

การจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบปรับตัวตามความสำคัญของแมโครบล็อกร่วมกับ  
การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าสำหรับการส่งวีดิทัศน์ H.264 ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

นายวิสูตร หาญทองคำ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2030-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ADAPTIVE SLICE GROUP MAP ARRANGEMENT ACCORDING TO THE IMPORTANCE  
OF MACROBLOCK WITH FORWARD ERROR CORRECTION CODING FOR H.264  
VIDEO TRANSMISSION OVER WIRELESS CHANNEL



Mr. Wisut Hantanong

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 2006

ISBN 974-14-2030-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบปรับตัวตามความสำคัญของแมโคร  
บล็อกร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าสำหรับการส่ง  
วีดิทัศน์ H.264 ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย


โดย    นายวิสูตร หาญทองค์

สาขาวิชา                                    วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษา                          ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์

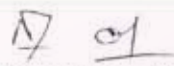
---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ตเรก ลาวันยศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

สภามหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิสูตร หาญทองคำ : การจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบปรับตัวตามความสำคัญของแมโครบล็อก  
 ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าสำหรับการส่งวิดีโอ H.264 ผ่าน  
 ช่องสัญญาณไร้สาย (ADAPTIVE SLICE GROUP MAP ARRANGEMENT  
 ACCORDING TO THE IMPORTANCE OF MACROBLOCK WITH FORWARD  
 ERROR CORRECTION CODING FOR H.264 VIDEO TRANSMISSION OVER  
 WIRELESS CHANNEL) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์,  
 162 หน้า. ISBN 974-14-2030-7.

การรับ/ส่งวิดีโอบนช่องสัญญาณไร้สายมีความผิดพลาดซึ่งเกิดจากธรรมชาติของความ  
 ไม่คงที่ในเชิงเวลาของตัวช่องสัญญาณ การสื่อสารวิดีโอที่ใช้การเข้ารหัสแบบปรับความยาวได้ที่  
 ให้อัตราการบีบอัดสูง หากเกิดความผิดพลาดเพียงบิตเดียวบนกระแสบิตสามารถกระจายความ  
 ผิดพลาดไปได้ไกลจนถึงจุดเข้าจังหวะจุดถัดไป ทำให้คุณภาพของวิดีโอที่ได้หลังจากถอดรหัส  
 ลดลง การกระจายความผิดพลาดจะไปในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบ  
 ยืดหยุ่นได้ (Flexible Macroblock Ordering, FMO) เป็นเครื่องมือด้านทานความผิดพลาดใน  
 ระดับแมโครบล็อกในมาตรฐานวิดีโอ H.264 วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้ข้อมูลจากตัว  
 เข้ารหัสแมโครบล็อกเป็นตัวสร้างรูปแบบแผนที่ตำแหน่งแมโครบล็อกสำหรับแต่ละภาพ มีการ  
 พิจารณาตัวเลือกในการใช้ FMO ในการรับ/ส่งผ่านวิดีโอบนช่องสัญญาณไร้สายภาวะเฟดดิ้งช้า  
 และเร็ว ใช้งานร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า (Forward Error Correction, FEC)  
 ผลการจำลองการส่งวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายแบบเฟดดิ้งช้าและเร็วพบว่า เทคนิคที่  
 นำเสนอ สามารถลดจำนวนแมโคร-บล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ลง ส่งผลให้การส่งวิดีโอผ่าน  
 ช่องสัญญาณไร้สายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
 ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต..... วิสูตร หาญทองคำ  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ศ.ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์

# # 4570742021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: H.264 / FORWARD ERROR CORRECTION / FLEXIBLE MACROBLOCK ORDERING

WISUT HANTANONG: ADAPTIVE SLICE GROUP MAP ARRANGEMENT ACCORDING TO THE IMPORTANCE OF MACROBLOCK WITH FORWARD ERROR CORRECTION CODING FOR H.264 VIDEO TRANSMISSION OVER WIRELESS CHANNEL. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUPAVADEE ARAMVITH, PH.D., 162 pp. ISBN 974-14-2030-7.

The major problem in wireless video transmission is the burst errors caused by time-varying channel itself. Variable Length Code (VLC)-based video codec provide good compression, however, a single bit error in coded bitstream can propagate to the next synchronization point. This results in unacceptable video quality. Errors can propagate not only in spatial direction by the nature of loss VLC synchronization; but also they can propagate in temporal direction via prediction coding loop. The "Flexible Macroblock Ordering, FMO" is the macroblock-level error resilience tool defined in H.264 video coding standard. Nevertheless the issue of how to suitably arrange the macroblock in suitable mapping is yet to be clarified and investigated. This thesis addresses this issue and proposes the use of the encoder's macroblock information as an indicator for a choice of macroblock-address-map of each picture. This proposed mapping is jointly used with "Forward Error Correction, FEC" coding. Simulation results under the scenarios of slow and fast fading channels verify the proposed technique help reduce the number of undecodable macroblocks. The work would improve the effectiveness of wireless video transmission.

Department Electrical Engineering

Student's signature.....*Wisut Hantanong*.....

Field of study Electrical Engineering

Advisor's signature.....*Supavee Aramvith*.....

Academic year 2006

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์ ที่ให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษา และแนะแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณโครงการวิจัยร่วมระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและภาคเอกชน ที่ให้ความสนับสนุนเงินทุนผู้ช่วยวิจัยและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ สำหรับงานวิจัย ทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณกลุ่มนักวิจัยด้านการประมวลผลวิดิทัศน์และบุคลากรในศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยีระบบโทรคมนาคม ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำงานและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณมารดาของข้าพเจ้า ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ให้กำลังใจและความเข้าใจแก่ข้าพเจ้าในการศึกษาระดับมหาบัณฑิต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฌ
ดัชนีคำศัพท์.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ .....	4
1.6 ลำดับของการนำเสนอเนื้อหา .....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎีการเข้ารหัสวีดิทัศน์.....	5
2.1.1 วีดิทัศน์ดิจิทัล.....	5
2.1.1.1 รูปแบบสี .....	6
2.1.1.2 มาตรฐานสำหรับการแทนวีดิทัศน์ดิจิทัล .....	7
2.1.2 คุณภาพของวีดิทัศน์ดิจิทัล .....	8
2.1.2.1 การวัดคุณภาพเชิงอัตวิสัย.....	8

บทที่	หน้า
2.1.2.2 การวัดคุณภาพเชิงประวัติ	8
2.1.3 ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์	9
2.1.3.1 การเข้ารหัสทำนาย	11
2.1.3.2 ชนิดของเฟรม	13
2.2 มาตรฐานวีดิทัศน์ H.264	15
2.2.1 พื้นฐานทั่วไป	15
2.2.2 การเข้ารหัสภายในเฟรม	16
2.2.3 การเข้ารหัสระหว่างเฟรม	18
2.2.4 การแปลงและการแปลงผกผัน	20
2.2.5 การแจงหน่วยและการกราดค่าสัมประสิทธิ์	21
2.2.6 การเข้ารหัสเอนโทรปี	22
2.2.7 การประมาณการเคลื่อนที่และการชดเชยการเคลื่อนที่	22
2.2.8 โครงสร้างข้อมูลของมาตรฐาน H.264	25
2.2.8.1 ชั้บบล็อก	25
2.2.8.2 แมโครบล็อก	26
2.2.8.3 สไลซ์ และเฟรม	26
2.2.8.4 เซตพารามิเตอร์	27
2.2.8.5 หน่วย Network Abstraction Layer	27
2.2.8.6 การเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเอง	28
2.2.8.7 กลุ่มสไลซ์	29
2.2.9 การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้	29
2.2.10 การควบคุมอัตราบิต	30
2.3 ตัวจำลองช่องสัญญาณไร้สาย	31
2.3.1 ลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สาย	33



บทที่	หน้า
2.4 เทคนิคการควบคุมความผิดพลาด.....	35
2.4.1 การขอข้อมูลซ้ำอัตโนมัติ .....	36
2.4.2 การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า .....	36
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สาย .....	37
2.5.1.1 งานที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสวีดิทัศน์ต้นทาง.....	37
2.5.2 งานวิจัยที่ใช้การควบคุมความผิดพลาดกับวีดิทัศน์มาตรฐาน H.264 .....	37
2.5.2.1 งานที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสในช่องสัญญาณสำหรับวีดิทัศน์ .....	37
2.5.2.1 งานที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสแบบลูกผสม .....	38
2.5.3 งานวิจัยที่ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ในมาตรฐาน H.264.....	38
3 เทคนิคที่น่าสนใจ .....	39
3.1 รูปแบบของแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้.....	39
3.1.1 แมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 .....	39
3.1.2 แมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 .....	40
3.1.3 ข้อกำหนดของขอบเขตการกระจายความผิดพลาด .....	41
3.2 การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้และจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้.....	43
3.2.1 จำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสแต่ละแมโครบล็อก.....	43
3.2.2 จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรม .....	44
3.2.3 การจัดแผนที่ย่อยสลายมีผลต่อจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ .....	44
3.3 ตัวเลือกของการจัดแผนที่ย่อยสลาย .....	45
3.3.1 แผนที่ย่อยสลายที่นิยมด้วยพารามิเตอร์ .....	46
3.3.2 แผนที่ย่อยสลายแบบชัดแจ้ง .....	47
3.4 การแก้ไขซอฟต์แวร์ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสอ้างอิง JM 9.2 .....	47
3.5 นำเสนอวิธีสร้างแผนที่ย่อยสลายด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัส .....	47

บทที่	หน้า
3.5.1 แนวคิดในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ .....	48
3.5.2 การสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ตามความสำคัญของแมโครบล็อกโดยใช้ข้อมูลบิตนับ .	49
3.6 การใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า .....	49
3.6.1 ผลของการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าต่อการตั้งค่าตัวเข้ารหัส .....	49
4 ผลการจำลอง.....	51
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง.....	51
4.1.1 พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณไร้สายจำลอง .....	51
4.1.2 พารามิเตอร์ของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์ H.264 .....	52
4.1.2.1 ตัวเข้ารหัส .....	52
4.1.2.2 ตัวถอดรหัส.....	53
4.1.3 พารามิเตอร์ของการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า .....	53
4.2 ค่าวัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่ใช้.....	54
4.2.1 ค่าคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR.....	54
4.2.2 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้.....	54
4.3 ผลการจำลอง.....	55
4.4 กรณีไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ.....	55
4.4.1 ผลต่อค่า PSNR จากการควบคุมอัตราบิต.....	55
4.4.2 ผลต่อค่า PSNR จากการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้.....	59
4.4.2.1 แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบคงที่.....	59
4.4.2.2 แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบเปลี่ยนแปลงได้.....	70
4.5 กรณีมีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ.....	75
4.5.1 ไม่มีการควบคุมความผิดพลาด.....	75
4.5.1.1 กรณีเฟดดิ้งช้า.....	75
4.5.1.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว .....	78

บทที่	หน้า
4.5.2 ใช้การจัดเรียงแม่โครบลิคแบบยืดหยุ่นได้.....	80
4.5.2.1 กรณีเฟดดิ้งช้า.....	81
4.5.2.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว.....	100
4.5.3 ใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า.....	119
4.5.3.1 กรณีเฟดดิ้งช้า.....	119
4.5.3.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว.....	125
4.5.4 ใช้การจัดเรียงแม่โครบลิคแบบยืดหยุ่นได้ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า.....	131
4.5.4.1 กรณีเฟดดิ้งช้า.....	131
4.5.4.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว.....	137
4.6 วิเคราะห์ผลการจำลอง.....	143
4.6.1 วิเคราะห์ผลการจำลองตามหัวข้อของการปรับค่าพารามิเตอร์.....	143
4.6.1.1 ผลการจำลองหัวข้อ 4.4.1.....	143
4.6.1.2 ผลการจำลองหัวข้อ 4.4.2.....	143
4.6.1.3 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.1.....	143
4.6.1.4 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.2.....	145
4.6.1.5 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.3.....	145
4.6.1.6 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.4.....	145
4.6.2 วิเคราะห์ภาพรวมของผลการจำลอง.....	146
5 สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ.....	147
5.1 สรุปผลการจำลอง.....	147
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	148
รายการอ้างอิง.....	149
บทที่	หน้า

ภาคผนวก.....	152
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....	153
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	162



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 รูปแบบมาตรฐานของขนาดภาพที่นิยมใช้สำหรับภาพวีดิทัศน์ .....	8
ตารางที่ 3.1 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 เมื่อไม่มีการใช้การควบคุมความ ผิดพลาด .....	40
ตารางที่ 3.2 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 เมื่อไม่มีการใช้การควบคุมความ ผิดพลาด .....	41
ตารางที่ 3.3 จำนวนรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ทั้งหมดของเฟรมที่เป็นไปได้ .....	45
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์ .....	46
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ของสัญญาณจำลอง .....	51
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ความผิดพลาดของช่องสัญญาณที่วัดได้ .....	52
ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดสำหรับโพรไฟล์ baseline ระดับ 3.0 .....	53
ตารางที่ 4.4 อัตราบิตที่ต้องใช้สำหรับคำรหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า .....	54
ตารางที่ 4.5 กลุ่มของผลการจำลองจัดตามชนิดของพารามิเตอร์ .....	55
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.1 .....	56
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.2.1 .....	61
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.2.2 .....	71
ตารางที่ 4.9 ค่าตัววัดประสิทธิภาพของการจำลองข้อ 4.5.1.1 .....	75
ตารางที่ 4.10 ค่าตัววัดประสิทธิภาพของการจำลองข้อ 4.5.1.2 .....	78
ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.2.1 .....	81
ตารางที่ 4.12 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.2.1 .....	93
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.2.2 .....	100
ตารางที่ 4.14 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.2.2 .....	112
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.3.1 .....	120

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.16 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.3.1.....	123
ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.3.2 .....	125
ตารางที่ 4.18 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.3.2.....	129
ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.4.1 .....	131
ตารางที่ 4.20 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.4.1.....	135
ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.4.2 .....	137
ตารางที่ 4.22 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.4.2.....	141
ตารางที่ 5.1 สีแทนประเภทการเกิดความผิดพลาดของแมโครบล็อกในเฟรม .....	144



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 การชักตัวอย่างค่า $Y$ $C_B$ และ $C_R$ ที่ได้รับความนิยม.....	7
รูปที่ 2.2 แผนภาพการทำงานของระบบเข้ารหัสผลต่าง DPCM .....	11
รูปที่ 2.3 แผนภาพบล็อกการเข้ารหัสวีดิทัศน์ .....	12
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเข้ารหัสเฟรม .....	14
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟรมในการทำนายการเคลื่อนที่ .....	15
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 จุดภาพ .....	17
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 จุดภาพ.....	17
รูปที่ 2.8 รูปแบบการเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 จุดภาพ...19	
รูปที่ 2.9 รูปแบบการเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16X16 จุดภาพ .....	20
รูปที่ 2.10 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์การแปลง .....	21
รูปที่ 2.11 วิธีการกราดค่าสัมประสิทธิ์แบบซิกแซกและแบบคู่.....	22
รูปที่ 2.12 การแบ่งบล็อกขนาด 16X16 จุดภาพ.....	23
รูปที่ 2.13 การแบ่งบล็อกขนาด 8X8 จุดภาพ.....	23
รูปที่ 2.14 การแบ่งบล็อกภายในภาพ.....	24
รูปที่ 2.15 การประมาณการเคลื่อนที่ในบริเวณค้นหา .....	24
รูปที่ 2.16 การประมาณหาค่าจุดภาพระหว่างจุดภาพ .....	25
รูปที่ 2.17 แมโครบล็อกประกอบจากซึบบล็อก .....	26
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างเฟรมที่ประกอบจาก 3 สไลซ์.....	27
รูปที่ 2.19 หน่วย NALประกอบจากส่วนย่อยของเฟรม .....	28
รูปที่ 2.20 แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบที่นิยามด้วยพารามิเตอร์ .....	30
รูปที่ 2.21 แผนภาพบล็อกของระบบการจำลองการสื่อสารวีดิทัศน์ .....	31

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.22 แผนภาพบล็อกของการควบคุมอัตราในตัวเข้ารหัส .....	32
รูปที่ 2.23 แผนภาพการจำลองช่องสัญญาณ .....	33
รูปที่ 2.24 ระยะเฉลี่ยของการเฟดดิ้งและอัตราการจัดระดับ .....	35
รูปที่ 3.1 จำนวนบิตที่ไม่เท่ากันของแต่ละแมโครบล็อกในเฟรมแรกของแต่ละลำดับภาพทดสอบ..	43
รูปที่ 4.1 กราฟ PSNR เฉลี่ยของการจำลอง 4.4.1 .....	57
รูปที่ 4.2 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.1 .....	58
รูปที่ 4.3 แผนที่ยกกลุ่มสไลซ์แบบคงที่ในการจำลอง 4.4.2.1 .....	60
รูปที่ 4.4 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.1 .....	62
รูปที่ 4.5 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.1 .....	66
รูปที่ 4.6 แผนที่ยกกลุ่มสไลซ์ที่สร้างจากวิธีที่นำเสนอของลำดับภาพ Akiyo.....	71
รูปที่ 4.7 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.2 .....	72
รูปที่ 4.8 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.2 .....	73
รูปที่ 4.9 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.1 .....	76
รูปที่ 4.10 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.1 .....	77
รูปที่ 4.11 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.2 .....	78
รูปที่ 4.12 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.2 .....	79
รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1 .....	82
รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1 .....	88
รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1 .....	95
รูปที่ 4.16 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.2 .....	102
รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2 .....	107
รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2 .....	114
รูปที่ 4.19 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.3.1 .....	121
รูปที่ 4.20 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.1 .....	122



ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.21 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.1.....	124
รูปที่ 4.22 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.3.2 .....	126
รูปที่ 4.23 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.2.....	127
รูปที่ 4.24 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.2.....	130
รูปที่ 4.25 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.4.1.....	132
รูปที่ 4.26 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.1 .....	134
รูปที่ 4.27 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.1.....	136
รูปที่ 4.28 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.4.2 .....	138
รูปที่ 4.29 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.2.....	139
รูปที่ 4.30 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.2.....	142
รูปที่ 5.1 กระจายความผิดพลาดของเฟรมที่ 25 ลำดับภาพ Akiyo จากการจำลอง 4.5.1 .....	144

## ดัชนีคำศัพท์

Abstraction	การกำหนดสาระสำคัญ
Analog	แอนะล็อก
Arbitrary	กำหนดเอง
Automatic Repeat reQuest, ARQ	ขอข้อมูลซ้ำอัตโนมัติ
Advance Video Coding, AVC	การลงรหัสวีดิทัศน์ขั้นสูง
Bitstream	กระแสบิต
Broadcast	แพร่สัญญาณ
Bandwidth	แบนด์วิดท์
Carries	พาหะ
Chrominance	สัญญาณสี
Codec	ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัส
Coding	การลงรหัส
Component	ส่วนประกอบ
Decoder	ตัวถอดรหัส
Decoding	การถอดรหัส
Default	ค่าโดยปริยาย
Delay	ประวิง
Diagram	แผนภาพ
Discrete	วิยุต
Distortion	ความเพี้ยน
Diversity	ไดเวอร์ซิตี
Doppler Frequency	ความถี่ดอปเปลอร์
Encoder	ตัวเข้ารหัส
Encoding	การเข้ารหัส
Entropy	เอนโทรปี
Envelope	กรอบ
Explicit	ชัดแจ้ง
Feature	ลักษณะ
Forward Error Correction, FEC	(การเข้ารหัส) แก้ความผิดพลาดไปหน้า

Flag	ตัวบ่งชี้
Flexible Macroblock Ordering, FMO	การจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้
Format	รูปแบบ
Frame	เฟรม
Grid	กริด
Hybrid	ลูกผสม
Image sensor	ตัวรับรูปภาพ
Interleaving	อินเตอร์ลีดวิง
Interpolation	การประมาณค่าในช่วง
Layer	ชั้น
Lossless compression	การบีบอัดคงรายละเอียด
Lossy compression	การบีบอัดคงข้อมูลหลัก
Luminance	ความส่องสว่าง
Macroblock	แมโครบล็อก
Mode	รูปแบบ
Multimedia	สื่อประสม
Neighbor	ใกล้เคียง
Network	โครงข่าย
Payload	ส่วนบรรจุข้อมูล
Picture element, pixel	จุดภาพ
Profile	โพรไฟล์
Quantization	การแจกหน่วย
Rate control	การควบคุมอัตรา (บิต)
Rate distortion	อัตราบิตต่ออัตราการเพี้ยน
Residue	ส่วนตกค้าง
Round-trip	วนรอบ
Sample	ค่าตัวอย่าง
Sampling	การชักตัวอย่าง
Scan	กราด
Scene	ฉาก
Set	เซต

Software	ซอฟต์แวร์
Spatial	เชิงพื้นที่
Spread	แผ่
Streaming	การสตรีม
Temporal	เชิงเวลา
Throughput	ปริมาณงาน
Transform	แปลง
Vector	เวกเตอร์
Video conferencing	การประชุมสัมมนาทางวิดีโอ
Video phone	โทรศัพท์วิดีโอ
Visual	สายตา, การมองเห็น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

เนื้อหาในบทนี้คือภาพรวมของวิทยานิพนธ์ได้แก่ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตและข้อตกลงของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินการ และโครงสร้างเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมีพัฒนาการไปอย่างรวดเร็ว มีการนำระบบสื่อสารไร้สายไปใช้รับ/ส่งข้อมูลสื่อประสมเช่น ภาพนิ่ง เสียง และวีดิทัศน์ ทั้งยังมีการใช้การบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์ร่วมกับงานทางด้านสื่อสารไร้สายเช่น โทรศัพท์วีดิทัศน์ การประชุมสัมมนาทางวีดิทัศน์ การกระจายวีดิทัศน์ตามคำขอ และระบบวีดิทัศน์ตรวจการณ์ การใช้ช่องสัญญาณไร้สายสำหรับรับ/ส่งวีดิทัศน์ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องใช้การบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์เข้ามาช่วย เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณไร้สายที่มีจำกัด ตัวอย่างมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณวีดิทัศน์ที่มีผู้นำมาประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารไร้สายได้แก่ MPEG – 2 [1], MPEG – 4 [2], H.263 [3] และ H.264 [4] รายละเอียดของพื้นฐานระบบตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์ดิจิทัลอยู่ในข้อ 2.1 และสำหรับมาตรฐาน H.264 มีรายละเอียดอยู่ในข้อ 2.2

มาตรฐาน H.264 เป็นมาตรฐานที่ออกแบบให้มีประสิทธิภาพของการเข้ารหัสสูง และเหมาะสมกับการส่งผ่านโครงข่าย ทั้งยังเหมาะสำหรับการนำไปใช้ร่วมกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย มีการกล่าวถึงภาพรวมในการนำมาตราฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานของระบบสื่อสารไร้สายและวิเคราะห์สมรรถนะของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 เพื่อนำไปใช้กับระบบสื่อสารไร้สายที่มีบริการวีดิทัศน์แบบสนทนาอยู่ใน [5]

ระบบสื่อสารวีดิทัศน์ที่มีประสิทธิภาพนั้น นอกจากต้องการการเข้ารหัสที่ประสิทธิภาพดี สามารถจัดสรรจำนวนบิตสำหรับการเข้ารหัสได้เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดซึ่งเป็นหน้าที่ของระบบควบคุมอัตราบิต ทั้งยังต้องเป็นระบบที่เหมาะสมกับการใช้งานช่องสัญญาณ เพราะแม้ว่าเข้ารหัสได้อัตราบิตต่ำเพียงใด แต่ถ้าขาดความเหมาะสมกับช่องสัญญาณที่ใช้ก็อาจทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นของการปรับค่าการเข้ารหัสด้วยข้อมูลร่วมที่ได้จากจากตัววีดิทัศน์เอง และข้อมูลของช่องสัญญาณเข้ามาร่วมด้วย รวมถึงการใช้เทคนิคการควบคุมความผิดพลาดที่เหมาะสมกับแต่ละช่องสัญญาณ

ปัญหาหลักของการรับ/ส่งวิดีโอที่คนดิจิทัลบนช่องสัญญาณไร้สายคือ ความไม่คงที่ของแบนด์วิดท์, การสูญหายของกลุ่มข้อมูล และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกลุ่มข้อมูล [6] เนื่องจากลักษณะของช่องสัญญาณไร้สายมีการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สาย มีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.1 ข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สายอาจสูญหายหรือผิดพลาด ความผิดพลาดดังกล่าวนี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวิดีโอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการลดทอนวิดีโอที่คนดิจิทัลที่สามารถปรับตัวได้ตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ มีการจัดสรรบิตสำหรับวิดีโอที่คนดิจิทัลที่เหมาะสม และสามารถแก้ไขหรือลดผลของการสูญหายและ/หรือความผิดพลาดของกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้น ระบบสื่อสารไร้สายสำหรับวิดีโอที่คนดิจิทัลจำเป็นต้องมีส่วนที่เป็นควบคุมความผิดพลาดเป็นส่วนหนึ่งของระบบ วิธีควบคุมความผิดพลาดแบ่งเป็น 2 วิธีหลักคือการแก้ความผิดพลาดแบบไปหน้า (Forward Error Correction, FEC) [7] และการขอซ้ำข้อมูลอัตโนมัติ (Automatic Repeat Request, ARQ) [8] ความจำเป็นเหล่านี้ทำให้การสื่อสารวิดีโอที่คนดิจิทัลในช่องสัญญาณไร้สายเป็นงานที่ต้องการทั้งประสิทธิภาพของการเข้ารหัส และการออกแบบที่เหมาะสมกับโครงข่ายสื่อสาร ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายหลักของมาตรฐานการเข้ารหัสวิดีโอที่คนดิจิทัล H.264 หรืออีกชื่อหนึ่งเรียกว่าการลดทอนวิดีโอที่คนดิจิทัลขั้นสูง (Advanced Video Coding, AVC) ที่ถูกออกแบบมาเพื่องานสื่อสารวิดีโอที่คนดิจิทัลที่มีการโต้ตอบกัน ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์วิดีโอที่คนดิจิทัล และการสื่อสารวิดีโอที่คนดิจิทัลที่ไม่มีการโต้ตอบกันเช่น การเก็บลงในสื่อบันทึกข้อมูล, การกระจายและสตรีมวิดีโอที่คนดิจิทัลผ่านโครงข่าย มีการพัฒนาสมรรถภาพในการบีบอัดของมาตรฐาน H.264 เพิ่มขึ้นมากกว่ามาตรฐานก่อนหน้า [9] และออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานบนโครงข่าย ด้วยการแบ่งระดับชั้นของการใช้งานโครงข่ายและระดับชั้นการเข้ารหัสวิดีโอที่คนดิจิทัลออกจากกัน ทำให้เหมาะกับการปรับไปใช้งานบนโครงข่ายไร้สาย ทั้งที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต และสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของแต่ละระดับโดยไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดกับระดับชั้นอื่น นอกจากนี้แล้วมาตรฐานวิดีโอที่คนดิจิทัล H.264 ยังมีการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ ที่นิยามขึ้นมาใหม่สำหรับเป็นเครื่องมือด้านทานความผิดพลาด สามารถเข้ารหัสเฟรมโดยจำนวนกลุ่มสไลซ์มากกว่ากลุ่มสไลซ์เดียวต่อเฟรม การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้นี้เองเป็นความสามารถที่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์เกิดความคิดที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารวิดีโอที่คนดิจิทัลบนช่องสัญญาณไร้สาย เนื่องจากยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่มีการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้กับการสื่อสารวิดีโอที่คนดิจิทัล H.264 บนช่องสัญญาณไร้สายในช่วงเวลาที่ผู้เขียนเริ่มทำวิทยานิพนธ์ จึงเป็นโอกาสที่ดีที่ผู้เขียนจะได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้บนช่องสัญญาณไร้สาย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

สร้างเทคนิคสำหรับการควบคุมความผิดพลาดในการส่งวีดิทัศน์ H.264 บนช่องสัญญาณไร้สาย ด้วยการใช้อัลกอริทึมการวางแผนที่กลุ่มสไลซ์ของแต่ละเฟรมจากข้อมูลที่ได้จากตัวเข้ารหัสร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

สร้างเทคนิคสำหรับการควบคุมความผิดพลาดในการส่งวีดิทัศน์ H.264 บนช่องสัญญาณไร้สายจำลอง ด้วยวิธีการต่อไปนี้

ก. นำเสนอการปรับค่ารูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัสที่แตกต่างกันของแต่ละเฟรมด้วยการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้ [10]

ข. ใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้ากับกระแสนิตที่ได้จากการเข้ารหัสก่อนส่งออกช่องสัญญาณไร้สาย

ค. ใช้การปรับค่าในตัวควบคุมอัตราบิตของตัวเข้ารหัสเพื่อชดเชยจำนวนบิตที่ต้องใช้ในการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

วิทยานิพนธ์นี้ใช้การจำลองการสื่อสารบนช่องสัญญาณด้วยซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สายแทนการรับ/ส่งจริงบนช่องสัญญาณไร้สาย เนื่องจากมีความสะดวกและความสามารถในการปรับค่าและควบคุมพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณได้มากกว่า และยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและปรับเปลี่ยนสภาพช่องสัญญาณได้ ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบและได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้จำลองช่องสัญญาณไร้สายได้ และสามารถจำลองลักษณะเฉพาะของการเกิดความผิดพลาดในช่องสัญญาณได้ มีการใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณนี้ใน [11], [12] และ [13] รายละเอียดของแบบจำลองช่องสัญญาณอยู่ในบทที่ 2 ข้อ 2.3

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิทยานิพนธ์นี้ได้แก่

ก. ความรู้พื้นฐานในการลงรหัสวีดิทัศน์และการส่งสัญญาณวีดิทัศน์

ข. ระเบียบวิธีทางซอฟต์แวร์ในการควบคุมความผิดพลาดสำหรับมาตรฐานวีดิทัศน์ H.264 ใ้กับช่องสัญญาณไร้สายโดยเฉพาะ

ค. คุณภาพของวีดิทัศน์ในการส่งบนช่องสัญญาณไร้สายเพิ่มขึ้น

ง. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการส่งวิถีทัศนเวลาจริงหรือการประชุมสัมมนาทางวีดิทัศน์

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

การดำเนินการในวิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนดังนี้

- ก. ศึกษาการทำงานของตัวเข้ารหัส/ถอดรหัส และมาตรฐาน H.264
- ข. ศึกษาส่วนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความผิดพลาดในมาตรฐานการเข้ารหัส H.264
- ค. ทำการทดลองทดสอบสมมุติฐานเบื้องต้นโดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์
- ง. ออกแบบและทดสอบเทคนิคสำหรับการปรับค่าด้วยข้อมูลตัวเข้ารหัส
- จ. นำเสนอเทคนิคการควบคุมความผิดพลาดด้วยการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า
- ฉ. ทำการทดลองกับเทคนิคที่นำเสนอ
- ช. สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.6 ลำดับของการนำเสนอเนื้อหา

ลำดับของการนำเสนอเนื้อหาวิทยานิพนธ์ในบทต่อไปจากบทนี้เป็นดังนี้

- ก. *บทที่ 2* ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาเป็นเรื่องความรู้พื้นฐานเรื่องการเข้ารหัสวีดิทัศน์ มาตรฐานตัวลงรหัสวีดิทัศน์ แบบจำลองช่องสัญญาณไร้สาย การควบคุมความผิดพลาด และการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้
- ข. *บทที่ 3* เทคนิคการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ เนื้อหาอธิบายวิธีการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัส โดยใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้ที่มีอยู่ในมาตรฐาน H.264 ที่นำเสนอ
- ค. *บทที่ 4* ผลการจำลอง เนื้อหาเป็นผลการจำลองที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวเข้ารหัส และผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่นำเสนอ รวมถึงการใช้งานร่วมกับการควบคุมความผิดพลาด
- ง. *บทที่ 5* สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ เนื้อหากล่าวถึงข้อสรุปที่ได้จากการจำลองการสื่อสารวีดิทัศน์ไร้สาย ข้อดีและข้อเสียของวิธีการสร้างการจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้ ที่นำเสนอ



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้คือทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ได้แก่ แนวคิดและทฤษฎีการเข้ารหัสวีดิทัศน์ดิจิทัล พื้นฐานของวีดิทัศน์ดิจิทัล หลักการทำงานของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์ ลักษณะการจัดเรียงแม่โครบล็อกยืดหยุ่นได้ ตามมาตรฐาน H.264 และช่องสัญญาณสื่อสารไร้สาย

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎีการเข้ารหัสวีดิทัศน์

เนื้อหาส่วนนี้เป็นการอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสวีดิทัศน์ดิจิทัล ได้แก่ การจัดเก็บวีดิทัศน์ในแบบดิจิทัล ระบบการเข้ารหัสวีดิทัศน์ดิจิทัล การวัดคุณภาพวีดิทัศน์ดิจิทัล

##### 2.1.1 วีดิทัศน์ดิจิทัล

วีดิทัศน์ดิจิทัลได้เข้ามาแทนที่วีดิทัศน์แอนะล็อกเนื่องจากมีข้อได้เปรียบที่เหนือกว่าเมื่อทำให้วีดิทัศน์อยู่ในรูปดิจิทัลเหมือนกับข้อมูลดิจิทัลชนิดอื่นแล้ว สามารถจัดเก็บ, ประมวลผล และถ่ายทอดสู่ช่องสัญญาณด้วยเทคนิคและระบบดิจิทัลเดียวกันร่วมกับข้อมูลดิจิทัลอื่นได้ ในเรื่องการประมวลผล การจัดเก็บ และการสื่อสาร ทำให้มีการใช้งานวีดิทัศน์ดิจิทัลเพิ่มขึ้นและแพร่หลายในงานหลายงานเช่น การประชุมทางวีดิทัศน์, โทรศัพท์วีดิทัศน์, วีดิทัศน์สำหรับเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัย, การแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล, ฐานข้อมูลวีดิทัศน์ดิจิทัล, งานด้านการแพทย์ เป็นต้น

จากธรรมชาติที่มองเห็นนั้น มีความต่อเนื่องทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา การนำเสนอจากนั้นในรูปแบบวีดิทัศน์จึงเป็นการชักตัวอย่างจากฉากจริงด้วยตัวรับภาพ (ปกติชักตัวอย่างจากกริดรูปสี่เหลี่ยม) ในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ได้เป็นลำดับของภาพนิ่งจำนวนหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง วีดิทัศน์ดิจิทัลอาจได้มาจากการบันทึกของกล้องดิจิทัล หรือได้มาจากสแกนรูปจากภาพแอนะล็อก วีดิทัศน์ดิจิทัลเป็นการนำเสนอวีดิทัศน์ที่ชักตัวอย่างมาจากฉากธรรมชาติในรูปแบบดิจิทัล แต่ละภาพประกอบไปด้วยค่าตัวอย่างที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแจกหน่วย ค่าตัวอย่างแต่ละค่าเรียกว่า จุดภาคของภาพหรือจุดภาพ ได้แก่จุดภาพที่แต่ละจุดภาพเป็นตัวแทนเขตของค่าตัวเลขที่อธิบายความส่องสว่างหรือสี ค่าตัวอย่างแต่ละค่าประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนประกอบ ได้แก่ส่วนประกอบความส่องสว่าง และส่วนประกอบสัญญาณสี

ข้อมูลวีดิทัศน์ประกอบด้วยลำดับของภาพเรียกว่าเฟรม ซึ่งมักได้จากกล้องจับภาพในอัตราเฟรมประมาณ 25 หรือ 30 เฟรมต่อวินาที หากแทนวีดิทัศน์ที่ได้มานี้ในรูปดิจิทัล แต่ละเฟรมจะถูกชักตัวอย่างด้วยความละเอียดค่าจำกัดบางค่า และแต่ละจุดภาพจะถูกแทนด้วยจำนวนบิตจำกัด ตัวอย่างเช่นวีดิทัศน์ ITU-R BT.601 [4] ใช้ความละเอียด 720x576 จุดภาพ แต่ละจุดภาพถูกแทนด้วยจำนวนบิต 24 บิต เมื่อคิดที่อัตราเฟรม 25 เฟรมต่อวินาที วีดิทัศน์นี้จะใช้แบนด์วิดท์สูงถึง 249 ล้านบิตต่อวินาที ซึ่งเป็นอัตราข้อมูลที่สูงมาก จำเป็นต้องมีการบีบอัดดิจิทัลวีดิทัศน์เพื่อการจัดเก็บ, การประมวลผล และการสื่อสาร ที่มีประสิทธิภาพการบีบอัดที่สูง ซึ่งเทคนิคการเข้ารหัสวีดิทัศน์ที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันสามารถบีบอัดข้อมูลได้อยู่ในช่วงประมาณ 20 ถึง 50 เท่า [9]

### 2.1.1.1 รูปแบบสี


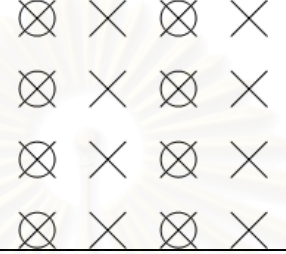
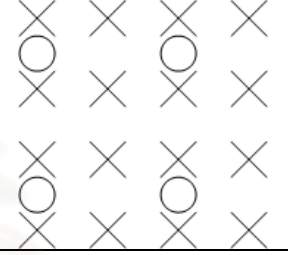
มาตรฐานวีดิทัศน์มีขนาดรูปแบบหรือปริภูมิสีที่ใช้กันหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น ปริภูมิสี RGB [14] ปริภูมิสีนี้แทนแต่ละจุดภาพด้วยจำนวน 3 จำนวน ที่แสดงอัตราส่วนสัมพัทธ์ระหว่างสีแดง, เขียว และน้ำเงิน ซึ่งสีเหล่านี้เป็นแม่สีของแสงที่สามารถผสมกันที่อัตราส่วนต่างกันได้ เพื่อสร้างเป็นสีอื่นได้ อย่างไรก็ตามพบว่าปริภูมิ RGB นี้ไม่เหมาะสมในการนำเสนอวีดิทัศน์ เนื่องจากระบบการมองเห็นของมนุษย์มีความไวต่อความส่องสว่างมากกว่าสี แต่ปริภูมิ RGB ให้ความสำคัญต่อความส่องสว่างของทั้ง 3 ส่วนประกอบสีเท่ากัน มาตรฐานวีดิทัศน์มีการนิยามรูปแบบสีหลายแบบที่ให้ความสำคัญเรื่องความส่องสว่างเช่น YIQ, YUV,  $Y_C B_C R_C$  และ SMPTE 420M การเข้ารหัสวีดิทัศน์ส่วนใหญ่ใช้รูปแบบสี  $Y_C B_C R_C$  ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐาน ITU-R BT.601

ในปริภูมิ  $Y_C B_C R_C$  ส่วนประกอบ Y เรียกว่าส่วนประกอบความส่องสว่าง เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่าง R, G และ B ส่วนประกอบอีกทางสีอีก 2 ส่วนประกอบได้แก่  $C_B$  และ  $C_R$  เป็นผลต่างระหว่าง Y กับ R และ B ดังสมการ (2.1)

$$\begin{aligned} C_R &= R - Y \\ C_B &= B - Y \end{aligned} \quad (2.1)$$

ในปริภูมิ  $Y_C B_C R_C$  นี้ ส่วนประกอบ  $C_B$  และ  $C_R$  สามารถนำเสนอที่ความละเอียดต่ำกว่าส่วนประกอบ Y ได้ โดยมีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพที่น้อย เนื่องจากความไวต่อความส่องสว่างและสีที่ไม่เท่ากันของระบบการมองเห็นของมนุษย์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว วิธีการลดความ

ละเอียดการซัดค่าตัวอย่างนี้จึงเป็นการลดข้อมูลที่ต้องใช้ได้และมีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพน้อย รูปที่ 2.1 แสดงการซัดค่าตัวอย่าง  $C_B$  และ  $C_R$  ที่ได้รับความนิยม 3 แบบด้วยกัน เมื่อสัญลักษณ์  $O$  คือตำแหน่งซัดตัวอย่าง  $Y$  และสัญลักษณ์  $X$  คือตำแหน่งซัดตัวอย่าง  $C_B/C_R$  ขนาดรูปแบบ 4:4:4 เป็นแบบที่ส่วนประกอบทั้ง 3 มีความละเอียดการซัดตัวอย่างเท่ากัน แต่ขนาดรูปแบบ 4:2:2 และ 4:2:0 มีความละเอียดการซัดตัวอย่างไม่เท่ากัน

		
4:4:4	4:2:2	4:2:0

รูปที่ 2.1 การซัดตัวอย่างค่า  $Y$   $C_B$  และ  $C_R$  ที่ได้รับความนิยม

#### 2.1.1.2 มาตรฐานสำหรับการแทนวีดิทัศน์ดิจิทัล

การเข้ารหัสวีดิทัศน์สามารถบีบอัดวีดิทัศน์ได้หลายขนาดรูปแบบ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว จะแปลงสัญญาณวีดิทัศน์ให้เป็นจำนวนเท่าของมาตรฐานของขนาดภาพก่อนทำการบีบอัด และ/หรือแพร่สัญญาณสู่ช่องสัญญาณเพื่อความสะดวกในการประมวลผล รูปแบบมาตรฐานของขนาดภาพนี้เรียกว่า Common Intermediate Format (CIF) [9] รูปแบบที่นิยมใช้ในแสดงดังตารางที่ 2.1 การเลือกขนาดรูปแบบความละเอียดของเฟรมขึ้นกับงานที่ใช้ เนื้อที่ว่างสำหรับจัดเก็บ หรือแบนด์วิธของช่องสัญญาณ ตัวอย่างเช่น ขนาดรูปแบบ 4CIF ใช้สำหรับโทรทัศน์และวีดิทัศน์ DVD ส่วนขนาดรูปแบบ QCIF และ CIF ใช้สำหรับการประชุมทางวีดิทัศน์ หรือใช้ขนาดรูปแบบ QCIF และ SQCIF ใช้สำหรับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ซึ่งมีพื้นที่แสดงผลน้อย และมีแบนด์วิธของสัญญาณแคบ

ตารางที่ 2.1 รูปแบบมาตรฐานของขนาดภาพที่นิยมใช้สำหรับภาพวิดีโอ

รูปแบบ	ความละเอียดจุดภาพ
Sub-QCIF	128 x 96
QCIF	176 x 144
CIF	352 x 288
4CIF	704 x 576

### 2.1.2 คุณภาพของวิดีโอที่ส่งดิจิทัล

จุดประสงค์หลักของการออกแบบระบบวิดีโอที่ส่งดิจิทัลคือ ผู้รับชมรู้สึกพอใจกับคุณภาพของวิดีโอที่ได้รับจากการสร้างขึ้น การกำหนดการวัดคุณภาพวิดีโอที่จำเป็นสำหรับใช้ประเมินและเปรียบเทียบระบบเข้ารหัส หรือระบบสื่อสารวิดีโอแต่ละระบบ การวัดคุณภาพวิดีโอที่แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ การวัดคุณภาพด้วยตาเป็นการวัดแบบอัตวิสัยที่ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างทำให้ยากต่อการได้ค่าคุณภาพที่แม่นยำ และวิธีวัดเชิงปริวิสัยเป็นวิธีที่ให้ผลการวัดที่แม่นยำ แต่อาจมีความต่างกันระหว่างผลการวัดที่ได้กับความรู้สึกเชิงอัตวิสัยของผู้รับชมวิดีโอต่างกัน

#### 2.1.2.1 การวัดคุณภาพเชิงอัตวิสัย

การรับรู้ภาพของมนุษย์นั้น เกิดขึ้นได้จากการทำงานร่วมกันอย่างซับซ้อนของส่วนประกอบภายในระบบการมองเห็นเช่น ดวงตาและสมอง ทำให้เกิดความชัดเจนของส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในภาพ และความต่อเนื่องของการเคลื่อนไหวของภาพเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพมองเห็นของวิดีโอ อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพมองเห็นของผู้รับชมได้ เช่นสภาพสิ่งแวดล้อม ภาวะทางอารมณ์ และระดับความสนใจที่ผู้สังเกตมองดูเหตุการณ์นั้นในขณะนั้น วิธีทดสอบการมองเห็นสำหรับวัดค่าคุณภาพวิดีโอเชิงอัตวิสัยมีอธิบายใน ITU Recommendation BT.500-11 [15]

#### 2.1.2.2 การวัดคุณภาพเชิงปริวิสัย

การวัดเชิงปริวิสัยเป็นการวัดคุณภาพวิดีโอที่ถูกใช้งานมากกว่า เนื่องจากวิธีวัดเชิงอัตวิสัยมีปัญหาและความยุ่งยากในการเปรียบเทียบค่าคุณภาพ วิธีการที่ใช้สำหรับวัดคุณภาพ

วิธีทัศน์ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การวัดเชิงปริวิสัยที่วัดค่าความแตกต่างเรียกว่า “Peak Signal to Noise Ratio, PSNR” ซึ่งเป็นวิธีการวัดคุณภาพวิธีทัศน์เชิงปริวิสัยที่ใช้กันแพร่หลาย

ถ้ากำหนดให้  $X(j, k)$   $X$  และ  $\tilde{X}(j, k)$  แทนเฟรมต้นฉบับและเฟรมที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากการถอดรหัสที่ตำแหน่งจุดภาพ  $(j, k)$  ตามลำดับ PSNR นิยามโดยสมการ (2.2) เมื่อค่า  $(2^n - 1)^2$   $(2^n - 1)^2$  คือกำลังสองของค่าสัญญาณสูงสุดที่เป็นไปได้ในภาพ และ  $n$  คือจำนวนบิตต่อภาพ

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ  $MSE$   $MSE$  แทนความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย ซึ่งนิยามโดยสมการที่ (2.3)

$$MSE = \frac{1}{J \times K} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (X(j, k) - \tilde{X}(j, k))^2 \quad (2.3)$$

เมื่อ  $J$  และ  $K$  คือความกว้างและความสูงของเฟรม

การวัดค่า PSNR เป็นเพียงวิธีการวัดทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เพื่อความสะดวกในการวัดค่าคุณภาพวิธีทัศน์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงซึ่งมักเป็นไปในทางที่ด้อยลง เช่น ความชัดเจนลดลงของจุดภาพวิธีทัศน์ การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดเนื่องจากวิธีทัศน์ผ่านการเข้ารหัสและถอดรหัส การวัดด้วย PSNR มีข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งคือ ต้องใช้ภาพต้นแบบสำหรับเปรียบเทียบ ซึ่งในบางกรณีอาจไม่มีภาพต้นแบบให้ใช้ และอาจไม่สามารถยืนยันได้ว่าภาพที่คิดว่าเป็นต้นแบบนั้นมีความละเอียดสูงที่สุด ปัญหาที่สำคัญของการวัดด้วย PSNR คือค่าที่วัดได้ไม่จำเป็นต้องแปรผันตามคุณภาพเชิงอัตวิสัย

### 2.1.3 ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวิธีทัศน์

ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวิธีทัศน์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนได้แก่ ตัวเข้ารหัสทำหน้าที่บีบอัดสัญญาณวิธีทัศน์ และตัวถอดรหัสทำหน้าที่สร้างคืนสำเนาที่เป็นค่าประมาณของสัญญาณต้นแบบ การออกแบบส่วนประกอบหลักทั้ง 2 ส่วนใช้ความรู้ในเรื่องลักษณะเฉพาะของวิธีทัศน์ที่ว่า วิธีทัศน์โดยทั่วไป มีความซ้ำซ้อนทั้งในทางสถิติและทางอัตวิสัยอยู่จำนวนมากในลำดับภาพ การเข้ารหัสวิธีทัศน์ทางด้านแหล่งกำเนิดจึงใช้การประมวลผลเพื่อกำจัดข้อมูลความซ้ำซ้อนเหล่านั้น ให้ได้ผลเป็นข้อมูลดิจิทัลอีกรูปแบบหนึ่งที่ต้องการเนื้อที่สำหรับจัดเก็บ

หรือใช้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณสำหรับการรับ/ส่งที่ลดลง วิธีทัศน์ที่ผ่านการเข้ารหัสสามารถสร้างคืนได้ด้วยการย้อนกลับกระบวนการเข้ารหัสที่เรียกว่าการถอดรหัส การเข้ารหัสวิธีทัศน์แบ่งตามวิธีทัศน์ที่สร้างคืนหลังจากถอดรหัสได้เป็น 2 แบบได้แก่ การเข้ารหัสคงรายละเอียด และการเข้ารหัสคงข้อมูลหลัก ซึ่งต่างกันดังนี้ การเข้ารหัสคงรายละเอียดวิธีทัศน์สร้างคืนเหมือนกันทุกประการกับวิธีทัศน์ต้นแบบทุกประการที่ทุกอัตราการบีบอัด ส่วนการเข้ารหัสคงข้อมูลหลักจะได้วิธีทัศน์สร้างคืนที่มีความแตกต่างกับต้นแบบขึ้นกับอัตราการบีบอัด แต่เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสำหรับการเข้ารหัสวิธีทัศน์เนื่องจากให้อัตราการบีบอัดที่สูงกว่าการเข้ารหัสคงรายละเอียด

พื้นฐานของการบีบอัดข้อมูลวิธีทัศน์คือ การลดความซ้ำซ้อน ซึ่งมีทั้งความซ้ำซ้อนทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา นั่นคือในเฟรมส่วนมากมีบริเวณที่มีโครงสร้างไม่เป็นแบบสุ่ม มีความต่อเนื่องหรือมีสหสัมพันธ์กัน และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างเฟรมที่ต่อเนื่องกันส่วนมากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีค่าน้อย ในทางคณิตศาสตร์อาจกล่าวได้ว่า จุดภาพที่อยู่ใกล้กันทั้งทางพื้นที่หรือทางเวลามักมีค่าสหสัมพันธ์สูง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถขยายเพิ่มการเข้ารหัสจากแนวคิดของการทำนายความแตกต่างซึ่งเดิมมีใช้กับการเข้ารหัสภาพนิ่ง เป็นการทำนายความแตกต่างที่ใช้ความรู้เรื่องความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ภายในเฟรมภาพ ที่มีประสิทธิภาพสำหรับลำดับภาพเคลื่อนไหว เพื่อให้เป็นการบีบอัดมีประสิทธิภาพสำหรับวิธีทัศน์ ตัวอย่างของความซ้ำซ้อนที่เห็นได้ชัดเจนในวิธีทัศน์ เช่น เฟรมถัดไปที่ติดกันในลำดับวิธีทัศน์หนึ่งปกติมีความคล้ายกันสูง นี่คือสหสัมพันธ์ในโดเมนเชิงเวลา ซึ่งปกติขึ้นกับการเคลื่อนไหวภายในภาพ นอกจากนี้แล้วปกติจะมีสหสัมพันธ์สูงระหว่างจุดภาพใกล้เคียง ซึ่งคือสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่นั่นเอง

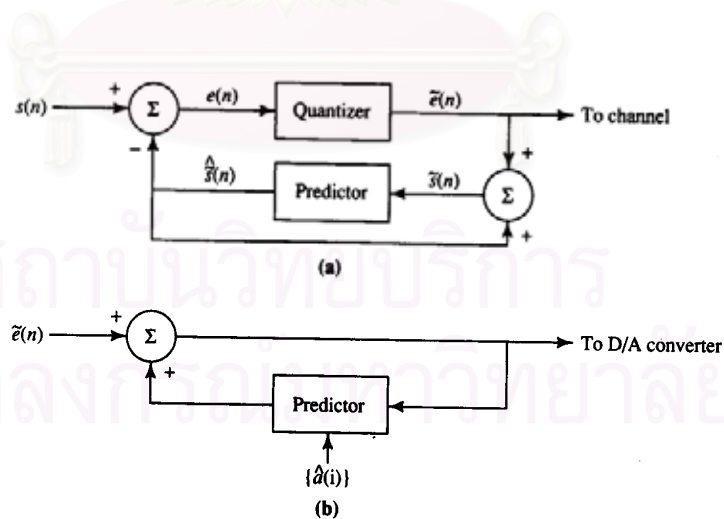
ฟังก์ชันหลักของตัวเข้ารหัสวิธีทัศน์ทั้ง 3 ได้แก่ การเข้ารหัสเชิงเวลา การเข้ารหัสเชิงพื้นที่ และการเข้ารหัสเอนโทรปี มีหน้าที่ต่างกันอธิบายได้ดังนี้ หน้าที่หลักของตัวเข้ารหัสเชิงเวลาคือเวลาพยามลดความซ้ำซ้อนเชิงเวลาด้วยการใช้ประโยชน์จากสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมสืบเนื่องกัน ขาเข้าของตัวเข้ารหัสเชิงเวลาคือลำดับวิธีทัศน์ที่ไม่มีกรบีบอัด ปกติตัวเข้ารหัสเชิงเวลาสร้างเฟรมทำนายของวิธีทัศน์เฟรมปัจจุบันบนพื้นฐานจากเฟรมอ้างอิง และคำนวณเฟรมส่วนตกค้างด้วยการลบเฟรมทำนายออกจากเฟรมต้นฉบับ วิธีการทำนายเรียกว่าการทำนายการเคลื่อนที่ ขาออกของตัวเข้ารหัสเชิงเวลาคือเฟรมส่วนตกค้างและเซตของพารามิเตอร์ สำหรับอธิบายว่าการเคลื่อนที่ที่ถูกขจัดเซตอย่างไร ซึ่งปกติเป็นเซตของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ส่วนหน้าที่หลักของตัวเข้ารหัสเชิงพื้นที่คือใช้ความคล้ายกันระหว่างค่าสุ่มใกล้เคียงกันเพื่อลดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ โดยใช้การแปลงกับตัวอย่างและทำการแจกแจงหน่วยผลที่ได้ การแปลงทำเพื่อเปลี่ยนตัวอย่างไปสู่โดเมนใหม่ ในโดเมนใหม่นี้พลังงานของตัวอย่างถูกอัดแน่นลงบนสัมประสิทธิ์บางตัวสัมประสิทธิ์การแปลงทุกตัวถูกแจกแจงหน่วยเพื่อลดค่านัยสำคัญต่ำที่ค่าใกล้ศูนย์ออกไป และมีเพียง

ค่าที่มีนัยสำคัญซึ่งมีพลังงานเกือบทั้งหมดของสัญญาณคงเหลืออยู่ จากนั้นจึงผ่านการเข้ารหัสเอนโทรปีเพื่อลดความซ้ำซ้อนที่อาจยังมีอยู่ในโดเมนใหม่

### 2.1.3.1 การเข้ารหัสทำนาย

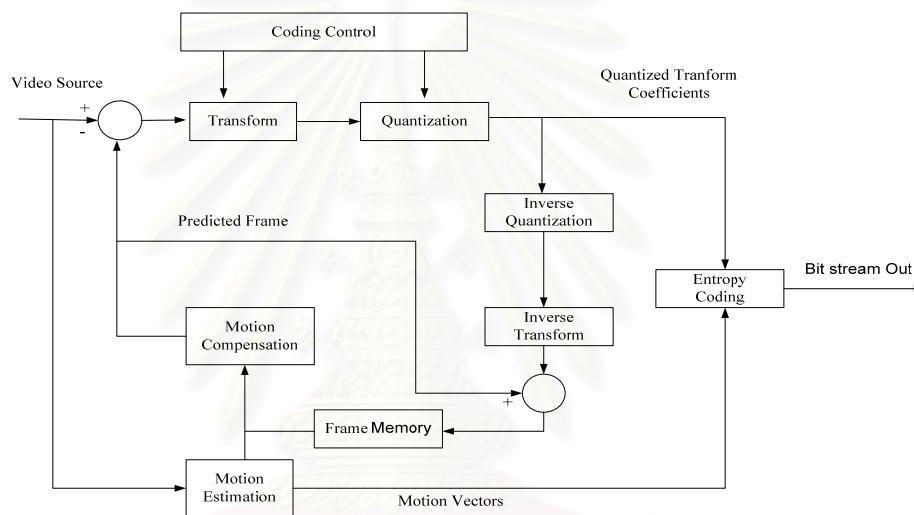
เทคนิคการบีบอัดภาพอย่างง่ายเทคนิคหนึ่งคือ "Differential Pulse Code Modulation, DPCM" ในระบบ DPCM ค่าทำนายของค่า จุดภาพ แต่ละค่าในภาพถูกสร้างขึ้นจากค่าจุดภาพข้างเคียง ค่าทำนายผิดพลาดระหว่างค่าทำนายและค่าจริง ถูกแจกหน่วยและถูกส่งไปแทนการส่งค่าจุดภาพ ระบบนี้ใช้ประโยชน์จากสหสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพข้างเคียงซึ่งทำให้เกิดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ และเนื่องจากสหสัมพันธ์นี้เอง ค่าทำนายผิดพลาดจะเป็นค่าน้อย ทำให้ข้อมูลที่ถูส่งออกไปน้อยกว่าการที่ภาพทั้งภาพถูกส่งออกไปโดยไม่มีการใช้การเข้ารหัสทำนาย ตัวถอดรหัสจำเป็นต้องใช้วิธีทำนายเดียวกันกับตัวเข้ารหัส ในตัวเข้ารหัสค่าทำนาย จุดภาพที่สร้างขึ้นจะมีพื้นฐานบนค่าทำนายจุดภาพก่อนหน้าที่สร้างขึ้นก่อน ค่าทำนายจุดภาพที่สร้างขึ้นถูกนำไปรวมกับความผิดพลาดของการทำนายที่ผ่านการส่งมาตามลำดับเพื่อเป็นการสร้างคืนจุดภาพที่ปลายทาง

แบบแผนที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสวีดิทัศน์ซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบันเรียกว่า การเข้ารหัสวีดิทัศน์บล็อกผสม ซึ่งใช้ทั้งการเข้ารหัสรหัสเชิงพื้นที่และเชิงเวลา แบบแผนนี้ใช้วิธีการที่เรียกว่า "การทำนายขดเขยการเคลื่อนที่" ในการลดความซ้ำซ้อนเชิงเวลา



รูปที่ 2.2 แผนภาพการทำงานของระบบเข้ารหัสผลต่าง DPCM

ทั่วไปแล้วแต่ละเฟรมถูกแบ่งเป็นบล็อกเรียกว่าแมโครบล็อก แต่ละแมโครบล็อก การทำนายขดเซยการเคลื่อนที่จะทำโดยประมาณค่าการเคลื่อนที่จากเฟรมที่ผ่านการถอดรหัส ก่อนหน้า ทำให้ข้อมูลที่ต้องใช้ในการถอดรหัสเป็นแค่เพียงเฟรมผลต่างส่วนเหลือ ซึ่งก็คือผลต่าง ระหว่างเฟรมที่ได้จากการทำนายกับเฟรมปัจจุบัน ถ้าการทำนายขดเซยการเคลื่อนที่ที่ พลังงาน ของผลต่างส่วนเหลือนี้จะน้อย (ใช้จำนวนบิตน้อยสำหรับการเข้ารหัสเอนโทรปี) เฟรมที่ใช้ในการทำนายมักถูกเรียกว่าเฟรมอ้างอิง และเพื่อให้ลดความซ้ำซ้อนได้มากขึ้นจะใช้การแปลง ระดับ บล็อกกับเฟรมส่วนต่าง จากนั้นจึงแจ้งหน่วยสัมประสิทธิ์การแปลง และสุดท้ายเข้ารหัสเอนโทรปี สัมประสิทธิ์ที่ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพบล็อกการเข้ารหัสวีดิทัศน์

ภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดนี้แสดงดังรูปที่ 2.4 และได้ข้อสังเกตต่อไปนี้

ก. เวกเตอร์การเคลื่อนที่ไม่ได้แทนการเคลื่อนที่แท้จริงเสมอไป วิธีการทำงานของการประมาณการเคลื่อนที่ใช้การค้นหาล็อกที่คล้ายกันมากที่สุดจากบล็อกทั้งหมดที่ทำการค้นหา ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องได้การเคลื่อนที่แท้จริงของบล็อก แต่จะได้บล็อกที่มีข้อมูลคล้ายกันมากที่สุด

ข. การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาที่ไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของบล็อก จะให้ผลของการทำนายไม่ดี เนื่องจากการค้นหาล็อกที่คล้ายกันทำได้ไม่ดี และยังให้ส่วนเหลือการทำนายที่มีค่ามาก ตัวอย่างเช่นการทำนายที่ผิดพลาดบริเวณปากของผู้พูดในวีดิทัศน์ทดสอบ



ค. สหสัมพันธ์ระหว่างส่วนเหลือหลังจากการชดเชยการเคลื่อนที่จะลดลงได้ด้วยการแปลงระดับบล็อก สัมประสิทธิ์ของการแปลงจะรวมกลุ่มอยู่เพียงค่าบางกลุ่ม เห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์ที่ผ่านการแจกหน่วยส่วนใหญ่มีค่าเป็น 0

### 2.1.3.2 ชนิดของเฟรม

ชนิดของเฟรมเมื่อแบ่งตามลักษณะของการเข้ารหัสแบ่งได้เป็น 3 ชนิดได้แก่ I, P และ B โดยมีรายละเอียดดังนี้


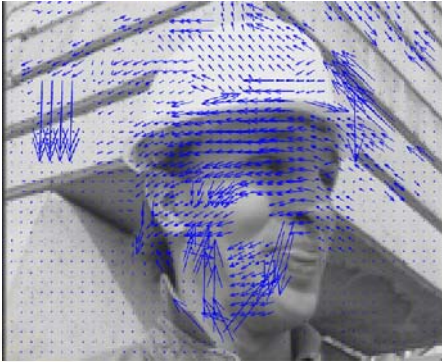




ก. I (Intra) เป็นเฟรมที่เข้ารหัสโดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลจากเฟรมอื่น ดังนั้นลำดับภาพของวีดิทัศน์เฟรมแรกจะเป็นภาพชนิด I เสมอ เป็นเฟรมที่ถูกบีบอัดด้วยข้อมูลเฉพาะในเฟรม ใช้เป็นจุดเข้าถึงของการเข้าถึงแบบสุ่ม เฟรมชนิด I มีอัตราการบีบอัดข้อมูลต่ำที่สุดในเฟรมทั้ง 3 ชนิด

ข. P (Predicted) เป็นภาพที่เข้ารหัสโดยอาศัยข้อมูลของเฟรมก่อนหน้า ต้องถอดรหัสโดยอาศัยข้อมูลของเฟรมดังกล่าว เฟรมก่อนหน้าเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเฟรมอ้างอิง ซึ่งอาจจะเป็นเฟรมชนิด I หรือ P ก็ได้ การอ้างอิงถึงข้อมูลของเฟรมอ้างอิงต้องระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่มาด้วย

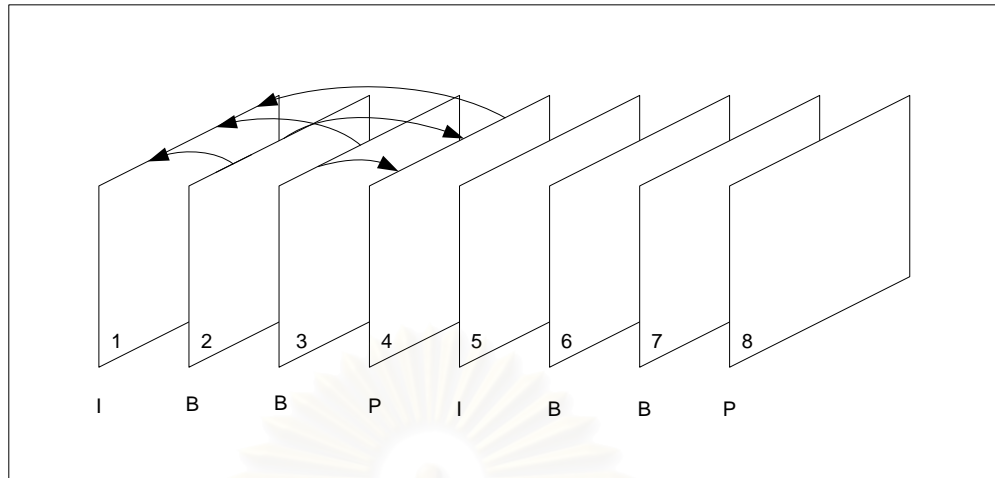
ค. B (Bidirectional interpolated) เป็นเฟรมที่เข้ารหัสและถอดรหัสโดยอาศัยข้อมูลทั้งจากเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไป รวมกับค่าการเคลื่อนที่ของเฟรมดังกล่าวทั้ง 2 เฟรม โดยละเลยค่าความเพี้ยนของภาพที่ได้จากการประมาณ ดังนั้นเฟรมชนิดนี้จะไม่ใช่เป็นเฟรมอ้างอิง เฟรมชนิด B มีอัตราการบีบอัดข้อมูลสูงสุด

ความสัมพันธ์ระหว่างเฟรมชนิด I, P และ B เป็นดังรูปที่ 2.5 เฟรมลำดับที่ 4 ซึ่งเป็นเฟรมชนิด P ได้จากการอ้างอิงเฟรมลำดับที่ 1 (เฟรมชนิด I) ส่วนเฟรมชนิด B ทั้ง 2 เฟรมในลำดับที่ 2 และ 3 ได้จากการอ้างอิงเฟรมชนิด I และ P

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	
<p>ก. เฟรม t-1 ที่ถอดรหัสแล้วซึ่งใช้เป็นเฟรมอ้างอิง</p>	<p>ข. เฟรม t และเวกเตอร์การเคลื่อนที่เทียบกับเฟรม t-1</p>
	
<p>ค. เฟรมจากการทำนายขดเคยการเคลื่อนที่เฟรม t.</p>	<p>ง. เฟรม t ที่ได้จากการถอดรหัส</p>
	
<p>จ. ผลต่างระหว่างเฟรมถอดรหัสได้กับเฟรมทำนาย</p>	<p>ฉ. ผลต่างที่สร้างจากสัมประสิทธิ์การแปลงที่ผ่านการแบ่งนับแล้ว</p>

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเข้ารหัสเฟรม



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟรมในการทำนายการเคลื่อนที่

## 2.2 มาตรฐานวิดีโอ H.264

เนื้อหาในส่วนนี้อธิบายมาตรฐานการเข้ารหัสวิดีโอ H.264 ได้แก่พื้นฐานทั่วไปของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัส การเข้ารหัสเฟรม โครงสร้างของข้อมูลในกระแสบิต ลักษณะเฉพาะที่มีในมาตรฐาน H.264 คือการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ และการควบคุมอัตราบิต

### 2.2.1 พื้นฐานทั่วไป

มาตรฐานวิดีโอที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือ มาตรฐาน H.264 (หรืออีกชื่อหนึ่งคือ MPEG-4 part 10) ซึ่งมีประสิทธิภาพการเข้ารหัสสูงกว่ามาตรฐานการบีบอัดวิดีโออื่นก่อนหน้านั้นคือวิดีโอที่มีอัตราส่วน อัตราบิตต่ออัตราภาพเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเข้ารหัสที่ดีกว่า

มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ H.264 มีหลักการพื้นฐานเหมือนกับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอทั่วไปคือ ใช้หลักการลดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่และเชิงเวลา นั่นคือเป็นการเข้ารหัสแบบลูกผสม

ในมาตรฐาน H.264 โดยทั่วไปวิดีโอแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งเป็นมาโครบล็อกขนาด 16X16 จุดภาพ ในแต่ละมาโครบล็อกอาจทำการเข้ารหัสภายในเฟรม ซึ่งเป็นการลดความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่ หรือการเข้ารหัสระหว่างเฟรม ซึ่งเป็นการลดความซ้ำซ้อนเชิงเวลา ขึ้นอยู่กับการกำหนดชนิดของเฟรมในแต่ละเฟรมที่จะทำการเข้ารหัส ถ้าเป็นเฟรมชนิด I จะทำการเข้ารหัส

ภายในเฟรมเท่านั้น แต่ถ้าเป็นเฟรมชนิด P หรือเฟรมชนิด B จะทำการเข้ารหัสระหว่างเฟรม ปกติชนิดของแมโครบล็อกในเฟรมจะเป็นชนิดเดียวกันทั้งเฟรม ยกเว้นบางกรณีที่ต้องการกำหนดให้ชนิดของแมโครบล็อกในเฟรมเดียวกันต่างกันก็สามารถทำได้

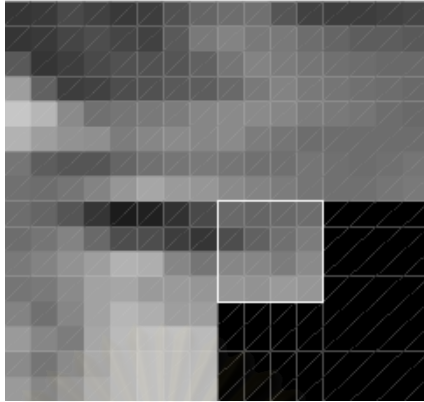
## 2.2.2 การเข้ารหัสภายในเฟรม

การเข้ารหัสภายในเฟรมเป็นการลดความซ้ำซ้อนในโดเมนปริภูมิของจุดภาพในเฟรมด้วยการบีบอัดข้อมูล ซึ่งอาจใช้การเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์แบบบางส่วน เข้ารหัสบางจุดภาพหรือเข้าด้วยค่าเฉลี่ยของจุดภาพเท่านั้น ทำให้สามารถลดข้อมูลลงได้ แต่มีผลเสียคือ ความคมชัดของภาพลดลง เพราะข้อมูลบางส่วนต้องถูกสร้างขึ้นใหม่โดยการประมาณค่าในช่วง การแจกแจงหน่วยอาจใช้การแจกแจงหน่วยแบบเวกเตอร์ ที่ข้อมูลภาพจะถูกแบ่งกลุ่มและแสดงแทนด้วยสัญลักษณ์จากชุดรหัส เพื่อทำการส่งสัญลักษณ์แทนเท่านั้น ซึ่งเป็นการลดจำนวนบิต

ขั้นตอนการเข้ารหัส เริ่มจากเฟรมแรกแต่ละมาโครบล็อกในเฟรมนั้นจะถูกแปลงจากโดเมนทางปริภูมิ ให้อยู่ในรูปแบบของโดเมนทางความถี่ โดยใช้การแปลงจำนวนเต็ม ซึ่งจะทำให้การแปลงภายในบล็อกขนาด  $4 \times 4$  จุดภาพ จากนั้นจะทำการแจกแจงหน่วยสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเพื่อบีบอัดข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้ถ้ามีการนำการควบคุมอัตรามาใช้ การควบคุมอัตราจะทำการหาค่าแจกแจงหน่วยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้อัตราบิตที่ต้องการ จากนั้นสัมประสิทธิ์ของการแจกแจงหน่วยจะให้อยู่ในรูปมิติเดียวด้วยวิธีการกวาดแบบซิกแซก และนำไปลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสเอนโทรปี

มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ H.264 การเข้ารหัสภายในเฟรมที่ใช้แบ่งออกเป็นบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด  $4 \times 4$  จุดภาพทั้งหมด 9 รูปแบบ สำหรับบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด  $16 \times 16$  จุดภาพ ทั้งหมด 4 รูปแบบ และสำหรับบล็อกส่วนประกอบสีขนาด  $4 \times 4$  มี 4 รูปแบบ การเลือกรูปแบบของการเข้ารหัสวิธีทั่วไปเลือกจากการหาค่าความแตกต่างสัมบูรณ์รวม (Sum Absolute Difference, SAD) ที่น้อยที่สุด แต่สามารถใช้วิธีอื่นได้

ตัวอย่างบล็อกส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด  $4 \times 4$  จุดภาพที่จะเข้ารหัสแสดงดังรูปที่ 2.6 ในกรอบสีขาว แต่ละจุดภาพ (a ถึง p) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 จุดภาพ

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 2.7 ตำแหน่งส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 4X4 จุดภาพ

รูปแบบการเข้ารหัสทั้ง 8 โหมดของบล็อกขนาด 4X4 จุดภาพแต่ละรูปแบบแสดงดังรูปที่ 2.8 และมีรายละเอียดดังนี้

- ก. รูปแบบ 0 คำนวณจากการประมาณในแนวตั้งจากจุดภาพ A B C และ D
- ข. รูปแบบ 1 คำนวณจากการประมาณในแนวนอนจากจุดภาพ I J K และ L
- ค. รูปแบบ 2 คำนวณจากค่าเฉลี่ยตั้งแต่ A B C D และ I J K และ L
- ง. รูปแบบ 3 คำนวณจากจุดภาพ A B C D E F และ G ตามแนวทแยง 45 องศา กับแนวตั้ง จากขวาลงมาซ้าย
- จ. รูปแบบ 4 คำนวณจากจุดภาพ A B C D I J และ K ตามแนวทแยง 45 องศา กับแนวตั้ง จากซ้ายลงมาขวา
- ฉ. รูปแบบ 5 คำนวณจากจุดภาพ A B C D และ J ตามแนวทแยง 26.6 องศา กับแนวตั้ง จากซ้ายลงมาขวา

ซี. รูปแบบ 6 คำนวณจากจุดภาพ A C I J และ K ตามแนวทแยง 63.4 องศา กับแนวตั้ง จากซ้ายลงมาขวา

ซี. รูปแบบ 7 คำนวณจากจุดภาพ A B C D และ E ตามแนวทแยง 26.6 องศา กับแนวตั้ง จากขวา ลงมาซ้าย

ฅ. รูปแบบ 8 คำนวณจากจุดภาพ I J K และ L ตามแนวทแยง 63.4 องศา กับแนวตั้ง จากซ้ายขึ้นไปขวา

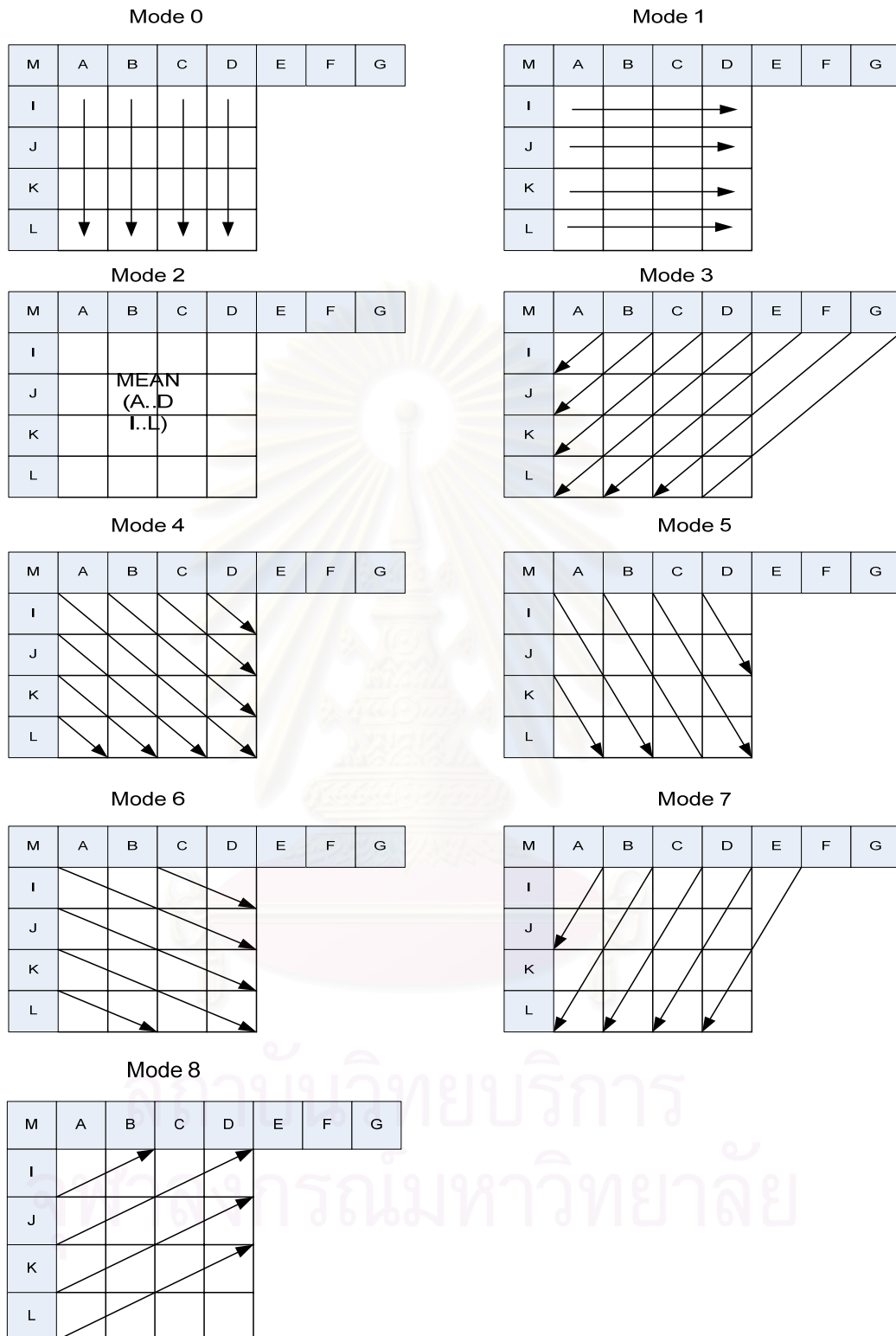
รูปแบบการเข้ารหัสทั้ง 4 โหมดของบล็อกขนาด 16X16 จุดภาพแต่ละรูปแบบแสดงดังรูปที่ 2.9 และมีรายละเอียดดังนี้

- ก. รูปแบบ 0 คำนวณจากการประมาณในแนวตั้งจากกลุ่มจุดภาพ H
- ข. รูปแบบ 1 คำนวณจากการประมาณในแนวนอนจากกลุ่มจุดภาพ V
- ค. รูปแบบ 2 คำนวณจากค่าเฉลี่ยจากกลุ่มจุดภาพ H และ V
- ง. รูปแบบ 3 คำนวณจากกลุ่มจุดภาพ H ในแนวทแยงลงจากขวามาซ้าย และจากกลุ่มจุดภาพ V ในแนวทแยงขึ้นจากซ้ายไปขวา

การเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบสัญญาณสี่ขนาด 8X8 จุดภาพมีทั้งหมด 4 รูปแบบ มีลักษณะเหมือนกับการเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16x16

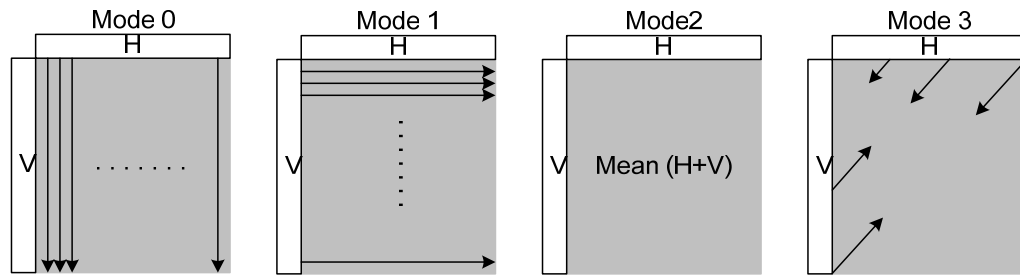
### 2.2.3 การเข้ารหัสระหว่างเฟรม

การเข้ารหัสเฟรมอื่นนอกจากเฟรมแรกทำตามขั้นตอนเช่นเดียวกันกับเฟรมแรก และเพิ่มการทำนายการเคลื่อนที่ด้วยเฟรมอ้างอิงดังนี้ สัญญาณที่ผ่านการแปลงและการแจกแจงแล้ว จะทำการแปลงค่าแจกแจงย้อนกลับและทำการแปลงจำนวนเต็มผกผัน ให้อยู่ในรูปแบบของโดเมนทางเวลาเพื่อนำไปใช้เป็นเฟรมอ้างอิง ที่จะใช้ในขั้นตอนการประมาณการเคลื่อนที่ ซึ่งจะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่เพื่อนำไปเข้ารหัสเอนโทรปี และสำหรับขั้นตอนการขดเคชการเคลื่อนที่ ซึ่งเฟรมที่ได้จากการขดเคชการเคลื่อนที่จะนำไปใช้ในการหาเฟรมส่วนเหลือ ซึ่งจะนำไปเข้ารหัสต่อไปของการเข้ารหัสระหว่างเฟรม



รูปที่ 2.8 รูปแบบการเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด

4X4 จุดภาพ



รูปที่ 2.9 รูปแบบการเข้ารหัสภายในเฟรมของส่วนประกอบความส่องสว่างขนาด 16X16 จุดภาพ

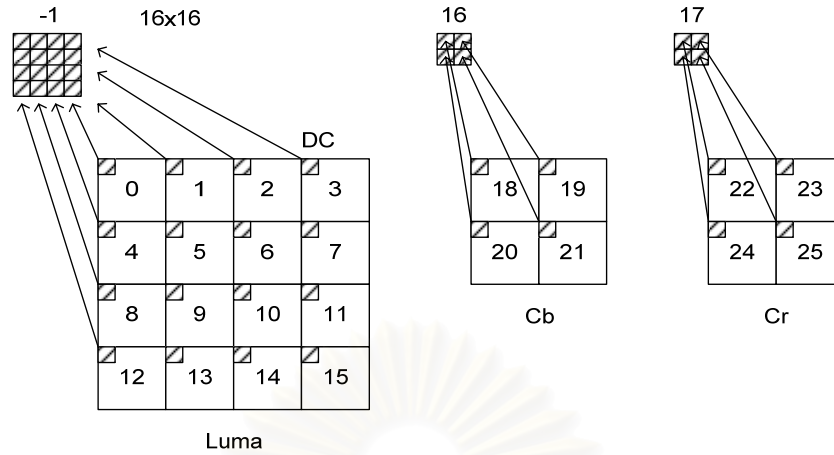
เนื่องจากสัญญาณวิดีโอที่คนที่อยู่ติดกันจะมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางปริภูมิ-เวลาซึ่งทำให้เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เพื่อต้องการลดข้อมูลที่ซ้ำซ้อนอาจใช้เทคนิคการเข้ารหัสแบบสุ่มทางเวลา การเข้ารหัสเฉพาะบางเฟรมโดยที่ตัวถอดรหัสต้องทำการสร้างเฟรมที่หายไปขึ้นแทน ส่วนการเข้ารหัสความแตกต่าง อาจเข้ารหัสเฉพาะความแตกต่างระหว่างเฟรม หรือเข้ารหัสค่าความแตกต่างระหว่างบล็อก และใช้การประมาณการเคลื่อนที่และการชดเชยการเคลื่อนที่ เพื่อลดข้อมูล การประมาณการเคลื่อนที่ที่แม่นยำช่วยให้บีบอัดได้มากขึ้น

#### 2.2.4 การแปลงและการแปลงผกผัน

มาตรฐาน H.264 ใช้การแปลงแบบจำนวนเต็มขนาดบล็อก 4x4 จุดภาพ ซึ่งมีพื้นฐานจากการแปลงโคไซน์วิญุต (Discrete Cosine Transform, DCT) ซึ่งกรณีที่ทำการแปลงผกผันของการแปลงจำนวนเต็มจะมีประสิทธิภาพดีกว่าไม่มีความผิดพลาดจากการแปลงที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม หมายเลขตำแหน่งสำหรับการเรียงลำดับของสัมประสิทธิ์การแปลงในบล็อกแสดงดังรูปที่ 2.10

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 2.10 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์การแปลง

การแปลงสำหรับกลุ่มจุดภาพรับเข้า X ขนาด 4x4 จุดภาพคำนวณได้จากสมการ

(2.4) ดังนี้

$$Y = AXA^T \tag{2.4}$$

เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} a & a & a & a \\ b & c & -c & -b \\ a & -a & -a & a \\ c & -b & b & -c \end{bmatrix}$$

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

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

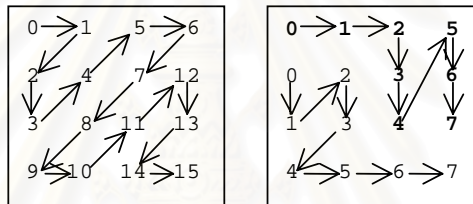
$$c = \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{3\pi}{8}\right)$$

### 2.2.5 การแจกหน่วยและการกราดค่าสัมประสิทธิ์

การแจกหน่วยเป็นขั้นตอนที่เกิดการสูญเสียความละเอียดข้อมูลบางส่วน ทำให้การเข้ารหัสเกิดเป็นการเข้ารหัสคงข้อมูลหลักแทนที่จะเป็นการเข้ารหัสคงรายละเอียด การสูญเสียความละเอียดข้อมูลขึ้นอยู่กับค่าแจกหน่วยคือ ถ้าค่าแจกหน่วยมีค่ามากการสูญเสียข้อมูลมาก ค่า

แฉงหน่วยมีค่าน้อยการสูญเสียข้อมูลน้อย การเลือกค่าแฉงหน่วยเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อจำนวนบิตที่ทำการเข้ารหัสเฟรมซึ่งเป็นกระบวนการที่อยู่ในขั้นตอนของการควบคุมอัตรามาตรฐาน H.264 กำหนดระดับขั้นบันไดของการแฉงหน่วยไว้ที่ 52 ระดับ [16]

เมื่อผ่านการกราดค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงแบบจำนวนเต็ม เรียกว่าสัมประสิทธิ์แรกด้านบนซ้ายมือซึ่งเป็นของส่วนประกอบความถี่ต่ำสุด (ปกติมีค่ามากที่สุด) ว่าค่าสัมประสิทธิ์ DC ส่วนสัมประสิทธิ์อื่นที่เหลือนอกจากสัมประสิทธิ์ DC เรียกว่าสัมประสิทธิ์ AC เมื่อผ่านการแฉงหน่วยใช้การกราดเป็นการเรียงค่าสัมประสิทธิ์ให้เป็นมิติเดียว โดยเริ่มจากค่าสัมประสิทธิ์ DC ซึ่งในมาตรฐาน H.264 นี้จะมีวิธีเรียงค่าสัมประสิทธิ์อยู่ 2 วิธีคือ วิธีแรกคือการกราดแบบซิกแซ็ก เป็นวิธีที่ใช้อยู่โดยทั่วไปทั้งในมาตรฐานก่อนหน้า และอีกวิธีคือ การกราดแบบคู่ ลักษณะการเรียงค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 2 วิธี แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วิธีกราดค่าสัมประสิทธิ์แบบซิกแซกและแบบคู่

## 2.2.6 การเข้ารหัสเอนโทรปี

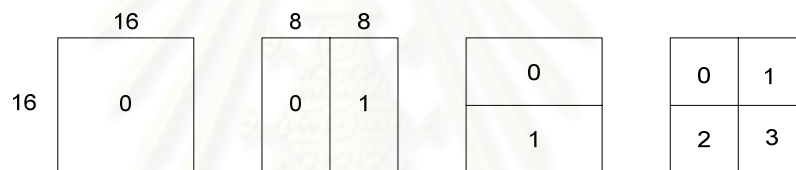
เป็นขั้นตอนการแปลงค่าจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ที่ได้จากการแฉงหน่วยให้เป็นเลขฐานสองเพื่อส่งเป็นกระแสบิตและเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งในการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดความซ้ำซ้อนที่อยู่ในกระแสบิต มาตรฐาน H.264 มีวิธีการเข้ารหัสแบบเอนโทรปี 2 วิธี คือ Context-Adaptive Variable Length Coding (CAVLC) และ Context-Based Adaptive Arithmetic Coding (CABAC) โดยวิธี CABAC สามารถลดอัตราบิตได้มากกว่า CAVLC ประมาณร้อยละ 5 ถึง 15 [27]

## 2.2.7 การประมาณการเคลื่อนที่และการชดเชยการเคลื่อนที่

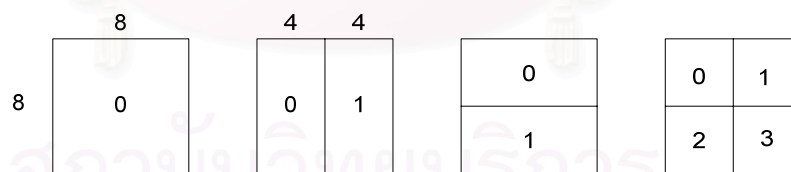
การประมาณการเคลื่อนที่คือ การประมาณหรือทำนายการเคลื่อนที่ของจุดภาพเพื่อใช้ในขั้นตอนเข้ารหัสความแตกต่างระหว่างจุดภาพระหว่างเฟรม 2 เฟรม ปกติเฟรมที่อยู่ติดกันจะมีความสัมพันธ์กันมากหรือมีความซ้ำซ้อนทางเวลาสามารถเข้ารหัสเฉพาะความแตกต่างได้

การประมาณการเคลื่อนที่ช่วยในการสร้างค่าประมาณของจุดภาพสำหรับเข้ารหัสผลต่าง ด้วยสมมุติฐานว่าค่าของจุดภาพในภาพที่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุจะเลื่อนตำแหน่งจากจุดหนึ่งในเฟรมหนึ่งไปยังจุดอื่นในเฟรมถัดไป สามารถหาตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงแล้วใช้ข้อมูลเวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงนั้นเรียกว่า เวกเตอร์การเคลื่อนที่ แทนการเคลื่อนที่นั้นได้ วิธีการย้อนกลับการประมาณการเคลื่อนที่ เป็นการสร้างข้อมูลจุดภาพด้วยเวกเตอร์การเคลื่อนที่และข้อมูลจุดภาพอื่นร่วมกับความแตกต่างจุดภาพเรียกว่า การชดเชยการเคลื่อนที่

ขนาดของบล็อกทั่วไปที่ใช้ในการชดเชยการเคลื่อนที่มีขนาด  $16 \times 16$  หรือ  $8 \times 8$  จุดภาพ มาตรฐาน H.264 สำหรับบล็อกที่มีขนาด  $16 \times 16$  สามารถแบ่งขนาดบล็อกให้มีขนาดเล็กได้ทั้งหมด 4 แบบ คือ  $16 \times 16$ ,  $16 \times 8$ ,  $8 \times 16$  และ  $8 \times 8$  แสดงดังรูปที่ 2.12 และสำหรับบล็อกที่มีขนาด  $8 \times 8$  สามารถแบ่งให้มีขนาดเล็กได้อีก 4 แบบ คือ  $8 \times 8$ ,  $8 \times 4$ ,  $4 \times 8$  และ  $4 \times 4$  แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 การแบ่งบล็อกขนาด  $16 \times 16$  จุดภาพ



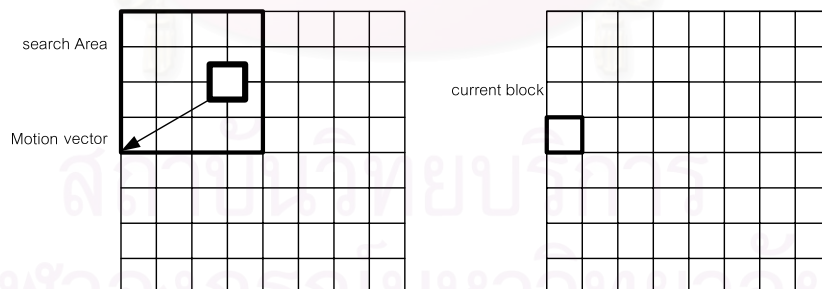
รูปที่ 2.13 การแบ่งบล็อกขนาด  $8 \times 8$  จุดภาพ

การเลือกขนาดของบล็อกมีวิธีการทั่วไปดังนี้ บล็อกขนาดใหญ่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะเหมือนกัน และบล็อกขนาดเล็กเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีรายละเอียดมาก การแบ่งบล็อกแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การแบ่งบล็อกภายในภาพ

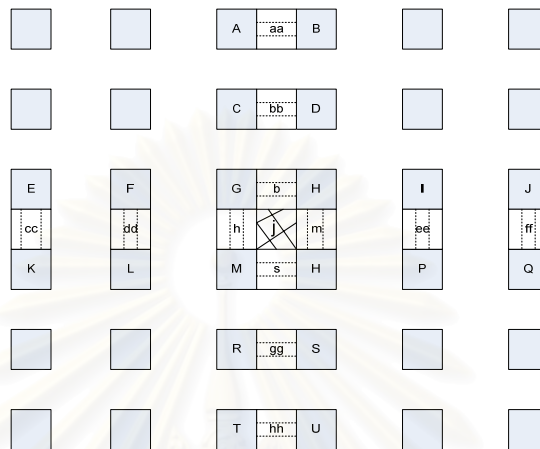
การหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ทำโดยหาบล็อกที่มีจุดภาพใกล้เคียงมากที่สุดระหว่างเฟรมปัจจุบันและเฟรมอ้างอิงซึ่งมักเป็นเฟรมก่อนหน้า การค้นหาบล็อกที่ใกล้เคียงจะกำหนดบริเวณค้นหา ซึ่งอาจเป็นทั้งเฟรมหรือเป็นเพียงบริเวณส่วนของเฟรม วิธีที่ใช้วัดความใกล้เคียงระหว่างบล็อกมีหลายวิธี เช่น Mean Absolute Difference (MAD), Sum Square Difference (SSD) และ Sum Absolute Difference (SAD) แสดงดังรูปที่ 2.15 พร้อมเวกเตอร์การเคลื่อนที่



รูปที่ 2.15 การประมาณการเคลื่อนที่ในบริเวณค้นหา

มาตรฐาน H.264 มีระดับความละเอียดของการประมาณการเคลื่อนที่ความละเอียดสูงกว่ามาตรฐานก่อนหน้าที่มีความละเอียดสูงสุดระดับครึ่งจุดภาพ มาตรฐาน H.264

ยอมให้ใช้ความละเอียดของการประมาณการเคลื่อนที่สูงถึง 1/4 และ 1/8 จุดภาพ ทำให้ประมาณการเคลื่อนที่ได้แม่นยำขึ้น การสร้างค่าจุดภาพสร้างจากการชดเชยการเคลื่อนที่เมื่อใช้การประมาณการเคลื่อนที่ในความละเอียดน้อยกว่าระดับจุดภาพแสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การประมาณหาค่าจุดภาพระหว่างจุดภาพ

การหาค่าระหว่างจุดภาพสามารถหาได้จากการประมาณในช่วง โดยใช้วงจรกรองตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response, FIR) 6 แถบ ซึ่งวงจรกรองมีค่าถ่วงน้ำหนักคือ  $(1/32 \ -5/32 \ 5/8 \ 5/8 \ -5/32 \ 1/32)$  เช่น ต้องการหาจุดภาพ  $b$  สามารถคำนวณได้จากจุดภาพ E F G H I และ J จากสมการที่ (2.5)

$$b = \text{round}\left(\frac{E - 5 + 20G + 5I}{32}\right) \quad (2.5)$$

## 2.2.8 โครงสร้างข้อมูลของมาตรฐาน H.264

มาตรฐานวีดิทัศน์ H.264 กำหนดโครงสร้างข้อมูลสำหรับวีดิทัศน์ เป็นหลายระดับสามารถอธิบายจากระดับย่อยไปถึงระดับใหญ่ ได้ดังนี้

### 2.2.8.1 ชับบล็อก

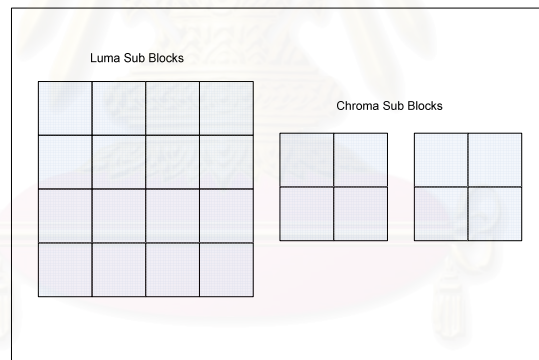
ซับบล็อก (Sub-block) คือส่วนพื้นฐานของกระแสข้อมูลวีดิทัศน์ H.264 แบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามข้อมูลวีดิทัศน์ได้แก่ ชับบล็อกความส่องสว่าง และซับบล็อกสัญญาณสี โดยซับ

บล็อกความส่องสว่างประกอบด้วยจุดภาพขนาด 4x4 จุดภาพ ส่วนบล็อกสีสัญญาณสี ประกอบด้วยจุดภาพขนาด 2x2 จุดภาพ ชั้นบล็อกเหล่านี้จะถูกนำไปผ่านการแปลง, การประมาณ การเคลื่อนที่ และการเข้ารหัสเอนโทรปี

การเข้ารหัสด้วยการทำนายค่าชั้นบล็อกทำได้หลายวิธี มีวิธีที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งคือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงตัวแรกของชั้นบล็อกใช้ค่าของสัมประสิทธิ์การแปลงตัวแรกของชั้นบล็อก ใกล้เคียง ส่วนสัมประสิทธิ์การแปลงตัวอื่นไม่นำมาใช้ในการเข้ารหัส แต่ใช้การเข้ารหัสความแตกต่างจากชั้นบล็อกตัวแทนดังกล่าว หรือใช้วิธีซับซ้อนเช่นการเข้ารหัสทำนาย การประมาณและ ขดเซยการเคลื่อนที่

### 2.2.8.2 แมโครบล็อก

แต่ละแมโครบล็อก (Macroblock) ประกอบด้วย 1 ชั้นบล็อกความส่องสว่างขนาด 4x4 จุดภาพ และ 2 ชั้นบล็อกสีขนาด 2x2 จุดภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลชนิดของการเข้ารหัสการทำนาย (I, P หรือ B) ที่ใช้กับแมโครบล็อกนั้น แมโครบล็อกที่ประกอบจากชั้นบล็อกแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แมโครบล็อกประกอบจากชั้นบล็อก

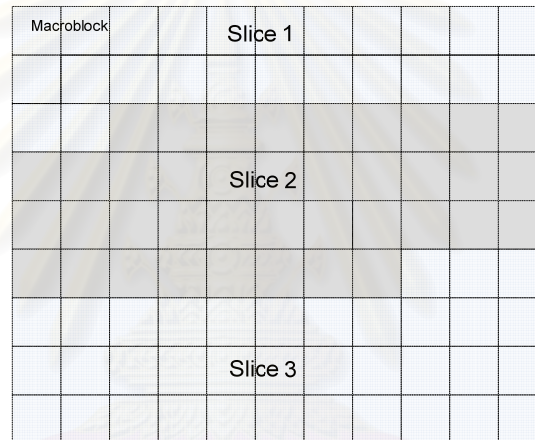
### 2.2.8.3 สไลซ์ และเฟรม

แต่ละสไลซ์ (Slice) ประกอบด้วย 1 ส่วนหัวสไลซ์ (Slice header) และ 1 ชุดของ ลำดับของแมโครบล็อกที่เรียงต่อกัน

สไลซ์มี 3 ประเภทเช่นเดียวกับแมโครบล็อกได้แก่ Intra (I), Predicted (P), และ Bi-directional predicted (B) สไลซ์ประเภท I เป็นการเข้ารหัสภายในทั้งหมด, ส่วนประเภท P และ B ใช้การเข้ารหัสการทำนายจากสไลซ์อื่น

ส่วนหัวของสไลซ์ ประกอบด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชุดพารามิเตอร์ซึ่งใช้สำหรับการถอดรหัสและบอกลำดับของการจัดเรียงแมโครบล็อกที่อยู่ในสไลซ์นั้น

เฟรม (Frame) ประกอบด้วยสไลซ์จำนวนหนึ่งที่ยรวมกันจนได้ขนาดภาพเต็มภาพ ตัวอย่างเช่น 176x144 จุดภาพ สำหรับภาพขนาดรูปแบบ QCIF ตัวอย่างเฟรม QCIF ที่ประกอบจาก 3 สไลซ์แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างเฟรมที่ประกอบจาก 3 สไลซ์

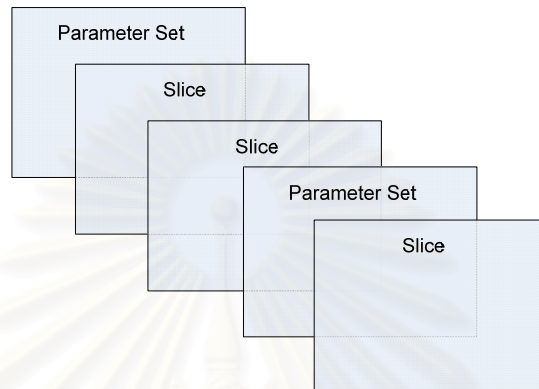
#### 2.2.8.4 เซตพารามิเตอร์

เซตพารามิเตอร์ (Parameter Set) ประกอบด้วยข้อมูลสำหรับการถอดรหัสซึ่งสามารถใช้สำหรับการถอดรหัส 1 สไลซ์หรือมากกว่า ตัวอย่างของข้อมูลที่เก็บไว้ในเซตพารามิเตอร์ เช่น ตัวบ่งชี้วิธีเข้ารหัสเอนโทรปี ซึ่งใช้บอกวิธีการที่ใช้เข้ารหัสเอนโทรปีสำหรับชั้นบล็อกว่าเป็นแบบ CABAC หรือ CAVLC

#### 2.2.8.5 หน่วย Network Abstraction Layer

NAL 1 หน่วยประกอบด้วย 1 ส่วนหัว และส่วนข้อมูลซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง 1 สไลซ์ หรือ 1 ชุดพารามิเตอร์

NAL ออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับทั้งการสื่อสารและการจัดเก็บ ตัวอย่างเช่น ไฟล์ H.264 ประกอบด้วย NAL ที่เรียงต่อกัน หากต้องการรับ/ส่งไฟล์ สามารถใช้แต่ละ NAL ในการรับ/ส่งบนโครงข่ายได้ทันที สำหรับการรับ/ส่งบนโครงข่ายที่รับ/ส่งข้อมูลเป็นกลุ่ม หรือสามารถแบ่งแต่ละ NAL เป็นส่วนบรรจุข้อมูล ไปใช้ในโครงข่ายที่รับส่งข้อมูลเป็นเฟรมก็ได้



รูปที่ 2.19 หน่วย NAL ประกอบด้วยส่วนย่อยของเฟรม

#### 2.2.8.6 การเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเอง

การเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเอง (Arbitrary Slice Order, ASO) หมายถึงการจัดเรียงการเข้ารหัสสไลซ์ในแต่ละเฟรมที่เข้ารหัส สามารถกำหนดเองได้ ซึ่งทำให้ลำดับของการเข้ารหัสอาจไม่ได้เรียงตามลำดับของการถอดรหัสเฟรมที่เข้ารหัสแล้วในตัวถอดรหัส

การเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเอง กำหนดให้ถูกใช้กับสไลซ์ ถ้าแมโครบล็อกแรกในสไลซ์ มีตำแหน่งพิกัดแมโครบล็อก น้อยกว่าของพิกัดตำแหน่งของแมโครบล็อกแรกในสไลซ์ที่ถอดรหัสแล้วในเฟรมเดียวกัน เนื่องจากลักษณะการทำนายการเคลื่อนที่จะใช้แมโครบล็อกที่มีตำแหน่งพิกัดต่ำกว่าก่อน การใช้การเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเองช่วยให้ถอดรหัสเฟรมได้พร้อมกันในขณะรับข้อมูล โดยไม่ต้องรอข้อมูลจนครบทุกสไลซ์

วิทยานิพนธ์นี้มีการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ จึงไม่มีการใช้การเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเอง การเข้ารหัสวิดีโอ H.264 ในวิทยานิพนธ์นี้ลำดับของกลุ่มสไลซ์ในกระแสบิตเป็นแบบปกติเรียงจากน้อยไปมาก



### 2.2.8.7 กลุ่มสไลซ์

แต่ละกลุ่มสไลซ์ (Slice Group) ประกอบด้วย 1 เซตย่อยของแมโครบล็อกใน 1 เฟรมที่เข้ารหัส และอาจประกอบด้วย 1 สไลซ์หรือมากกว่า สำหรับแต่ละสไลซ์ที่อยู่ใน 1 กลุ่มสไลซ์ แมโครบล็อกจะถูกเข้ารหัสในลำดับการถอดแบบแรสเตอร์จากน้อยไปมากเสมอ

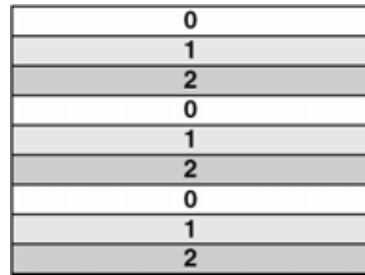
ถ้าใช้เพียงกลุ่มสไลซ์เดียวสำหรับการเข้ารหัสแต่ละเฟรม จะทำให้แมโครบล็อกทั้งหมดในเฟรมมีการจัดเรียงตามลำดับการถอดแบบแรสเตอร์ (กรณีที่ไม่มีการใช้งานการเรียงลำดับสไลซ์แบบกำหนดเอง)

### 2.2.9 การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้

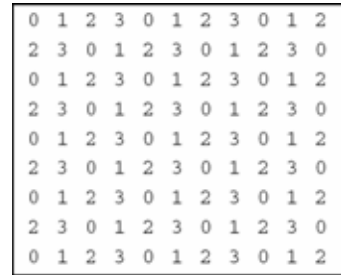
การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ (Flexible Macroblock Ordering, FMO) เป็นส่วนหลักของวิทยานิพนธ์นี้ ที่มีนิยามขึ้นใหม่เฉพาะในมาตรฐาน H.264 ต่างจากมาตรฐานวีดิทัศน์เดิมในกลุ่มเดียวกันเช่น H.263 และ MPEG-2

การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ คือการเข้ารหัสโดยใช้จำนวนกลุ่มสไลซ์มากกว่ากลุ่มเดียวต่อเฟรม ช่วยให้สามารถจัดลำดับของการเข้ารหัสแมโครบล็อกสำหรับการถอดรหัสเฟรมได้หลายรูปแบบ ตำแหน่งของแมโครบล็อกหาได้จากแผนที่กลุ่มสไลซ์ ซึ่งบอกว่าแต่ละแมโครบล็อกอยู่ในกลุ่มสไลซ์ใด แผนที่กลุ่มสไลซ์แต่ละแบบมีลักษณะการจัดกลุ่มแมโครบล็อกและชื่อเรียกตามรูปที่ 2.20 แมโครบล็อกจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในสไลซ์ตามหมายเลขที่อยู่บนแผนที่ ตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.20 (ก) ในเฟรมมีจำนวนสไลซ์ทั้งหมด 3 สไลซ์ได้แก่สไลซ์หมายเลข 0, 1 และ 2 แต่ละสไลซ์มีแมโครบล็อกจำนวน 33 แมโครบล็อก ส่วนรูปที่ 2.20 (ข) เฟรมมีจำนวนสไลซ์ทั้งหมด 4 สไลซ์

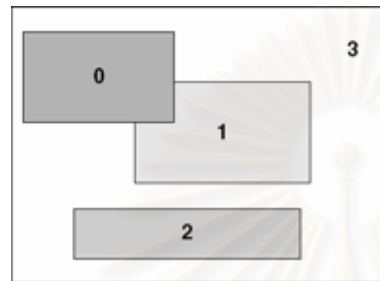
นอกจากแผนที่กลุ่มสไลซ์ทั้ง 6 แบบที่กำหนดไว้ก่อนแล้วยังมีอีกแบบเรียกว่าแบบชัดแจ้ง (Explicit) คือจัดให้แต่ละแมโครบล็อกอยู่ในกลุ่มสไลซ์ใดก็ได้ด้วยการกำหนดเองจากผู้ที่ใช้ที่ตัวเข้ารหัส การกำหนดแผนที่กลุ่มสไลซ์ได้เองทำให้สามารถปรับลำดับของข้อมูลในกระแสนิตที่ได้จากการเข้ารหัสได้ซึ่งเป็นส่วนสำคัญหลักที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ รายละเอียดของวิธีการเลือกแผนที่กลุ่มสไลซ์อยู่ในบทที่ 3



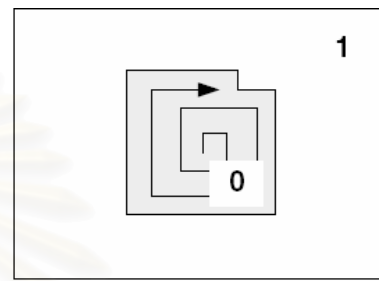
ก. Interleave



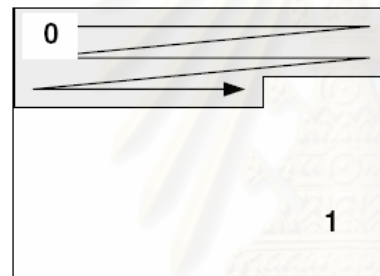
ข. Dispersed



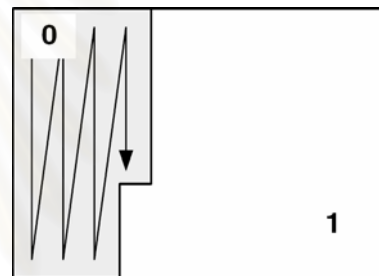
ค. Foreground and background



ง. Box-out



จ. Raster



ฉ. Wipe

รูปที่ 2.20 แผนที่ถูกกลุ่มสไลซ์แบบที่นิยามด้วยพารามิเตอร์

### 2.2.10 การควบคุมอัตราบิต

การควบคุมอัตราจำนวนบิตต่อหน่วยเวลาในตัวเข้ารหัสวีดิทัศน์ เป็นส่วนสำคัญ การรับ/ส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณ เนื่องจากแบนด์วิธของช่องสัญญาณมักมีจำกัดจึงต้องมีการ จัดสรรบิตให้ได้คุณภาพของวีดิทัศน์ที่ดีที่สุด ต้องจัดสรรบิตให้แก่ละเฟรมของวีดิทัศน์เพื่อป้องกัน บัฟเฟอร์สำหรับการเข้ารหัสเต็ม หรือไม่มีข้อมูลในบัฟเฟอร์ในขณะที่ทำการเข้ารหัส และไม่ให้อัตรา บิตเกินแบนด์วิธ

หลักการควบคุมอัตราในตัวเข้ารหัส H.264 ใช้การเลือกพารามิเตอร์การแจก หน่วย สำหรับหน่วยพื้นฐานที่อาจประกอบด้วยเฟรม, สไลซ์ หรือแมโครบล็อกจำนวนหนึ่ง โดยใช้ แบบจำลองเชิงเส้น สำหรับการทำนายค่าวัดความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยของหน่วยพื้นฐาน จำนวน

บิตเป้าหมายของเฟรมจะคำนวณได้จากการใช้แบบจำลองที่เรียกว่า “Leaky bucket model” และแบบจำลองอัตราบิด-การบิดเบี้ยวกำลังสอง (Quadratic rate-distortion, R-D, model) และใช้แบบจำลอง “Hypothetical Reference Decoder (HRD)” สำหรับหาจำนวนบิตขอบเขตล่าง-ขอบเขตบนของเฟรมเป้าหมาย

การควบคุมอัตราสำหรับ H.264 แบ่งออกได้ 3 ระดับ คือ ระดับกลุ่มของภาพ ระดับเฟรม และระดับหน่วยพื้นฐาน การควบคุมอัตราเริ่มต้นในระดับกลุ่มภาพด้วยการคำนวณจำนวนบิตสำหรับเข้ารหัสกลุ่มภาพนั้น จากนั้นในระดับเฟรมคำนวณหาจำนวนบิตเป้าหมายที่ทำการเข้ารหัสสำหรับแต่ละเฟรม ส่วนในระดับหน่วยพื้นฐานหาจำนวนบิตเป้าหมายในหน่วยพื้นฐานเมื่อได้จำนวนบิตเป้าหมายในระดับหน่วยพื้นฐานแล้วจะทำการหาค่าพารามิเตอร์การแจกแจงหน่วยโดยใช้แบบจำลองกำลังสอง ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์การแบ่งนับนี้ มีการใช้ใช้ค่า MAD ข้ามาร่วมด้วยด้วย จากนั้นทำการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์การแบ่งนับ เมื่อเข้ารหัสครบทุกหน่วยพื้นฐาน รวมจำนวนบิตทั้งหมดภายในเฟรม แล้วคำนวณหาจำนวนบิตสะสมคงเหลือสะสมในบัฟเฟอร์ แผนภาพบล็อกของการควบคุมอัตราสำหรับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอวีดิทัศน์ H.264 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22

### 2.3 ตัวจำลองช่องสัญญาณไร้สาย

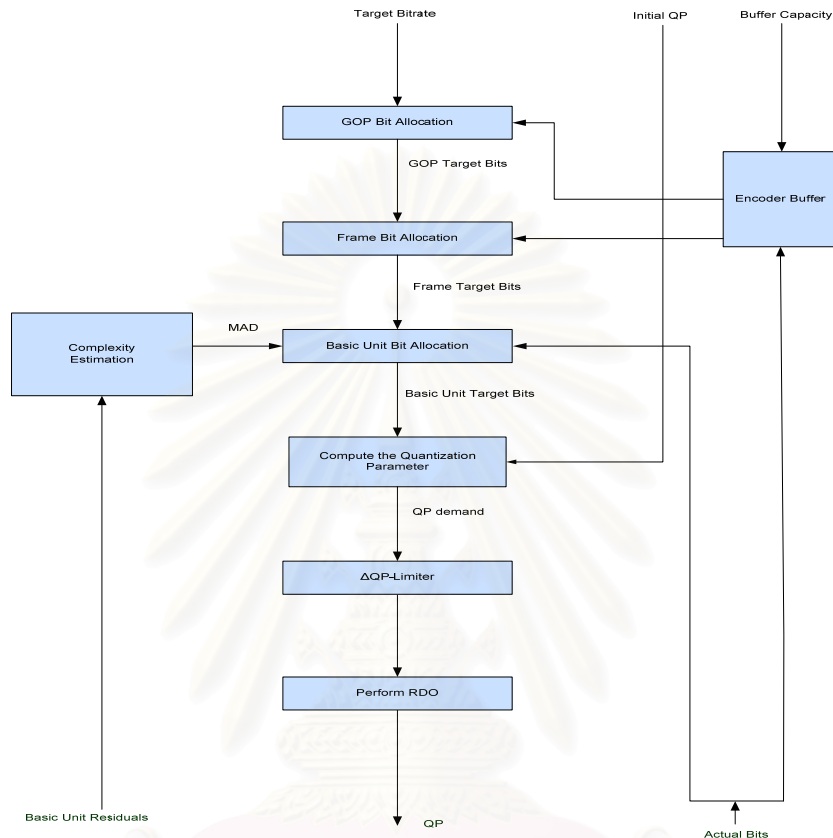
วิทยานิพนธ์นี้ทำการจำลองการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สาย ซึ่งเขียนได้เป็นแผนภาพบล็อกระบบการจำลองได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แผนภาพบล็อกของระบบการจำลองการสื่อสารวีดิทัศน์

การจำลองช่องสัญญาณไร้สายเลือกใช้ช่องสัญญาณไร้สายชนิด “Personal Access Communication Services, PACS” [17] ที่สามารถให้บริการงานของช่องสัญญาณได้ 32 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเป็นปริมาณงานเหมาะสมกับการใช้งานสื่อสารวีดิทัศน์ H.264 ที่มีเป้าหมายบนระบบอัตราบิตต่ำ ทำการจำลองด้วยค่าพารามิเตอร์ทั่วไป ระบบ PACS เป็นมาตรฐานของอเมริกาเหนือ และเป็นช่องสัญญาณไร้สายชนิดหนึ่งจากหลายชนิดที่มีใช้งานได้ใน

อัตราบิตระดับนี้ เช่น Digital European Cordless Telephone, DECT [18] และ Personal Handy phone System, PHS

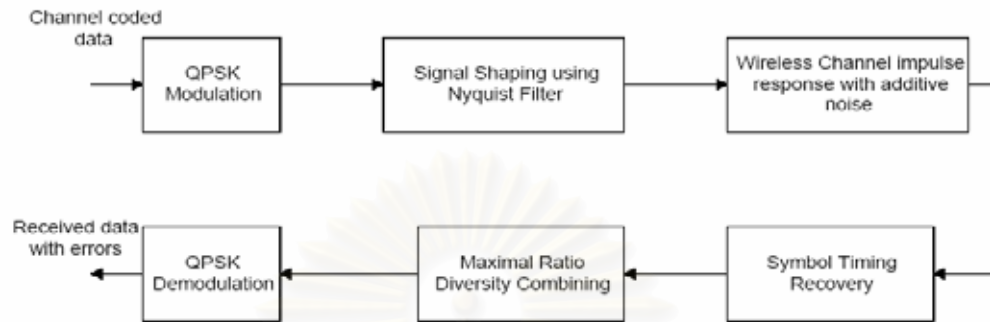


รูปที่ 2.22 แผนภาพบล็อกของการควบคุมอัตราในตัวเข้ารหัส

ความยาวของเฟรมพาหะ PACS เท่ากับ 120 บิต ประกอบด้วย 80 บิตข้อมูล สำหรับผู้ใช้ และ 40 บิตสำหรับส่วนหัวและบิต CRC ค่าประวิงเวลารอบของระบบ PACS มีค่าน้อย อยู่ในระดับ 10 มิลลิวินาที ซึ่งเหมาะสมกับงานสื่อสารวีดิทัศน์ 2 ทางที่ต้องการการประวิงเวลาต่ำ

ตัวจำลองช่องสัญญาณที่ใช้เป็นการจำลองช่องสัญญาณที่เรียกว่า “Rayleigh fading channel” มีขั้นตอนการทำงานของตัวจำลองช่องสัญญาณแสดงได้เป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.23 รายละเอียดของตัวจำลองช่องสัญญาณอยู่ใน [12] พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการจำลองช่องสัญญาณเป็นตามตารางที่ 4.1 ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1.1 รายละเอียดค่าอัตราบิตผิดพลาด

BER, อัตราการกลุ่มข้อมูลผิดพลาด PER และความยาวผิดพลาดแบบเบิร์ตเฉลี่ยของการจำลองอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1.1 เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.23 แผนภาพการจำลองช่องสัญญาณ

### 2.3.1 ลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สาย

สัญญาณที่ส่งผ่านช่องสัญญาณไร้สาย อาจเกิดการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งจะ  
ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปสูญหายหรือเกิดความผิดพลาดโดยทั่วไปลักษณะการลดทอนของสัญญาณ  
สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ก. การสูญเสียเชิงวิถี เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่าง  
ภาคส่งและภาครับสัญญาณ

ข. ซาโดว์อิงหรือเฟดดิ้งสเกลใหญ่ เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไป  
ชั่วคราวจากสิ่งแวดลอมรอบข้าง เช่น อาคาร และ เนินเขา ระดับสัญญาณที่รับได้จะเปลี่ยนแปลง  
ในช่วงระยะเท่าๆกัน ของสิ่งกีดขวาง

ค. เฟดดิ้งพหุวิถีหรือเฟดดิ้งสเกลเล็ก เกิดจากการที่สายอากาศของเครื่องรับ  
สัญญาณอยู่ใกล้กับส่วนที่เป็นพื้นผิวมาก สิ่งกีดขวางต่างๆรอบข้างจึงส่งผลให้เกิดการสะท้อนและ  
การหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลทำให้สัญญาณที่ได้รับประกอบด้วยหลายสัญญาณ  
ที่เดินทางมาจากทิศทางที่แตกต่างกันโดยมีทั้งขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน ผลกระทบเฟดดิ้งพหุวิถี  
ทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ  
สัญญาณสามารถจำลองได้ด้วยแบบจำลองของ Rayleigh

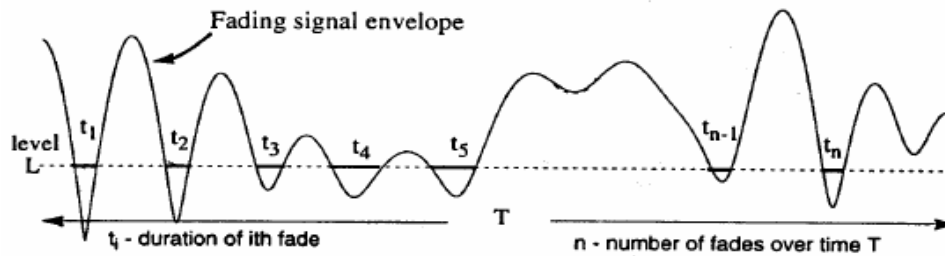
ประเภทของสัญญาณที่มีการเฟดดิ้งแบ่งได้โดยการคำนวณจากความสัมพันธ์  
ของค่าการแผ่เวลาประวิง และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเป็น 2 ประเภทคือ เฟดดิ้งแบนราบ

และเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ ค่าการแผ่เวลาประวิงคือ การประวิงเวลาระหว่างสัญญาณที่มาจากเส้นทางที่ใกล้ตัวรับสัญญาณมากที่สุดกับสัญญาณที่มาจากเส้นทางที่อยู่ไกลจากตัวรับสัญญาณมากที่สุดค่าการแผ่เวลาประวิงของช่องสัญญาณ มีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม จึงใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เรียกว่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square, RMS) เป็นตัววัด

ถ้าผลคูณของค่า RMS กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณมีค่าน้อยกว่า 1 จะเรียกช่องสัญญาณนี้ว่าเป็นช่องสัญญาณที่มีที่มิเฟดดิ้งแบบแบนราบ ซึ่งในกรณีนี้กรอปคลื่นของสัญญาณที่ได้รับจะมีแอมพลิจูดและเฟสเป็นค่าสุ่ม แต่ถ้าผลคูณของค่า RMS กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณมีค่ามากกว่า 1 จะเรียกว่าช่องสัญญาณที่มีเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ เฟดดิ้งแบบเลือกความถี่จะทำให้เกิดการแทรกแซงกันเองของสัญญาณ เนื่องจากค่าประวิงเวลาการแพร่มากพอที่จะทำให้สัญญาณที่มาจากหลายเส้นทางได้รับข้อมูลซ้ำซ้อนกันเอง เรียกอีกอย่างได้ว่า Intersymbol Interference, ISI

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 จากรูปที่ 2.24 สัญญาณจะมีการเฟดดิ้งเมื่อกรอปคลื่นของสัญญาณอยู่ต่ำกว่าระดับ L ค่า ADF หาได้จาก  $(\sum t_i)/n$  และ  $lcr$  หาได้จาก  $n/T$  สำหรับค่า  $f_D$  เมื่อมีค่าน้อยจะเรียกว่าเฟดดิ้งช้า ระยะเวลาที่เกิดเฟดดิ้งจะยาวนานกว่าความถี่ที่เกิดเฟดดิ้ง จึงทำให้การเบรสต์ของข้อมูลผิดพลาดมีระยะเวลาสำหรับเฟดดิ้งช้า สำหรับเฟดดิ้งเร็วการต่อเนื่องกันของข้อมูลผิดพลาดจะมีระยะสั้นกว่าแต่จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่า



รูปที่ 2.24 ระยะเฉลี่ยของการเฟดดิ้งและอัตราการตัดระดับ

เมื่อไม่มีไดเวอร์ซิตีของสายอากาศหรือมีสายอากาศรับสัญญาณเพียงจุดเดียว อัตราของการเกิดเฟดดิ้งส่วนใหญ่จะขึ้นกับความถี่ดอปเปลอร์ การเพิ่มจำนวนสายอากาศเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดการเฟดดิ้งของสัญญาณได้ โดยสัญญาณที่ได้รับในแต่ละสายอากาศจะไม่มี การรบกวนกันของสัญญาณ ซึ่งทำให้มีโอกาสที่จะได้รับสัญญาณที่มีผลกระทบของเฟดดิ้งลดลง

ความถี่ดอปเปลอร์นี้เป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณในวิทยานิพนธ์นี้ เช่นการจำลองช่องสัญญาณเฟดดิ้งช้าด้วยความถี่ดอปเปลอร์ 1 Hz และช่องสัญญาณเฟดดิ้งเร็วด้วยความถี่ดอปเปลอร์ 40 Hz รายละเอียดและผลการจำลองช่องสัญญาณอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1.1

## 2.4 เทคนิคการควบคุมความผิดพลาด

เนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการรับ/ส่งข้อมูล จึงต้องมีการใช้เทคนิคควบคุมความผิดพลาดเข้ามาช่วยด้วย โดยสามารถแบ่งประเภทของเทคนิคการควบคุมความผิดพลาดได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไป และการขอข้อมูลซ้ำอัตโนมัติ

การเลือกใช้เทคนิคใดขึ้นกับลักษณะของช่องสัญญาณ, ลักษณะของความผิดพลาด และประเภทของบริการที่ผู้ใช้ได้รับ วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เทคนิคการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า เนื่องจากใช้การจำลองบนสมมุติฐานสำหรับการสื่อสารวีดิทัศน์เวลาจริง ที่มีข้อกำหนดเรื่องการประวิงเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง

#### 2.4.1 การขอข้อมูลซ้ำอัตโนมัติ

การขอข้อมูลซ้ำอัตโนมัติ (Automatic Repeat Request, ARQ) นำไปใช้ในช่องสัญญาณบิอนกลับ โดยข้อมูลทางฝั่งส่งที่เข้ามาจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของกลุ่มข้อมูล ในแต่ละกลุ่มข้อมูลจะใส่ลำดับของกลุ่มข้อมูลที่ส่วนหัวของกลุ่มข้อมูลและรหัสที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาด เช่น CRC ที่ส่วนท้ายของกลุ่มข้อมูล ข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาจะช่วยให้ฝั่งรับสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ถ้าข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลที่ต้องการทางฝั่งรับจะส่งค่า ACK (Acknowledgement) กลับไปให้ทางฝั่งส่ง ถ้าทางฝั่งส่งไม่ได้รับค่า ACK จากฝั่งรับภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ทางฝั่งส่งจะทำการส่งข้อมูลเดิมกลับมาใหม่ และถ้าข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลที่มีความผิดพลาด ทางฝั่งรับจะทำการร้องขอให้มีการส่งข้อมูลเดิมกลับมาใหม่โดยการส่งค่า NAK (Negative Acknowledgement) กลับไปให้ฝั่งส่งทางช่องสัญญาณบิอนกลับ

#### 2.4.2 การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

ความผิดพลาดที่เกิดจากการสื่อสารสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ด้วยการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า (Forward Error Correction, FEC) ซึ่งใช้การเพิ่มข้อมูลซ้ำซ้อนให้ได้คำรหัส (Code word) ที่ความน่าจะเป็นของการถอดรหัสได้เป็นคำรหัสอื่นลดลง

การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าแบ่งได้เป็น 2 ชนิดมีชื่อเรียกต่างกันได้แก่ รหัสบล็อกเชิงเส้น (Linear block code) และ รหัสคอนโวลูชัน (Convolution code) ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน มีข้อแตกต่างกันในรายละเอียดปลีกย่อย

ในการเข้ารหัส Linear block code ข้อมูลที่ต้องการส่งจะถูกแบ่งส่วนย่อยเป็นบล็อกของ  $k$  บิต สำหรับการเข้ารหัส  $(n, k)$  บิตส่วนซ้ำซ้อนจำนวน  $r = n - k$  จะถูกเพิ่มเข้าไปกับ  $k$  ทำให้ได้จำนวนบิตทั้งหมด  $n$  บิต แต่ละบล็อกจะมีการคำนวณความซ้ำซ้อน หรือที่เรียกว่า "Parity symbol" และได้อัตราส่วนการเข้ารหัส  $cr = k/n$

ความสามารถในการแก้ความผิดพลาดของการเข้ารหัส  $(n, k)$  ขึ้นกับค่าระยะแฮมมิงน้อยสุด (Minimum hamming distance,  $d_{\min}$ ) ซึ่งควรมีค่ามากที่สุด ระยะแฮมมิงของคำรหัสไบนารี (Binary codeword) คือจำนวนของบิตที่ต่างกันระหว่างคำรหัส สำหรับรหัสที่มีระยะแฮมมิง  $d_{\min}$  จำนวนบิตผิดพลาดที่สามารถแก้ไขได้จะเท่ากับอย่างน้อย  $t = \lfloor (d_{\min} - 1) / 2 \rfloor$  บิต เมื่อสัญลักษณ์  $\lfloor x \rfloor$  หมายถึงจำนวนเต็มมากที่สุดที่ไม่เกิน  $x$



## 2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นงานในกลุ่มงานวิจัยด้านการสื่อสารวีดิทัศน์โดยให้ความสนใจเรื่องการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สาย ที่มีลักษณะการเกิดความผิดพลาดเฉพาะ งานวิจัยด้านวีดิทัศน์ดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้มีหลายสาขาเช่น งานวิจัยด้านประสิทธิภาพการเข้ารหัส งานวิจัยด้านการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณที่มีความผิดพลาด ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผู้เขียนได้ศึกษามาแยกตามประเภท โดยเลือกเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องโดยตรง ได้แก่ งานวิจัยกลุ่มการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สาย งานวิจัยที่ใช้การเข้ารหัสแบบโคโรบลิคแบบยืดหยุ่นได้ในมาตรฐาน H.264

### 2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สาย

งานวิจัยกลุ่มการสื่อสารวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สายมีอยู่หลายงานซึ่งมีเป้าหมายเดียวกันคือการคิดเทคนิคที่ช่วยแก้ปัญหาจากความผิดพลาดในช่องสัญญาณไร้สายที่มีลักษณะเฉพาะต่างกับช่องสัญญาณอื่น วิทยานิพนธ์นี้ได้แนวคิดมากจากการเข้ารหัสร่วมของการเข้ารหัสวีดิทัศน์ต้นทางและการเข้ารหัสในช่องสัญญาณ

#### 2.5.1.1 งานที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสวีดิทัศน์ต้นทาง

[19] ใช้เทคนิคการเข้ารหัสวีดิทัศน์เพื่อให้สามารถถอดรหัสได้เมื่อเกิดความผิดพลาดเรียกว่าการเข้ารหัสปรับความยาวได้แบบย้อนทางได้ RVLC ซึ่งเป็นการเข้ารหัสที่ช่วยลดจำนวนบิตที่เสียไปเนื่องจากการกระจายความผิดพลาดได้แต่มีข้อเสียคือค้ำรหัสที่ใช้จะยาวกว่าค้ำรหัสปรับความยาวได้แบบปกติ

#### 2.5.2 งานวิจัยที่ใช้การควบคุมความผิดพลาดกับวีดิทัศน์มาตรฐาน H.264

[11] และ [13] ใช้การทำนายสถานะช่องสัญญาณเพื่อปรับค่าการทำงานของ การควบคุมอัตราในตัวเข้ารหัสเมื่อต้องมีการส่งข้อมูลที่สูงเสียซ้ำ มีข้อดีที่ได้คุณภาพวีดิทัศน์ดีขึ้น แต่มีข้อเสียที่ต้องเพิ่มประวิงเวลาเมื่อมีการส่งข้อมูลซ้ำ ซึ่งต่างจากการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าที่ไม่ทำให้เกิดการประวิงเวลา

#### 2.5.2.1 งานที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสในช่องสัญญาณสำหรับวีดิทัศน์

[20] มีการเปรียบเทียบการควบคุมความผิดพลาด 2 ชนิดคือการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า และการขอข้อมูลซ้ำอัตโนมัติ ในการสื่อสารบนอินเทอร์เน็ต ทำให้ได้คุณภาพวีดิทัศน์

ทัศนคติที่ดีขึ้น แต่อาจยังไม่เหมาะสมกับการใช้งานบนช่องสัญญาณไร้สาย เนื่องจากลักษณะของการเกิดความผิดพลาดต่างจากของช่องสัญญาณไร้สาย

#### 2.5.2.1 งานที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสแบบลูกผสม

[12] ใช้ข้อมูลสภาพช่องสัญญาณป้อนกลับเพื่อทำนายสภาวะช่องสัญญาณสำหรับเลือกการร้องขอส่งซ้ำอัตโนมัติหรือการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้ากับวิดิทัศน์เพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมกับสภาพช่องสัญญาณบนมาตรฐาน H.263 งานวิจัยนี้เป็นแนวคิดหลักเรื่องการปรับตัวของการเข้ารหัสแต่ละเฟรมเพื่อให้ได้การเข้ารหัสที่เหมาะสมกับภาวะช่องสื่อสารซึ่งจะทำให้การใช้จำนวนบิตที่มีอยู่จำกัดคุ้มค่างว่าการเข้ารหัสแบบทุกเฟรมด้วยแบบเดียวกันไม่มีการปรับค่า

#### 2.5.3 งานวิจัยที่ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ในมาตรฐาน H.264

[21], [22] ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ ในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ในแบบ 3 มิติ ด้วยเทคนิคที่สร้างขึ้น เพื่อให้แต่ละเฟรมใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ต่างกัน แผนที่กลุ่มสไลซ์ที่สร้างขึ้นเป็นรูปแบบตายตัว ไม่ได้ใช้การปรับตัวจากข้อมูลของวิดิทัศน์หรือข้อมูลของช่องสัญญาณ

[23] ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ในการกำหนดบริเวณที่สนใจภายในเฟรม เพื่อนำไปใช้เข้ารหัสแบบปรับคุณภาพได้ ให้แต่ละบริเวณมีความสำคัญไม่เท่ากัน และมีลำดับของการส่งแต่ละบริเวณ งานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้สำหรับเป็นเครื่องมือต้านทานความผิดพลาดในช่องสัญญาณ

## บทที่ 3

### เทคนิคที่นำเสนอ

เนื้อหาในบทนี้คือคำอธิบายเทคนิคที่นำเสนอได้แก่ วิธีการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ ด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัส การเลือกใช้คำรหัสของการเข้ารหัสแก่ความผิดพลาดไปหน้า รวมถึงการปรับค่าบิตเป้าหมายสำหรับการเข้ารหัสเนื่องจากต้องใช้บิตในการเข้ารหัสแก่ความผิดพลาดไปหน้า และการใช้งานร่วมกับการอินเตอร์ลีฟระดับบิต

#### 3.1 รูปแบบของแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

เมื่อมีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ หากไม่มีการควบคุมความผิดพลาด ข้อมูลแมโครบล็อกที่ผิดไปหรือหายไปจะมีมากกว่ากรณีที่มีการควบคุมความผิดพลาด อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการควบคุมความผิดพลาดก็ยังมีเกิดบิตผิดพลาดในแมโครบล็อกได้เช่นกัน การที่แมโครบล็อกไม่สามารถถอดรหัสได้เนื่องจากมีบิตผิดพลาดอยู่ในคำรหัสทำให้ไม่สามารถถอดรหัสกลับคืนได้อย่างถูกต้อง แมโครบล็อกที่มีบิตผิดพลาดไม่สามารถถอดรหัสแมโครบล็อกได้ที่ทางตัวถอดรหัส และยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากการเข้ารหัสผลต่างที่ใช้ในตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวิดิทัศน์ส่งผลให้แมโครบล็อกที่ใช้การทำงานจากแมโครบล็อกที่ผิดพลาดนี้ไม่สามารถถอดรหัสได้อีกเช่นกัน สามารถแบ่งประเภทของแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ แมโครบล็อกที่มีบิตผิดพลาด ต่อจากนี้เรียกว่าแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 และแมโครบล็อกที่ทำนายจากแมโครบล็อกที่มีบิตผิดพลาด ต่อไปจากนี้เรียกว่าแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2

##### 3.1.1 แมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1

การเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้จากแมโครบล็อกชนิดที่ 1 (มีบิตผิดพลาด) เป็นลักษณะเฉพาะที่ขึ้นตรงกับอัตราบิตผิดพลาดของช่องสัญญาณ จากการจำลองการสื่อสารพบว่า ถ้าช่องสัญญาณมีอัตราบิตผิดพลาดสูงอัตราการเกิดแมโครบล็อกชนิดนี้จะสูงเช่นกัน เนื่องจากความน่าจะเป็นที่แต่ละแมโครบล็อกจะมีบิตผิดพลาดมีค่ามาก อย่างไรก็ตามพบว่าอัตราบิตผิดพลาดของช่องสัญญาณที่เท่ากันแต่มีความยาวความผิดพลาดบิตต่อเนื่อง (ความยาวเบิร์สต์) ต่างกันยังมีผลต่อความน่าจะเป็นที่ความผิดพลาดในช่องสัญญาณจะทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดนี้ต่างกัน ตัวอย่างจากผลการจำลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.5.1 กรณีไม่มีการควบคุมความผิดพลาดและไม่มีการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้ พบว่าปริมาณการ

เกิดแมโครบล็อกชนิดนี้ในการสื่อสารบนช่องสัญญาณไร้สายเฟดดิ้งช้ามีปริมาณการเกิดแมโครบล็อกชนิดนี้น้อยกว่ากว่าการสื่อสารบนช่องสัญญาณไร้สายเฟดดิ้งเร็วดังตารางที่ 3.1

จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 นี้เมื่อรวมกับจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 ในตารางที่ 3.2 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 3.1 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 เมื่อไม่มีการใช้การควบคุมความผิดพลาด

ลำดับภาพ	จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1	
	เฟดดิ้งช้า	เฟดดิ้งเร็ว
Akiyo	204	285
Carphone	244	312
Claire	195	285
Foreman	267	313

### 3.1.2 แมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2

การเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 (ทำนายจากแมโครบล็อกที่มีบิตผิดพลาด) เนื่องจากไม่มีข้อมูลทำนายสำหรับถอดรหัสแมโครบล็อก เป็นการสูญเสียแมโครบล็อกที่ขึ้นกับการจัดเรียงแมโครบล็อกในเฟรม หากแมโครบล็อกถูกจัดลำดับไว้อยู่ถัดจากแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 คือแมโครบล็อกเข้ารหัสโดยทำนายจากแมโครบล็อกที่มีบิตผิดพลาด หรือเป็นแมโครบล็อกที่ถูกนำไปใช้ในการทำนายแมโครบล็อกอื่น ก็จะส่งผ่านการถอดรหัสไม่ได้ไปยังแมโครบล็อกต่อไปด้วย เรียกการผิดพลาดชนิดนี้ว่าเป็นการกระจายความผิดพลาด ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการเข้ารหัสแบบแปรความยาวได้ การผิดพลาดชนิดนี้ยังมีชื่อเรียกว่าการเสียการเข้าจังหวะ จากการจำลองการสื่อสารพบว่าลักษณะการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 นี้ เป็นส่วนใหญ่ของจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ภาพในเฟรม เนื่องจากลักษณะของการเข้ารหัสที่ต้องการลดจำนวนบิตจึงใช้การเข้ารหัสทำนายเป็นส่วนมาก

จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 นี้เมื่อรวมกับจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 ในตารางที่ 3.1 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 3.2 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 เมื่อไม่มีการใช้การควบคุมความผิดพลาด

ลำดับภาพ	จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2	
	เฟตดิงช้า	เฟตดิงเร็ว
Akiyo	1343	5082
Carphone	1136	5322
Claire	1151	4984
Foreman	1232	5427

### 3.1.3 ข้อกำหนดของขอบเขตการกระจายความผิดพลาด

การจำลองในวิทยานิพนธ์นี้มีข้อกำหนดเรื่องขอบเขตของการกระจายความผิดพลาดที่ทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ เนื่องจากในระบบสื่อสารไร้สายแต่ละแบบอาจมีการควบคุมความผิดพลาดในระดับอื่นที่ต่างกัน จึงกำหนดการจำกัดขอบเขตของการกระจายความผิดพลาดในระบบสื่อสารวิทยุทัศน์ไร้สายจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ดังนี้

ก. การกระจายความผิดพลาดที่ทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวคือจากแมโครบล็อกที่อยู่ในลำดับถัดไป ไม่มีการกระจายไปยังแมโครบล็อกที่อยู่ตำแหน่งก่อนหน้า ข้อกำหนดนี้เป็นไปตามตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวิทยุทัศน์ปกติที่การเข้ารหัสเป็นการเข้ารหัสผลต่างทำนายแบบทางเดียวภายในเฟรมหรือภายในสไลซ์

ข. การกระจายความผิดพลาดที่ทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้จะถูกจำกัดขอบเขตเมื่อพบจุดเข้าจิ้งหะ ไม่ว่าการกระจายความผิดพลาดนั้นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดก็ตาม จุดเข้าจิ้งหะนี้อาจสร้างจากการเข้ารหัสที่มีค่ารหัสเฉพาะแทรกกลงไปในกระแสบิตที่ตำแหน่งใดก็ได้ หรืออาจแทรกจุดเข้าจิ้งหะนี้ที่ส่วนหัวของแต่ละเฟรม จุดเข้าจิ้งหะนี้เมื่อมีการใช้งานกำหนดให้ไม่มีความผิดพลาดหรือไม่ได้รับผลจากความผิดพลาดในช่องสัญญาณ ตัวถอดรหัสสามารถรู้ได้ถึงการมีอยู่ของจุดเข้าจิ้งหะในกระแสบิตได้อย่างถูกต้อง ในทางปฏิบัติ ข้อกำหนดนี้อาจผิดพลาดได้เมื่อมีความผิดพลาดในบิตของจุดเข้าจิ้งหะ แต่ปกติแล้วอัตราส่วนของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและทำให้ไม่สามารถถอดรหัสหรือรับรู้จุดเข้าจิ้งหะได้เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของความผิดพลาดที่เกิดกับข้อมูลวิทยุทัศน์จะมีค่าน้อย เนื่องจากจุดเข้าจิ้งหะจะใช้ค่ารหัสเฉพาะที่มีความทนทานต่อความผิดพลาดมากกว่า อย่างไรก็ตามอัตราบิตของวิทยุทัศน์ที่รายงานไว้ใน

จำลองไม่ได้รวมบิตที่ต้องใช้สำหรับจุดเข้าจังหวะเนื่องจากแต่ละระบบสื่อสารไร้สายอาจใช้เทคนิคการใส่จุดเข้าจังหวะที่ต่างกัน และวิทยานิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อประยุกต์ใช้กับการสื่อสารวีดิทัศน์ไร้สายทั่วไป การที่ไม่ได้กำหนดลักษณะของจุดเข้าจังหวะที่ไม่ได้เป็นข้อมูลจากตัวตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสไว้จึงเหมาะกับการนี้ทั่วไปมากกว่า ในการใช้งานสื่อสารวีดิทัศน์ไร้สายจริง อาจต้องเผื่อแบนด์วิดท์บางส่วนไว้สำหรับจุดเข้าจังหวะด้วย ซึ่งจะขึ้นกับโปรโตคอลสื่อสารข้อมูลที่ใช้

ค. วิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อกำหนดที่ว่าจุดเข้าจังหวะอยู่ที่ส่วนหัวของสไลซ์ ซึ่งหมายความว่าการกระจายความผิดพลาดจะถูกจำกัดอยู่ในสไลซ์เท่านั้น ไม่มีการกระจายความผิดพลาดที่ทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ข้ามสไลซ์ และข้อมูลส่วนหัวของแต่ละสไลซ์จะสามารถถอดรหัสได้ ไม่มีความผิดพลาดที่ทำให้สูญเสียส่วนหัวของสไลซ์อันเป็นเหตุให้ไม่สามารถถอดรหัสสไลซ์ได้

ง. ถ้าข้อมูลแมโครบล็อกในสไลซ์มีแมโครบล็อกที่ไม่มีความผิดพลาดและไม่ได้เป็นแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 แมโครบล็อกนั้นจะต้องสามารถถอดรหัสได้ที่ทางตัวถอดรหัส ข้อกำหนดนี้เป็นไปตามลักษณะของการทำงานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ที่กำหนดให้มีการทำนายและชดเชยการเคลื่อนที่ภายในสไลซ์เท่านั้น ไม่มีการทำนายข้ามสไลซ์

จ. วิทยานิพนธ์นี้ใช้การตั้งค่าตัวเข้ารหัสให้ใช้การเข้ารหัสด้วยโครงสร้างของกลุ่มภาพเป็น "IPPPP..." เนื่องจากเป้าหมายหลักที่ต้องการศึกษาผลของการกระจายความผิดพลาดในวีดิทัศน์ H.264 ทำให้เฟรมแรกของลำดับภาพซึ่งเป็นเฟรมสำคัญเพราะเป็นต้นทางของการเข้ารหัสทำนายใช้จำนวนบิตมากที่สุด เนื่องจากความสำคัญของเฟรมแรกนี้เองจึงกำหนดให้เฟรมแรกไม่มีความผิดพลาด สามารถถอดรหัสได้อย่างถูกต้อง ที่กำหนดเช่นนี้เพราะหากเฟรมแรกที่มีความสำคัญมีความผิดพลาดแล้ว การวิเคราะห์ลักษณะของการกระจายความผิดพลาดในกระแสบิตจะทำได้ยาก เนื่องจากบิตต้นทางของการทำนายสูญเสียไป และใช้การปกปิดความผิดพลาดแบบไม่มีการชดเชยการเคลื่อนที่ที่ประสิทธิภาพของการปกปิดความผิดพลาดจำกัด

ฉ. การสื่อสารทำด้วยการรับ/ส่ง NAL โดยตรงบนช่องสัญญาณ ทั้งนี้ในความเป็นจริงอาจมีความจำเป็นต้องใช้โพรโทคอลสำหรับการสื่อสาร ซึ่งการสื่อสารวีดิทัศน์โดยทั่วไปอัตราส่วนของบิตที่ต้องใช้เพิ่มสำหรับส่วนหัวของโพรโทคอลน้อยกว่าตัวข้อมูลมาก ตัวอย่างเช่นการใช้ H.264 Annex B: Byte stream format [16] หรือการใช้โพรโทคอล RTP [24]

ช. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณมีผลให้ข้อมูลของแมโครบล็อกเสียไปเพียงอย่างเดียว ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอื่นของกระแสบิตที่เป็นข้อมูลชนิดอื่นทำให้ข้อมูลส่วนอื่นนอกจากแมโครบล็อกแล้วสามารถถอดรหัสได้ ไม่มีการสูญหาย

ข. ตัวถอดรหัสสามารถถอดรหัสส่วนของเฟรมบริเวณอื่นที่ไม่มีความผิดพลาดได้อย่างสมบูรณ์ เป็นผลให้ได้เฟรมที่ถอดรหัสได้แสดงผลได้ทุกเฟรม โดยยกเว้นบริเวณจุดภาพตำแหน่งของแมโครบล็อกที่เสียหาย

ณ. ไม่มีการกระโดดของเฟรมเนื่องจากการทำงานของตัวควบคุมอัตราในตัวเข้ารหัส

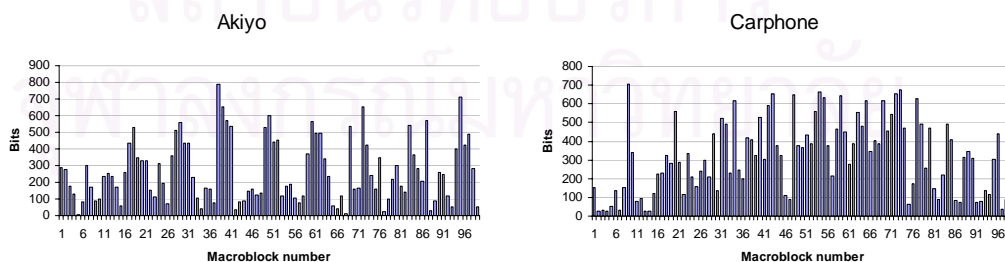
ญ. ใช้การปกปิดความผิดพลาดแบบไม่มีการชดเชยการเคลื่อนที่ คือใช้จุดภาพของแมโครบล็อกตำแหน่งเดียวกันจากเฟรมก่อนหน้าที่ถอดรหัสแล้ว โดยไม่ใช้ข้อมูลจากเวกเตอร์การเคลื่อนที่

### 3.2 การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้และจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

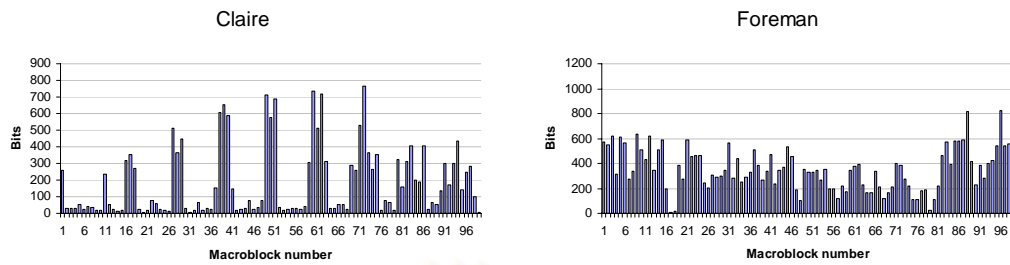
การใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้มีผลต่อลำดับของการจัดเรียงแมโครบล็อกในเฟรม ซึ่งส่งผลต่อลำดับและจำนวนของการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้กรณีที่มีการสูญเสียของแมโครบล็อกในเฟรมด้วย พารามิเตอร์หลักของการจัดเรียงแมโครบล็อกยืดหยุ่นได้มี 2 ส่วนได้แก่ จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรม และรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่กำหนดให้แต่ละเฟรม

#### 3.2.1 จำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสแต่ละแมโครบล็อก

การใช้การเข้ารหัสแปรความยาวได้ทำให้จำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสแต่ละแมโครบล็อกไม่เท่ากัน แมโครบล็อกที่มีเอนโทรปีสูงคือมีรายละเอียดหรือการเปลี่ยนแปลงจากการทำนายสูงจะต้องใช้จำนวนบิตสำหรับเข้ารหัสมากกว่า ด้วยเหตุนี้เองทำให้ผลกระทบจากความผิดพลาดในช่องสัญญาณจำลองชุดเดียวกันให้ตำแหน่งของการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ต่างกันในแต่ละลำดับภาพ ตัวอย่างจำนวนบิตที่ไม่เท่ากันของแต่ละแมโครบล็อกในเฟรมแรกของแต่ละลำดับภาพทดสอบแสดงดัง รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 จำนวนบิตที่ไม่เท่ากันของแต่ละแมโครบล็อกในเฟรมแรกของแต่ละลำดับภาพทดสอบ



รูปที่ 3.1 จำนวนบิตที่ไม่เท่ากันของแต่ละแมโครบล็อกในเฟรมแรกของแต่ละลำดับภาพทดสอบ (ต่อ)

### 3.2.2 จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรม

จากข้อกำหนดที่ว่า มีจุดเข้าจังหวะอยู่ที่ส่วนหัวของสไลซ์ทำให้เมื่อใช้จำนวนสไลซ์ต่อเฟรมที่ต่างกันจะมีจำนวนจุดเข้าจังหวะต่อเฟรมที่ต่างกันด้วย การกำหนดจุดเข้าจังหวะอยู่ที่ส่วนหัวของสไลซ์นี้ ในทางปฏิบัติอาจนำไปใช้กับการสื่อสารวีดิทัศน์ที่มีการส่งข้อมูลเป็นกลุ่มได้ โดยสามารถใช้การส่งแต่ละกลุ่มข้อมูลเป็นวีดิทัศน์สไลซ์เดี่ยว แต่ละเฟรมจะประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลหลายกลุ่ม หากมีการสูญเสียกลุ่มข้อมูลใดไป การถอดรหัสกลุ่มข้อมูลอื่นก็ยังคงทำได้ เนื่องจากไม่มีการทำนายข้ามสไลซ์ การจำลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.4.2 เป็นการจำลองเพื่อศึกษาผลของจำนวนสไลซ์ต่อเฟรมที่มีต่อคุณภาพวีดิทัศน์เมื่อไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ และการจำลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.5.2 เป็นการจำลองเพื่อศึกษาผลของจำนวนสไลซ์ต่อเฟรมที่มีผลต่อคุณภาพวีดิทัศน์เมื่อมีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ จำนวนสไลซ์ต่อเฟรมของการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์ H.264 อยู่ระหว่าง 1 ถึง 8 สไลซ์ต่อเฟรม

### 3.2.3 การจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์มีผลต่อจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

จากผลการจำลองของการใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ต่างกันต่อตำแหน่งความผิดพลาดของแมโครบล็อกในเฟรมเมื่อไม่ใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.5.2 เห็นได้ว่าการจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่รูปแบบต่างกันมีผลต่อจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ทั้ง 2 ชนิด รายละเอียดผลการจำลองการจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์มีผลต่อจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้อยู่ในบทที่ 4



### 3.3 ตัวเลือกของการจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์

แต่ละค่าพารามิเตอร์จำนวนสไลซ์ต่อเฟรมที่ใช้งาน ยังสามารถสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ต่างกันได้ ข้อจำกัดเพียงอย่างเดียวของการเรียงลำดับแมโครบล็อกในสไลซ์คือลำดับของแมโครบล็อกภายในสไลซ์ต้องเรียงลำดับจากน้อยไปมาก เนื่องจากรูปแบบของการทำนายการเคลื่อนที่จำกัดตามรายละเอียดในข้อ 2.2.7 จำนวนรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ทั้งหมด  $s$  ที่เป็นไปได้ของแต่ละเฟรม เมื่อใช้จำนวนสไลซ์ต่อเฟรมเท่ากัน เป็นดังสมการ (3.1) เมื่อ  $n$  คือจำนวนสไลซ์ต่อเฟรม และเฟรมขนาด QCIF มีจำนวน 99 แมโครบล็อกต่อเฟรม ซึ่งเมื่อดำเนินการด้วยค่าจำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรมตั้งแต่ 1 ถึง 8 สไลซ์แล้วได้ค่าดังตารางที่ 3.3

$$\begin{aligned} s &= 1 && \text{เมื่อ } n = 1 \\ s &= 99^n && \text{เมื่อ } n \neq 1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

ตารางที่ 3.3 จำนวนรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ทั้งหมดของเฟรมที่เป็นไปได้

จำนวนสไลซ์	จำนวนรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์
1	1
2	9,801
3	970,299
4	96,059,601
5	9,509,900,499
6	941,480,149,401
7	93,206,534,790,699
8	9,227,446,944,279,200

รูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ต่างกันนี้มีผลต่อการประมาณการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วยังมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาการทำนายการเคลื่อนที่สูงสุดตามโพรไฟล์ของการเข้ารหัส และเมื่อมีการจัดกลุ่มสไลซ์แล้วต้องจัดเรียงแมโครบล็อกตามข้อจำกัดที่ว่าลำดับของแมโครบล็อกภายในสไลซ์ต้องเรียงจากน้อยไปมากตามการกราดแบบราสเตอร์ จำนวนความแตกต่างกันของการจัดเรียงแมโครบล็อกที่เป็นไปได้ของแต่ละเฟรมจะลดลง เนื่องจากมีปัจจัย

หลายอย่างข้างต้นทำให้ไม่สามารถคำนวณจำนวนสไลด์ที่เป็นไปได้ของแต่ละเฟรมได้เป็นตัวเลขแน่ชัด แต่พอประมาณได้เป็นค่ามากเมื่อใช้จำนวนสไลด์ต่อเฟรมมาก ซึ่งหากใช้วิธีการทดลองกับทุกแผนที่แล้วหารูปแบบที่ดีที่สุดจะต้องใช้เวลาและการคำนวณปริมาณสูงมาก ดังนั้นการจำลองในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้เทคนิคการเลือกแผนที่กลุ่มสไลด์ที่ความซับซ้อนต่ำ

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.9 แล้วว่าการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักได้แก่ ชนิดที่นิยามไว้แล้วและใช้การปรับค่าแผนที่กลุ่มสไลด์ด้วยพารามิเตอร์ที่มีจำนวนต่างกันดังรูปที่ 2.20 และอีกชนิดหนึ่งเรียกว่าแบบชัดแจ้ง ที่ผู้ใช้ไม่มีการกำหนดพารามิเตอร์เพื่อสร้างแผนที่กลุ่มสไลด์ แต่ใช้การกำหนดเลขที่กลุ่มสไลด์ให้แก่แมโครบล็อกโดยตรง

### 3.3.1 แผนที่กลุ่มสไลด์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์

แผนที่กลุ่มสไลด์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์จะถูกสร้างที่ตัวเข้ารหัสก่อนทำการเข้ารหัสทำนายแมโครบล็อก ผู้ใช้มีสิ่งที่จะต้องกำหนดเพียงแค่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลด์เท่านั้น แผนที่กลุ่มสไลด์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์มีข้อจำกัดสำคัญคือ รูปแบบแผนที่กลุ่มสไลด์ที่ตัวเข้ารหัสสร้างขึ้นจะใช้กับเฟรมทุกเฟรม ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการ รูปแบบของการสร้างแผนที่กลุ่มสไลด์แบบนิยามด้วยพารามิเตอร์อยู่ในรูปที่ 2.20 รายละเอียดพารามิเตอร์ของรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลด์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์อยู่ในตารางที่ 3.4 ตัวอย่างแผนที่กลุ่มสไลด์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองด้วยชนิดและค่าพารามิเตอร์ต่างกันดังรูปที่ 4.3 ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.4.2.1

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลด์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์

ชื่อเรียก	SGiD	จำนวนพารามิเตอร์	พารามิเตอร์
Interleaved	0	1	จำนวนแมโครบล็อกในสไลด์
Dispersed	1	1	จำนวนกลุ่มสไลด์ต่อเฟรม
Foreground/Background	2	2(n)	พิกัดมุมของสี่เหลี่ยมที่ n
Box-out	3	1	จำนวนแมโครบล็อกในสไลด์
Raster	4	1	จำนวนแมโครบล็อกในสไลด์
Wipe	5	1	จำนวนแมโครบล็อกในสไลด์

### 3.3.2 แผนทีกลุ่มสไลซ์แบบชัดแจ้ง

แผนทีกลุ่มสไลซ์แบบชัดแจ้ง (Explicit) เป็นรูปแบบแผนทีกลุ่มสไลซ์เพียงชนิดเดียวที่สามารถกำหนดให้แต่ละเฟรมใช้แผนทีกลุ่มสไลซ์ต่างกันได้ วิทยานิพนธ์นี้หลักการอยู่ที่การปรับเปลี่ยนแผนทีกลุ่มสไลซ์เพื่อหารูปแบบแผนทีกลุ่มสไลซ์ช่วยจัดการการสูญเสียคุณภาพวิดีโอของแต่ละเฟรมจึงเลือกใช้แผนทีกลุ่มสไลซ์แบบชัดแจ้งนี้ในการจำลอง สิ่งที่ต้องการในการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์สำหรับตัวเข้ารหัสคือการกำหนดเลขทีกลุ่มสไลซ์ให้แต่ละแมโครบล็อกในเฟรม ซึ่งอาจใช้วิธีกำหนดล่วงหน้าสำหรับทุกเฟรมทั้งลำดับภาพ หรือใช้การส่งแผนทีกลุ่มสไลซ์ให้กับตัวเข้ารหัสในแบบเฟรมต่อเฟรมล่วงหน้าก่อนการเข้ารหัสแต่ละเฟรม ซึ่งต้องมีการแก้ไขตัวเข้ารหัสตามหัวข้อ 3.4 แต่วิธีการเดียวกันนี้ไม่สามารถใช้กับแผนทีกลุ่มสไลซ์แบบนิยามด้วยพารามิเตอร์ได้ เนื่องจาก การเข้ารหัสด้วยแผนทีกลุ่มสไลซ์แบบนิยามด้วยพารามิเตอร์จะไม่มีกรส่งรูปแบบแผนทีกลุ่มสไลซ์ไปกับกระแสบิตซึ่งต่างกับการใช้แผนทีกลุ่มสไลซ์แบบชัดแจ้ง ทำให้ถ้ามีการเปลี่ยนรูปแบบแผนทีกลุ่มสไลซ์ที่เข้ารหัสด้วยพารามิเตอร์ทางด้านเข้ารหัส ตัวถอดรหัสจะไม่สามารถสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ที่ถูกต้องตรงกันได้เนื่องจากได้รับเพียงค่าพารามิเตอร์ แต่ถ้าใช้แผนทีกลุ่มสไลซ์แบบชัดแจ้งแล้ว ทางตัวถอดรหัสจะไม่ต้องทำการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ใหม่ เพียงแค่เรียกใช้แผนทีกลุ่มสไลซ์ที่ส่งมาพร้อมกับกระแสบิตซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ทีส่วนหัวของเฟรม

### 3.4 การแก้ไขซอฟต์แวร์ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสอ้างอิง JM 9.2

ซอฟต์แวร์ตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัส H.462 อ้างอิง [25] ทีใช้ในการจำลองเป็นรุ่น JM 9.2 ถูกปรับปรุงให้ใช้ได้ในระบบการจำลองการสื่อสารไร้สาย ตัวเข้ารหัสมีการเพิ่มส่วนของการเก็บค่าจำนวนบิต และการใช้งานแผนทีกลุ่มสไลซ์แบบกำหนดเอง การแก้ไขดังกล่าวไม่มีผลต่อโครงสร้างของกระแสบิตที่ได้จากการเข้ารหัสและไม่ทำให้โครงสร้างกระแสบิตผิดไปจากโครงสร้างมาตรฐาน H.264 และทางด้านตัวถอดรหัสมีการเพิ่มการปกปิดความผิดพลาดแบบไม่มีการชดเชยการเคลื่อนที

### 3.5 นำเสนอวิธีสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัส

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายเทคนิคการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัสทีนำเสนอ วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลจากตัวเข้ารหัส 2 ชนิดได้แก่ สร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลบิตนับ และสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ด้วยค่า PSNR ทีลดลงจากการจำลองการสูญเสีย

### 3.5.1 แนวคิดในการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์

แนวคิดหลักในการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้มีหลักการมาจาก การกระจายความผิดพลาดภายในสไลซ์ที่ทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 และความสำคัญต่อคุณภาพวิดีโอที่ต่างกันของแต่ละแมโครบล็อกเป็นหลัก เนื่องจากหากมองว่าแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 ซึ่งแท้จริงแล้วไม่มีความผิดพลาด ควรเป็นข้อมูลที่สามารถกู้คืนได้ หรือหากไม่มีการเข้ารหัสที่ช่วยในการกู้คืนเพื่อลดการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 นี้ การเข้ารหัสก็ควรจัดกลุ่มแมโครบล็อกที่มีความสำคัญต่อคุณภาพวิดีโอที่มีผลต่อคุณภาพวิดีโอหากแมโครบล็อกเกิดการสูญเสียไปไม่สามารถใช้ในการถอดรหัสได้ให้อยู่กระจายกันในแต่ละกลุ่มสไลซ์เพื่อลดความน่าจะเป็นที่กลุ่มสไลซ์ที่มีความสำคัญต่อคุณภาพวิดีโอจะสูญหายไป ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพวิดีโอสูง

การสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์จะใช้การกำหนดค่าตัวบ่งชี้ความสำคัญของกลุ่มสไลซ์กลุ่มที่  $n$  มีค่าเท่ากับ  $f_n(x)$  ตามสมการ (3.2) เมื่อ  $x_m$  เป็นค่าวัดความสำคัญต่อคุณภาพที่ไม่เท่ากันของแต่ละแมโครบล็อกจำนวน  $M$  ภายในสไลซ์

$$f_n(x) = \sum_{m=1}^M x_m \quad (3.2)$$

ด้วยการพยายามเลือกค่า  $f_n(x)$  ของทุกกลุ่มสไลซ์ให้มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าฟังก์ชันผลต่างความสำคัญของแมโครบล็อกในเฟรม  $J(x)$  น้อยที่สุด คือมีค่าผลต่างความสำคัญของกลุ่มสไลซ์  $\Delta f_n(x)$  ของแต่ละสไลซ์เมื่อเทียบกับสไลซ์อื่นน้อยที่สุดดังสมการ (3.4) เมื่อ  $K$  คือจำนวนสไลซ์ต่อเฟรม

$$\Delta f_n(x) = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq n}}^K (f_n(x) - f_k(x)) \quad (3.3)$$

$$J(x) = \sum_{k=1}^K (\Delta f_n(x))_k \quad (3.4)$$

ในการจำลองใช้วิธีการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์เพื่อให้ค่าฟังก์ชันผลต่างความสำคัญ  $J(x)$  มีค่าใกล้เคียงค่าน้อยที่สุดด้วยวิธีการอย่างง่ายมีขั้นตอนวิธีการดังนี้คือ

ก. เก็บข้อมูลค่าวัดความสำคัญ  $x_m$  ของแต่ละแมโครบล็อกและจัดเรียงลำดับจากมากไปน้อย

ข. กำหนดกลุ่มสไลซ์ให้กับแต่ละแมโครบล็อกที่ผ่านการเรียงลำดับแล้วเริ่มต้นจาก 0 ถึง  $K - 1$  ตามลำดับ

ค. ทำซ้ำข้อ ข. จนกระทั่งทุกแมโครบล็อกในเฟรมได้รับการกำหนดกลุ่มสไลซ์

### 3.5.2 การสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ตามความสำคัญของแมโครบล็อกโดยใช้ข้อมูลบิตนับ

การสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลบิตนับ ค่าวัดความสำคัญต่อคุณภาพที่ใช้เป็นจำนวนบิตที่ใช้ไปในการเข้ารหัสแมโครบล็อกที่ตำแหน่งเดียวกันของเฟรมก่อนหน้าด้วยหลักการที่ว่าแมโครบล็อกที่มีความสำคัญสูงจะมีค่าความแตกต่างของข้อมูลจุดภาพภายในแมโครบล็อกสูง หรือในเชิงคณิตศาสตร์คือค่าเอนโทรปีของแมโครบล็อกสูง ซึ่งส่งผลให้จำนวนบิตที่ต้องใช้ในการเข้ารหัสแมโครบล็อกนั้นสูงด้วย การใช้ค่าวัดความสำคัญต่อคุณภาพด้วยวิธีนี้อาจเป็นวิธีที่ไม่แปรตรงกับค่า PSNR แต่ควรมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ตัวอย่างแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่สร้างจากข้อมูลบิตนับอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.4.2.2

## 3.6 การใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

วิธีการสลับตำแหน่งหรือการจัดเรียงแมโครบล็อกเพื่อลดความสูญเสียคุณภาพวิดีโอทัศน์ด้วยวิธีที่นำเสนอในข้อ 3.5 ช่วยให้คุณภาพวิดีโอทัศน์ดีขึ้นได้เมื่อเทียบกับการเข้ารหัสด้วยวิธีปกติได้เพียงระดับหนึ่งดังผลการจำลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.5.2 เนื่องจากไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราบิตผิดพลาดในช่องสัญญาณ คือเป็นการเข้ารหัสทางต้นทาง (source coding) เพียงอย่างเดียว หากต้องการลดผลจากความผิดพลาดยังสามารถใช้การเข้ารหัสในช่องสัญญาณ (channel coding) ร่วมด้วย การใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้ามีข้อดีช่วยลดจำนวนบิตที่ผิดพลาดได้เสมือนลดอัตราบิตผิดพลาดในช่องสัญญาณได้ เนื่องจากการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้ามีความสามารถในการแก้ความผิดพลาดได้ดังอธิบายในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4.2 หากมีการใช้งานและปรับค่าร่วมกันของการเข้ารหัสทั้ง 2 ชนิดนี้จะเรียกว่าเป็นการเข้ารหัสลูกผสม อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์นี้ยังไม่มีความเกี่ยวข้องกันระหว่างการเข้ารหัสต้นทางและการเข้ารหัสในช่องสัญญาณ จึงไม่อยู่ในกลุ่มการเข้ารหัสลูกผสม เป็นเพียงการใช้งานร่วมกันเท่านั้น

### 3.6.1 ผลของการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าต่อการตั้งค่าตัวเข้ารหัส

ค่ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าที่ใช้ในการจำลองมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับจำนวนบิตที่เหลือสำหรับวิดีโอทัศน์ เนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายที่ใช้ในการจำลองกำหนดให้มี

แบนด์วิดท์คงที่ หากต้องจัดสรรบิตสำหรับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าแล้วจำเป็นต้องลดจำนวนบิตสำหรับวิดิทัศน์เพื่อจะได้ผลรวมของจำนวนบิตที่จะถูกส่งออกของสัญญาณไม่เกินความสามารถที่ช่องสัญญาณจะรับได้ อย่างไรก็ตามการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้เป็นจุดหลักของวิธีที่นำเสนอและมีข้อจำกัดที่ต้องพิจารณาเรื่องจำนวนบิตที่เหลือในสำหรับวิดิทัศน์ต่อคุณภาพวิดิทัศน์ จึงใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าการใช้งานเสริมร่วมกับการสร้างแผนทีกลุ่มสไลซ์ ดังนั้นจึงทำการจำลองด้วยความสามารถในการแก้ความผิดพลาดเพียงบิตเดียว และทำการจำลองกับหลายค่าคาร์หัสเพื่อศึกษาคาร์หัสที่เหมาะสมต่อลักษณะความผิดพลาดที่เกิดในช่องสัญญาณที่ต่างกัน เช่นความยาวเบรสต์ และอัตราบิตผิดพลาด คาร์หัส และอัตราบิตที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าเมื่อกำหนดให้อัตราบิตรวมกับวิดิทัศน์แล้วไม่เกิน 32 กิโลบิตต่อวินาทีจากการจำลองแสดงดังตารางที่ 4.4



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการจำลอง

เนื้อหาในบทนี้เป็นผลการจำลองการสื่อสารวิทยุทัศน์ไร้สายด้วยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวเข้ารหัส และพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณเพื่อศึกษาผลกระทบของความผิดพลาดในช่องสัญญาณที่มีต่อคุณภาพวิทยุทัศน์

#### 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

ส่วนนี้เป็นการจัดกลุ่มพารามิเตอร์ของการจำลองตามชนิดของพารามิเตอร์ การจำลองมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์หลายกลุ่ม และแต่ละกลุ่มมีการเปลี่ยนค่าหลายค่า แบ่งได้เป็นข้อย่อยดังนี้

##### 4.1.1 พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณไร้สายจำลอง

พารามิเตอร์หลักของช่องสัญญาณไร้สายจำลองที่มีการเปลี่ยนค่าในการจำลองที่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณคือ ความถี่ดอปเปลอร์ ซึ่งแบ่งการจำลองเป็น 2 กรณีคือ กรณีเฟดดิ้งช้าใช้ความถี่ดอปเปลอร์ 1Hz และกรณีเฟดดิ้งเร็วใช้ความถี่ดอปเปลอร์ 40Hz การเลือกค่าความถี่ค่าอธิบายแบบจำลองของช่องสัญญาณไร้สายอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าซอฟต์แวร์ช่องสัญญาณจำลองเป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ช่องสัญญาณจำลอง

พารามิเตอร์	ประเภท/ค่าที่ใช้
Multiple Access	TDMA
Modulation	QPSK
Channel rate	32 kbps
Maximum Doppler Frequency	1Hz , 40Hz
Transmitted Signal Power	15 dB
Time delay spread	¼ of symbol period
Power delay profile	2-ray with equal power
Antenna Diversity	1

รายละเอียดค่าอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate, BER), อัตรากลุ่มข้อมูลผิดพลาด (Packet Error Rate, PER) และความยาวผิดพลาดแบบเบิสต์เฉลี่ย (Average Burst Error Length) ของการจำลองเป็นไปตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ความผิดพลาดของช่องสัญญาณที่วัดได้

ค่าพารามิเตอร์	ภาวะช่องสัญญาณ	
	เฟดดิ้งช้า	เฟดดิ้งเร็ว
ความถี่คอปเปอเรเตอร์สูงสุด	1Hz	40Hz
อัตราบิตผิดพลาด	0.063	0.065
อัตรากลุ่มข้อมูลผิดพลาด	0.091	0.093
ความยาวกลุ่มข้อมูลผิดพลาดต่อเนื่องเฉลี่ย	4.703	1.669
จำนวนครั้งการเกิดกลุ่มข้อมูลผิดพลาดรวม	395	1142
ความยาวกลุ่มข้อมูลผิดพลาดต่อเนื่องสูงสุด	150	14

#### 4.1.2 พารามิเตอร์ของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์ H.264

พารามิเตอร์ของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนตัวเข้ารหัสและส่วนตัวถอดรหัส มีรายละเอียดดังนี้

##### 4.1.2.1 ตัวเข้ารหัส

ตัวเข้ารหัสที่ใช้เป็นตัวเข้ารหัส H.264 ของ JVT รุ่น JM9.2 [25] เข้ารหัสลำดับวีดิทัศน์ทดสอบชนิด  $YCbCr$  4:2:0 จำนวน 4 ลำดับภาพ ขนาด QCIF 176x144 จุดภาพ จำนวนเฟรมที่เข้ารหัสของแต่ละลำดับภาพ 300 เฟรม ได้แก่ Akiyo, Carphone, Claire และ Foreman ตัวเข้ารหัสที่อัตราเฟรม 30 เฟรมต่อวินาทีด้วยโพรไฟล์ Baseline ซึ่งมีข้อกำหนดหลักต่อไปนี้

- ก. สไลซ์เป็นชนิด I และ P เท่านั้น ไม่มีการใช้สไลซ์ชนิด B
- ข. จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรมไม่เกิน 8 กลุ่มสไลซ์
- ค. การเข้ารหัสเอนโทรปีเป็นการเข้ารหัสปรับความยาวได้แบบ CAVLC (สำหรับ CABAC ใช้เฉพาะในโพรไฟล์ Main)



ส่วนข้อกำหนดอื่นเป็นไปตาม [16] ใช้ระดับ (Level) 3.0 ที่มีข้อกำหนดตาม ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดสำหรับโพรไฟล์ baseline ระดับ 3.0

พารามิเตอร์	ค่า
Max macroblock processing rate MaxMBPS (MB/s)	40,500
Max frame size MaxFS (MBs)	1,620
Max decoded picture buffer size MaxDPB (1024 bytes)	3,037.5
Max video bit rate MaxBR (1000 bits/s or 1200 bits/s)	10,000
Max CPB size MaxCPB (1000 bits or 1200 bits)	10,000
Vertical MV component range MaxVmvR (luma frame samples)	[-256,+255.75]
Min compression ratio MinCR	2
Max number of motion vectors per two consecutive MBs MaxMvsPer2Mb	32

#### 4.1.2.2 ตัวถอดรหัส

ตัวถอดรหัสที่ใช้เป็นรุ่นเดียวกันกับตัวเข้ารหัส การถอดรหัสใช้ค่าโดยปริยายที่กำหนดไว้ไม่มีการปรับค่า มีเพียงเพิ่มการปกปิดความผิดพลาดแบบไม่มีการชดเชยการเคลื่อนที่สำหรับแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้คือ เมื่อจบการทำงานของตัวถอดรหัส ผลจากการสูญหายของแมโครบล็อกจะแสดงในวีดิทัศน์ที่ผ่านการถอดรหัส เมื่อตัวถอดรหัสพบว่าข้อมูลแมโครบล็อกที่กำลังถอดรหัสผิดพลาด ก็จะไม่สามารถถอดรหัสแมโครบล็อกนั้นและแมโครบล็อกต่อจากนั้นภายในสไลซ์เดียวกัน จึงให้ใช้ข้อมูลของแมโครบล็อกจากเฟรมก่อนหน้าที่ตำแหน่งเดียวกันแสดงผลแทนในวีดิทัศน์ที่ถอดรหัสได้

#### 4.1.3 พารามิเตอร์ของการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดที่ใช้ในการจำลองทุกข้อของวิทยานิพนธ์นี้ ความสามารถในการแก้ไขผิดพลาดเท่ากันที่ 1 บิตทุกคำรหัส ต่างกันที่การการเลือกคู่คำรหัส ความยาวบิตต่างค่ากัน ทำให้อัตราบิตที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าต่างกัน คำรหัสและอัตราบิตที่ใช้สำหรับการแก้ความผิดพลาดไปหน้า เมื่อกำหนดให้อัตราบิตรวมกับวีดิทัศน์

แล้วไม่เกิน 32 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งกำหนดเป็นค่าอัตราบิตสูงสุดของช่องสัญญาณ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อัตราบิตที่ต้องใช้สำหรับคำรหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

คำรหัส (n, k, t = 1)	อัตราบิตที่ต้องใช้	
	bps	%
(14, 10)	9600	30
(21, 16)	7680	24
(25, 20)	6400	20
(30, 25)	5440	17
(46, 40)	4160	13

## 4.2 ค่าวัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่ใช้

ค่าที่ใช้วัดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีหรือเทคนิคที่ใช้ในการจำลองนี้ใช้ค่าเชิงปริวิสัยในการวัดมี 2 แบบได้แก่ค่าคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR และจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ดังนี้

### 4.2.1 ค่าคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR

ค่าคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR นอกจะขึ้นกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระแสบิตแล้ว ยังมีปัจจัยในเรื่องของการทำงานภายในของตัวตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัส ทั้งด้านเข้ารหัสเช่น การควบคุมอัตรา การทำนายการเคลื่อนที่ และทางด้านตัวถอดรหัสเช่น การปกปิดความผิดพลาด การชดเชยการเคลื่อนที่ ค่า PSNR จึงเป็นค่าวัดรวมของระบบ ทั้งตัวตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสและช่องสัญญาณ

### 4.2.2 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสเป็นค่าวัดที่ได้รับผลจากช่องสัญญาณเพียงอย่างเดียว ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบการทำงานภายในของตัวเข้ารหัส/ตัวถอดรหัสวีดิทัศน์ จึงเป็นวิธีที่วัดความสามารถในการรับมือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณของแต่ละวิธีได้ คือเป็นตัววัดเฉพาะช่องสัญญาณ

### 4.3 ผลการจำลอง

การจำลองมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์หลายส่วนและหลายค่า ผลการจำลองสามารถจัดเป็นกลุ่มของการจำลองได้ดังตารางที่ 4.5 ด้วยการแยกประเภทหลักและกำหนดให้ใช้ตัวย่อเพื่อความสะดวกในการอ่านผลการจำลองดังนี้ การจำลองที่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ ERR, การจำลองที่มีการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ FMO, การจำลองที่มีการใช้งานการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า FEC และการจำลองที่มีการใช้การอินเตอร์ลีฟิงระดับบิต INT

ตารางที่ 4.5 กลุ่มของผลการจำลองจัดตามชนิดของพารามิเตอร์

หัวข้อการจำลอง	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง		
	Error	FMO	FEC
4.4.1			✓
4.4.2		✓	
4.5.1	✓		
4.5.2	✓	✓	
4.5.3	✓		✓
4.5.4	✓	✓	✓

### 4.4 กรณีไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ

การจำลองกรณีไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลต่อตัววัดคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR ที่เกิดจากการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ และการควบคุมอัตราที่ต้องลดจำนวนบิตสำหรับวีดิทัศน์ลงเพื่อแบ่งส่วนหนึ่งไปใช้กับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า การจำลองในส่วนนี้ไม่มีการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

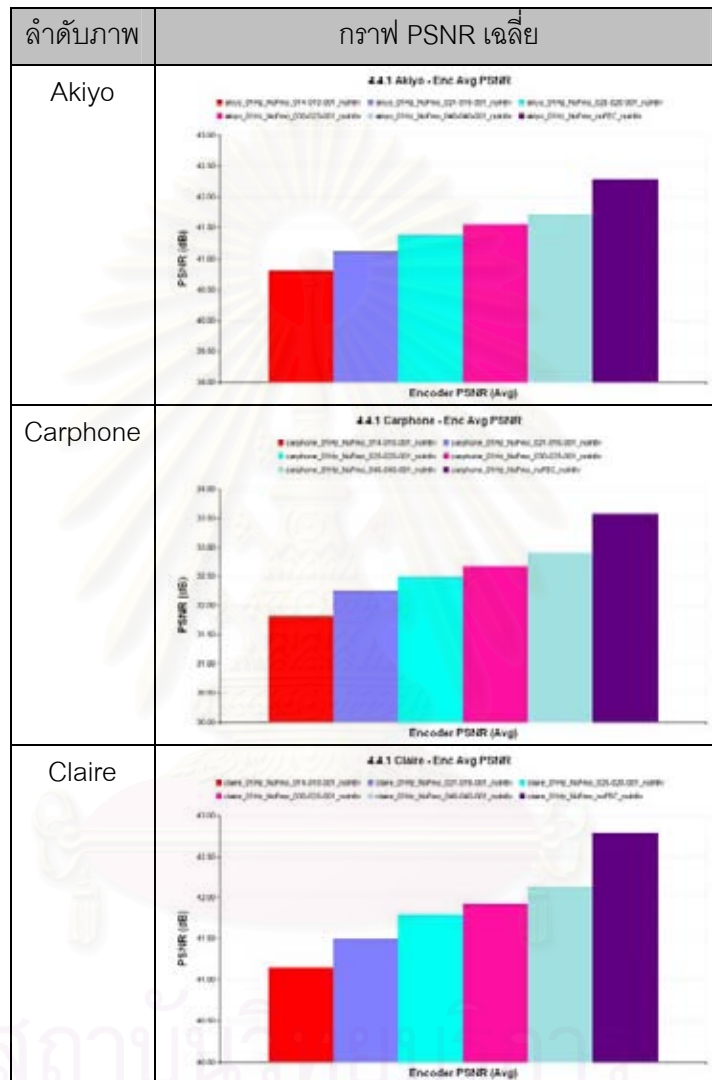
#### 4.4.1 ผลต่อค่า PSNR จากการควบคุมอัตราบิต

การจำลองเพื่อศึกษาผลจากการควบคุมอัตราบิตวีดิทัศน์ ที่ต้องลดจำนวนบิตสำหรับวีดิทัศน์ลดลงเนื่องจากต้องใช้บิตบางส่วนสำหรับเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า โดยไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณและไม่มีการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้

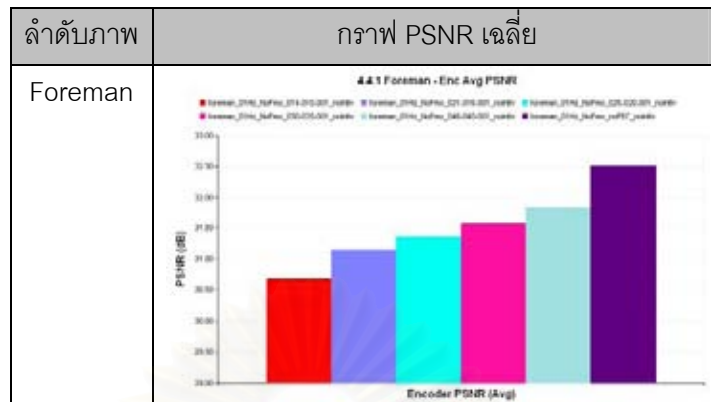
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.1

ลำดับภาพ	อัตราบิตวีดิทัศน์	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)
Akiyo	22400	(14, 10)	40.80
	24320	(21, 16)	41.12
	25600	(25, 20)	41.37
	26560	(30, 25)	41.54
	27840	(46, 40)	41.72
	32000	No FEC	<b>42.28</b>
Carphone	22400	(14, 10)	31.82
	24320	(21, 16)	32.25
	25600	(25, 20)	32.48
	26560	(30, 25)	32.66
	27840	(46, 40)	32.91
	32000	No FEC	<b>33.57</b>
Claire	22400	(14, 10)	41.15
	24320	(21, 16)	41.49
	25600	(25, 20)	41.79
	26560	(30, 25)	41.92
	27840	(46, 40)	42.14
	32000	No FEC	<b>42.78</b>
Foreman	22400	(14, 10)	30.69
	24320	(21, 16)	31.15
	25600	(25, 20)	31.35
	26560	(30, 25)	31.59
	27840	(46, 40)	31.84
	32000	No FEC	<b>32.50</b>

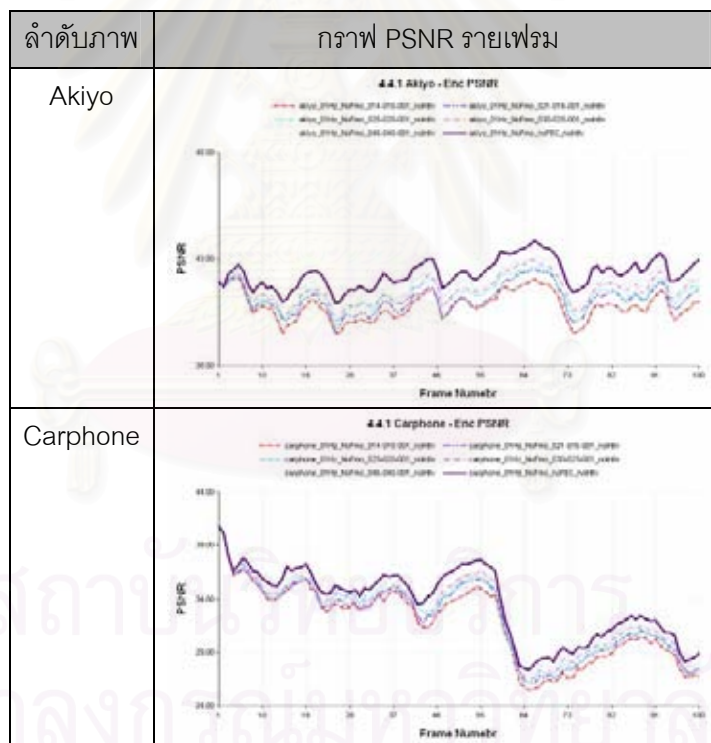
การจำลองกลุ่มนี้ใช้การควบคุมอัตราที่ค่าต่างกัน ซึ่งจำนวนบิตทั้งหมดจากตัวเข้ารหัสวีดิทัศน์และตัวเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า รวมกันแล้วต้องน้อยกว่าพิกัดแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่กำหนดไว้เท่ากับ 32 กิโลบิตต่อวินาที



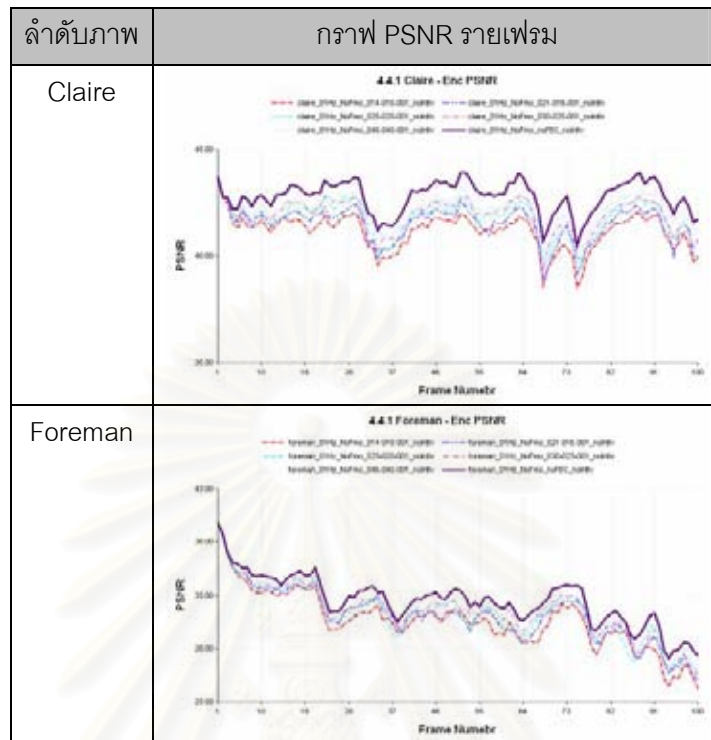
รูปที่ 4.1 กราฟ PSNR เฉลี่ยของการจำลอง 4.4.1



รูปที่ 4.1 กราฟ PSNR เฉลี่ยของการจำลอง 4.4.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.2 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.1



รูปที่ 4.2 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.1 (ต่อ)

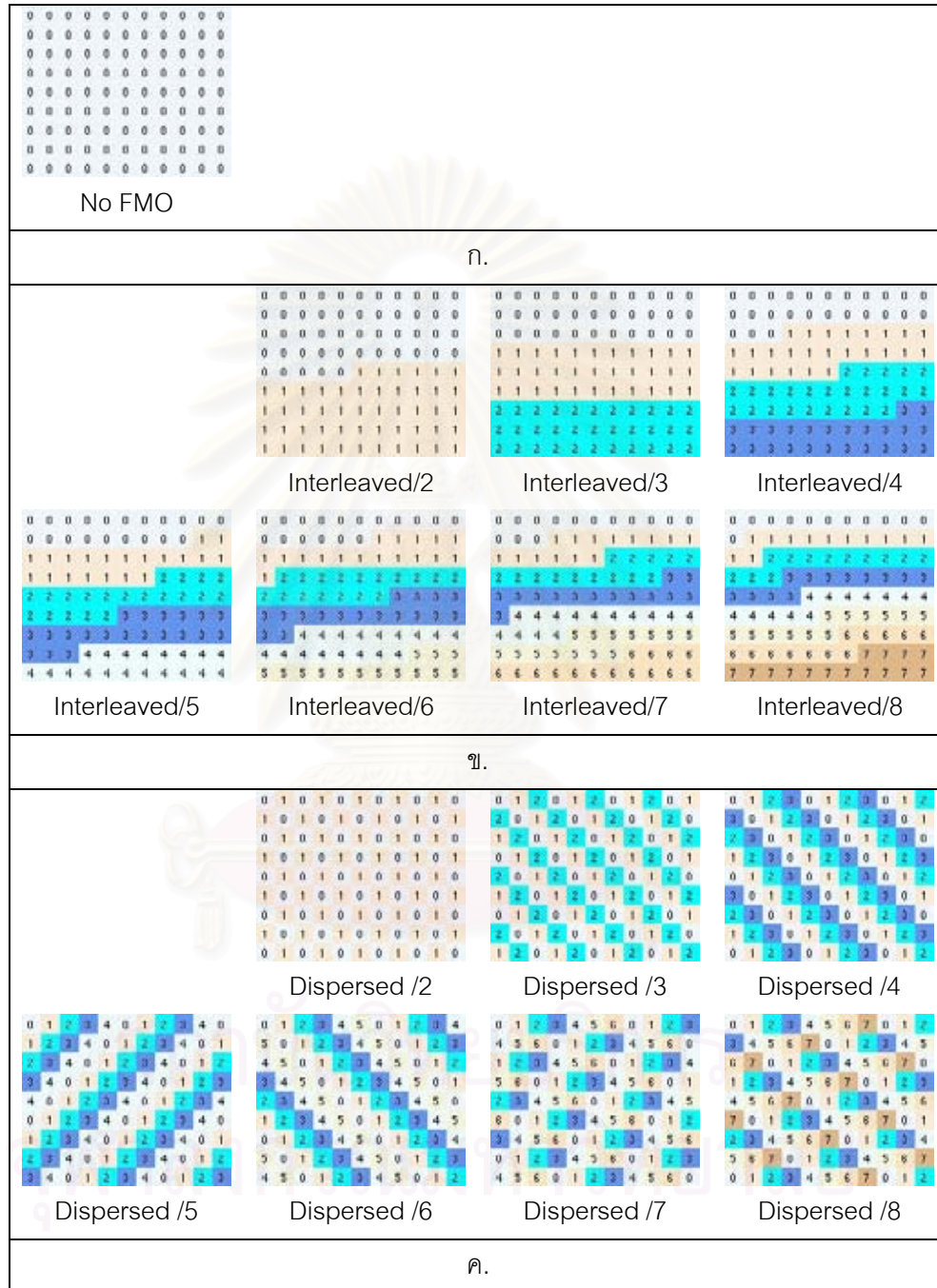
#### 4.4.2 ผลต่อค่า PSNR จากการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้

ผลการจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ที่มีผลต่อส่วนการทำนายการเคลื่อนที่ภายในตัวเข้ารหัส เนื่องจากการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้จำกัดการประมาณการเคลื่อนที่ของแมโครบล็อกอยู่แต่ภายในในสไลซ์ ซึ่งถ้าไม่มีการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ การทำนายการเคลื่อนที่จากทั้งเฟรมจะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ความแม่นยำสูงกว่า ทำการจำลองโดยไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณและมีการควบคุมอัตราที่ 32 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งเท่ากับพิกัดแบนด์วิดท์ที่กำหนดไว้ของช่องสัญญาณ กลุ่มของการจำลองแบ่งตามรูปแบบของแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ใช้ ทำการจำลองที่จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพตั้งแต่ 1 ถึง 8

##### 4.4.2.1 แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบคงที่

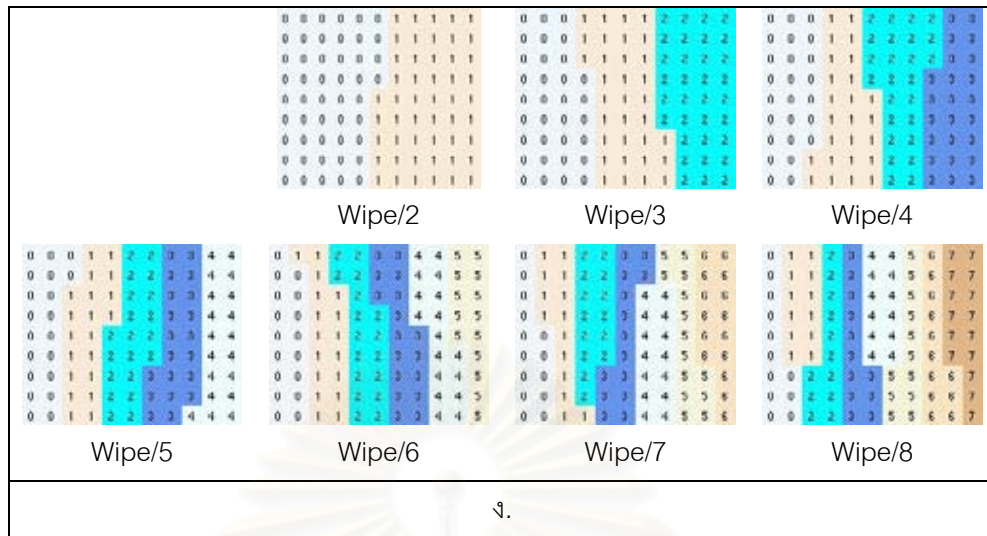
การเข้ารหัสด้วยแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบคงที่ใช้รูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบเดียวกันสำหรับการเข้ารหัสทุกเฟรม เป็นการใช้งานแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่นิยามด้วยพารามิเตอร์ ทำ

การจำลองกับแผนที่กลุ่มสไลซ์ 3 ชนิดได้แก่ Interleaved, Dispersed และ Wipe รูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์เป็นดังตาราง ตัวเลข 0 ถึง 7 ในภาพคือเลขระบุกลุ่มสไลซ์ SliceGroupID



รูปที่ 4.3 แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบคงที่ในการจำลอง 4.4.2.1





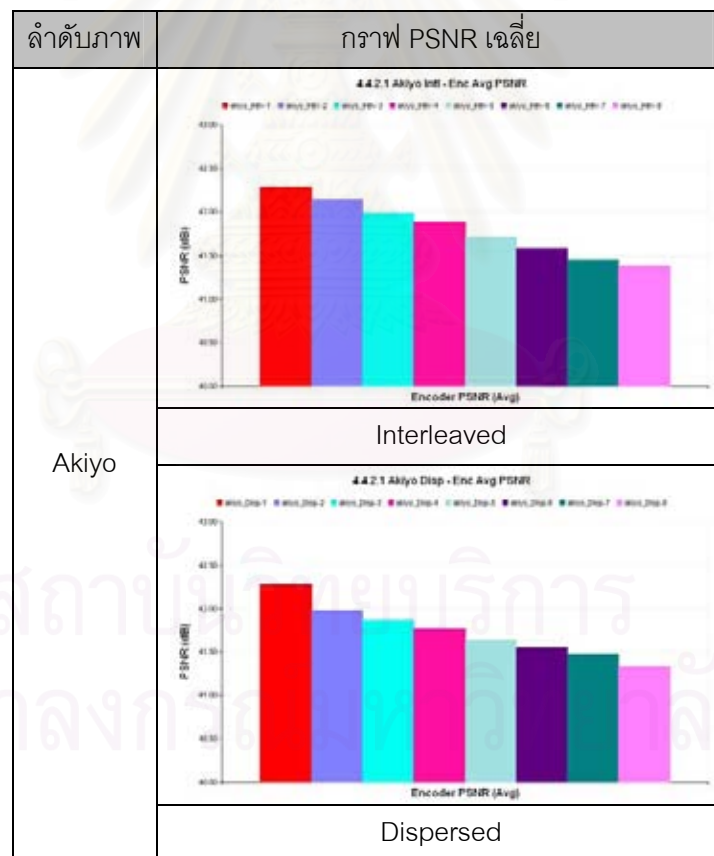
รูปที่ 4.3 แผนทึ่กลุ่มสไลซ์แบบคงที่ในการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.2.1

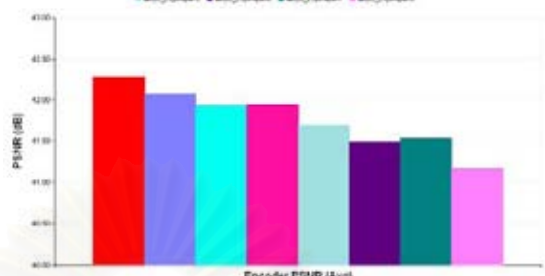
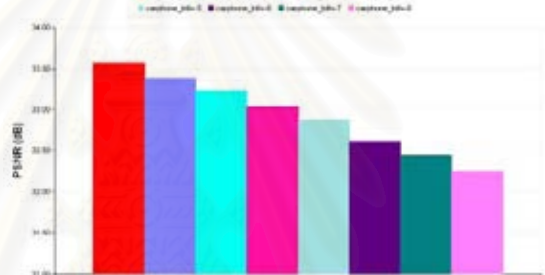

แผนทึ่กลุ่มสไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)							
	จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	42.28	42.14	41.98	41.88	41.71	41.59	41.46	41.38
Dispersed	42.28	41.99	41.87	41.76	41.63	41.54	41.48	41.33
Wipe	42.28	42.08	41.94	41.95	41.69	41.48	41.54	41.17
Akiyo								
Interleaved	33.57	33.39	33.23	33.04	32.87	32.61	32.44	32.24
Dispersed	33.57	33.01	32.89	32.64	32.49	32.34	32.19	32.04
Wipe	33.57	33.45	33.30	33.14	33.02	32.80	32.67	32.59
Carphone								
Interleaved	42.78	42.62	42.44	42.30	42.13	42.03	41.80	41.59
Dispersed	42.78	42.33	42.17	42.03	41.93	41.80	41.66	41.53
Wipe	42.78	42.66	42.48	42.25	42.17	42.11	41.98	41.89
Claire								

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)

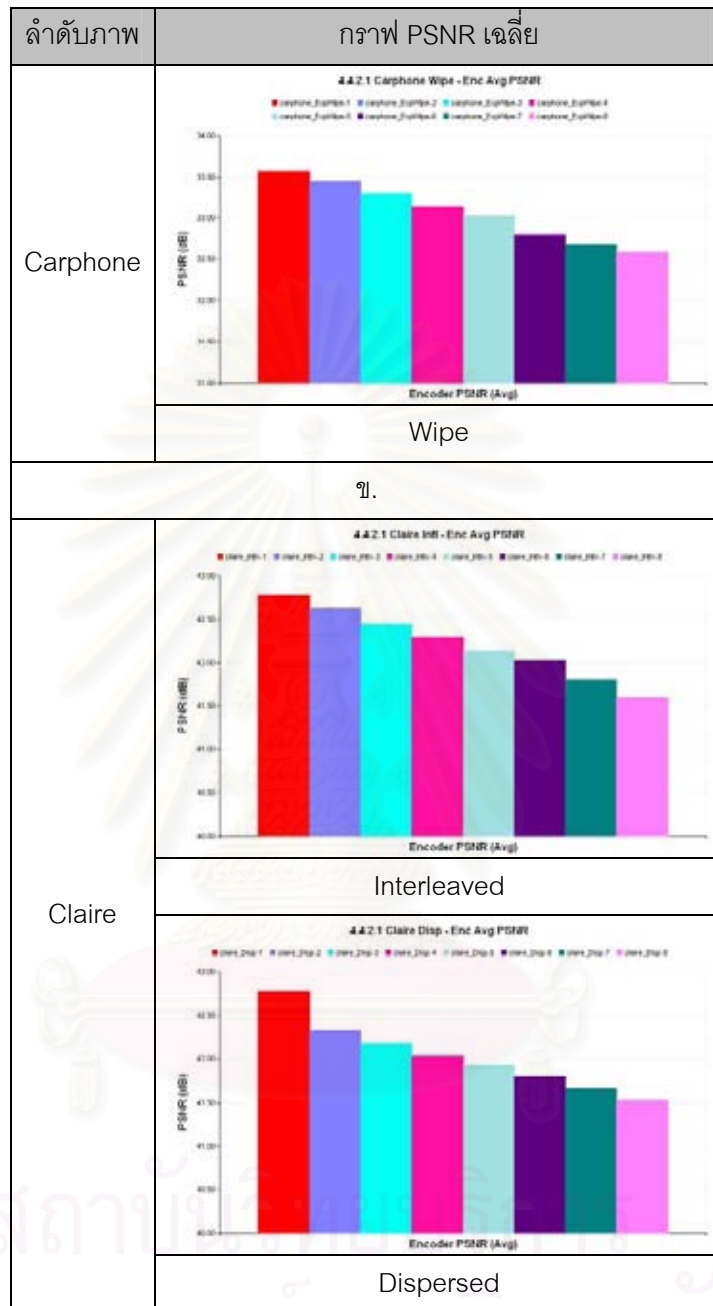
แผนที่ยกกลุ่มสไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)							
	จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	32.50	32.25	32.06	31.84	31.56	31.35	31.14	30.93
Dispersed	32.50	31.62	31.37	30.99	30.79	30.75	30.59	30.40
Wipe	32.50	32.35	31.73	31.83	31.62	31.44	31.32	31.19
Foreman								



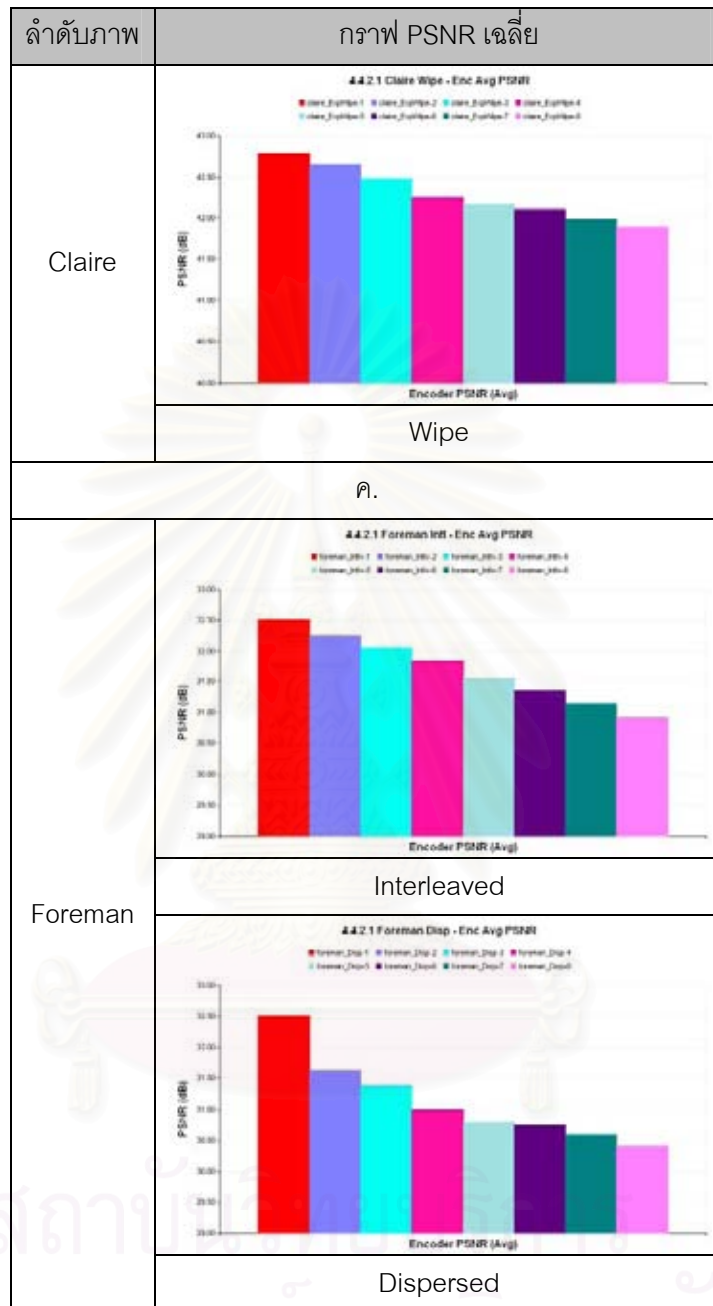
รูปที่ 4.4 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.1

ลำดับภาพ	กราฟ PSNR เฉลี่ย																		
Akiyo	<p>4.4.2.1 Akiyo Wipe - Enc Avg PSNR</p>  <table border="1"> <caption>Estimated Average PSNR for Akiyo Wipe</caption> <thead> <tr> <th>Encoder PSNR (Avg)</th> <th>Avg PSNR (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>42.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>42.2</td></tr> <tr><td>3</td><td>41.9</td></tr> <tr><td>4</td><td>41.9</td></tr> <tr><td>5</td><td>41.6</td></tr> <tr><td>6</td><td>41.0</td></tr> <tr><td>7</td><td>41.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>41.2</td></tr> </tbody> </table>	Encoder PSNR (Avg)	Avg PSNR (dB)	1	42.5	2	42.2	3	41.9	4	41.9	5	41.6	6	41.0	7	41.0	8	41.2
Encoder PSNR (Avg)	Avg PSNR (dB)																		
1	42.5																		
2	42.2																		
3	41.9																		
4	41.9																		
5	41.6																		
6	41.0																		
7	41.0																		
8	41.2																		
	Wipe																		
	ก.																		
Carphone	<p>4.4.2.1 Carphone WB - Enc Avg PSNR</p>  <table border="1"> <caption>Estimated Average PSNR for Carphone WB</caption> <thead> <tr> <th>Encoder PSNR (Avg)</th> <th>Avg PSNR (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>33.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>33.2</td></tr> <tr><td>3</td><td>32.8</td></tr> <tr><td>4</td><td>32.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>32.2</td></tr> <tr><td>6</td><td>31.8</td></tr> <tr><td>7</td><td>31.5</td></tr> <tr><td>8</td><td>32.5</td></tr> </tbody> </table>	Encoder PSNR (Avg)	Avg PSNR (dB)	1	33.5	2	33.2	3	32.8	4	32.5	5	32.2	6	31.8	7	31.5	8	32.5
Encoder PSNR (Avg)	Avg PSNR (dB)																		
1	33.5																		
2	33.2																		
3	32.8																		
4	32.5																		
5	32.2																		
6	31.8																		
7	31.5																		
8	32.5																		
	Interleaved																		
	<p>4.4.2.1 Carphone Disp - Enc Avg PSNR</p>  <table border="1"> <caption>Estimated Average PSNR for Carphone Disp</caption> <thead> <tr> <th>Encoder PSNR (Avg)</th> <th>Avg PSNR (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>33.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>32.8</td></tr> <tr><td>3</td><td>32.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>32.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>31.8</td></tr> <tr><td>6</td><td>31.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>31.2</td></tr> <tr><td>8</td><td>32.0</td></tr> </tbody> </table>	Encoder PSNR (Avg)	Avg PSNR (dB)	1	33.5	2	32.8	3	32.5	4	32.2	5	31.8	6	31.5	7	31.2	8	32.0
Encoder PSNR (Avg)	Avg PSNR (dB)																		
1	33.5																		
2	32.8																		
3	32.5																		
4	32.2																		
5	31.8																		
6	31.5																		
7	31.2																		
8	32.0																		
	Dispersed																		

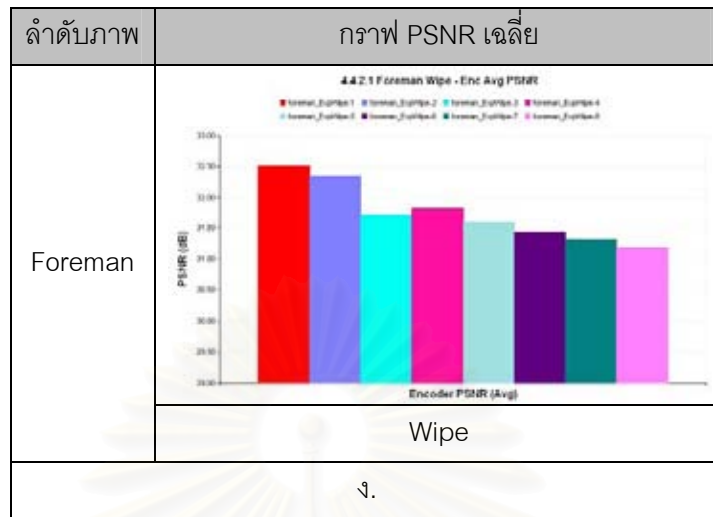
รูปที่ 4.4 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)



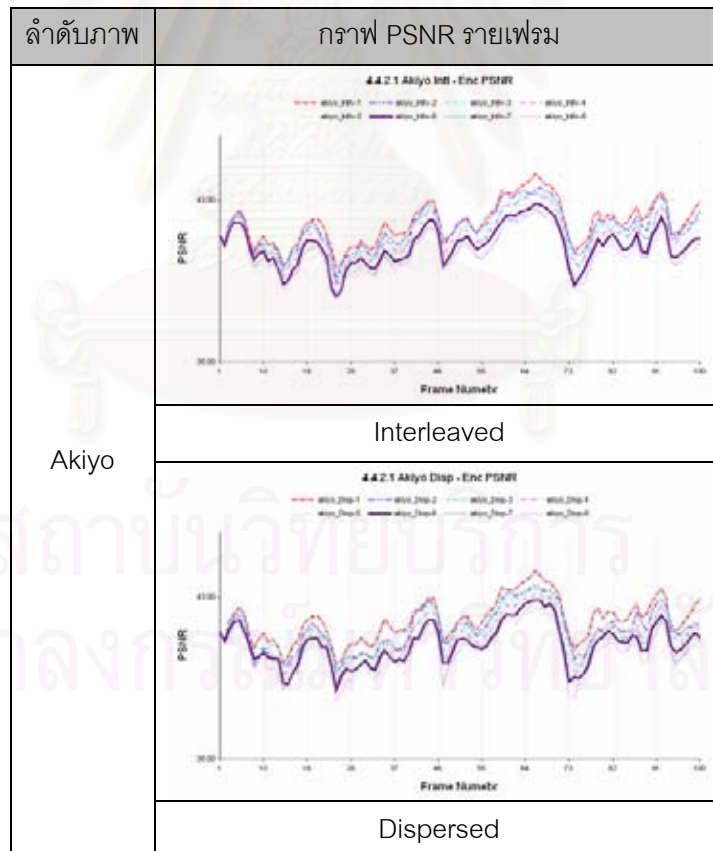
รูปที่ 4.4 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)



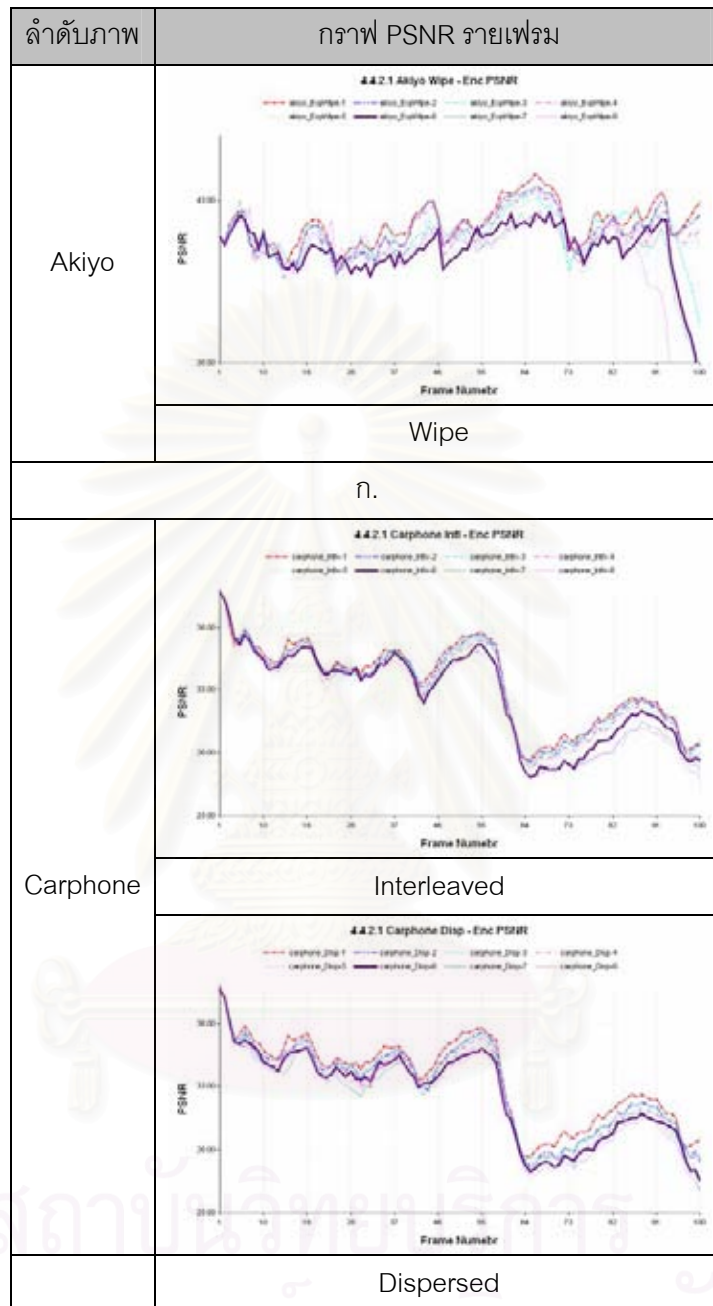
รูปที่ 4.4 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)



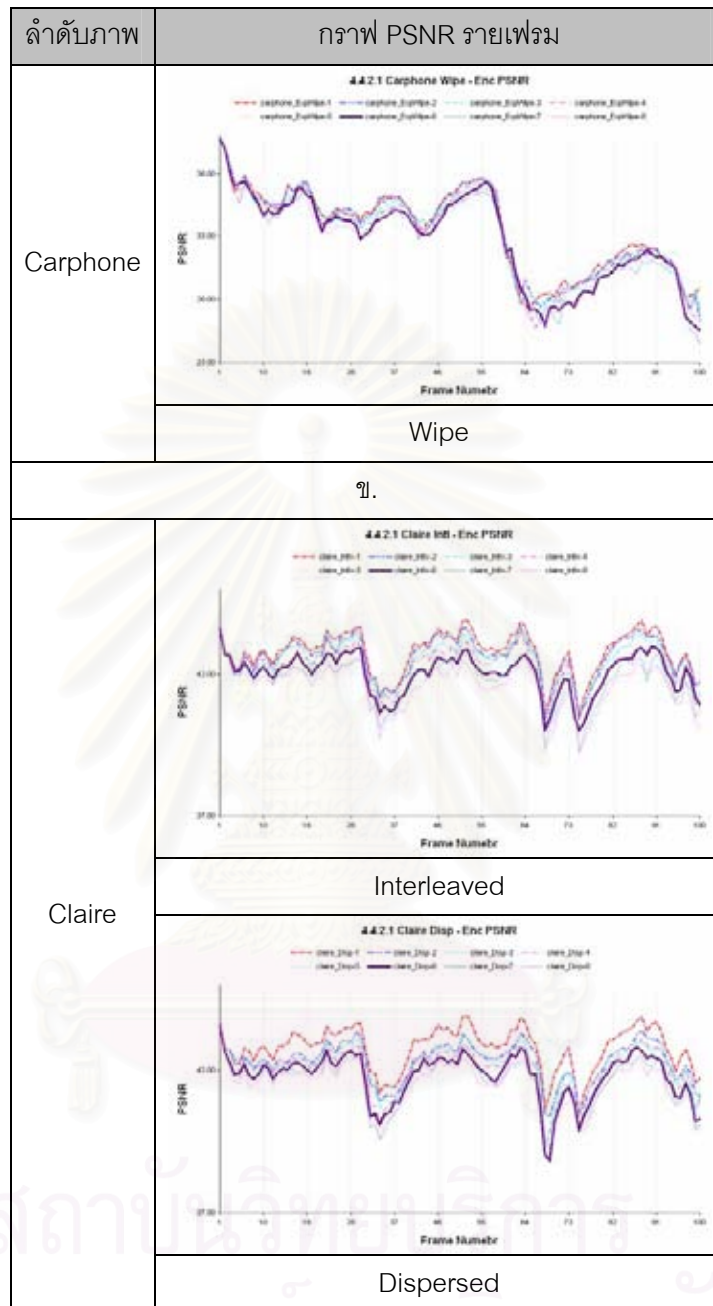
รูปที่ 4.4 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.5 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.1

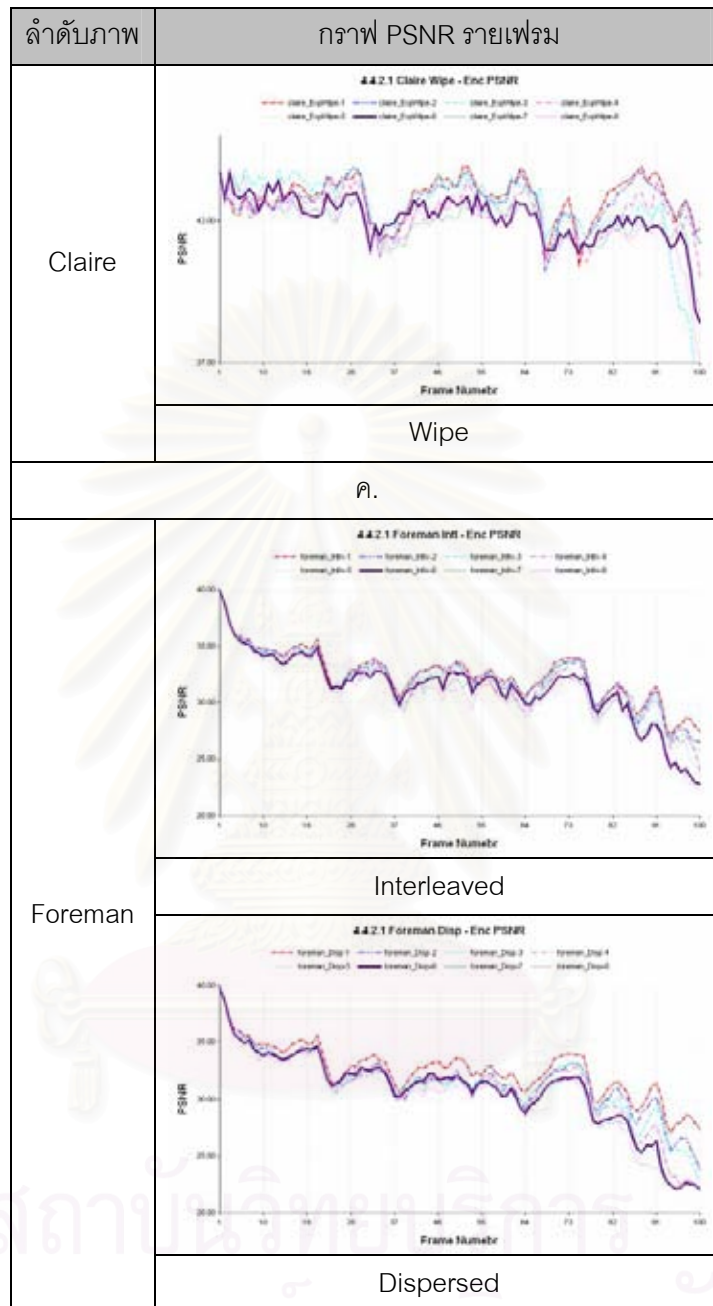


รูปที่ 4.5 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)

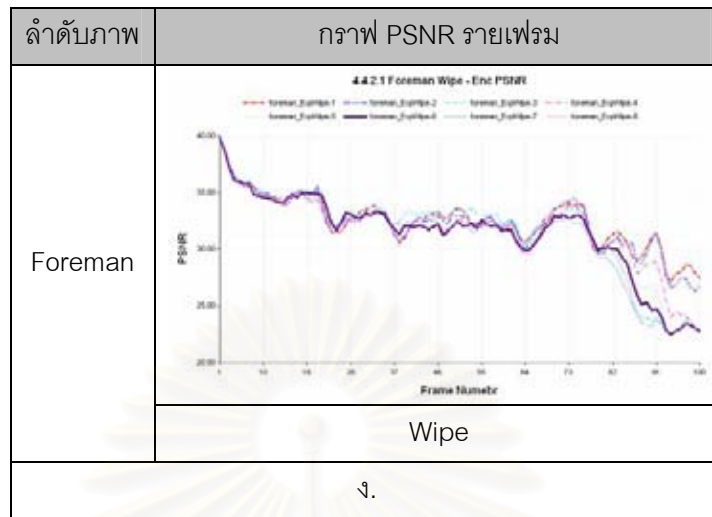


รูปที่ 4.5 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)





รูปที่ 4.5 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.5 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.1 (ต่อ)

#### 4.4.2.2 แผนที่ยกุ่มสไลซ์แบบเปลี่ยนแปลงได้

การเข้ารหัสด้วยแผนที่ยกุ่มสไลซ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ใช้รูปแบบแผนที่ยกุ่มสไลซ์ต่างกันสำหรับการเข้ารหัสแต่ละเฟรม ซึ่งวิธีการสร้างแผนที่ยกุ่มสไลซ์สำหรับแต่ละเฟรมใช้หลักการดังอธิบายในบทที่ 3 หัวข้อ 3.5 การจำลองใช้แผนที่ยกุ่มสไลซ์ที่สร้างจากค่าวัดความสำคัญคือ แผนที่ยกุ่มสไลซ์ที่สร้างจากจำนวนบิตที่ใช้สำหรับเข้ารหัสแมโครบล็อก (BitsUsed) ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.5.2

ตัวอย่างของแผนที่ยกุ่มสไลซ์ที่สร้างจากวิธีที่นำเสนอของลำดับภาพ Akiyo เมื่อใช้จำนวนสไลซ์ต่อเฟรมเท่ากับ 8 ของเฟรมที่ 1, 50 และ 100 แสดงในรูปที่ 4.6

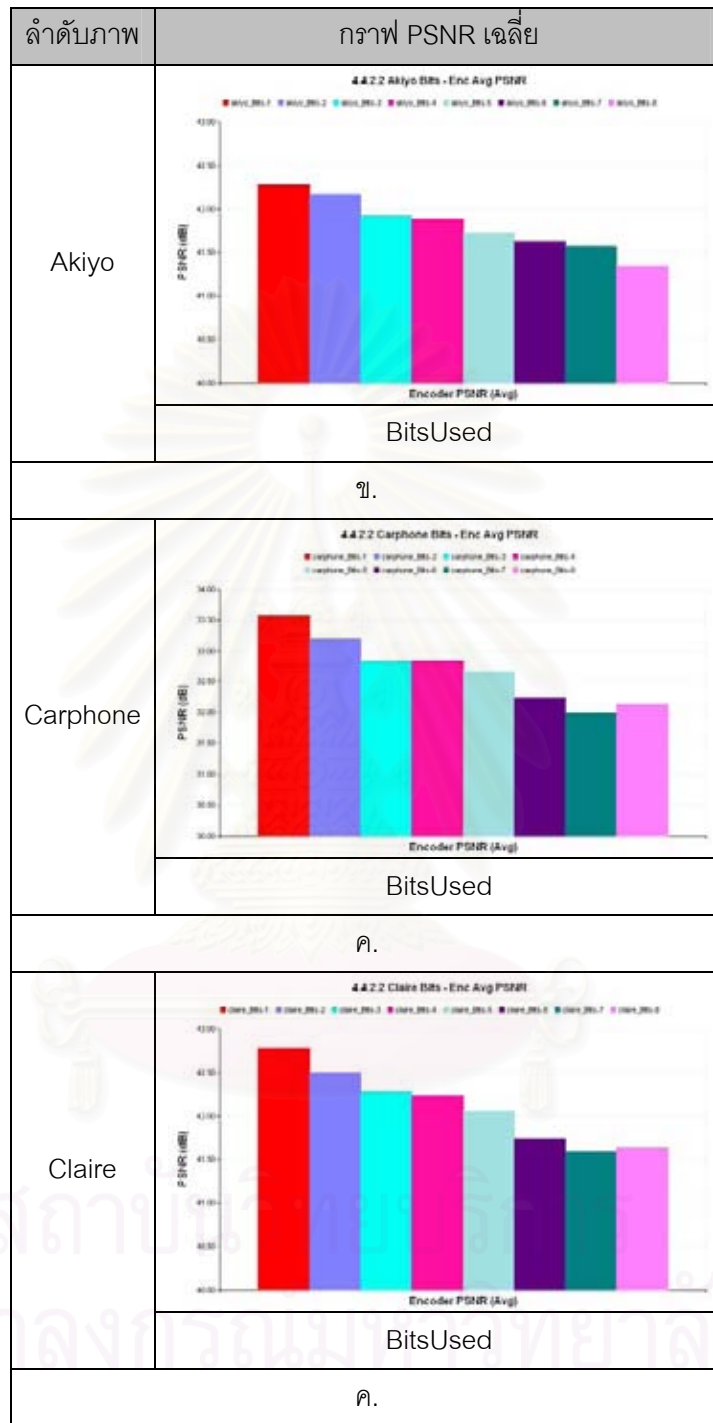
สสว. วิทยาลัยบูรณาการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<table border="1"> <tbody> <tr><td>5</td><td>0</td><td>7</td><td>5</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>7</td><td>6</td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>4</td><td>7</td><td>4</td><td>6</td><td>0</td><td>6</td><td>5</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>6</td><td>5</td><td>0</td><td>3</td><td>5</td><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>6</td><td>4</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td><td>2</td><td>2</td><td>7</td><td>0</td><td>7</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>7</td><td>1</td><td>2</td><td>5</td><td>4</td><td>2</td><td>7</td><td>5</td><td>0</td><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>3</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>6</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	5	0	7	5	2	3	3	2	0	7	6	3	7	1	0	2	4	4	5	0	1	1	3	2	4	7	4	6	0	6	5	1	5	4	3	6	5	0	3	5	3	6	4	2	2	7	6	4	5	4	3	2	0	0	5	4	6	2	2	7	0	7	7	0	1	5	7	1	2	5	4	2	7	5	0	6	0	6	2	4	6	3	1	3	7	3	6	7	1	1	4	1	3	1	1	0	1	6	2	<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>6</td><td>4</td><td>7</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>4</td><td>2</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>6</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>2</td><td>0</td><td>5</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>6</td><td>7</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>7</td><td>5</td><td>6</td><td>3</td><td>7</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	3	0	1	2	3	4	5	6	7	0	6	4	7	1	2	3	4	5	6	7	0	1	4	2	4	1	2	3	4	5	6	7	0	5	1	6	0	1	2	3	4	5	6	2	0	5	7	0	1	2	3	4	5	6	6	7	1	0	0	1	2	3	4	7	5	6	3	7	0	5	1	2	3	4	5	6	7	2	0	1	3	7	2	<table border="1"> <tbody> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>7</td><td>3</td><td>6</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>5</td><td>1</td><td>7</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>2</td><td>7</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>0</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>6</td><td>5</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>5</td><td>2</td><td>7</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>5</td><td>4</td><td>6</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>3</td><td>5</td><td>6</td><td>2</td><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	7	3	6	3	4	5	6	7	0	1	2	5	1	7	3	3	4	5	6	7	0	1	1	4	1	0	2	3	4	5	6	7	0	2	7	3	4	1	2	3	4	5	0	6	0	0	6	5	7	0	1	2	3	4	5	6	5	2	7	2	0	1	2	3	4	1	5	4	6	7	0	1	2	3	6	4	3	5	6	2	7	0	1	2
5	0	7	5	2	3	3	2	0	7	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	7	1	0	2	4	4	5	0	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	2	4	7	4	6	0	6	5	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	3	6	5	0	3	5	3	6	4	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	7	6	4	5	4	3	2	0	0	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	6	2	2	7	0	7	7	0	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	1	2	5	4	2	7	5	0	6	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	2	4	6	3	1	3	7	3	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	1	4	1	3	1	1	0	1	6	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	5	6	7	0	3	0	1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	6	7	0	6	4	7	1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	6	7	0	1	4	2	4	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	5	6	7	0	5	1	6	0	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	4	5	6	2	0	5	7	0	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	4	5	6	6	7	1	0	0	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	4	7	5	6	3	7	0	5	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	4	5	6	7	2	0	1	3	7	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	0	1	2	7	3	6	3	4	5	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	0	1	2	5	1	7	3	3	4	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	7	0	1	1	4	1	0	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	6	7	0	2	7	3	4	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	5	0	6	0	0	6	5	7	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	3	4	5	6	5	2	7	2	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	3	4	1	5	4	6	7	0	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	6	4	3	5	6	2	7	0	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
BitsUsed (32 kbps)/1	BitsUsed (32 kbps)/50	BitsUsed (32 kbps)/100																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

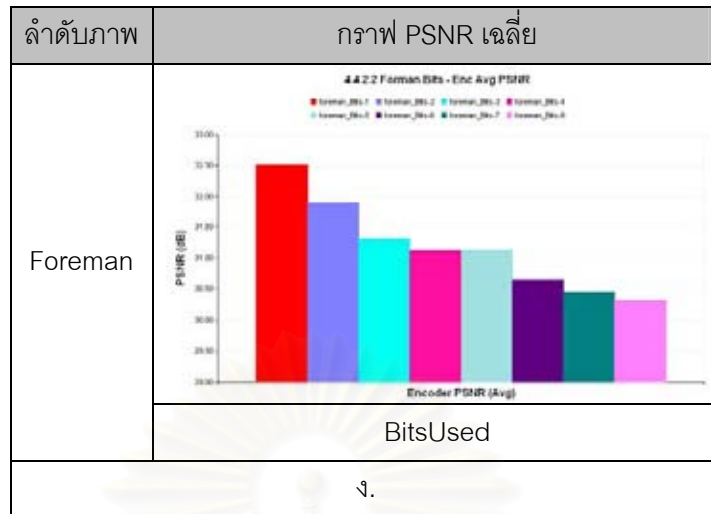
รูปที่ 4.6 แผนทีกลุ่มสไลซ์ที่สร้างจากวิธีที่นำเสนอของลำดับภาพ Akiyo

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย PSNR ของการจำลอง 4.4.2.2

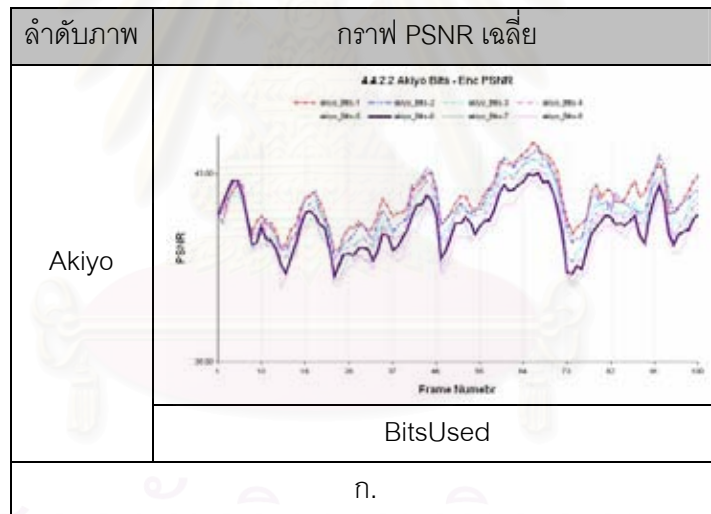
ลำดับภาพ	แผนที่ กลุ่มสไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)							
		จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Akiyo	BitsUsed	<b>42.28</b>	42.17	41.92	41.88	41.72	41.62	41.57	41.34
Carphone	BitsUsed	<b>33.57</b>	33.20	32.84	32.85	32.67	32.23	31.99	32.13
Claire	BitsUsed	<b>42.78</b>	42.49	42.29	42.23	42.06	41.74	41.59	41.63
Foreman	BitsUsed	<b>32.50</b>	31.90	31.31	31.12	31.13	30.65	30.45	30.32



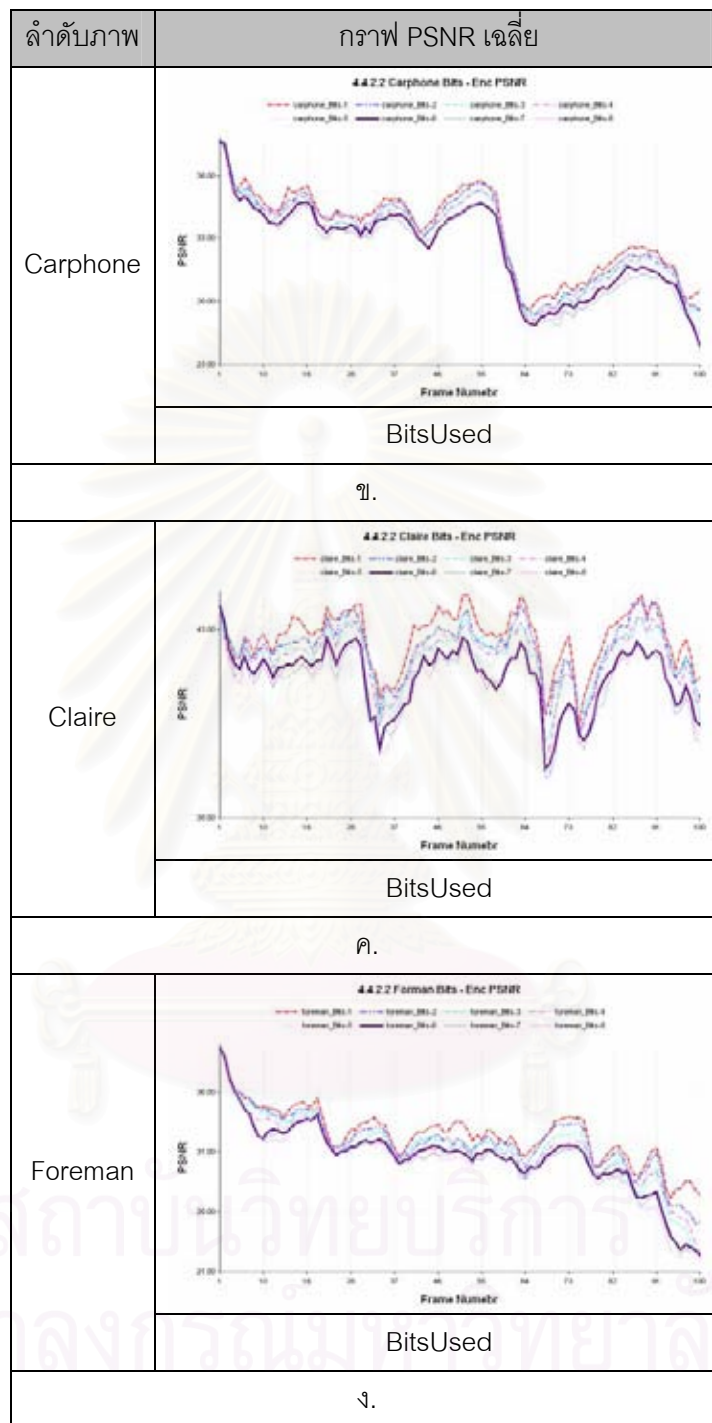
รูปที่ 4.7 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.2



รูปที่ 4.7 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.4.2.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.8 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.2



รูปที่ 4.8 กราฟ PSNR รายเฟรมของการจำลอง 4.4.2.2 (ต่อ)

#### 4.5 กรณีมีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ

การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของความผิดพลาดในช่องสัญญาณต่อค่าวัดคุณภาพวีดิทัศน์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการควบคุมความผิดพลาดแต่ละวิธีเมื่อใช้พารามิเตอร์ต่างกัน

##### 4.5.1 ไม่มีการควบคุมความผิดพลาด

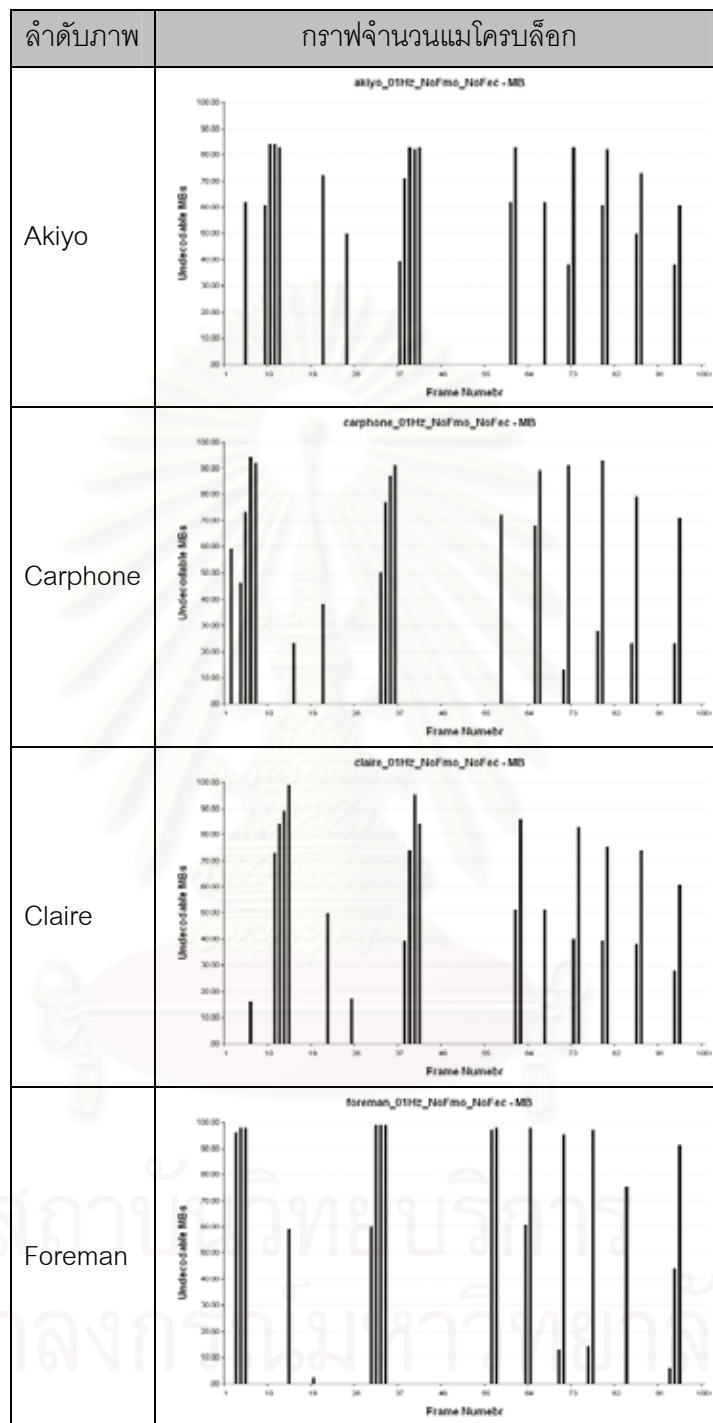
การจำลองกลุ่มนี้ให้ความสนใจเฉพาะผลจากความผิดพลาดในช่องสัญญาณที่ผลต่อค่าวัดคุณภาพวีดิทัศน์ เพื่อเป็นค่าฐานสำหรับเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น การเข้ารหัสไม่มีการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า และการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ร่วมด้วย และใช้การควบคุมอัตราที่ 32 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งเท่ากับพิกัดแบนด์วิดท์ที่กำหนดไว้ของช่องสัญญาณ ผลการจำลองแบ่งเป็น 2 กรณีได้แก่ กรณีเฟดดิ้งช้าในหัวข้อ 4.5.1.1 และกรณีเฟดดิ้งเร็วในหัวข้อ

##### 4.5.1.2

##### 4.5.1.1 กรณีเฟดดิ้งช้า

ตารางที่ 4.9 ค่าตัววัดประสิทธิภาพของการจำลองข้อ 4.5.1.1

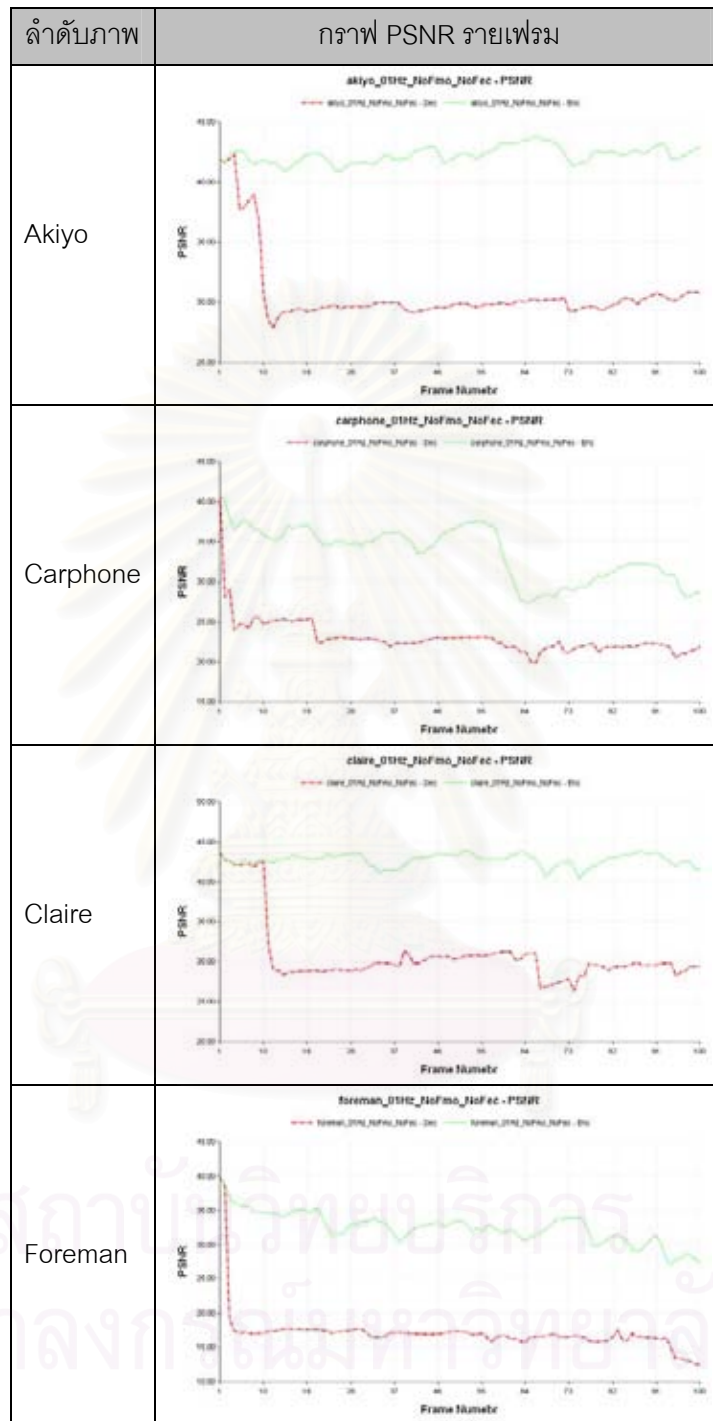
ลำดับภาพ	จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)		
		ไม่มีความผิดพลาด	มีความผิดพลาด	ผลต่าง
Akiyo	1547	42.28	30.71	11.57
Carphone	1380	33.57	23.04	10.53
Claire	1346	42.78	30.82	11.97
Foreman	1499	32.50	17.11	15.39



รูปที่ 4.9 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รายเฟรมจากการจำลอง

4.5.1.1



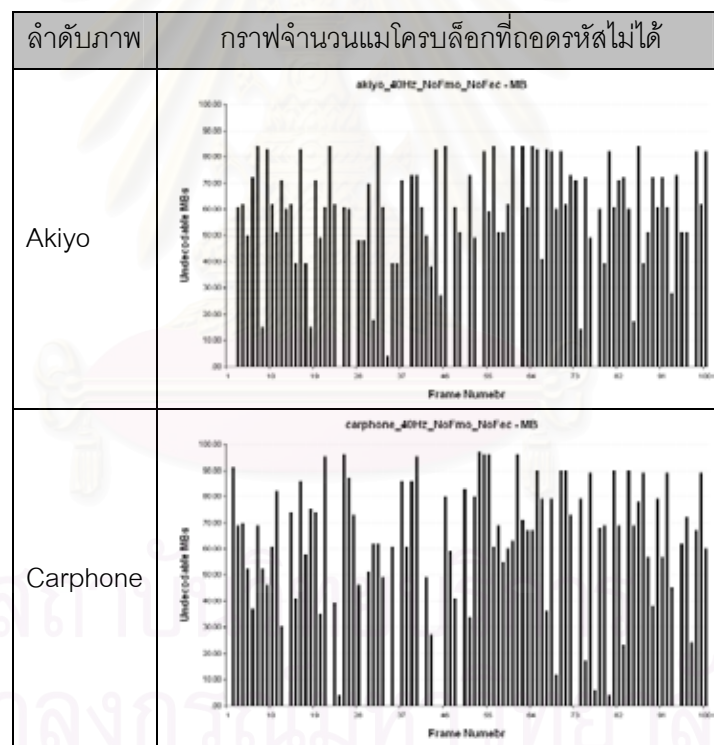


รูปที่ 4.10 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.1

## 4.5.1.2 กรณีเฟตติงเร็ว

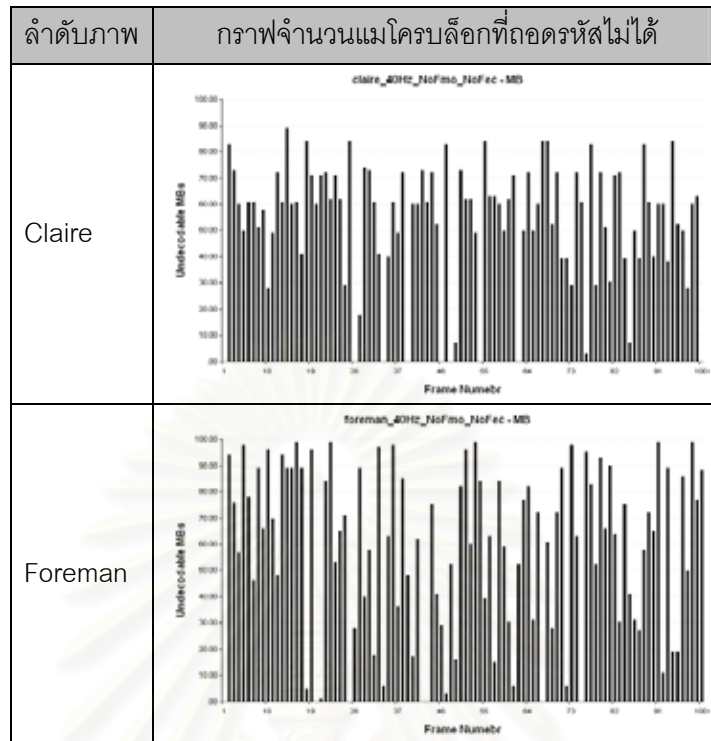
ตารางที่ 4.10 ค่าตัววัดประสิทธิภาพของการจำลองข้อ 4.5.1.2

ลำดับภาพ	จำนวนแมโครบล็อก ที่ถอดรหัสไม่ได้	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)		
		ไม่มีความผิดพลาด	มีความผิดพลาด	ผลต่าง
Akiyo	5367	42.28	27.63	14.65
Carphone	5634	33.57	19.01	14.56
Claire	5269	42.78	24.31	18.47
Foreman	5740	32.50	15.12	17.39

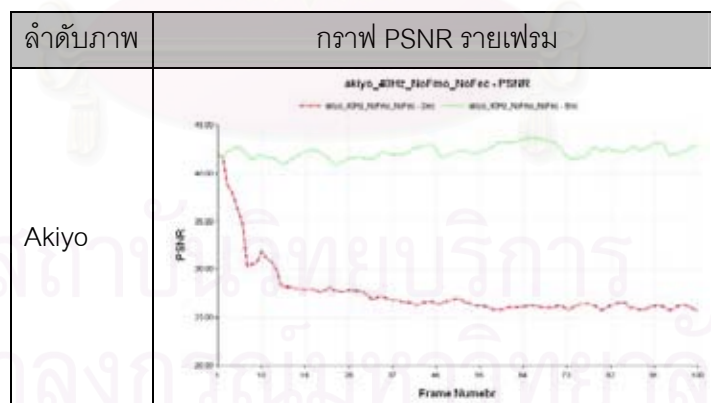


รูปที่ 4.11 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รายเฟรมจากการจำลอง

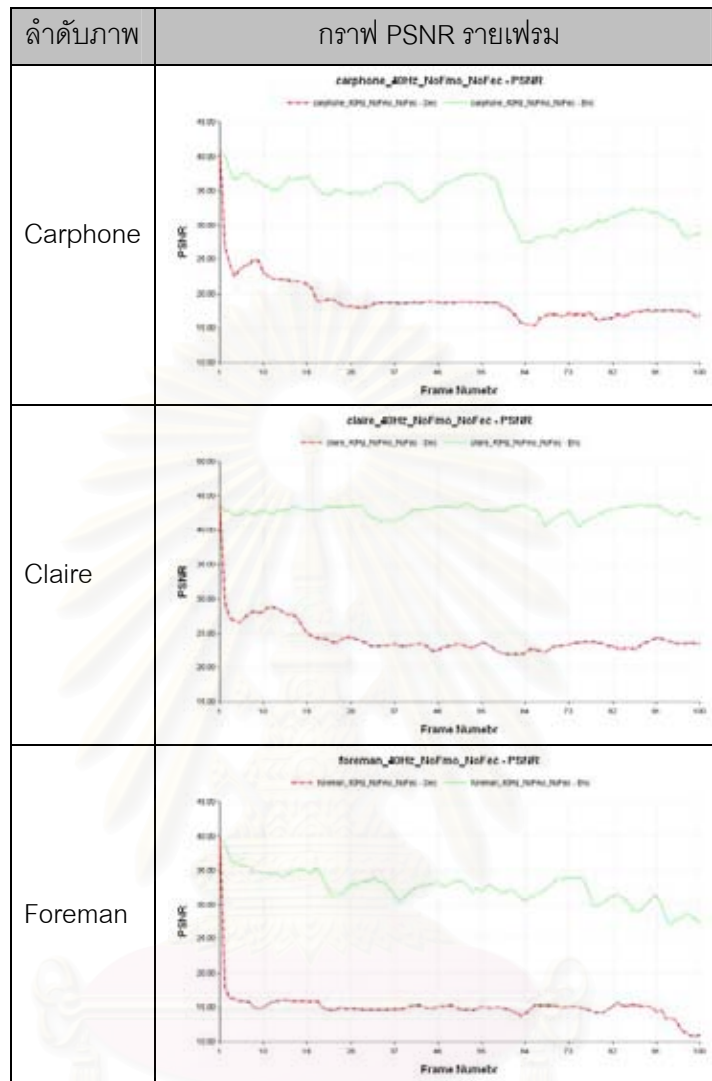
## 4.5.1.2



รูปที่ 4.11 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.12 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.2



รูปที่ 4.12 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.1.2 (ต่อ)

#### 4.5.2 ใช้การปรับเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้

การจำลองเพื่อศึกษาผลจากการใช้การปรับเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ เพื่อลดผลของความผิดพลาดในช่องสัญญาณที่มีต่อคุณภาพวิดีโอ การจำลองกลุ่มนี้ให้ความสนใจเฉพาะผลจากความผิดพลาดและมีการใช้งานการปรับเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ ใช้การควบคุมอัตราที่ 32 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งเท่ากับพิกัดแบนด์วิดท์ที่กำหนดไว้ของช่องสัญญาณ ผลการจำลองแบ่งเป็น 2 กรณีได้แก่ กรณีเฟดดิ้งช้า และกรณีเฟดดิ้งเร็ว การจำลองนี้สนใจให้ความสำคัญ

กับรูปแบบและจำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพว่ามีความสัมพันธ์อย่างไรกับคุณภาพของวีดิทัศน์และจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

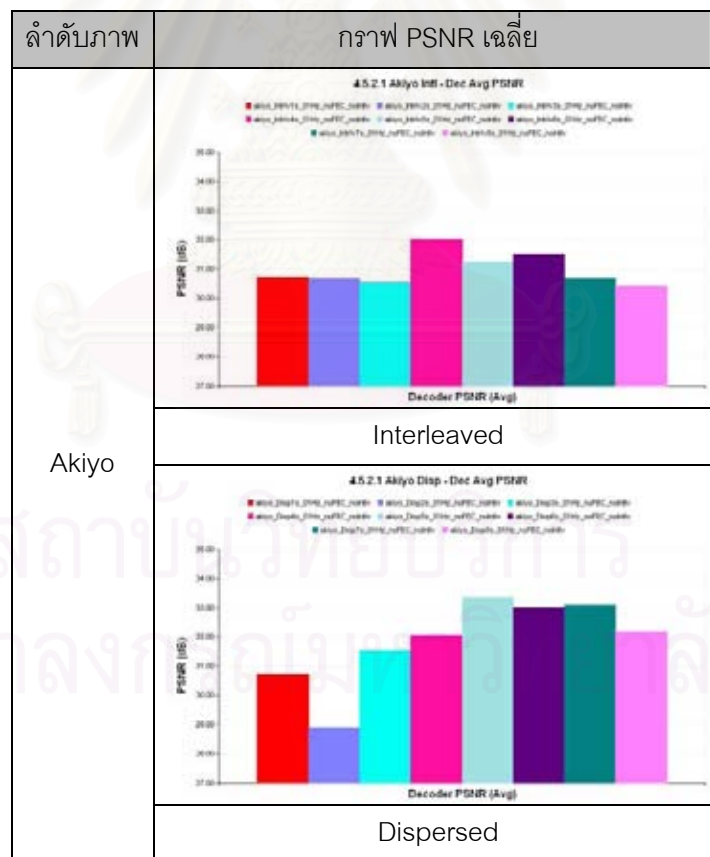
#### 4.5.2.1 กรณีเฟดดิ้งช้า

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.2.1

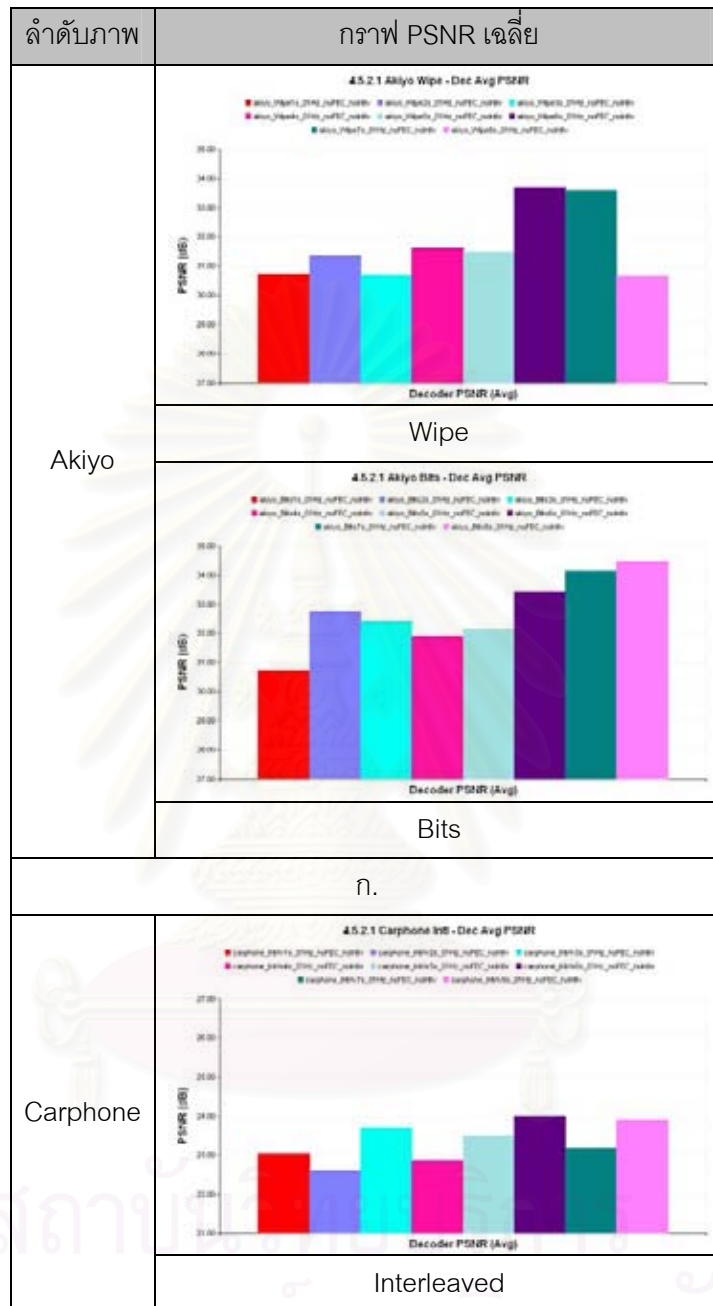
แผนที่ยกกลุ่ม สไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)								
	ไม่มีความ	จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	ผิดพลาด	30.71	30.67	30.54	<b>31.99</b>	31.23	31.50	30.67	30.40
Dispersed	42.28	30.71	28.90	31.51	32.05	<b>33.34</b>	32.99	33.09	32.18
Wipe		30.71	31.35	30.66	31.61	31.46	<b>33.70</b>	33.61	30.65
BitsUsed		30.71	32.76	32.41	31.88	32.15	33.44	34.13	<b>34.46</b>
Akiyo									
Interleaved	33.57	23.04	22.61	23.71	22.86	23.49	<b>24.02</b>	23.19	23.91
Dispersed		23.04	22.82	23.26	23.47	<b>23.97</b>	23.70	23.82	23.81
Wipe		23.04	22.45	22.61	23.59	<b>23.68</b>	22.73	23.23	23.08
BitsUsed		23.04	22.90	24.33	23.43	23.30	25.58	<b>26.21</b>	23.29
Carphone									
Interleaved	42.78	30.82	29.26	29.14	28.03	29.25	30.37	<b>31.60</b>	31.49
Dispersed		30.82	29.70	30.72	31.47	30.51	29.81	30.61	<b>31.49</b>
Wipe		<b>30.82</b>	30.15	30.37	29.63	30.16	30.55	29.19	29.01
BitsUsed		30.82	30.04	28.85	30.30	28.65	30.02	29.98	<b>31.12</b>
Claire									

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.2.1 (ต่อ)

แผนที่ กลุ่ม สไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)								
	ไม่มีมีความ	จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	ผิดพลาด	17.11	17.97	18.23	17.73	18.28	18.77	19.11	19.06
Dispersed	32.50	17.11	17.81	18.08	18.14	18.07	18.24	18.96	18.25
Wipe		17.11	18.45	17.76	18.33	18.20	18.35	17.97	18.30
BitsUsed		17.11	17.80	17.11	18.65	18.05	19.34	19.40	20.61
Foreman									



รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1

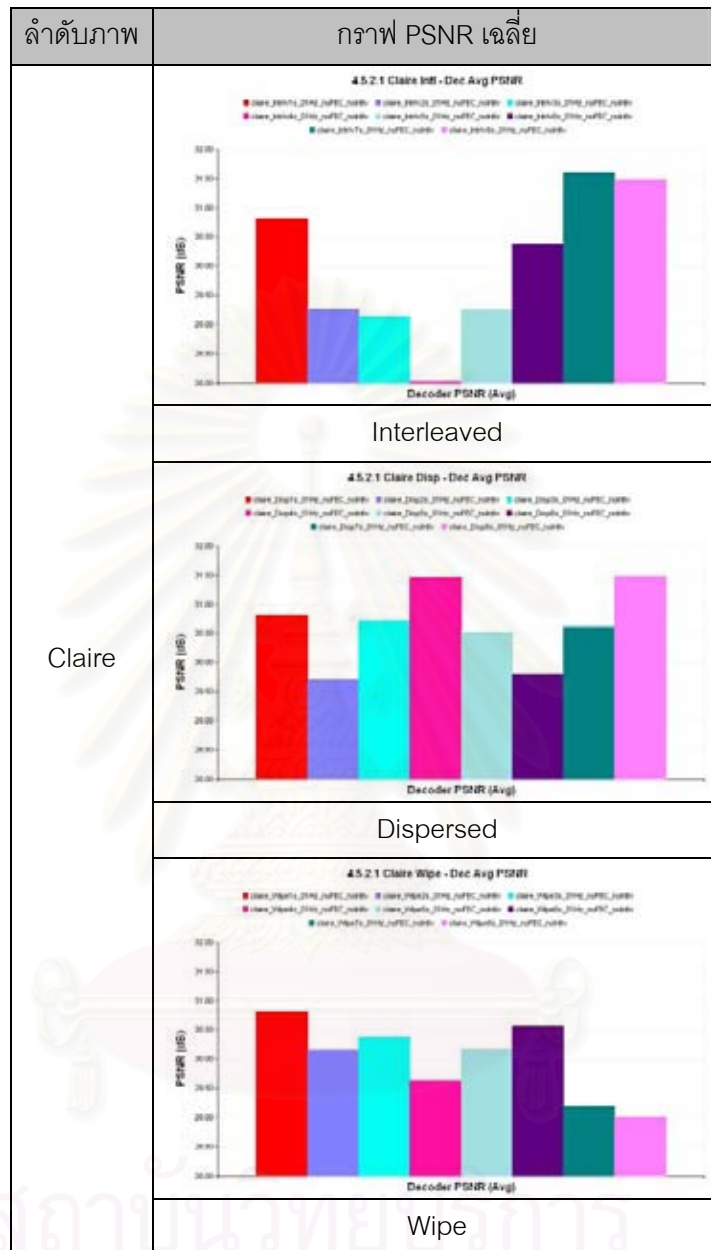


รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)

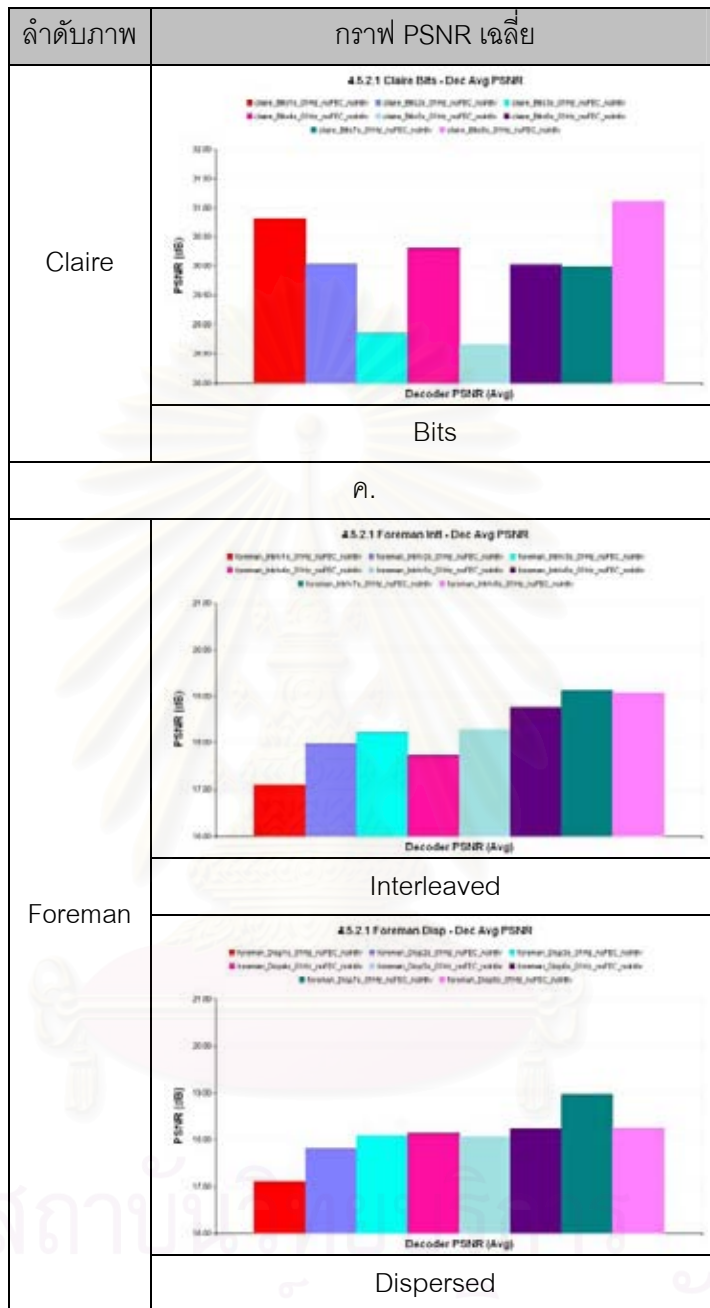
ลำดับภาพ	กราฟ PSNR เฉลี่ย
Carphone	<p>4.5.2.1 Carphone Disp - Dec Avg PSNR</p>
	Dispersed
	<p>4.5.2.1 Carphone Wipe - Dec Avg PSNR</p>
	Wipe
<p>4.5.2.1 Carphone Bits - Dec Avg PSNR</p>	
Bits	
	๗.

รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)

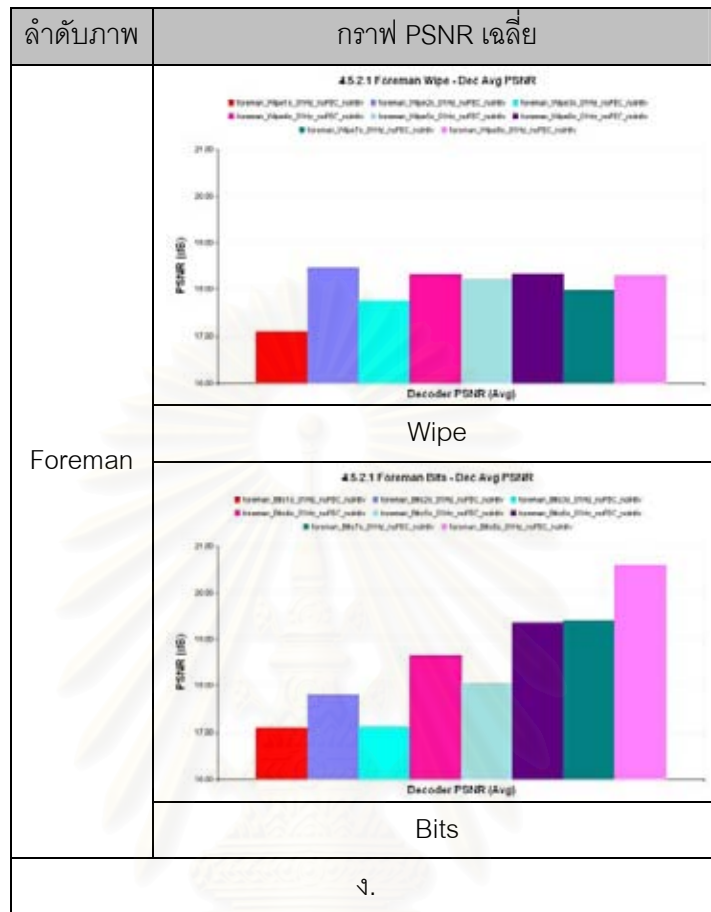




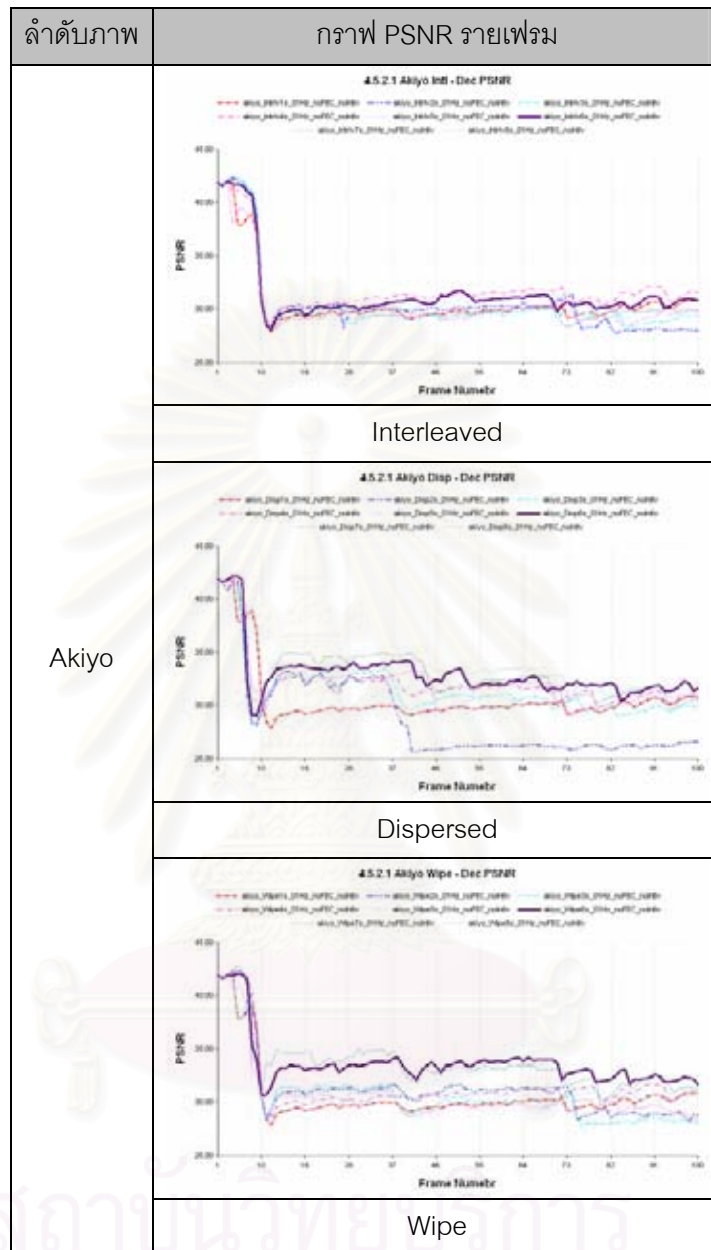
รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)



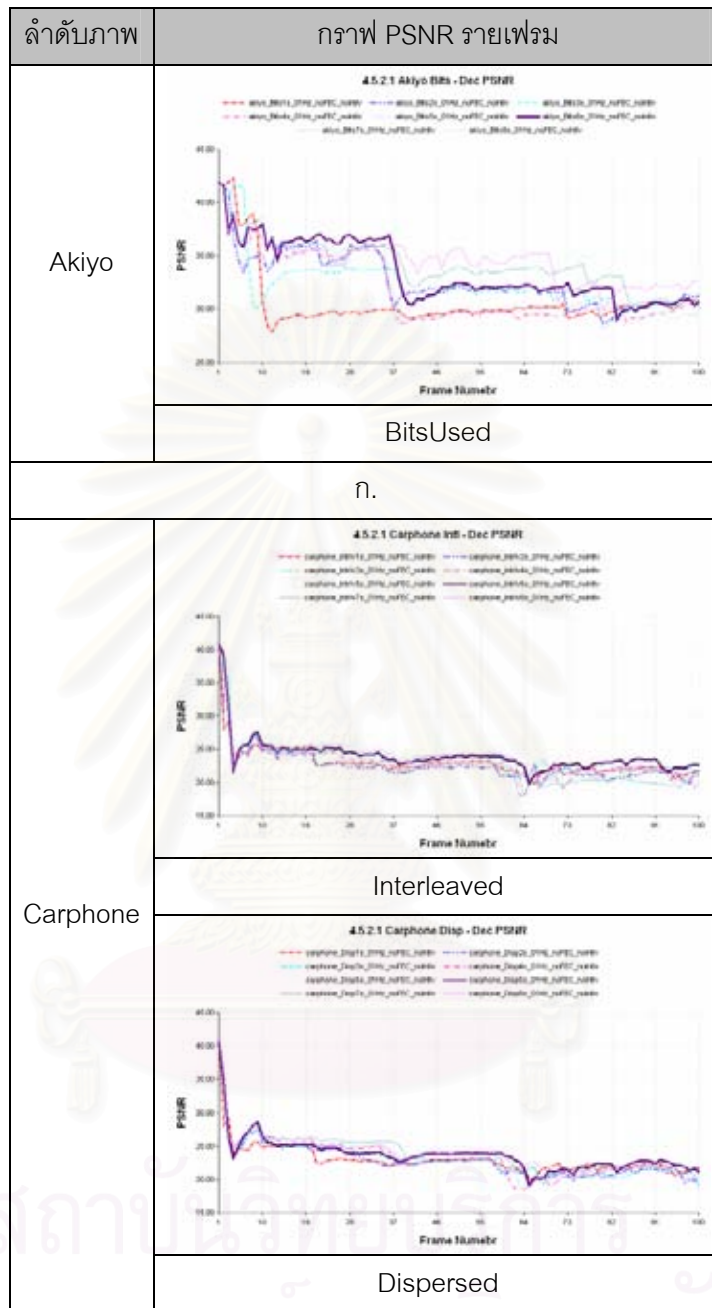
รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)



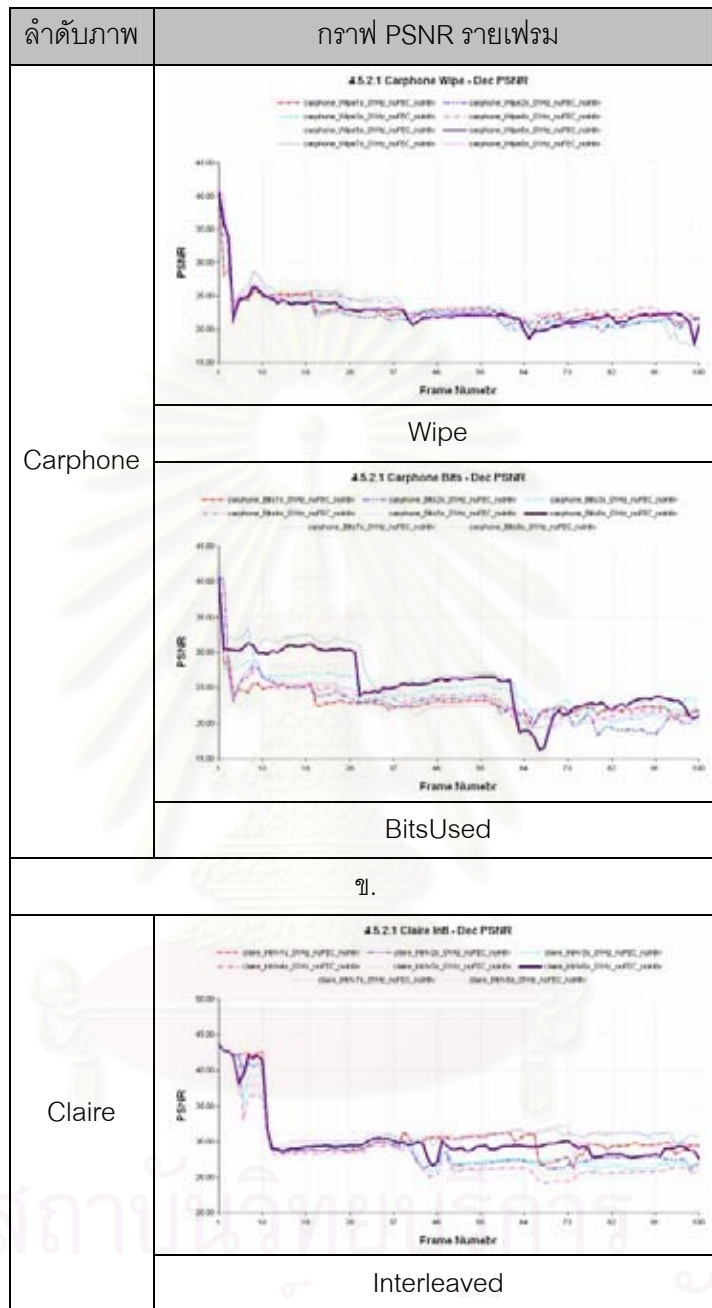
รูปที่ 4.13 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)



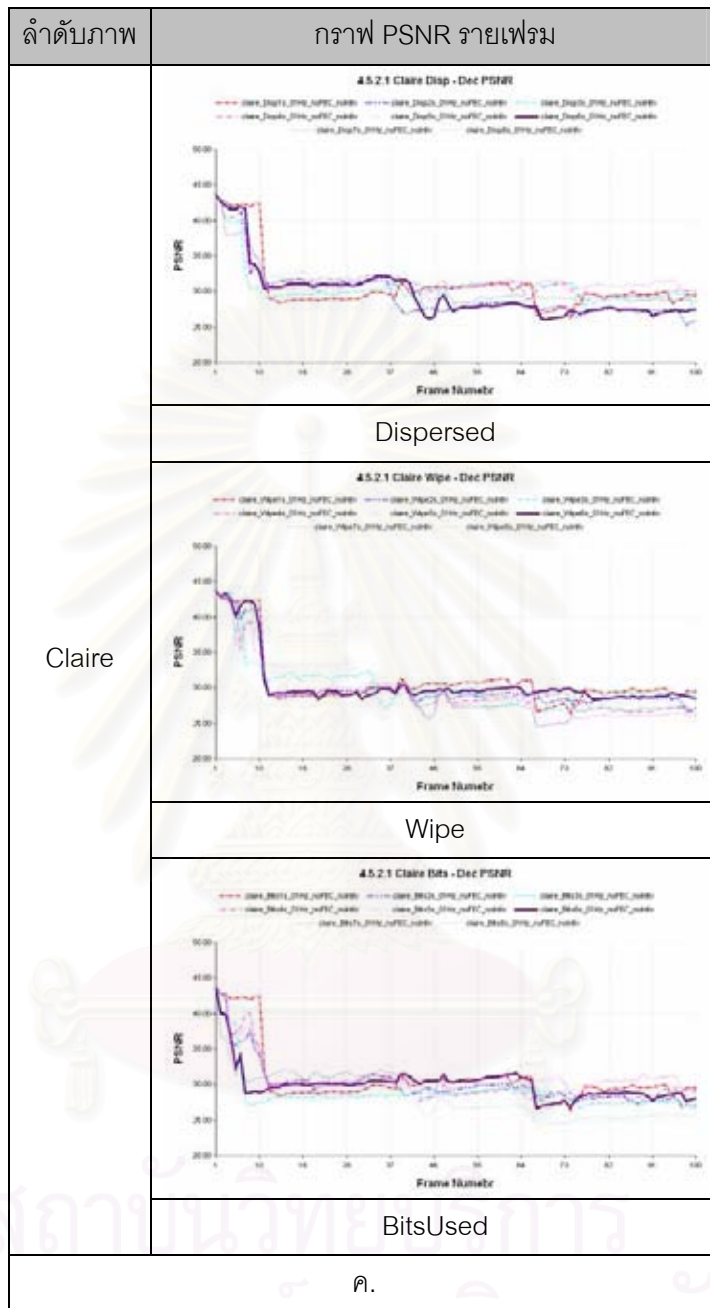
รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1



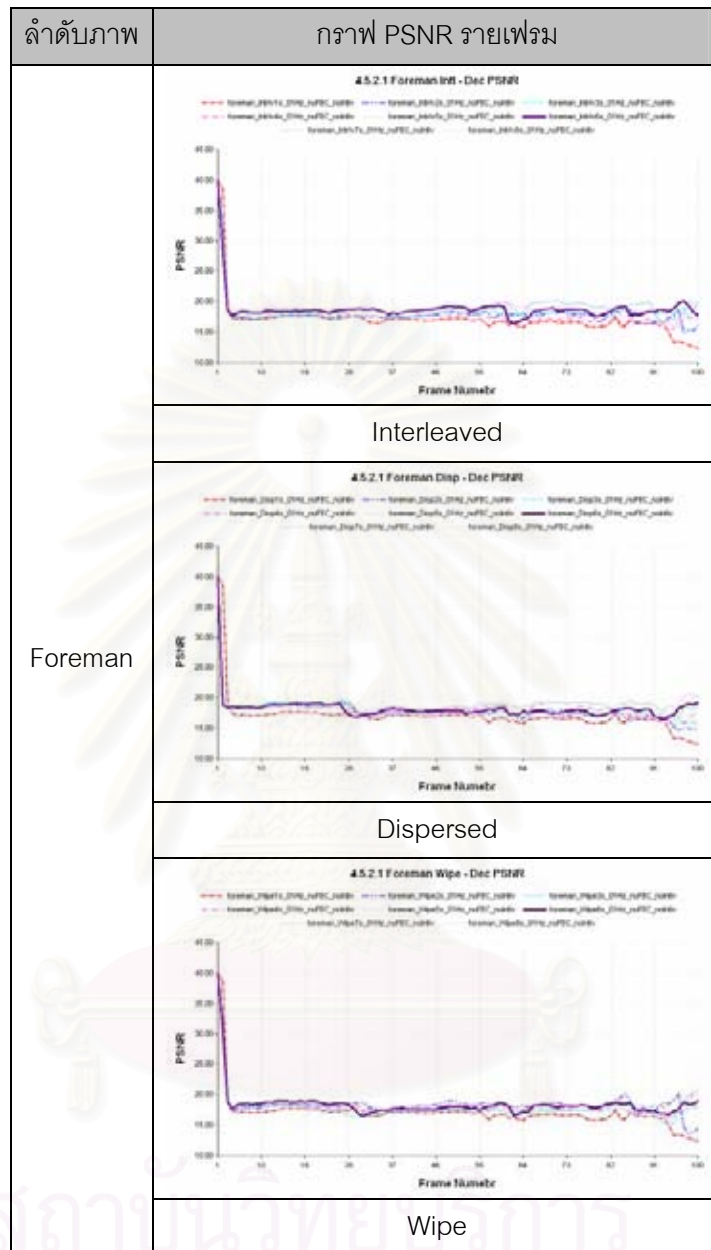
รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)

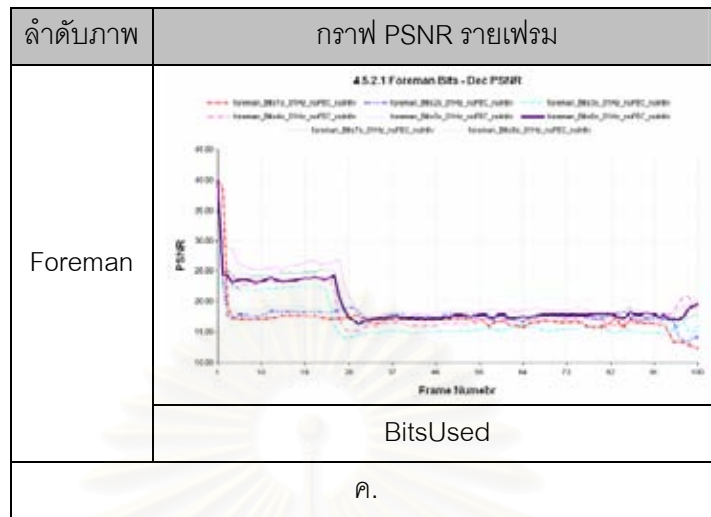


รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)





รูปที่ 4.14 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)

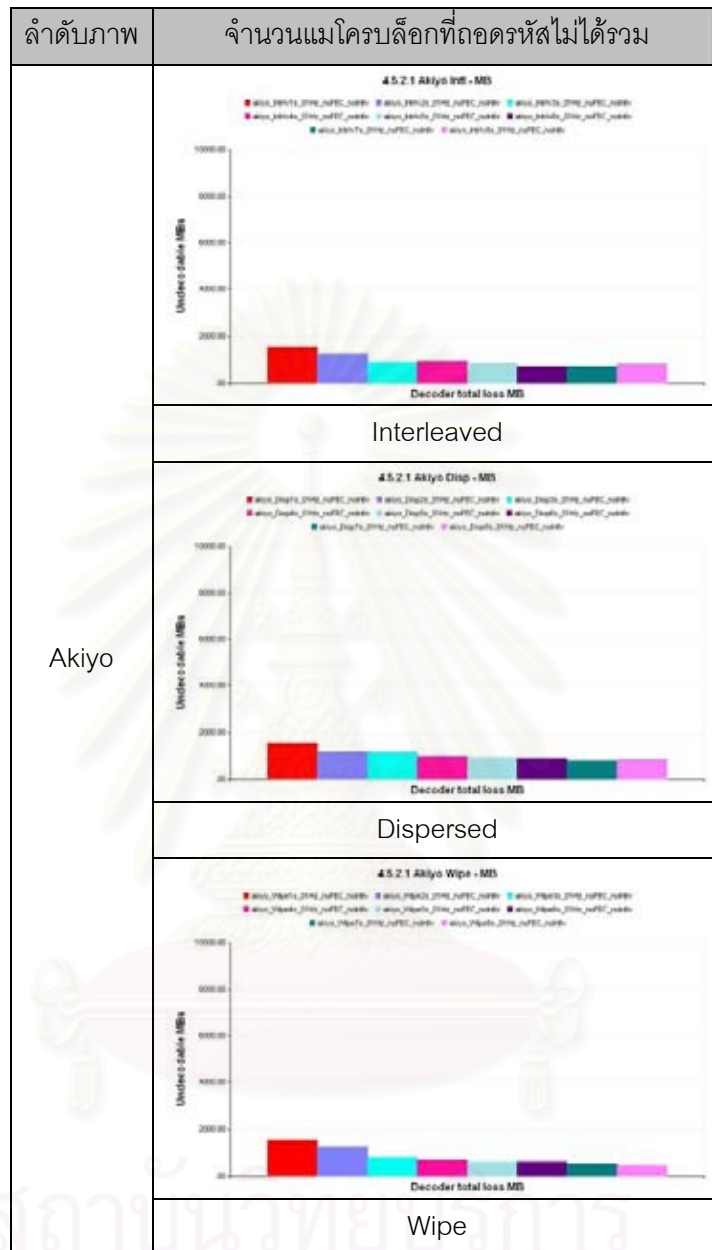
ตารางที่ 4.12 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.2.1

แผนที่กลุ่ม สไลซ์	จำนวนแมโครบล็อก								
	ทั้งหมด	ที่ถอดรหัสไม่ได้							
		จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	9900	1547	1256	908	916	829	<b>692</b>	708	812
Dispersed		1547	1171	1136	967	941	915	<b>792</b>	836
Wipe		1547	1253	794	655	601	600	524	<b>474</b>
BitsUsed		1547	1167	1160	941	838	813	785	<b>758</b>
Akiyo									




ตารางที่ 4.12 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.2.1

(ต่อ)

แผนที่ยกกลุ่ม สไลซ์	จำนวนแมโครบล็อก								
	ทั้งหมด	ที่ถอดรหัสไม่ได้							
		จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	9900	1380	1286	1109	1143	1012	923	<b>794</b>	888
Dispersed		1380	1199	1012	955	909	903	<b>779</b>	790
Wipe		1380	1159	1137	945	879	834	775	<b>744</b>
BitsUsed		1380	1243	938	997	911	810	<b>655</b>	742
Carphone									
Interleaved	9900	1346	1275	1042	929	797	<b>723</b>	769	773
Dispersed		1346	1151	1143	942	903	864	795	<b>724</b>
Wipe		1346	1149	729	745	558	530	579	<b>471</b>
BitsUsed		1346	1169	1094	871	846	910	852	<b>780</b>
Claire									
Interleaved	9900	1499	1287	1082	914	984	878	844	<b>836</b>
Dispersed		1499	1066	1074	905	935	790	783	<b>730</b>
Wipe		1499	1190	1049	930	964	927	<b>825</b>	837
BitsUsed		1499	1239	967	871	877	841	<b>702</b>	712
Foreman									

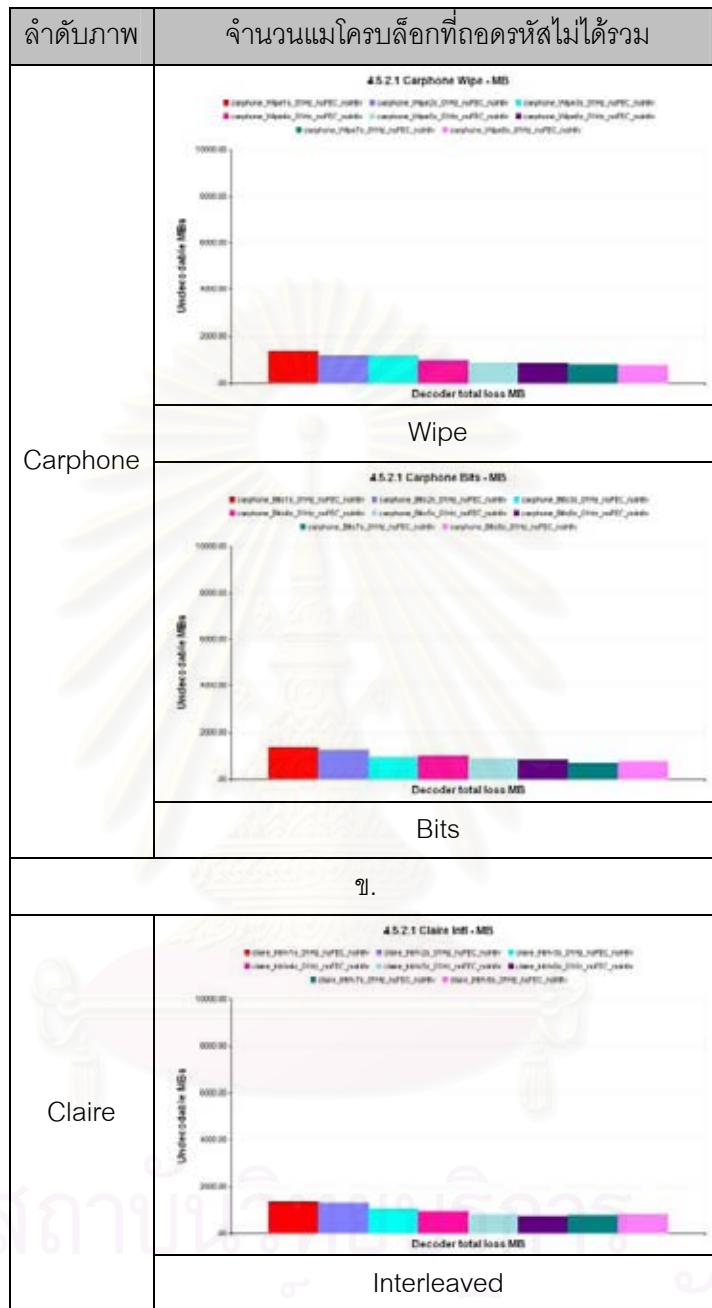


รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1

ลำดับภาพ	จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวม
	
Akiyo	Bits
ก.	
	
Carphone	Interleaved
	
	Dispersed


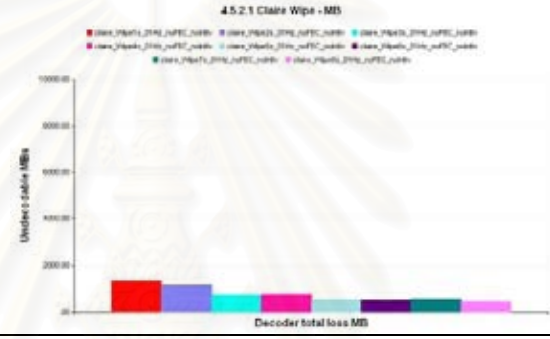

รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1

(ต่อ)



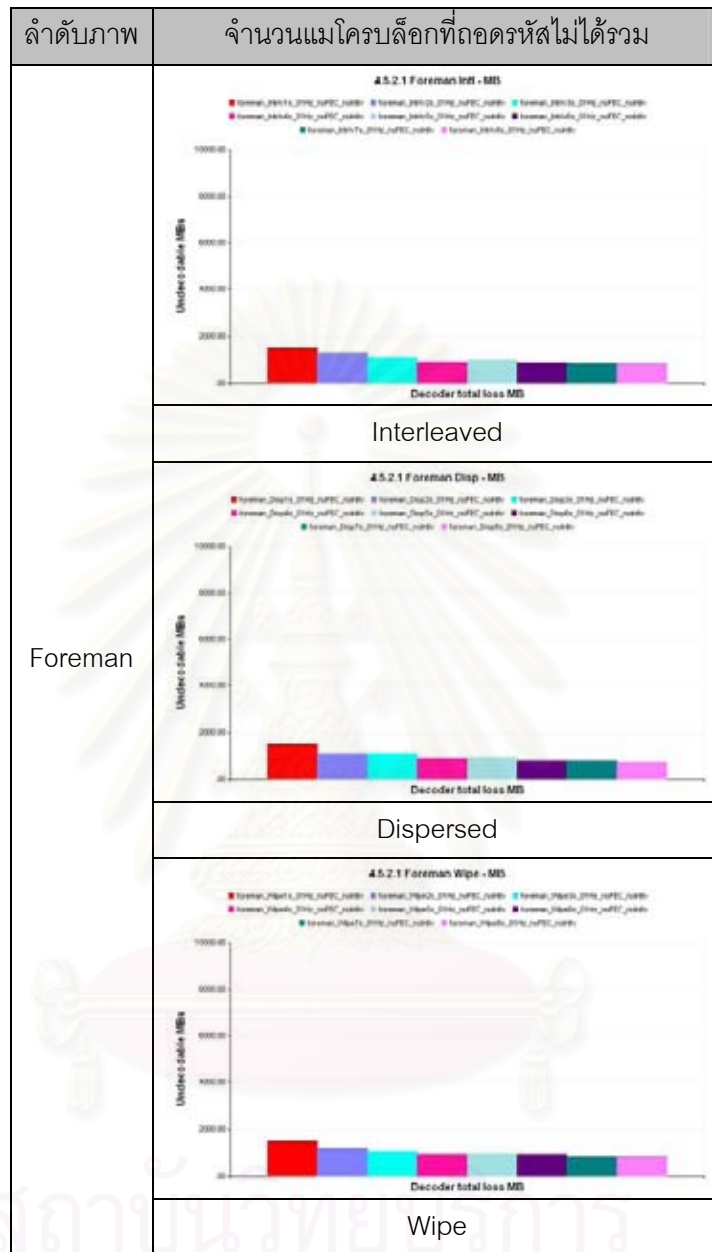
รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1

(ต่อ)

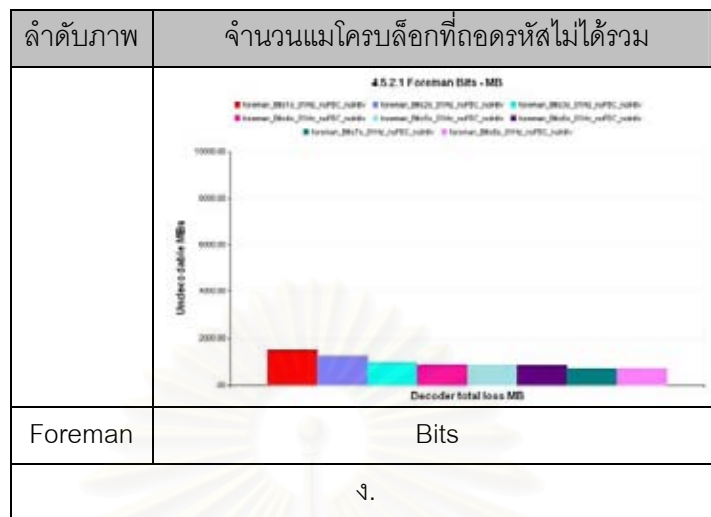
ลำดับภาพ	จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวม
Claire	
	Dispersed
	
	Wipe
	
Bits	
ค.	

รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1

(ต่อ)



รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1 (ต่อ)



รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.1  
(ต่อ)

#### 4.5.2.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว

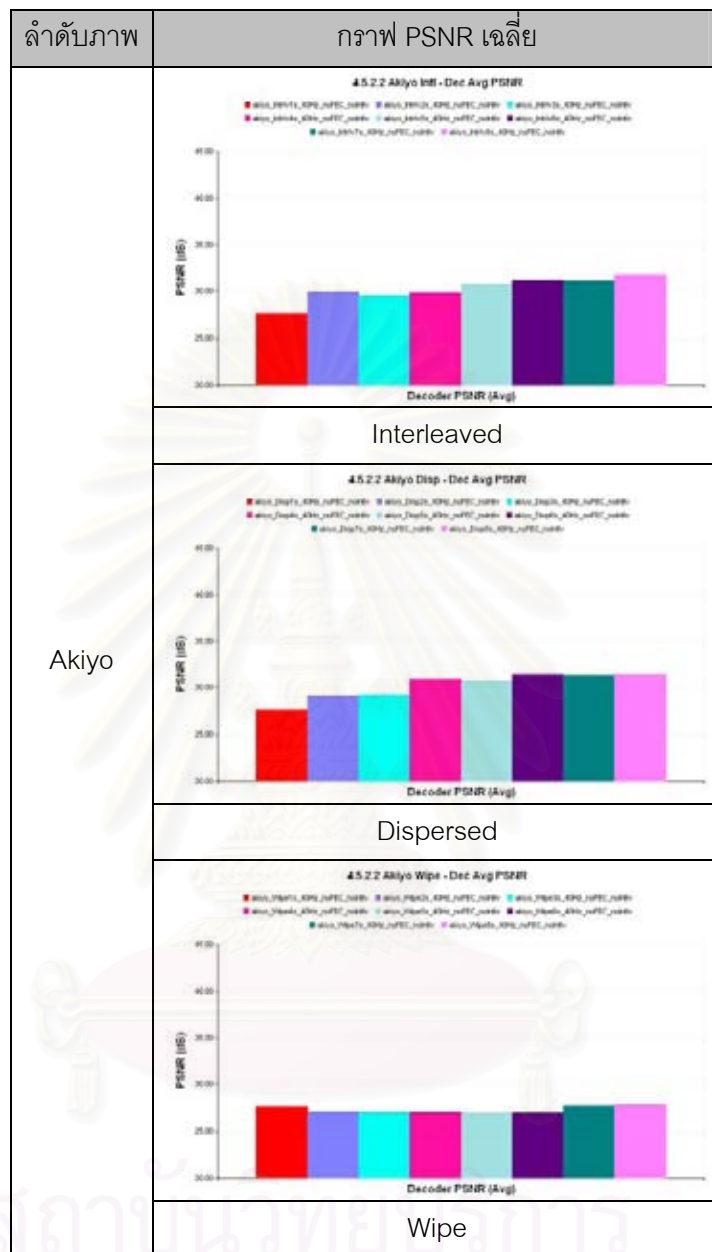
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.2.2

แผนที่ กลุ่มสไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)								
	ไม่มี ความ	จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	ผิดพลาด 42.28	27.63	29.94	29.51	29.82	30.72	31.16	31.14	<b>31.81</b>
Dispersed		27.63	29.12	29.24	30.87	30.70	<b>31.42</b>	31.32	31.39
Wipe		27.63	27.12	27.05	27.03	26.98	27.01	27.69	<b>27.85</b>
BitsUsed		27.63	28.29	30.09	30.06	30.91	31.53	31.88	<b>32.17</b>
Akiyo									

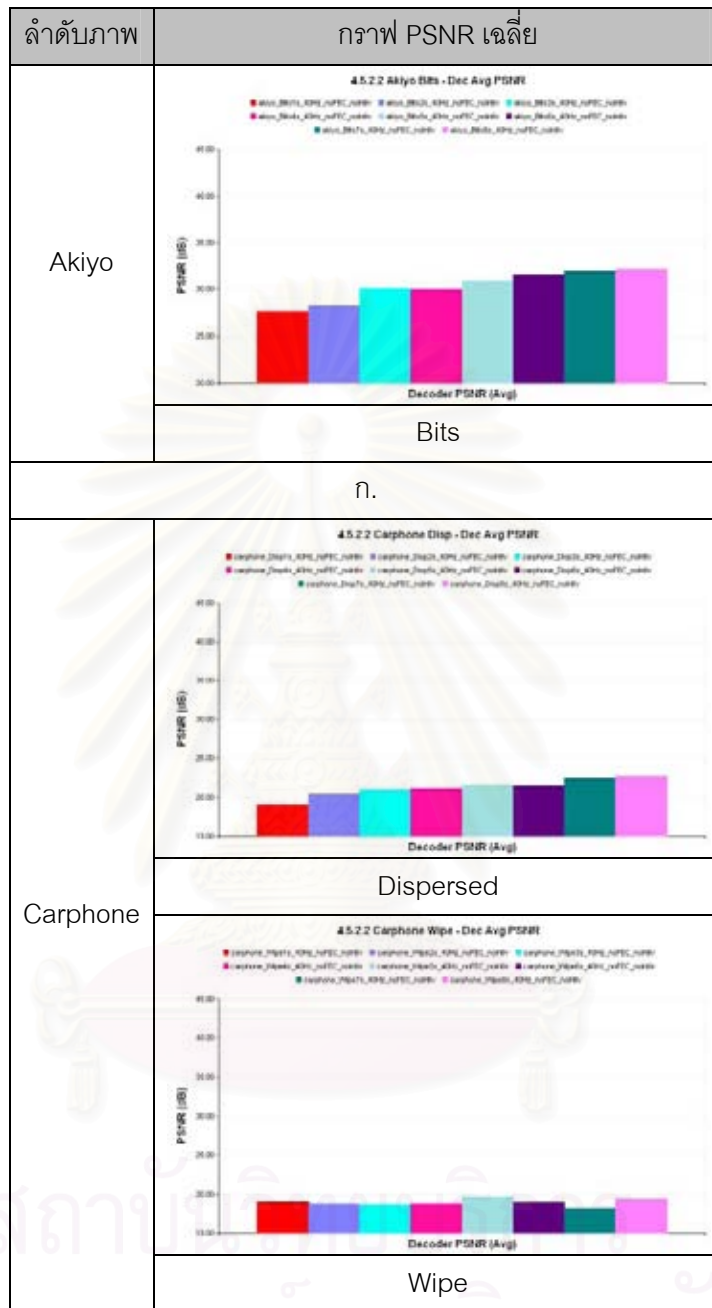


ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.2.2 (ต่อ)

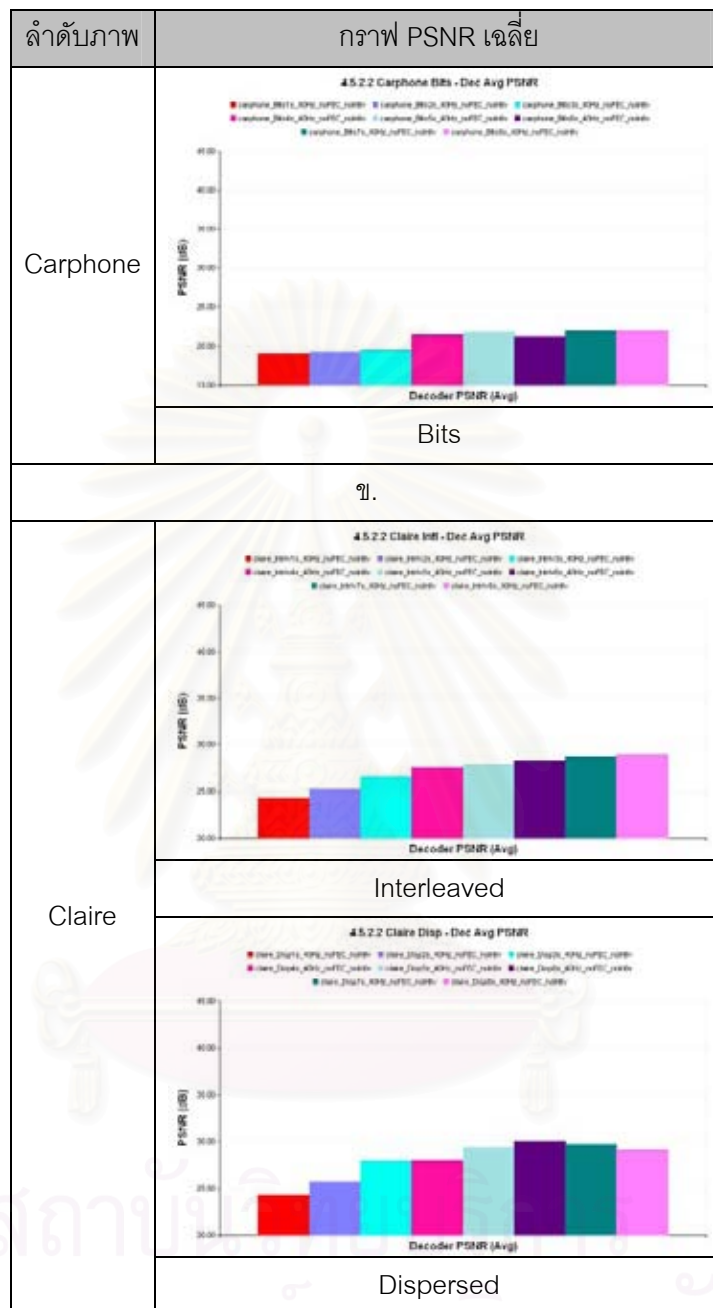
แผนที่ยกุ่ม สไลซ์	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)								
	ไม่มี ความ	จำนวนยกุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	ผิดพลาด 33.57	19.01	18.75	20.39	21.25	20.96	<b>22.51</b>	21.64	22.13
Dispersed		19.01	20.39	20.94	21.13	21.62	21.44	22.39	<b>22.65</b>
Wipe		19.01	18.73	18.64	18.78	<b>19.73</b>	18.95	18.25	19.38
BitsUsed		19.01	19.29	19.57	21.46	21.81	21.17	<b>21.99</b>	21.94
Carphone									
Interleaved	42.78	24.31	25.26	26.53	27.57	27.94	28.29	28.69	<b>28.90</b>
Dispersed		24.31	25.67	27.95	27.98	29.34	<b>30.08</b>	29.77	29.18
Wipe		24.31	25.05	24.68	25.09	24.93	25.25	24.88	<b>25.30</b>
BitsUsed		24.31	26.61	27.25	27.52	28.42	29.64	29.39	<b>30.07</b>
Claire									
Interleaved	32.50	15.12	16.45	17.11	17.88	17.59	18.57	18.65	<b>18.68</b>
Dispersed		15.12	16.22	17.75	17.41	18.58	18.42	18.99	<b>19.50</b>
Wipe		15.12	<b>15.50</b>	15.28	15.25	15.21	15.16	15.33	15.00
BitsUsed		15.12	15.79	15.87	17.95	<b>19.03</b>	18.26	18.66	18.19
Foreman									



รูปที่ 4.16 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.2



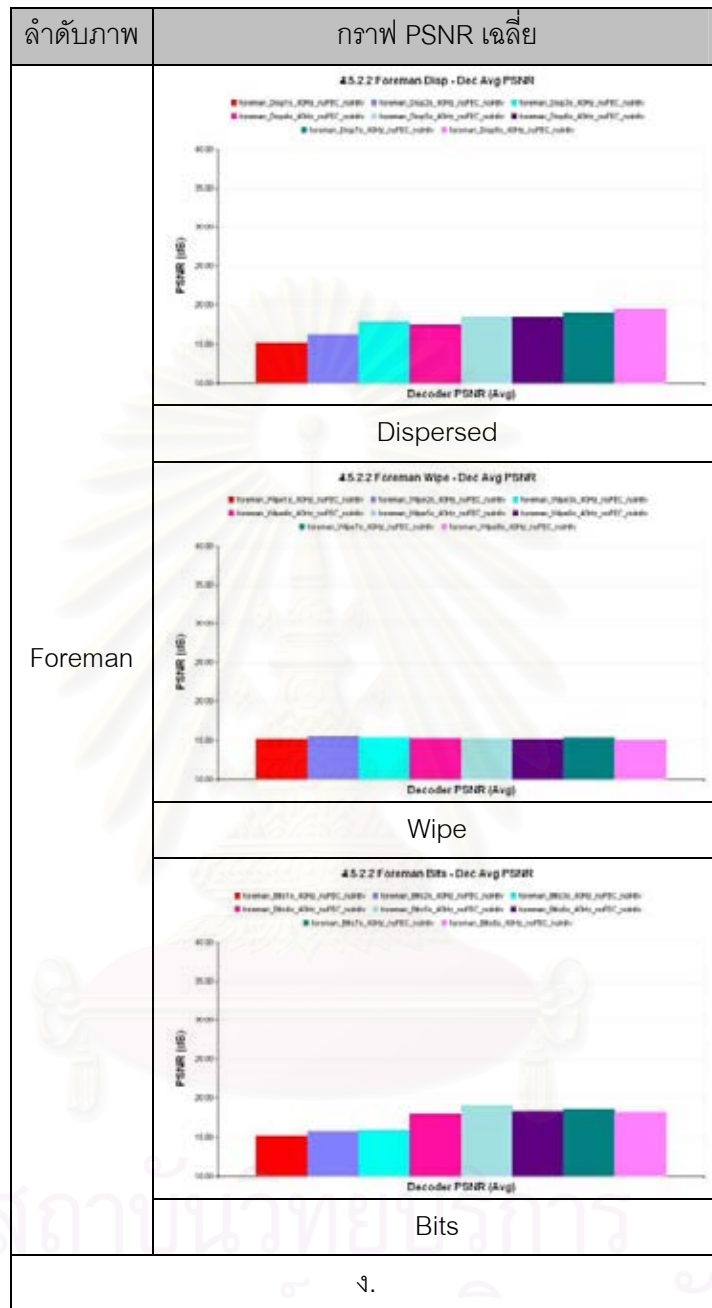
รูปที่ 4.16 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)



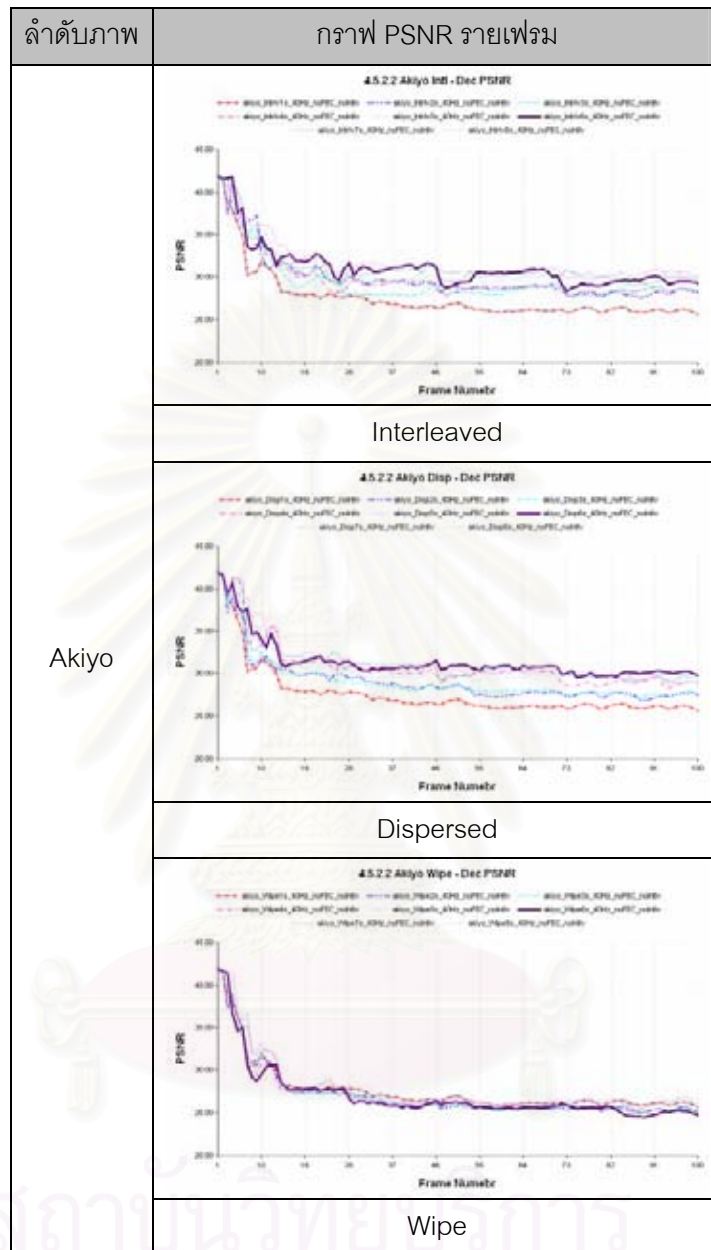
รูปที่ 4.16 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)

ลำดับภาพ	กราฟ PSNR เฉลี่ย
Claire	<p>4.5.2.2 Claire Wipe - Dec Avg PSNR</p>
	Wipe
	<p>4.5.2.2 Claire Bits - Dec Avg PSNR</p>
	Bits
ค.	
Foreman	<p>4.5.2.2 Foreman Int - Dec Avg PSNR</p>
	Interleaved

รูปที่ 4.16 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.16 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)

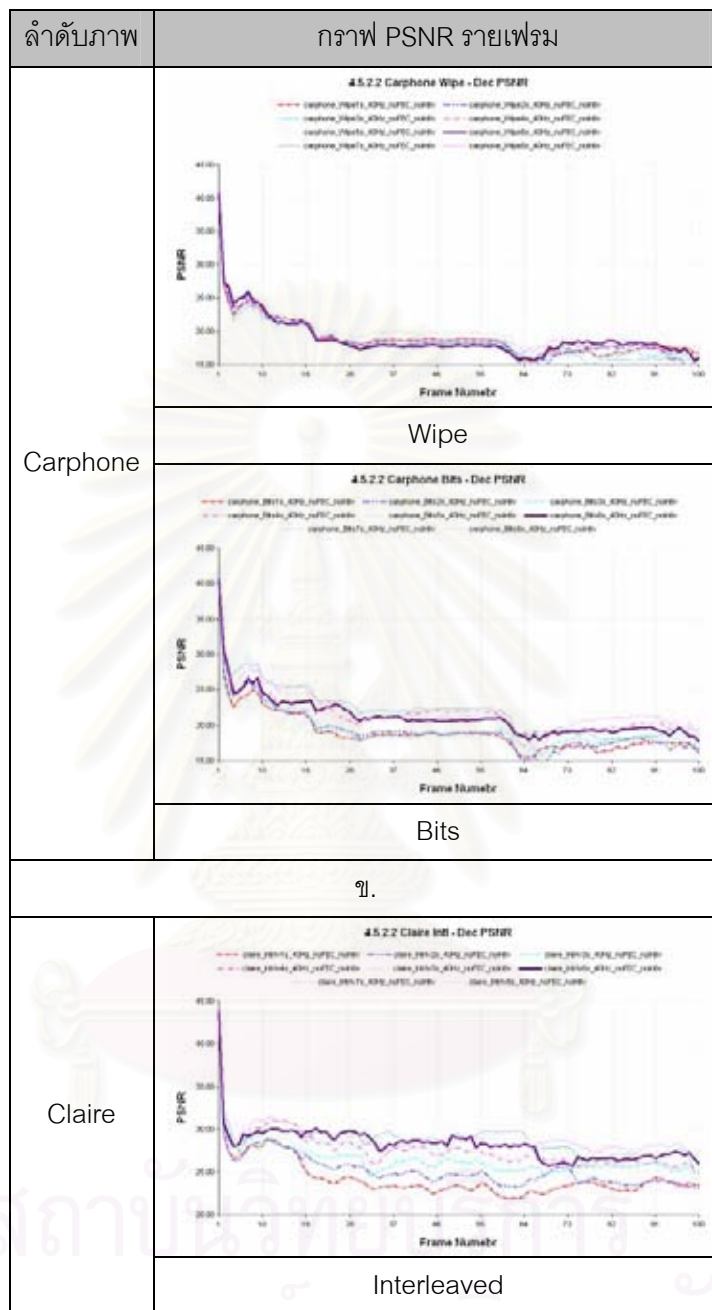


รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2

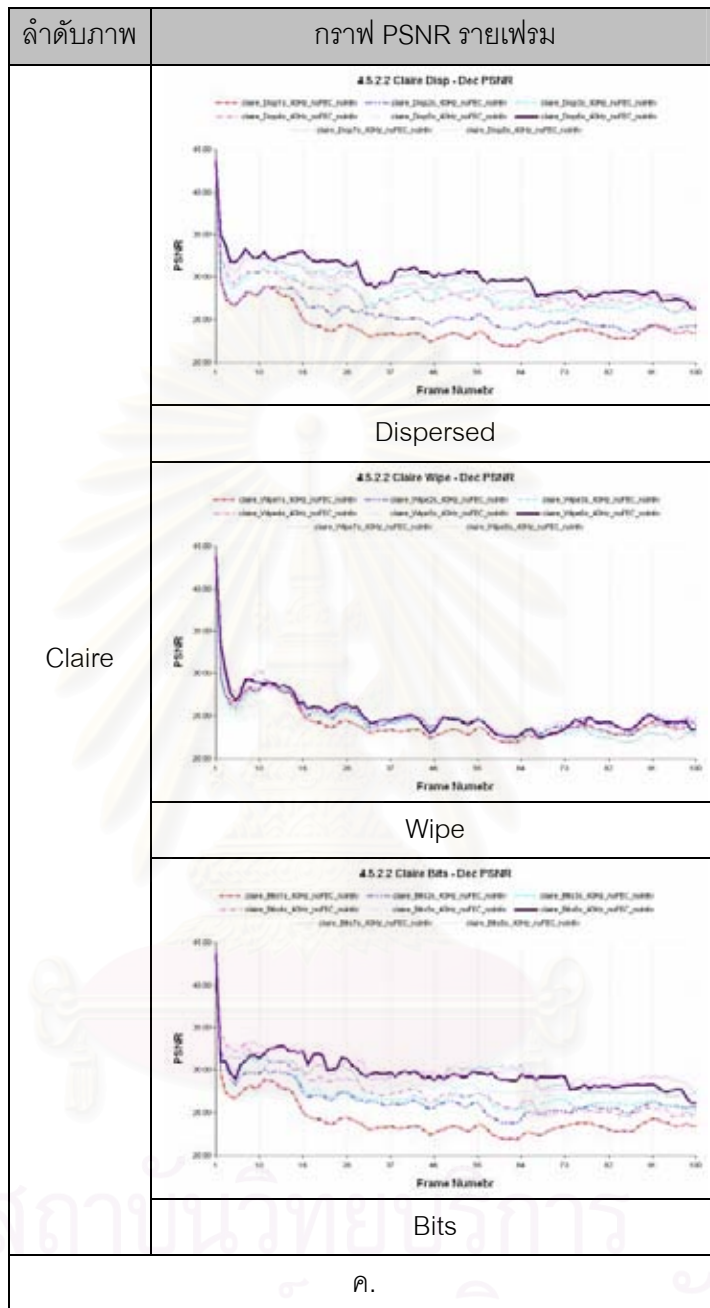
ลำดับภาพ	กราฟ PSNR รายเฟรม
Akiyo	
	Bits
ก.	
Carphone	
	Interleaved
Carphone	
	Dispersed

รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)

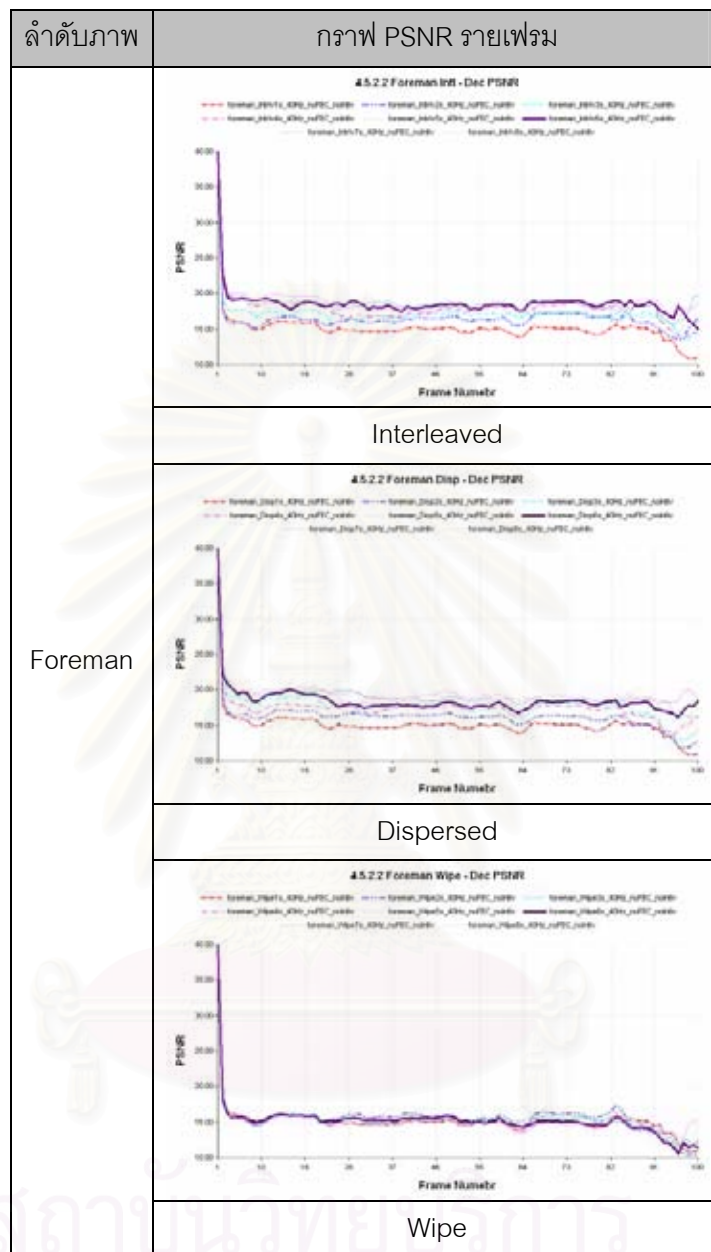




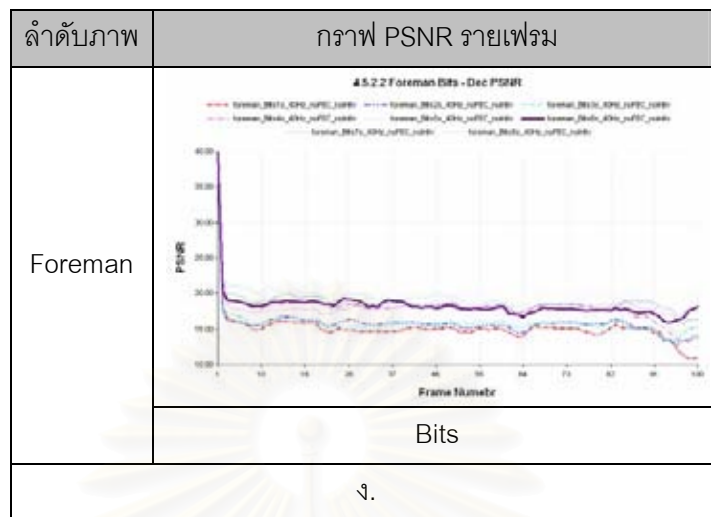
รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.17 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)

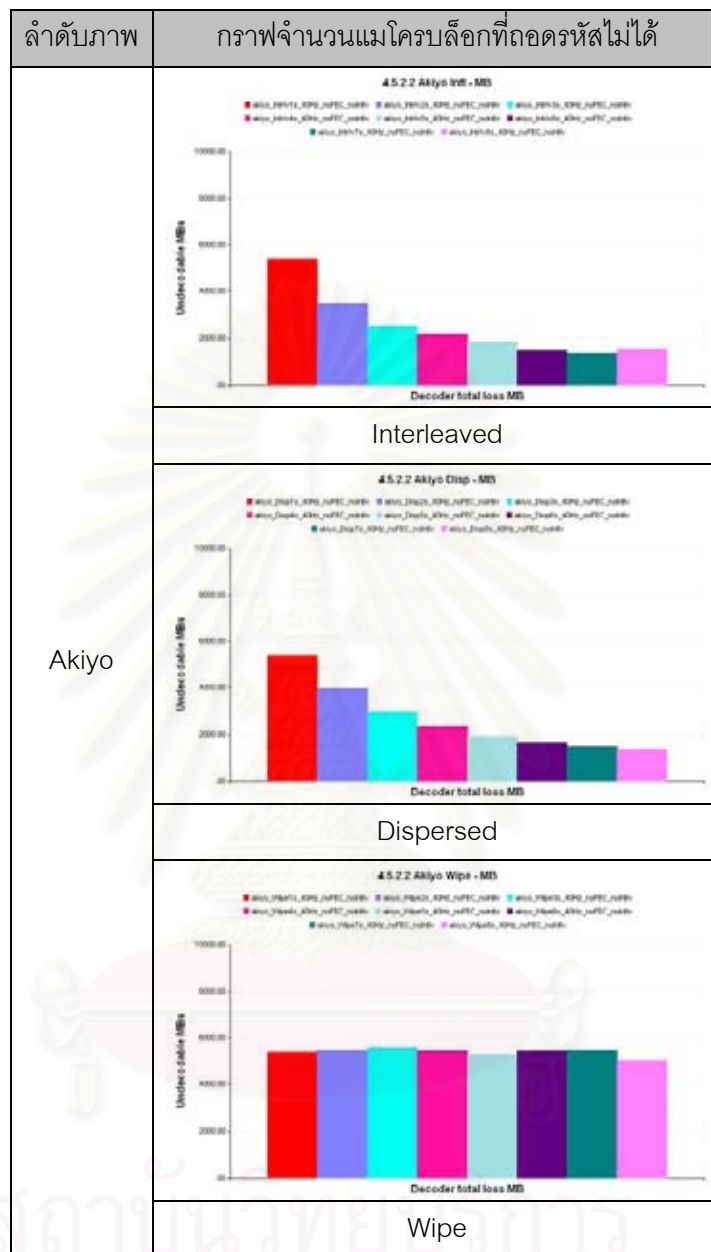
ตารางที่ 4.14 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.2.2

แผนที่ยกุ่ม สไลซ์	จำนวนแมโครบล็อก								
	ทั้งหมด	ที่ถอดรหัสไม่ได้							
		จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	9900	5367	3487	2493	2187	1829	1496	1352	1535
Dispersed		5367	3978	2924	2367	1926	1618	1480	1355
Wipe		5367	5459	5546	5441	5250	5426	5458	5020
BitsUsed		5367	3740	2914	2377	2000	1602	1504	1210
Akiyo									

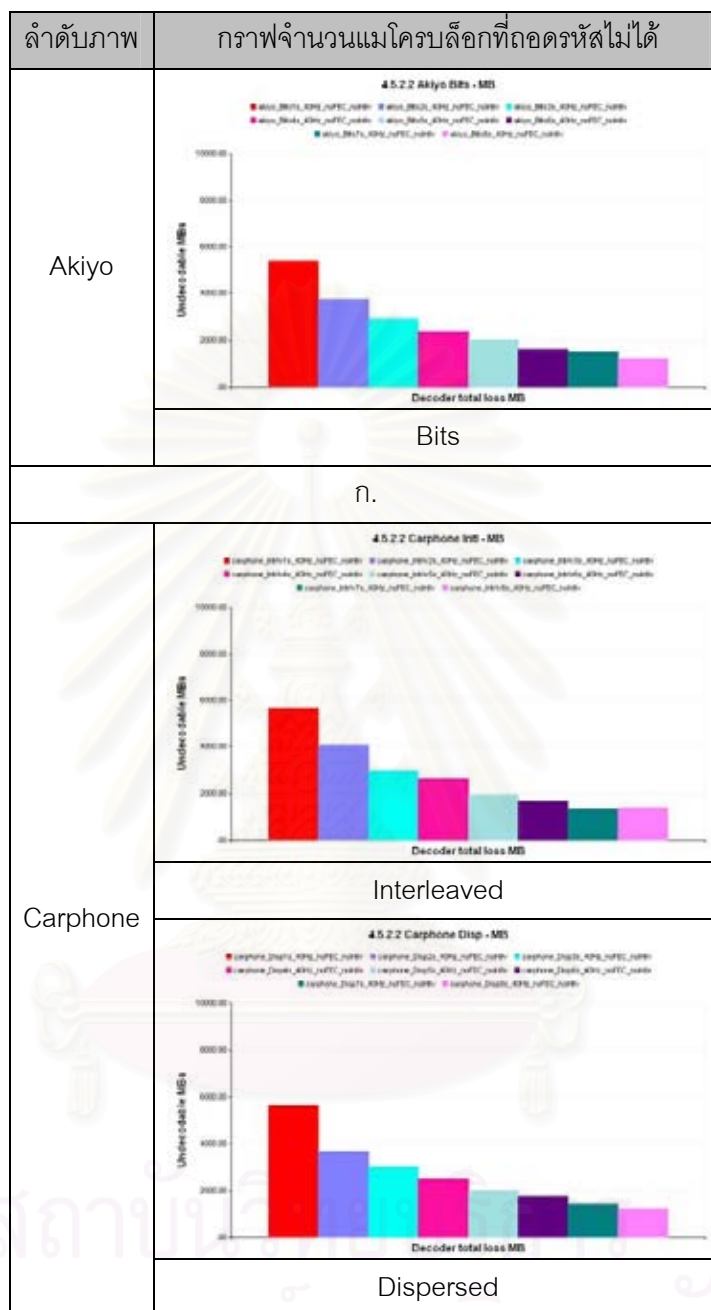
ตารางที่ 4.14 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.2.2

(ต่อ)

แผนที่ยกกลุ่ม สไลซ์	จำนวนแมโครบล็อก								
	ทั้งหมด	ที่ถอดรหัสไม่ได้							
		จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Interleaved	9900	5634	4072	2922	2625	1962	1658	<b>1342</b>	1390
Dispersed		5634	3669	3016	2491	1986	1750	1413	<b>1233</b>
Wipe		5634	5505	5451	5108	5211	5474	5367	<b>4854</b>
BitsUsed		5634	3872	2956	2415	1895	1636	<b>1322</b>	1329
Carphone									
Interleaved	9900	5269	3939	2726	2146	1907	1644	<b>1430</b>	1444
Dispersed		5269	3686	2889	2301	1971	1580	1428	<b>1301</b>
Wipe		5269	5385	5059	<b>5002</b>	5152	5299	5072	5075
BitsUsed		5269	3669	2681	2346	1976	1626	1348	<b>1257</b>
Claire									
Interleaved	9900	5740	3835	3041	2506	2186	1891	1596	<b>1333</b>
Dispersed		5740	3580	2883	2379	1942	1782	1455	<b>1353</b>
Wipe		5740	5573	5490	5455	5393	5429	5468	<b>5222</b>
BitsUsed		5740	3805	2901	2227	1910	1629	1365	<b>1243</b>
Foreman									



รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2



รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2

(ต่อ)

ลำดับภาพ	กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้
Carphone	<p>4.5.2.2 Carphone Wipe - MS</p>
	Wipe
	<p>4.5.2.2 Carphone Bits - MS</p>
	Bits
๗.	
Claire	<p>4.5.2.2 Claire Intl - MS</p>
Interleaved	

รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2

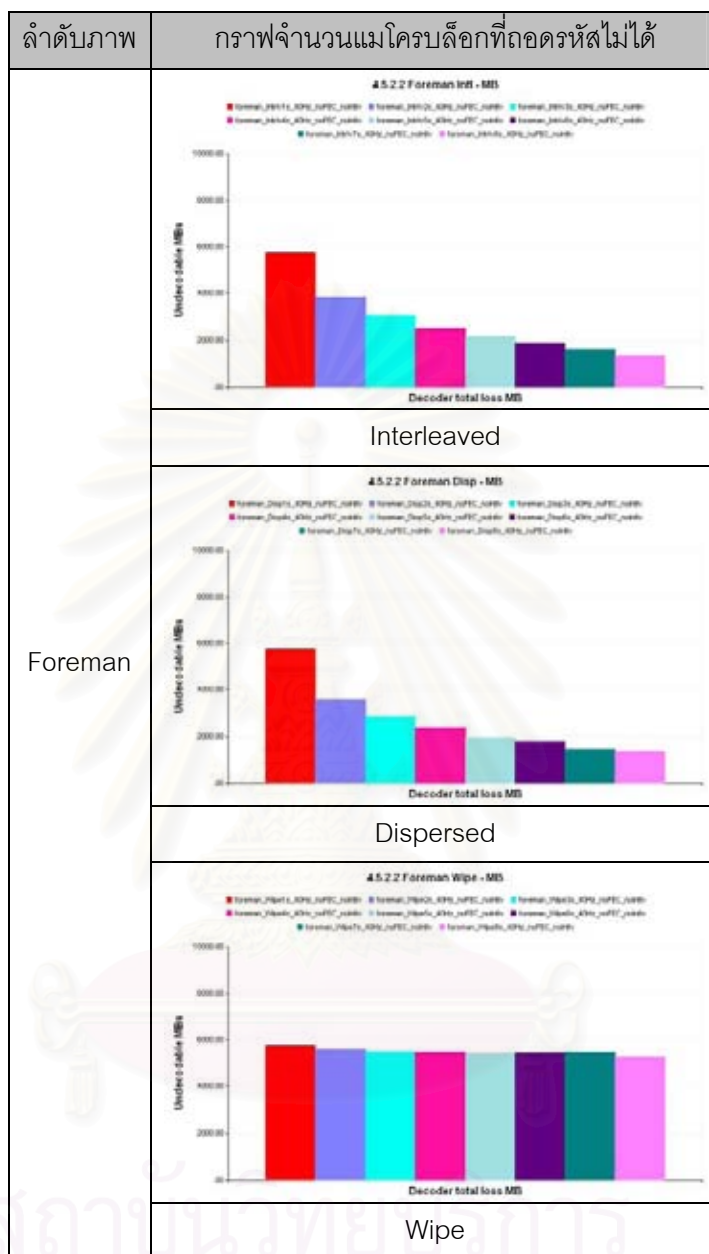
(ต่อ)



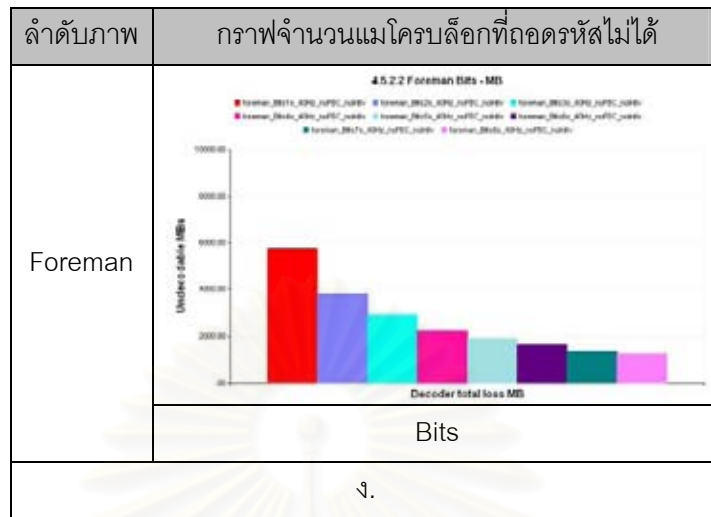
ลำดับภาพ	กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้
Claire	<p>4.5.2.2 Claire Wipe - MB</p>
	Dispersed
	<p>4.5.2.2 Claire Disp - MB</p>
	Wipe
<p>4.5.2.2 Claire Bits - MB</p>	
Bits	
ค.	

รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2

(ต่อ)



รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมจากการจำลอง 4.5.2.2 (ต่อ)

#### 4.5.3 ใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

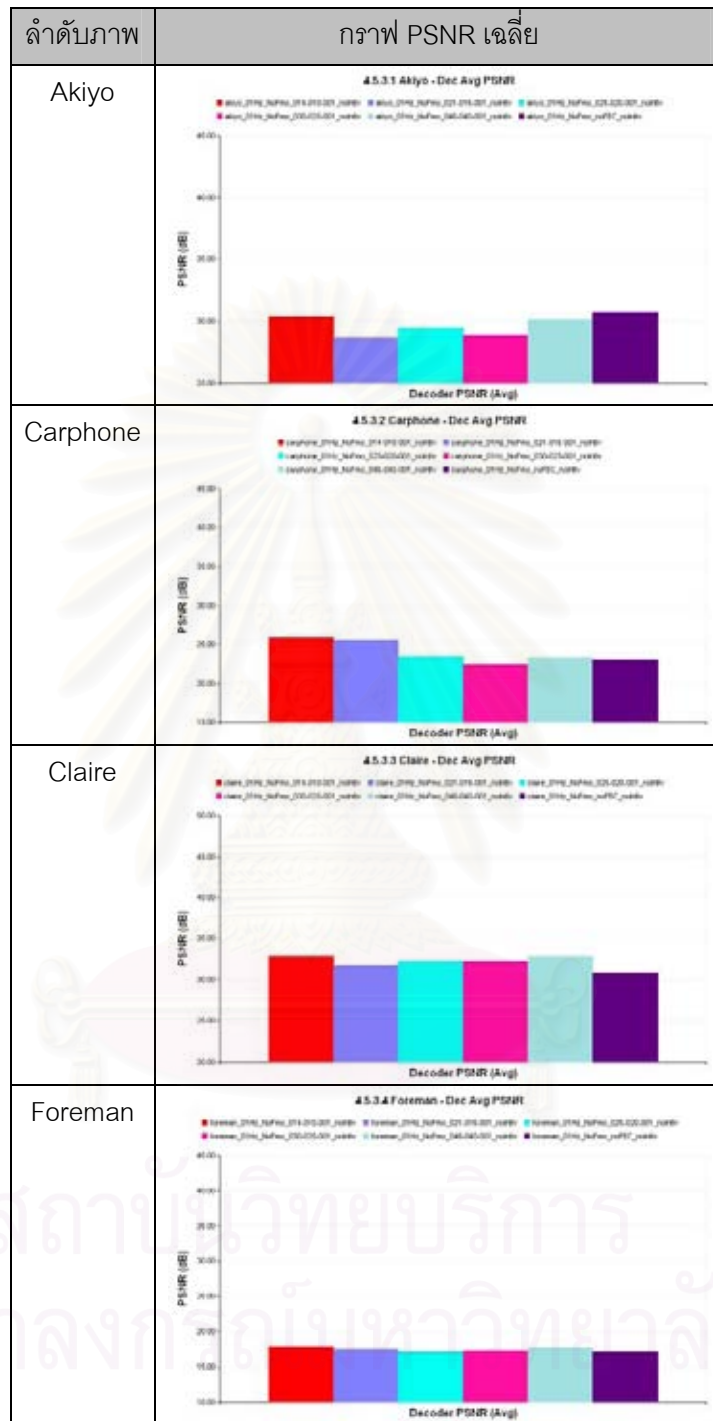
การจำลองเพื่อศึกษาผลจากความผิดพลาดในช่องสัญญาณที่มีต่อวิดีโอที่ถูกลดอัตราบิตลงเนื่องจากมีการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า การจำลองกลุ่มนี้ตั้งค่าตัวเข้ารหัสเช่นเดียวกับการจำลองหัวข้อ 4.4.1 ซึ่งพบว่าแม้ไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณคุณภาพวิดีโอทัศน์ก็มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้อัตราบิตต่างกัน การจำลองกลุ่มนี้มี 2 เช่นเดียวกัน คือ กรณีคือเฟตติงเร็ว และกรณีเฟตติงช้า

##### 4.5.3.1 กรณีเฟตติงช้า

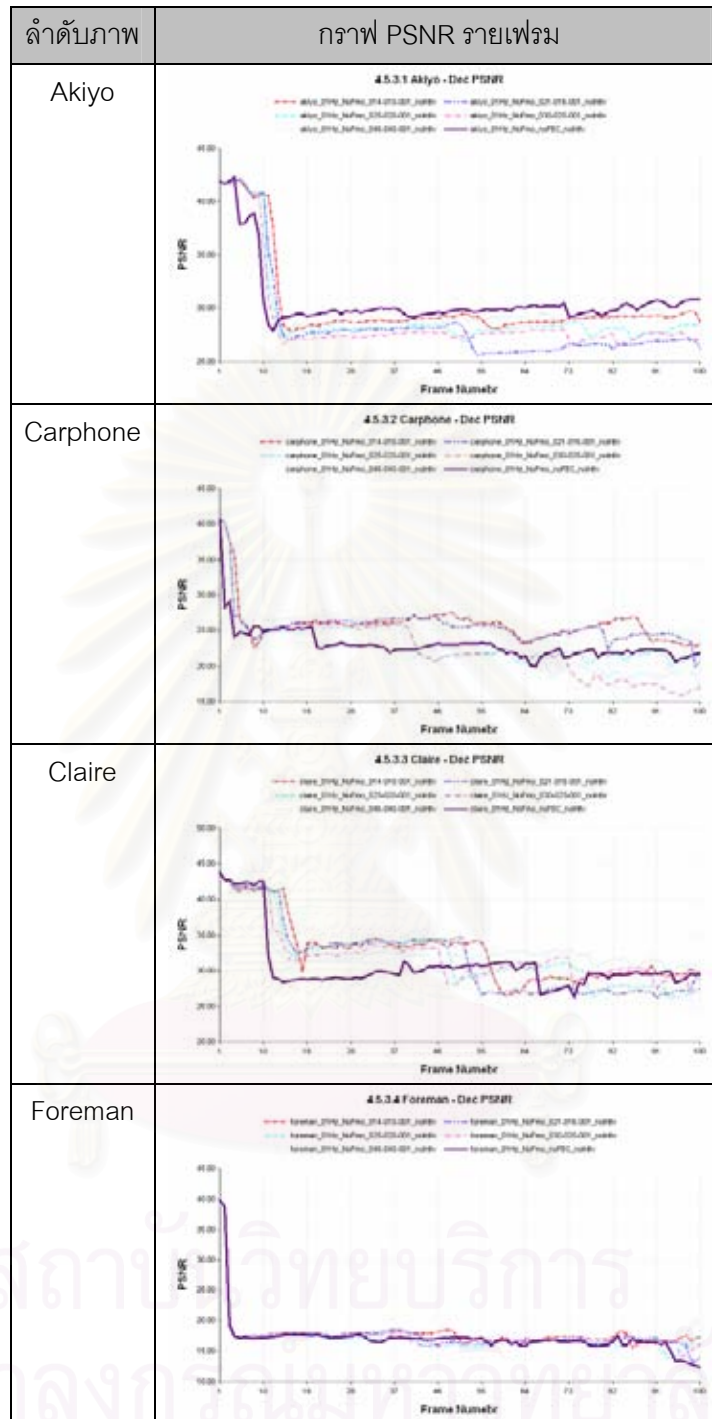
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.3.1

ลำดับภาพ	อัตราบิตวีดิทัศน์	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)	
			ไม่มีความผิดพลาด	มีความผิดพลาด
Akiyo	22400	(14, 10)	40.80	<b>30.37</b>
	24320	(21, 16)	41.12	28.69
	25600	(25, 20)	41.37	29.46
	26560	(30, 25)	41.54	28.86
	27840	(46, 40)	41.72	30.19
	32000	No FEC	42.28	30.71
Carphone	22400	(14, 10)	31.82	<b>25.94</b>
	24320	(21, 16)	32.25	25.67
	25600	(25, 20)	32.48	23.38
	26560	(30, 25)	32.66	22.40
	27840	(46, 40)	32.91	23.24
	32000	No FEC	33.57	23.04
Claire	22400	(14, 10)	41.15	32.82
	24320	(21, 16)	41.49	31.76
	25600	(25, 20)	41.79	32.23
	26560	(30, 25)	41.92	32.19
	27840	(46, 40)	42.14	<b>32.88</b>
	32000	No FEC	42.78	30.82
Foreman	22400	(14, 10)	30.69	<b>17.86</b>
	24320	(21, 16)	31.15	17.49
	25600	(25, 20)	31.35	17.09
	26560	(30, 25)	31.59	17.33
	27840	(46, 40)	31.84	17.66
	32000	No FEC	32.50	17.11



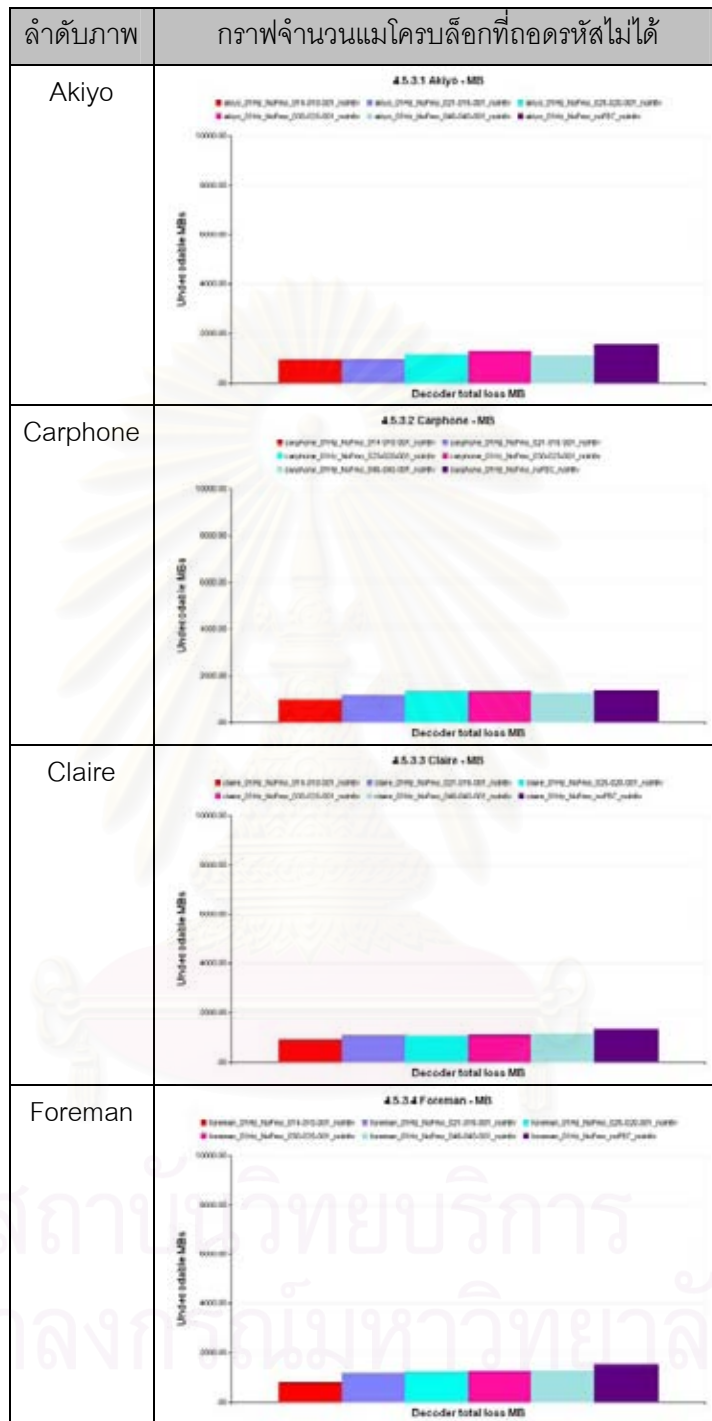
รูปที่ 4.19 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.3.1



รูปที่ 4.20 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.1

ตารางที่ 4.16 จำนวนแม่โครบล็อคที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.3.1

ลำดับภาพ	อัตราบิตวิทัศน์	คำรหัส FEC (n, k, t = 1)	จำนวนแม่โครบล็อค	
			ทั้งหมด	ที่ถอดรหัสไม่ได้
Akiyo	22400	(14, 10)	9900	<b>942</b>
	24320	(21, 16)		955
	25600	(25, 20)		1147
	26560	(30, 25)		1284
	27840	(46, 40)		1103
	32000	No FEC		1547
Carphone	22400	(14, 10)	9900	<b>956</b>
	24320	(21, 16)		1158
	25600	(25, 20)		1316
	26560	(30, 25)		1312
	27840	(46, 40)		1251
	32000	No FEC		1380
Claire	22400	(14, 10)	9900	<b>899</b>
	24320	(21, 16)		1059
	25600	(25, 20)		1043
	26560	(30, 25)		1091
	27840	(46, 40)		1149
	32000	No FEC		1346
Foreman	22400	(14, 10)	9900	<b>792</b>
	24320	(21, 16)		1190
	25600	(25, 20)		1201
	26560	(30, 25)		1232
	27840	(46, 40)		1274
	32000	No FEC		1499



รูปที่ 4.21 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง

4.5.3.1



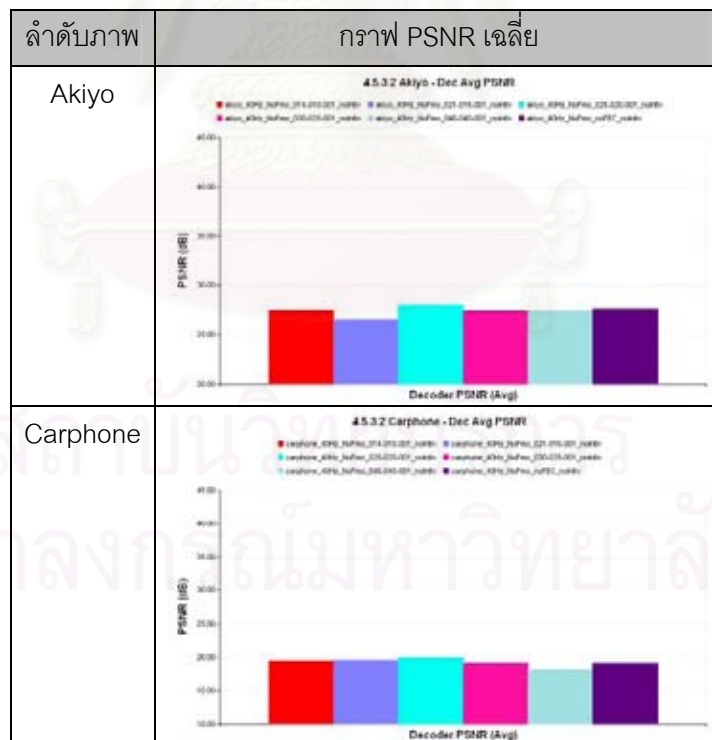
## 4.5.3.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.3.2

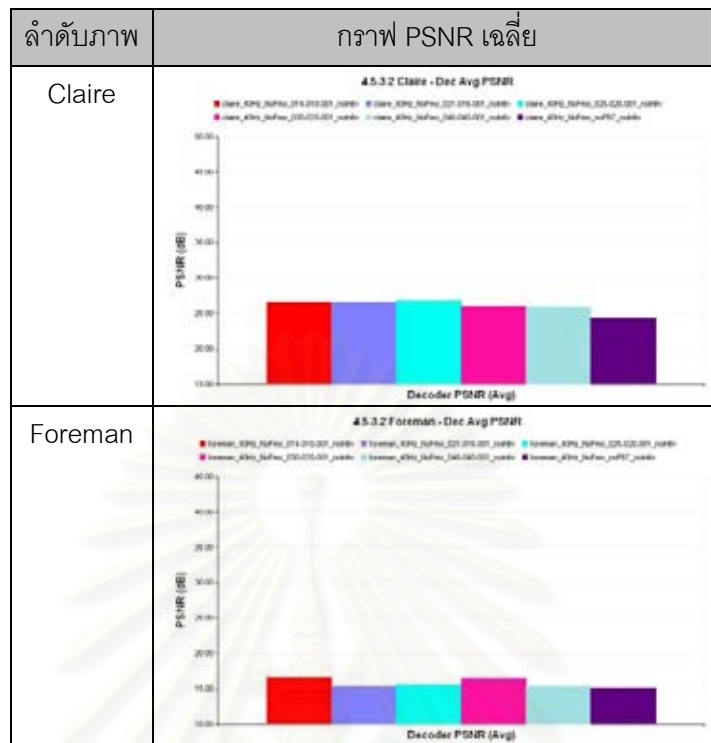
ลำดับภาพ	อัตราบิตวีดิทัศน์	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)	
			ไม่มีความผิดพลาด	มีความผิดพลาด
Akiyo	22400	(14, 10)	40.80	27.47
	24320	(21, 16)	41.12	26.56
	25600	(25, 20)	41.37	<b>27.99</b>
	26560	(30, 25)	41.54	27.41
	27840	(46, 40)	41.72	27.42
	32000	No FEC	42.28	27.63
Carphone	22400	(14, 10)	31.82	19.46
	24320	(21, 16)	32.25	19.52
	25600	(25, 20)	32.48	<b>19.96</b>
	26560	(30, 25)	32.66	19.05
	27840	(46, 40)	32.91	18.12
	32000	No FEC	33.57	19.01
Claire	22400	(14, 10)	41.15	26.54
	24320	(21, 16)	41.49	26.50
	25600	(25, 20)	41.79	<b>26.73</b>
	26560	(30, 25)	41.92	25.98
	27840	(46, 40)	42.14	25.83
	32000	No FEC	42.78	24.31

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.3.2 (ต่อ)

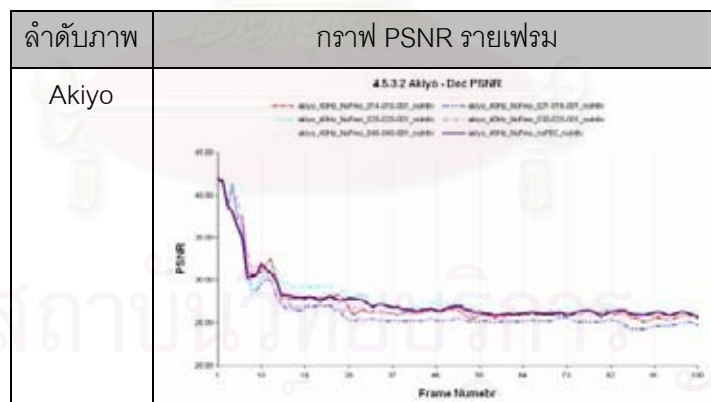
ลำดับภาพ	อัตราบิตวิดีโอ (kbps)	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)	
			ไม่มีความผิดพลาด	มีความผิดพลาด
Foreman	22400	(14, 10)	30.69	16.51
	24320	(21, 16)	31.15	15.27
	25600	(25, 20)	31.35	15.50
	26560	(30, 25)	31.59	16.45
	27840	(46, 40)	31.84	15.32
	32000	No FEC	32.50	15.12



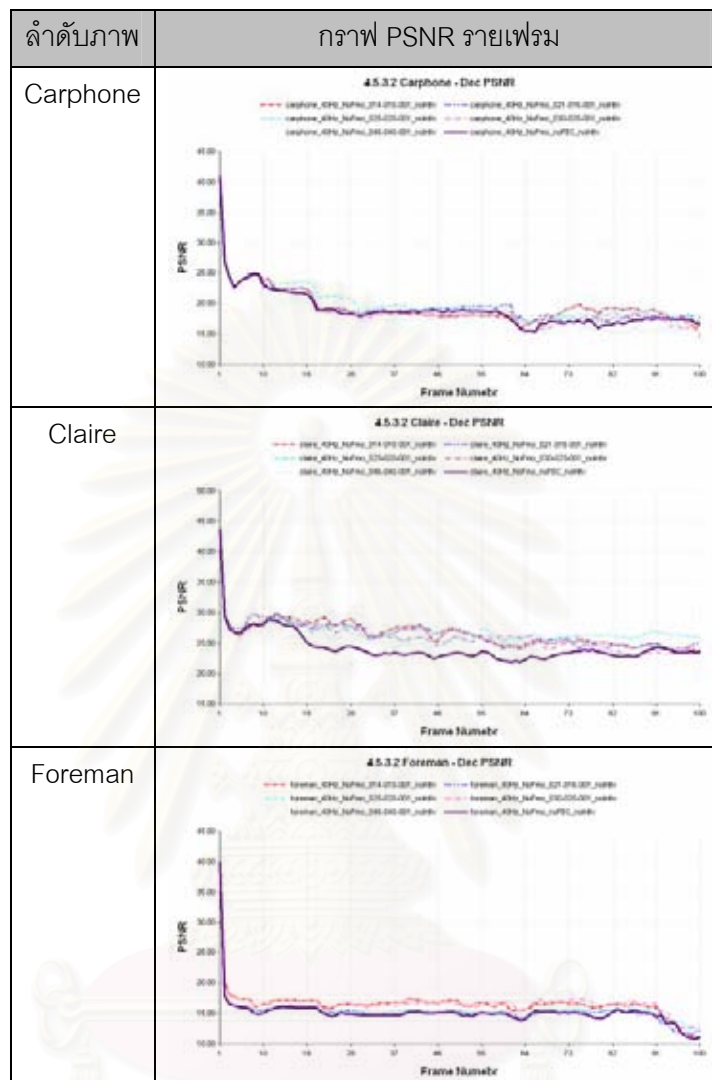
รูปที่ 4.22 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.3.2



รูปที่ 4.22 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.3.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.23 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.2

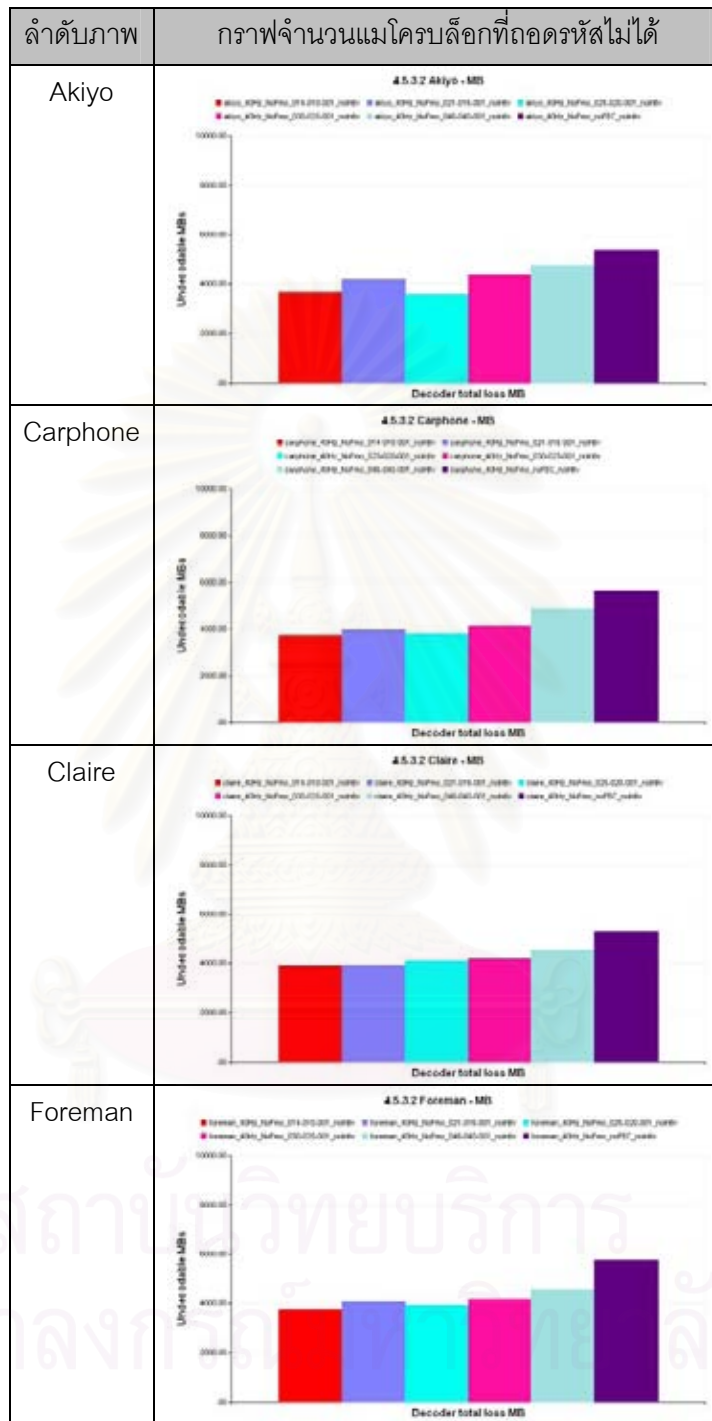


รูปที่ 4.23 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.3.2 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.3.2

ลำดับภาพ	อัตราบิตวิดีโอ	คำรหัส FEC (n, k, t = 1)	จำนวนแมโครบล็อก	
			ทั้งหมด	ที่ถอดรหัสไม่ได้
Akiyo	22400	(14, 10)	9900	3657
	24320	(21, 16)		4163
	25600	(25, 20)		<b>3577</b>
	26560	(30, 25)		4363
	27840	(46, 40)		4745
	32000	No FEC		5367
Carphone	22400	(14, 10)	9900	3713
	24320	(21, 16)		3997
	25600	(25, 20)		<b>3772</b>
	26560	(30, 25)		4141
	27840	(46, 40)		4891
	32000	No FEC		5634
Claire	22400	(14, 10)	9900	<b>3889</b>
	24320	(21, 16)		3927
	25600	(25, 20)		4082
	26560	(30, 25)		4168
	27840	(46, 40)		4542
	32000	No FEC		5269
Foreman	22400	(14, 10)	9900	<b>3726</b>
	24320	(21, 16)		4070
	25600	(25, 20)		3939
	26560	(30, 25)		4138
	27840	(46, 40)		4559
	32000	No FEC		5740



รูปที่ 4.24 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง

4.5.3.2

#### 4.5.4 ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า

การจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการทำงานร่วมกันของการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า เนื่องจากผลการจำลองหัวข้อ 4.5.2 ถึงหัวข้อ 4.5.3 พบว่าการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้และการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า สามารถใช้เป็นเทคนิคการควบคุมความผิดพลาดได้ การจำลองกลุ่มนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาการทำงานร่วมกันของทั้งวิธีการทั้งสอง

การจำลองกลุ่มนี้ใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้เฉพาะวิธีที่ใช้การสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยวิธีที่นำเสนอในหัวข้อ 3.5 โดยใช้จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรมสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 8 ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าทุกแบบที่เคยใช้มาในหัวข้อ 4.5.3 และทำการเปรียบเทียบผลกัน

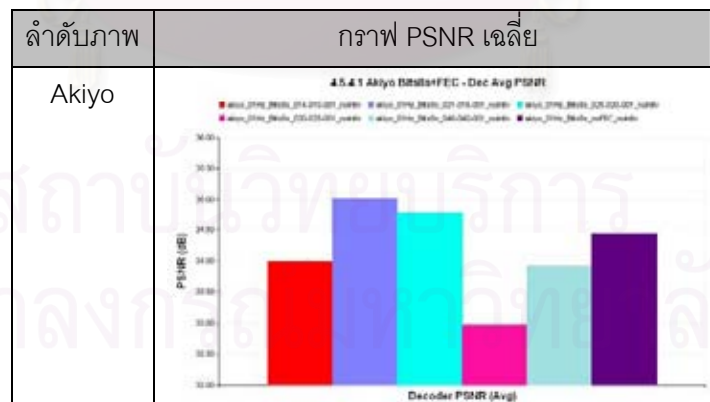
##### 4.5.4.1 กรณีเฟดดิ้งช้า

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.4.1

ลำดับภาพ	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)		
		ไม่มีความผิดพลาด	จาก 4.5.3.1	มีความผิดพลาด
Akiyo	(14, 10)	40.80	<b>30.37</b>	33.99
	(21, 16)	41.12	28.69	<b>35.01</b>
	(25, 20)	41.37	29.46	34.79
	(30, 25)	41.54	28.86	32.96
	(46, 40)	41.72	30.19	33.93
	No FEC	42.28	30.71	34.46
Carphone	(14, 10)	31.82	<b>25.94</b>	23.63
	(21, 16)	32.25	25.67	24.94
	(25, 20)	32.48	23.38	<b>25.08</b>
	(30, 25)	32.66	22.40	24.62
	(46, 40)	32.91	23.24	24.21
	No FEC	33.57	23.04	23.29

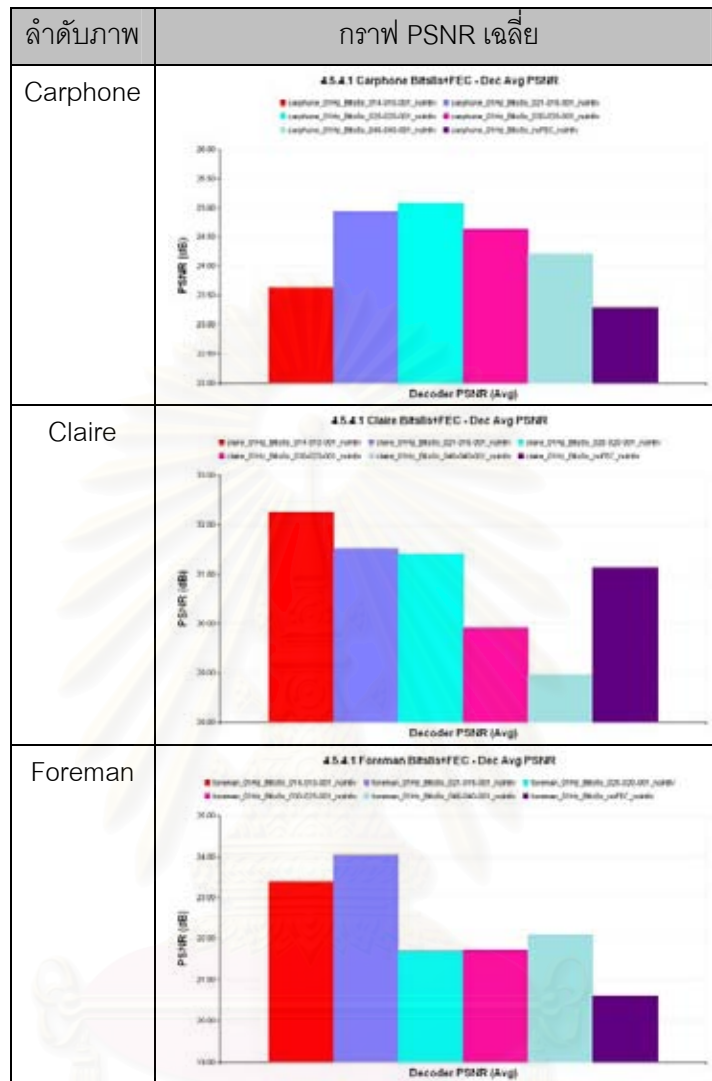
ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.4.1 (ต่อ)

ลำดับภาพ	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)		
		ไม่มีความผิดพลาด	จาก 4.5.3.1	มีความผิดพลาด
Claire	(14, 10)	41.15	32.82	<b>32.25</b>
	(21, 16)	41.49	31.76	31.51
	(25, 20)	41.79	32.23	31.40
	(30, 25)	41.92	32.19	29.93
	(46, 40)	42.14	<b>32.88</b>	28.97
	No FEC	42.78	30.82	31.12
Foreman	(14, 10)	30.69	<b>17.86</b>	23.40
	(21, 16)	31.15	17.49	<b>24.04</b>
	(25, 20)	31.35	17.09	21.68
	(30, 25)	31.59	17.33	21.71
	(46, 40)	31.84	17.66	22.10
	No FEC	32.50	17.11	20.61



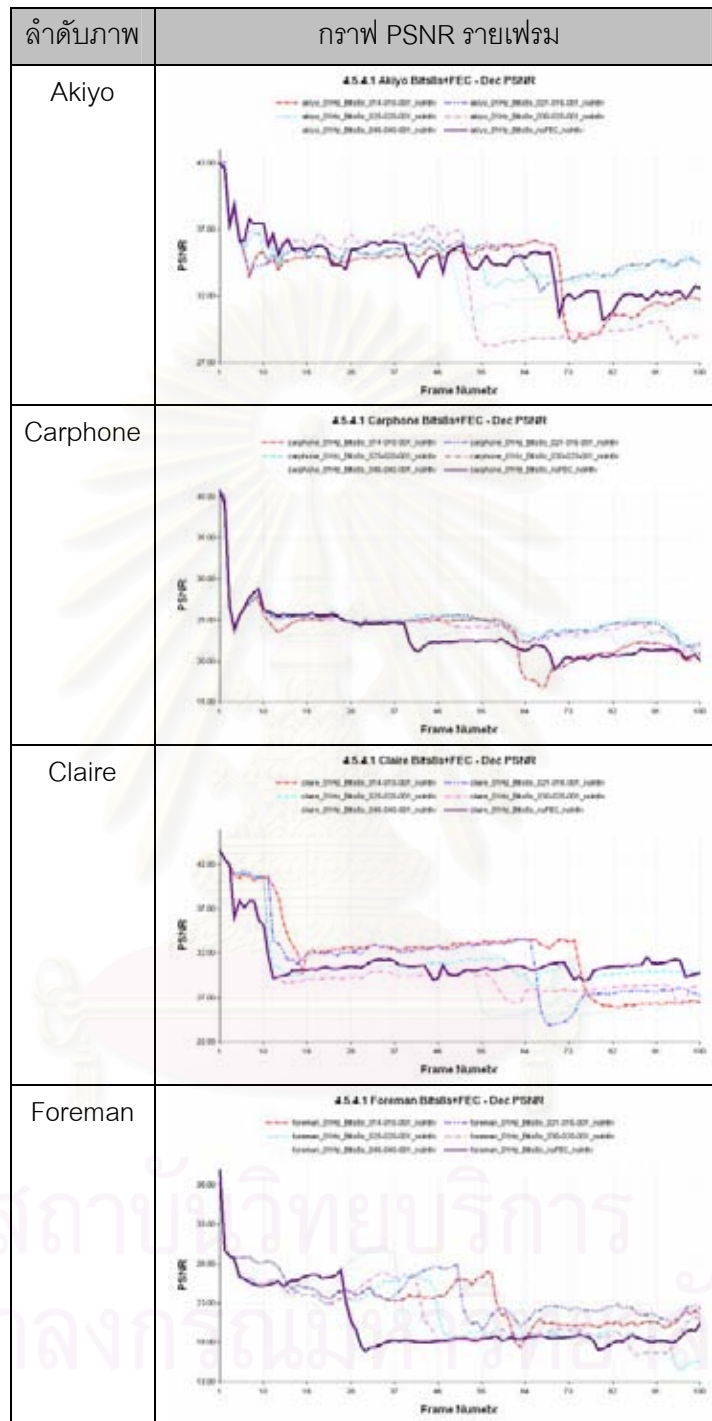
รูปที่ 4.25 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.4.1





รูปที่ 4.25 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.4.1 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.1

ตารางที่ 4.20 จำนวนแม่โครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.4.1

ลำดับภาพ	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	จำนวนแม่โครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้	
		จาก 4.5.3.1	มีความผิดพลาด
Akiyo	(14, 10)	942	531
	(21, 16)	955	559
	(25, 20)	1147	532
	(30, 25)	1284	617
	(46, 40)	1103	668
	No FEC	1547	758
Carphone	(14, 10)	956	413
	(21, 16)	1158	535
	(25, 20)	1316	551
	(30, 25)	1312	578
	(46, 40)	1251	717
	No FEC	1380	742
Claire	(14, 10)	899	646
	(21, 16)	1059	621
	(25, 20)	1043	606
	(30, 25)	1091	718
	(46, 40)	1149	676
	No FEC	1346	780
Foreman	(14, 10)	792	392
	(21, 16)	1190	403
	(25, 20)	1201	588
	(30, 25)	1232	535
	(46, 40)	1274	541
	No FEC	1499	712

ลำดับภาพ	กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้
Akiyo	<p>4.5.4.1 Akiyo H264s+FFC - MS</p> <p>Unreadable MBs</p> <p>Decoder total loss MB</p>
Carphone	<p>4.5.4.1 Carphone H264s+FFC - MS</p> <p>Unreadable MBs</p> <p>Decoder total loss MB</p>
Claire	<p>4.5.4.1 Claire H264s+FFC - MS</p> <p>Unreadable MBs</p> <p>Decoder total loss MB</p>
Foreman	<p>4.5.4.1 Foreman H264s+FFC - MS</p> <p>Unreadable MBs</p> <p>Decoder total loss MB</p>

รูปที่ 4.27 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง

4.5.4.1

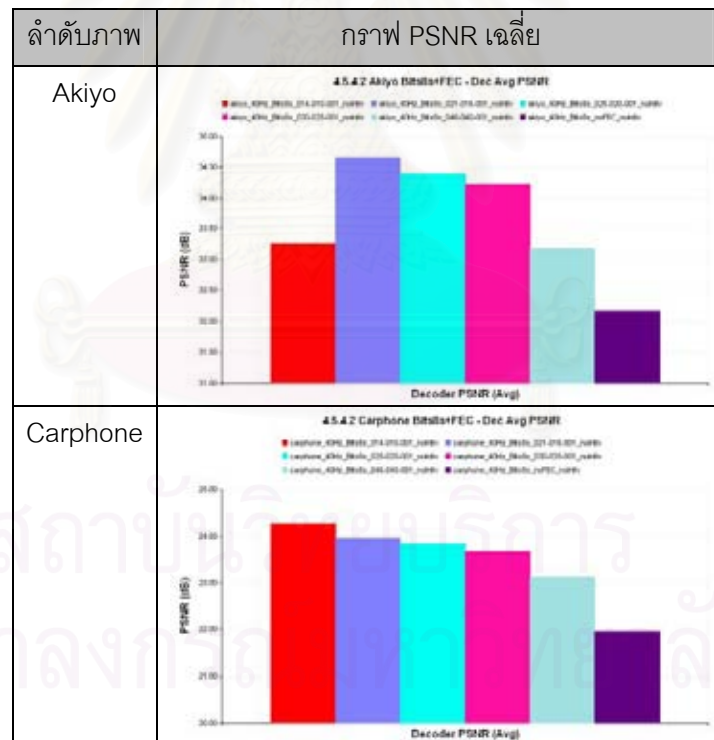
## 4.5.4.2 กรณีเฟดดิ้งเร็ว

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.4.2

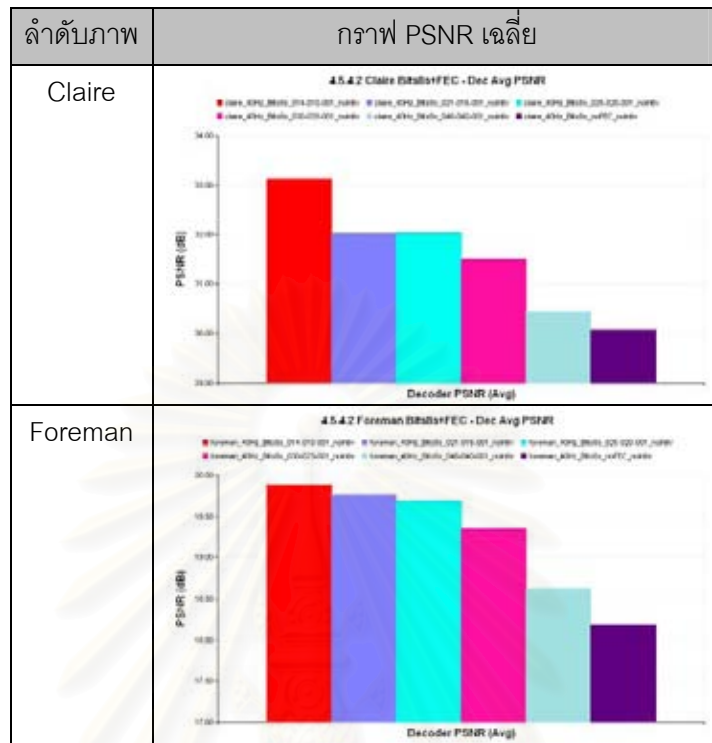
ลำดับภาพ	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)		
		ไม่มีความผิดพลาด	จาก 4.5.3.2	มีความผิดพลาด
Akiyo	(14, 10)	40.80	27.47	33.27
	(21, 16)	41.12	26.56	<b>34.66</b>
	(25, 20)	41.37	<b>27.99</b>	34.39
	(30, 25)	41.54	27.41	34.23
	(46, 40)	41.72	27.42	33.18
	No FEC	42.28	27.63	32.17
Carphone	(14, 10)	31.82	19.46	<b>24.27</b>
	(21, 16)	32.25	19.52	23.96
	(25, 20)	32.48	<b>19.96</b>	23.83
	(30, 25)	32.66	19.05	23.67
	(46, 40)	32.91	18.12	23.12
	No FEC	33.57	19.01	21.94
Claire	(14, 10)	41.15	26.54	<b>33.14</b>
	(21, 16)	41.49	26.50	32.02
	(25, 20)	41.79	<b>26.73</b>	32.03
	(30, 25)	41.92	25.98	31.50
	(46, 40)	42.14	25.83	30.44
	No FEC	42.78	24.31	30.07

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ย PSNRของการจำลองข้อ 4.5.4.2 (ต่อ)

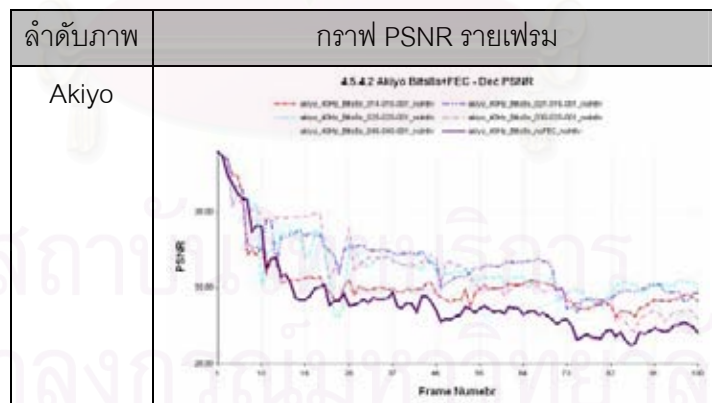
ลำดับภาพ	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	ค่าเฉลี่ย PSNR (dB)		
		ไม่มีความผิดพลาด	จาก 4.5.3.2	มีความผิดพลาด
Foreman	(14, 10)	30.69	<b>16.51</b>	<b>19.88</b>
	(21, 16)	31.15	15.27	19.76
	(25, 20)	31.35	15.50	19.69
	(30, 25)	31.59	16.45	19.35
	(46, 40)	31.84	15.32	18.62
	No FEC	32.50	15.12	18.19



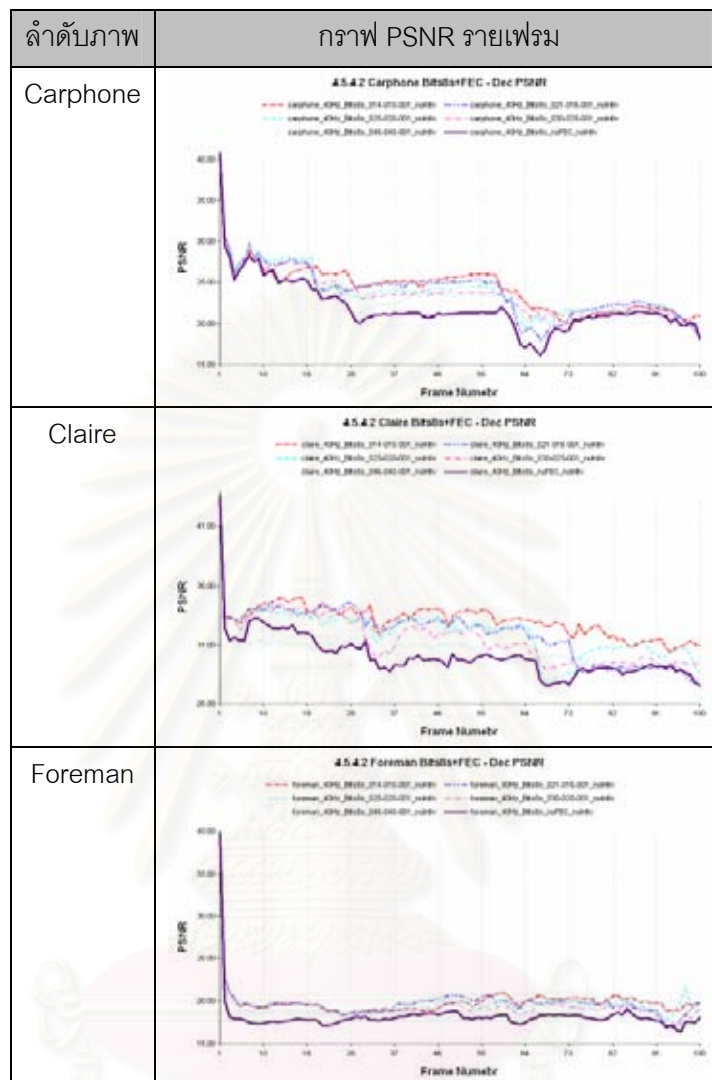
รูปที่ 4.28 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.4.2



รูปที่ 4.28 กราฟ PSNR เฉลี่ยจากการจำลอง 4.5.4.2 (ต่อ)



รูปที่ 4.29 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.2



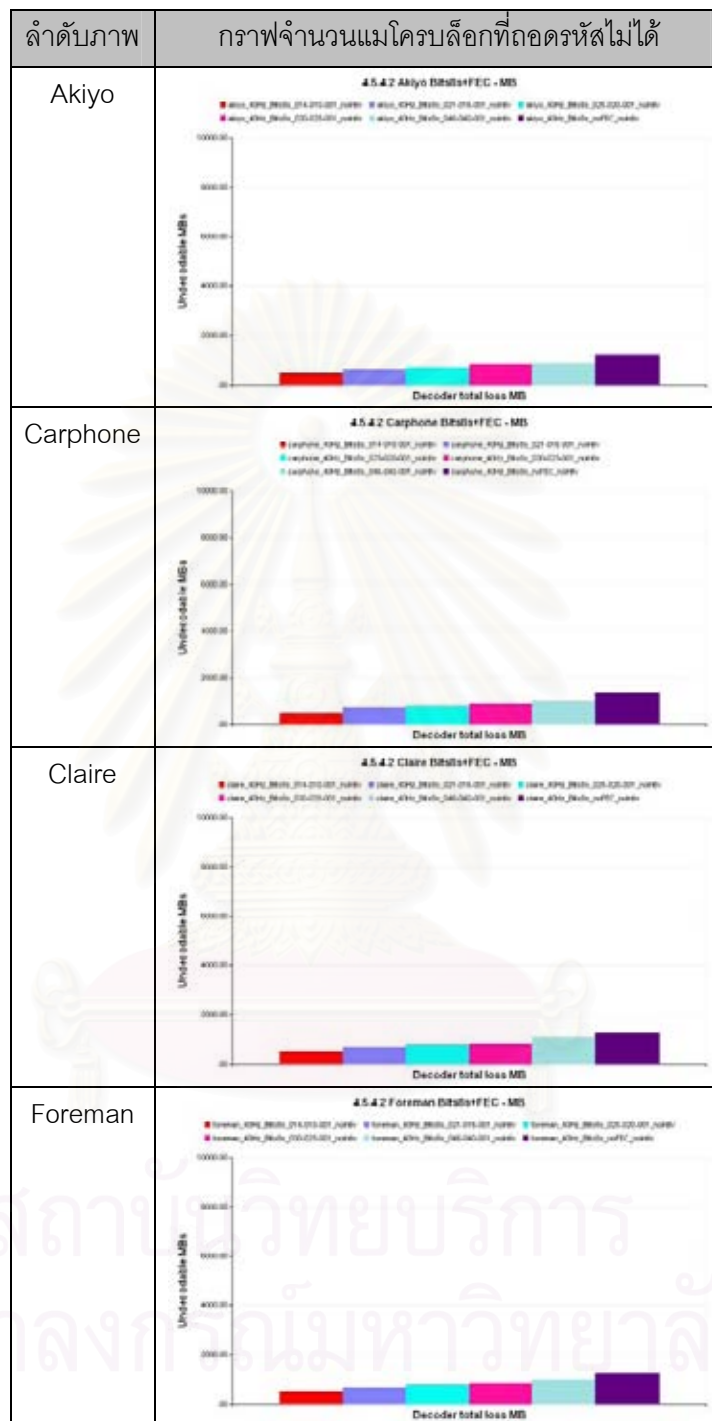
รูปที่ 4.29 กราฟ PSNR รายเฟรมจากการจำลอง 4.5.4.2 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.22 จำนวนแม่โครบล็อคที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจำลองข้อ 4.5.4.2

ลำดับภาพ	คำรหัส FEC (n, k, t=1)	จำนวนแม่โครบล็อคที่ถอดรหัสไม่ได้	
		จาก 4.5.3.2	มีความผิดพลาด
Akiyo	(14, 10)	3657	496
	(21, 16)	4163	600
	(25, 20)	3577	700
	(30, 25)	4363	854
	(46, 40)	4745	876
	No FEC	5367	1210
Carphone	(14, 10)	3713	479
	(21, 16)	3997	718
	(25, 20)	3772	763
	(30, 25)	4141	884
	(46, 40)	4891	978
	No FEC	5634	1329
Claire	(14, 10)	3889	523
	(21, 16)	3927	697
	(25, 20)	4082	779
	(30, 25)	4168	829
	(46, 40)	4542	1065
	No FEC	5269	1257
Foreman	(14, 10)	3726	519
	(21, 16)	4070	669
	(25, 20)	3939	763
	(30, 25)	4138	841
	(46, 40)	4559	996
	No FEC	5740	1243



รูปที่ 4.30 กราฟจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้รวมทุกเฟรมจากการจำลอง

4.5.4.2

## 4.6 วิเคราะห์ผลการจำลอง

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลของการจำลองโดยแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่การวิเคราะห์ผลการจำลองตามหัวข้อของการปรับค่าพารามิเตอร์ตามหัวข้อการจำลอง และการวิเคราะห์ผลที่เป็นภาพรวมของผลการจำลองทั้งหมด

### 4.6.1 วิเคราะห์ผลการจำลองตามหัวข้อของการปรับค่าพารามิเตอร์

การวิเคราะห์ผลการจำลองที่ได้จากการจำลอง แบ่งเป็นหัวข้อตามกลุ่มพารามิเตอร์เช่นเดียวกัน โดยผลการจำลองวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

#### 4.6.1.1 ผลการจำลองหัวข้อ 4.4.1

จากผลการจำลองหัวข้อ 4.4.1 พบว่าอัตราบิตสำหรับวิดีโอที่ลดลงเนื่องจากการควบคุมอัตรา ที่ต้องแบ่งอัตราบิตส่วนหนึ่งไปใช้สำหรับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า ทำให้คุณภาพวิดีโอ PSNR มีค่าลดลงด้วย ผลจากการจำลองหัวข้อนี้สรุปได้ว่าค่า PSNR แปรผันตามอัตราบิตวิดีโอ

#### 4.6.1.2 ผลการจำลองหัวข้อ 4.4.2

จากผลการจำลองหัวข้อ 4.4.2 พบว่าการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ทำให้ค่าคุณภาพวิดีโอ PSNR ลดลง ซึ่งเป็นผลมากจากการถูกจำกัดความสามารถในการประมาณการเคลื่อนที่ของตัวเข้ารหัส ที่มีถูกจำกัดให้อยู่ภายในสไลซ์ ทำให้การประมาณการเคลื่อนที่มีส่วนเหลือจากการประมาณมากขึ้น เนื่องจากอาจมีแมโครบล็อกที่มีการเคลื่อนที่จริงระหว่างเฟรมข้ามสไลซ์ ตัวประมาณการเคลื่อนที่จึงทำได้แค่หาตำแหน่งใกล้เคียงของการเคลื่อนที่ซึ่งผลต่างน้อยที่สุด ข้อดีของนี้เป็นลักษณะของระบบการประมาณการเคลื่อนที่ที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1.3.1

#### 4.6.1.3 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.1

จากผลการจำลองหัวข้อ 4.5.1 พบว่าความผิดพลาดในช่องสัญญาณมีผลให้คุณภาพวิดีโอ PSNR ลดลงจากกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในช่องสัญญาณ และทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ในทั้ง 2 กรณีเฟตติงเร็วและเฟตติงช้า วิเคราะห์ผลการจำลองแยกตามกรณีเฟตติงได้คือ การจำลองหัวข้อ 4.5.1.1 กรณีเฟตติงช้า การลดลงของค่าคุณภาพวิดีโอ และการจำนวนการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ มีปริมาณน้อยกว่ากรณีเฟตติงเร็วหัวข้อ 4.5.1.2 ที่

เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากกรณีเฟตติงเร็วการเกิดความผิดพลาดที่บ่อยครั้งกว่า (แต่ความยาวต่อเนื่องของบิตผิดพลาดน้อยกว่า เนื่องจากอัตราบิตผิดพลาดทั้ง 2 กรณีเท่ากัน) ทำให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1 มากกว่าซึ่งส่งผลให้เกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2 ตามมาด้วย และเนื่องจากไม่มีการควบคุมความผิดพลาด ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นจึงกระจายไปได้ไกลจนสุดเฟรม ดังตัวอย่างการกระจายความผิดพลาดภายในเฟรมของเฟรมที่ 25 ลำดับภาพ Akiyo ดังรูปที่ 4.31 ตัวเลขในภาพแทนหมายเลขของแมโครบล็อกในสไลซ์ เมื่อสีของหมายเลขกลุ่มสไลซ์มีเป็นดังตารางที่ 4.23

รูปที่ 4.31 กระจายความผิดพลาดของเฟรมที่ 25 ลำดับภาพ Akiyo จากการจำลอง 4.5.1

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36	26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36
37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47	37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47
48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58	48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58
59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69	59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69
70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91	81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91
92 93 94 95 96 97 98	92 93 94 95 96 97 98
เฟตติงช้า	เฟตติงเร็ว

ตารางที่ 4.23 สีแทนประเภทการเกิดความผิดพลาดของแมโครบล็อกในเฟรม

ชนิดของแมโครบล็อก	สีแทนในภาพ
แมโครบล็อกที่ไม่มีผิดพลาด	XX
แมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 1	XX
แมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ชนิดที่ 2	XX

#### 4.6.1.4 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.2

จากผลการจำลองหัวข้อ 4.5.2 พบว่าค่าคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR ของวีดิทัศน์เมื่อมีการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ในการเข้ารหัสมีค่าสูงกว่า เมื่อไม่มีการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ ส่วนจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้เมื่อมีการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้มีจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้น้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ แม้ผลจากการจำลองในข้อนี้ไม่สามารถสรุปชัดเจนได้เรื่องของจำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรมที่ดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากจำนวนจุดเข้าจังหวะที่สามารถมีได้แล้วการเลือกใช้จำนวนสไลซ์ต่อเฟรมสูงสุดที่ 8 สไลซ์ยังสามารถทำได้ และได้ผลดีพอสมควร โดยเฉพาะผลกับจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

#### 4.6.1.5 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.3

จากการจำลองหัวข้อ 4.5.3 พบว่าการเลือกค่ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าที่ใช้ในช่องสัญญาณกรณีเฟตติงช้า ไม่มีส่วนช่วยแก้บิตผิดพลาดได้มากนัก ทำให้ค่า PSNR กรณีที่มีการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้ามีค่ามากกว่ากรณีอื่น ทั้งนี้สาเหตุไม่ได้มาจากการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า แต่เกิดจากจำนวนบิตสำหรับวีดิทัศน์ที่ลดลงเนื่องจากต้องแบ่งจำนวนบิตไปใช้สำหรับเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ที่มีมากกว่ากรณีไม่มีการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้านั้นยังไม่สามารถหาสาเหตุได้ ส่วนกรณีเฟตติงเร็ว พบว่าเมื่อใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าค่าคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR มีค่าสูงกว่า และจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้มีค่าน้อยกว่า แต่ค่ารหัสที่เหมาะสมสำหรับช่องสัญญาณกรณีเฟตติงเร็วนี้ยังไม่ปรากฏแน่ชัด

#### 4.6.1.6 ผลการจำลองหัวข้อ 4.5.4

จากผลการจำลองหัวข้อ 4.5.4 พบว่าการใช้งานร่วมกันของการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ที่สร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์จากจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัส ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้า ทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมความผิดพลาดดีขึ้น ทั้งในเรื่องของค่า PSNR ที่สูงขึ้นและจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ที่ลดลง กว่าการใช้การเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าเพียงอย่างเดียว ทั้งในกรณีเฟตติงช้าและเฟตติงเร็ว ดังผลการจำลองในตารางที่ 4.19, ตารางที่ 4.20, ตารางที่ 4.21 และ ตารางที่ 4.22

#### 4.6.2 วิเคราะห์ภาพรวมของผลการจำลอง

จากผลการจำลองทั้งหมดพบว่า การควบคุมความผิดพลาดในช่องสัญญาณมีความสำคัญ หากไม่มีเทคนิคควบคุมความผิดพลาดคุณภาพของวีดิทัศน์จะมีการลดทอนลงมาก และข้อมูลวีดิทัศน์ที่สูญเสียไปจะมีจำนวนมาก ดังผลการจำลองหัวข้อ 4.5.1 ซึ่งพบว่าเป็นการจำลองที่มีตัววัดคุณภาพวีดิทัศน์ PSNR ต่ำ แต่เนื่องจากค่า PSNR มีผลจากส่วนประกอบอื่นในระบบการเข้ารหัส ดังนั้นจึงใช้การวัดจากจำนวนข้อมูลวีดิทัศน์ที่สูญเสียไปคือจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ ดังจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อไม่มีการควบคุมความผิดพลาดตามการจำลองหัวข้อ 4.5.1 จำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้จะมีค่าสูงที่สุด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้เป็นสรุปผลการจำลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ต้องการพัฒนาประสิทธิภาพเทคนิคการควบคุมความผิดพลาดสำหรับการส่งวีดิทัศน์

#### 5.1 สรุปผลการจำลอง

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ร่วมกับการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าสำหรับการส่งวีดิทัศน์ H.264 ผ่านช่องสัญญาณไร้สาย การใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้มีการจำลองด้วยแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบคงที่ซึ่งนิยามด้วยพารามิเตอร์ และแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ที่สร้างจากจำนวนบิตที่ใช้เข้ารหัสแมโครบล็อกด้วยเทคนิคที่นำเสนอในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.5.2 จากผลการจำลองในบทที่ 4 เมื่อทำการจำลองด้วยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามหัวข้อที่ 4.4 ถึงหัวข้อที่ 4.5 นั้นพบปัจจัยที่ทำให้ค่า PSNR ของวีดิทัศน์ลดลงได้แก่ การควบคุมอัตราบิต การใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ และความผิดพลาดในช่องสัญญาณ โดยพบว่าความผิดพลาดในช่องสัญญาณเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่า PSNR ของวีดิทัศน์ลดลงมากที่สุด นอกจากนี้ความผิดพลาดในช่องสัญญาณยังทำให้ตัวถอดรหัสสูญเสียข้อมูลแมโครบล็อกเนื่องจากการเกิดแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ทั้ง 2 ชนิดตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1 การใช้การจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้และการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าสามารถช่วยให้ค่า PSNR ที่ลดลงจากความผิดพลาดในช่องสัญญาณสูงขึ้นได้ เนื่องจากทั้ง 2 วิธีช่วยลดจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการใช้งานร่วมกันของการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้และการเข้ารหัสแก้ความผิดพลาดไปหน้าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ และทำให้ค่า PSNR เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลดจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้ของการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้นั้นเกี่ยวข้องกับจำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อเฟรมและรูปแบบของแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ใช้ในการเข้ารหัสเฟรม วิทยานิพนธ์นี้เสนอเทคนิคในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบปรับตัวได้ที่ให้ความสำคัญของแมโครบล็อกซึ่งดูจากจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสแมโครบล็อก เป็นทางเลือกสำหรับใช้ในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์เนื่องจากตัวเลือกของรูปแบบแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่กำหนดให้แต่ละเฟรมนั้นมีจำนวนมาก ซึ่งพบว่าเทคนิคที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนแมโครบล็อกที่ถอดรหัสไม่ได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เทคนิคการควบคุมความผิดพลาดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ดังข้อต่อไปนี้

ก. การสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลจากตัวเข้ารหัสเพียงอย่างเดียว สามารถเพิ่มการใช้ข้อมูลจากช่องสัญญาณเข้ามาเป็นตัวเลือกในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ได้

ข. ตัวบ่งชี้ความสำคัญของกลุ่มสไลซ์ที่ใช้ในการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ยังสามารถใช้ข้อมูลอื่นนอกจากจำนวนบิต เช่นใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแมโครบล็อกมาช่วย เพื่อรวมปัจจัยเรื่องการเคลื่อนที่ข้ามกลุ่มสไลซ์ ดังจะเห็นได้จากผลการจำลองข้อ 4.4.2 ที่พบว่าการใช้งานการจัดเรียงแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นได้ทำให้ค่า PSNR ลดลง

ค. การเลือกค่านัยสำคัญของความผิดพลาดไปหน้าสามารถปรับให้ใช้ข้อมูลจากตัวเข้ารหัสวิดิทัศน์และข้อมูลจากช่องสัญญาณ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

- 1 ISO/IEC 13818, MPEG-2 Generic coding of moving pictures and associated audio information.
- 2 ISO/IEC 14496, MPEG-4 Information technology-Coding of audio-visual objects.
- 3 ITU-T Recommendation H.263, Video coding for low bit rate communication. March 1996.
- 4 ITU-R Recommendation BT.601 Standard for component digital video., 1987.
- 5 I. E. G. Richardson, H.264 And MPEG-4 Video Compression: Video Coding For Next Generation Multimedia, Halsted.Press, England, 2003
- 6 H. Liu and M. El Zarki. Adaptive source rate control for real – time wireless video transmission., Mobile Network and Application 3(1998): 49 – 60.
- 7 Clark, George C., Jr., and J. Bibb Cain. Error-Correction Coding for Digital Communications. New York: Plenum Press, 1981
- 8 J. G. Proakis, Digital Communication, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, New York, 1995.
- 9 Iain E.G. Richardson. H.264 and MPEG-4 Video Compression. West Sussex, England: Wiley, 2003.
- 10 S. Wenger and M. Horowitz, FMO: Flexible Macroblock Ordering, Joint Video Team, Doc. JVT-C089, Fairfax (USA), May 2002
- 11 พรเทพ นวกิจกนก, การควบคุมอัตราภาพประวิงเวลาต่ำสำหรับมาตรฐานการลงรหัสสัญญาณวีดิทัศน์ขั้นสูง, วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- 12 S. Aramvith, C.-W. Lin. S. Roy, and M.-T. Sun, Wireless Video Transport using Conditional Retransmissions and Low-Delay Interleaving , Proceedings of IEEE
- 13 นัษฐ์ ศรีไสววิไล และ สุภาวดี อร่ามวิทย์, การปรับปรุงการควบคุมอัตราของการเข้ารหัส H.264 สำหรับการส่งวีดิทัศน์ผ่านช่องสัญญาณไร้สายที่มีการส่งใหม่, การประชุมทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 ภูเก็ต ตุลาคม 2548
- 14 Cowlshaw M. F. Fundamental requirements for picture presentation., Proc. Society for Information Display, Volume 26, No. 2, 1985
- 15 ITU-R Recommendation BT.500-11 Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures

- 16 ITU-T Recommendation H.264 Advanced video coding for generic audiovisual services., March 2005.
- 17 A.R. Noerpel, Y.-B. Lin, and H. Sherry, PACS: Personal Access Communications System – A Tutorial, IEEE Personal Communications, pp. 32-43, June 1996.
- 18 H. Ochsner. DECT – Digital European Cordless Telecommunications. IEEE Vehicular Technology 39th Conference. (1989): 718-721.
- 19 Chujoh T, Watanabe T. Reversible variable length codes and their error detecting capacity. Proceedings of the Picture Coding Symposium, Portland, OR, 1999. p. 341–4
- 20 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.
- 21 Ndili, O. and Ogunfunmi, T, On the performance of a 3D flexible macroblock ordering for H.264/AVC, Consumer Electronics, 2006. ICCE '06. 2006 Digest of Technical Papers. International Conference, pp 37 – 38, 7-11 Jan. 2006
- 22 Ogunfunmi, T. and Huang, W.C, A flexible macroblock ordering with 3D MBAMAP for H.264/AVC. Circuits and Systems, 2005. ISCAS 2005. IEEE International Symposium, pp 3475 – 3478, Vol. 4, 23-26 May 2005
- 23 Benierbah, S.; Khamadja, M, A new technique for quality scalable video coding with H.264, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions, Vol15, Issue 11, pp 1332 - 1340, Nov. 2005
- 24 H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, in RFC 3550, July. 2003.
- 25 Karsten Sühling, H.264/AVC Software Coordination, JVT Internet download URL <http://bs.hhi.de/~suehring/tml/>
- 26 B. Girod, N. Farber, Error-Resilient Standard-Compliant Video Coding, in: A. Katsaggelos, N. Galatsanos (eds), Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission, Kluwer Academic Publishers, Boston, Oktober 1998.

- 27 D Barman, I Matta, E Altman and R El Azouzi, TCP Optimization through FEC, ARQ and Transmission Power Tradeoffs, Technical report, Boston University, Computer Science Department, Boston, MA 02215, 2003
- 28 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.
- 29 T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjøntegaard, and A. Luthra, Overview of the H.264/AVC video coding standard, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 13, pp. 560–576, July 2003



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

- 1 W. Hantanong and S. Aramvith, Analysis of Slice-to-Macroblock Mapping for Packet-based Wireless Fading Channel, Proceeding of IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) 2005, Ohio, USA, August 2005
- 2 วิสูตร ชาญทนต์ และ สุภาวดี อร่ามวิทย์, เทคนิคการจัดกลุ่มสไลซ์-แมโครบล็อกโดยใช้ข้อมูลบิตนับ สำหรับการส่งวีดิทัศน์ H.264 ผ่านช่องสัญญาณเฟดดิ้งไร้สาย, การประชุมทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 28 ภูเก็ต ตุลาคม 2548



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Analysis of Macroblock-to-Slice Group Mapping for H.264 Video Transmission over Packet-Based Wireless Fading Channel

Wisut Hantanong and Supavadee Aramvith

Digital Signal Processing Laboratory  
Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University  
Bangkok, Thailand  
Wisut.H@student.chula.ac.th and Supavadee.A@chula.ac.th

**Abstract**— In this paper, we analyze the effectiveness of using FMO for wireless video transmission. We use H.264 FMO feature as the macroblock-level error resilience tool. Our study analyzes the tradeoff and effectiveness of using predefined mapping and explicit mapping in slow and fast fading wireless channel condition. We also propose to use the encoder's macroblock coded-bit-count information as an indicator for a choice of macroblock-address-map of each picture. The scheme proposed conforms to the baseline H.264 decoder with no need for bitstream modification. Simulation results indicate the use of suitable choice of MBAmapping for FMO could reduce the number of undecodable macroblocks.

## I. INTRODUCTION

There are many challenging issues in wireless video transmission. The major problem is the burst errors caused by time-varying channel itself. Variable Length Code (VLC)-based video codec provide good compression, however, a single bit error in coded bitstream can propagate to the next synchronization point. This results in unacceptable video quality. The amount of degradation is varied depending on the location of errors in the bitstream due to the unequal importance of each macroblock. Errors can propagate not only in spatial direction by the nature of loss VLC synchronization; but also they can propagate in temporal direction via prediction coding loop [1].

There are many error resilience schemes has been proposed. A simple way is to insert the predefined synchronization marker which increases extra overhead and may require bitstream syntax modifications. Another proposed scheme was defined under H.263 standard, called slice interleaving [2]. In this method, each Group of Block (GOB) can confide error propagation within itself yielding shorter error propagation length. However, it still lacks the flexibility of how macroblock can be grouped.

The H.264 standard [3] provides a feature named Flexible Macroblock Ordering (FMO) [4] in which it allows flexible means of macroblock grouping. FMO pattern can be differently assigned for each picture through the first picture header and can be altered for the subsequent pictures. While FMO has been defined for the purpose of error resilience

tool, there is no detailed analysis for its effectiveness and practicality when used with wireless video transmission.

In this paper, we analyze the effectiveness of using FMO for wireless video transmission. We use FMO as the macroblock level interleaving tool to spreads out error in spatial dimension and also as a resynchronization point. Our study analyzes the tradeoff and effectiveness of using predefined mapping and explicit mapping in slow and fast fading channel condition. We also propose to use the macroblock bit-count information collected from the first-pass encoding as an indicator for a choice of FMO Macroblock-to-slice Allocation map (MBAmapping) of each picture. Since there can be many different kinds of MBAmapping possible in each picture, the issue lies on how to select the suitable MBAmapping such that the number of undecodable macroblocks can be reduced.

This paper is organized as follows. Analysis of FMO on video quality under channel errors is presented in part II. Part III describes the proposed macroblock-to-slice group mapping using bit-count information. In part IV, the simulation results are discussed. Conclusions and future works are given in part V.

## II. ANALYSIS OF FMO ON VIDEO QUALITY UNDER CHANNEL ERRORS

In this section, we present FMO analysis in terms of the different kinds of slice group mapping offered, overhead incurred, and simulation results shown the benefits of using FMO as the error resilience tool for wireless video transmission.

### A. FMO in H.264

The H.264 Flexible Macroblock Ordering (FMO) allows flexible means of macroblock grouping. The order of macroblock for coding of picture can be done in "non-raster-scan" order. The groups of macroblocks, called "Slice", can be altered differently for each picture. By using FMO, each slice is independently intra-predicted. With the current implementation of H.264 [5], each macroblock can be mapped to a particular slice, i.e., maximum 8 Slice Group

IDs (SGid), through the MBAMap data structure. However, the macroblock order within a slice must be in the ascending order. FMO consists of six slice group map types, five of them are predefined macroblock mapping which can be specified through picture parameter setting (PPS) and require negligible amount of extra header. We are interested in two of those which are dispersed and interleaved types in this study. The last one called explicit slice group map type allows the full flexibility of assigning macroblock to any slice although it may require higher number of extra header. Also there is no rule of how to assign slice group mapping for explicit type. FMO pattern can be differently assigned for each picture through the first picture header and can be altered for the subsequent pictures. This allows the option to turn FMO feature on and off while coding the sequence. Decoder thus can limit any error-propagated macroblock within one slice. Examples of three mappings are shown in Fig. 1. Overheads required for FMO are acceptable. It has been shown in [4] that the total overhead incurred by omitting in-picture prediction is normally less than 10%.

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

(a) Dispersed (b) Interleaved (c) Explicit

Figure 1. Three types of H.264 FMO investigated.

## B. Effects of FMO on video under channel errors

### 1) Reference software modification

The reference software used in this simulation is H.264 JM codec version 9.2. No modification of encoded bit-stream is needed. However, the encoder in this version does not fully support encoding of explicit slice-group-map (i.e. slice-group-map-type = 6). We modify the source code such that it can read the entire slice group configuration file and it can resend the updated picture parameter set (PPS) information for each encoded picture. Note that, the encoded bit-stream can be decoded by the decoder. However, some modifications needed at the decoder to discard undecodable macroblock and to continue the decode process.

### 2) Codec configuration

We encode 4 video sequences using baseline profile at level 3.0 in our simulation. Each sequence is encoded for the total of 100 frames with the frame rate of 10 frames/s. The rate-control is enabled at the fixed bit rate of 32 Kbps. The default encoder parameters are used [6] with the exception on the following FMO-related parameters.

- Slice\_group\_map\_type (0, 1, 6)
- Num\_slice\_group\_minus\_one (0 to 7)
- SliceGroupConfigFileName (proposed MBAMap)

Descriptions of H.264 JM codec parameters usage can be found in [6]

### 3) Simulation results

To investigate the benefits of using FMO on wireless channel, the Rayleigh fading wireless channel simulator is used in our simulation. The details of the simulator can be found in [7]. To simulate the effects of slow/fast fading channels, the maximum Doppler frequency parameter is set to 1 Hz, for slow-fading and 40 Hz, for fast-fading, respectively. The average bit error rate (BER) and average packet error rate (PER), for 80-bit packet size [8], are 0.06, and 0.09, respectively.

We set up simulation by using assumptions that errors may not attack PPS header. The simulations are done to find the relationship between the number of slice-group-per-picture and the amount of undecodable macroblocks. The slice-group-per-picture is varied from 1 to 8 for each video sequence at slow/fast fading wireless channel. Fig. 2 shows the results of using interleaved mapping. As can be seen from the results, using higher number of slice-group-per-picture, i.e., 8 slice-group-per-picture, can decrease the number of undecodable macroblocks. Using only 1 slice-group-per-picture is not very effective. We can observe that the undecodable macroblocks of fast-fading case is much higher than that of slow-fading case. This is because the fast-fading nature of short burst errors but occurred more frequent, especially if errors locate at the beginning of slice, tends to propagate spatially to the rest of the picture. The propagation effect is very severe especially at lower number of slice-group-per-picture. In this regard, we use 8 slice-groups-per-picture in our subsequent simulations.

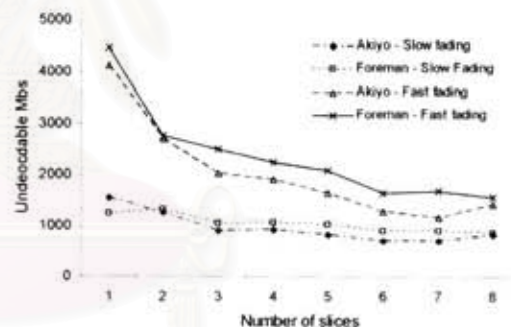


Figure 2. The number of slice-group-per-picture vs. the number of undecodable macroblocks for Akiyo and Foreman sequences at slow and fast fading channels using interleaved mapping type.

## III. THE PROPOSED MACROBLOCK-TO-SLICE GROUP MAPPING USING BIT-COUNT INFORMATION

As shown in Section II, using FMO mapping with 8-slice-group-per-picture could help reduce significant number of undecodable macroblocks. In this work, we analyze the use of predefined mappings such as dispersed and interleaved mappings and also proposed to use explicit

mapping using bit-count information of each macroblock collected during encoding stage as an indicator. By using explicit mapping, the macroblock-to-slice-group mapping will be set differently for each picture. Macroblock bit-count information can be collected at the first pass encoding of the two-pass encoding. On the other hand, for one-pass encoding, we can also use macroblock bit-count information of the previous picture. The results are about the same except in the case that there are scene-change frame on the video sequence if using the second approach. In this work, we collect bit count information using two-pass encoding. The basic idea of our approach is that the macroblock that uses higher number of bits are the more important macroblock due to the properties of motion-compensated prediction. Therefore, we try to interleave consecutive the more-bit-count macroblock to be in different slice.

Steps of our proposed technique are as follows.

- i. Collect macroblock bit-count information from the first pass encoding and sort the bit-count in descending order.
- ii. Map each sorted macroblock address to a slice group id from 0 to 7.
- iii. Repeat step ii until all macroblock has been assigned the slice group id.

As already mentioned, our proposed MBAmapping using bit-count information is one of many possible map that can be assigned to each picture. An example of MBAmapping of 5<sup>th</sup> frame of akiyo sequence using our mapping technique is shown in figure 3 and an example of bit used and slices group id assignment of the same frame shown in Table I.

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

Figure 3. MBAmapping of 5<sup>th</sup> frame of Akiyo sequence.

TABLE I. CODED BIT USED FOR EACH MACROBLOCK AND SGID ASSIGNMENT FOR THE 5<sup>TH</sup> FRAME OF AKIYO SEQUENCE

Coded Bit used (sorted)	MbAddr	SGid
264	29	0
247	39	1
237	37	2
180	61	3
133	50	4
131	78	5
109	15	6
101	60	7
81	71	0
0	92	2

#### IV. SIMULATION RESULTS

Due to the complex nature of error propagation in video transmission which can be both spatial and temporal direction, we decide using both quantity and quality measurement to evaluate the performance of our proposed technique. The quantitative evaluation measure is the amount of undecodable macroblocks, if minimum, can indicate performance of the reduction of intra-frame spatial error propagation. For qualitative measure, we use Peak-Signal to Noise Ratio (PSNR), which depends on both spatial and temporal error propagation and can vary on different error concealment method. Note that, in this work, we apply non-motion compensated error concealment method.

The simulation conditions are the same as described in Section II. We test 4 video sequences, namely, akiyo, bridge\_close, carphone, and foreman. We compare the results among using one slice-group-per-picture, predefined interleaved and dispersed mappings, and our proposed explicit mapping using bit-count information.

Table II and III show the amount of undecodable macroblock for each mapping types for slow and fast fading, respectively.

TABLE II. AMOUNT OF UNDECODABLE MACROBLOCK IN FRAME FOR EACH MAP TYPE USED (8 SLICES GROUP) SLOW FADING.

Sequence	Map			
	One slice	Interleave	Dispersed	Proposed
akiyo	1547	812	836	<b>720</b>
bridge_close	1028	458	462	<b>387</b>
carphone	1380	888	790	<b>615</b>
foreman	1235	858	719	<b>668</b>

TABLE III. AMOUNT OF UNDECODABLE MACROBLOCK IN FRAME FOR EACH MAP TYPE USED (8 SLICES GROUP) FAST FADING.

Sequence	Map			
	One slice	Interleave	Dispersed	Proposed
akiyo	5367	1535	1355	<b>1205</b>
bridge_close	4398	972	789	<b>710</b>
carphone	5634	1390	1233	<b>1113</b>
foreman	5903	1337	1232	<b>1193</b>

As can be seen, using our proposed techniques can further reduced the number of undecodable macroblock up to 20% compared to the predefined methods. Note that by using FMO mapping compared to using one slice-per-group, i.e., no FMO, can reduce up to 50% of the number of undecodable macroblocks. Figs. 4 and 5 show the PSNR curve of Akiyo sequence for slow and fast fading, respectively. We observe, in the slow fading case, the PSNR is significantly increased in most parts of the sequence. For fast fading case, the result is still not significant. As already noted, PSNR curve depends heavily on the methods of error concealment used. In this study, we use a simple non motion-compensated error concealment. By using this



method, the minimum undecodable macroblock picture may not have the maximum value of PSNR because of the unequal importance of each macroblock. To gain higher PSNR performance, an unequal data protection or more complicated error concealment might be applied.

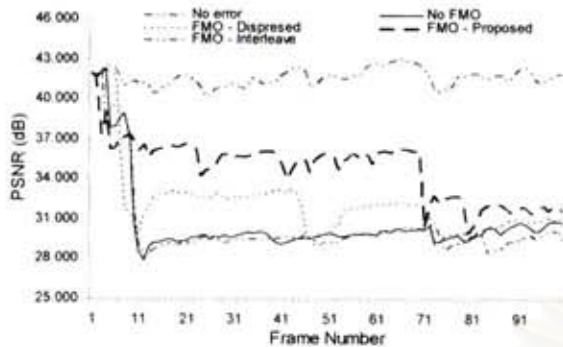


Figure 4. PSNR comparison of Akiyo sequence for slow-fading channel.

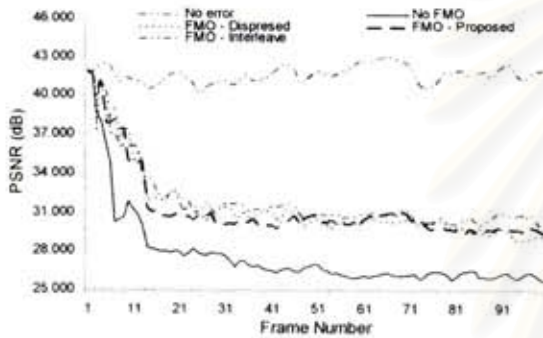


Figure 5. PSNR comparison of Akiyo sequence for fast-fading channel.

## V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

In this work, we investigate the use of FMO option of H.264 for wireless video transmission in the slow and fast fading case. Our simulation results indicate the benefit of using FMO especially when using higher number of slice

group per picture can decrease amount of undecodable macroblocks for up to 50%. Then we propose an explicit mapping technique using macroblock bit-count information. Simulation results show that by using our proposed techniques can reduce the the number of undecodable macroblock up to 20% compared to the predefined dispersed and interleaved methods.

Currently we study the use of channel condition information in conjunction with bit-count information, forward error correction (FEC) code and error concealment for further improvement of the scheme proposed.

## ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported in part by the cooperation project between the department of electrical engineering and private sector for research and development, Chulalongkorn University, Thailand.

## REFERENCES

- [1] B. Girod, N. Farber, "Error-Resilient Standard-Compliant Video Coding," in: A. Katsaggelos, N. Galatsanos (eds), *Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Oktober 1998.
- [2] ITU-T Recommendation H.263, "Video coding for low bit rate communication" March 1996.
- [3] ITU-T Recommendation H.264 : "Advanced video coding for generic audiovisual services," March 2005.
- [4] S. Wenger and M. Horowitz, "FMO: Flexible Macroblock Ordering", Joint Video Team, Doc. JVT-C089, Fairfax (USA), May 2002.
- [5] Karsten Sühring, "H.264/AVC Software Coordination," URL: <http://bs.hhi.de/~suehring/html/>
- [6] A. Michael, K. Sühring and G. Sullivan, "Proposed H.264/MPEG-4 AVC Reference Software Manual", Joint Video Team, Doc. JVT-M012, Plama (Spain), Oct. 2004.
- [7] 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, pp. 1068-1074, May 1995.
- [8] A.R. Noerpel, Y.-B. Lin, and H. Sherry, "PACS: Personal Access Communications System - A Tutorial," *IEEE Personal Communications*, pp. 32-43, June 1996.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**เทคนิคการจัดกลุ่มสไลซ์-แมโครบล็อกโดยใช้ข่าวสารบิตนับ**  
**สำหรับการส่งวีดิทัศน์ H.264 ผ่านช่องสัญญาณเฟดดิ้งไร้สาย**  
**Slice Group-Macroblock Arrangement Technique Using Bit-Count**  
**Information for H.264 Video Transmission over Wireless Fading Channel**

วิสูตร ชาญณรงค์ และ สุภาวดี อรณวิทย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0-2218-6909

Wisut.H@student.chula.ac.th และ Supavadee.A@chula.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้วิธีการจัดลำดับแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่นสำหรับการส่งวีดิทัศน์ไร้สาย สำหรับมาตรฐาน H.264 โดยใช้การจัดลำดับดังกล่าวเป็นเครื่องมือทบทวนความผิดพลาดระดับแมโครบล็อก การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ภาวะต่างๆ และประโยชน์ของการใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบที่นิยามก่อนและแบบที่กำหนดเองในสภาพช่องสัญญาณไร้สายแบบเฟดดิ้งช้าและเร็ว ในงานนี้ยังได้นำเสนอการใช้ข่าวสารบิตนับของการเข้ารหัสแมโครบล็อกเป็นตัวบ่งชี้ในการเลือกรูปแบบแผนที่ตำแหน่งแมโครบล็อกในแต่ละภาพ วิธีที่นำเสนอเป็นไปตามตัวเข้ารหัส H.264 baseline โดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขบิตสตรีม ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมของแผนที่ตำแหน่งแมโครบล็อกสามารถลดจำนวนแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้

**คำสำคัญ:** การจัดลำดับแมโครบล็อกแบบยืดหยุ่น H.264, ช่องสัญญาณเฟดดิ้งไร้สาย, เครื่องมือทบทวนความผิดพลาด

### Abstract

In this paper, we analyze the effectiveness of using FMO for wireless video transmission. We use H.264 FMO feature as the macroblock-level error resilience tool. Our study analyzes the tradeoff and effectiveness of using predefined mapping and explicit mapping in slow and fast wireless channel condition. We also propose to use the encoder's macroblock coded-bit-count information as an indicator for a choice of macroblock-address-map of each picture. The scheme proposed conforms to the baseline H.264 decoder with no need for bitstream modification. Simulation results indicate the use of suitable choice of macroblock-address-map for FMO could reduce the number of undecodable macroblocks.

**Keywords:** H.264 FMO, wireless fading channel, error resilience tools

### 1. บทนำ

ปัญหาหลักในการรับ-ส่งวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สายนั้นเกิดจากความไม่คงที่ในเชิงเวลาของช่องสัญญาณเอง เมื่อใช้งานช่องสัญญาณในการสื่อสารวีดิทัศน์เข้ารหัสที่มีพื้นฐานบนการเข้ารหัสแบบปรับเปลี่ยนความยาวได้ (Variable length coding) การเกิดความผิดพลาดเพียงบิตเดียวบนกระแสบิตสามารถกระจายความผิดพลาดไปได้ไกลจนถึงจุดซิงโครไนซ์จุดถัดไป ทำให้คุณภาพของวีดิทัศน์ที่ได้หลังจากถอดรหัสลดลง การกระจายความผิดพลาดนอกจากนี้จะไปในเชิงพื้นที่แล้วยังสามารถกระจายไปในเชิงเวลาได้อีกด้วย [1]

ได้มีการเสนอแบบแผนวิธีที่ใช้เป็นเครื่องมือด้านทบทวนความผิดพลาดสำหรับการเข้ารหัสวีดิทัศน์วีโหลายแบบ ตัวอย่างวิธีการอย่างง่ายคือการแทรกจุดซิงโครไนซ์แล้วซึ่งเป็นการเพิ่มโอเวอร์เฮด และอาจต้องมีการแก้วากยสัมพันธ์ของกระแสบิต นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่นิยามภายใต้มาตรฐาน H.263 เรียกว่า Slice interleaving [2] เมื่อใช้วิธีนี้แต่ละ Group Of Block (GOB) สามารถจำกัดการกระจายความผิดพลาดไว้ภายในกลุ่มได้ ทำให้ความยาวของความผิดพลาดสั้นลง อย่างไรก็ตามตัวเลือกรับการจัดกลุ่มแมโครบล็อกด้วยวิธีนี้ยังไม่ยืดหยุ่นเท่าที่ทำได้ใน H.264

มาตรฐาน H.264 [3] มีลักษณะเฉพาะที่ชื่อว่า Flexible Macroblock Ordering (FMO) [4] ซึ่งยอมผู้ใช้งานกำหนดการจัดกลุ่มของแมโครบล็อก และสามารถกำหนดรูปแบบ FMO ให้กับแต่ละภาพให้ใช้อุปกรณ์เดียวกันหรือแตกต่างกันก็ได้ ลักษณะเฉพาะ FMO นี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อเป็นเครื่องมือด้านทบทวนความผิดพลาด แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้งานบนช่องสัญญาณไร้สาย

ในบทความนี้มีการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการใช้ FMO ในงานรับ-ส่งวีดิทัศน์บนช่องสัญญาณไร้สาย โดยใช้ FMO เป็นเครื่องมืออินเตอร์ดิฟฟิงในระดับแมโครบล็อกเพื่อกระจายความผิดพลาดที่ติดกันบนเชิงพื้นที่ออกจากกัน และยังเป็นจุดซิงโครไนซ์ มีการศึกษาวิเคราะห์ภาวะต่างๆ และประสิทธิภาพของการใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์ทั้ง

แบบที่มีการนิยามก่อนแล้วและแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบกำหนดเอง นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการจัดแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยการใช้ข้อมูลจำนวนบิตที่ใช้ไปในการเข้ารหัสแบบโคโรลิกซึ่งได้จกตัวเข้ารหัสเป็นตัวช่วยเลือกรูปแบบแผนที่ตำแหน่งแบบโคโรลิก MBAMap และเนื่องจากตัวเลขในการจัดรูปแบบ MBAMap สำหรับแต่ละภาพมีจำนวนมาก จึงกลายเป็นข้อปัญหาว่าจะเลือกแผนที่อย่างไร ให้เกิดจำนวนแบบโคโรลิกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้น้อยที่สุด

**2. การวิเคราะห์ FMO ที่มีผลต่อคุณภาพวิดีโอที่ส่งได้**  
**ความคิดพลาดของช่องสัญญาณ**

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์การใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์ที่แตกต่างกัน และผลการจำลองที่แสดงประ โยชน์ที่ได้รับจากการใช้ FMO เป็นเครื่องมือค้นหาความคิดพลาดในการรับ ส่งวิดีโอที่ส่งช่องสัญญาณไร้สายที่มีความผิดพลาด

**2.1. FMO ในมาตรฐาน H.264**

เมื่อมีการใช้ FMO ลำดับของการเข้ารหัสแบบโคโรลิกสามารถเป็นไปนอกจากการรวมแบบเรสแตร์ทั่วไปที่ใช้ในตัวเข้ารหัสอื่น และสามารถเลือกจัดกลุ่มของแบบโคโรลิกที่เรียกว่าสไลซ์ให้แตกต่างกันแต่ละภาพได้ นอกจากนี้ในแต่ละสไลซ์ยังเป็นอิสระต่อกันในเรื่องการทำนายการเคลื่อนที่จำกัดอยู่ในสไลซ์ สำหรับตัวเข้ารหัสที่ใช้รุ่น JM9.2 [5] จำนวนกลุ่มสไลซ์ที่ให้ได้สูงสุดต่อภาพมีค่าเท่ากับ 8 ที่สามารถกำหนดให้กับแต่ละแบบโคโรลิกได้ อย่างไรก็ตามลำดับตำแหน่งของแบบโคโรลิกภายในแต่ละสไลซ์ยังคงเรียงลำดับจากน้อยไปมาก การกำหนดแผนที่กลุ่มสไลซ์แบ่งได้ทั้งหมด 6 ประเภทโดย 5 ประเภทแรกเป็นแบบที่นิยามไว้แล้วอธิบายลักษณะด้วยพารามิเตอร์ และอีก 1 ประเภทเป็นแบบที่ผู้ใช้สามารถกำหนดกลุ่มสไลซ์ให้แต่ละแบบโคโรลิกได้สำหรับทุกแบบโคโรลิก ซึ่งทั้ง 6 ประเภทต้องมีการส่งข้อมูล Picture Parameter Set (PPS) เป็น โยเวอร์เสด แยกต่างกันและปรากฏในงาน [4] ว่า โยเวอร์เสด ดังกล่าวมีจำนวนน้อยกว่า 10 %

01234567012	00000000000	322227660714
45670123456	01111111111	433446334720
01234567012	11222222222	55654124560
45670123456	22233333333	317725517106
01234567012	33334444444	56065047421
45670123456	44444555555	77614736353
01234567012	55555566666	20047000364
45670123456	66666666777	311022221155
01234567012	77777777777	450127185532

(a) Dispersed (b) Interleaved (c) Explicit

รูปที่ 1. แผนที่กลุ่มสไลซ์ 3 ประเภทที่ทำการทดสอบ

**2.2. ผลของการใช้ FMO ต่อคุณภาพของวิดีโอ**

**2.2.1. การแก้ไขข้อผิดพลาดเชิงอิมพัลส์**

โปรแกรมอ้างอิงที่ใช้เป็นรุ่น 9.2 มีการแก้ไขตัวเข้ารหัสที่สามารถอ่านค่าไฟล์แผนที่กลุ่มสไลซ์ได้อย่างถูกต้องสำหรับการใช้งาน FMO แบบที่ 6 (explicit) และมีการแก้ไขเรื่องการปรับ PPS ให้เป็นปัจจุบันสำหรับทุกภาพให้ถูกต้อง แต่การจำลองไม่ต้องมีการแก้ไขรายละเอียดของกระแสบิต

**2.2.2. การตั้งค่าการเข้ารหัส**

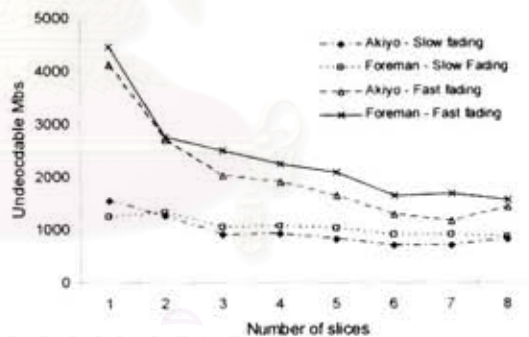
การจำลองเข้ารหัสจำนวน 4 ลำดับภาพด้วยโพรไฟล์ baseline ที่ระดับ 3.0 โดยแต่ละลำดับภาพเข้ารหัสทั้งหมดจำนวน 100 ภาพ ใช้การควบคุมอัตราที่ค่าคงที่ 32 Kbps ส่วนพารามิเตอร์ใช้ค่ามาตรฐานของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FMO ต่อไปนี้

- Slice\_group\_map\_type (0, 1, 6)
- Num\_slice\_group\_minus\_one (0 ถึง 7)
- SliceGroupConfigFileName

ค่าอธิบายในแต่ละพารามิเตอร์ของ H.264 JM ทั้งหมดมีอยู่ใน [6]

**2.2.3. ผลการจำลอง**

การจำลองใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่องสัญญาณไร้สายแบบเรอัลไทม์ [7] โดยกำหนดความถี่ของแบนด์วิดท์เป็น 1MHz และ 40MHz เพื่อจำลองช่องสัญญาณเฟดดิ้งช้า (slow fading) และเฟดดิ้งเร็ว (fast fading) ตามลำดับ เพื่อศึกษาประโยชน์ที่ได้จากการใช้ FMO กับการส่งผ่านวิดีโอที่ส่งช่องสัญญาณไร้สาย และใช้การจัดแบ่งกลุ่มข้อมูลขนาด 80 บิตตาม [8] ซึ่งได้พารามิเตอร์อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate, BER) และอัตราความผิดพลาด (Packet Error Rate, PER) เท่ากับ 0.06 และ 0.09 ตามลำดับ



รูปที่ 2. จำนวนกลุ่มสไลซ์ต่อภาพต่อจำนวนแบบโคโรลิกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ของลำดับภาพทดสอบ akiyo และ foreman ในช่องสัญญาณเฟดดิ้งช้าและเร็วเมื่อใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบ Interleave

การจำลองใช้สมมุติฐานว่าความผิดพลาดไม่เกิดขึ้นกับข้อมูลส่วน PPS โดยทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสไลซ์ต่อภาพกับจำนวนแบบโคโรลิกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ โดยเลือกใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์ที่นิยามไว้ก่อนแล้วที่รองรับจำนวนสไลซ์ได้สูงสุด 8 สไลซ์

ซึ่งได้แก่แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบ dispersed และแบบ interleave ส่วนแผนที่กลุ่มสไลซ์ที่ไม่สามารถใช้ได้ถึง 8 สไลซ์ไม่ได้ทำการจำลองสำหรับแผนที่แบบกำหนดเอง (explicit) จะใช้ในวิธีที่นำเสนอด้วยจำนวน 8 สไลซ์ต่อภาพ

**3. วิธีการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยข้อมูลบิตนับที่นำเสนอ**

ในส่วนนี้เป็นกรอธิบายเทคนิควิธีการสร้างแผนที่กลุ่มสไลซ์ด้วยวิธีที่นำเสนอ และเปรียบเทียบกับแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบ dispersed และ Interleave โดยใช้จำนวนกลุ่มสไลซ์เท่ากับ 8 เนื่องจากผลการจำลองในข้อ 2 พบว่าการเลือกใช้จำนวนสไลซ์ต่อภาพ 8 สไลซ์สามารถลดจำนวนแอมโครบล็อคที่ไม่สามารถถอดรหัสได้มากที่สุด วิธีที่นำเสนอจึงเลือกใช้ 8 สไลซ์ต่อภาพแทนแผนที่กลุ่มสไลซ์แบบ explicit ซึ่งแต่ละภาพสามารถเลือกใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์-แอมโครบล็อคที่แตกต่างกัน การนำเสนอตัวบ่งชี้ในการเลือกใช้แผนที่กลุ่มสไลซ์ให้เหมาะสมกับแต่ละภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการกำหนดกลุ่มสไลซ์ให้แต่ละแอมโครบล็อคด้วยจำนวนบิตที่ใช้ไปในการเข้ารหัสแอมโครบล็อคซึ่งได้จากตัวเข้ารหัสเป็นตัวช่วย โดยข้อมูลดังกล่าวได้ทำการเก็บจากจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสแอมโครบล็อคตำแหน่งเดียวกัน ในเฟรมที่แล้ว แนวคิดที่ใช้ในการจัดกลุ่มกลุ่มสไลซ์-แอมโครบล็อค คือ แอมโครบล็อคที่ใช้จำนวนบิตมากกว่า (ถือเป็นแอมโครบล็อคที่มีความสำคัญกว่า) เนื่องจากคุณสมบัติของการทำรายการชดเชยการเคลื่อนที่) จะถูกอินเทอร์พอลไปยังคุณละสไลซ์ การทำงานมีขั้นตอนดังนี้

- ก. เก็บข้อมูลจำนวนบิตที่ใช้ไปในการเข้ารหัสแต่ละแอมโครบล็อคและจัดเรียงลำดับจากมากไปน้อย
- ข. กำหนดกลุ่มสไลซ์ให้กับแต่ละแอมโครบล็อคที่ผ่านการเรียงลำดับแล้วเริ่มต้นจาก 0 ถึง 7 ตามลำดับ
- ค. ทำซ้ำข้อ ข. จนกระทั่งทุกแอมโครบล็อคในภาพได้รับการกำหนดกลุ่มสไลซ์

แผนที่กลุ่มสไลซ์แบบ dispersed และ interleave ที่นำมาเปรียบเทียบใช้ดังรูปที่ 1 เหมือนกันทุกภาพในลำดับภาพ ส่วนตัวอย่างแผนที่แบบกลุ่มสไลซ์แบบ explicit ที่นำเสนอถูกแสดงในรูปที่ 3 และตัวอย่างของจำนวนบิตที่ใช้และการจัดกลุ่มสไลซ์ถูกแสดงในตารางที่ 1

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

รูปที่ 3. แผนที่กลุ่มสไลซ์ของลำดับภาพ akiyo ภาพที่ 5

ตารางที่ 1. จำนวนบิตที่ใช้และกลุ่มสไลซ์ที่จัดให้สำหรับลำดับภาพ akiyo ภาพที่ 5

Coded Bit used (sorted)	MbAddr	SGid
784	49	0
547	39	1
227	27	2
180	61	3
133	50	4
131	38	5
109	15	6
101	60	7
81	71	0
0	92	2

**4. ผลการจำลอง**

เนื่องจากธรรมชาติที่ซับซ้อนของการกระจายความผิดพลาดในการส่งผ่านวิดิทัศน์ซึ่งสามารถเป็นไปได้ทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ในงานวิจัยนี้จึงแบ่งการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเป็น 2 แบบ ได้แก่การวัดเชิงปริมาณ และการวัดเชิงคุณภาพ ในการวัดเชิงปริมาณเลือกใช้การนับจำนวนแอมโครบล็อคที่ไม่สามารถถอดรหัสได้เป็นตัวชี้วัดตัวนี้ได้น้อย แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการลดการกระจายความผิดพลาดเชิงพื้นที่ภายในภาพได้ดี ส่วนการวัดเชิงคุณภาพเลือกใช้ค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) เป็นตัววัดซึ่งตัวนี้ขึ้นกับทั้งการกระจายความผิดพลาดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาและมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนวิธีการปกปิดความผิดพลาด ในงานนี้เลือกใช้การปกปิดความผิดพลาดแบบไม่มีารชดเชยการเคลื่อนที่ ตารางที่ 2 และ 3 แสดง จำนวนแอมโครบล็อคที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ เมื่อใช้แผนที่แต่ละแบบกรณีเฟดลิงช้าและเร็ว ตามลำดับ

ตารางที่ 2 จำนวนแอมโครบล็อคที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ เมื่อใช้แผนที่แต่ละแบบ กรณีเฟดลิงช้า

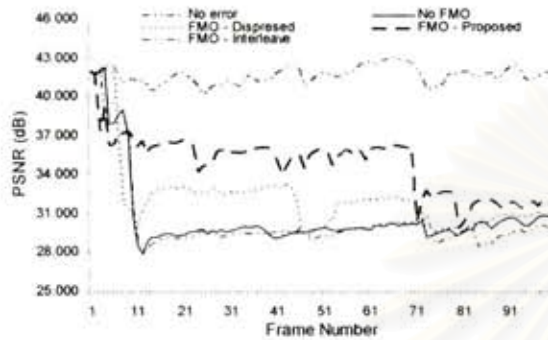
Sequence	Map			
	One slice	Interleave	Dispersed	Proposed
Akiyo	1547	812	836	720
bridge close	1028	458	462	387
Carphone	1380	888	790	615
Foreman	1235	858	719	668

ตารางที่ 3. จำนวนแอมโครบล็อคที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ เมื่อใช้แผนที่แต่ละแบบ กรณีเฟดลิงเร็ว

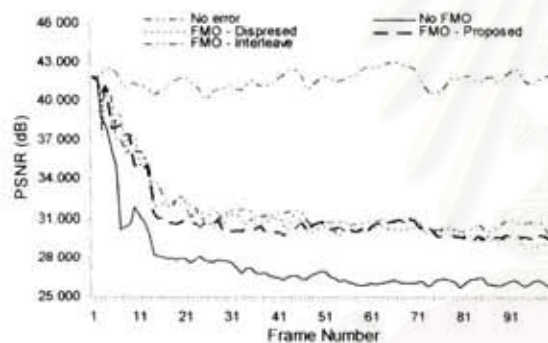
Sequence	Map			
	One slice	Interleave	Dispersed	Proposed
Akiyo	5367	1535	1355	1205
bridge close	4398	972	789	710
Carphone	5634	1390	1233	1113
Foreman	5903	1337	1232	1193

DS032

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เทคนิคการจัดแผนท์กลุ่มสไลซ์ที่นำเสนอสามารถลดจำนวนของแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้สูงสุดถึง 20% เมื่อเทียบกับที่ใช้แผนท์กลุ่มสไลซ์อีก 2 แบบที่นิยมด้วยพารามิเตอร์ และเมื่อเทียบกับไม่ได้ใช้ FMO พบว่าสามารถลดจำนวนแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ลงสูงสุดถึง 50%



รูปที่ 4. แผนท์กลุ่มสไลซ์ของลำดับภาพ akiyo ภาพที่ 5



รูปที่ 5. แผนท์กลุ่มสไลซ์ของลำดับภาพ akiyo ภาพที่ 5

สำหรับประสิทธิภาพในเชิงคุณภาพของวิธีที่นำเสนอพบว่าลำดับภาพ akiyo ในกรณีเฟดดิ้งช้า ค่า PSNR เพิ่มขึ้นมาก แต่ในกรณีเฟดดิ้งเร็วไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดจากวิธีที่นำเสนอ อย่างไรก็ตามสิ่งที่ได้กล่าวไว้แล้ว ค่า PSNR ขึ้นกับวิธีการปกปิดความผิดพลาดที่เลือกใช้ โดยในที่นี้ใช้การปกปิดความผิดพลาดอย่างง่ายไม่มีการชดเชยการเคลื่อนที่พบว่าไม่ปรากฏความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพที่วัดด้วย PSNR และค่าปริมาณที่วัดด้วยจำนวนแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้อย่างชัดเจน ลำดับภาพที่มีจำนวนแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้น้อยที่สุดอาจไม่ได้เป็นลำดับภาพที่มี PSNR สูงสุด หากต้องการให้ได้ประสิทธิภาพ PSNR ที่เพิ่มขึ้นอาจต้องมีการใช้การป้องกันข้อมูลที่ไม่เท่ากัน (Unequal Error Protection, UEP) และการปกปิดความผิดพลาดที่ซับซ้อนกว่าที่ใช้ในการจำลองนี้

## 5. สรุปผลและงานในอนาคต

บทความนี้มีการพิจารณาตัวเลือกในการใช้ FMO ของ H.264 ในการส่งผ่านวิดีโอผ่านช่องสัญญาณไร้สายกรณีภาวะเฟดดิ้งช้าและเร็ว ผลการจำลองชี้ให้เห็นประโยชน์จากการใช้ FMO โดยเฉพาะเมื่อใช้จำนวนสไลซ์ต่อภาพจำนวนมากสามารถลดจำนวนของแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ลงสูงสุดถึง 50% และเมื่อใช้วิธีการจัดแผนท์กลุ่มสไลซ์ด้วยเทคนิคที่นำเสนอสามารถลดจำนวนแมโครบล็อกที่ไม่สามารถถอดรหัสได้ลงถึง 20% เมื่อเทียบกับการใช้แผนท์กลุ่มสไลซ์ dispersed และ interleave ที่นิยมด้วยพารามิเตอร์โดยใช้จำนวนสไลซ์ต่อภาพ 8 สไลซ์เท่านั้น

ปัจจุบันนี้กำลังศึกษาการใช้งานข้อมูลภาวะช่องสัญญาณร่วมกับข้อมูลจำนวนบิต การแก้ความผิดพลาดแบบไปหน้า และการปกปิดความผิดพลาดเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอ โดยจะเป็นใช้ข้อมูลร่วมระหว่างข้อมูลจากวิดีโอและข้อมูลจากช่องสัญญาณ

## กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา และทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Girod, N. Farber, "Error-Resilient Standard-Compliant Video Coding," in: A. Katsaggelos, N. Galatsanos (eds), Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission, Kluwer Academic Publishers, Boston, October 1998.
- [2] ITU-T Recommendation H.263, "Video coding for low bit rate communication," March 1996.
- [3] ITU-T Recommendation H.264-Advanced video coding for generic audiovisual services," March 2005.
- [4] S. Wenger and M. Horowitz, "FMO: Flexible Macroblock Ordering", Joint Video Team, Doc. JVT-C089, Fairfax (USA), May 2002.
- [5] K. Sühring, "H.264 AVC Software Coordination," URL: <http://bs.hhi.de/~suehring/tml/>
- [6] A. M. Tourapis, K. Sühring and G. Sullivan, "Proposed H.264/MPEG-4 AVC Reference Software Manual", Joint Video Team, Doc. JVT-M012, Plama (Spain), Oct. 2004.
- [7] 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, pp. 1068-1074, May 1995.
- [8] A.R. Noerpel, Y.-B. Lin, and H. Sherry, "PACS: Personal Access Communications System - A Tutorial," IEEE Personal Communications, pp. 32-43, June 1996.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิสูตร หาญทองค์ เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2540 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสังกัดห้องปฏิบัติการกรรมวิธีสัตวญาณดิจิทัล ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย