a & -a & -a & a \\ c & -b & b & -c \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} a & b & a & c \\ a & c & -a & -b \\ a & -c & -a & b \\ a & -b & a & -c \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

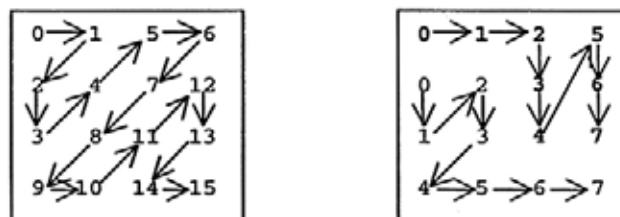
$$a = \frac{1}{2}$$

$$\text{เมื่อ } b = \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{3\pi}{8}\right)$$

2.2.5 การควอนไทซ์และการสแกนค่าสัมประสิทธิ์

การควอนไทซ์เป็นขั้นตอนของการสูญเสียข้อมูลบางส่วน การสูญเสียข้อมูลขึ้นอยู่กับค่าควอนไทซ์ กล่าวคือถ้าค่าควอนไทซ์มีค่ามากสูญเสียข้อมูลไปมาก ค่าควอนไทซ์มีค่าน้อยสูญเสียข้อมูลไปน้อย ทั้งนี้การเลือกค่าควอนไทซ์เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อจำนวนบิตที่ทำการเข้ารหัสเฟรมนั้นๆอีกด้วย สำหรับมาตรฐาน H.264 ได้กำหนดขั้นของการควอนไทซ์ (quantization step) ไว้ที่ 51 ระดับ ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงแบบจำนวนเต็ม ค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ทางด้านบนซ้ายมือจะแทนค่าสัมประสิทธิ์ DC มีค่ามากที่สุดและที่เหลือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ AC และเมื่อผ่านการควอนไทซ์เรียงค่าสัมประสิทธิ์ให้เป็นมิติเดียวโดยเริ่มจากค่าสัมประสิทธิ์ DC ซึ่งในมาตรฐาน H.264 นี้จะมีวิธีเรียงค่าสัมประสิทธิ์อยู่ 2 วิธีคือ การกวาดแบบซิกแซก (Zigzag scan) เป็นวิธีที่ใช้อยู่โดยทั่วไปทั้งในมาตรฐานก่อนหน้าวิธีที่ 2 คือ การกวาดแบบคู่ (Double scan) ลักษณะการเรียงค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 2 วิธี แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วิธีการกวาดค่าสัมประสิทธิ์แบบซิกแซกและแบบคู่

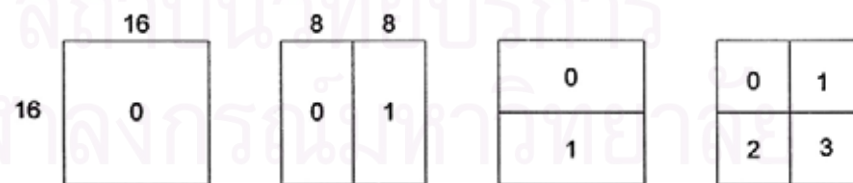
2.2.6 การเข้ารหัสแบบเอนโทรปรี

เป็นขั้นตอนการแปลงค่าจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ที่ได้จากการควอนไทซ์ให้เป็นเลขไบนารีเพื่อส่งเป็นบิตสตรีมออกไป โดยมาตรฐาน H.264 มีวิธีการเข้ารหัสแบบเอนโทรปรี 2 วิธี คือ Context-Adaptive Variable Length Coding (CAVLC) [18] และ Context-Based Adaptive Arithmetic Coding (CABAC) [18] โดยวิธี CABAC สามารถลดอัตราบิตได้มากกว่า CAVLC ประมาณร้อยละ 5 ถึง 15 [5]

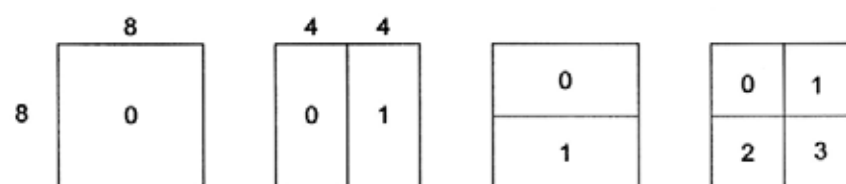
2.2.7 การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) และการชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation)

การประมาณการเคลื่อนที่เป็นการหาความแตกต่างระหว่างจุดภาพที่สอดคล้องกันระหว่างเฟรมสองเฟรมที่ติดกัน โดยปกติเฟรมที่อยู่ติดกันจะมีความสัมพันธ์กันมากหรือที่เรียกว่าความซ้ำซ้อนทางเวลาส่งผลให้สามารถเข้ารหัสเฉพาะความแตกต่างแทนที่จะเข้ารหัสทั้งภาพ โดยทั่วไป เราสามารถสมมุติว่าค่าของจุดภาพในภาพที่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุได้เลื่อนจากจุดหนึ่งในเฟรมหนึ่งไปยังจุดอื่นในเฟรมถัดไป ถ้าเราสามารถหาดำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงหรือที่เรียกว่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ทำให้สามารถลดความแตกต่างลงไปได้ วิธีนี้เรียกว่า การชดเชยการเคลื่อนที่

โดยทั่วไปขนาดของบล็อกที่ใช้ในการชดเชยการเคลื่อนที่มีขนาด 16x16 หรือ 8x8 จุดภาพ ซึ่งในมาตรฐาน H.264 สำหรับบล็อกที่มีขนาด 16x16 สามารถแบ่งขนาดบล็อกให้มีขนาดเล็กได้ทั้งหมด 4 แบบ คือ 16x16 16x8 8x16 8x8 แสดงดังรูปที่ 2.9 และ สำหรับบล็อกที่มีขนาด 8x8 สามารถแบ่งให้มีขนาดเล็กได้อีก 4 แบบ คือ 8x8 8x4 4x8 และ 4x4 แสดงดังรูปที่ 2.10

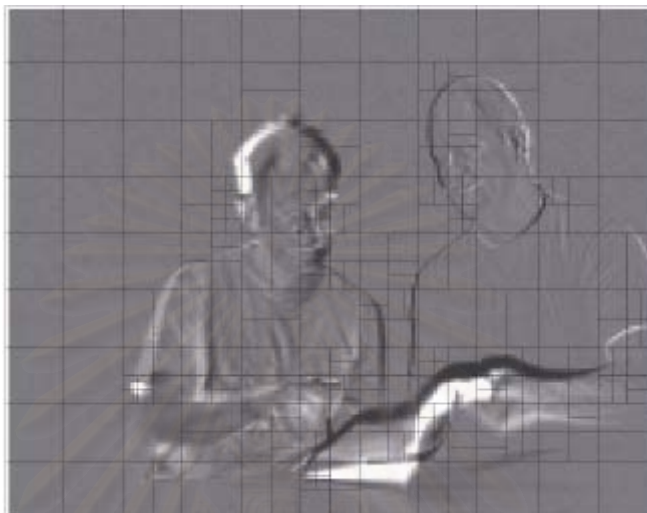


รูปที่ 2.9 การแบ่งบล็อกขนาด 16X16



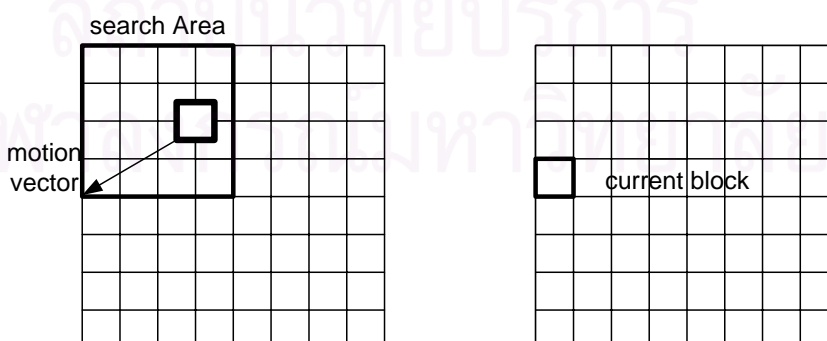
รูป 2.10 การแบ่งบล็อกขนาด 8X8

สำหรับการเลือกขนาดของบล็อกโดยทั่วไปบล็อกขนาดใหญ่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะเอกพันธ์ (Homogeneous) และบล็อกขนาดเล็กเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีรายละเอียดมาก การแบ่งบล็อกแสดงดังรูปที่ 2.11 [17]



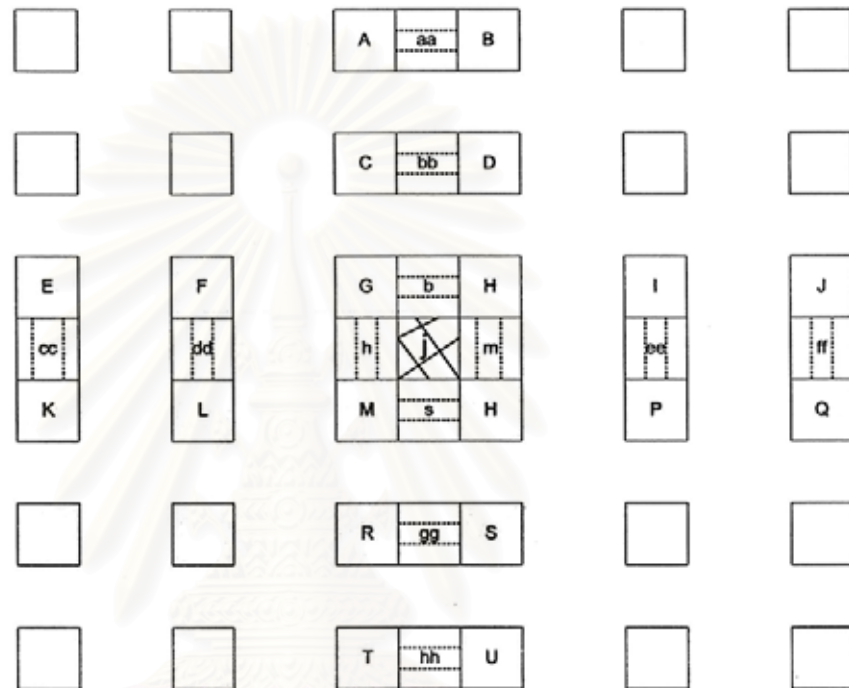
รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งบล็อกภายในภาพ [17]

เมื่อทำการหาบล็อกที่มีจุดภาพใกล้เคียงมากที่สุดระหว่างเฟรมปัจจุบันและเฟรมก่อนหน้า ในการค้นหาบล็อกที่ใกล้เคียงสามารถหาได้ในพื้นที่การค้นหา (Search area) โดยวิธีที่ใช้วัดความใกล้เคียงระหว่างบล็อกทั้งสองนั้นมีหลายวิธี เช่น MAD (Mean Absolute Difference) SSD (Sum Square Difference) และ SAD (Sum Absolute Difference) แสดงดังรูปที่ 2.12 โดยตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงเรียกว่า เวกเตอร์การเคลื่อนที่



รูปที่ 2.12 การประมาณการเคลื่อนที่

สำหรับมาตรฐาน H.264 ได้เพิ่มระดับการประมาณการเคลื่อนไหวจากเดิมแบบครึ่งจุดภาพ (Half-pixel) เป็น 1/4 และ 1/8 จุดภาพซึ่งสามารถทำให้ประมาณการเคลื่อนที่ได้แม่นยำยิ่งขึ้น สำหรับการประมาณการเคลื่อนไหวจากเดิมแบบครึ่งจุดภาพ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการหาค่าจุดภาพระหว่าง 2 จุดภาพ

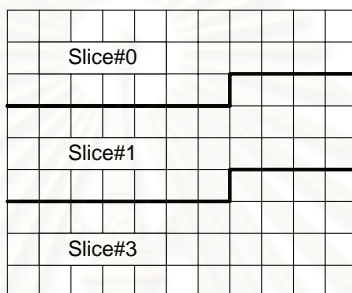
การหาค่าระหว่างจุดภาพสามารถหาได้จากการประมาณในช่วง (Interpolated) โดยใช้วงจรกรองตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response (FIR) filter) 6 แถบ ซึ่งวงจรกรองมีค่าถ่วงน้ำหนักคือ $(1/32 \ -5/32 \ 5/8 \ 5/8 \ -5/32 \ 1/32)$ [17] เช่น ต้องการหาจุดภาพ b สามารถคำนวณได้จากจุดภาพ E F G H I และ J จากสมการที่ (2.2)

$$b = \text{round} ((E-5F+20G+20H-5I+J)/32) \quad (2.2)$$

2.2.8 รูปแบบการจัดเรียงสัญญาณ

ในมาตรฐาน H.264 ได้กำหนดรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลในสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสตามลำดับชั้นต่าง ๆ ทั้งนี้การจัดเรียงข้อมูลรวมทั้งข้อมูลในส่วนหัวของสัญญาณต้องเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อไม่ให้ตัวถอดรหัสเกิดความสับสน โดยจะแบ่งเป็นลำดับชั้นต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) ชั้นกลุ่มภาพ (Group of Picture Layer) ประกอบด้วยจำนวนเฟรมหลายๆเฟรมอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และแต่ละกลุ่มภาพจะเริ่มต้นด้วยเฟรมภาพแบบ I เท่านั้น
- 2) ชั้นรูปภาพ (Picture Layer) ประกอบด้วยจุดภาพขนาดเท่ากับสัญญาณวิดีโอ โดยทั่วไปใน 1 เฟรมจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ บรรทัดคู่และบรรทัดคี่
- 3) ชั้นสไลซ์และกลุ่มสไลซ์ (Slices and Slice Groups) โดยแต่ละสไลซ์จะประกอบด้วยกลุ่มของมาโครบล็อกซึ่งได้มาจากการกวาดแบบราสเตอร์ (raster scan) การแบ่งกลุ่มสไลซ์แสดงดังรูปที่ 2.14

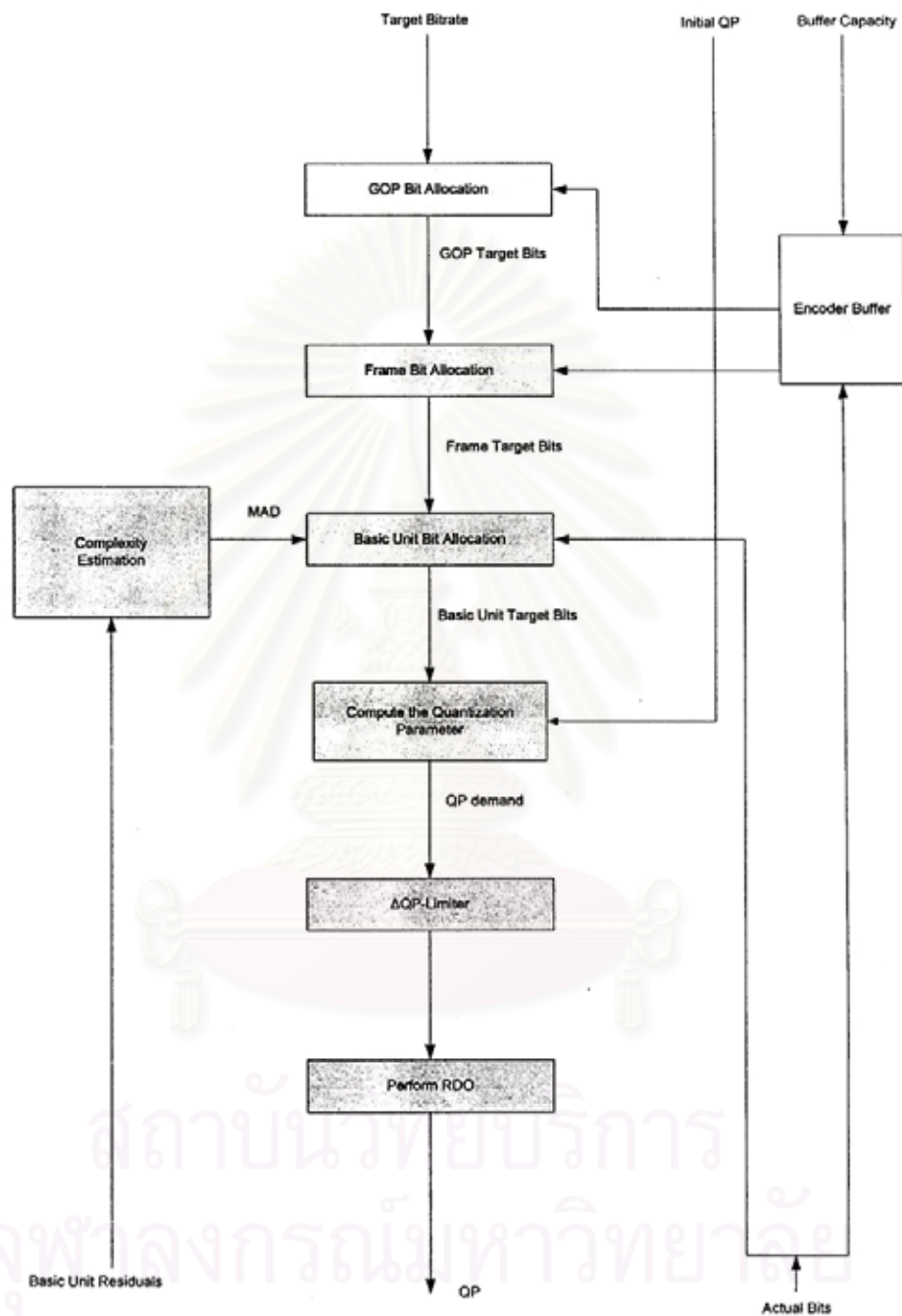


รูปที่ 2.14 การแบ่งกลุ่มสไลซ์

- 4) ชั้นมาโครบล็อก (Macroblock layer) แต่ละมาโครบล็อกจะประกอบไปด้วยจุดภาพขนาด 16×16 จุดภาพ
- 5) ชั้นบล็อก (Block layer) ประกอบไปด้วยจุดภาพขนาด 8×8 จุดภาพ

2.3 การควบคุมอัตราสำหรับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 [19]

การควบคุมอัตราสำหรับ H.264 แบ่งออกได้ 3 ระดับ คือระดับกลุ่มภาพ (GOP level) ระดับเฟรม (Frame level) ระดับพื้นฐานย่อย (Basic unit level) สามารถแสดงดังรูปที่ 2.16 โดยที่ในระดับกลุ่มภาพทำการคำนวณจำนวนบิตสำหรับเข้ารหัสกลุ่มภาพนั้น ๆ จากนั้นในระดับเฟรม (Frame level) คำนวณหาจำนวนบิตเป้าหมายที่ทำการเข้ารหัสในแต่ละเฟรม ส่วนในระดับหน่วยพื้นฐาน (Basic unit level) จะหาจำนวนบิตเป้าหมายในหน่วยพื้นฐานนั้น ๆ เมื่อได้จำนวนบิตเป้าหมายในระดับหน่วยพื้นฐานแล้วจะหาค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์โดยใช้โมเดลกำลังสอง ซึ่งการหาค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์นี้ใช้ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Difference) ด้วย จากนั้นทำการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อกำหนดค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ เมื่อเข้ารหัสครบทุกหน่วยพื้นฐานแล้วทำการรวมจำนวนบิตทั้งหมดภายในเฟรม แล้วทำการคำนวณหาจำนวนบิตสะสมเฉลี่ยในบัพเฟอร์ โดยบล็อกไดอะแกรมการควบคุมอัตราสำหรับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมอัตราสำหรับมาตรฐาน H.264

2.3.1 การควบคุมอัตราระดับกลุ่มภาพ

ในระดับนี้จะคำนวณหาจำนวนบิตสำหรับเข้ารหัสภาพภายในกลุ่มภาพในกรณีที่เป็นเฟรมแรกของกลุ่มภาพ จำนวนบิตทั้งหมดคำนวณดังสมการที่ (2.3)

$$T_r(n_{i,0}) = \frac{u(n_{i,1})}{F_r} * N_{gop} - \left(\frac{B_s}{8} - B_c(n_{i-1, N_{gop}}) \right) \quad (2.3)$$

โดยที่ $n_{i,j}$ ($i=1,2,\Lambda$, $j=1,2,\Lambda$, N_{gop}) คือลำดับภาพที่ j ในกลุ่มภาพที่ i

T_r คือจำนวนบิตสำหรับกลุ่มภาพ

N_{gop} คือจำนวนเฟรมในแต่ละกลุ่มภาพ (GOP)

F_r คืออัตราเฟรม

$B_c(n_{i,j})$ คือจำนวนบิตที่สะสมอยู่ในบัพเฟอร์หลังจากเข้ารหัสแต่ละเฟรม

$u(n_{i,j})$ คืออัตราช่องสัญญาณในเฟรมที่ j ในกลุ่มภาพที่ i

โดยการคำนวณจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอร์สามารถคำนวณโดยใช้แบบจำลองทราฟฟิกการไหลของไหล โดยจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอร์หลังจากเข้ารหัสเฟรม j ($B_c(n_{i,j+1})$) เลือกลำดับที่สุ่มระหว่างค่าบัพเฟอร์เริ่มต้นกับค่ามากที่สุดระหว่างค่าศูนย์กับจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอร์ของเฟรมก่อนหน้ากับผลต่างระหว่างจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสเฟรมก่อนหน้ากับจำนวนบิตที่สามารถออกสู่ช่องสัญญาณได้ แสดงในสมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned} B_c(n_{i,j+1}) &= B_c(n_{i,j}) + A(n_{i,j}) - \frac{u(n_{i,j})}{F_r} \\ B_c(n_{i,1}) &= 0 \\ B_c(n_{i+1,1}) &= B_c(n_{i,N_{gop}+1}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

เมื่อ $A(n_{i,j})$ คือจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสเฟรมที่ j ในกลุ่มภาพที่ i

เมื่อเข้ารหัสแต่ละเฟรมเสร็จต้องทำการคำนวณจำนวนบิตคงเหลือโดยหักจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสออกจากบิตที่ใช้สำหรับกลุ่มภาพนั้น แสดงดังสมการที่ (2.5)

$$T_r(n_{i,j}) = T_r(n_{i,j-1}) - A(n_{i,j-1}) \quad (2.5)$$

2.3.2 การควบคุมอัตราระดับเฟรม

ในระดับนี้แบ่งการทำงานได้ เป็น 2 ขั้นตอน

1. Pre-Encoding Stage คำนวณหาจำนวนบิตเป้าหมายเพื่อเข้ารหัสในแต่ละเฟรม แต่สำหรับกรณีที่เข้ารหัสเพียง 2 ระดับ คือระดับกลุ่มภาพ และระดับเฟรม ในขั้นตอนนี้จะคำนวณค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ด้วย

2. Post-Encoding Stage ปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ หลังการเข้ารหัสแต่ละเฟรม

2.3.2.1 ส่วน Pre-Encoding Stage

ในขั้นตอนนี้คำนวณหาจำนวนบิตเป้าหมายในแต่ละเฟรม และการคำนวณหา ค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์โดยมี 2 ขั้นตอนนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดบิตเป้าหมาย (Target bits) สำหรับเฟรม โดยบิตเป้าหมาย สามารถคำนวณจาก 2 ส่วน ส่วนที่มาจากระดับกลุ่มภาพและส่วนที่มาจากระดับบัพเฟอร์ขั้นตอนนี้แบ่งได้ 2 ขั้นตอนนี้ย่อยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1.1 การควบคุมมหรรศน์ (Macroscopic Control)

ค่าระดับบัพเฟอร์เป้าหมาย (Target Buffer level) จะถูกกำหนดให้แต่ละเฟรม โดยมีค่าเริ่มต้นคือค่าระดับบัพเฟอร์เป้าหมายหลังจากเข้ารหัสเฟรม P เฟรมแรกเสร็จ $Tbl(n_{i,2})$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับบิตสะสมในบัพเฟอร์ของเฟรมนั้น $B_c(n_{i,2})$ จากนั้นค่าระดับบัพเฟอร์เป้าหมายของเฟรมต่อไปจะถูกคำนวณดังสมการที่ (2.6)

$$Tbl(n_{i,j+1}) = Tbl(n_{i,j}) - \frac{Tbl(n_{i,2})}{N_p - 1} \quad (2.6)$$

เมื่อ $Tbl(n_{i,j})$ คือระดับบัพเฟอร์เป้าหมายในเฟรมที่ j ในกลุ่มภาพที่ i

N_p คือจำนวนเฟรม P ในกลุ่มภาพ

ขั้นตอนที่ 1.2 การควบคุมจุลทรรศน์ (Microscopic control)

จากที่กล่าวข้างต้นการคำนวณบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ใช้ระดับบัพเฟอร์ ($\tilde{f}(n_{i,j})$) และส่วนที่มาจากระดับกลุ่มภาพ

ส่วนที่มาจากระดับบัพเฟอร์คำนวณจากจำนวนบิตในบัพเฟอร์ ระดับบัพเฟอร์เป้าหมาย อัตราเฟรมและอัตราในช่องสัญญาณดังแสดงในสมการที่ (2.7)

$$\tilde{f}(n_{i,j}) = \frac{u(n_{i,j})}{F_r} - \gamma(B_c(n_{i,j}) - Tbl(n_{i,j})) \quad (2.7)$$

เมื่อ γ คือค่าคงที่ ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดค่าไว้ที่ 0.8 [19]

ส่วนที่มาจากระดับกลุ่มภาพหาได้จากจำนวนบิตคงเหลือสำหรับเข้ารหัสเฟรมในกลุ่มภาพด้วยจำนวน P เฟรมคงเหลือแล้วทำการถ่วงน้ำหนักบิตเป้าหมายเพื่อให้ค่ามีความถูกต้องมากขึ้นดังแสดงในสมการที่ (2.11)

$$f(n_{i,j}) = \beta * \frac{T_r(n_{i,j})}{N_p - j} + (1 - \beta) * \tilde{f}(n_{i,j}) \quad (2.8)$$

เมื่อ β คือค่าถ่วงน้ำหนักค่าคงที่ ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดค่าไว้ที่ 0.5 [19]

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์โดยใช้โมเดลกำลังสอง [20] [21] [22] ดังแสดงในสมการที่ (2.9)

$$R_i = b_1 \times Q_i^{-1} + b_2 \times Q_i^{-2} \quad (2.9)$$

เมื่อ R_i คือจำนวนบิตที่จะเข้ารหัสเฟรม i Q_i คือค่าควอนไทซ์สำหรับเฟรม i b_1 และ b_2 คือค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ตามลำดับ

การหาค่าควอนไทซ์สำหรับโมเดลกำลังสอง ต้องพิจารณาอีก 2 ปัจจัยคือ

1. โมเดลกำลังสองพัฒนาจากสมมุติฐานที่ว่าเฟรมแต่ละเฟรมที่อยู่ติดกันจะมีความซับซ้อนคล้ายกันทำให้สามารถเข้ารหัสโดยไม่ต้องคำนึงถึงความซับซ้อนของแต่ละเฟรม ซึ่งดัชนี (index) ที่ใช้บอกความซับซ้อนของแต่ละเฟรมจะใช้ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ย
2. โมเดลนี้พิจารณารวมข้อมูลส่วนหัว (overhead data) และเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ดังนั้นการคำนวณบิตที่เข้ารหัสเฟรมจึงต้องลบข้อมูลส่วนหัวและเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (H_i) ออกไป การหาค่าควอนไทซ์โดยพิจารณา 2 ปัจจัยข้างต้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$\frac{R_i - H_i}{M_i} = b_1 \times Q_i^{-1} + b_2 \times Q_i^{-2} \quad (2.10)$$

เมื่อ M_i คือค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยสำหรับเฟรม i โดยค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยหาได้จากโมเดลเชิงเส้นโดยค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยสำหรับปัจจุบันโดยใช้โมเดลเชิงเส้น โดยคำนวณเทียบจากตำแหน่งเดียวกันของเฟรมก่อนหน้า จากสมการที่ (2.11)

$$MAD_f = a_1 * MAD_{f-1} + a_2 \quad (2.11)$$

เมื่อ MAD_f คือค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยของเฟรมปัจจุบัน

MAD_{f-1} คือค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยของเฟรมก่อนหน้า

a_1, a_2 คือค่าสัมประสิทธิ์ โดยเริ่มต้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 และ 0 ตามลำดับ

ดังนั้นจากสมการที่ (2.11) สามารถหาคำนวนค่าควอนไทซ์ดังแสดงในสมการที่ (2.12)

$$\frac{f(n_{i,j}) - H(n_{i,j})}{M(n_{i,j})} = a_1 \times \hat{Q}_{pc}^{-1} + a_2 \times \hat{Q}_{pc}^{-2} \quad (2.12)$$

เมื่อทำการคำนวณหาค่าควอนไทซ์ที่จะทำการเข้ารหัสเฟรมปัจจุบัน (\hat{Q}_{pc}) ได้แล้ว เพื่อให้คุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ราบเรียบต่อเนื่องกันมากขึ้น จึงทำการปรับค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ไม่ให้ค่าควอนไทซ์ที่จะทำการเข้ารหัสเฟรมปัจจุบันกับค่าควอนไทซ์ที่ทำการเข้ารหัสเฟรมก่อนหน้าแตกต่างกันต่างกันเกิน 2 ระดับ โดยแสดงในสมการที่ (2.13)

$$\tilde{Q}_{pc} = \min\{Q_{pp} + 2, \max\{Q_{pp} - 2, \hat{Q}_{pc}\}\} \quad (2.13)$$

เมื่อ Q_{pp} คือค่าควอนไทซ์ที่ทำการเข้ารหัสเฟรมก่อนหน้า

\tilde{Q}_{pc} คือค่าควอนไทซ์ที่ทำการปรับระดับแล้ว

ค่าควอนไทซ์ที่ผ่านการปรับระดับต้องไม่เกินค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของค่าการควอนไทซ์ซึ่งกำหนดไว้ที่ 51 และค่าต่ำสุดซึ่งจะเลือกเอาจากค่าสูงสุดระหว่างค่า \tilde{Q}_{pc} กับ 1 ดังแสดงในสมการที่ (2.14)

$$Q_{pc} = \min\{51, \max\{\tilde{Q}_{pc}, 1\}\} \quad (2.14)$$

เมื่อได้ค่าควอนไทซ์แล้วจึงนำไปใช้เพื่อหาโหมด (MODE) ที่เหมาะสมในการเข้ารหัสสำหรับแต่ละมาโครบล็อกโดยใช้ขั้นตอน RDO (Rate Distortion Optimization) [23]

2.3.2.2 ส่วน Post-Encoding Stage

ในส่วนนี้จะปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น a_1 และ a_2 ในโมเดลเชิงเส้น b_1 และ b_2 ในโมเดลกำลังสอง และจะปรับจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอ์หลังจากการเข้ารหัสในแต่ละเฟรม ถ้ามีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุดของบัพเฟอ์ของตัวเข้ารหัส B_S ตัวเข้ารหัสจะทำการกระโดดข้ามเฟรมโดยจำนวนเฟรมกระโดดเริ่มต้น N_{post} กำหนดค่าให้เท่ากับ 0 และจะนำจำนวนบิตสะสมของบัพเฟอ์ออกสู่ช่องสัญญาณ จนกระทั่งจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอ์มีค่าน้อยกว่าขนาดของบัพเฟอ์ ดังสมการที่ (2.15)

$$\text{While } B_c(n_i, j+N_{post}) \geq B_S ;$$

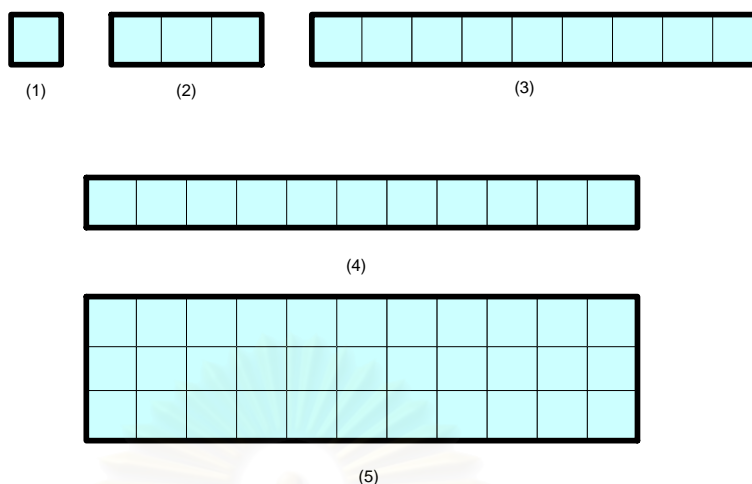
$$B_c(n_i, j+l) = B_c(n_i, j+l-1) - \frac{u(n_i, j+l-1)}{F_r}; 1 \leq l \leq N_{post} \quad (2.15)$$

2.3.3 การควบคุมอัตราระดับหน่วยพื้นฐาน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงนิยามของหน่วยพื้นฐานและการควบคุมอัตราระดับหน่วยพื้นฐาน

2.3.3.1 นิยามของหน่วยพื้นฐาน (Basic unit)

ในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ มีกานิยาม มาโครบล็อกซึ่งมีขนาดเท่ากับ 16×16 จุดภาพเป็นหน่วยเล็กที่สุดในการเข้ารหัสในส่วนการประมาณการเคลื่อนที่และชดเชยการเคลื่อนที่ ในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอตามมาตรฐาน H.264 ได้มีการนิยามหน่วยพื้นฐาน เพื่อความยืดหยุ่นมากขึ้นในการเข้ารหัส โดยกำหนด จำนวนหน่วยพื้นฐาน N_{unit} เท่ากับ จำนวนมาโครบล็อกในภาพ N_{mbpic} หารด้วย ตัวเลขที่กำหนดจำนวนมาโครบล็อกต่อหนึ่งหน่วยมูลฐาน N_{mbunit} ดังแสดงในสมการที่ (2.16) ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับภาพฟอร์แมต QCIF ซึ่งมีขนาด 176×144 จุดภาพ ดังนั้นจึงใช้ $N_{unit} = 99$ กล่าวคือ กำหนดให้ 1 มาโครบล็อกเท่ากับ 1 หน่วยมูลฐาน และ 1 เฟรม ประกอบด้วย 99 มาโครบล็อก หรือ 99 หน่วยพื้นฐาน ตามที่มีการใช้ในมาตรฐานการเข้ารหัสวิดีโอโดยทั่วไป



รูปที่ 2.16 ขนาดหน่วยพื้นฐาน

$$N_{unit} = \frac{N_{mbpic}}{N_{mbunit}} \quad (2.17)$$

2.3.3.2 การควบคุมอัตราของหน่วยพื้นฐาน

จุดมุ่งหมายของการควบคุมอัตราของหน่วยพื้นฐานคือหาค่าควอนไทซ์ที่เหมาะสมของแต่ละหน่วยพื้นฐานโดยที่ผลรวมของจำนวนบิตที่ใช้ในแต่ละเฟรมต้องใกล้เคียงกับจำนวนบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ในแต่ละเฟรมมากที่สุด โดยมี 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำนายค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยสำหรับหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน โดยใช้โมเดลเชิงเส้น โดยคำนวณเทียบจากตำแหน่งเดียวกันของเฟรมก่อนหน้าดังสมการที่ (2.18)

$$MAD_{cb} = a_1 * MAD_{cb-1} + a_2 \quad (2.18)$$

เมื่อ MAD_{cb} คือค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยของหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน

MAD_{cb-1} คือค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยของหน่วยพื้นฐานก่อนหน้า

a_1, a_2 คือค่าสัมประสิทธิ์ โดยเริ่มต้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 และ 0 ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณจำนวนบิตที่ใช้สำหรับหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน $R_{t,l}$ เมื่อ l คือลำดับหน่วยพื้นฐานปัจจุบันที่จะทำการเข้ารหัส โดยขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนที่ 2.1 คำนวณจำนวนบิตเป้าหมายสำหรับหน่วยพื้นฐานปัจจุบันเมื่อ $f_{rb}(n_{i,j})$ คือจำนวนบิตคงเหลือสำหรับเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานของเฟรมปัจจุบัน โดยมีค่าเริ่มต้นเป็น $f(n_{i,j})$ บิตเป้าหมายของหน่วยพื้นฐานย่อยที่ l คำนวณได้ดังสมการที่ (2.19)

$$f_l(n_{i,j}) = f_{rb}(n_{i,j}) \times \frac{MAD_{cb}^2(l)}{\sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \quad (2.19)$$

ขั้นตอนที่ 2.2 คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนบิตส่วนหัวสำหรับหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน $\tilde{m}_{hdr,l}$ ได้จากสมการที่ (2.19)

$$\begin{aligned} \tilde{m}_{hdr,l} &= \left(\tilde{m}_{hdr,l-1} \times \left(1 - \frac{1}{l}\right) \right) + \frac{\hat{m}_{hdr,l}}{l} \\ m_{hdr} &= \left(\tilde{m}_{hdr,l} \times \frac{l}{N_{unit}} \right) + \left(m_{hdr,1} \times \left(1 - \frac{l}{N_{unit}}\right) \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

เมื่อ $\hat{m}_{hdr,l}$ คือจำนวนบิตส่วนหัวสำหรับหน่วยพื้นฐานที่ l ในเฟรมปัจจุบัน

$m_{hdr,1}$ คือจำนวนบิตของส่วนหัวที่มาจากกระบวนการประมวลเฟรมก่อนหน้า

ขั้นตอนที่ 2.3 คำนวณจำนวนบิตที่ใช้สำหรับหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน $R_{t,l}$ จากสมการที่ (2.20)

$$R_{t,l} = f_l(n_{i,j}) - m_{hdr} \quad (2.20)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าควอนไทล์พารามิเตอร์ของหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน (Q_{cb}) โดยใช้โมเดลกำลังสองเหมือนในระดับเฟรม โดยพิจารณาได้ 3 กรณี

กรณีที่ 1 ค่าควอนไทล์พารามิเตอร์สำหรับหน่วยพื้นฐานแรกในเฟรมสามารถหาได้จากสมการที่ (2.21)

$$Q_{cb} = Q_{apf} \quad (2.21)$$

เมื่อ Q_{apf} คือค่าเฉลี่ยค่าควอนไทล์พารามิเตอร์ทุกหน่วยพื้นฐานของเฟรมก่อนหน้า

กรณีที่ 2 ถ้าจำนวนบิตเป้าหมาย (f_{rb}) มีค่าน้อยกว่า 0 ระดับควอนไทซ์พารามิเตอร์จะปรับให้มีค่ามากกว่าระดับระดับควอนไทซ์พารามิเตอร์ของหน่วยพื้นฐานก่อนหน้า เพื่อให้ผลรวมของจำนวนบิตที่เข้ารหัสมีค่าใกล้เคียงกับค่า $f(n_{i,j})$ ดังสมการที่ (2.22)

$$\hat{Q}_{cb} = Q_{pb} + DQuant \quad (2.22)$$

เมื่อ Q_{pb} คือค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ของหน่วยพื้นฐานก่อนหน้า

\hat{Q}_{cb} คือค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ของหน่วยพื้นฐานปัจจุบันที่ยังไม่ผ่านการปรับระดับ

$DQuant$ มีค่าเท่ากับ 1 ถ้า Q_{pb} มีค่ามากกว่า 25 $DQuant$ จะมีค่าเท่ากับ 2 เมื่อ Q_{pb} มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25

จากนั้นจะปรับค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์เพื่อให้คุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ราบเรียบต่อเนื่องกันมากขึ้น และปรับค่าควอนไทซ์ที่ได้ต้องไม่เกินค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของขั้นการควอนไทซ์ ดังสมการที่ (2.23)

$$Q_{cb} = \max\{1, Q_{apf} - 6, \min\{51, Q_{apf} + 6, \hat{Q}_{cb}\}\} \quad (2.23)$$

กรณีที่ 3 ถ้าจำนวนบิตเป้าหมาย (f_{rb}) มีค่ามากกว่า 0 คำนวณค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ตามโมเดลกำลังสองดังสมการที่ (2.24)

$$\frac{R_{cb} - m_{hdr}}{MAD_{cb}} = b_1 \times \hat{Q}_{cb}^{-1} + b_2 \times \hat{Q}_{cb}^{-2} \quad (2.24)$$

เมื่อ R_{cb} คือ จำนวนบิตที่เข้ารหัสสำหรับหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน
ปรับค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ที่ได้จากโมเดลกำลังสอง (\tilde{Q}_{cb}) ดังสมการที่ (2.25)

$$\tilde{Q}_{cb} = \max\{Q_{pb} - DQuant, \min\{\hat{Q}_{cb}, Q_{pb} + DQuant\}\} \quad (2.25)$$

ปรับค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์เพื่อให้คุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ราบเรียบต่อเนื่องกันมากขึ้น และปรับค่าควอนไทซ์ที่ได้ต้องไม่เกินค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของขั้นการควอนไทซ์ ดังสมการที่ (2.26)

$$Q_{cb} = \max\{1, Q_{apf} - 6, \min\{51, Q_{apf} + 6, \tilde{Q}_{cb}\}\} \quad (2.26)$$

ขั้นตอนที่ 4 เลือกโหมดการเข้ารหัสสำหรับแต่ละหน่วยพื้นฐานโดยใช้วิธี RDO

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าจำนวนบิตคงเหลือและจำนวนหน่วยพื้นฐาน

ขั้นตอนที่ 6 ปรับค่า Q_{apf} หลังจากเข้ารหัสครบทุกหน่วยพื้นฐานในเฟรม

2.4 การวัดคุณภาพสัญญาณวิดีโอ

ในการวัดคุณภาพของภาพที่สร้างขึ้นจากกระบวนการขดเคຍการเคลื่อนที่ ด้วยวิธีประมาณการเคลื่อนที่ เป็นวิธีตรวจสอบว่าภาพที่เข้ารหัสมีความใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากน้อยเพียงใด ค่าที่ใช้วัดคุณภาพนิยมใช้กันอยู่ 2 ชนิด คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย และค่าอัตราส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน

2.4.1 ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE)

เป็นการวัดคุณภาพแบบอัติวิสัยสามารถคำนวณดังสมการที่ (2.30)

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X(m, n) - X^R(m, n))^2 \quad (2.30)$$

เมื่อ $M \times N$ คือขนาดของเฟรม

$X(m, n)$ คือค่าส่วนประกอบความส่องสว่างของเฟรมปัจจุบันที่จุดภาพ (m, n)

$X^R(m, n)$ คือค่าส่วนประกอบความส่องสว่างของเฟรมอ้างอิงที่จุดภาพ (m, n)

2.4.2 ค่าอัตราส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR)

เป็นค่าที่วัดคุณภาพในแบบอัติวิสัยที่พยายามให้ความหมายในเชิงปรวิสัย [24] สามารถหาได้จากสมการที่ (2.31)

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \right] \quad (2.31)$$

เมื่อ n คือ จำนวนบิตที่ใช้แทนค่าสีในแต่ละจุดภาพ

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ค่าอัตราส่วนยอดต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) เป็นค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพโดยเรียกว่าค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

2.5 ลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สาย

สัญญาณที่ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สาย อาจเกิดการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งจะ ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปสูญหายหรือเกิดความผิดพลาดโดยทั่วไปลักษณะการลดทอนของสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ

2. ซาโดวอิ้งหรือ เฟดดิ้งสเกลใหญ่ (Shadowing หรือ Large – scale fading) เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น อาคาร และ เนินเขา ระดับสัญญาณที่รับได้จะเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเท่าๆกัน ของสิ่งกีดขวาง

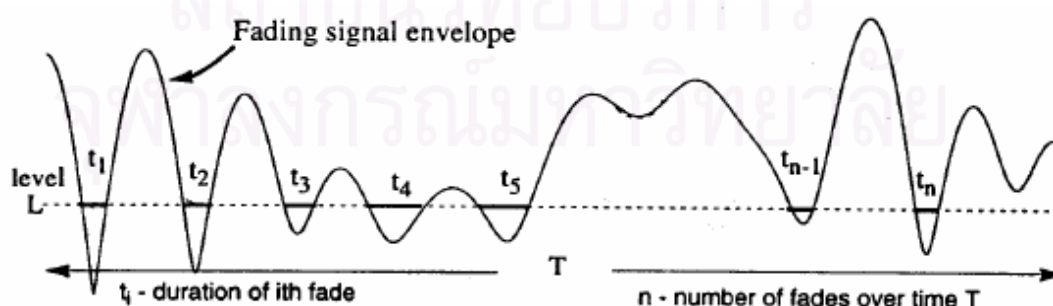
3. เฟดดิ้งพหุวิถีหรือ เฟดดิ้งสเกลเล็ก (Multipath fading หรือ Small – scale fading) เกิดจากการที่สายอากาศของเครื่องรับสัญญาณอยู่ใกล้กับส่วนที่เป็นพื้นผิวมาก สิ่งกีดขวางต่างๆรอบข้างจึงส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลทำให้สัญญาณที่ได้รับประกอบด้วยหลายสัญญาณที่เดินทางมาจากทิศทางที่แตกต่างกันโดยมีทั้งขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน ผลกระทบของมัลติพาทเฟดดิ้งทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสามารถจำลองได้ด้วยแบบจำลองของเรย์ลี (Rayleigh Fading)

เราสามารถแบ่งประเภทของสัญญาณที่มีการเฟดดิ้งได้โดยการคำนวณจากความสัมพันธ์ของค่าการแผ่เวลาประวิง (Time Delay Spread) กับแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ค่าการแผ่เวลาประวิงคือ การประวิงเวลาระหว่างสัญญาณที่มาจากเส้นทางที่ใกล้ตัวรับสัญญาณมากที่สุดกับสัญญาณที่มาจากเส้นทางที่อยู่ไกลจากตัวรับสัญญาณมากที่สุดค่าการแผ่เวลาประวิงของช่องสัญญาณจะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variable) จึงใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เรียกว่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square: RMS) เป็นตัววัด โดยถ้าผลคูณของค่า RMS กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณมีค่าน้อยกว่า 1 จะเรียกช่องสัญญาณนี้ว่าเป็นช่องสัญญาณที่มีเฟดดิ้งแบบแบนราบ (Flat Fading) ซึ่งในกรณีนี้กรอปกลิ้น (Envelope) ของสัญญาณที่ได้รับจะมีแอมพลิจูดและเฟสเป็นค่าสุ่ม

เมื่อผลคูณของค่า RMS กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณมีค่ามากกว่า 1 จะเรียกว่า ช่องสัญญาณที่มีเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ (Frequency Selective Fading) เฟดดิ้งแบบเลือกความถี่จะทำให้เกิดการแทรกแซงกันเองของสัญญาณ เนื่องจากค่าประวิงเวลาการแพร่มากพอที่จะทำให้สัญญาณที่มาจากหลายเส้นทางได้รับข้อมูลซ้ำซ้อนกันเอง เรียกอีกอย่างได้ว่า ISI (Intersymbol Interference)

การเคลื่อนที่ของฝั่งรับและฝั่งส่งในระบบสื่อสารไร้สายจะมีผลทำให้ความถี่ของสัญญาณที่ส่งมีการเปลี่ยนแปลง ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจะเรียกว่าความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler Frequency : f_D) ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่เคลื่อนที่ของผู้ส่งกับความถี่ของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา โดยความถี่ดอปเปลอร์จะมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาเฟดดิ้ง (Average Duration of Fade : ADF) อัตราการตัดระดับ (Level Crossing Rate : lcr) และ อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate : BER)

ค่าเฉลี่ยของ BER เป็นอัตราส่วนของผลคูณระหว่าง ADF กับ lcr ที่ระดับของพลังงานที่ตั้งไว้ ค่า ADF จะเป็นอัตราส่วนของส่วนกลับค่า f_D โดยที่ค่า lcr จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับค่า f_D ค่า ADF จะสอดคล้องกับความยาวเบรสต์ของข้อมูลที่ผิดพลาด และค่า lcr จะสอดคล้องกับความถี่ที่เกิดเบรสต์ของข้อมูลที่ผิดพลาด จากรูป 2.17 สัญญาณจะมีการเฟดดิ้งเมื่อรอบคลื่นของสัญญาณอยู่ต่ำกว่าระดับ L ADF หาได้จาก $(\sum t_i)/n$ และ lcr หาได้จาก n/T สำหรับค่า f_D เมื่อมีค่าน้อยจะเรียกว่าเฟดดิ้งช้า (Slow fading) ระยะเวลาที่เกิดเฟดดิ้งจะยาวนานกว่าความถี่ที่เกิดเฟดดิ้ง จึงทำให้การเบรสต์ของข้อมูลผิดพลาดมีระยะยาวสำหรับเฟดดิ้งช้า สำหรับเฟดดิ้งเร็ว (Fast Fading) การเบรสต์ของข้อมูลผิดพลาดจะมีระยะสั้นกว่าแต่จะเกิดขึ้นบ่อยกว่า



รูปที่ 2.17 ระยะเฉลี่ยของการเฟดดิ้งและอัตราการตัดระดับ

เมื่อไม่มีไดเวอร์ซิตี (Diversity) ของสายอากาศหรือมีสายอากาศรับสัญญาณเพียงจุดเดียว อัตราของการเกิดเฟดดิ้งส่วนใหญ่จะขึ้นกับความถี่ของเฟดดิ้ง การเพิ่มจำนวนสายอากาศเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดการเฟดดิ้งของสัญญาณได้ โดยสัญญาณที่ได้รับในแต่ละสายอากาศจะไม่มีผลกระทบกันของสัญญาณ ซึ่งทำให้มีโอกาสที่จะได้รับสัญญาณที่มีผลกระทบของเฟดดิ้งลดลง

2.6 วิธีการควบคุมความผิดพลาด

จากลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สายที่มีการเฟดดิ้งของสัญญาณอันส่งผลให้ข้อมูลที่ส่งเกิดความผิดพลาดและสูญหาย จึงมีการนำเทคนิคการควบคุมความผิดพลาดของข้อมูลมาใช้เมื่อมีการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณไร้สาย เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมความผิดพลาดแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ FEC (Forward error correction) และ ARQ (Automatic repeat request)

2.6.1 FEC (Forward error correction)

ในการส่งข้อมูลที่เกิดความผิดพลาดสามารถแก้ไขและทำให้ถูกต้องได้โดยใช้วิธี FEC ซึ่งมีหลักการคือเพิ่มบิตซ้ำซ้อน (Redundancy bits) เข้าไปในคำรหัสที่ต้องการจะส่งเพื่อใช้ในการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดในการถอดรหัส การทำ FEC แบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ การทำ รหัสบล็อกเชิงเส้น (Linear block code) และ การทำรหัสคอนโวลูชัน (Convolution block code) [00] โดยเมื่อข้อมูลมีความผิดพลาดแบบต่อเนื่องจะทำการ อินเตอร์ลีฟวิ่ง (Interleaving) เพื่อลดจำนวนบิตซ้ำซ้อนที่จะเพิ่มเติมเข้าไปในชุดข้อมูล

2.6.2 ARQ (Automatic repeat Request)

สำหรับวิธีการควบคุมความผิดพลาดแบบ ARQ การนำไปใช้จะต้องนำไปใช้ในช่องสัญญาณป้อนกลับ (Feedback channel) โดยข้อมูลทางฝั่งส่งที่เข้ามาจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของกลุ่มข้อมูล ในแต่ละกลุ่มข้อมูลจะใส่ลำดับของกลุ่มข้อมูลที่ส่วนหัวของกลุ่มข้อมูลและรหัสที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาด เช่น CRC ที่ส่วนท้ายของกลุ่มข้อมูล ข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาจะช่วยให้ฝั่งรับสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ถ้าข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลที่ถูกต้องทางฝั่งรับจะส่งค่า ACK (Acknowledgement) กลับไปให้ทางฝั่งส่ง ถ้าทางฝั่งส่งไม่ได้รับค่า ACK จากฝั่งรับภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ทางฝั่งส่งจะทำการส่งข้อมูลเดิมกลับมาใหม่ และถ้าข้อมูลที่ได้รับเป็น

ข้อมูลที่มีความผิดพลาด ทางฝั่งรับจะทำการร้องขอให้มีการส่งข้อมูลเดิมกลับมาใหม่โดยการส่งค่า NAK (Negative Acknowledgement) กลับไปให้ฝั่งส่งทางช่องสัญญาณป้อนกลับ

การนำวิธี ARQ ไปใช้ต้องคำนึงถึงวิสัยความสามารถของช่องสัญญาณ ความซับซ้อน และค่าประวิงเวลาของระบบ โดยทั่วไปสามารถแบ่งวิธี ARQ ออกได้เป็น 3 ประเภท คือ SW-ARQ (Stop and wait ARQ) SR-ARQ (Selective ARQ) และ GBN-ARQ (Go back N ARQ) ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงวิธี SR-ARQ ซึ่งวิธีนี้ทางฝั่งส่งจะส่งกลุ่มข้อมูลอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องรอพิจารณาว่า ACK หรือค่า NAK ที่ป้อนกลับจากทางฝั่งรับในการส่งแต่ละรอบ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้วิสัยความสามารถของช่องสัญญาณได้อย่างเต็มที่ ในขณะที่เดียวกันทางฝั่งรับจะส่งค่า ACK ไปให้ทางฝั่งส่งเมื่อได้รับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการโดยถ้าไม่ได้รับค่า ACK ในระยะเวลาที่กำหนดทางฝั่งส่งจะส่งข้อมูลเดิมกลับมาใหม่ในทันที และจะส่งค่า NAK เมื่อกลุ่มข้อมูลที่ได้รับมีความผิดพลาดโดยจะทำการส่งข้อมูลกลับมาใหม่ ซึ่งวิธี SR-ARQ จะต้องการบัพเฟอร์ของตัว ARQ เพื่อที่จะทำการเรียงลำดับข้อมูลที่ได้รับจากการส่งใหม่

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการทำ ARQ คือค่าการประวิงเวลา เนื่องจากช่วงระยะเวลาในการส่งข้อมูลใหม่สามารถหาได้จากจากค่าการประวิงเวลาในการเดินทางไปกลับของข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับ (Round – trip delay : RTD) ถ้าจำนวนครั้งที่จำเป็นในการส่งข้อมูลใหม่ในแต่ละรอบเป็น A ดังนั้นค่าการประวิงเวลาทั้งหมดที่ทางฝั่งรับจะได้คือ $D = A \times RTD$ โดย A ขึ้นอยู่กับคุณภาพของช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ในการสื่อสารที่ไม่จำกัดระยะเวลาการประวิงเวลาวิธีการควบคุมความผิดพลาดแบบ ARQ จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ในทางกลับกันสำหรับงานทางด้าน การสื่อสารวีดิทัศน์เวลาจริงที่มีการจำกัดค่าประวิงเวลา จะทำการกำหนดขอบเขตของค่าการประวิงเวลาสูงสุดในการส่งข้อมูลใหม่ได้จากค่า D

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

รายละเอียดเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และระบบที่นำเสนอ

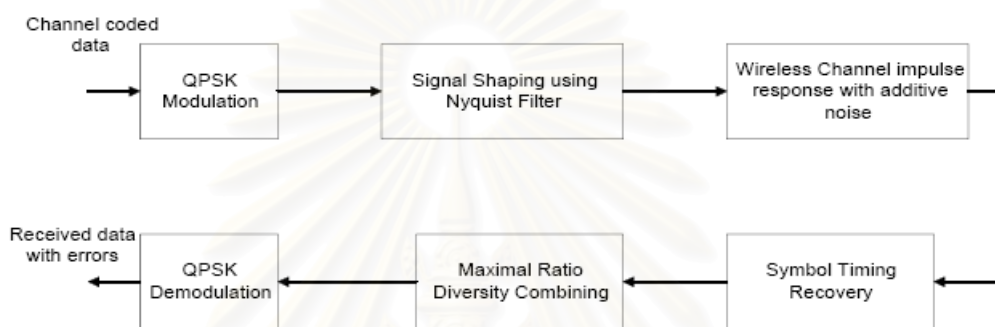
วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 สำหรับการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่ โดยมีรายละเอียดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 ช่องสัญญาณไร้สาย

สำหรับระบบสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2 (2G) เช่น PACS (Personal Communication Services) [25] DECT (Digital European Cordless Telephone) [26] และ PHS (Personal Handyphone System) [27] จะมีวิสัยความสามารถของช่องสัญญาณ (channel throughput) ที่ 32 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานสื่อสารวีดิทัศน์ ส่วนในระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 (3G) หรือที่รู้จักกันในมาตรฐาน UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) ที่ใช้เทคโนโลยี W – CDMA (Wideband CDMA) [28] จะมีการใช้แบนด์วิดท์ที่สูงกว่าสามารถรองรับการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ที่มีคุณภาพสูงได้ อย่างไรก็ตามหากมีผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณก็จะลดลงตามไปด้วย ในวิทยานิพนธ์นี้จึงพิจารณาศึกษา ระบบ PACS เป็นกรณีศึกษาเมื่อแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมีค่าต่ำ โดยจะใช้ระบบ PACS ในการจำลองรูปแบบความผิดพลาด (Error Pattern) ของช่องสัญญาณไร้สาย ความยาวของเฟรมพาร์ (Frame carrier) ในระบบ PACS เท่ากับ 120 บิต ซึ่งจะประกอบด้วย 80 บิตข้อมูลสำหรับผู้รับ และ 40 บิตสำหรับข้อมูลส่วนหัวและบิต CRC (Cyclic Redundancy check) ค่าประวิงเวลาในการเดินทางไปกลับของข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับ (Round – trip delay) ของระบบ PACS มีค่าน้อย อยู่ในระดับ 10 มิลลิวินาที [25] ซึ่งเหมาะสมกับงานสื่อสารวีดิทัศน์ที่ต้องการค่าการประวิงเวลาต่ำ

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สาย [29] ในการจำลองช่องสัญญาณ ไร้สายในแต่ละสถานะของเฟดดิ้งที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ซอฟต์แวร์จำลองถูกพัฒนาโดยใช้โมเดลช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งของเรย์ลี บล็อกไดอะแกรมการจำลองช่องสัญญาณไร้สายแสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ ช่องสัญญาณจะทำการเข้ารหัสด้วยการมอดูเลตแบบ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) จากนั้น ผลตอบสนองอิมพัลส์ต่อ

ช่องสัญญาณมัลติพาทของเรย์ลีที่มีการแผ่เวลาประวิง จะถูกคำนวณ ตัวรับสัญญาณแบบร่วมนัย (Coherent Receiver) จะทำการกู้คืนสัญญาณที่ได้รับจากช่องสัญญาณ จากนั้นจะรวมค่าไดเวอร์ซิตีของสายอากาศ ก่อนที่จะนำไปทำการดีมอดูเลตแบบ QPSK ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลของช่องสัญญาณที่มีความผิดพลาด ช่องสัญญาณของเรย์ลีอธิบายไว้ใน [30] โดยแทนฟังก์ชันอัตราสหสัมพันธ์ด้วยเบสเซลส์ฟังก์ชัน (Bessel Function) $J_0(2\pi f_D \Delta t)$ เมื่อ f_D คือค่าความถี่ดอปเปลอร์สูงสุด และ Δt คือระยะห่างของเวลาระหว่างสัญญาณเฟดดิ้ง 2 สัญญาณ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการจำลองช่องสัญญาณไร้สาย

โดยการใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณร่วมกับซอฟต์แวร์มาตรฐานการเข้ารหัสของ H.264 ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่จะถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขของช่องสัญญาณและพารามิเตอร์การเข้ารหัสที่เหมาะสม โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณดังนี้ SNR (Signal to noise ratio) ค่าความถี่สูงสุดดอปเปลอร์ (f_D) ค่าการแผ่เวลาประวิง (Time delay spread) ค่าไดเวอร์ซิตีของสายอากาศ (Antenna Diversity) และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ซึ่งความหมายของพารามิเตอร์แต่ละตัวจะแสดงไว้ในหัวข้อ 2.2

ตัวอย่างของพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลองช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จำลองช่องสัญญาณที่แบบ เฟดดิ้งช้า [12] โดยขนาดของแพ็คเกต (Packet) จะกำหนดเท่ากับ 80 บิต เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 จำลองช่องสัญญาณ จะได้รูปแบบความผิดพลาดของช่องสัญญาณในระดับแพ็คเกตโดยแสดงถึงลำดับของแพ็คเกตที่มีความผิดพลาด ซึ่งจะได้ค่า BER (Bit Error Rate) = 10^{-2} PER (Packet Error Rate) = 0.15 และความยาวเบิรสต์เฉลี่ย (Average-burst-length) เท่ากับ 19 โดยสามารถกำหนดพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ช่องสัญญาณตามคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณไร้สายแบบเฟดดิ้งช้า

Multiple Access	TDMA
Modulation	QPSK
Channel rate	32 kbps
Maximum Doppler Frequency	1 Hz
Transmitted Signal Power	15 dB
Time delay spread	$\frac{1}{4}$ of symbol period
Antenna Diversity	1

3.2 การศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณวิดีโอในรูปแบบของการประเมินคุณภาพโดยใช้ ค่า Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) ภายใต้การจำลองการส่งสัญญาณวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายจำลอง ที่อัตราความผิดพลาดของแพ็คเก็ต และความยาวของเบริสต์ที่ระดับต่าง ๆ

3.2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการจำลองระบบ

1. ช่องสัญญาณที่ใช้เป็นช่องสัญญาณไร้สายแบนด์วิดท์แคบอัตราบิตต่ำ มีช่องสัญญาณป้อนกลับ และมีการประวิงเวลาสั้นและคงที่
2. การแก้ไขข้อผิดพลาดข้อมูลแบบ ARQ จะจำลองกรณีที่มีการส่งใหม่ประสบความสำเร็จ
3. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับสัญญาณวิดีโอที่ภาครับจะถูกปกปิดด้วยเทคนิคการปกปิดความผิดพลาดแบบไม่ชดเชยการเคลื่อนที่ (Non motion-compensated error concealment)

3.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

ใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สาย [29] จำลองช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ โดยมีพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการจำลองตามคำอธิบายในหัวข้อที่ 3.1 ในการทดสอบแบ่งการจำลองช่องสัญญาณออกเป็น 3 กรณี ตามค่าความถี่ดอปเปลอร์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งจะได้ค่าความยาวของเบริสต์เฉลี่ย ค่าอัตราความผิดพลาดแพ็คเก็ต และจำนวนเบริสต์ จากการจำลองช่องสัญญาณ

ตารางที่ 3.2 ค่าสถิติของช่องสัญญาณไร้สายจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

กรณีศึกษา	ค่าความถี่ดอปเปลอร์	อัตราความผิดพลาดแพ็คเกต	ความยาวของเบิร์ตเฉลี่ย (แพ็คเกต)	จำนวนเบิร์ต (ครั้ง)
1	1 Hz	0.15	19	395
2	10 Hz	0.12	6	619
3	40 Hz	0.09	2	1142

แบ่งสภาพช่องสัญญาณแบบเฟดดิ้งตามค่าความถี่ดอปเปลอร์ [33] โดย

- ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz เป็นการจำลองช่องสัญญาณแบบเฟดดิ้งช้า (slow fading)
- ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz เป็นการจำลองช่องสัญญาณแบบเฟดดิ้งปานกลาง (medium fading)
- ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz เป็นการจำลองช่องสัญญาณแบบเฟดดิ้งเร็ว (fast fading)

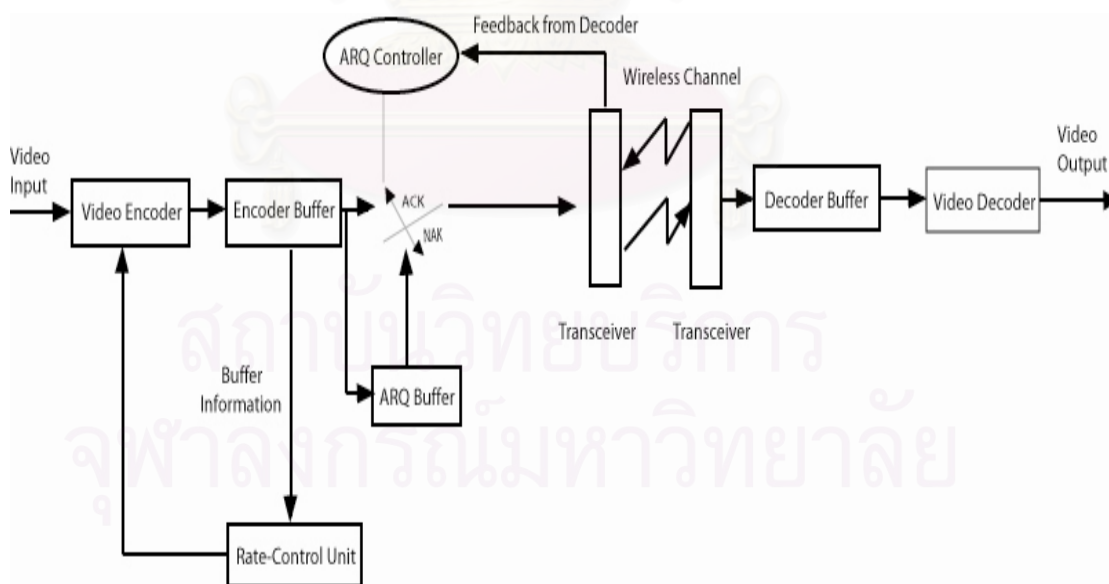
ส่วนการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่สนใช้ซอฟต์แวร์อ้างอิงตัวเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 ใช้ รุ่น JM 9.0 [31] โดยมีพารามิเตอร์ในการเข้ารหัสแบบ Extended profile ซึ่งเหมาะกับงานประยุกต์แบบไร้สาย [5] ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

MV resolution	1/4 pel
Hadamard	on
RD optimization	on
Search Range (pixels)	± 16
Reference frames	5
Restrict Search Range (pixels)	2
Symbol mode	UVLC
GOP structure	IPPP

3.2.3 ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวิดีโอ

ในหัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวิดีโอที่รับเมื่อเข้ารหัสด้วย H.264 สำหรับการส่งวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่ การจำลองระบบที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นระบบการส่งสัญญาณวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่นำวิธีการควบคุมความผิดพลาดแบบ ARQ ประเภท Selective Repeat – ARQ มาใช้ โดยเมื่อทำการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่เข้ามาเสร็จแล้วจะนำข้อมูลที่ทำการเข้ารหัสเสร็จไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสจากนั้นจะนำข้อมูลที่ทำการเข้ารหัสเสร็จแล้วส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายในรูปแบบของแพ็คเก็ต แพ็คเก็ตละ 80 บิตและเก็บข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายในบัฟเฟอร์ของ ARQ ทางฝั่งรับจะทำการตรวจสอบแพ็คเก็ตที่ได้รับถ้าแพ็คเก็ตนั้นถูกต้องจะให้ตัวควบคุม ARQ (ARQ Controller) ส่งสัญญาณบอกลับ ACK เพื่อบอกให้ส่งแพ็คเก็ตต่อไป แต่ถ้าทางฝั่งรับพบว่าเป็นแพ็คเก็ตที่มีความผิดพลาดหรือแพ็คเก็ตนั้นสูญหายหรือผิดพลาดจะให้ตัวควบคุม ARQ ส่งสัญญาณบอกลับ NAK เพื่อให้บัฟเฟอร์ของ ARQ ส่งแพ็คเก็ตที่พบว่าผิดพลาดหรือสูญหายกลับมาใหม่ โดยตั้งสมมุติฐานไว้สำหรับการส่งข้อมูลใหม่ว่าข้อมูลที่ได้รับการส่งใหม่เป็นข้อมูลที่ไม่มีผิดพลาดหรือสูญหาย



รูปที่ 3.2 ระบบการเข้ารหัสที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบจะทำการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอโดยใช้ซอฟต์แวร์มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 ของ JVT รุ่น JM 9.0 โดยใช้การควบคุมอัตรากำหนดอัตราบิตที่

32 กิโลบิตต่อวินาที กำหนดอัตราเฟรมที่ 10 เฟรมต่อวินาที และเพื่อให้จำนวนบิตในบัพเฟอร์ที่ค้างอยู่ได้ถูกส่งออกสู่ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปจะกำหนดให้ค่าสูงสุดของขนาดบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเท่ากับ $B_s = \frac{u(n_{i,j})}{F_r}$ [31] โดยมีจำนวนแพ็คเก็ตผิดพลาดในแต่ละเฟรมที่ได้จากรูปแบบความผิดพลาดของช่องสัญญาณที่หาจากซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณที่ใช้พารามิเตอร์ตามที่อธิบายในหัวข้อ 3.1

สำหรับในกรณีช่องสัญญาณที่มีความผิดพลาด แพ็คเก็ตที่มีความผิดพลาดจะต้องทำการส่งใหม่โดยจะทำการรวมบิตของข้อมูลที่ต้องการส่งใหม่หลังจากผ่านการเข้ารหัสในแต่ละเฟรม ดังนั้นการคำนวณหาจำนวนบิตสะสมคงเหลือในบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสจะมีการรวมจำนวนบิตสะสมของข้อมูลที่ต้องการส่งใหม่เข้าไปด้วยตามสมการที่ (3.1)

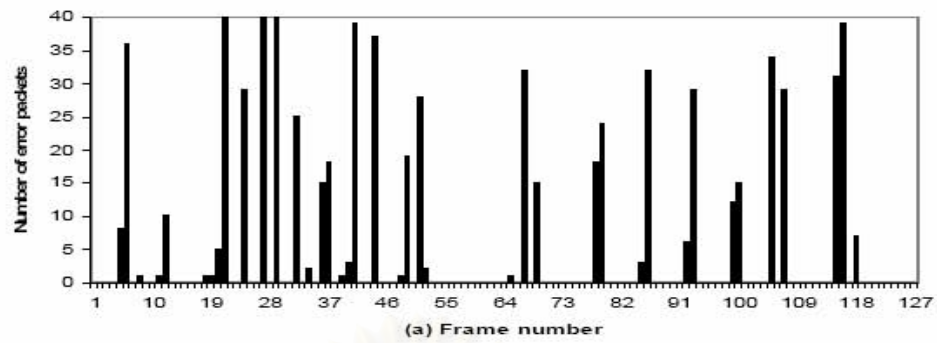
$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) + B_{retx} \quad (3.1)$$

B_{retx} คือ จำนวนบิตสะสมของข้อมูลที่ส่งใหม่

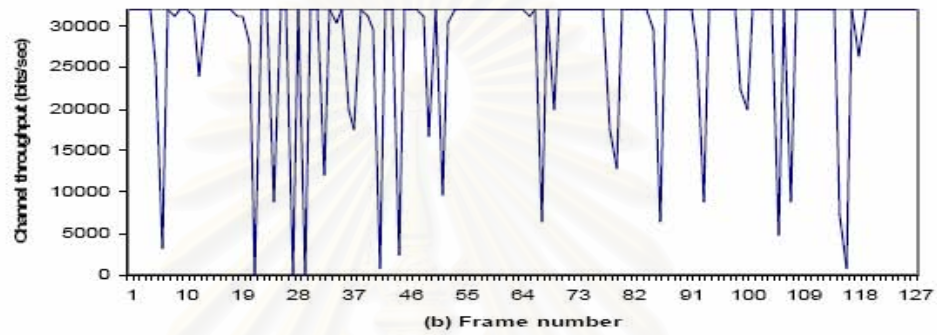
ในกรณีที่เกิดเฟรมกระโดด การคำนวณค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ด้วยค่า PSNR (Peak signal to noise ratio) จะคำนวณจากการนำเฟรมก่อนหน้ามาคำนวณหาคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์แทนเฟรมที่ถูกกระโดดข้ามไปเพราะที่ด้านตัวถอดรหัสยังคงแสดงภาพเดิมอยู่ โดยใช้หลักการคำนวณค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ตามที่กำหนดไว้ในการควบคุมอัตราของ MPEG-4 [2]

ผลการทดสอบถูกแสดงในรูปที่ 3.3 ถึง 3.8 และ ตารางที่ 3.4 ถึง 3.6 รูปที่ 3.3 (ก) - 3.8 (ก) แสดงจำนวนแพ็คเก็ตผิดพลาดที่ต้องถูกส่งใหม่ รูปที่ 3.3 (ข) - 3.8 (ข) แสดงวิสัยสามารถของช่องสัญญาณ ซึ่งวิสัยสามารถของช่องสัญญาณจะลดลงมาก ในช่วงเฟดดิ้งลึก (deep fading) ซึ่งในช่วงดังกล่าวจะทำให้เกิดการสะสมของปริมาณข้อมูลในบัพเฟอร์ รูปที่ 3.3 (ค) - 3.8 (ค) รูปที่ 3.3 (ง) - 3.8 (ง) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ที่มีค่าลดลงมาก รวมถึงเกิดเฟรมกระโดดในช่วงเฟดดิ้งลึก เมื่อทำการเปรียบเทียบในช่องสัญญาณที่มีค่าดอปเปลอร์ต่างกันพบว่า ช่องสัญญาณเฟดดิ้งเร็ว จะมีปรากฏการณ์เฟดดิ้งลึกที่น้อยกว่า ช่องสัญญาณเฟดดิ้งช้า ทำให้การสะสมของปริมาณบิตในบัพเฟอร์มีปริมาณที่น้อยกว่า ส่งผลให้จำนวนเฟรมกระโดดน้อยกว่า ดังแสดงในตารางที่ 3.4 - 3.6 โดย

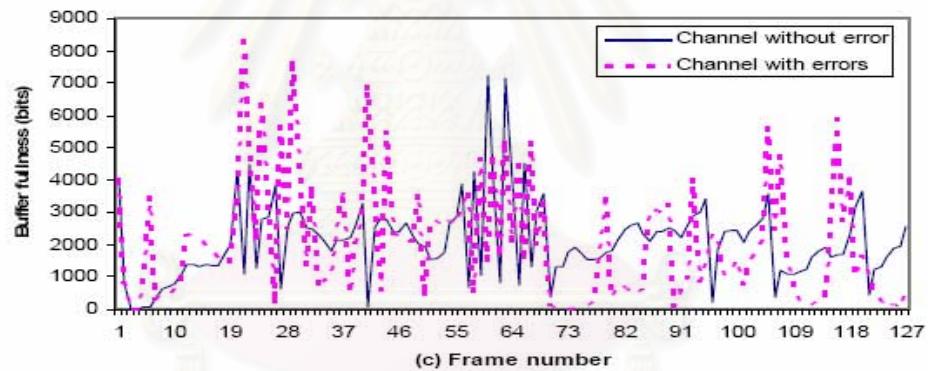
- สำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ทำให้จำนวนเฟรมกระโดด เพิ่มขึ้น 14 เฟรม และ ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง 1.96 dB สำหรับลำดับภาพ Foreman และ จำนวนเฟรมกระโดด เพิ่มขึ้น 13 เฟรม และ ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง 1.08 dB สำหรับลำดับภาพ Carphone
- สำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ทำให้จำนวนเฟรมกระโดด เพิ่มขึ้น 10 เฟรม และ ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง 1.46 dB สำหรับลำดับภาพ Foreman และ จำนวนเฟรมกระโดด เพิ่มขึ้น 12 เฟรม และ ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง 0.88 dB สำหรับลำดับภาพ Carphone
- สำหรับช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ทำให้จำนวนเฟรมกระโดด เพิ่มขึ้น 2 เฟรม และ ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง 0.45 dB สำหรับลำดับภาพ Foreman และ จำนวนเฟรมกระโดด เพิ่มขึ้น 4 เฟรม และ ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง 0.50 dB สำหรับลำดับภาพ Carphone



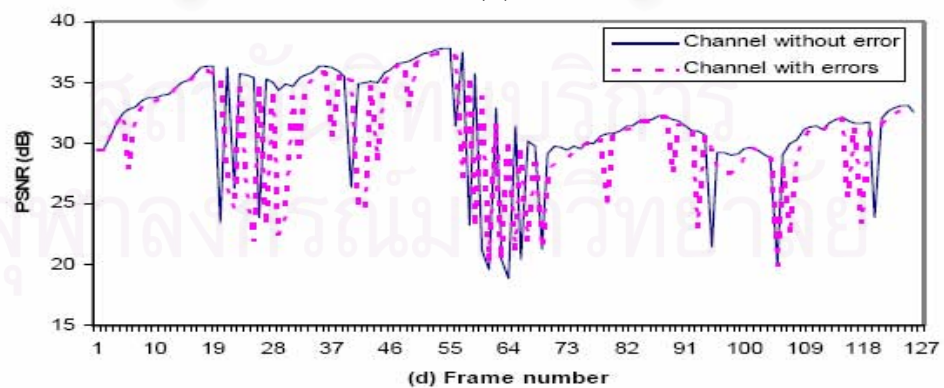
(ก)



(ข)

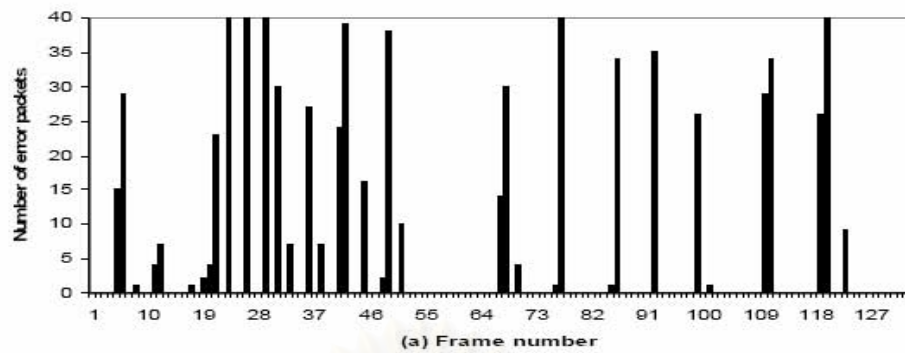


(ค)

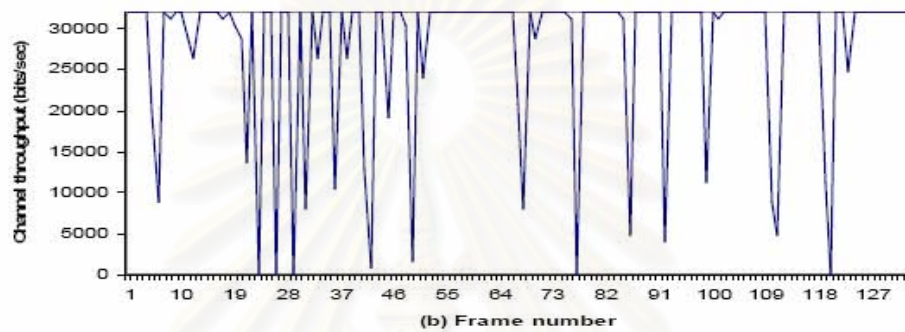


(ง)

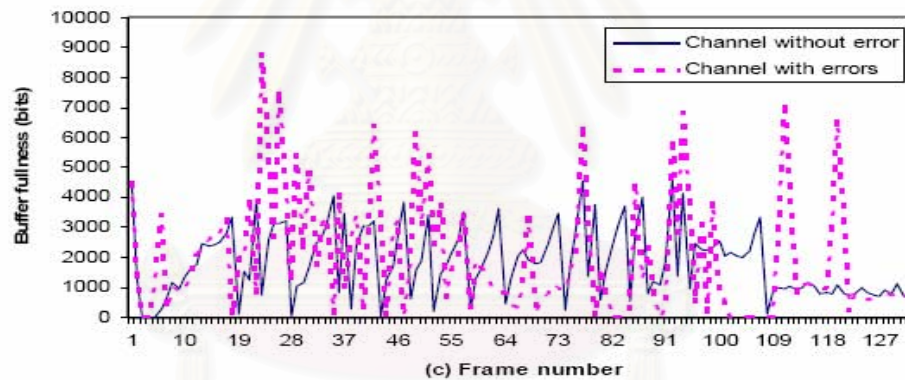
รูปที่ 3.3 (ก) จำนวนแพ็คเกจความผิดพลาด (ข) วิสัยสามารถ (ค) ความเต็มของบัฟเฟอร์ (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ของลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสด้วย มาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz



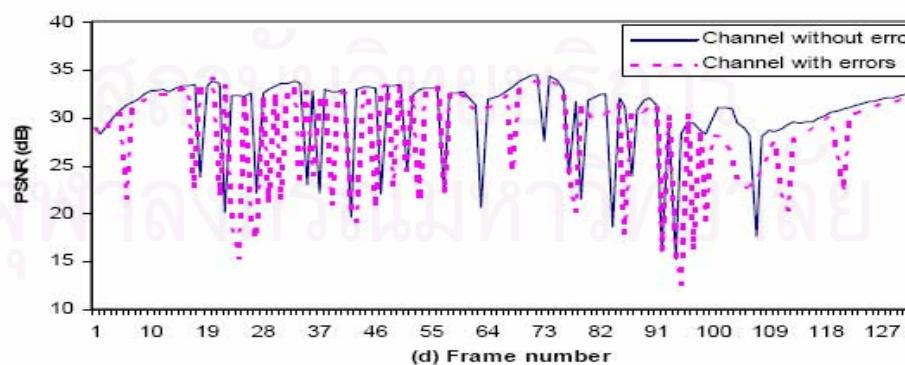
(ก)



(ข)

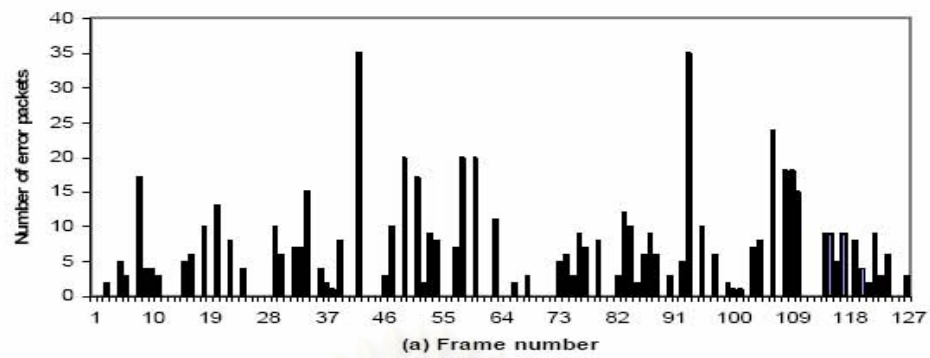


(ค)

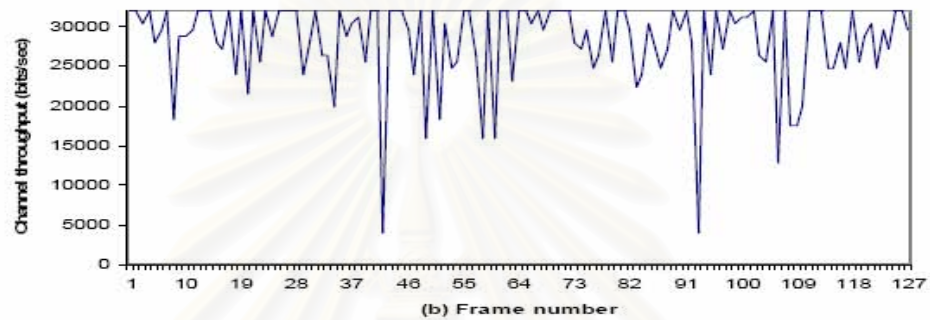


(ง)

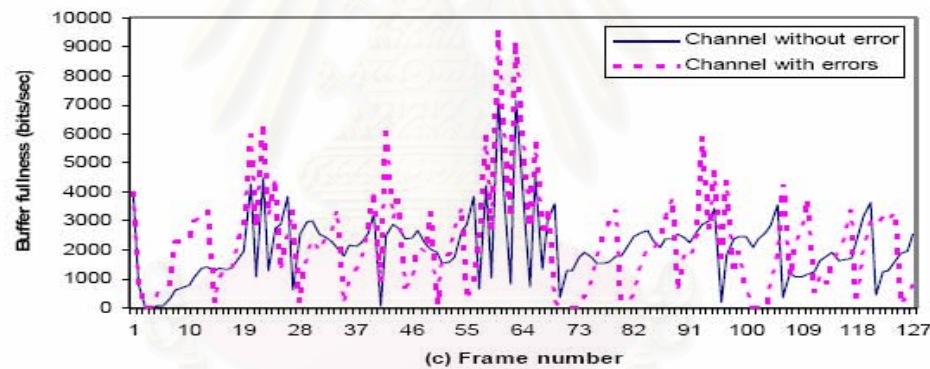
รูปที่ 3.4 (ก) จำนวนแพ็คเกจเกิดความผิดพลาด (ข) วิสัยสามารถ (ค) ความเต็มของบัฟเฟอร์ (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ของลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสด้วย มาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz



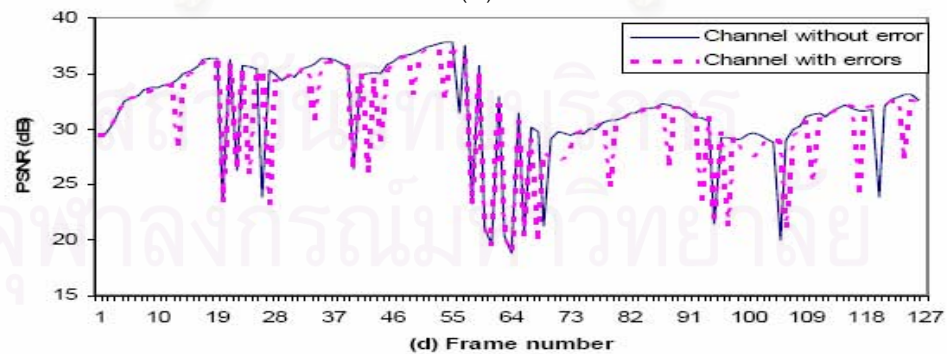
(ก)



(ข)

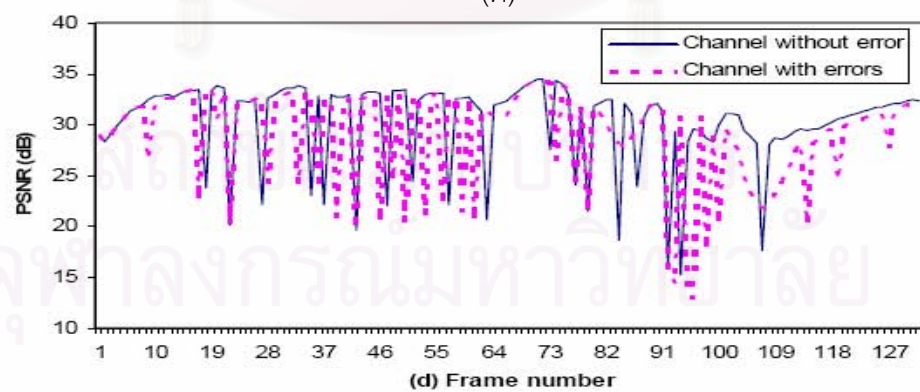
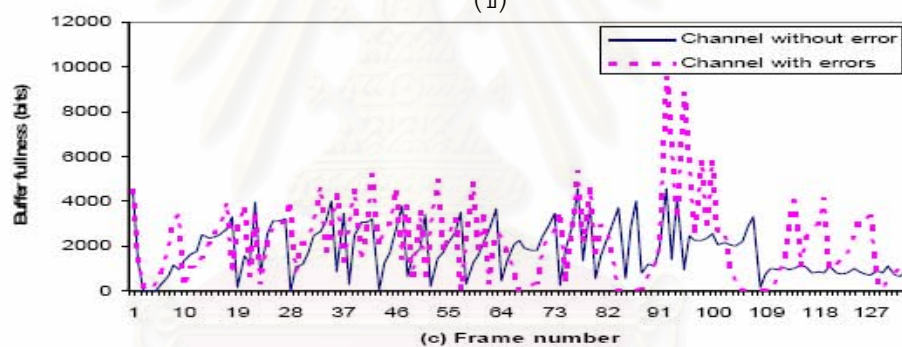
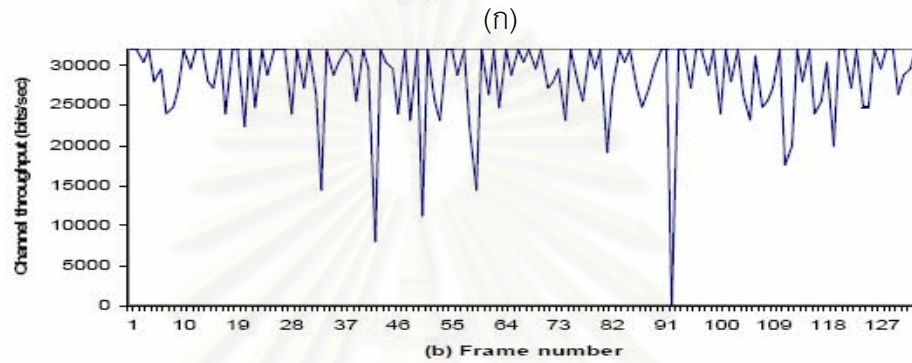
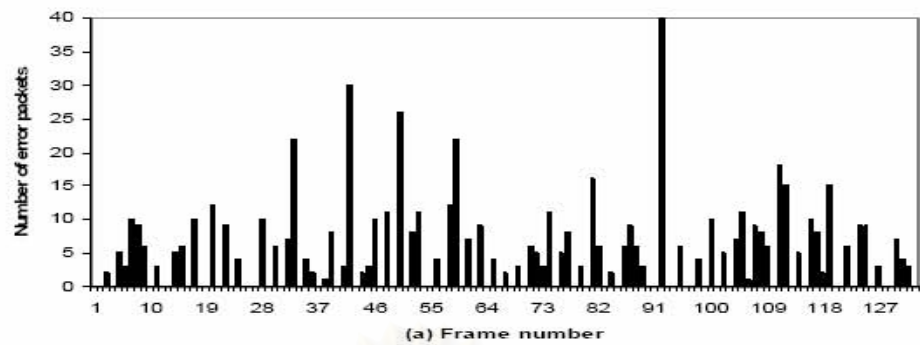


(ค)

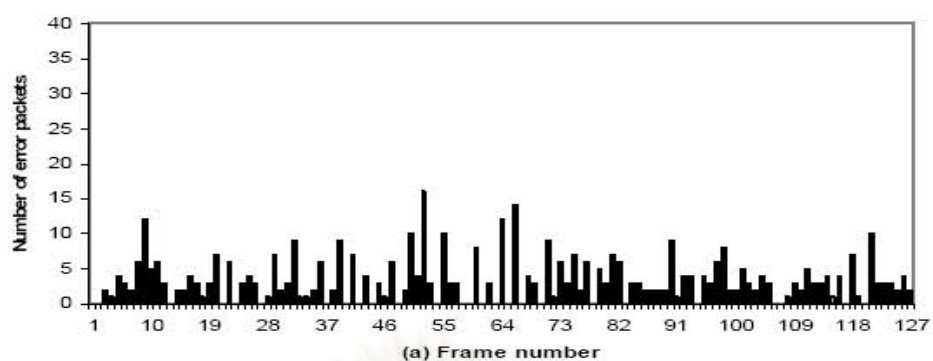


(ง)

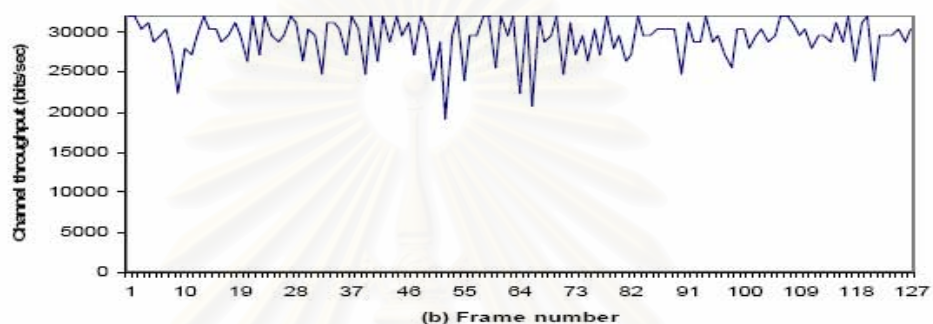
รูปที่ 3.5 (ก) จำนวนแพ็คเกจความผิดพลาด (ข) วิทยาลัยสามารถ (ค) ความเต็มของบัฟเฟอร์ (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ของลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสด้วย มาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz



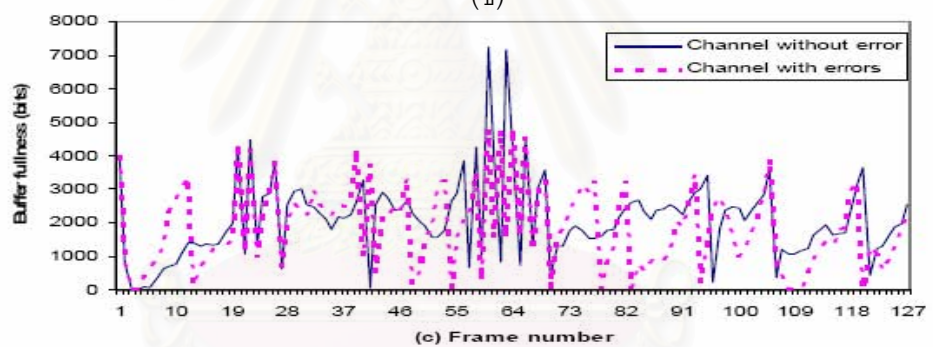
รูปที่ 3.6 (ก) จำนวนแพ็คเกจความผิดพลาด (ข) วิทยาลัยสามารถ (ค) ความเต็มของบัฟเฟอร์ (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ของลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสด้วย มาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz



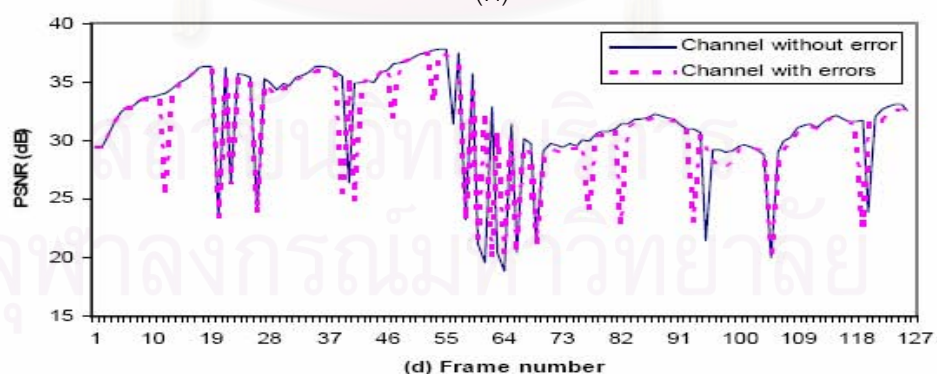
(ก)



(ข)

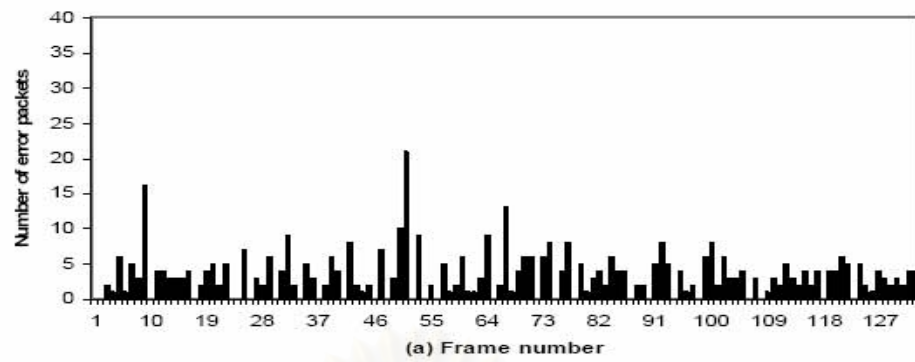


(ค)

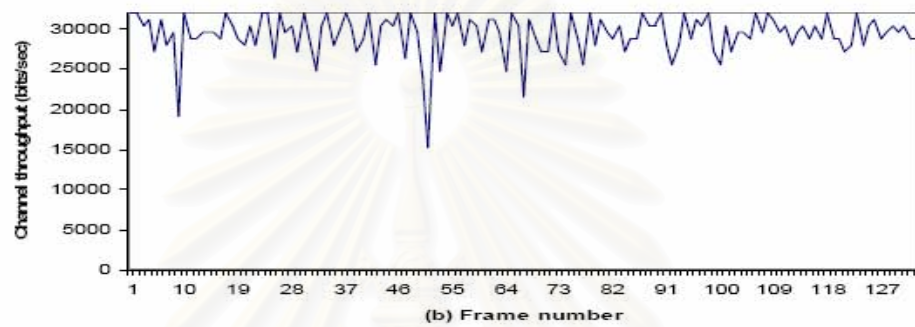


(ง)

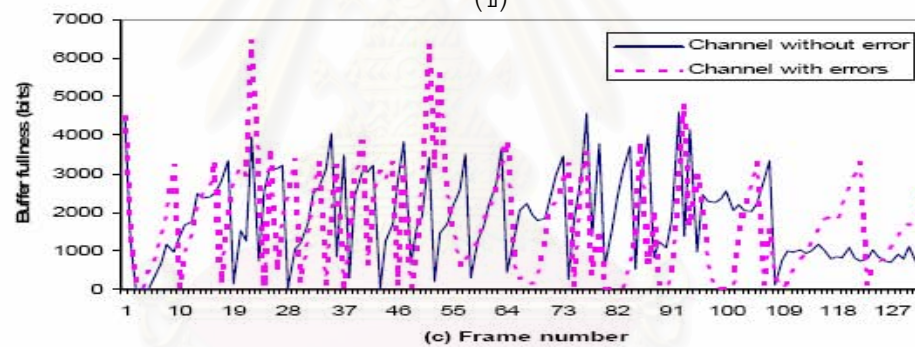
รูปที่ 3.7 (ก) จำนวนแพ็คเกจความผิดพลาด (ข) วิทยาลัยสามารถ (ค) ความเต็มของบัฟเฟอร์ (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ของลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสด้วย มาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz



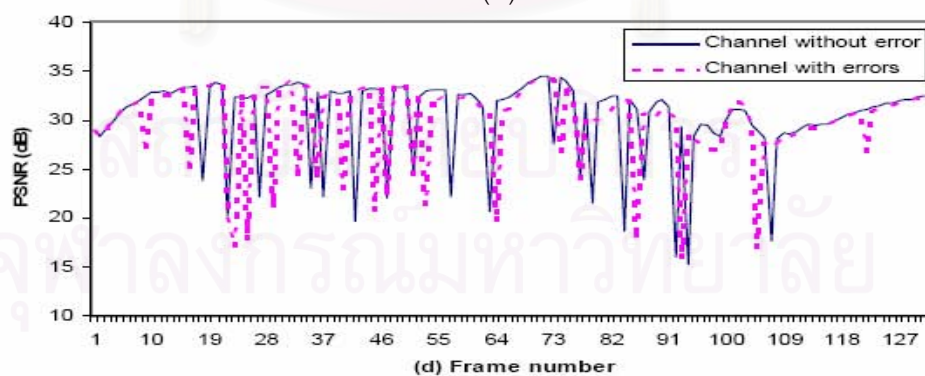
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.8 (ก) จำนวนแพ็คเกจความผิดพลาด (ข) วัสดุสามารถ (ค) ความเต็มของบัฟเฟอร์ (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ของลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสด้วย มาตรฐาน H.264 ที่ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมกระโดดและค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่ศึนระหว่างการควบคุมอัตราสำหรับ H.264 ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ไม่มีความผิดพลาด และ ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz ที่มีความผิดพลาดโดยใช้ ARQ

Video Sequence	Total Frames	Channel Without error		Channel with errors	
		# Frames Skipped	PSNR (dB)	# Frames Skipped	PSNR (dB)
“Foreman”	133	19	30.37	33	28.41
“Carphone”	127	16	31.70	29	30.62

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมกระโดดและค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่ศึนระหว่างการควบคุมอัตราสำหรับ H.264 ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ไม่มีความผิดพลาด และ ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz ที่มีความผิดพลาดโดยใช้ ARQ

Video Sequence	Total Frames	Channel Without error		Channel with errors	
		# Frames Skipped	PSNR (dB)	# Frames Skipped	PSNR (dB)
“Foreman”	133	19	30.37	29	28.91
“Carphone”	127	16	31.70	28	30.82

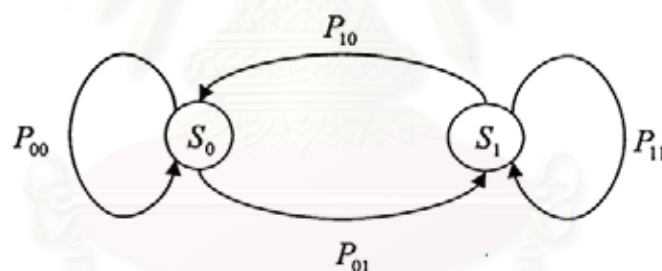
ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมกระโดดและค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่ศึนระหว่างการควบคุมอัตราสำหรับ H.264 ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่ไม่มีความผิดพลาด และ ช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 40 Hz ที่มีความผิดพลาดโดยใช้ ARQ

Video Sequence	Total Frames	Channel Without error		Channel with errors	
		# Frames Skipped	PSNR (dB)	# Frames Skipped	PSNR (dB)
“Foreman”	133	19	30.37	21	29.92
“Carphone”	127	16	31.70	20	31.20

3.3 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการควบคุมอัตราการระดับเฟรม โดยใช้ข้อมูลป้อนกลับที่ได้จากช่องสัญญาณและแบบจำลองของช่องสัญญาณสำหรับการส่งวิดีโอวีซีดีไร้สาย

3.3.1 โมเดลช่องสัญญาณ

จากผลกระทบของช่องสัญญาณไร้สายที่อาศัยการส่งข้อมูลใหม่เมื่อเกิดความผิดพลาดของข้อมูลทำให้วิสัยสามารถของช่องสัญญาณลดลงและบิดสะสมในบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลถึงคุณภาพของสัญญาณวิดีโอวีซีดีที่ลดลง ดังนั้นจึงมีการนำแบบจำลองสถานะของช่องสัญญาณไร้สายมาใช้สำหรับทำนายลักษณะวิสัยสามารถของช่องสัญญาณล่วงหน้า เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทำนายไปปรับปรุงขั้นตอนวิธีการในการควบคุมอัตรา ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการนำแบบจำลอง Markov สองสถานะมาใช้ร่วมกับช่องสัญญาณ Gilbert ที่ระดับแพ็คเกจ (Packet level) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดให้ช่องสัญญาณมีลักษณะการกระจายของความผิดพลาดแบบเบิสต์ (Burst Error Channel) แบบจำลอง Markov สองสถานะมีการแบ่งสถานะดังนี้



รูปที่ 3.9 แบบจำลอง Markov สองสถานะ

- สถานะดี (Good State: S_0) แพ็คเกจจะสามารถส่งผ่านช่องสัญญาณได้ถูกต้อง
- สถานะเลว (Bad State: S_1) แพ็คเกจที่ส่งผ่านช่องสัญญาณจะเกิดความผิดพลาด

แสดงแบบจำลอง Markov สองสถานะได้ดังรูปที่ 3.9 โดยที่ $P_{00}, P_{01}, P_{10}, P_{11}$ คือค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ โดยการเปลี่ยนสถานะจะเกิดขึ้นในแต่ละแพ็คเกจ ค่าความผิดพลาดทางสถิติของแพ็คเกจ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะสามารถคำนวณได้จากคุณลักษณะของช่องสัญญาณ เช่นค่าความยาวเบิสต์เฉลี่ยของแพ็คเกจที่มีความผิดพลาด และอัตราการเกิด

แพ็คเก็ตผิดพลาด (PER) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณ โดยสามารถเขียนสมการแสดงเมทริกซ์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของแบบจำลองช่องสัญญาณไร้สายแบบ Markov 2 สถานะได้ดังสมการที่ (3.3)

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - P_{01} & P_{01} \\ P_{10} & 1 - P_{10} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

- เมื่อ P_{00} คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะดีไปสถานะดี
 P_{01} คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะดีไปสถานะเลว
 P_{10} คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเลวไปสถานะดี
 P_{11} คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเลวไปสถานะเลว

ค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ P_{01} และ P_{10} สามารถหาได้จากสมมติฐานของแบบจำลอง Markov ของ Gilbert โดยที่ความยาวเบิสต์ของการเกิดแพ็คเก็ตผิดพลาดจะมีการกระจายตัวแบบเลขาคณิตโดยมีค่าความยาวความยาวเบิสต์เฉลี่ยในแพ็คเก็ตเท่ากับ $1/P_{10}$ ดังนั้นเราจะได้ค่า P_{10} ตามสมการที่ (3.3)

$$P_{10} = \frac{1}{\text{Mean_Burst_Length}} \quad (3.3)$$

สามารถหาค่าความยาวเบิสต์เฉลี่ยของแพ็คเก็ตได้จากรูปแบบความผิดพลาดของแพ็คเก็ตที่ได้รับจากซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สาย โดยค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ P_{01} สามารถหาได้จากค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ P_{10} และอัตราการเกิดแพ็คเก็ตผิดพลาด (PER) ดังสมการที่ (3.4)

$$P_{01} = \frac{P_{10} * PER}{(1 - PER)} \quad (3.4)$$

จากเมทริกซ์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของช่องสัญญาณไร้สาย และสถานะเริ่มต้นของช่องสัญญาณ จะสามารถทำนายค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณในอนาคต ซึ่งเราจะนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการปรับบิดเป้าหมายที่จะทำการเข้ารหัสในขั้นตอนของการควบคุมอัตรา

จากที่กล่าวมาเราจะสมมติให้ฝั่งรับมีการส่งสัญญาณป้อนกลับ ACK/NAK ที่เวลา t โดยสถานะของช่องสัญญาณไร้สาย ณ เวลา $t - d$ สามารถเขียนแทนได้ด้วย $S(t-d)$ โดยที่ d คือ ค่าการประวิงเวลาในการเดินทางไปกลับของข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับ ดังนั้นจากเมทริกซ์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ P ในสมการที่ (3.2) จะสามารถหาเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะช่องสัญญาณ ณ เวลา k ได้จากสมการที่ (3.5)

$$\pi(k | S(t-d) = S_n) = [\pi_0(k | S(t-d) = S_n), \pi_1(k | S(t-d) = S_n)] \quad ; n \in \{0,1\} \quad (3.5)$$

ในแต่ละแถวของเวกเตอร์จะแสดงความน่าจะเป็นของสถานะ S_0 และ S_1 ของช่องสัญญาณ ณ เวลา k ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยสถานะ S_n ของช่องสัญญาณที่เวลา $t-d$ และกำหนดให้ $\pi(t-d | S(t-d) = S_n)$ คือค่าความน่าจะเป็นของสถานะเริ่มต้นของช่องสัญญาณที่เวลา $t-d$ ซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.6)

$$i, j \in \{0,1\}, \quad \pi_i(t-d | S(t-d) = S_j) = \begin{cases} 1, & \text{when } i = j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6)$$

จากทฤษฎีของ Markov ค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่เวลา k สามารถหาได้จากค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่เวลา $k-1$ ดังสมการที่ (3.7)

$$\pi(k | S(t-d) = S_n) = \pi(k-1 | S(t-d) = S_n) * P \quad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.7) จะเห็นได้ว่าค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่เวลา k โดยที่ $k > t-d$ สามารถคำนวณได้จากค่าความน่าจะเป็นของสถานะเริ่มต้นในสมการที่ (3.6) และเมทริกซ์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะในสมการที่ (3.2) ดังแสดงในสมการที่ (3.8)

$$\pi(k | S(t-d) = S_n) = \pi(t-d | S(t-d) = S_n) * P^{k-t+d} \quad (3.8)$$

ในแบบจำลองช่องสัญญาณ แพ็คเก็ตที่ถูกส่งได้อย่างถูกต้องจะมีสถานะ S_0 และแพ็คเก็ตที่มีความผิดพลาดจะมีสถานะ S_1 ดังนั้น $\pi_0(k | S(t-d) = S_n)$ จึงแสดงถึงค่าความน่าจะเป็นที่สามารถส่งแพ็คเก็ตได้อย่างถูกต้องที่เวลา k และ $\pi_1(k | S(t-d) = S_n)$ แสดงถึงค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็คเก็ตแล้วเกิดความผิดพลาดที่เวลา k หลังจากการคูณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะในสมการที่ (3.8) เราจะสนใจเฉพาะหลักแรกของเวกเตอร์ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นของการส่งแพ็คเก็ตได้อย่างถูกต้อง $\pi_0(k | S(t-d) = S_n)$ ดังนั้นเราสามารถ

ทำนายวิสัยสามารถของช่องสัญญาณสำหรับ i แพ็คเก็ตถัดไปได้จากค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการส่งแพ็คเก็ตได้อย่างถูกต้องในช่วง i แพ็คเก็ตได้ดังสมการที่ (3.9)

$$p(i | S(t-d) = S_n) = \frac{1}{i} \sum_{k=t+1}^{t+i} \pi_0(k | S(t-d) = S_n) \quad (3.9)$$

3.3.2 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการควบคุมอัตราในระดับเฟรม

เมื่อช่องสัญญาณไร้สายอยู่ในสภาพดีแพ็คเก็ตที่ถูกส่งไปไม่มีความผิดพลาดหรือผิดพลาดน้อย แบนด์วิดท์บางส่วนช่องสัญญาณจะถูกนำไปใช้ในการส่งข้อมูลใหม่ของแพ็คเก็ตที่มีความผิดพลาด ทำให้ช่องสัญญาณมีวิสัยสามารถลดลงและบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสมีค่าเพิ่มขึ้น กระทบต่อขั้นตอนของการควบคุมอัตราให้ไม่สามารถจองบิตเป้าหมายที่เหมาะสมในระดับเฟรมและระดับหน่วยพื้นฐานทำให้เกิดเฟรมกระโดดเพิ่มมากขึ้นจากเดิมและคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอขั้นตอนวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราเพื่อทำให้คุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ดีขึ้นและลดจำนวนเฟรมกระโดดเมื่อช่องสัญญาณอยู่ในสถานะที่แพ็คเก็ตที่ส่งไปเกิดความผิดพลาด โดยนำแบบจำลองของ Markov แบบสองสถานะมาใช้ทำนายข้อมูลของช่องสัญญาณล่วงหน้าเพื่อนำไปปรับบิตเป้าหมายของขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับเฟรม

จากข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองช่องสัญญาณ สามารถนำมาปรับบิตเป้าหมายที่จะทำการเข้ารหัสในระดับเฟรมของการควบคุมอัตรา เราจะกำหนด $f(n_{i,j})$ คือจำนวนบิตเป้าหมายที่จะทำการเข้ารหัสของเฟรมที่ j กลุ่มภาพที่ i โดยมีขั้นตอนวิธีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณสถานะปัจจุบันของช่องสัญญาณ

ก่อนที่จะทำการเข้ารหัสในแต่ละเฟรมต้องทำการคำนวณสถานะปัจจุบันของช่องสัญญาณ ซึ่งจะทำการคำนวณโดยอ้างอิงข้อมูลของบิตที่ถูกเข้ารหัสของเฟรมที่ผ่านมา โดยหาจากอัตราส่วนของบิตที่ส่งใหม่ ($RBits$) ต่อค่าเฉลี่ยของบิตทั้งหมดที่ถูกส่งไปในช่วง N เฟรมก่อนหน้า ($AveNBits$) ถ้าอัตราส่วนที่หาได้มีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน H จะได้ว่าช่องสัญญาณมีความผิดพลาดสูงเนื่องจากต้องทำการส่งบิตข้อมูลใหม่มากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งไว้จึงพิจารณาว่าช่องสัญญาณอยู่ในสถานะเลว (S_1) ถ้าน้อยกว่าจะพิจารณาว่าอยู่ในสถานะดี (S_0) ดังสมการที่ (3.10)

$$\text{if} \left(\frac{R\text{Bits}}{A\text{viBits}} \right) > H \quad \text{State} = S_1 \quad (3.10)$$

$$\text{else} \quad \text{State} = S_0$$

ในการทดสอบของวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ค่า $AveNBits$ ในช่วง 3 เฟรมก่อนหน้า และค่าขีดเริ่มเปลี่ยน H เท่ากับ 0.3

ขั้นตอนที่ 2 ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก γ และค่า β

ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก γ และค่า β ก่อนที่จะเข้าขั้นตอน Pre – Encoding ของการควบคุมอัตราในระดับเฟรม โดยถ้าจำนวนบิตสะสมของบัพเฟอริมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 ของขนาดบัพเฟอริสูงสุดของตัวเข้ารหัส จะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก γ และค่า β จากเดิม 0.8 และ 0.5 เป็น 1.0 และ 0.1 [32] ตามสมการที่ (3.11) ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{if} (B_c(n_{i,j}) > 0.5 \times B_s) \\ \gamma = 1.0, \beta = 0.1; \\ \text{else} \gamma = 0.8, \beta = 0.5; \end{aligned} \quad (3.11)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ที่จะทำการเข้ารหัสของเฟรมที่ j กลุ่มภาพที่ i

คำนวณบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ตามขั้นตอนของการควบคุมอัตราในระดับเฟรม [16]

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ต้องการของเฟรมเป้าหมาย

จากการคำนวณสถานะปัจจุบันของช่องสัญญาณเราสามารถที่ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณของ Markov ในการหาค่าความน่าจะเป็น ($p(i | \text{Current_State} = S_n)$) ที่เป็นค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้องของแพ็คเก็ตล่วงหน้า i กลุ่มเมื่อสถานะของช่องสัญญาณที่เวลาปัจจุบันเท่ากับ S_n โดยกำหนดค่าการประวิงเวลาในการเดินทางไปกลับของข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับอยู่ที่ 8 แพ็คเก็ต โดยจะทำการพิจารณาช่วง $f(n_{i,j})$ บิตล่วงหน้าใน

ระดับของแพ็คเกตที่มีแพ็คเกตละ 80 บิตและจะได้ค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูล ที่ถูกต้องของเฟรมเป้าหมายดังสมการที่ (3.12)

$$f_{est}(n_{i,j}) = f(n_{i,j}) \times (p(i | Current_State = S_n)); \quad (3.12)$$

$$i = f(n_{i,j}) / Psize$$

เมื่อ $PSize$ คือขนาดของแพ็คเกต (มีค่าเท่ากับ 80)

$f_{est}(n_{i,j})$ คือค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ถูกต้องของเฟรมเป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$

เมื่อทราบค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ถูกต้องของเฟรมเป้าหมายเราจะทำการปรับบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ โดยจะตัดสินใจจากผลรวมของจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสกับจำนวนบิตของเฟรมเป้าหมายที่ได้จากขั้นตอน 3 ถ้ามีค่ามากกว่า 150 % ของค่าสูงสุดของขนาดบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสจะถือว่าเป็นค่าที่ทำให้อาจจะเกิดเฟรมกระโดดขึ้นหลังจากการเข้ารหัส จึงปรับค่าบิตเป้าหมายให้มีค่าเท่ากับค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ถูกต้องของเฟรมเป้าหมายเท่านั้น ดังสมการที่ (3.13)

$$if (B_c(n_{i,j}) + f(n_{i,j})) > 1.5 \times B_s \quad (3.13)$$

$$f(n_{i,j}) = f_{est}(n_{i,j});$$

3.3.3 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐาน

ในระดับหน่วยพื้นฐานจะทำการหาค่าควอนไทล์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเข้ารหัสโดยการปรับปริมาณบิตให้เหมาะสมกับสถานะของช่องสัญญาณ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการนำจำนวนบิตสะสมของบัพเฟอร์ตัวเข้ารหัสหลังการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานแต่ละหน่วยมาพิจารณาเพื่อนำมาปรับปรุงขั้นตอนการหาบิตเป้าหมาย $f_l(n_{i,j})$ สำหรับการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานที่ l เฟรมที่ j กลุ่มภาพที่ i โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณจำนวนบิตสะสมปัจจุบันของบัพเฟอ์ตัวเข้ารหัสของหน่วยพื้นฐานที่ l เฟรมที่ j กลุ่มภาพที่ i

คำนวณจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอ์ตัวเข้ารหัสสำหรับหน่วยพื้นฐานย่อยที่ l เฟรมที่ j กลุ่มภาพที่ i $B_l(n_{i,j})$ ตามสมการที่ (3.14) โดยพิจารณาจำนวนบิตสะสมจากเฟรมที่แล้ว ซึ่งประกอบด้วย จำนวนบิตสะสมในบัพเฟอ์ ($B_c(n_{i,j})$) เมื่อเข้ารหัสมาถึงหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน จำนวนบิตที่ใช้ส่งย้อนกลับทั้งหมดของหน่วยพื้นฐานย่อยก่อนหน้าทั้งหมดในเฟรมปัจจุบัน ($B_{retx_{l-1}}$), จำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสจริงของหน่วยพื้นฐานย่อยก่อนหน้าทั้งหมดในเฟรมปัจจุบัน ($A_{l-1}(n_{i,j})$), ลบด้วยสัดส่วนของจำนวนบิตที่ออกจากบัพเฟอ์เมื่อเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานปัจจุบัน โดยคำนวณภายใต้วิสัยสามารถของช่องสัญญาณในภาวะอุดมคติ

$$\left(\left\{ \sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) - \sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) \right\} / \sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) \right) \times \left(\frac{u(n_{i,j})}{F_r} \right),$$

โดยพจน์ $\left\{ \sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) - \sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) \right\}$ แทนผลต่างของผลรวมค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยยกกำลังสองของหน่วยพื้นฐานที่ 1 จนถึงหน่วยพื้นฐานที่ l ทั้งนี้ ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยยกกำลังสองของหน่วยพื้นฐานคือ ระดับพลังงานของสัญญาณวีดิทัศน์หลังการชดเชยการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานนั้นๆ ได้ เช่น ถ้าค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยยกกำลังสองของหน่วยพื้นฐานนั้นๆ มีค่ามาก หมายถึง จำนวนบิตที่ต้องใช้ในการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานนั้นๆ จะต้องมีค่ามาก

$$B_l(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j}) + B_{retx_{l-1}} + A_{l-1}(n_{i,j}) - \left(\frac{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) - \sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)}{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \right) \times \left(\frac{u(n_{i,j})}{F_r} \right) \quad (3.14)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณสถานะปัจจุบันของช่องสัญญาณ

สามารถคำนวณสถานะปัจจุบันของช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากสัญญาณป้อนกลับ ACK และ NAK โดยพิจารณาในช่วงหน่วยพื้นฐานก่อนหน้า 3 หน่วย ช่องสัญญาณจะมีสถานะเลข (S_1) เมื่อจำนวนสัญญาณป้อนกลับ NAK มีมากกว่า ACK และ จะมีสถานะดี (S_0) เมื่อจำนวนสัญญาณป้อนกลับ NAK มีน้อยกว่า ACK

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณบิตของเฟรมเป้าหมายใหม่สำหรับหน่วยพื้นฐานย่อยปัจจุบัน

คำนวณจำนวนบิตของเฟรมเป้าหมายใหม่ $f_{l_new}(n_{i,j})$ เพื่อให้เหมาะสมกับหน่วยพื้นฐานปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนจำนวนบิตสะสมในบัพเฟอ์หลังการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานล่าสุด โดยพิจารณาจากสัดส่วนจำนวนบิตที่เหลือสำหรับการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานปัจจุบันถึงหน่วยพื้นฐานสุดท้าย (พจน์แรกในสมการที่ (3.15)) กับ ระดับบัพเฟอ์เป้าหมาย ดังสมการที่ (3.15)

$$f_{l_new}(n_{i,j}) = \frac{\sum_{k=l}^{N_{mit}} MAD_{cb}^2(k)}{\sum_{k=1}^{N_{mit}} MAD_{cb}^2(k)} \times \frac{u(n_{i,j})}{F_r} - \gamma \times (B_l(n_{i,j}) - Tbl(n_{i,j})) \quad (3.15)$$

ซึ่งระดับบัพเฟอ์เป้าหมาย $Tbl(n_{i,j})$ จะนำมาใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในการคำนวณจำนวนบิตเป้าหมาย เมื่อ γ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.3.2.1 ตามกรรมวิธีที่นำเสนอ การกำหนดค่า γ ที่มีค่ามากจะเป็นการลดจำนวนบิตเป้าหมาย $f_{l_new}(n_{i,j})$ ตามสัดส่วนของส่วนต่างระหว่างระดับบัพเฟอ์ปัจจุบัน $B_l(n_{i,j})$ กับระดับบัพเฟอ์เป้าหมาย จะปรับค่าถ่วงน้ำหนัก γ ให้มีค่าเท่ากับ 0.8 คงเดิมตามค่า γ ของมาตรฐานที่กำหนดไว้เมื่อสถานะของช่องสัญญาณ ณ เวลาที่เข้ารหัสหน่วยพื้นฐานปัจจุบันอยู่ในสถานะดีเพราะจะถือว่าเป็นสภาพปกติของการเข้ารหัส และ จะปรับให้ γ มีค่าเท่ากับ 1.0 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของ γ เมื่อสถานะของช่องสัญญาณ ณ เวลาที่เข้ารหัสหน่วยพื้นฐานปัจจุบันอยู่ในสถานะเลว เพื่อให้จำนวนบิตที่จจะมีค่าลดลงเพื่อชดเชยจำนวนบิตที่ต้องใช้ในการส่งใหม่ที่จะมีจำนวนมากเมื่อช่องสัญญาณอยู่ในสถานะเลว

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลใหม่ $RxBits$

คำนวณค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลใหม่ในช่วงจำนวนบิตเป้าหมาย $f_{l_new}(n_{i,j})$ ที่หาได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยที่ $(1 - p(i | Current_State = S_n))$ คือค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดของการส่งข้อมูลในช่วง i แพ็กเก็ตเมื่อค่าสถานะของช่องสัญญาณที่เวลาปัจจุบันเท่ากับ S_n โดย S_n คือ สถานะของช่องสัญญาณ จะมีค่าเท่ากับ 0 ถ้า

ช่องสัญญาณอยู่ในสถานะดี และมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าช่องสัญญาณอยู่ในสถานะเลว จะสามารถหา $RxBits$ ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$RxBits = \left(\frac{\sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)}{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \times \frac{u(n_{i,j})}{F_r} \right) \times (1 - p(i | Current_State = S_n)) \quad (3.16)$$

เมื่อ $RxBits$ คือค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลใหม่ในช่วง i แพ็กเกต

ขั้นตอนที่ 5 ปรับจำนวนบิตคงเหลือที่ใช้ในการเข้ารหัสของหน่วยพื้นฐานที่เหลือ

ปรับบิตจำนวนบิตคงเหลือ $f_{rb}(n_{i,j})$ สำหรับการเข้ารหัสหน่วยพื้นฐานย่อยโดยคำนวณจากผลต่างระหว่างจำนวนบิตในเฟรมเป้าหมายที่ได้จากการคำนวณใหม่กับค่าประมาณของจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลใหม่ ดังสมการที่ (3.17)

$$f_{rb}(n_{i,j}) = f_{l_new}(n_{i,j}) - RxBits \quad (3.17)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณบิตเป้าหมายของหน่วยพื้นฐานย่อยที่ l ปัจจุบัน $f_l(n_{i,j})$

คำนวณบิตเป้าหมายของหน่วยพื้นฐานย่อยปัจจุบันที่เข้ารหัสโดยถ่วงน้ำหนักบิตที่คงเหลือด้วยค่า $\frac{MAD_{cb}^2(l)}{\sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)}$ แสดงดังสมการที่ (3.18)

$$f_l(n_{i,j}) = f_{rb}(n_{i,j}) \times \frac{MAD_{cb}^2(l)}{\sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \quad (3.18)$$

ขั้นตอนที่ 7 เข้ารหัสในระดับหน่วยพื้นฐานเพื่อให้ได้บิตที่ตรงกับบิตเป้าหมาย

เนื่องจากต้องการให้บิตที่เข้ารหัสจริงมีค่าใกล้เคียงบิตในเฟรมเป้าหมายที่มีการประมาณไว้ในการควบคุมอัตราระดับเฟรม จึงมีการกำหนดเงื่อนไขการเลือกค่าควอนไทซ์

พารามิเตอร์โดยคำนึงถึงจำนวนบิตในบัฟเฟอร์ขณะนั้น (B_k) หลังจากเข้ารหัสหน่วยพื้นฐาน k ดังสมการที่ (3.19)

$$B_k = B_c(n_{1,j}) + \sum_{i=1}^k A_i(n_{i,j}) \quad , 0 \leq B_k \leq 2B_S \quad (3.19)$$

ถ้าจำนวนบิตในบัฟเฟอร์ขณะนั้นมีค่าน้อยกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนของบัฟเฟอร์ (Buffer Threshold) h ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้ค่า $h = 1.75$ โดยได้มาจากการทดสอบของ [7] ค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์จะมีการปรับระดับดังสมการที่ (3.20) แต่ถ้ามีค่ามากกว่าระดับจุดเริ่มเปลี่ยน จะใช้ค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์ตามขั้นตอนของการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐาน

$$\begin{aligned} & \text{if } (f(n_{i,j}) < 0) \\ & \hat{Q}_{cb} = Q_{pb} + DQUANT \\ & \text{if } (B_k < hB_S) \{ Q_{cb} = \max\{1, Q_{apf} - \Delta, \min\{51, Q_{apf} + \Delta, \hat{Q}_{cb}\}\} \} \\ & \text{else } Q_{cb} = \hat{Q}_{cb} \end{aligned} \quad (3.20)$$

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบวิธีปรับปรุงการควบคุมอัตราที่นำเสนอ โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงรายละเอียดในการทดสอบ ซึ่งอยู่ในหัวข้อ 4.1 จากนั้น หัวข้อ 4.2 จะกล่าวถึงผลการทดสอบซึ่งจะแบ่งออกเป็นการทดสอบในระดับเฟรมและหน่วยระดับพื้นฐานรวมทั้งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเข้ารหัสของวิธีการควบคุมอัตราที่นำเสนอ

4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

เมื่อช่องสัญญาณไร้สายอยู่ในสภาพเลวแบนด์วิดท์บางส่วน of ช่องสัญญาณจะถูกนำไปใช้ในการส่งข้อมูลใหม่ของแพ็คเกจที่มีความผิดพลาด ทำให้ช่องสัญญาณมีวิสัยสามารถลดลงและจำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสมีค่าเพิ่มขึ้น กระทั่งถึงขั้นตอนของการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัส H.264 ให้ไม่สามารถจองบิตเป้าหมายที่เหมาะสมในระดับเฟรมและในระดับหน่วยพื้นฐานทำให้เกิดเฟรมกระโดดเพิ่มมากขึ้นจากเดิมและคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ลดลงดังแสดงในบทที่ 3 วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอขั้นตอนวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราเพื่อทำให้คุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ดีขึ้นและลดจำนวนเฟรมกระโดด โดยวิธีที่นำเสนอขึ้นอยู่กับพื้นฐานการเข้ารหัส H.264 ในบทนี้จะทดสอบวิธีที่นำเสนอทั้งในระดับเฟรมและระดับหน่วยพื้นฐานโดยจะแบ่งทดสอบตามสภาพของเฟดดิ้งซึ่งแบ่งเป็น เฟดดิ้งช้า เฟดดิ้งปานกลาง และเฟดดิ้งเร็ว

4.1.1 การกำหนดพารามิเตอร์ในการเข้ารหัส

1. การกำหนดอัตราเฟรมในการลงรหัส ในการทดลองนี้กำหนดใช้อัตราเฟรมเท่ากับ 10 เฟรมต่อวินาที ซึ่งเป็นอัตราเฟรมที่ใช้ในการลงรหัสสัญญาณวีดิทัศน์ที่อัตราบิตต่ำ
2. การกำหนดชนิดของสัญญาณวีดิทัศน์ที่ใช้ในการลงรหัส ซึ่งในที่นี้เป็น QCIF มีจำนวนจุดภาพ 176x144 จุดภาพ
3. การเลือกเฟรมอ้างอิง (Intra Frame Selection) ใช้เฟรมแรกเพียงเฟรมเดียวที่เป็น I เฟรมตลอดการลงรหัสลำดับภาพเนื่องจากการลงรหัสเฟรมชนิดนี้ต้องใช้บิตจำนวนมาก
4. กำหนดอัตราช่องสัญญาณในการส่งที่ 32 กิโลบิตต่อวินาที

5. ซอฟต์แวร์อ้างอิงตัวเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 ใช้ รุ่น JM 9.0 โดยมีพารามิเตอร์ในการเข้ารหัสแบบ Extended profile ซึ่งเหมาะกับการประยุกต์แบบไร้สาย [5] แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

MV resolution	1/4 pel
Hadamard	on
RD optimization	on
Search Range (pixels)	± 16
Reference frames	5
Restrict Search Range (pixels)	2
Symbol mode	UVLC
GOP structure	IPPP

4.1.2 ลำดับภาพที่ใช้ในการทดสอบ

สัญญาณวิดีโอที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้ คือ ลำดับภาพมาตรฐาน ที่อยู่ในรูปแบบ QCIF ซึ่งเน้นไปที่ลักษณะสัญญาณแบบโทรศัพท์ภาพ และการประชุมสัมมนาทางโทรศัพท์ ดังรูปที่ 4.1

โดยลักษณะโดยทั่วไปของชุดภาพต่างๆที่ใช้ทดสอบ มีดังนี้

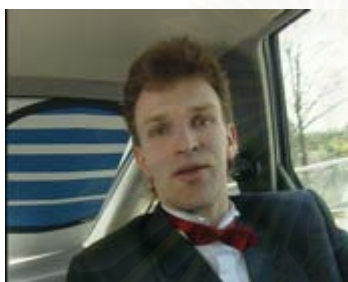
1. ลำดับภาพ Carphone มีการเคลื่อนไหวของวัตถุเร็ว มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นหลัง และเคลื่อนที่ของคน
2. ลำดับภาพ Foreman มีการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยความเร็วปานกลาง มีการเคลื่อนที่และส่ายกล้อง
3. ลำดับภาพ Silent มีการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยความเร็ว การเคลื่อนที่ส่วนใหญ่อยู่ที่มือและใบหน้า
4. ลำดับภาพ Akiyo มีการเคลื่อนไหวของวัตถุช้า การเคลื่อนที่ส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณมือและใบหน้า



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1 สัญญาณวิดีโอที่ใช้นิพจน์ (ก) Foreman (ข) Silent (ค) Carphone (ง) Akiyo

4.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการเข้ารหัส

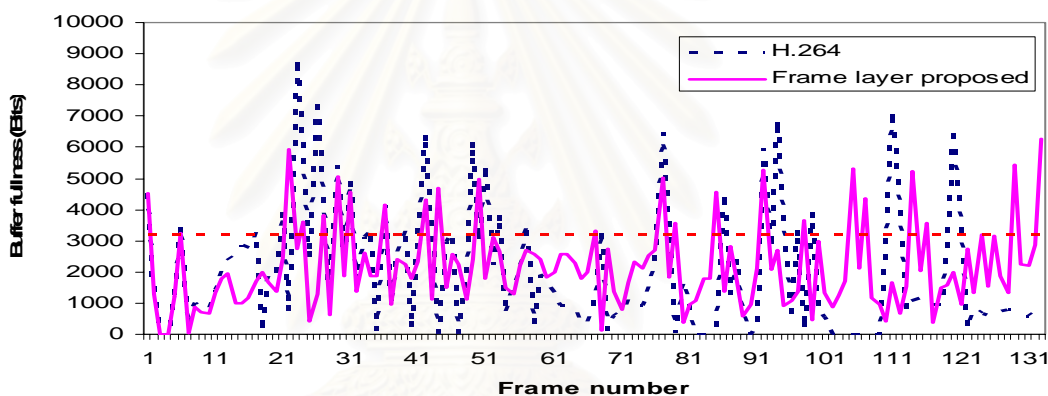
ในนิพจน์นี้จะทดสอบการส่งวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายในกรณีที่ช่องสัญญาณอยู่ในสภาพ เฟดดิ้งช้า เฟดดิ้งปานกลาง และ เฟดดิ้งเร็ว คือช่องสัญญาณไร้สายที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ 1 Hz 10 Hz และ 40 Hz ตามลำดับ โดยจะนำการควบคุมอัตราที่นำเสนอมาใช้สำหรับแต่ละสภาพของช่องสัญญาณ โดยจะแบ่งการทดสอบของแต่ละสภาพของช่องสัญญาณเป็นการทดสอบเปรียบเทียบวิธีควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 และการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

4.2.1 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งช้า

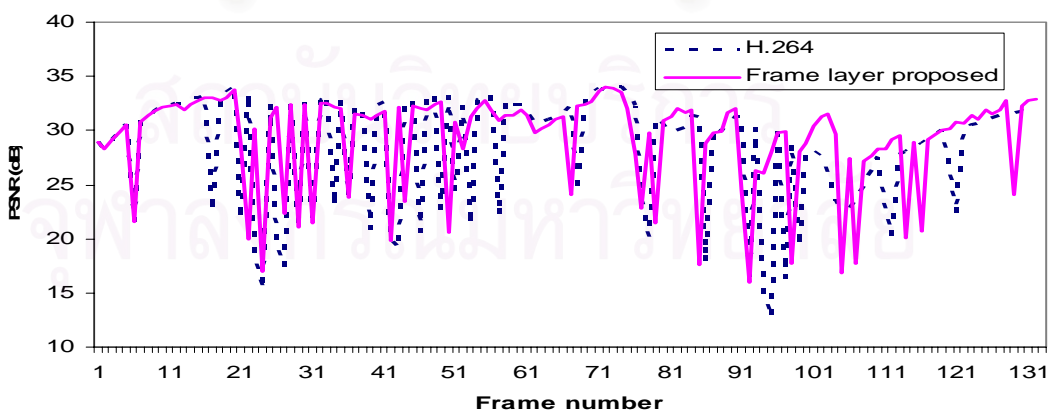
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบของการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรมกับการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งช้า ซึ่งจะเป็นช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.1.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman

ทดสอบกับลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสทั้งหมด 133เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2 โดยรูปที่ 4.2 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ รูปที่ 4.2 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.87 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 31 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

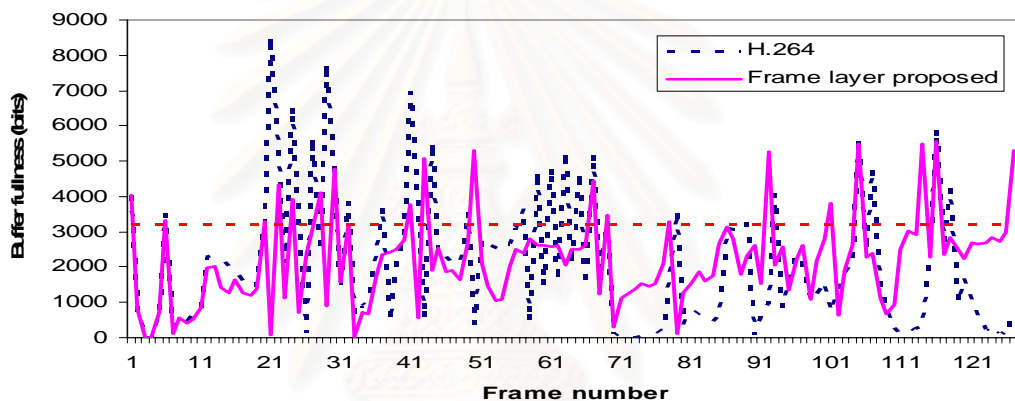


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

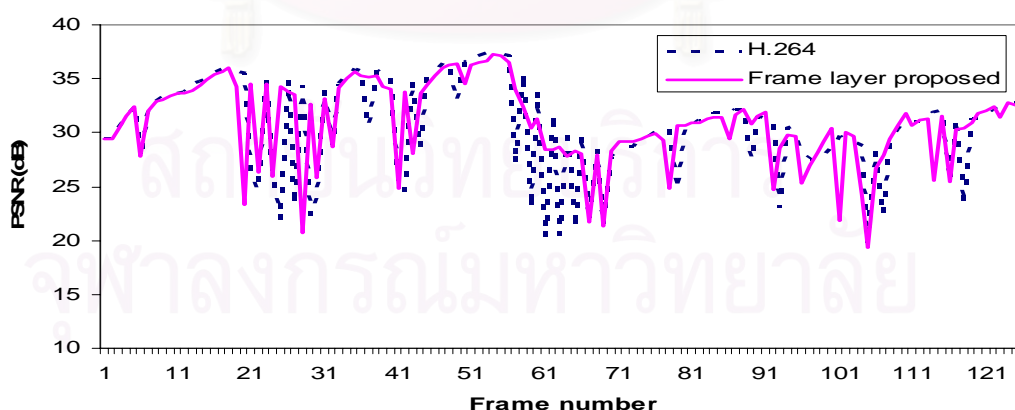
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.1.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone

ทดสอบกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยรูปที่ 4.3 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ รูปที่ 4.3 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.28 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 32 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

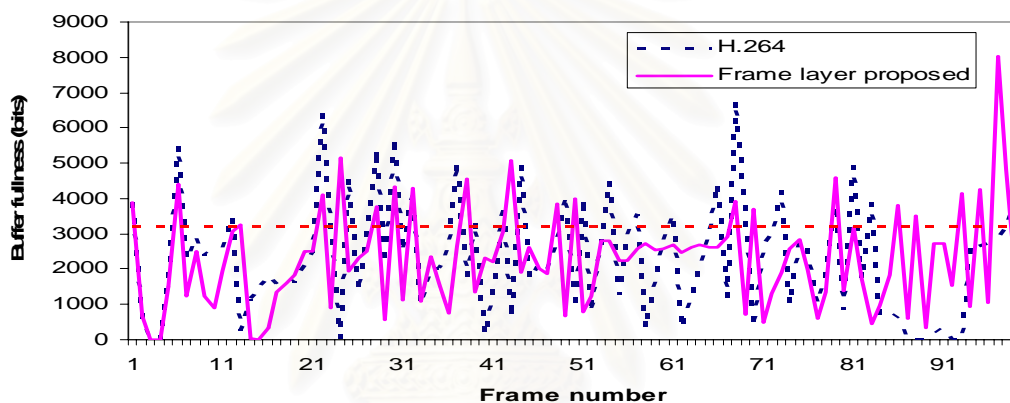


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

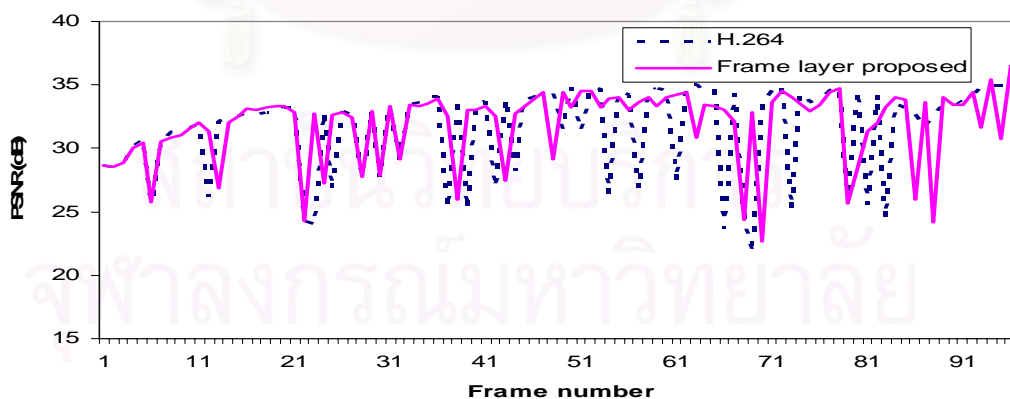
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.1.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent

ทดสอบกับลำดับภาพ Silent เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยรูปที่ 4.4 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ รูปที่ 4.4 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.20 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

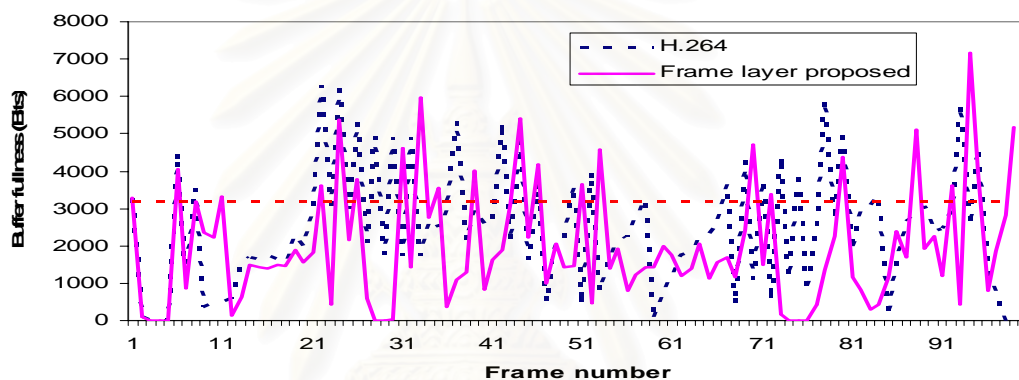


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

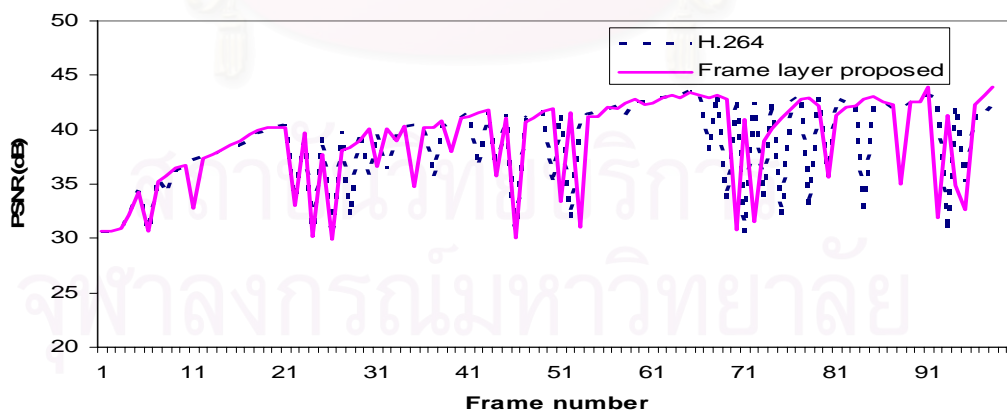
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.1.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo

ทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยรูปที่ 4.5 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.4 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.21 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

ลำดับภาพ	จำนวนเฟรมที่เข้ารหัส (เฟรม)	การควบคุมอัตรา H.264		การควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรม		
		จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	PSNR (dB)	จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	ร้อยละของจำนวนเฟรมกระโดดที่ลดลง	PSNR (dB)
"Foreman"	133	32	28.41	22	31	29.28 (+0.87)
"Carphone"	127	28	30.62	19	32	30.90 (+0.28)
"Silent"	99	25	31.62	20	25	31.82 (+0.20)
"Akiyo"	99	25	38.74	21	16	38.95 (+0.21)

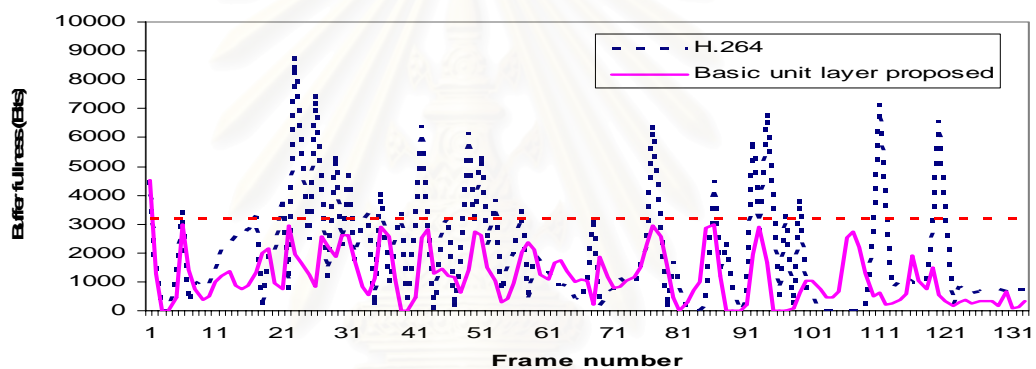
จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 โดยการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรม สามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้ระหว่างร้อยละ 16 ถึง 31 และเพิ่มค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่เฉลี่ยสูงสุด 0.87 dB จากวิธีมาตรฐานของ H.264

4.2.2 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

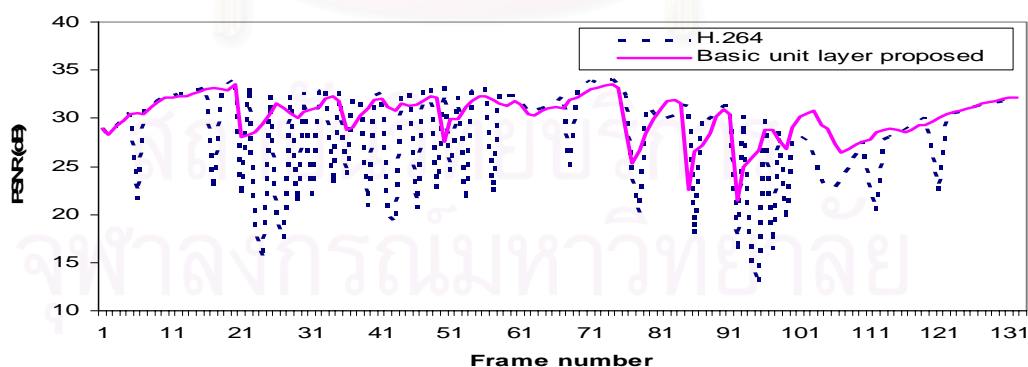
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบของการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานกับการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเพดดิ้งช้า ซึ่งจะเป็นช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.2.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman

ทดสอบกับลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสทั้งหมด 133 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยรูปที่ 4.6 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.6 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอระหว่างสัญญาณวิดีโอที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอเฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 1.84 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

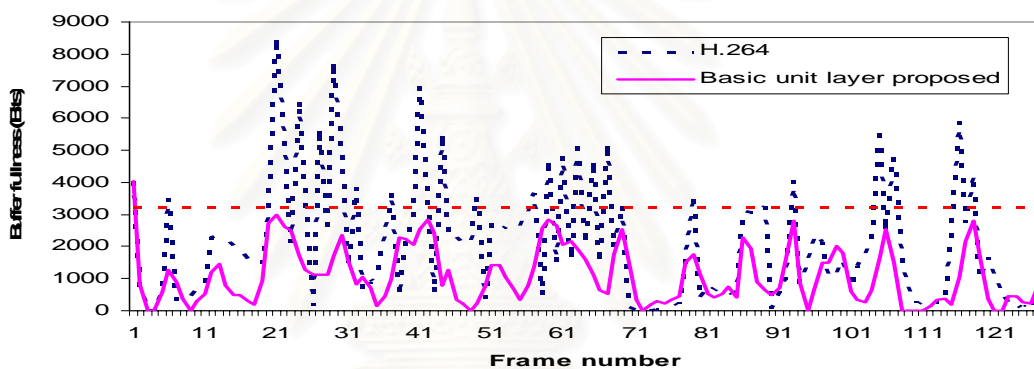


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอ

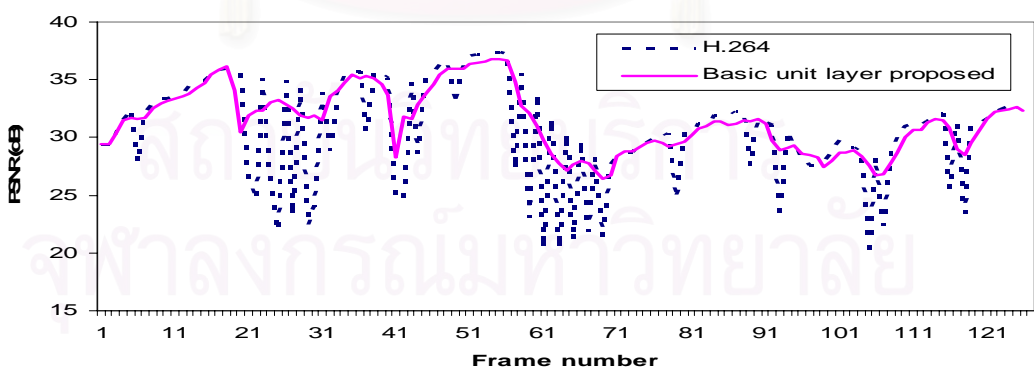
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.2.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone

ทดสอบกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.7 โดยรูปที่ 4.7 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.7 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.79 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

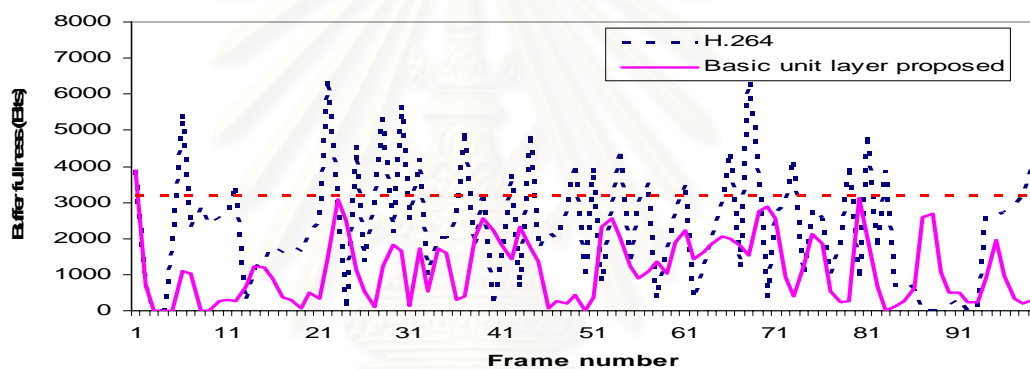


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

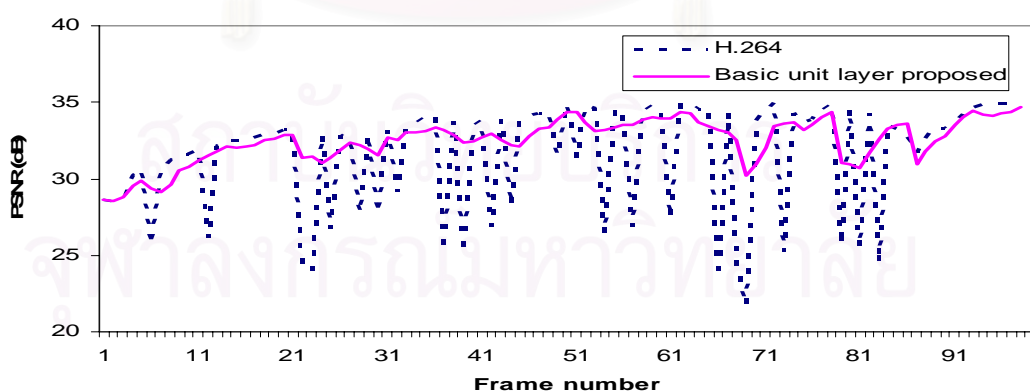
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.2.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent

ทดสอบกับลำดับภาพ Silent เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8 โดยรูปที่ 4.8 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ รูปที่ 4.8 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.88 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

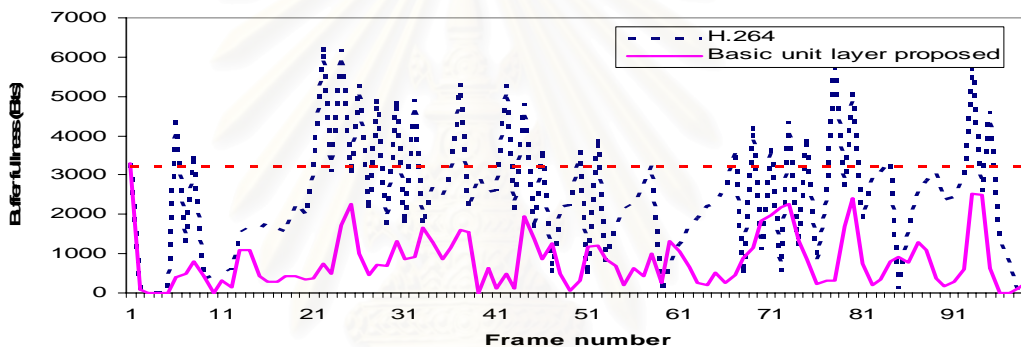


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

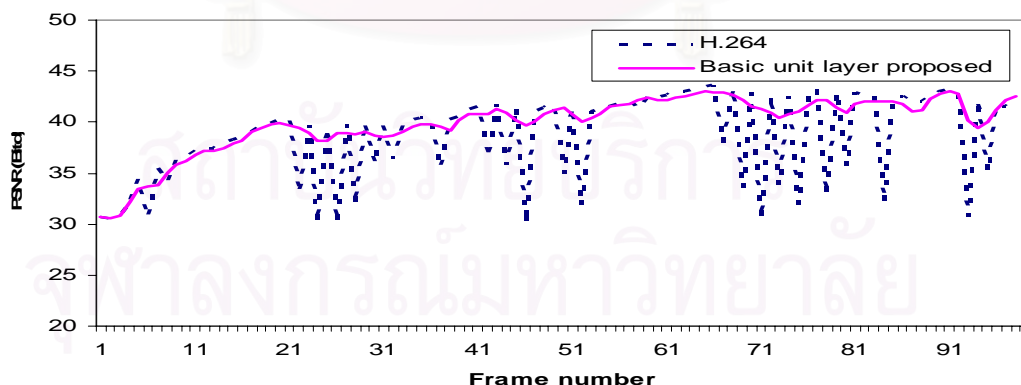
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

4.2.2.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo

ทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo เข้ารหัสทั้งหมด 99เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 โดยรูปที่ 4.9 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.9 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 1.13 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 1 Hz

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ตอบเพลอร์ เท่ากับ 1 Hz

ลำดับภาพ	จำนวนเฟรมที่เข้ารหัส (เฟรม)	การควบคุมอัตรา H.264		การควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน		
		จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	PSNR (dB)	จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	ร้อยละของจำนวนเฟรมกระโดดที่ลดลง	PSNR (dB)
"Foreman"	133	32	28.41	0	100	30.25 (+1.84)
"Carphone"	127	28	30.62	0	100	31.41 (+0.79)
"Silent"	99	25	31.62	0	100	32.50 (+0.88)
"Akiyo"	99	25	38.74	0	100	39.87 (+1.13)

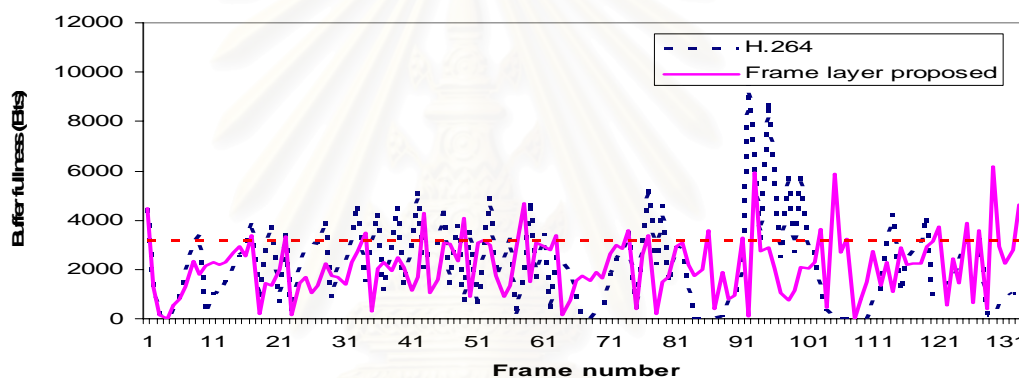
จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3 โดยการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้ร้อยละ 100 และเพิ่มค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่เฉลี่ยสูงสุด 1.84 dB จากวิธีมาตรฐานของ H.264

เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

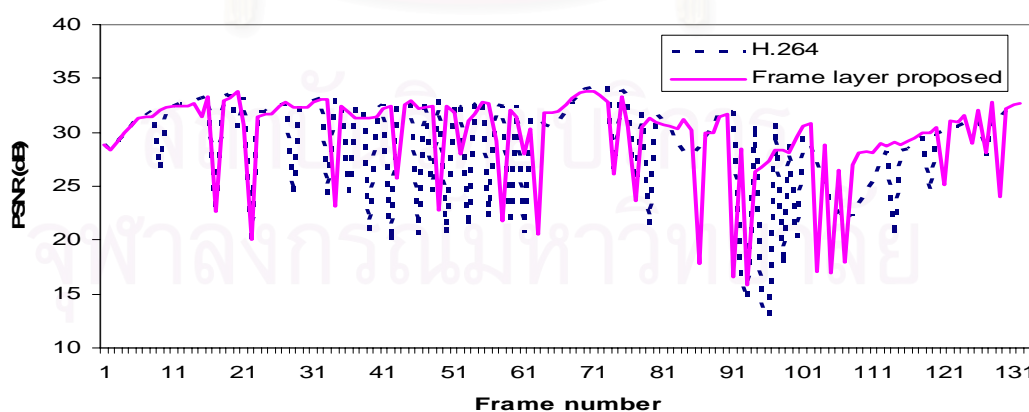
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบของการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรมกับการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งปานกลาง ซึ่งจะเป็นช่องสัญญาณที่มีค่าความถี่ตอบเพลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.3.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman

ทดสอบกับลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสทั้งหมด 133 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10 โดยรูปที่ 4.10 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.10 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.81 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 28 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

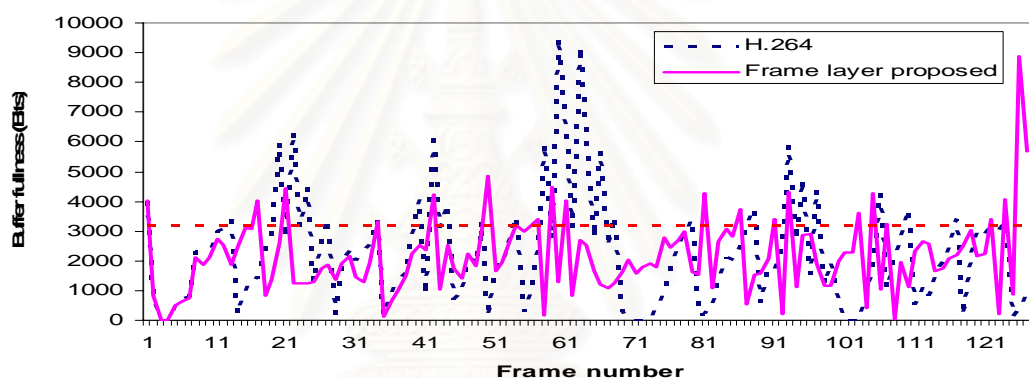


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

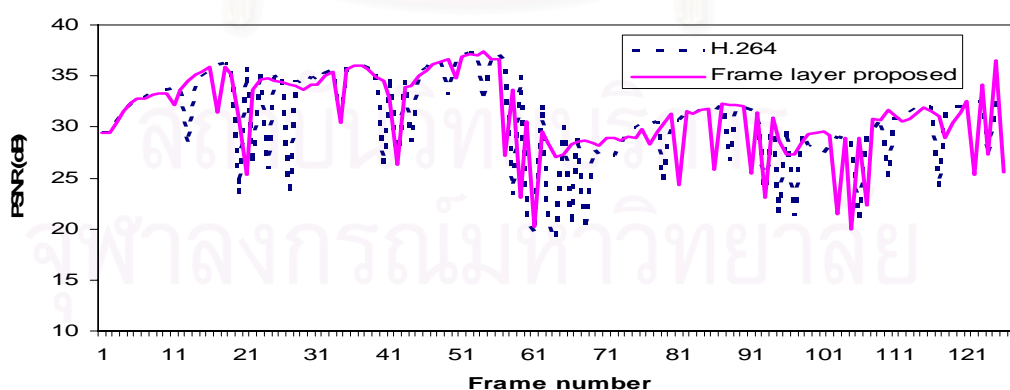
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.3.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone

ทดสอบกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11 โดยรูปที่ 4.11 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.11 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.41 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 29 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

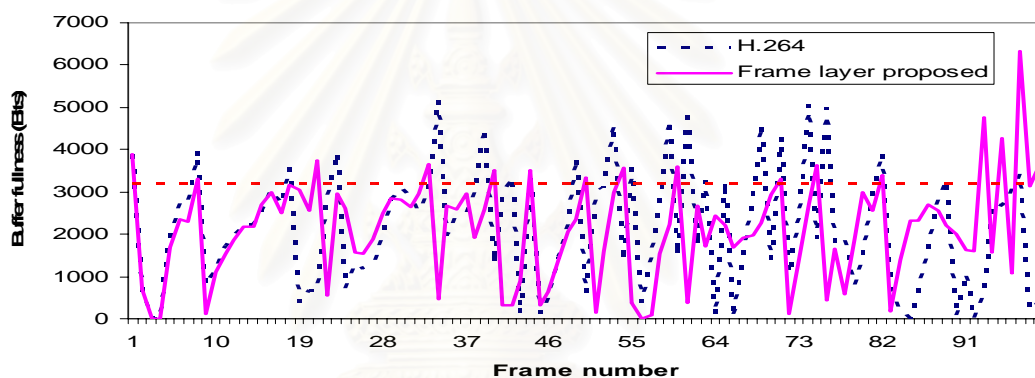


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

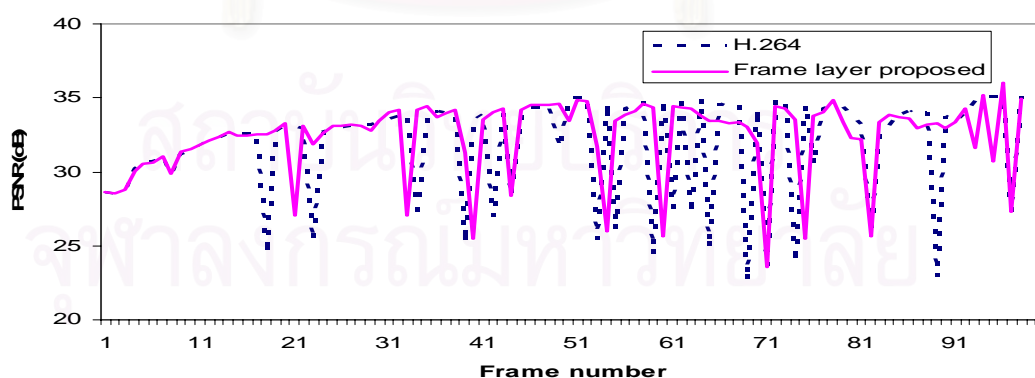
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.3.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent

ทดสอบกับลำดับภาพ Silent เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.12 โดยรูปที่ 4.12 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ รูปที่ 4.12 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.5 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 28 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

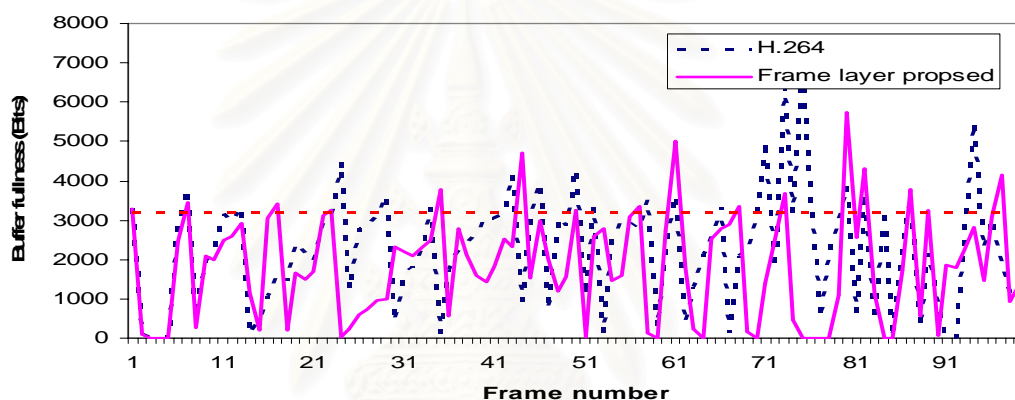


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

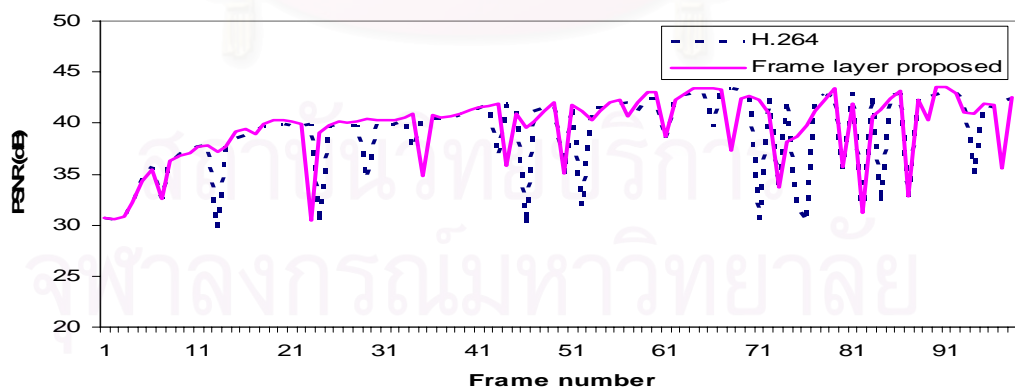
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.3.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo

ทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.13 โดยรูปที่ 4.13 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.13 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.54dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 28 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

ลำดับภาพ	จำนวนเฟรมที่เข้ารหัส (เฟรม)	การควบคุมอัตรา H.264		การควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรม		
		จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	PSNR (dB)	จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	ร้อยละของจำนวนเฟรมกระโดดที่ลดลง	PSNR (dB)
"Foreman"	133	28	28.91	20	28	29.72 (+0.81)
"Carphone"	127	27	30.82	19	29	31.23 (+0.41)
"Silent"	99	21	31.89	15	28	32.39 (+0.50)
"Akiyo"	99	21	39.04	15	28	39.58 (+0.54)

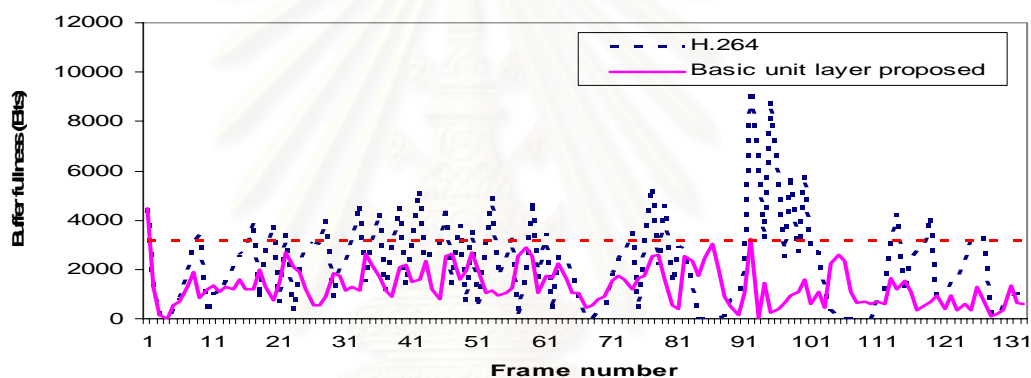
การทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 โดยการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรมสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้ระหว่างร้อยละ 28 ถึง 29 และเพิ่มค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอเฉลี่ยสูงสุด 0.81 dB จากวิธีมาตรฐานของ H.264

4.2.4 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

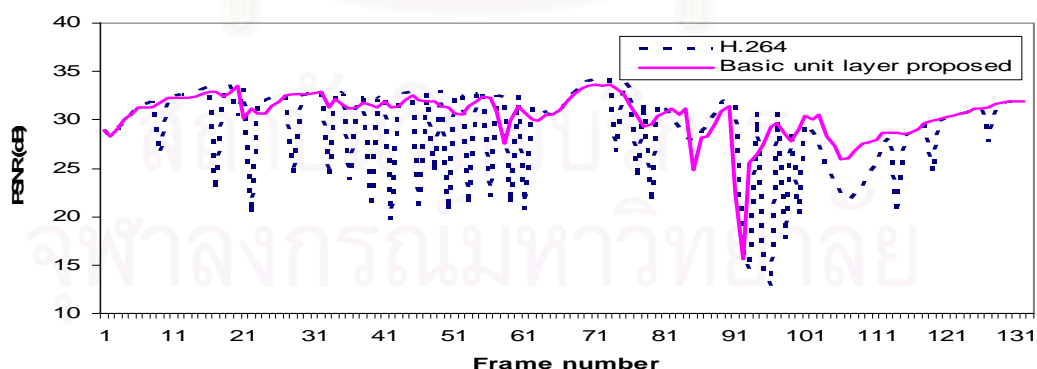
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบของการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานกับการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งปานกลางซึ่งมีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 10 Hz

4.2.4.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman

ทดสอบกับลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสทั้งหมด 133 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.14 โดยรูปที่ 4.14 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.14 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 1.61 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 97 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

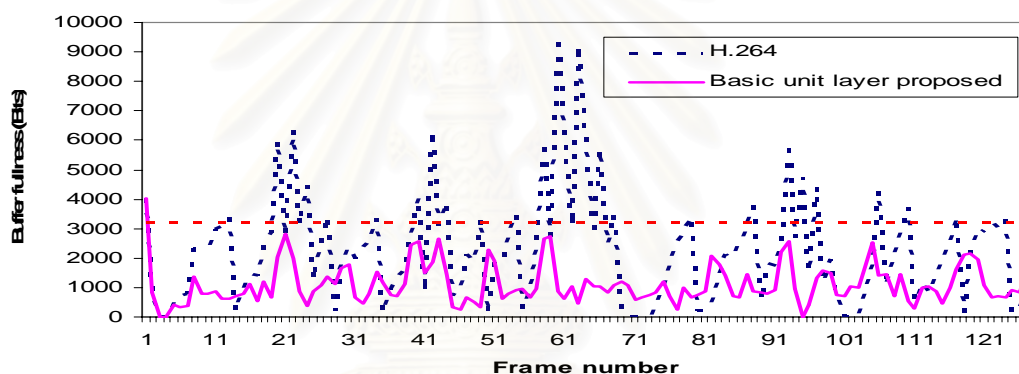


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

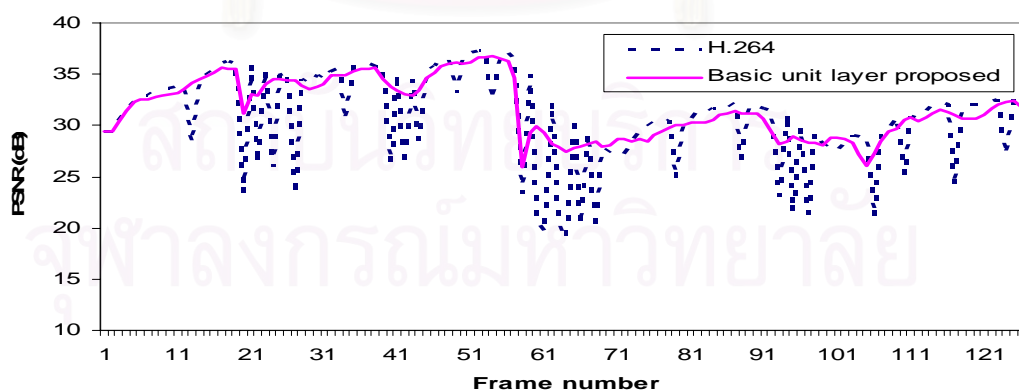
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.4.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone

ทดสอบกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.15 โดยรูปที่ 4.15 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.15 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.81 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

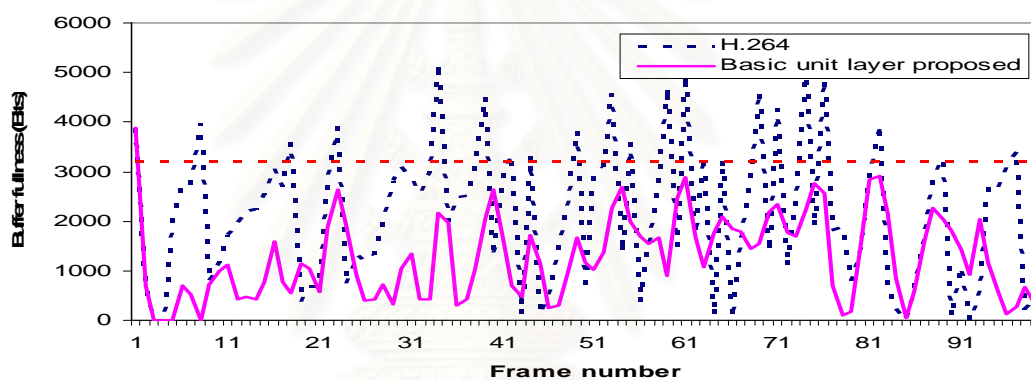


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

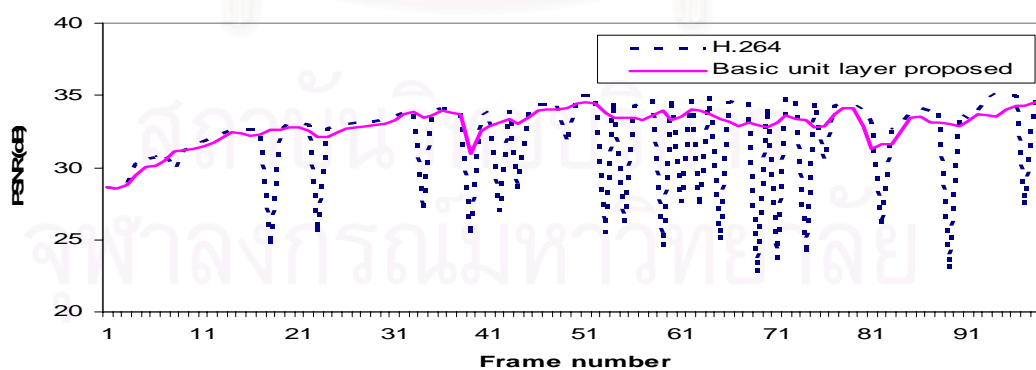
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.4.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent

ทดสอบกับลำดับภาพ Silent เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.16 โดยรูปที่ 4.16 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ รูปที่ 4.16 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.96 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

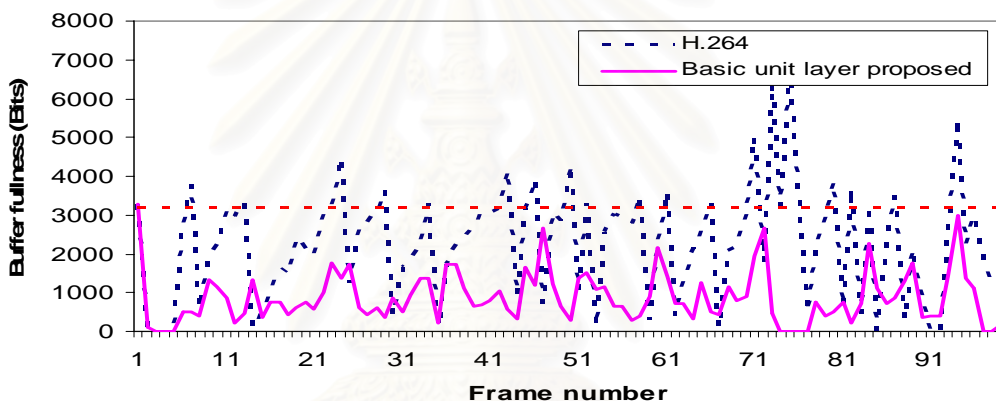


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

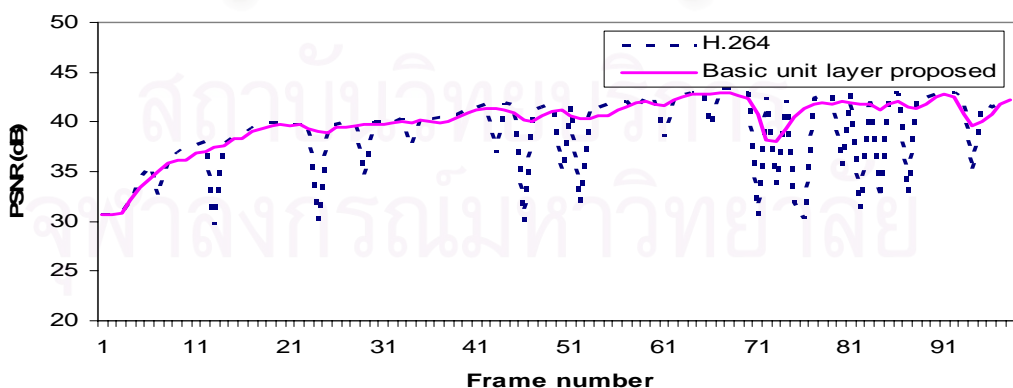
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี ค่าความถี่ดอปเพลอร์ เท่ากับ 10 Hz

4.2.2.2.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo

ทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo เข้ารหัสทั้งหมด 99เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.17 โดยรูปที่ 4.17 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ รูปที่ 4.17 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.89 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี ค่าความถี่ดอปเพลอร์ เท่ากับ 10 Hz

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 10 Hz

ลำดับภาพ	จำนวนเฟรมที่เข้ารหัส (เฟรม)	การควบคุมอัตรา H.264		การควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน		
		จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	PSNR (dB)	จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	ร้อยละของจำนวนเฟรมกระโดดที่ลดลง	PSNR (dB)
"Foreman"	133	28	28.91	1	97	30.52 (+1.61)
"Carphone"	127	27	30.82	0	100	31.63 (+0.81)
"Silent"	99	21	31.89	0	100	32.85 (+0.96)
"Akiyo"	99	21	39.04	0	100	39.93 (+0.89)

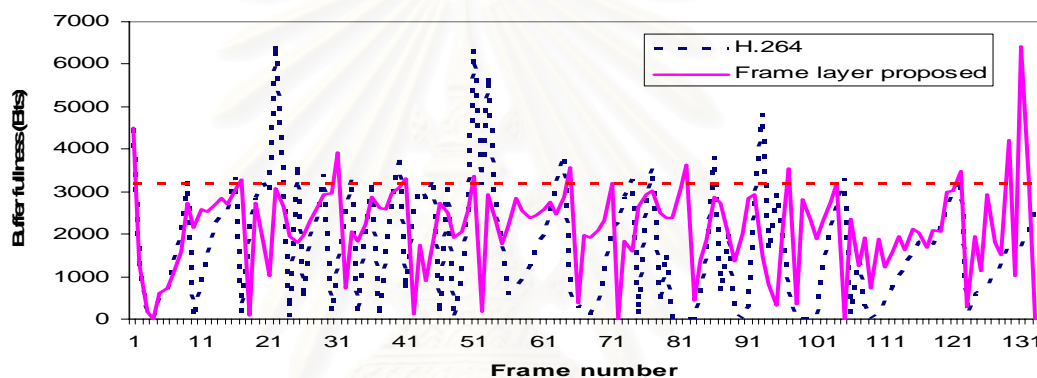
การทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5 โดยการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้ระหว่างร้อยละ 97 ถึง 100 และเพิ่มค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์สูงสุด 1.61 dB จากวิธีมาตรฐานของ H.264

4.2.5 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

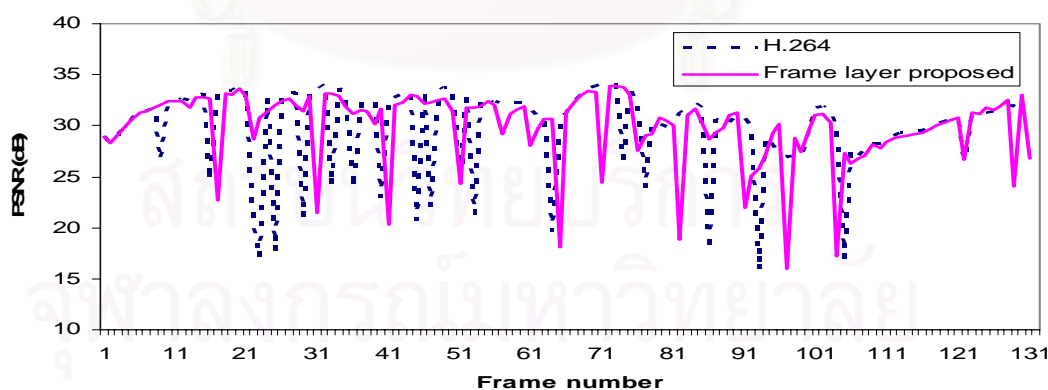
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบของการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรมกับการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเพดดิ้งเร็ว ซึ่งมีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 40Hz

4.2.5.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman

ทดสอบกับลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสทั้งหมด 133เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.18 โดยรูปที่ 4.18 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.18 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.08 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

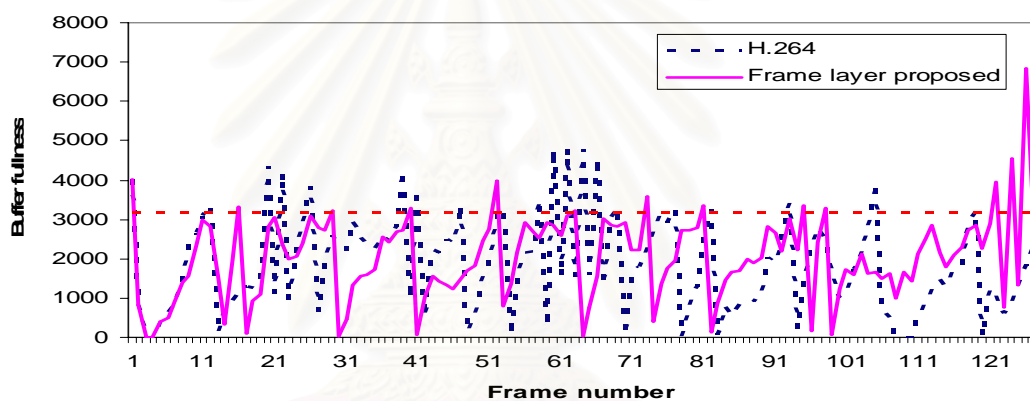


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

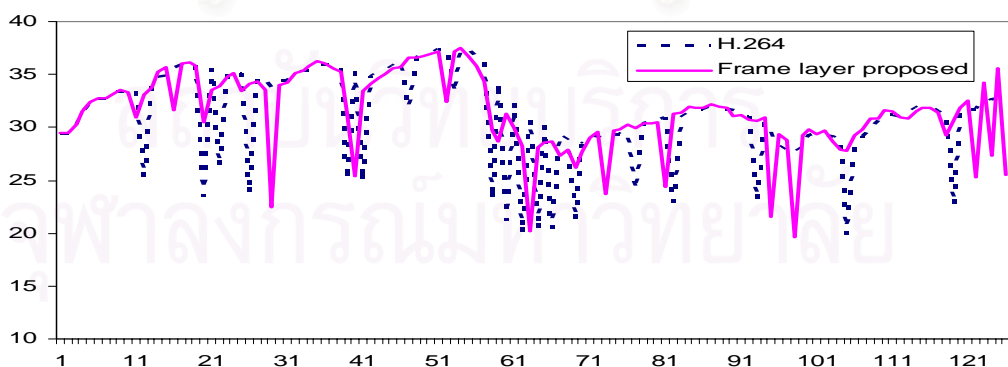
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

4.2.5.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone

ทดสอบกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.19 โดยรูปที่ 4.19 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.19 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.29 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 26 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

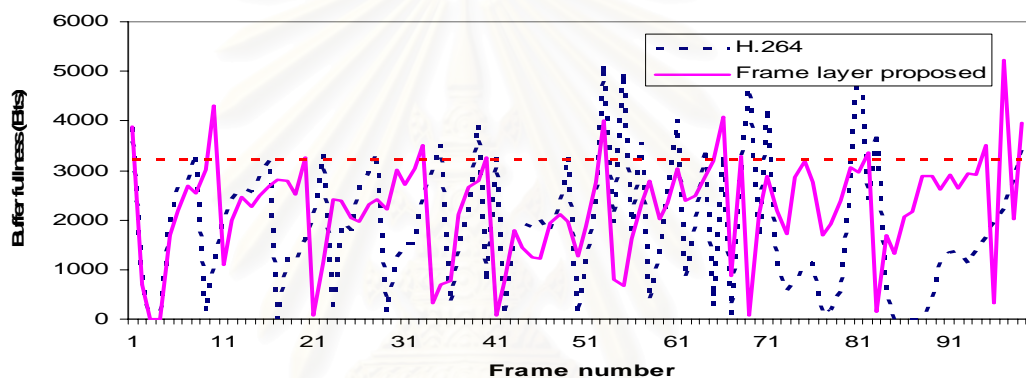


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

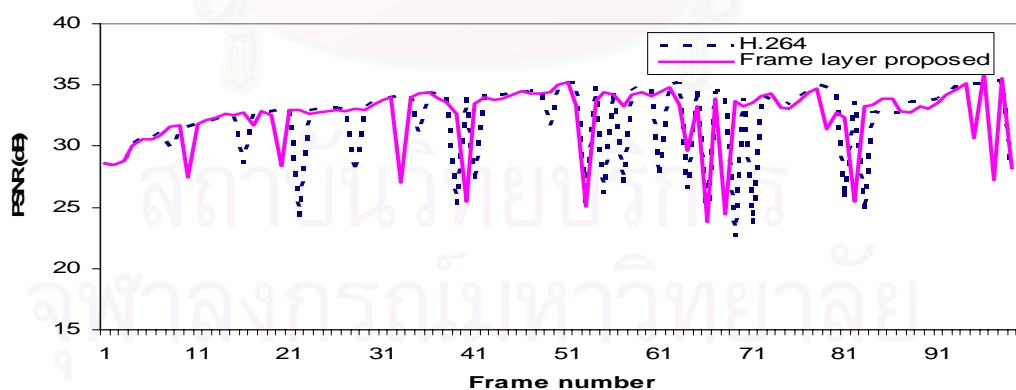
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

4.2.5.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent

ทดสอบกับลำดับภาพ Silent เข้ารหัสทั้งหมด 99เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.20 โดยรูปที่ 4.20(ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.20 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.25 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 42 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

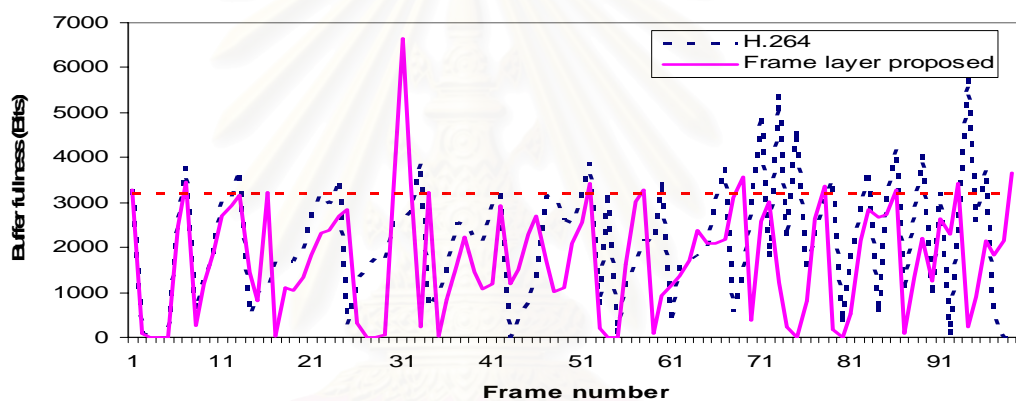


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

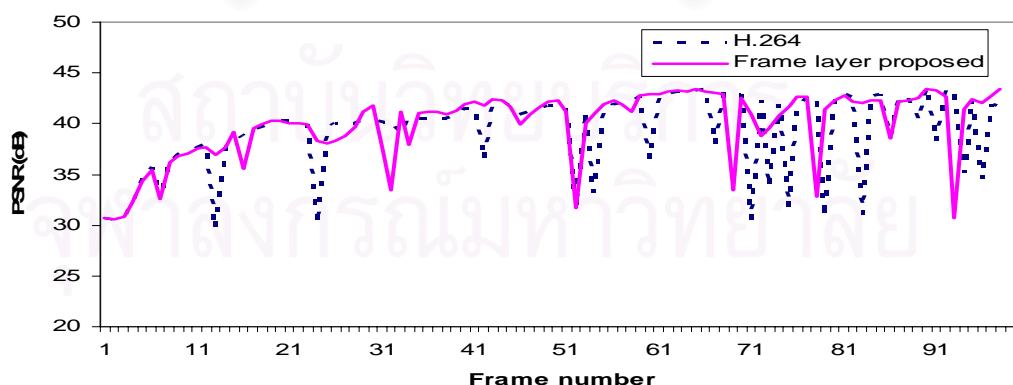
รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

4.2.5.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo

ทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo เข้ารหัสทั้งหมด 99เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.21 โดยรูปที่ 4.21 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 4.21 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยเฟรมมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.59 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 36 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

ลำดับภาพ	จำนวนเฟรมที่เข้ารหัส (เฟรม)	การควบคุมอัตรา H.264		การควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรม		
		จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	PSNR (dB)	จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	ร้อยละของจำนวนเฟรมกระโดดที่ลดลง	PSNR (dB)
"Foreman"	133	20	29.90	14	30	29.98 (+0.08)
"Carphone"	127	19	31.20	14	26	31.49 (+0.29)
"Silent"	99	19	32.20	11	42	32.45 (+0.25)
"Akiyo"	99	19	39.33	12	36	39.92 (+0.59)

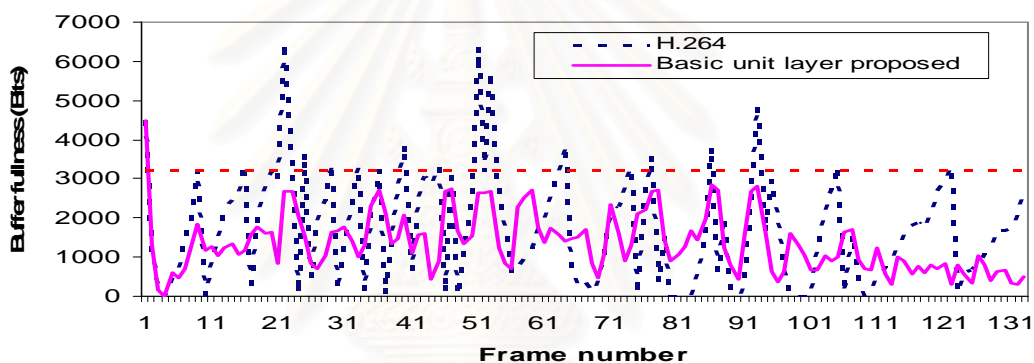
การทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 โดยการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับเฟรมสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้ระหว่างร้อยละ 26 ถึง 36 และเพิ่มค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่สูงสุด 0.59 dB จากวิธีมาตรฐานของ H.264

4.2.6 เปรียบเทียบการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอกับวิธีการควบคุมอัตราของมาตรฐาน H.264

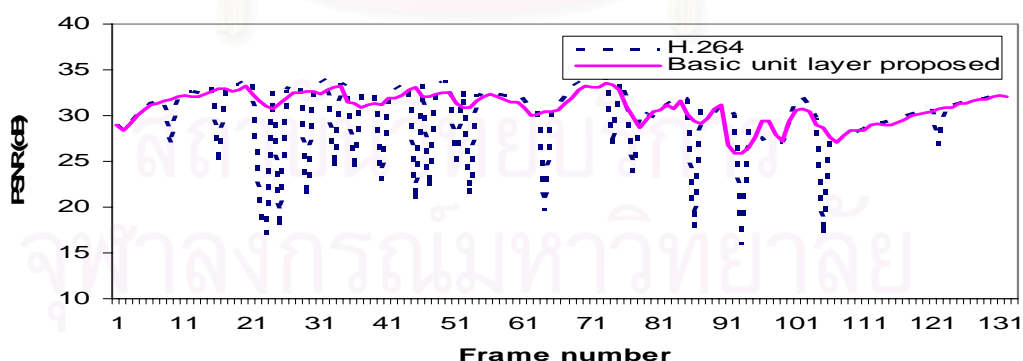
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบของการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานกับการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 เมื่อช่องสัญญาณมีสภาพเฟดดิ้งเร็ว ซึ่งมีค่าความถี่ดอปเปลอร์เท่ากับ 40 Hz

4.2.6.1 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Foreman

ทดสอบกับลำดับภาพ Foreman เข้ารหัสทั้งหมด 133 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.22 โดยรูปที่ 4.22 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.22 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.97 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

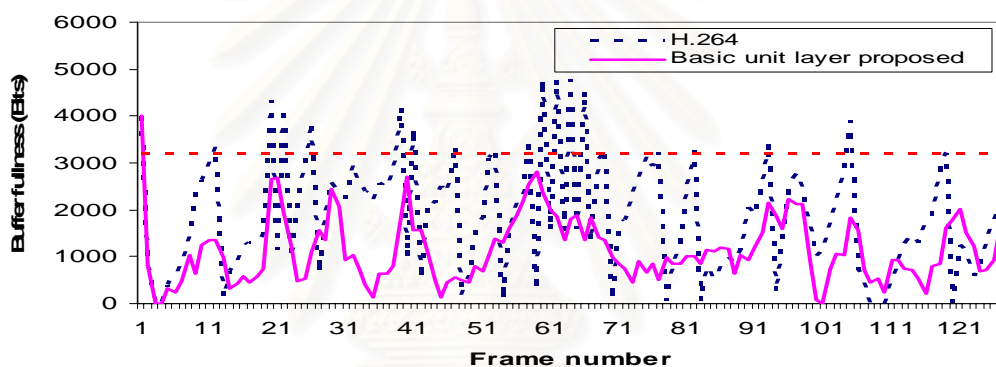


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

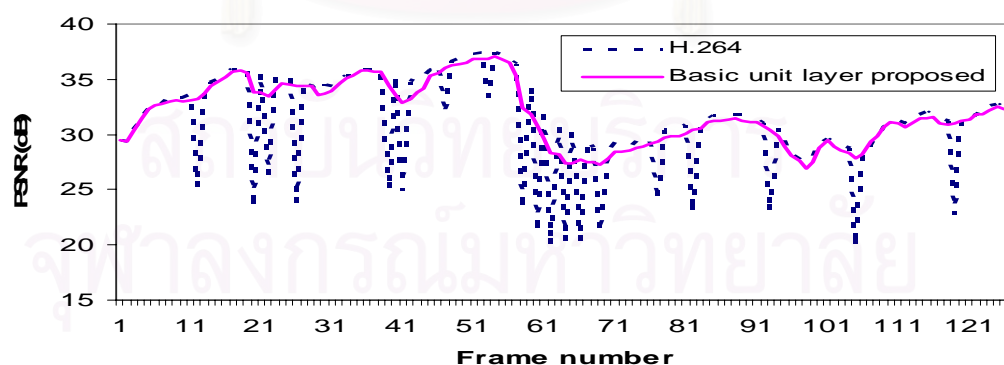
รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Foreman ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

4.2.6.2 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Carphone

ทดสอบกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127เฟรม ผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.23 โดยรูปที่ 4.23 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส เปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่นำเสนอ รูปที่ 4.22 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.70 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

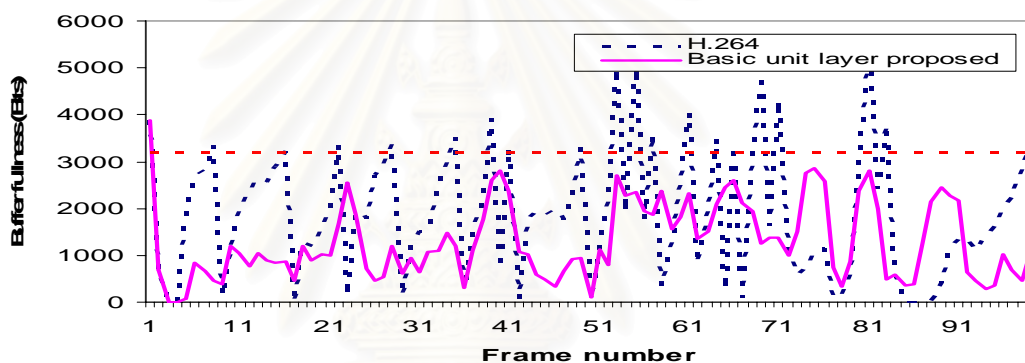


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

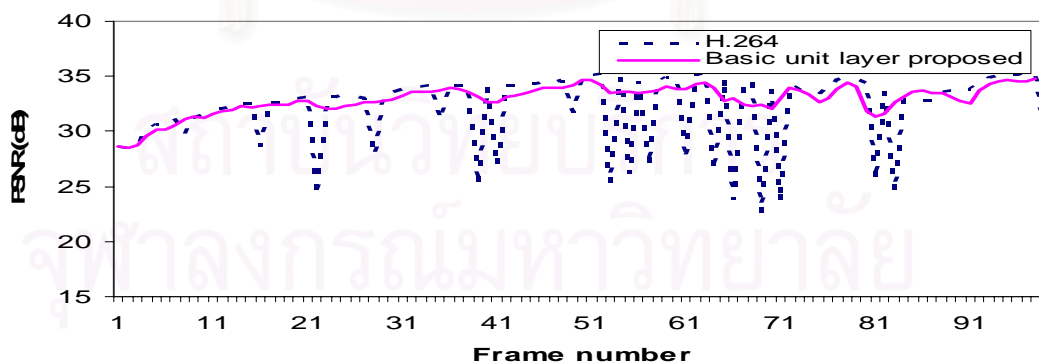
รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับลำดับภาพ Carphone ที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

4.2.6.3 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Silent

ทดสอบกับลำดับภาพ Silent เข้ารหัสทั้งหมด 99 เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.24 โดยรูปที่ 4.24 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ รูปที่ 4.23 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่น่าเสนอ นำเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.70 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส

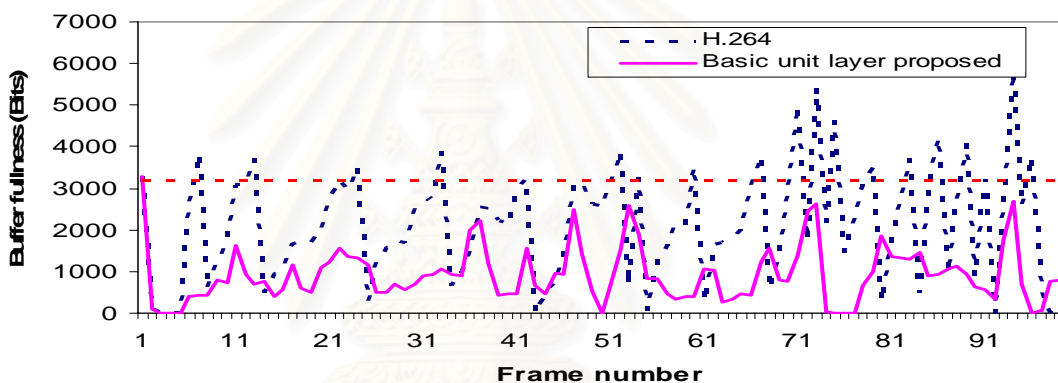


(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

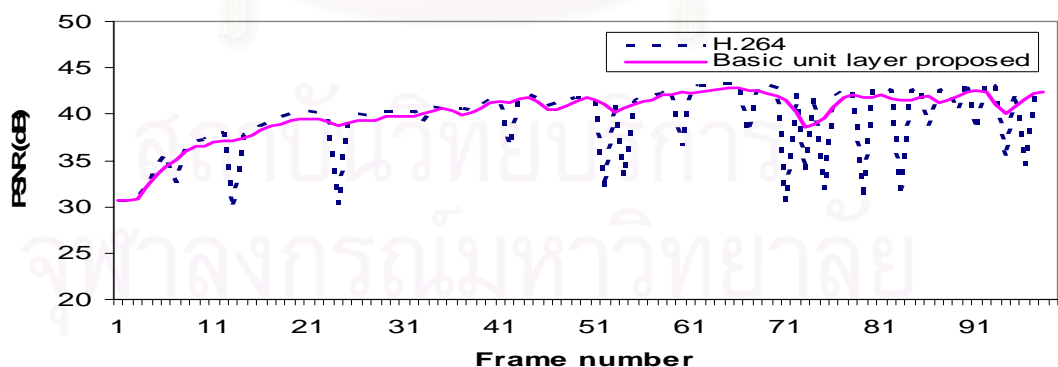
รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับลำดับภาพ Silent ที่มี ค่าความถี่คอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

4.2.6.4 ผลการทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo

ทดสอบกับลำดับภาพ Akiyo เข้ารหัสทั้งหมด 99เฟรม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.25 โดยรูปที่ 4.25 (ก) แสดงจำนวนบิตที่สะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ รูปที่ 4.24 (ข) แสดงค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ ระหว่างสัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐาน H.264 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานที่น่าเสนอ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานมีค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยมากกว่าวิธีมาตรฐานของ H.264 ประมาณ 0.69 dB และลดจำนวนเฟรมกระโดดลงร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของ H.264



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีตามมาตรฐานกับวิธีที่น่าเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสำหรับลำดับภาพ Akiyo ที่มี ค่าความถี่ตอบเพลอร์ เท่ากับ 40 Hz

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน สำหรับช่องสัญญาณที่มี ค่าความถี่ดอปเปลอร์ เท่ากับ 40 Hz

ลำดับภาพ	จำนวนเฟรมที่เข้ารหัส (เฟรม)	การควบคุมอัตรา H.264		การควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐาน		
		จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	PSNR (dB)	จำนวนเฟรมกระโดด (เฟรม)	ร้อยละของจำนวนเฟรมกระโดดที่ลดลง	PSNR (dB)
"Foreman"	133	20	29.90	0	100	30.87 (+0.97)
"Carphone"	127	19	31.20	0	100	31.90 (+0.70)
"Silent"	99	19	32.20	0	100	32.90 (+0.70)
"Akiyo"	99	19	39.33	0	100	40.02 (+0.69)

จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7 โดยการควบคุมอัตราที่นำเสนอในระดับหน่วยพื้นฐานสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้ร้อยละ 100 และเพิ่มค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์สูงสุด 0.97 dB จากวิธีมาตรฐานของ H.264

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เมื่อส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการควบคุมความผิดพลาดด้วยวิธี ARQ จากการศึกษาพบว่า การส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการควบคุมอัตรา ทำให้สัญญาณวีดิทัศน์ที่ได้รับมีจำนวนเฟรมกระโดดเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ลดลง วิทยานิพนธ์จึงนำเสนอการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 สำหรับการส่งสัญญาณวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่ โดยนำแบบจำลองสถานะของช่องสัญญาณไร้สายเข้ามาช่วยทำนายสถานะล่วงหน้าของช่องสัญญาณเพื่อนำไปปรับปรุงขั้นตอนการตัดสินใจของการควบคุมอัตราทั้งในระดับเฟรมและในระดับหน่วยพื้นฐานโดยจะเน้นไปที่การลดจำนวนเฟรมกระโดดเพื่อทำให้คุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยดีขึ้นรวมถึงมีความต่อเนื่องของสัญญาณวีดิทัศน์ที่ได้รับมากขึ้น

ทั้งนี้วิธีที่นำเสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีในทุกสภาพของช่องสัญญาณไร้สายตั้งแต่ช่องสัญญาณที่มีเพดดิ้งช้าไปจนถึงเพดดิ้งเร็ว เพราะกระบวนการที่นำเสนอใช้ข้อมูลป้อนกลับที่ได้จากช่องสัญญาณและแบบจำลองของช่องสัญญาณมาใช้ในการทำนายสถานะของช่องสัญญาณ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์มากต่อการตัดสินใจให้เหมาะสมกับสภาพของช่องสัญญาณขณะนั้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการที่นำเสนอจะใช้ได้กับช่องสัญญาณสองทาง ที่มีการป้อนกลับจากภาครับได้เท่านั้น รวมถึง จะต้องใช้กับระบบการส่งแบบเวลาจริงที่มีเวลาประวิงต่ำ

วิธีที่นำเสนอในระดับเฟรมสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้บางส่วนเท่านั้น เนื่องจากขั้นตอนการตัดสินใจและพิจารณาช่องสัญญาณไม่ได้คำนึงถึงจำนวนบิตที่ต้องจัดสรรของแต่ละหน่วยพื้นฐานเมื่อมีการส่งผ่านของสัญญาณรวมทั้งไม่ได้คำนึงถึงการปรับค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์เพื่อความเหมาะสมในการเข้ารหัสของแต่ละหน่วยพื้นฐาน จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐาน ซึ่งจากผลการทดสอบจากทุกสภาพของช่องสัญญาณได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับหน่วยพื้นฐานสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 97 ถึง 100 และมีค่าคุณภาพของสัญญาณ

วีดิทัศน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.84 dB ซึ่งวิธีการควบคุมอัตราในระดับเฟรมสามารถลดจำนวนเฟรมกระโดดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 16 ถึง 42 และมีค่าคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด 0.87 dB

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไปในอนาคต คือ

1. หาวิธีนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปใช้กับร่วมกับวิธีการควบคุมความผิดพลาดวิธีอื่น เช่นวิธีFEC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้ารหัส
2. วิจัยถึงความซับซ้อนในการประมวลผลเพื่อเป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้งานจริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Generic coding of moving pictures and associated audio information. ISO/IEC 13818.
2. Information technology-Coding of audio-visual objects. ISO/IEC 14496.
3. Video Coding of Low Bitrate Communication. ITU-T Recommendation. H.263 1996.
4. Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s. ISO/IEC 11172.
5. T. Wiegand, G. –J. Sullivan, G. Bjontegaard, A. Luthra, .Overview of the H.264/AVC video Coding Standard. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology 13(July 2003): 560 – 576.
6. T. Stockhammer, M. –M Hannuksela, T. Wiegand. H.264/AVC in Wireless Environment. IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology 13(July 2003): 657 – 673.
7. P. Navakitkanok , S. Aramvith. Improved Rate Control for Advanced Video Coding (AVC) Standard under Low Delay Constraint. Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing 2(April 2004): 664 – 668.
8. M. –Jiang, X. Yi, N. Ling. Improved frame – layer rate control for H.264 using MAD ratio. Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems 3(May 2004): 813-816.
9. M. Jiang, X. Yi, and N. Ling. On enhancing H.264 rate control by PSNR-based frame complexity estimation. IEEE International Conf. on Consumer Electronics 1(Jan 2005): 231 - 232
10. H. –B. Yu, C. Wang, S. Yu. A Novel Error Recovery Scheme for H.264 Video and Its Application in Conversational Services. IEEE Transactions on Consumer Electronics 1(February 2004): 329 – 334.
11. P. Buccioli, E. Masala, J.C. De Martin. Perceptual ARQ for H.264 video streaming over 3G wireless networks. IEEE International Conference 3(June 2004): 1288 - 1292.
12. S. Aramvith, I. –M. Pao, M. –T. Sun. A Rate – Control Scheme for Video Transport

- over Wireless Channels. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology 5(May 2001): 569 – 580.
13. C. –Y. Yuan, A. Ortega and M. Khansari. Rate Control for Robust Video Transmission over Burst – Error Wireless Channels. IEEE Journal on Selected Areas in Communication 5(May 1999): 756 – 772.
 14. H. Liu and M. El Zarki. Adaptive source rate control for real – time wireless video transmission. Mobile Network and Application 3(1998): 49 – 60.
 15. P. –C Hu, Z. –L. Zhang, M. Kaveh. Channel Condition ARQ Rate Control for Real-time Wireless Video Under Buffer Constraints. International Conference on Image Processing. IEEE Vancouver BC 2(October 2000): 124 – 127.
 16. พณชิต กิติปัญญางาม. อัลกอริทึมการเข้ารหัสแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางสำหรับการประมวลผลการเคลื่อนที่ในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
 17. Iain E.G. Richardson. H.264 and MPEG-4 Video Compression. West Sussex, England: Wiley, 2003.
 18. D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand. Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding in the H.264/AVC Video Compression Standard. IEEE Transactions on Circuit and Systems For Video Technology 13 (July 2003): 620-635.
 19. JVT-H014. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG Document (May 2003).
 20. Z. G. Li, C. Zhu, N. Ling, X. K. Yang, G. N. Feng, S. Wu, and F. Pan. A unified architecture for real-time video-coding systems. IEEE Transactions on Circuit and Systems For Video Technology vol. 13(June 2003): 472-487.
 21. H.J. Lee, T.H. Chiang and Y.Q. Zhang. Scalable Rate Control for MPEG-4 Video. IEEE Transactions on Circuit and Systems For Video Technology 10 (September 2000): 878-894.
 22. A. Vetro, H. Sun and Y. Wang. MPEG-4 rate control for multiple video objects. IEEE Transactions on Circuit and Systems For Video Technology 9 (February 1999):

186-199.

23. T. Wiegand and B. Girod. Parameter Selection in Lagrangian Hybrid Video Coder Control. Proceeding of International Conference on Image Processing 3 (October 2001): 542-545.
24. Rao, K. R., and Hwang, J. J. Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding. USA: Prentice Hall, 1996.
25. A.R. Noerpel, Y.-B. Lin, and H. Sherry. PACS: Personal Access Communications System – A Tutorial. IEEE Personal Communications. (June 1996): 32-43.
26. H. Ochsner. DECT – Digital European Cordless Telecommunications. IEEE Vehicular Technology 39th Conference. (1989): 718-721.
27. Personal Handy Phone System. Japanese Telecommunication System Standard. (Dec 1993).
28. H. Holma and A. Toskala. WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications. New York Wiley. (Aug 2004).
29. T.C. Chen, et al. A Real-Time Software Based End-To-End Wireless Visual Communications Simulation Platform. Proceedings SPIE Visual Communications and Image Processing 95. 3(May 1995): 1068-1074.
30. W. C. Jakes, Jr., Editor. Microwave Mobile Communications, John Wiley & Sons. (1974): 68-73.
31. http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm90.zip.
32. พรเทพ นวกิจกนก. การควบคุมอัตราการประวิงเวลาสำหรับมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ขั้นสูง. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
33. T. S. Rappaport. Wireless Communications Principles and Practice. USA: Prentice Hall, 2002.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

1. N. Srisawaivilai and S. Aramvith, "Rate Control Improvement of H.264 Coding for Video Transport over Retransmission – based Wireless Channels", Proceedings of the 28th Electrical Engineering Conference (EECON'28), Phuket, Thailand, 2(October 2005) : 1025 - 1028.
2. N. Srisawaivilai and S. Aramvith , "Improved H.264 Rate-Control Using Channel Throughput Estimate for ARQ-Based Wireless Video Transmissions", Proceedings of 2005 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2005), Hong Kong, (December 2005) : 13 - 16.
3. N. Srisawaivilai and S. Aramvith, "Improved Frame and Basic Unit Layers Bit Allocation Scheme for H.264 Video Transmission over ARQ-based Wireless Channels" To appear, Proceeding of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2006), Island of Kos, Greece, May 2006.

การปรับปรุงการควบคุมอัตราของการเข้ารหัส H.264 สำหรับการส่งวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่

Rate Control Improvement of H.264 Coding for Video Transport over Retransmission - based Wireless Channels

ณัฐ ศรีสวัสดิ์ และ สุภาวดี อร่ามวิทย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม. 10330

โทร. 0-2218-6909 โทรสาร 0-2218-6912

E-mail : Nat.sr@student.chula.ac.th , Supavadee.A@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาผลการทำงานของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 บนสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณไร้สายที่มีการควบคุมความผิดพลาดด้วย ARQ แล้วพบว่าการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการควบคุมอัตราทำให้เกิดเฟรมกระโดดและคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่ลดลง จึงได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดเฟรมกระโดดและเพิ่มคุณภาพของสัญญาณวิดีโอให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264

คำสำคัญ: H.264, ช่องสัญญาณไร้สาย, ARQ, การควบคุมอัตรา

Abstract

In this paper we study the effect of H.264 rate-control on the retransmission - based wireless channels. We found that the accumulated bits in encoder buffer due to retransmission increase the number of frame skipped and degrade video quality. In this work, we propose a rate control improvement of H.264 video coding for video transport over retransmission - based wireless channel. Simulation results show our proposed scheme provides better video quality with less frame skipping compared to that of H.264.

Keywords: H.264, Wireless channel, ARQ, Rate Control

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลสื่อประสม (Multimedia) เช่น ออดิโอ ภาพ วิดีทัศน์ ในการนำไปใช้ร่วมกับวิดีโอที่มีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณวิดีโอเข้ามาช่วย ซึ่งการประยุกต์ใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณวิดีโอร่วมกับงานทางด้านสื่อสาร

ไร้สายเช่น โทรศัพท์ภาพ (Video Phone) การประชุมสัมมนาทางวิดีโอ (Video Conferencing) และ วิดีทัศน์ตามคำขอ (Video on Demand)

มาตรฐานการบีบอัดสัญญาณวิดีโอ H.264 [1] เกิดขึ้นจากการร่วมมือกันระหว่างองค์กร ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Sector) และ ISO/IEC (International Standard Organization) โดยเป็นมาตรฐานที่มีทั้งประสิทธิภาพของการเข้ารหัส (Coding efficiency) และการออกแบบที่เหมาะสมกับโครงข่ายสื่อสาร (Network friendly) เหมาะสำหรับการนำไปใช้ร่วมกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย [2]

เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณไร้สายทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลในระหว่างการส่ง จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความผิดพลาดของข้อมูล ในการควบคุมความผิดพลาดแบบ ARQ (Automatic Repeat Request) การส่งข้อมูลใหม่ (Retransmission) จะส่งผลให้วิสัยความสามารถของช่องสัญญาณ (Channel Throughput) ลดลงส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการควบคุมอัตราของการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอและคุณภาพของสัญญาณวิดีโอที่ได้รับ [3]

บทความนี้ได้ศึกษาสมรรถนะการทำงานของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 บนสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณไร้สายที่มีการควบคุมความผิดพลาดแบบ ARQ แล้วพบว่าการส่งข้อมูลใหม่ของวิธี ARQ ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการควบคุมอัตราทำให้เกิดเฟรมกระโดดและคุณภาพสัญญาณวิดีโอที่ลดลง จึงได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 สำหรับการส่งวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่

2. ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวิดีโอ

2.1 การควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 [4]

การควบคุมอัตราของมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 จะหาค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์โดยแบบจำลองทราฟฟิกของไหล

(Fluid Traffic Model) แบบจำลองเชิงเส้น (Linear Model) แบบจำลองกำลังสองของอัตราบิดกับความเพี้ยนของข้อมูล (Quadratic Rate – distortion Model) เมื่อทำการเข้ารหัสครบทุกหน่วยพื้นฐานย่อย ตัวเข้ารหัสจะทำการคำนวณหาจำนวนบิตสะสมคงเหลือในบัฟเฟอร์ตามสมการที่ (1) โดยกำหนดให้ขนาดบัฟเฟอร์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0 $n_{i,j}$ ($i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, N_{gop}$) คือลำดับเฟรมที่ j ในกลุ่มภาพที่ i โดย N_{gop} คือจำนวนของเฟรมภาพในแต่ละกลุ่มภาพ $B_c(n_{i,j})$ คือจำนวนบิตที่สะสมอยู่ในบัฟเฟอร์หลังจากเข้ารหัสแต่ละเฟรม $A(n_{i,j})$ คือจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสเฟรมที่ j ในกลุ่มภาพที่ i F_r คือ อัตราเฟรม $u(n_{i,j})$ คือ อัตราบิตในช่องสัญญาณ ในเฟรมที่ j ในกลุ่มภาพที่ i

$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) \quad (1)$$

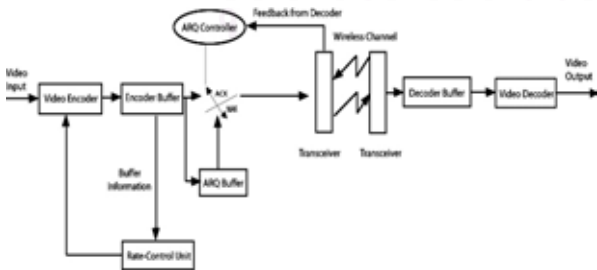
ถ้าจำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์หลังการเข้ารหัสในแต่ละเฟรม มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุดของบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส B_S ตัวเข้ารหัสจะทำการกระโดดข้ามเฟรมโดยจำนวนเฟรมกระโดดเริ่มต้น N_{post} กำหนดค่าให้เท่ากับ 0 และจะนำจำนวนบิตสะสมของบัฟเฟอร์ออกสู่ช่องสัญญาณ ดังสมการที่ (2)

$$\text{While } B_c(n_{i,j+N_{post}}) \geq B_S ;$$

$$B_c(n_{i,j+l}) = B_c(n_{i,j+l-1}) - \frac{u(n_{i,j+l-1})}{F_r}; 1 \leq l \leq N_{post} \quad (2)$$

2.2 ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อคุณภาพของสัญญาณวิดีโอ

ในบทความนี้จะใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สายแบบมัลติพาธของเรย์ลี [5] ในการจำลองรูปแบบความผิดพลาด (Error Pattern) ในระดับกลุ่มข้อมูล กลุ่มละ 80 บิต โดยเป็นช่องสัญญาณแบบสโลว์เฟดดิ้ง โดยจะได้ค่า PER (Packet error rate) เท่ากับ 0.15 และความยาวเบิร์สต์เฉลี่ยในกลุ่มข้อมูล (Average-burst-length in packets) เท่ากับ 19



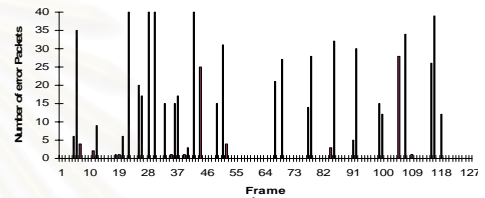
รูปที่ 3 ระบบช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง

การจำลองระบบแสดงดังรูปที่ 3 โดยเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 ของ JVT รุ่น JM 9.0 [6] โดยควบคุมอัตราบิต 32 กิโลบิตต่อวินาที กำหนดอัตราเฟรม 10 เฟรม

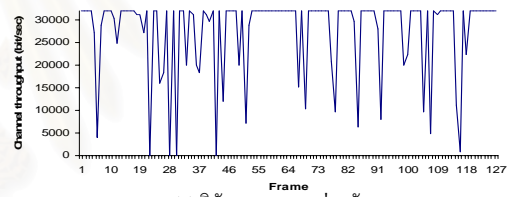
$$\text{ต่อวินาที และกำหนดค่าสูงสุดของบัฟเฟอร์ตัวเข้ารหัส } B_S = \frac{u(n_{i,j})}{F_r}$$

[7] ในกรณีกลุ่มข้อมูลที่ส่งไปมีความผิดพลาดจะต้องทำการส่งข้อมูลใหม่และจะทำการรวมบิตของข้อมูลที่ทำการส่งใหม่ลงในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัสดังสมการที่ (3) โดยที่ B_{retx} คือ จำนวนบิตสะสมของข้อมูลที่ส่งใหม่

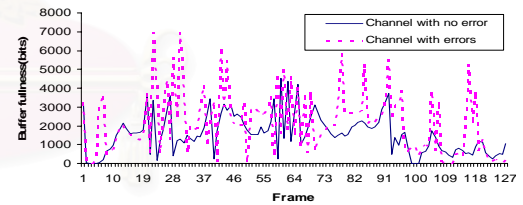
$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) + B_{retx} \quad (3)$$



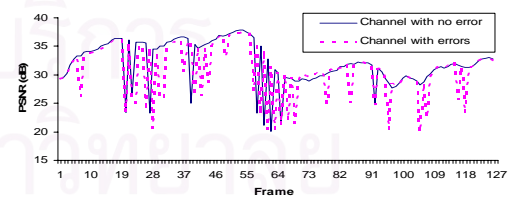
(ก) จำนวนของกลุ่มข้อมูลที่เกิดความผิดพลาดในแต่ละเฟรม



(ข) วิสัยความสามารถของช่องสัญญาณ



(ค) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอ

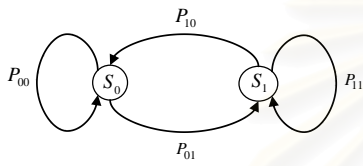
รูปที่ 4 ผลกระทบของการส่งข้อมูลใหม่ต่อการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ

รูปที่ 4 แสดงผลการทดลองกับลำดับภาพ Carphone จำนวน 127 เฟรม จากรูป 4 (ข) ค่าวิสัยสามารถของช่องสัญญาณเมื่อมีการส่งข้อมูลใหม่จะมีขนาดลดลงจากเดิม จากรูป 4 (ค) จำนวนบิตสะสมในบัฟเฟอร์สำหรับช่องสัญญาณที่มีความผิดพลาดเมื่อมีการส่งข้อมูลใหม่จะ

มีค่ามากกว่าจำนวนบิตสะสมสำหรับช่องสัญญาณที่ไม่มีความผิดพลาด ส่งผลให้มีจำนวนเฟรมกระโดดเพิ่มขึ้น 19 เฟรม และจากรูป 4 (ง) ค่าคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ที่วัดโดยค่า PSNR เฉลี่ยของช่องสัญญาณที่มีความผิดพลาดจะมีค่าต่ำกว่าค่าคุณภาพสัญญาณของช่องสัญญาณที่ไม่มีความผิดพลาดอยู่ 1.25 dB

3. แบบจำลองสถานะช่องสัญญาณไร้สาย

สำหรับช่องสัญญาณไร้สาย สามารถใช้แบบจำลองสถานะทำนายวิสัยสามารถของช่องสัญญาณล่วงหน้า บทความนี้จะกล่าวถึงแบบจำลอง Markov สองสถานะที่ใช้ร่วมกับช่องสัญญาณ Gilbert โดยแสดงแบบจำลอง Markov สองสถานะได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลอง Markov สองสถานะ

สถานะดี (Good State: S_0) กลุ่มข้อมูลจะสามารถส่งผ่านช่องสัญญาณได้อย่างถูกต้อง สถานะเลว (Bad State: S_1) กลุ่มข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณจะเกิดความผิดพลาด $P_{00}, P_{01}, P_{10}, P_{11}$ คือค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ สามารถเขียนสมการแสดงเมทริกซ์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะได้ดังสมการที่ (4)

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - P_{01} & P_{01} \\ P_{10} & 1 - P_{10} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ P_{01} และ P_{10} สามารถหาได้จากสมมติฐานแบบจำลอง Markov ของ Gilbert ตามสมการที่ (5) และสมการที่ (6)

$$P_{10} = \frac{1}{\text{Mean_Burst_Length}} \quad (5)$$

$$P_{01} = \frac{P_{10} * \text{PER}}{(1 - \text{PER})} \quad (6)$$

โดยเวกเตอร์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะของช่องสัญญาณ ณ เวลา k หาได้จากสมการที่ (7) กำหนดซึ่งรับมีการส่งสัญญาณย้อนกลับที่เวลา t และ d คือ ค่าประวิงเวลาในการเดินทางไปกลับของข้อมูลระหว่างฝั่งส่งและฝั่งรับ

$$\begin{aligned} \pi(k | S(t-d) = S_n) \\ = [\pi_0(k | S(t-d) = S_0), \pi_1(k | S(t-d) = S_1)] \quad (7) \end{aligned}$$

กำหนดให้ $\pi(t-d | S(t-d) = S_n)$ คือค่าความน่าจะเป็นของสถานะเริ่มต้นของช่องสัญญาณ ที่เวลา $t-d$ ซึ่งกำหนดในสมการที่ (8)

$$i, j \in \{0,1\}, \quad \pi_i(t-d | S(t-d) = S_j) = \begin{cases} 1, & \text{when } i = j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

จากทฤษฎีของ Markov ความน่าจะเป็นของสถานะที่เวลา k สามารถหาได้จากค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่เวลา $k-1$ ความน่าจะเป็นของสถานะที่เวลา k โดย $k > t-d$ จึงสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (9)

$$\pi(k | S(t-d) = S_n) = \pi(t-d | S(t-d) = S_n) * P^{k-t+d} \quad (9)$$

หลักแรกของเวกเตอร์จะเป็นค่าความน่าจะเป็นของการส่งกลุ่มข้อมูลได้อย่างถูกต้อง $\pi_0(k | S(t-d) = S_n)$ ดังนั้นเราสามารถหาค่าเฉลี่ยของค่าความน่าจะเป็นในการส่งกลุ่มข้อมูลได้อย่างถูกต้องในช่วง i กลุ่มข้อมูลได้ดังสมการที่ (10)

$$p(i | S(t-d) = S_n) = \frac{1}{i} \sum_{k=t+1}^{t+i} \pi_0(k | S(t-d) = S_n) \quad (10)$$

4. การปรับบิดเป้าหมายของขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับเฟรมโดยใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ

สามารถนำข้อมูลของแบบจำลองสถานะมาปรับบิดเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ในขั้นตอนการควบคุมอัตราระดับเฟรม ได้ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 คำนวณสถานะปัจจุบันของช่องสัญญาณ ดังสมการที่ (11) โดย $R\text{Bits}$ คือจำนวนบิตที่ส่งใหม่ในแต่ละเฟรม $AveN\text{Bits}$ คือค่าเฉลี่ยของบิตทั้งหมดที่ถูกส่งไปในช่วง N เฟรมก่อนหน้านี้ และ H คือค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

$$\text{if} \left(\frac{R\text{Bits}}{Ave\text{Bits}} > H \right) \quad \text{State} = S_1 \quad \text{else} \quad \text{State} = S_0 \quad (11)$$

ในงานวิจัยนี้กำหนดค่า $AveN\text{Bits}$ ในช่วง 3 เฟรมก่อนหน้านี้ และค่าขีดเริ่มเปลี่ยน H เท่ากับ 0.3

ขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับค่าตัวน้ำหนัก γ และค่า β ก่อนที่จะเข้าขั้นตอน Pre-encoding ของการควบคุมอัตราในระดับเฟรม [4]

$$\begin{aligned} \text{if} (B_c(n_{i,j}) > 0.5 * B_S) \\ \gamma = 1.0, \beta = 0.1; \\ \text{else } \gamma = 0.8, \beta = 0.5; \end{aligned} \quad (12)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ตามขั้นตอนของการควบคุมอัตราในระดับเฟรม [4]

ขั้นตอนที่ 4 ทำการพิจารณาช่วง $f(n_{i,j})$ บิตล่วงหน้าในระดับของกลุ่มข้อมูลและจะได้ $f_{est}(n_{i,j})$ ที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ถูกต้องของเฟรมเป้าหมายดังสมการที่ (13) โดย $PSize$ คือขนาดของกลุ่มข้อมูล (80 บิต)

$$f_{est}(n_{i,j}) = f(n_{i,j}) \times (p(i | Current_State = S_n)) \quad (13)$$

$$i = f(n_{i,j}) / Psize$$

ขั้นตอนที่ 5 ปรับบิตเป้าหมาย $f(n_{i,j})$ ใหม่ดังสมการที่ (14)

$$if (B_c(n_{i,j}) + f(n_{i,j})) > 1.5 \times B_S \quad (14)$$

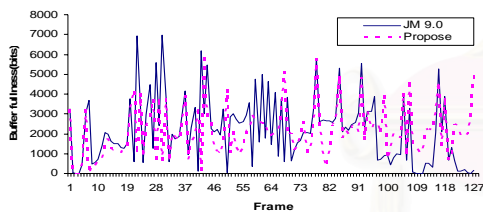
$$f(n_{i,j}) = f_{est}(n_{i,j})$$

ขั้นตอนที่ 6 เนื่องจากต้องการให้บิตที่เข้ารหัสจริงมีค่าใกล้เคียงบิตของเฟรมเป้าหมายที่ทำการจองไว้ จึงมีการกำหนดเงื่อนไขการเลือกค่าควอนไทซ์พารามิเตอร์โดยใช้วิธีที่ได้จากการทดลองของ [7]

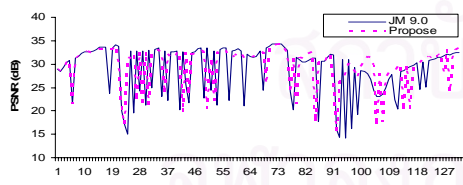
ขั้นตอนที่ 7 ปรับระดับบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสตามสมการที่ (3) และทำการบวกรวมการเติมกับเฟรมถัดไป

5. ผลการทดลอง

ทำการปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมอัตราในระดับเฟรมด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยกำหนดอัตราบิตที่ 32 กิโลบิตต่อวินาที กำหนดอัตราเฟรมที่ 10 เฟรมต่อวินาที ทดลองกับลำดับภาพ Carphone Foreman และ Silent



(ก) จำนวนบิตสะสมในบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัส



(ข) ค่าคุณภาพสัญญาณวิดีโอ

รูปที่ 6 ผลการทดลองของลำดับภาพ Carphone

รูปที่ 6 แสดงผลการทดลองกับลำดับภาพ Carphone เข้ารหัสทั้งหมด 127 เฟรม โดยรูปที่ 6 (ก) แสดงบิตที่สะสมในบัพเฟอร์ของตัวเข้ารหัสเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาตรฐานของ JM 9.0 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ รูปที่ 6 (ข) แสดงค่า PSNR ระหว่างสัญญาณวิดีโอที่เข้ารหัสด้วยวิธีมาตรฐานของ JM 9.0 กับวิธีการปรับปรุงการควบคุมอัตราในระดับเฟรมที่นำเสนอ

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอด้วยวิธีการควบคุมอัตราที่นำเสนอให้เฟรมกระโดดลดลงประมาณ 30 % ของวิธีเข้ารหัสตามมาตรฐานของซอฟต์แวร์การเข้ารหัส JM 9.0 และค่า PSNR เฉลี่ยของวิธีการควบคุมอัตราที่นำเสนอมีค่าสูงกว่าวิธีเข้ารหัสตามมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.3 - 0.8 dB แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. สรุปผลการทดลอง

Video Sequence	Total Frames	JM 9.0 Rate Control		Proposed Rate Control		
		#Frames Skipped	PSNR (dB)	# Frames Skipped	% of Frames Skipped	PSNR (dB)
Foreman	133	33	28.84	23	31%	29.67 (+0.83)
Carphone	127	29	30.86	21	28%	31.21 (+0.34)
Silent	99	25	31.84	16	36%	32.20 (+0.36)

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยย่อยกรรมวิธีประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทุนรัชดาภิเษกสมโภชน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Wiegand, G. Sullivan and A. Luthra, "ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC", Joint Video Team, Doc. JVT-G050, Pattaya (Thailand), March 2003.
- [2] T. Wiegand, G. -J. Sullivan, G. Bjontegaard, A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video Coding Standard," *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 13, NO. 7, JULY 2003, pp. 560 - 576
- [3] S. Aramvith, I. -M. Pao, M. -T. Sun, "A Rate - Control Scheme for Video Transport over Wireless Channels," *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 11, NO. 5, May 2001, pp. 569 - 580
- [4] Institute of Computing Technology, "Proposed Draft of Adaptive Rate Control", *Joint video Team (JVT), doc. JVT - H012, 8th meeting Geneva, May 20 -26 2003*
- [5] T.C. Chen, et al., "A Real-Time Software Based End-To-End Wireless Visual Communications Simulation Platform," *Proceedings SPIE Visual Communications and Image Processing 95*, vol. 3, May 1995, pp. 1068-1074
- [6] http://iphome.hhi.de/suehring/tmi/download/old_jm/jm90.zip
- [7] P. Navakitkanok, S. Aramvith, "Improved Rate Control for Advanced Video Coding (AVC) Standard under Low Delay Constraint," *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'04)*, vol2, 5-7 April 2004, pp. 664 - 668

Improved H.264 Rate-Control using Channel Throughput Estimate for ARQ-based Wireless Video Transmissions

Nat Srisawaivilai and Supavadee Aramvith

Digital Signal Processing Research Laboratory Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

Tel: (66-2) 218-6909, Fax: (66-2) 218-6912

Email: Nat.sr@student.netserv.chula.ac.th, Supavadee.a@chula.ac.th

ABSTRACT

In this paper, we investigate the scenario of wireless H.264 video transmission where selective-repeat ARQ has been adopted as an error control technique. While using ARQ can ensure reliable transmission, consecutive retransmissions cause the degraded PSNR and a lot of frames skipped. We then propose an improved rate-control by monitoring buffer occupancy at both frame and basic unit layers and integrating channel throughput estimate at the frame layer. Simulation results indicate our propose scheme can improve PSNR of up to 0.8 dB and reduce the number of frames skipped around 30%, compared to that of H.264.

1. INTRODUCTION

Presently rapid development in wireless communication technology enables the transmissions of multimedia data such as images, and videos. Although video is a more meaningful way to convey important information and there are many applications used today such as video conferencing, streaming video, and video on demand, etc., its high bit-rate requires more advances video coding technology to efficiently compress data and transmit into networks. Recently JVT H.264/MPEG-4 Part 10 is the video coding standard that has high coding efficiency and network friendliness properties make it suitable for wireless video transmission [2].

The multipath fading characteristic of wireless channels requires effective error control mechanism such that the highest possible quality of video data will be delivered at the destination. Data-link layer solutions, such as forward error correction (FEC) and/or automatic repeat request (ARQ), have been proven to be suitable approaches especially when applied jointly with source coding [3]. While using FEC may incur some unnecessary overhead, ARQ is proven to be more reliable methods unless bounded delay is strictly required. In source coding, the aspects of adapting source rate-control taken

into consideration the effects of wireless channel condition have been investigated thoroughly by researchers [3-6]. In those schemes, the source coding parameters of the next frame are decided based on the encoder buffer fullness, channel bit rates, and channel *priori* information. Specifically if considering the scenario of using ARQ, previous studies [3] showed that taken into consideration of the effects of buffer fill-up due to consecutive retransmissions could effectively improve video quality both in terms of peak signal-to-noise ratio (PSNR) and the number of frames skipped.

Previously we have investigated the reference rate-control model of JVT H.264/MPEG-4 Part 10 [1] which uses linear and quadratic rate-distortion model to calculate suitable quantization parameters to encode each video frame. The study has been done under the impact of low delay constraint over error-free channels [10]. The results indicated that using proposed rate-control scheme by monitoring buffer fullness and adjusting coding parameters accordingly at the frame and macroblock levels can improve video quality.

In this work, we investigate the scenario of wireless H.264 video transmission where selective-repeat ARQ has been adopted as an error control technique. First the effect on the video quality has been shown in Section 2. Improved rate-control scheme using the knowledge of buffer fullness monitoring and channel throughput estimate is shown in Section 3. Simulation results are presented in Section 4. Section 5 presents conclusions and discussions for future work.

2. EFFECTS OF ARQ – BASED WIRELESS VIDEO TRANSMISION ON VIDEO QUALITY

In this section, we briefly provide the overview of H.264 rate control where we simulate the effects of video transmission and show simulation results.

2.1 H.264 Rate control

In H.264 rate control, a quantization parameter is determined by using linear and quadratic rate – distortion

models. The rate control in H.264 [7] is composed Group of picture (GOP) layer, frame layer and basic unit layer. When encoded the current frame, rate control will compute the occupancy of encoder buffer by using fluid traffic model as shown in eq. (1). The initial buffer fullness is set to zero. The N_{gop} denotes the total number of GOP, $n_{i,j}$ denotes the j th frame in the i th GOP, $B_c(n_{i,j})$ denotes the occupancy of encoder buffer, $A(n_{i,j})$ denotes number of bits generated by the j th frame in the i th GOP, F_r denotes the target frame rate and $u(n_{i,j})$ denotes the available channel bandwidth.

$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) \quad (1)$$

If the occupancy of encoder buffer is larger than the maximum encoder buffer size, B_S , rate control will skip encoding frame and release accumulated bit in the encoder buffer to the channel. The determination of a target bit for each P frame composes of 2 steps.

Step 1.1 Budget allocation among pictures. The bit allocation is implemented by predefining a target buffer level, $Tbl(n_{i,j+1})$, for each P picture, as shown in eq. (3), where N_p is the number of P frames in GOP.

$$Tbl(n_{i,j+1}) = Tbl(n_{i,j}) - \frac{B_c(n_{i,j}) - B_S / 8}{N_p - 1} \quad (3)$$

Step 1.2 Target bit rate computation.

The target bit rate, $f(n_{i,j})$, for the j th P frame in the i th GOP is scaled based on the target buffer level, current buffer level, frame rate, and channel bandwidth. It is given in eq. (4),

$$\tilde{f}(n_{i,j}) = \frac{u(n_{i,j})}{F_r} + \gamma(Tbl(n_{i,j}) - B_c(n_{i,j})) \quad (4)$$

,where γ is a constant weighting factor and its default value is 0.75.

Further adjustment by a weighted combination of the average number of remaining bits for each frame is given, as shown in eq. (5),

$$f(n_{i,j}) = \beta * \frac{T_r(n_{i,j})}{N_p - j} + (1 - \beta) * \tilde{f}(n_{i,j}) \quad (5)$$

,where $T_r(n_{i,j})$ is the total number of remaining bits left to encode the j th frame onwards in the i th GOP, and β is a constant weighting factor. Its default value is 0.5. Note that the detail information of H.264 rate control can be found in [7].

2.2 Simulation Results

In this work, we uses wireless Rayleigh fading channel simulator software as in [8] to simulate the effects of wireless video transmission. In particular, we set the parameter to simulate slow fading channel at Maximum Doppler Frequency = 1 Hz. The packet error rate (PER) and mean average burst length (in packets) are 0.15 and 19 respectively. We use JVT H.264/MPEG-4 Part 10 reference software version JM 9.0 [9]. The videos are encoded at 32 kbps. The maximum encoder buffer size is set to $B_S = \frac{u(n_{i,j})}{F_r}$ [10]. The error pattern that is

generated from the wireless channel simulator corrupts the encoded video sequences. Each error packet has an effect on the encoder in order to retransmission at a later time corresponding to the round-trip delay. After encoding each frame, the occupancy of encoder buffer, $B_c(n_{i,j})$, is updated by taking the retransmission bits B_{retr} into account, as shown in eq. (6)

$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) + B_{retr} \quad (6)$$

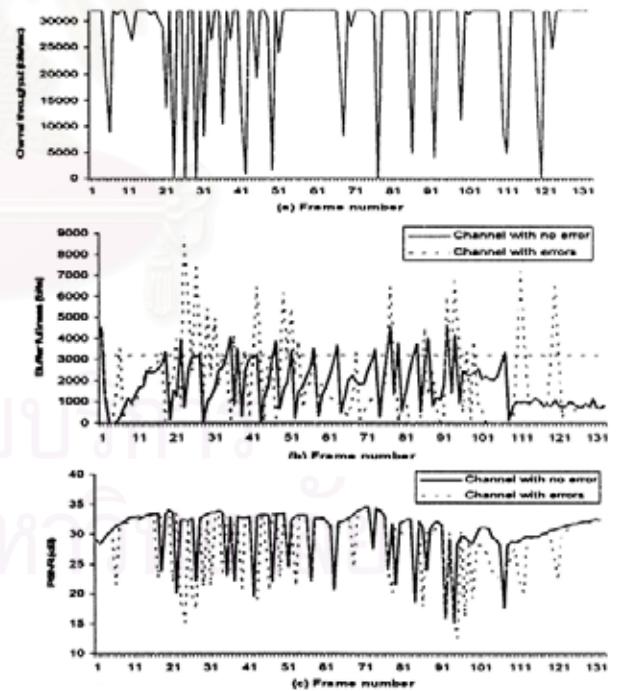


Figure 1. Simulation using the "Foreman" video sequence coded with H.264 rate control at 32 kbps and a target frame rate of 10 fps.

Fig. 1 shows the effect of ARQ – based wireless video transmission using "Foreman" sequence. Fig. 1(a) shows that the channel throughput is reduced if there are a lot of packets needed to retransmit. Fig. 1(b) illustrates the

buffer fullness level. The accumulated number of bits in the buffer while retransmission occurs is much higher than of the error-free channel. Thus, without the proposed algorithm described in Section 3, there are additional 14 frames skipped compared to the error-free channel. Fig. 1(c) shows PSNR degradation. There are several sharp drops in PSNR especially during deep fades which can be as bad as 10 dB drop. On the average, PSNR degrades 1.96 dB, when compared with error-free channel.

3. PROPOSED H.264 RATE CONTROL

To effectively alleviate the problem of degraded video quality due to the accumulated number of bits in the encoder buffer which makes the bit allocation of H.264 rate control ineffectiveness, some extra information regarding the channel condition is needed. In this work, we utilize two state-Markov model, the simplified Gilbert channel at the packet level [11] where state S_0 is the good state and state S_1 is the bad state. This model has been shown to provide a coarse but sufficiently estimate approximation of slow-varying fading channel [3]. This model will be used to predict the state of the channel and we can analytically derive the estimated channel throughput (more detailed derivation is shown in [3]) to use as a *prior* information such that bit allocation of the rate control could be vastly improved. Our proposed algorithm monitors buffer occupancy in both frame and macroblock levels while the estimated channel throughput is used in the frame level only. The algorithm is implemented with the modification of JM 9.0 software.

3.1 Frame Layer Rate Control

In the frame level, the target number of bits of the current P frame, $f(n_{i,j})$, is adapted using channel information. The algorithm is summarized in 7 steps, as follows.

Step 1 Determine current channel state by calculating the ratio of the retransmission bits, $RBits$, to the number of transmitted bits, $AveBits$, collecting during 3 coded-frames interval, as shown in eq. (7). If this ratio is greater than a threshold, H , then the state is declared as a bad state.

$$\text{if} \left(\frac{RBits}{AveBits} \right) > H \quad \text{State} = S_1 \quad \text{else} \quad \text{State} = S_0 \quad (7)$$

Step 2 Determine the model parameters, γ , and β to use in eqs. (4-5). If the buffer occupancy, $B_c(n_{i,j})$, is higher than half of the maximum buffer size, B_S , both model parameters will be set empirically as shown in eq. (8).

$$\begin{aligned} \text{if} (B_c(n_{i,j}) > 0.5 \times B_S) \quad & \gamma = 1.0, \beta = 0.1 \\ \text{else} \quad & \gamma = 0.8, \beta = 0.5 \end{aligned} \quad (8)$$

Step 3 Calculate the target bits for the current P frame $f(n_{i,j})$, as stated in eq. (5).

Step 4 Calculate the estimated average number of successful bits per frame-interval, $f_{est}(n_{i,j})$. This is done by adjusting target bit rate, $f(n_{i,j})$, with the estimated channel throughput, i.e., the average probability of correct packets transmitted in the i -packet interval, $p(i | \text{Current_State} = S_n)$ [3], where $i = f(n_{i,j}) / PSize$, $PSize$ is a packet size, set to 80 bits. Computation is shown in eq. (9).

$$f_{est}(n_{i,j}) = f(n_{i,j}) \times (p(i | \text{Current_State} = S_n)) \quad (9)$$

Step 5 Adjust the new frame target bits to be $f_{est}(n_{i,j})$, which is generally less than the computed frame target, if there is high tendency that there may be a chance of frames skipped, otherwise, use the same frame target, $f(n_{i,j})$, as in eq. (10).

$$\begin{aligned} \text{if} (B_c(n_{i,j}) + f(n_{i,j})) > 1.5 \times B_S \quad & (10) \\ f(n_{i,j}) = f_{est}(n_{i,j}) \end{aligned}$$

Step 6 Perform basic unit layer rate control, as described in Section 4.2.

Step 7 Update buffer occupancy, as shown in eq. (6). If there are more frames to be encoded, go to step 1, otherwise, stop.

3.2 Basic Unit Layer Rate Control

In basic unit layer, a suitable quantization parameter for each basic unit will be computed. The computation of quantization parameter for the first basic unit (case 1) and when there are enough bits to encode the rest of the basic unit in a frame (case 3) is done according to the original algorithm [7]. For case 2 where there is not enough bits to encode the rest of the basic unit, we propose a condition for selecting the quantization parameter by monitoring buffer fullness level at the basic unit layer, as discussed in [10].

4. SIMULATION RESULTS

We show a simulations of H.264 proposed rate control by using JVT software version JM 9.0 [9] at 32 kbps, with three test sequence "Carphone", "Foreman" and "News". Encoder parameters are defined in the extended profile of H.264 [1]. The maximum encoder buffer size set to 3200 bits. The PSNR calculation when frame is skipped is done according to the rate control test in MPEG-4 [12]. The comparison between JM 9.0 and our proposed scheme is shown in Fig. 2 for the Foreman sequence. With the proposed rate-control, we can achieve the average PSNR increase of up to 0.8 dB with up to 32% reduced number of frames skipped, as shown in Table 1.

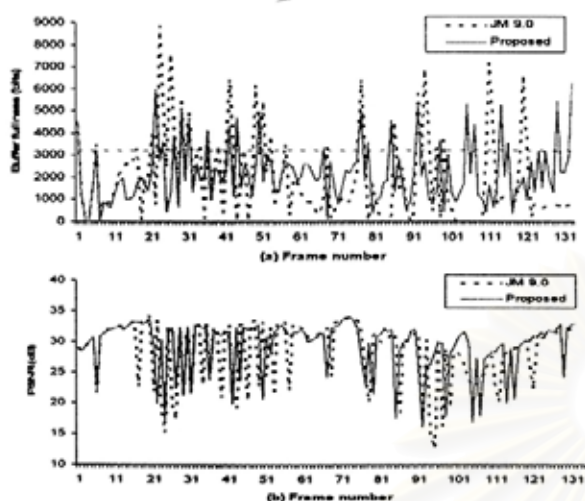


Figure 2. Simulation using the "Foreman" video sequence coded with H.264 JM 9.0 rate control (solid line) at 32 kbps and a target frame rate of 10 fps. (a) Buffer fullness (in bits) and propose H.264 rate control (dashed line). (b) PSNR comparison between JM 9.0 and our proposed scheme.

5. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this work, we investigate the scenario of wireless H.264 video transmission where selective-repeat ARQ has been adopted as an error control technique. While using ARQ can ensure reliable transmission, consecutive retransmissions cause the degraded PSNR and a lot of frames skipped. We then proposed improved rate-control by monitoring buffer occupancy at both frame and basic unit layers and integrating channel throughput estimate as an extra information to the rate control at the frame layer only. Simulation results indicate our propose scheme can improve PSNR and reduce the number of frames skipped at a certain level. Currently we are working on the integration of channel throughput estimate into the basic unit layer.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This research is in part supported by the Cooperation Project between Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development, Research Unit for Digital Signal Processing, Ratchadaphisek Somphot Endowment, Chulalongkorn University, and Thailand Research Fund.

Table 1. Comparison of number of frame skipped and average PSNR for JM 9.0 and our proposed scheme

Video Sequence	Total Frames	JM 9.0 Rate Control		Proposed Rate Control		
		#Frames Skipped	PSNR (dB)	# Frames Skipped	% of Frames Skipped Reduction	PSNR (dB)
Foreman	133	32	28.41	22	31%	29.22 (+0.81)
Carphone	127	28	30.62	19	32%	30.90 (+0.28)
News	99	23	31.77	17	26%	32.06 (+0.29)

7. REFERENCES

- [1] T. Wiegand, G. Sullivan and A. Luthra, "ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC", Joint Video Team, Doc. JVT-G050, Pattaya (Thailand), March 2003.
- [2] T. Wiegand, G. -J. Sullivan, G. Bjontegaard, A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video Coding Standard," *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 13, NO. 7, JULY 2003, pp. 560 – 576.
- [3] S. Aramvith, I. -M. Pao, M. -T. Sun, "A Rate – Control Scheme for Video Transport over Wireless Channels," *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 11, NO. 5, May 2001, pp. 569 – 580.
- [4] C. -Y. Yuan, A. Ortega and M. Khansari, "Rate Control for Robust Video Transmission over Burst – Error Wireless Channels," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 17, NO. 5, May 1999, pp. 756 – 772.
- [5] H. Liu and M. El Zarki, "Adaptive source rate control for real – time wireless video transmission," *Mobile Network and Application*, vol. 3, 1998, pp. 49 – 60.
- [6] P. -C Hu, Z. -L. Zhang, M. Kaveh, "Channel Condition ARQ Rate Control for Real-time Wireless Video Under Buffer Constraints," *International Conference on Image Processing, IEEE Vancouver BC*, vol. 2, October 2000, pp. 124 – 127.
- [7] Institute of Computing Technology, "Proposed Draft of Adaptive Rate Control", *Joint video Team (JVT), doc. JVT – H012*, 8th meeting Geneva, May 20 -26 2003.
- [8] T.C. Chen, et al., "A Real-Time Software Based End-To-End Wireless Visual Communications Simulation Platform," *Proceedings SPIE Visual Communications and Image Processing 95*, vol. 3, May 1995, pp. 1068-1074.
- [9] http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm90.zip
- [10] P. Navakitkanok, S. Aramvith, "Improved Rate Control for Advanced Video Coding (AVC) Standard under Low Delay Constraint," *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC '04)*, vol2, 5-7 April 2004, pp. 664 – 668.
- [11] E.N. Gilbert, "Capacity of a burst-noise channel," *Bell Syst. Tech. Journal*, 39:1253-1266, Sept. 1960.
- [12] Video Group, "Text of ISO/ICE 14496-2 MPEG-4 Video VM – version 8.0," ISO/ICE JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Picture and Associated Audio MPEG 1796, Stockholm, Sweden, July 1997.

Improved Frame and Basic Unit Layers Bit Allocation Scheme for H.264 Video Transmission over ARQ-based Wireless Channels

Nat Srisawaivilai and Supavadee Aramvith

Department of Electrical Engineering

Chulalongkorn University

Bangkok 10330, Thailand

Supavadee.A@chula.ac.th

Abstract—In this paper, we investigate the scenario of wireless H.264 video transmission where selective-repeat ARQ has been adopted as an error control technique. While using ARQ can ensure reliable transmission, consecutive retransmissions cause the degraded PSNR and a lot of frames skipped. We then propose an improved rate-control by monitoring buffer occupancy and integrating channel throughput estimate for both frame and basic unit layers. Simulation results indicate our propose scheme can improve PSNR of up to 1.8 dB with no frames skipped, compared to that of H.264.

I. INTRODUCTION

Presently, rapid development in wireless communication technology enables the transmissions of compressed multimedia data such as images, and videos. The new video coding standard named JVT H.264/MPEG-4 Part 10 designed to have high coding efficiency and network friendliness properties make it suitable for wireless video transmission [2]. Nevertheless, transmissions over wireless channels have many challenging issues, due to multipath fading characteristic. Thus, effective error control mechanism such as forward error correction (FEC) and/or automatic repeat request (ARQ) have been proven to be suitable approaches especially when applied jointly with source coding [3].

In source coding, the aspects of adapting source rate-control taken into consideration the effects of wireless channel condition have been investigated thoroughly by researchers [3-6]. In those schemes, the source coding parameters of the next frame are decided based on the encoder buffer fullness, channel bit rates, and channel *priori* information. Specifically if considering the scenario of using ARQ, previous studies [3] showed that taken into consideration of the effects of buffer fill-up due to consecutive retransmissions could effectively improve video quality both in terms of peak signal-to-noise ratio (PSNR)

and the number of frames skipped.

Previously we have investigated the reference rate-control model of JVT H.264/MPEG-4 Part 10 [1] which uses linear and quadratic rate-distortion model to calculate suitable quantization parameters to encode each video frame. The study has been done under the impact of low delay constraint over error-free channels [10]. The results indicated that using proposed rate-control scheme by monitoring buffer fullness and adjusting coding parameters accordingly at the frame and basic unit levels can improve video quality.

In this work, we investigate the scenario of wireless H.264 video transmission where selective-repeat ARQ has been adopted as an error control technique. First the effect on the video quality has been shown in Section II. Improved rate-control scheme using the knowledge of buffer fullness monitoring and channel throughput estimate is shown in Section III. Experimental results are presented in Section IV. Section V presents conclusions.

II. EFFECTS OF RETRANSMISSIONS ON H.264 RATE CONTROL AND VIDEO QUALITY

A. H.264 Rate Control

In H.264 rate control, a quantization parameter is determined by using linear and quadratic rate – distortion models. The rate control in H.264 [7] is composed Group of picture (GOP) layer, frame layer and basic unit layer. When encoded the current frame, rate control will compute the occupancy of encoder buffer by using fluid traffic model as shown in eq. (1). The initial buffer fullness is set to zero. The N_{gop} denotes the total number of GOP, $n_{i,j}$ denotes the j th frame in the i th GOP, $B_c(n_{i,j})$ denotes the occupancy of encoder buffer, $A(n_{i,j})$ denotes number of bits generated by

This research is in part supported by the Cooperation Project between Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development, Research Unit for Digital Signal Processing, Ratchadaphisek Somphot Endowment, Chulalongkorn University, and Thailand Research Fund.

the j th frame in the i th GOP, F_r denotes the target frame rate and $u(n_{i,j})$ denotes the available channel bandwidth.

$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) \quad (1)$$

If the occupancy of encoder buffer is larger than the maximum encoder buffer size, B_S , rate control will skip encoding frame and release accumulated bit in the encoder buffer to the channel. The determination of a target bit for each P frame composes of 2 steps.

Step 1 Budget allocation among pictures. The bit allocation is implemented by predefining a target buffer level, $Tbl(n_{i,j+1})$, for each P picture, as shown in eq. (2), where N_p is the number of P frames in GOP.

$$Tbl(n_{i,j+1}) = Tbl(n_{i,j}) - \frac{B_c(n_{i,2}) - B_S / 8}{N_p - 1} \quad (2)$$

Step 2 Target bit rate computation. The target bit rate, $f(n_{i,j})$, for the j th P frame in the i th GOP is scaled based on the target buffer level, current buffer level, frame rate, and channel bandwidth. It is given in eq. (3),

$$\tilde{f}(n_{i,j}) = \frac{u(n_{i,j})}{F_r} + \gamma(Tbl(n_{i,j}) - B_c(n_{i,j})) \quad (3)$$

,where γ is a constant weighting factor. Further adjustment by a weighted combination of the average number of remaining bits for each frame is given, as shown in eq. (4),

$$f(n_{i,j}) = \beta * \frac{T_r(n_{i,j})}{N_p - j} + (1 - \beta) * \tilde{f}(n_{i,j}) \quad (4)$$

,where $T_r(n_{i,j})$ is the total number of remaining bits left to encode the j th frame onwards in the i th GOP, and β is a constant weighting factor. Note that the detail information of H.264 rate control can be found in [7].

B. Simulation Results

In this work, we uses wireless Rayleigh fading channel simulator software as in [8] to simulate the effects of wireless video transmission for slow fading channel. The packet error rate (PER) and mean average busrt length (in packets) are 0.15 and 19 respectively. We use JVT H.264/MPEG-4 Part 10 reference software version JM 9.0 [9]. The videos are encoded at 32 kbps. The maximum encoder buffer size is set to $B_S = \frac{u(n_{i,j})}{F_r}$ [10]. The error

pattern that is generated from the wireless channel simulator corrupts the encoded video sequences. Each error packet has an effect on the encoder in order to retransmission at a later time corresponding to the round-trip delay. After encoding each frame, the occupancy of encoder buffer, $B_c(n_{i,j})$, is

updated by taking the retransmission bits B_{retx} into account, as shown in eq. (5)

$$B_c(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j-1}) + (A(n_{i,j-1}) - (\frac{u(n_{i,j-1})}{F_r})) + B_{retx} \quad (5)$$

Fig. 1 shows the effect of ARQ – based wireless video transmission using “Foreman” sequence. Fig. 1(a) illustrates the buffer fullness level. The accumulated number of bits in the buffer while retransmission occurs is much higher than of the error-free channel. Thus, without the proposed algorithm described in Section III, there are additional 14 frames skipped compared to the error-free channel. Fig. 1(b) shows PSNR degradation. There are several sharp drops in PSNR especially during deep fades which can be as bad as 10 dB drop. On the average, PSNR degrades 1.96 dB, when compared with error-free channel.

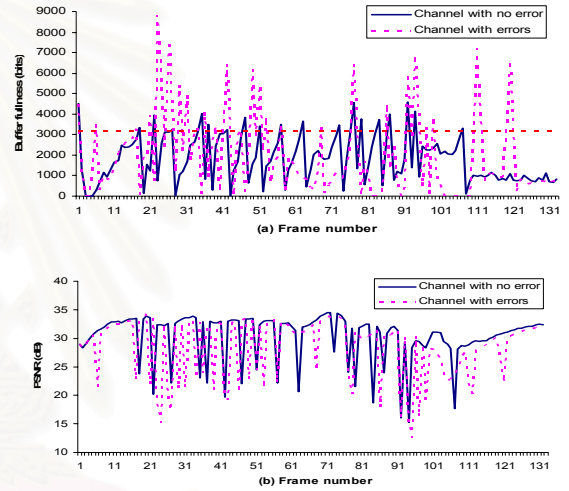


Figure 1. Simulation using the “Foreman” video sequence coded with H.264 rate control at 32 kbps and a target frame rate of 10 fps.

III. PROPOSED H.264 FRAME AND BASIC UNIT LAYER BIT ALLOCATION

To effectively alleviate the problem of degraded video quality due to the accumulated number of bits in the encoder buffer which makes the bit allocation of H.264 rate control ineffectiveness, some extra information about the channel condition is needed. In this work, we utilize two state-Markov model, the simplified Gilbert channel at the packet level [11] where state S_0 is the good state and state S_1 is the bad state. This model has been shown to provide a coarse but sufficiently estimate approximation of slow-varying fading channel [3]. This model will be used to predict the state of the channel and the estimated channel throughput can be derived (more detailed derivation is shown in [3]). Our proposed algorithm monitors buffer occupancy and calculates the estimated channel throughput in both frame and basic unit levels. The algorithm is implemented with the modification of JM 9.0 software.

A. Frame Layer Bit Allocation

In the frame level, the target number of bits of the current P frame, $f(n_{i,j})$, is adapted using channel information. The algorithm is summarized in 7 steps, as follows.

Step 1 Determine current channel state by calculating the ratio of the retransmission bits, $RBits$, to the number of transmitted bits, $AveBits$, collecting during 3 coded-frames interval, as shown in eq. (6). If this ratio is greater than a threshold, H , then the state is declared as a bad state.

$$if\left(\frac{RBits}{AveBits}\right) > H \quad State = S_1 \quad else \quad State = S_0 \quad (6)$$

Step 2 Determine the model parameters, γ , and β to use in eqs. (3-4). If the buffer occupancy, $B_c(n_{i,j})$, is higher than half of the maximum buffer size, B_S , both model parameters will be set empirically as shown in eq. (7).

$$if(B_c(n_{i,j}) > 0.5 \times B_S) \\ \gamma = 1.0, \beta = 0.1 \quad else \quad \gamma = 0.8, \beta = 0.5 \quad (7)$$

Step 3 Calculate the target bits for the current P frame $f(n_{i,j})$, as stated in eq. (4).

Step 4 Calculate the estimated average number of successful bits per frame-interval, $f_{est}(n_{i,j})$. This is done by adjusting target bit rate, $f(n_{i,j})$, with the estimated channel throughput, i.e., the average probability of correct packets transmitted in the i -packet interval, $p(i | Current_State = S_n)$ [3], where $i = f(n_{i,j}) / PSize$, $PSize$ is a packet size, set to 80 bits.

$$f_{est}(n_{i,j}) = f(n_{i,j}) \times (p(i | Current_State = S_n)) \quad (8)$$

Step 5 Adjust the new frame target bits to be $f_{est}(n_{i,j})$, which is generally less than the computed frame target, if there is high tendency that there may be a chance of frames skipped, otherwise, use the same frame target, $f(n_{i,j})$.

$$if(B_c(n_{i,j}) + f(n_{i,j}) > 1.5 \times B_S) \quad f(n_{i,j}) = f_{est}(n_{i,j}) \quad (9)$$

Step 6 Perform basic unit layer rate control, as described in Subsection B.

Step 7 Update buffer occupancy, as shown in eq. (5). If there are more frames to be encoded, go to step 1, otherwise, stop.

B. Basic Unit Layer Bit Allocation

In basic unit layer, a suitable quantization parameter for each basic unit will be computed. To be able to allocate bits properly according to the channel condition, we propose the monitoring of buffer fullness as each basic unit is encoded so that the adjusted bit allocation of target bits for the current basic unit can be done to compensate the above-mentioned effects of retransmission.

Step 1 Update the current buffer fullness after encoding the previous basic unit, $l-1$, as shown in eq. (11),

$$B_l(n_{i,j}) = B_c(n_{i,j}) + B_{retr}_{l-1} + A_{l-1}(n_{i,j}) \\ - \left(\frac{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k) - \sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)}{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \right) \times \left(\frac{u(n_{i,j})}{F_r} \right) \quad (11)$$

, where $B_l(n_{i,j})$ is current buffer fullness of basic unit l , B_{retr}_{l-1} denotes the total number of retransmission bits during the period of encoding all previous basic units, and $A_{l-1}(n_{i,j})$ is number of bit used to encode all previous basic units.

Step 2 Determine channel state of the current basic unit by observing the acknowledgement (ACK) or negative acknowledgement (NAK) received during the previous three basic units. Majority number of NAK implies the channel state as bad.

Step 3 Calculate the new frame target bit for the current basic unit, $f_{l_new}(n_{i,j})$, by taking into account the updated current buffer fullness, as shown in eq. (12),

$$f_{l_new}(n_{i,j}) = \frac{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)}{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \times \frac{u(n_{i,j})}{F_r} \\ + \gamma \times (Tbl(n_{i,j}) - B_l(n_{i,j})) \quad (12)$$

, where γ set to 0.8 if current state is a good state, otherwise set to 1.0.

Step 4 Calculate the estimated retransmission bits, $RxBits$, for $f_{l_new}(n_{i,j})$ where $i = f_{l_new}(n_{i,j}) / Psize$.

$$RxBits = \left(\frac{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)}{\sum_{k=1}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \times \frac{u(n_{i,j})}{F_r} \right) \\ \times (1 - p(i | Current_State = S_n)) \quad (13)$$

Step 5 Adjust the remaining bits $f_{rb}(n_{i,j})$ for the current frame by the estimated retransmission bits from eq. (13), as in eq. (14).

$$f_{rb}(n_{i,j}) = f_{l_new}(n_{i,j}) - RxBits \quad (14)$$

Step 6 Compute the target bit for the current l th basic unit $f_l(n_{i,j})$, as shown in eq. (10),

$$f_l(n_{i,j}) = f_{rb}(n_{i,j}) \times \frac{MAD_{cb}^2(l)}{\sum_{k=l}^{N_{unit}} MAD_{cb}^2(k)} \quad (10)$$

, where $MAD_{cb}(l)$ is a predicted mean absolute difference (MAD) of the l th basic unit in the current frame.

Step 7 Compute the quantization parameters of the current basic unit. We need encoded bits of all basic units close to the frame target; we will adapt quantization parameter according to our algorithm proposed in [10].

TABLE I. PSNR AND FRAMES SKIPPED COMPARISON

Video Sequence	Total Frames	JM 9.0 Rate Control		Proposed Rate Control		
		#Frames Skipped	PSNR (dB)	#Frames Skipped	% of Frames Skipped Reduction	PSNR (dB)
Foreman	133	32	28.41	0	100%	30.25 (+1.84)
Carphone	127	28	30.62	0	100%	31.40 (+0.78)
Silent	99	24	31.62	0	100%	32.47 (+0.85)
Akiyo	99	25	38.74	0	100%	39.78 (+1.04)

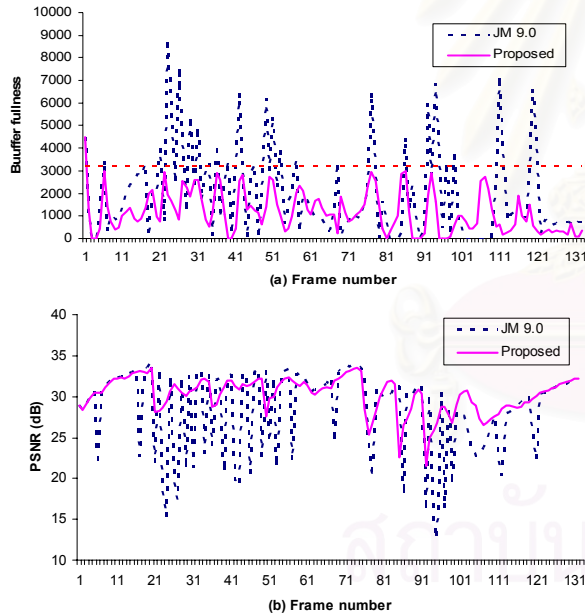


Figure 2. Simulation using the “Foreman” video sequence coded with H.264 JM 9.0 rate control (solid line) at 32 kbps and a target frame rate of 10 fps. (a) Buffer fullness (in bits) and propose H.264 rate control (dashed line). (b) PSNR comparison between JM 9.0 and our proposed scheme

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

We show a simulations of H.264 proposed rate control by using JVT software version JM 9.0 [9] at 32 kbps, with four test sequences, “Carphone,” “Foreman,” “Silent,” and “News”. Encoder parameters are defined in the extended

profile of H.264 [1]. The maximum encoder buffer size set to 3200 bits. The PSNR calculation when frame is skipped is done according to the rate control test in MPEG – 4 [12]. The comparison between JM 9.0 and our proposed scheme is shown in Fig. 2 for the Foreman sequence. With the proposed rate-control, we can achieve the average PSNR increase of up to 1.8 dB with up to 100% reduced number of frames skipped, as shown in Table I.

V. CONCLUSIONS

In this work, we proposed improved rate-control by monitoring buffer occupancy at both frame and basic unit layers and integrating channel throughput estimate as an extra information to the rate control. Simulation results indicate our propose scheme can improve PSNR and with no frames skipping.

REFERENCES

- [1] T. Wiegand, G. Sullivan and A. Luthra, “ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC”, Joint Video Team, Doc. JVT-G050, Pattaya (Thailand), March 2003.
- [2] T. Wiegand, G. –J. Sullivan, G. Bjontegaard, A. Luthra, “Overview of the H.264/AVC video Coding Standard,” *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 13, NO. 7, JULY 2003, pp. 560 – 576.
- [3] S. Aramvith, I. –M. Pao, M. –T. Sun, “A Rate – Control Scheme for Video Transport over Wireless Channels,” *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 11, NO. 5, May 2001, pp. 569 – 580.
- [4] C. –Y. Yuan, A. Ortega and M. Khansari, “Rate Control for Robust Video Transmission over Burst – Error Wireless Channels,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 17, NO. 5, May 1999, pp. 756 – 772.
- [5] H. Liu and M. El Zarki, “Adaptive source rate control for real – time wireless video transmission,” *Mobile Network and Application*, vol. 3, 1998, pp. 49 – 60.
- [6] [6] P. –C Hu, Z. –L. Zhang, M. Kaveh, “Channel Condition ARQ Rate Control for Real-time Wireless Video Under Buffer Constraints,” *International Conference on Image Processing, IEEE Vancouver BC*, vol. 2, October 2000, pp. 124 – 127.
- [7] Institute of Computing Technology, “Proposed Draft of Adaptive Rate Control”, *Joint video Team (JVT), doc. JVT – H012*, 8th meeting Geneva, May 20 –26 2003.
- [8] T.C. Chen, et al., “A Real-Time Software Based End-To-End Wireless Visual Communications Simulation Platform,” *Proceedings SPIE Visual Communications and Image Processing 95*, vol. 3, May 1995, pp. 1068-1074.
- [9] http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm90.zip
- [10] P. Navakitkanok and S. Aramvith, “Improved Rate Control for Advanced Video Coding (AVC) Standard under Low Delay Constraint,” *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC’04)*, vol2 , 5-7 April 2004, pp. 664 – 668.
- [11] E.N. Gilbert, “Capacity of a burst-noise channel,” *Bell Syst. Tech. Journal*, 39:1253-1266, Sept. 1960.
- [12] Video Group, “Text of ISO/ICE 14496-2 MPEG-4 Video VM – version 8.0,” ISO/ICE JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Picture and Associated Audio MPEG 1796,Stockhome, Sweden, July 1997.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฏฐ์ ศรีไสววิไล เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อใน
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสังกัดห้องปฏิบัติการกรรมวิธีสัตวญาณดิจิทัล ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย