

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิดีโอแคชเชิร์ฟเวอร์สำหรับการอัปโหลดวิดีโอ

MOBILE VIDEO UPLINK CACHE SERVER



ชัชพงษ์ มาทอง

CHATCHAPHONG MATHONG



ฉพ.
ร 356 ๖
๒๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 87889
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2552

b. 12072895
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-070-183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOBILE VIDEO UPLINK CACHE SERVER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EM-M-070-183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิดีโอแคชเชิร์ฟเวอร์สำหรับการอัปโหลดวิดีโอ
นักศึกษา	นายชัชพงษ์ มาทอง
รหัสประจำตัว	48060724
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุรินทร์ กิตติธรรมกุล

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีดิจิทัลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปอย่างมากซึ่งแต่ก่อนเป็นเพียงเทคโนโลยีของอนาล็อก ทำให้เกิดแอปพลิเคชันในการใช้งานโทรศัพท์มือถือจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านมัลติมีเดียที่มีความน่าสนใจมาก อีกทั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันได้มีการฝังกล้องถ่ายรูปในตัว เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้ถ่ายรูป, บันทึกวิดีโอ หรือแม้กระทั่งการโทรศัพท์แบบเห็นหน้า ถึงแม้แอปพลิเคชันเหล่านี้จะมีขึ้นมาเป็นจำนวนมากที่มีการส่งวิดีโอแบบสตรีมมิ่งจากโทรศัพท์มือถือผ่านทางอินเทอร์เน็ตแต่เราก็ยังไม่สามารถได้ภาพวิดีโอที่ชัดเจน ราบรื่น เนื่องจากข้อจำกัดของแบนด์วิดท์ และข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูลบนเน็ตเวิร์ก เพราะฉะนั้นเราเสนอวิธีการที่จะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยวิธีการแคชเพื่อเพิ่ม PSNR และลดการแปรปรวนของค่า PSNR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Mobile Video Uplink Cache Server
Student	Mr.Chatchaphong Mathong
Student ID	48060724
Degree	Master of Engineering
Programme	Computer Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr Surin Kittitornkun

ABSTRACT

Digital cellular mobile technologies have been rapidly developed since the analog technology was presented. This has led to many new applications especially multimedia. More interestingly, the new mobile has embedded the digital camera in itself, so that the user can take photos, record the videos and make video calls. Although many applications of mobile uplink video exist, we can not see the video clearly because of the bandwidth limitation and error-prone environment. Therefore, we propose a mobile video uplink caching algorithm that can increase PSNR and diminish PSNR variations which may result in better subjective and objective video quality with simple implementation.

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีอันใดที่บังเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่บิดาและมารดาของผู้วิจัย ผู้ที่คอยห่วงใย เข้าใจและให้การสนับสนุนในการศึกษามาโดยตลอด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร. สุรินทร์ กิตติธรรมกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำ ความรู้ทางทฤษฎีต่างๆที่ใช้ และชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆอย่างทุ่มเทรวมทั้งฝึกฝนผู้วิจัยให้มีความสามารถในการทำวิจัยและพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในทุกๆเรื่อง ทั้งวิธีแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์และมุมมองในเชิงวิศวกรรมอื่นๆซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยมีวิสัยทัศน์ที่กว้างไกลขึ้น

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆและน้องๆนักศึกษาทุกคนในห้องวิจัย รวมทั้งเพื่อนๆหลายๆคนในอินเทอร์เน็ตที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ฉัชพงษ์ มาทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.7 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....	3
1.8 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ.....	5
2.1.2 งานวิจัยเกี่ยวกับ NIST Net.....	6
2.2 MPEG-4 simple level simple profile.....	6
2.2.1 บทนำ.....	6
2.2.2 ชนิดของเฟรมในเอ็มพีเอก-4.....	11
2.2.3 เอ็นโค้ดเดอร์และดีโค้ดเดอร์ SP@L0.....	12
2.3 NIST Net Emulator.....	14
2.3.1เกี่ยวกับ Emulator.....	15
2.3.2 สถาปัตยกรรมของ NIST Net.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4ระบบปฏิบัติการซิมเบียน (Symbian OS).....	18
2.4.1 ความเป็นมาและพัฒนาการของระบบปฏิบัติการซิมเบียน.....	18
2.4.2 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการซิมเบียน.....	19
2.4.3 การจัดการเกี่ยวกับพลังงาน (Power management).....	20
2.4.4 ความทนทานและความน่าเชื่อถือ (Robustness and Reliability).....	20
2.4.5 การจัดการหน่วยความจำ (Memory management).....	20
2.4.6 การทำงานแบบมัลติทาสกิ้ง (Multitasking).....	21
2.4.7 แอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework).....	21
บทที่ 3 วิธีการแคชเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ.....	23
3.1 วิธีการแคช.....	23
3.1.1 การแคชไอเฟรม.....	23
3.1.2 การแคชพีเฟรม.....	24
3.2 วิธีการจัดเรียงข้อมูลที่แคชได้.....	25
3.3 หลักการคำนวณค่าต่างๆ ที่นำมาใช้.....	27
3.3.1 ค่า PSNR.....	27
3.3.2 ค่า Packet Drop.....	27
3.3.3 จำนวนขนาดบัฟเฟอร์.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	29
4.1 การทดลอง.....	29
4.1.1 ขั้นตอนการทดลองการเพื่อเพิ่มคุณภาพวิดีโอ.....	29
4.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพและผลการทดลอง.....	30
4.2.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพและผลการทดลอง.....	30
บทที่ 5 สรุป.....	91
5.1 สรุปงานวิจัยที่น่าเสนอ.....	91
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	91
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	91
บรรณานุกรม.....	92
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก วิธีการใช้งาน NIST Net.....	94
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	แสดงค่าเฉลี่ยของ PSNR, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาด 7 เฟรม, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาด 13 เฟรม และเปอร์เซ็นต์เฟรมที่หายไป ในการทดลองครั้งที่ 1..... 80
4.2	แสดงค่าเฉลี่ยของ PSNR, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาด 7 เฟรม, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาด 13 เฟรม และเปอร์เซ็นต์เฟรมที่หายไป ในการทดลองครั้งที่ 2..... 81
4.3	แสดงค่าเฉลี่ยของ PSNR, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาด 7 เฟรม, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาด 13 เฟรม และเปอร์เซ็นต์เฟรมที่หายไป ในการทดลองครั้งที่ 3..... 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	Typical MPEG Group Of Pictures Sequence, 12 Frames / GOP..... 12
2.2	Simple Profile Simple Level (SP@L0) Mpeg-4 วิดีโอเอ็นโค้ดเดอร์..... 13
2.3	Simple Profile Simple Level (SP@L0) Mpeg-4 วิดีโอดีโค้ดเดอร์ [6]..... 14
2.4	NIST Net เปรียบเสมือนกล่องเน็ตเวิร์ก[2]..... 15
2.5	สถาปัตยกรรมของ NIST Net..... 16
2.6	ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซของ NIST Net..... 17
2.7	การกระจายตัวของดีเลย์ใน NIST Net..... 18
2.8	โครงสร้างโดยรวมของระบบปฏิบัติการซิมเบียน..... 20
2.9	แอปพลิเคชันเฟรมเวิร์คของระบบปฏิบัติการซิมเบียน..... 22
3.1	แสดงเทคนิคการจัดการกับ I-frame (a) ทำการแคช I-frame ล่าสุด (b) แสดงเมื่อเกิด I-frame หายไป (c) นำ I-frame ล่าสุดมาแทนที่..... 24
3.2	แสดงเทคนิคการจัดการกับ P-frame (a) ทำการแคช I-frame ล่าสุด (b) แสดงเมื่อเกิด P-frame หายไป (c) นำ I-frame ล่าสุดมาแทนที่..... 25
3.3	แสดงโครงสร้างการจับเก็บข้อมูลวิดีโอ (a) การจับเก็บข้อมูลแบบปกติ (b) การจับเก็บ ข้อมูลเมื่อมีการมาถึงของข้อมูลวิดีโอแบบมาเป็นลำดับ..... 26
4.1	แสดงภาพรวมการทดลองของเรา..... 29
4.2	วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม..... 31
4.3	วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม..... 32
4.4	วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม..... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....34
4.6	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....35
4.7	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....36
4.8	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....37
4.9	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....38
4.10	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....39
4.11	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....41
4.13	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....42
4.14	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....43
4.15	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....44
4.16	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....45
4.17	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....46
4.18	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....48
4.20	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....49
4.21	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....50
4.22	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....51
4.23	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....52
4.24	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....53
4.25	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....55
4.27	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....56
4.28	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....57
4.29	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....58
4.30	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....59
4.31	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....60
4.32	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.33	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....62
4.34	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....63
4.35	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....64
4.36	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....65
4.37	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....66
4.38	วิดีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....67
4.39	วิดีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....69
4.41	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....70
4.42	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....71
4.43	วิธีโอ Container บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....72
4.44	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....73
4.45	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....74
4.46	วิธีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....76
4.48	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....77
4.49	วิดีโอ Foreman บิทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม.....78
4.50	แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึมกับแบบมีแคชชิงอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1.....84
4.51	แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึมกับแบบมีแคชชิงอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2.....84
4.52	แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึมกับแบบมีแคชชิงอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3.....85
4.53	แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึมกับแบบมีแคชชิงอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1.....85
4.54	แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึมกับแบบมีแคชชิงอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.55	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3.....86
4.56	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1.....87
4.57	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2.....87
4.58	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3.....88
4.59	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1.....88
4.60	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2.....89
4.61	แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3.....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยจากเมื่อก่อนมีการสนทนากันทางโทรศัพท์ด้วยเสียง จนกระทั่งเทคโนโลยีต่างๆ ได้พัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนกระทั่งปัจจุบัน โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้นำมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากวิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้มีการพัฒนาไปมาก จากอดีตที่มีการทำงานด้วยระบบอนาล็อก (Analog) มาสู่ยุคปัจจุบันที่ทำงานด้วยระบบดิจิทัล (Digital) หรือยุคของ 2จี (2G), 2.5จี (2.5G) และยังมีแนวโน้มจะก้าวไปสู่ยุค 3จี (3G) และ 3.5จี (3.5G) ในเวลาอันใกล้นี้ จึงทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่ได้เป็นแค่เพียงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสื่อสารด้วยเสียงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้การสื่อสารด้วยภาพวิดีโอเพิ่มเติมเข้าไปด้วย ช่วยให้สามารถสื่อสารและทำความเข้าใจกับคู่สนทนาได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถสนทนากันโดยได้ยินเสียงและเห็นภาพไปพร้อมกันทั้งบนโทรศัพท์มือถือ, พีดีเอ (PDA) และระบบมัลติมีเดียส่วนตัว ซึ่งเทคโนโลยีเอ็มเพก-4 (MPEG-4) วิดีโอโคดีคเคอร์ (Coder) และเ็นโคดีคเคอร์ (Encoder) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการบีบอัดข้อมูลในการสื่อสารแบบเรียลไทม์ (Real-time) เนื่องจากความสามารถในการบีบอัดข้อมูลที่มีความสามารถเพียงพอในการลดขนาดของภาพวิดีโอให้สามารถผ่านช่องทางที่มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่จำกัด เช่น เครือข่ายไร้สายอย่างโทรศัพท์มือถือ [1] แต่อย่างไรก็ตามภาพวิดีโอเอ็มเพก-4 ก็ยังมีคุณภาพต่ำ ทำให้คุณภาพของภาพวิดีโอไม่คมชัด

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีวิธีการในการเพิ่มคุณภาพของวิดีโอซึ่งเป็นการดำเนินงานที่จำเป็น ในงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จะมุ่งเน้นการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอในฝั่งของการอัปลิงค์ (Uplink) ภาพวิดีโอ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการของเอ็มเพก-4 วิดีโอโคเดค (Codec)
2. ศึกษาการทำงานของแคช (Cache) วิดีโอสตรีมมิ่ง (Streaming) บนฝั่งอพลิงค์
3. ศึกษาหลักการการทำงานของ NIST Net Network Emulator เพื่อนำมากำหนดสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่ใช้ในการทดลอง
4. หาวิธีการเพิ่มคุณภาพของวิดีโอบนฝั่งอพลิงค์
5. เปรียบเทียบผลการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา จึงได้นำเสนอหลักการตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอที่ทำการส่งในฝั่งอพลิงค์บนเครือข่ายที่ได้กำหนดขึ้น โดยแก้ปัญหาการสูญหายของเฟรมวิดีโอ ด้วยวิธีการแคชเฟรมวิดีโอทั้ง I-frame และ P-frame และแก้ปัญหาการมาถึงของเฟรมวิดีโอแบบไม่เป็นลำดับด้วยการบัฟเฟอร์แล้วจัดเรียงเฟรมวิดีโอใหม่ซึ่งทำให้คุณภาพของภาพวิดีโอเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นด้วยวิธีการนี้ก็สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอขึ้นเอง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้ศึกษาเอ็มเพก-4 วิดีโอโคเดค แล้วทำการแคชและจัดเรียงวิดีโอเฟรมที่ส่งจากโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการซิมเบียน (Symbian) ขาอพลิงค์บนฝั่งของวิดีโอสตรีมมิ่งเซิร์ฟเวอร์ ศึกษาหลักการ วิธีการ ในการกำหนดสภาพแวดล้อมของเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ และศึกษาหลักการในการแคชและจัดเรียงวิดีโอเฟรม แล้วทำการทดลองในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอเป็นหลัก จากนั้นทำการวัดคุณภาพของภาพวิดีโอเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการของเอ็มเพก-4 วิดีโอ โคเคค
2. ศึกษาการทำงานของการแคชวิดีโอสตรีมมิ่ง
3. ศึกษาหลักการทำงานของ NIST Net Network Emulator
4. ศึกษางานวิจัยที่คล้ายคลึงหรือสอดคล้องกับงานวิจัยนี้
5. ทำการทดลองการแคชและจัดเรียงเฟรมวิดีโอของเราโดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองโดยส่งวิดีโอสตรีมมิ่งผ่าน NIST Net Network Emulator แล้ววัดคุณภาพของภาพวิดีโอทั้งก่อนและหลังปรับปรุง
6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

งานวิจัยนี้คือ การเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอเอ็มเพก-4 บนระบบปฏิบัติการซิมเบียน สมาร์ทโฟน (Smart Phone) และต้องขอมอบก่อนว่าวิธีการแคชเฟรมวิดีโอ นั้น ได้ทำการทดลองบนเครือข่ายที่ได้ทำการจำลองสภาพเครือข่ายด้วย NIST Net Network Emulator [2] ซึ่งวิธีที่ใช้นี้อาจจะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เรากำหนดขึ้นซึ่งได้รับการอ้างอิงจากบทความ หากนำไปใช้บนเครือข่ายโทรศัพท์มือถือแบบอื่นอาจจะต้องปรับตัวแปรบางตัวเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

ในการจะกำหนดสภาพเครือข่ายของโทรศัพท์มือถือให้เหมือนกับเครือข่ายจริงทุกประการนั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงใช้โปรแกรมจำลองสภาพเครือข่ายที่ชื่อว่า NIST Net Network Emulator มาใช้ในการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายของ โทรศัพท์มือถือ แล้วกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ เพื่อใช้ในการทดลอง

1.8 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการแคชเฟรมวิดีโอและจัดเรียงเฟรมวิดีโอเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพที่ได้จากการส่งวิดีโอสตรีมมิ่งบนฝั่งของอพลิงค์ โดยรายละเอียดต่างๆภายในวิทยานิพนธ์นี้ได้จัดแบ่งในส่วนของเนื้อหาออกเป็น 5 บท ซึ่งแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 “บทนำ” อธิบายถึงวัตถุประสงค์ สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตและขั้นตอนการศึกษา รวมไปถึงรายละเอียดเนื้อหาโดยสรุปของแต่ละบท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 “หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง” อธิบายการทำงานของ MPEG-4 video codec simple profile simple level และ NIST Net Network Emulator นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงระบบปฏิบัติการซิมเบียน

บทที่ 3 “วิธีการแชนเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ” บทนี้จะเสนอหลักการแชนซึ่งเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ อธิบายถึงหลักการ วิธีการและเหตุผลที่เป็นเช่นนี้

บทที่ 4 “การทดลองและผลการทดลอง” กล่าวถึงการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพวิดีโอทั้งแบบไม่มีแชนซึ่งอัลกอริทึม กับแบบมีแชนซึ่งอัลกอริทึม

บทที่ 5 “สรุป” เป็นการสรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการวิเคราะห์และการทดลอง พร้อมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนข้อเสนอแนะสำหรับนํางานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ไปพัฒนาใช้ประโยชน์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนนี้จะเสนองานวิจัยที่คล้ายคลึงหรือเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่เราพัฒนาขึ้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้สนใจงานวิจัยทางการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอในฝั่งของอพลิงค์บนวิดีโอสตรีมมิ่งเซิร์ฟเวอร์

2.1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ

[3] เสนอ Proxy-Based Reference Picture Selection for Real-Time Video Transmission over Mobile Networks เป็นการใช้วิธี FDRPS (Fixed-Distance Reference Picture Selection) กับพรีอิกซ์ในการส่งข้อมูลนั้นซ้ำเมื่อข้อมูลนั้นสูญหายไป โดยจะส่งซ้ำเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น แล้วทำการวัดค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) กับ Average Packet Loss เทียบกับวิธีแบบ FEC ผลการทดลองเมื่อเทียบก่อนกับหลังพบว่าสามารถช่วยเพิ่มค่า PSNR ที่ใช้บอกคุณภาพของภาพวิดีโอได้ประมาณ 4.5 dB เมื่อมีการสูญหายของเฟรมตั้งแต่ 5 % ขึ้นไป

[4] แสดงถึงโมเดลที่มีประสิทธิภาพสำหรับการส่งวิดีโอแบบเรียลไทม์บนฝั่งอพลิงค์ของเครือข่ายไร้ในยุค 3จี สัญญาณวิดีโอที่ส่งมาถึงถูกจำลองเป็น DBMAP (Discrete time Batch Markovian Arrival Process) ที่ถูกกำหนดโดยลำดับความสำคัญ ช่องสัญญาณไร้สายถูกสมมติให้มีความผิดพลาดที่มีความสัมพันธ์เป็นไปตาม HMM (Hidden Markov Model) ได้นำเสนอลำดับความสำคัญบนตารางเวลากับการขอร้องซ้ำแบบอัตโนมัติและควบคุมการพันกำหนดสำหรับการขนส่งวิดีโอ เวลาในการขนส่งข้อมูลแบบไม่เจาะจงถูกแสดงไปตามการกระจายเฟสแบบไม่ต่อเนื่อง คิวโมเดลลำดับความสำคัญแบบ DBMAP/PH/1 ถูกกำหนดสำหรับการขนส่งบัฟเฟอร์สำหรับวิดีโอและการเรียงคิวที่ถูกจำลองขึ้น ผลของการจำลองแสดงให้เห็นว่าการให้บริการที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าควรจะได้รับคิวที่มีลำดับความสำคัญที่สูง โดยการแบ่งแยกคิวโดยข้อมูลที่มีความสำคัญสูงอยู่ในคิวที่มีลำดับความสำคัญสูงและข้อมูลที่มีความสำคัญต่ำอยู่ในคิวที่มีความสำคัญต่ำ

2.1.2 งานวิจัยเกี่ยวกับ NIST Net

[2] ได้แสดงการกำหนดคิเลย์, การสูญหายของแพ็คเกจ และตัวแปรต่างๆ ตามรูปแบบต่างๆที่ได้กำหนดขึ้น รวมไปถึงการกระจายตัวในแบบต่างๆที่เกิดขึ้น

2.2 MPEG-4 simple level simple profile

2.2.1 บทนำ

การบีบอัดสัญญาณวิดีโอซึ่งเราจะว่ากันต่อไปนี้ จริง ๆ แล้วก็เป็นกรกล่าวถึงทั้งการบีบอัดและขยายสัญญาณ เพราะเมื่อมีการบีบอัดสัญญาณก็ต้องมีการขยายกลับสัญญาณ จึงจะกลับมาแสดงผลเป็นภาพหรือเสียงที่เหมือนหรือจะผิดเพี้ยนไปบ้างเพื่อนำกลับมาใช้งานได้ ดังนั้นเมื่อกกล่าวถึงการบีบอัด (Compression) จึงหมายถึงทั้งการอัดและขยายสัญญาณควบคู่ไปด้วยกัน ก่อนจะเข้าเรื่องของวิดีโอ ขอให้ท่านย้อนกลับไปพิจารณา CD เพลงต่างๆ ไปกันก่อน (ไม่ใช่แผ่น CD แบบ MP-3) แผ่น CD ที่ให้เสียงคุณภาพดีหมายถึงแผ่นที่มีการบันทึก (เข้ารหัสแล้วบันทึก) รายละเอียดของคลื่นเสียงได้มากที่สุดเพื่อเวลานำมาเล่น(ขยายสัญญาณ)กลับจะมีการถอดรหัสดิจิทัลแล้วแปลงออกมา เป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้า นำมาขยายเป็นคลื่นเสียงที่ไพเราะเพราะพริ้งเหมือนจริงทุกประการ เมื่อเราลองพิจารณาสัญญาณดิจิทัลที่บันทึกลงบนแผ่น โดยก่อนที่จะมีการบันทึก 0 - 1 - 0 - 1 ลงบนแผ่น CD นั้น จะมีการชักตัวอย่างสัญญาณจากคลื่นเสียงที่ต้องการบันทึก ในอัตรา 44,100 ครั้งต่อวินาที และในทุก ๆ ครั้งของการชักตัวอย่าง ก็จะทำการแปลงระดับสัญญาณที่ชักได้ (เข้ารหัส / Coder) ออกมาเป็นค่าตัวเลขค่าหนึ่ง ซึ่งจะถูกนำไปแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิตเพื่อใช้แทนระดับความแรงของคลื่นเสียง แล้วจึงมีการบันทึกสัญญาณดิจิทัล หรือสัญญาณ 0 - 1 - 0 - 1 ลงแผ่น CD เพื่อจะสามารถนำไปถอดรหัสแปลงเป็นสัญญาณเสียงในภายหลัง ทีนี้เราลองมาคำนวณกันเล่น ๆ ว่าในแต่ละเวลาวินาทีของเสียงเพลงอันไพเราะเพราะพริ้งที่เราเล่น (ถอดรหัส/Decoder) ออกมาจากแผ่น CD นั้น จะใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูลบนแผ่น CD มากแค่ไหน โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$44,100 \quad \times \quad 16 \quad \text{บิต} \quad = \quad 705,600 \quad \text{บิตต่อวินาที} \quad (\text{bps})$$

แต่เพราะว่า 16 บิต = 2 ไบต์ ดังนั้น $44,100 \times 2 \text{ ไบต์} = 88,200 \text{ ไบต์ต่อวินาที}$

$$\text{เมื่อหารด้วย } 1\text{Kbyte}(1024) \quad = \quad 86.1 \quad \text{กิโลไบต์/วินาที/ข้าง} \quad (\text{Channel})$$

เพราะว่าระบบสเตอริโอมีการบันทึกสัญญาณเสียงสองข้าง (Channel -A และ Channel - B) ดังนั้น ในหนึ่งนาทีที่เราบันทึกสัญญาณเสียงลงบนแผ่น CD จะใช้เนื้อที่ในการบันทึกสัญญาณเท่ากับ $86.1\text{K} \times 2 \times 60 = 10,332 \text{ K ไบต์/นาที} = 10.1 \text{ M ไบต์/นาที}$

จะเห็นว่า เราต้องการใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลประมาณ 10 MB ต่อนาที สำหรับการเก็บสัญญาณเสียงในระบบสเตอริโอลงบนแผ่น CD ดังนั้นแผ่น CD ทั่ว ๆ ไปซึ่งมีความจุประมาณ 650 - 700 MB ก็จะสามารถบันทึกเสียงเพลงได้เพียงประมาณ 60 นาทีหรือเพียง 1 ชั่วโมงเท่านั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงตอนนี้หากท่านคิดว่าการบันทึกสัญญาณเสียงต้องใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลหรือการเข้ารหัส เพื่อเก็บข้อมูลของภาพแต่ละภาพดูบ้างว่า เราจะทำได้อย่างไร เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาภาพจากจอโทรทัศน์หรือจอมอนิเตอร์ภาพนิ่ง เมื่อขยายภาพมากขึ้น ๆ จะเห็นได้ว่าแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยจุดเล็ก ๆ ที่แต่ละจุดเรียกว่า พิกเซล (PIXEL ซึ่งย่อมาจากคำว่า Picture Element) เรียงสลับกันไปจนประกอบขึ้นมาเป็นภาพและเมื่อลองพิจารณาภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ ที่แพร่ภาพออกอากาศในระบบ 525 เส้น ด้วยความละเอียด 720 Pixels/เส้น (มีการสแกนภาพจากด้านบนจอไปถึงด้านล่างจอด้วยที่ขนาด 525 เส้น แต่ละเส้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบของภาพ 720 Pixels) แต่จริง ๆ แล้ว ในการคำนวณจะนำมาคิดแค่ 486 เส้น เพราะจำนวนเส้นที่เหลือ จะถูกซ่อนไว้ในขอบบนและขอบล่างของจอภาพ เพื่อให้เห็นว่ามิภาพอยู่เต็มจอ

ก่อนที่จะคลุกไปถึงรายละเอียดของภาพแต่ละพิกเซล เราลองมาทำความเข้าใจถึงองค์ประกอบของภาพกันก่อน ในยุคแรก ๆ โทรทัศน์ขาวดำจะใช้สัญญาณแทนค่าระดับความสว่าง (Luminance) ของแต่ละพิกเซล ถ้าสว่างมากก็จะเห็นเป็นสีขาวสว่างน้อยก็จะเป็นสีเทา ไม่สว่างเลยก็จะมีดำ เมื่อนำพิกเซลเหล่านี้มาประดิษฐ์ต่อกันอย่างเป็นระบบ ก็จะทำให้เห็นเป็นภาพขาวดำขึ้นในยุคต่อมา เมื่อมีการสร้างเครื่องรับโทรทัศน์สี ก็มีการพยายามจะแทนค่าเฉดสีหรือระดับสัญญาณของสี (Chrominance) ในแต่ละพิกเซลหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้และรู้จักกันมากที่สุดได้แก่วิธีผสมสัญญาณสี จากปืนอิเล็กตรอนของจอภาพ โดยการผสมสัญญาณสีต่าง ๆ คือสีแดง (Red-R) เขียว (Green-G) และ น้ำเงิน (Blue-B) ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าสัญญาณ R-G-B ที่ระดับเฉดสีต่าง ๆ กัน (ถ้าเฉดสี อ่อน-แก่ แตกต่างกันมาก ๆ สีที่ผสมกันออกมาแล้วก็จะมี ความแตกต่างหรือมีรายละเอียดมาก ส่วนใหญ่จะใช้กันที่ 256 เฉดสี) แล้วยังแสงแต่ละอันไปบริเวณ เดียวกัน ทำให้สีต่าง ๆ ผสมกันขึ้นมาเป็นพิกเซลหนึ่ง ที่อาจจะมียสีเหมือนหรือแตกต่างกันออกไป เมื่อมาถึงจุดนี้ เราลองมาคำนวณกันเล่น ๆ ว่าภาพสีแต่ละเฟรม(ภาพ) ของโทรทัศน์เครื่องนี้ควรมีขนาดเท่าใด เมื่อภาพหนึ่งประกอบไปด้วยจุดสีรวมกันเท่ากับ $720 \times 486 = 349,920$ พิกเซลและการแทนเฉดสี 256 เฉดสีในแต่ละพิกเซลจะแทนค่าเป็นตัวเลขฐานสองซึ่งระบบคอมพิวเตอร์จะสามารถเข้าใจได้เอง ต้องแทนค่าเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต ($28 = 256$) แต่การแทนค่าระดับเฉดสีต้องทำทั้งสามสี คือ Red-Green-Blue (R-G-B) หรือจะต้องมีการใช้ข้อมูลแทนค่าสีทั้งหมด $8 \times 3 = 24$ บิต หรือเท่ากับ 3 ไบต์ (Byte) นั่นเองดังนั้นในสัญญาณสีหนึ่งภาพ จะต้องใช้ข้อมูลถึง $349,920 \times 3 = 1,025$ กิโลไบต์ จึงจะแทนสัญญาณภาพได้ละเอียดครบถ้วนมากพอที่จะให้ภาพที่มีสีไม่ผิดเพี้ยนไปได้และถ้าสัญญาณวิดีโอหนึ่งวินาทีมีภาพอยู่ 30 ภาพ ดังนั้น 1 นาทีจะต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลเท่ากับ $1025 \times 30 \times 60 = 1.76$ กิกกะไบต์/นาที หรือต้องใช้พื้นที่เป็น 180 เท่าของสัญญาณเสียง

จะเห็นได้ว่าข้อมูลภาพ จะมีขนาดมหาศาลเมื่อเทียบกับข้อมูลเสียงแต่เราก็สามารถที่จะลดขนาดของข้อมูลเหล่านี้ได้โดยใช้เทคนิคดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ลดขนาดภาพ ถ้าคุณต้องการรักษาคุณภาพของภาพให้ได้ความคมชัดเท่ากับระดับของการแพร่ภาพ ควรลดขนาดของภาพลงด้วย

2.ลดจำนวนเฟรมต่อวินาที การลดจำนวนเฟรมต่อวินาทีก็คือการลดจำนวนภาพต่อวินาทีลง ถึงแม้ว่าจะฟังดูแปลก ๆ แต่ก็เป็นการหนึ่งที่จะลดขนาดข้อมูลลงได้

3.ลดรับเฉดสี แทนที่จะคงระดับการแยกแยะเฉดสีของแต่ละสี (R-G-B) ไว้ที่ 256 ระดับ หรือ 8 บิต ($256=2^8$) ก็ให้ลดระดับของการแยกแยะเฉดสีแต่ละสีลงมาเหลือแค่ 4 บิต โดยอาจจะตั้งภาพขาวดำ ก็จะทำให้ข้อมูลของภาพแต่ละเฟรมลดลงไปได้มาก

4.ปรับสมมาตรเฉดสี วิธีอาจจะดูว่าซับซ้อนไปสักนิด แต่ก็เป็นที่เล่นที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อให้ภาพออกมาดี โดยใช้ข้อมูลสีเท่าเดิม ตัวอย่างเช่น ถ้าจะใช้ข้อมูลสีแค่ 12 บิต แทนที่จะตั้งค่าสีเป็น 4:4:4 ก็ให้เพิ่มระดับสีเขียวให้เป็น 6 และลดระดับสีน้ำเงินเป็น 2 คือตั้งข้อมูลสีไว้เป็น 4:6:2 ซึ่งอาจจะให้ภาพที่ออกมาสีโทนสีคล้าย ๆ กัน แต่ให้ความรู้สึกประทับใจได้มากกว่า

5.บีบอัดสัญญาณให้เล็กลง สิ่งนี้เป็นสิ่งที่พวกเรารู้จักและคุ้นเคยกันในรูปแบบของไฟล์แบบต่าง ๆ เช่น ZIP ไฟล์, JPEG ไฟล์, M-JPEG, MPEG หรือเพลง MP-3 เป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวันของเรา โดยที่เราอาจจะไม่ทราบมาก่อนที่เราได้ใช้และคุ้นเคยกับเทคโนโลยีเหล่านี้ไปแล้ว ซึ่งจะขอกล่าวถึงรายละเอียดของเรื่องนี้ในย่อหน้าถัด ๆ ไป

ก่อนที่จะเข้าสู่รายละเอียดของการบีบอัดสัญญาณ จะมีคำถามว่า มีเหตุผลอะไรที่จะต้องบีบอัดสัญญาณ จะมีคำถามว่า มีเหตุผลอะไรที่จะต้องบีบอัดสัญญาณด้วย ? คำตอบก็คือ สัญญาณก็คือข้อมูลที่เรจะต้องนำไปใช้ และด้วยเหตุที่ว่าค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและส่งผ่านข้อมูลต่าง ๆ จะคิดคำนวณเป็นราคาต่อหน่วยของข้อมูล หรือเป็นราคาหน่วยข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บ ซึ่งจะได้ชัดจากกรณีของการบีบอัดข้อมูลของเพลงให้เล็กลง เช่น เพลง MP-3 ในแผ่น CD เพราะถ้าแผ่น MP-3 มีจำนวนเพลงไม่มากกว่าหรือเท่ากับ CD เพลงธรรมดา ก็คงจะไม่มีใครซื้อไปฟัง แต่สิ่งสำคัญที่สุดก็คือเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล เพราะในยุคข่าวสารที่ต้องทำงานแข่งกับเวลา ในการจัดการและนำเสนอเรื่องราวต่าง ๆ ต้องเร็วและชัดเจนเสมอ เทคนิคการบีบอัดข้อมูลต่าง ๆ ก็คือการทำให้ไฟล์ข้อมูลขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง ซึ่งอาจจะเป็นการบีบอัดข้อมูลแบบต่าง ๆ เช่น อนุพัทธ์วิดีโอ ดิจิตอลวิดีโอ ข้อมูลซึ่งพวกเราอาจจะคุ้นเคยกันในรูปแบบของไฟล์แบบ ZIP ไฟล์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน แต่ก็ยังมีจุดที่น่าสนใจที่สุดก็คือในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังมีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลช้า เช่น ฮาร์ดดิสก์อย่างไวที่สุดก็สามารถส่งผ่านข้อมูลได้เพียง 100 เมกกะไบต์ต่อวินาทีแค่นั้นเอง และเมื่อส่งข้อมูลออกมาจากฮาร์ดดิสก์แล้ว ก็มักจะไปติดรออยู่บนบัส (Bus) ต่าง ๆ เหมือนกับติดไฟแดงบนถนน เพราะในคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง ๆ จะมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้บัสร่วมกันอยู่หลายตัว เปรียบเหมือนกับการที่รถมากมายต้องมาใช้ถนนร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบีบอัดข้อมูลจะเข้ามามีส่วนร่วมในตอนนี้ เช่น Zip drive สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ 8 เมกะไบต์ต่อวินาที เปรียบเสมือนข้อมูลส่วนที่เคลื่อนไหวไม่ทันก็ต้องรอ เช่น เรื่องของพนักงานขายสองคนที่ชอบเล่าเรื่องตลกกัน โดยการใช้รหัส เช่น เขาตั้งรหัส (อัด) เรื่องว่า 142 ซึ่งหมายถึงเรื่องเจ้านายอารมณ์เสีย เพราะรถเสียกลางทางค่วนอีกแล้ว เมื่อพวกลูกน้องเจอหน้ากันและเอ่ยโจ๊กเรื่อง 142 ขึ้นมา เมื่อทุกคนได้ยินแล้วก็เฮ เพราะ ถอดรหัส (ขยาย) ออกมาแล้วก็เป็นทีที่เข้าใจกันว่า วันนี้เจ้านายจอมเหนียวรถเสียกลางทางค่วนอีกแล้ว หรืออีกตัวอย่างหนึ่งก็คือ การจดตัวเลขซึ่งเป็นวิชาของพวกเลขานุการ ที่จดบันทึกเป็นคำย่อต่าง ๆ ซึ่งก็เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงการอัดขยายข้อมูล (Compression-Decompression) ซึ่งเรียกย่อลงมาว่าการทำ โคเดค (CODEC) นั่นเอง ตัวอย่างของการบีบอัดข้อมูลแบบง่าย ๆ โคเดคนั้นอาจจะเป็นขบวนการที่ทำงานโดยซอฟต์แวร์หรืออาจจะใช้ไอซีที่ออกแบบพิเศษมาช่วยจัดการก็ได้ แต่ก็สรุปออกมาเป็น 2 แบบ คือ

Losses Method ซึ่งจะทำการบีบอัดข้อมูลแล้วขยายกลับมาใช้งานใหม่ โดยไม่เสียรายละเอียดของข้อมูลเลย

Lossy Schemes จะเป็นการบีบอัดข้อมูล โดยกรองเอารายละเอียดบางส่วนทิ้งไปก่อนแล้วจึงบีบอัดข้อมูลลงไป

ข้อมูลที่น่าเอากลับมาขยายจะไม่ดีเท่ากับของเดิมเพราะมีการทิ้งเอารายละเอียดบางส่วนไปตั้งแต่ตอนแรกแล้ว และอีกเหตุผลหนึ่งที่อุตสาหกรรมต่าง ๆ ต้องทำการวิจัยค้นหาวิธีการบีบอัดข้อมูลก็เพราะว่า อุตสาหกรรมบันเทิงในอเมริกามีความพยายามที่จะขยายธุรกิจบันเทิงเข้าไปสู่บ้านของผู้รับชมรายการโดยตรง โดยที่ผู้ชมสามารถเข้าเลือกชมรายการที่วันเวลาต่าง ๆ โดยไม่ต้องรอเวลาออกอากาศของทางสถานี เช่น การดูภาพยนตร์ผ่านสายโทรศัพท์ (VIDEO over Phone Line) และแม้แต่ระบบการแพร่ภาพในระบบความชัดสูง (HDTV) ซึ่งก็มีมาตรฐานแตกต่างกันออกไปตามแต่ความต้องการของอุตสาหกรรมนั้น ๆ แต่สำหรับอุตสาหกรรมการลำดับภาพยนตร์และวิดีโอแล้ว จะสนใจอยู่แค่สองมาตรฐานคือ เจเพ็ก (JPEG) และเอ็มเพ็ก (MPEG) เท่านั้น เจเพ็กเป็นมาตรฐานการบีบอัดข้อมูลที่คิดค้นขึ้นราวยุคปลายทศวรรษ 1980 เนื่องจากมีความต้องการที่จะย่อภาพสีโดยให้คงรายละเอียดใกล้เคียงของเดิม โดยคอมพิวเตอร์จะทำการชักตัวอย่างของจุดภาพในส่วนต่าง ๆ ก่อนที่จะบีบอัด โดยจะตรวจดูว่า ในพื้นที่ของภาพขนาด 8x8 พิกเซลนั้น เมื่อทำการคำนวณแล้ว น่าจะมีสีใดมากที่สุด จากนั้นก็ยุบพื้นที่ขนาด 8x8 พิกเซล ให้เหลือเป็นสีที่ต้องการเพียง 1 พิกเซลเท่านั้น JPEG มักจะนำมาใช้กับภาพเดี่ยวที่อัตราส่วนประมาณ 25:1, 40:1 จนถึง 100:1 Motion-JPEG หรือ M-JPEG บางทีก็ใช้แก้ไขตัดต่อภาพวิดีโอทีละเฟรม JPEG

เอ็มเพ็ก (MPEG) ย่อมาจาก Moving Pictures Experts Group เป็นกลุ่มของคณะกรรมการที่ทำงานภายใต้องค์การมาตรฐาน ISO (International Standards Organization) เพื่อสร้างมาตรฐานสำหรับการบีบอัดข้อมูลวิดีโอและออดิโอแบบดิจิทัล (Digital Data Compression) ซึ่งเป็นการกำหนดมาตรฐานขั้นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรูปแบบของสายข้อมูลระดับบิตของวิดีโอและออดิโอ และรวมไปถึงวิธีการขยายกลับข้อมูลที่ถูบบีบอัดอย่างถูกต้อง เอ็มเพ็กตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1988 ต่อมาในเดือนสิงหาคมปี ค.ศ.1993 เอ็มเพ็กได้ออกมาตรฐาน เอ็มเพ็ก-1 สำหรับการบีบอัดวิดีโอและออดิโอที่ 1.5 เมกกะบิตต่อวินาที ขณะเดียวกันในปี ค.ศ. 1990 ก็ได้มีการเริ่มคิดมาตรฐานใหม่ เอ็มเพ็ก-2 ถูกใช้กับดีวีดี ความแตกต่างกับ เอ็มเพ็ก-1 ก็มีไม่มากนัก ยกเว้นเรื่องการเข้ารหัส/ถอดรหัสที่ใช้วิธีทันสมัยมากขึ้น โดยเอ็มเพ็ก-1 มุ่งเน้นที่ ซีดีรอม (CD-ROM) แอปพลิเคชัน ส่วนในเอ็มเพ็ก-2 ใช้กับภาพและเสียงคุณภาพสูงในช่วง 2 เมกกะบิตต่อวินาที ถึง 30 เมกกะบิตต่อวินาที เหมาะกับดิจิทัลทีวี และ HDTV แอปพลิเคชันซึ่งกำลังจะเข้ามาแพร่หลายในการใช้งานในปัจจุบัน ส่วนเอ็มเพ็ก-3 เป็นมาตรฐานที่เตรียมใช้กับ HDTV (High Definition Television หรือโทรทัศน์ความละเอียดสูง) แต่สุดท้ายไม่ได้ใช้ เพราะพบว่าแค่เทคโนโลยี เอ็มเพ็ก-2 ที่มีอยู่เดิมเพียงพอสำหรับ HDTV แล้ว เป็นส่วนขยายของเอ็มเพ็ก-1 เพื่อรับรูปแบบมัลติมีเดียต่างๆ เช่น 3D หรือการเข้ารหัสที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เอ็มเพ็ก-4 แบ่งออกเป็นหลายส่วนตามหน้าที่แต่ละส่วน และทางเอ็มเพ็กจะปล่อยให้ผู้ผลิตซอฟต์แวร์เป็นผู้พัฒนาโปรแกรมที่ใช้จริงๆ เอง ไม่จำเป็นต้องตามเอ็มเพ็ก-4 เต็มชุดก็ได้ พัฒนาได้เป็นบางส่วนก็พอ

จากการคาดการณ์ในเร็วนี้อุตสาหกรรมการสื่อสาร คอมพิวเตอร์ และทีวีกำลังจะมารวมกันทำให้เกิดการแพร่หลายในการรับข้อมูลข่าวสารในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวซึ่งก็คือ ภาพวิดีอนั่นเอง เอ็มเพ็กจึงได้เริ่มคิดมาตรฐานใหม่ เอ็มเพ็ก-4 ในปี ค.ศ.1994 มีความ interactive, การบีบอัดสูง, มีความเป็นสากลในการเข้าใช้ในการไปใช้ในหลายแพลตฟอร์ม (Platform) บิตเรตเป้าหมายของวิดีโอมาตรฐาน 5-64 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับแอปพลิเคชันบนมือถือ และสูงไปถึง 2 เมกกะบิตต่อวินาที ซึ่งใน เอ็มเพ็ก-4 แบ่งเป็นหลายโปรไฟล์ (Profile) ในแต่ละโปรไฟล์จะแบ่งหลายระดับตามประเภทของการใช้งานเพื่อให้เกิดความเหมาะสมซึ่งแต่ละโปรไฟล์ก็จะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน

เอ็มเพ็ก-4 วิดีโอโคเดคที่เราใช้ในการทดลองของเราคือ XviD ที่เราพอร์ต (Port) มาทำงานบนระบบปฏิบัติการซิมเบียน (Symbian OS) ซึ่งเป็น Simple Profile Simple Level MPEG-4 แล้วทำการรันโดยใช้ซิมเบียนอิมูเลเตอร์เพื่อทำการเ็นโค้ดข้อมูลภาพวิดีโอด้วยเอ็มเพ็ก-4 แล้วส่งไปยังวิดีโอเซิร์ฟเวอร์ที่พร้อมที่จะค็โค้ดข้อมูลวิดีโอที่ถูกเข้ารหัสด้วยเอ็มเพ็ก-4

2.2.2 ชนิดของเฟรมในเอ็มพีค-4

ชนิดของเฟรมในเอ็มพีค-4 ประกอบด้วยเฟรมสามชนิดดังนี้

ไอเฟรม (I-frames)

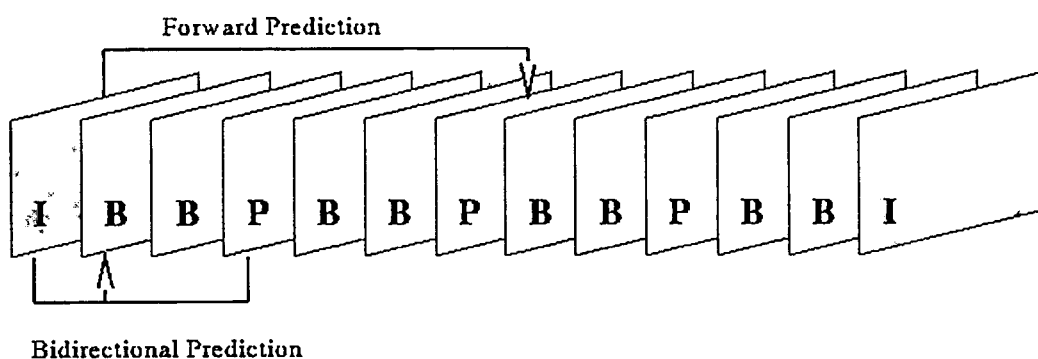
ไอเฟรม มาจากคำว่า Intra Frames คำว่า “Intra” หมายถึงภายในดังนั้น Intra frame หรือ ไอเฟรมเป็นเฟรมที่เข้ารหัสโดยใช้ข้อมูลจากภายในเฟรมนั้นอย่างเดียว หรือจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าคือเฟรมที่ถูกบีบอัดโดยไม่ข้อมูลจากเฟรมอื่น ไม่เกี่ยวกับการบีบอัดในเชิงเวลา การบีบอัดของ ไอเฟรมคล้ายกับการบีบอัดของรูปภาพในเจพีค ดีโคัดเตอร์ต้องเริ่มจากไอเฟรมไม่ใช่พีเฟรม (P-frame) ไอเฟรมจะใส่ในทุกๆ 12-15 เฟรม

พีเฟรม (P-frames)

พีเฟรม มาจากคำว่า Predicted Frames เป็นการบีบอัดจากความแตกต่างของไอเฟรมหรือพีเฟรมก่อนหน้า พีเฟรมใหม่จะเป็นการทำนายจากไอเฟรมหรือพีเฟรมก่อนหน้า การทำนายจะทำกับทุกพิกเซล พีเฟรมใช้ Motion Prediction และ DCT Encoding ผลของพีเฟรมจะมีอัตราการบีบอัดที่ดีกว่าไอเฟรม แต่ขึ้นกับจำนวนการเคลื่อนไหว ความแตกต่างระหว่างการทำนายกับภาพปัจจุบันหรือ Prediction Error จะใช้ในการบีบอัด ค่า Error นี้จะมีขนาดเล็กเพราะค่าพิกเซลจะเปลี่ยนไม่มากในบริเวณเล็กๆ ดังนั้นการบีบอัดค่า Error นี้จะดีกว่าบีบอัดค่าเฟรมนั้น

บีเฟรม (B-frames)

บีเฟรม มาจากคำว่า Bidirectional frames เป็นการบีบอัดจากความแตกต่างจากไอเฟรมหรือพีเฟรมก่อนหรือหลังบีเฟรมจะทำนายเหมือนพีเฟรมแต่ทุกบล็อคออย่างใดอย่างหนึ่งของไอเฟรมหรือพีเฟรมก่อนหน้าหรือไอเฟรมหรือพีเฟรมของเฟรมต่อไป บีเฟรมใช้ Motion Prediction และ DCT Encoding เพราะบีเฟรมต้องใช้ทั้งเฟรมก่อนและหลังสำหรับการถอดการบีบอัด ลำดับเฟรมที่ถูกอ่านไม่ใช่เหมือนกับลำดับแสดง ในการบีบอัดนี้จะให้คุณภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับพีเฟรมเพราะเป็นไปได้ที่ทุกมาโครบล็อกถูกเปรียบเทียบมาจากเฟรมก่อนหรือหลัง



รูปที่ 2.1 Typical MPEG Group Of Pictures Sequence, 12 Frames / GOP

2.2.3 เอนโค้ดเดอร์และดีโค้ดเดอร์ SP@L0

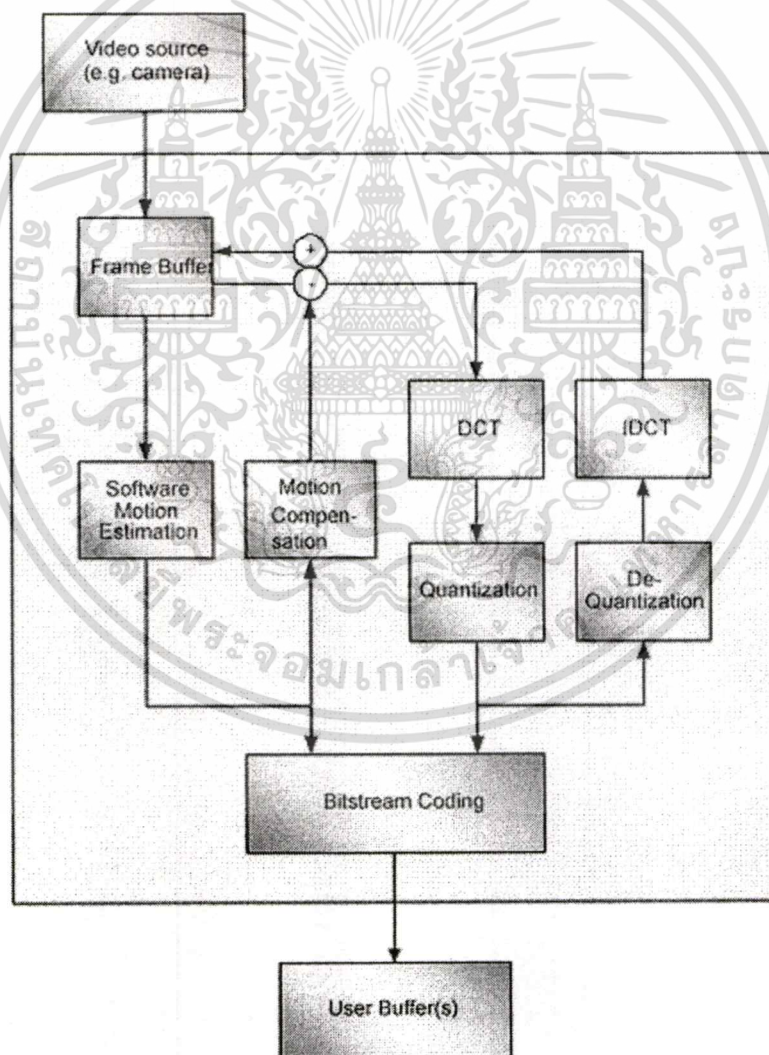
เอนโค้ดเดอร์ : การบีบอัดแบบเอ็มเพกมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

อันดับแรก การวิเคราะห์ความเคลื่อนไหวจะนำมาใช้กับแต่ละมาโครบล็อก นอกจากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวจากกรอบภาพที่อยู่ข้างหน้า เอ็มเพกยังอนุญาตให้การทำนายทำกับกรอบภาพที่ผ่านมากแล้วหรือยังไม่ถึงหรือผสมกันได้อีกด้วย เนื่องจากวัตถุในกรอบภาพอาจจะไม่ได้เคลื่อนไหวอย่างคงที่จากกรอบภาพหนึ่งสู่กรอบภาพหนึ่ง แต่ละมาโครบล็อกจึงอนุญาตให้มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ได้สองเวกเตอร์ (อันหนึ่งสัมพันธ์กับกรอบภาพที่ผ่านมา อีกอันหนึ่งสัมพันธ์กับกรอบภาพในอนาคต) ในการทำนายจากกรอบภาพในอนาคต กรอบภาพที่เพิ่มเข้ามาจะต้องถูกเก็บไว้ชั่วคราวและภาพที่ถูกเข้ารหัสจะไม่เรียงตามลำดับ การวิเคราะห์ความเคลื่อนไหว อนุญาตให้มีพิสัยได้มาก ๆ (ถึง +/- 1023) และมีความละเอียดระดับครึ่งจุดภาพได้ การใช้ตัวกรองแบบวนกลับแบบเฮช.261 (H.261) จะไม่รวมอยู่ในเอ็มเพกเนื่องจากเวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบครึ่งจุดภาพก็ตอบสนองความต้องการได้เช่นเดียวกัน ลำดับต่อมา การตัดสินใจแบบ 4 ทางจะถูกทำขึ้น เอ็มเพก จะให้มีรูปแบบการทำนายจาก 1) ความแตกต่างทางคณิตศาสตร์ระหว่างมาโครบล็อกปัจจุบันกับระยะมาโครบล็อกจากกรอบภาพที่ผ่านมา 2) กรอบภาพอนาคต 3) ค่าเฉลี่ยระหว่างกรอบภาพอดีตและอนาคตที่ถูกเข้ารหัสไว้แล้ว หรือ 4) เข้ารหัสมาโครบล็อกปัจจุบันแบบโคด ๆ อย่างเดียว การตัดสินใจที่แตกต่างสามารถทำกับแต่ละแมกโครบล็อกโดยขึ้นกับข้อจำกัดต่อไปนี้

คีย์เฟรม (Keyframe) เรียกว่า อินทราเฟรม (Intraframe) หรือ ไอเฟรม (I-frame) นี้จะไม่ให้มีมาโครบล็อกที่เกิดจากการทำนายใด ๆ ถูกเข้ารหัสไว้เพื่อจะให้การเข้าถึงแบบสุ่มภายในกระแสวิดิทัศน์ได้กรอบภาพที่ถูกทำนายแบบไปข้างหน้า (พีเฟรม) จะให้มาโครบล็อกได้รับการทำนายจากพีเฟรมที่ผ่านมา หรือไอเฟรมหรือมาโครบล็อกที่เข้ารหัสมาโคด ๆ อย่างเดียว ไอเฟรมและพีเฟรมจะถูกใช้เป็นกรอบภาพอดีตและอนาคตสำหรับกรอบภาพที่ถูกทำนายแบบสองทิศทาง (เรียกว่า บีเฟรม) บีเฟรมจะอนุญาตให้มีแมกโครบล็อกได้ทั้ง 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCT ขนาด 8×8 จะถูกนำมาใช้กับแต่ละบล็อกที่เกิดจากความแตกต่างทางคณิตศาสตร์ หรือมาโครบล็อกปัจจุบัน ในการทำควันไทซ์ เอ็มเพกจะใช้ตารางทั้งคู่ (เหมือนกับเจเพ็ก) และส่วนประกอบปรับขนาด (เหมือนกับ เอช.261) เนื่องจากช่อง DC เป็นช่องที่สำคัญที่สุด มันจึงถูกควันไทซ์เป็นขนาดคงที่ที่ 8 บิต เนื่องจากผลที่มองเห็นได้จากการควันไทซ์ของช่องความถี่จะมีความแตกต่างกันสำหรับบล็อกที่ทำนายมาได้กับบล็อกปัจจุบัน เอ็มเพกจึงอนุญาตให้มีเมตริกซ์สองตาราง (หนึ่งตารางต่อชนิด) โดยทั่วไปเมตริกซ์จะถูกตั้งไว้ครั้งเดียวสำหรับลำดับของรูปภาพหนึ่ง และขนาดของการควันไทซ์จะถูกปรับเพื่อให้ควบคุมอัตราส่วนการบีบอัดได้ ขั้นตอนสุดท้ายของการบีบอัดก็คือการทำซิกแซกสแกน (Zigzag Scan) การเข้ารหัสรันเลงต์ (Run-Length Encoding) และการใส่รหัสเอนโทรปี (Entropy Coding) เช่นเดียวกับ เอช.261 เอ็มเพกจะระบุตารางเข้ารหัสออฟพีแมนที่ตายตัวในการเข้ารหัสเอนโทรปีนี้

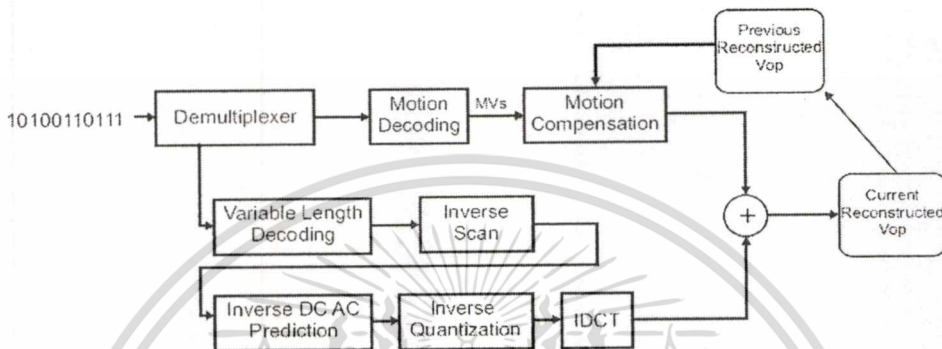


รูปที่ 2.2 Simple Profile Simple Level (SP@L0) Mpeg-4 วิดีโอเอ็นโค้ดเดอร์

ดีโค้ดเดอร์ : MPEG-4 SP@L0 ดีโค้ดเดอร์แสดงในรูปที่ 2.3 มันสามารถรองรับทั้งการบีบอัดเฟรม (frame) ทีละเฟรมแบบ intra (I) และแบบ predictive (P) เฟรม I ประกอบด้วยข้อมูลพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(texture) ซึ่งจะถอดการบีบอัดข้อมูลนี้จะใช้ Inverse Quantization และ IDCT [3] ส่วนเฟรม P จะบีบอัดโดยการทำนาย Motion Compensation จากเฟรม P หรือ I ก่อนหน้า ดังนั้นในการสร้างภาพจากเฟรม P หมายถึงต้องเอา Motion Compensated และ Motion Estimation มารวมกันซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและใช้หน่วยความจำเยอะมาก การถอดการบีบอัดจะได้เป็นกลุ่ม MacroBlock (MB) ใน MB จะประกอบด้วยบล็อกข้อมูลสี Luminance (Y1, Y2, Y3, และ Y4) และสอง chrominance (U และ V) ทุกอันมีขนาด 8x8 พิกเซล [5]



รูปที่ 2.3 Simple Profile Simple Level (SP@L0) Mpeg-4 วิธีโอดีโค้ดเดอร์ [6]

2.3 NIST Net Network Emulator

ระบบเครือข่ายเน็ตเวิร์กของอุปกรณ์มือถือจำเป็นต้องควบคุมได้เพราะจะนำมาใช้เป็นตัวแปรต้นซึ่งต่างจากเครือข่ายจริงที่เราไม่สามารถกำหนดได้ ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ NIST Net ซึ่งเป็นเน็ตเวิร์กอิมูเลเตอร์ (Network Emulator) มากำหนดสภาพแวดล้อมของเครือข่ายด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น เวลาดีเลย์ของแพ็คเกต (Delay Time) การกระจายตัวของดีเลย์ (Delay Distribution) และการสูญหายของแพ็คเกต (Package Drop) เป็นต้น เมื่อกำหนดสภาพแวดล้อมของเครือข่ายให้คล้ายคลึงเครือข่ายจริงแล้ว ทำให้คุณภาพของภาพวิดีโอต่ำ ดังนั้นในวิธีการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอจึงเป็นสิ่งที่ทำหายอย่างยิ่ง ในงานวิจัย

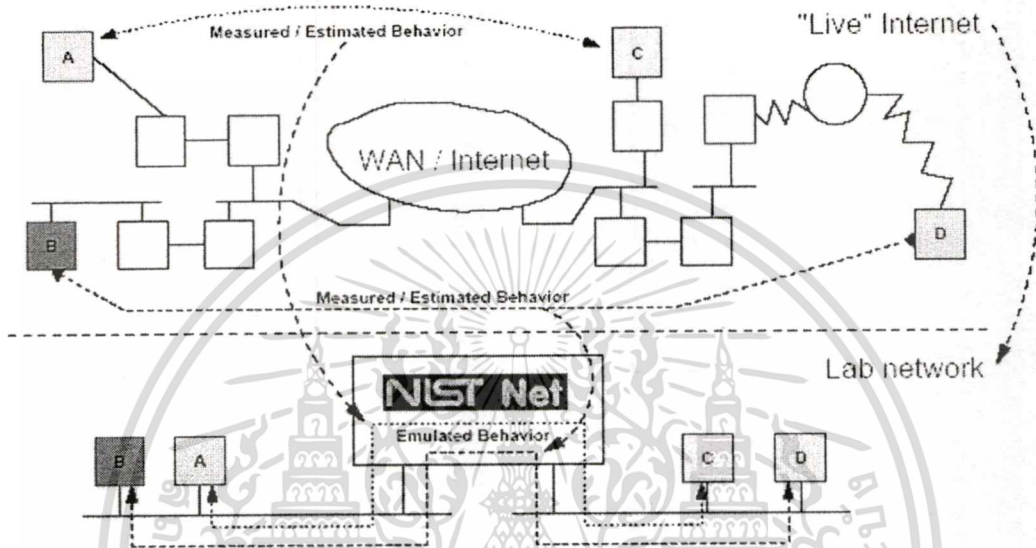
อธิบายการออกแบบและนำไปใช้ของ NIST Net ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดรูปแบบของเครือข่ายจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังแนะนำและทดลองการปรับแต่งฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรม เพื่อให้เหมาะสมกับเครือข่ายจริงไม่ว่าจะเป็น VOIP, เครือข่ายอุปกรณ์มือถือ, เครือข่ายดาวเทียม และเครือข่ายทางทะเล เป็นต้น

NIST Net ถือเป็นเน็ตเวิร์กอิมูเลเตอร์ที่ได้รับความนิยมมากในระดับหนึ่ง เนื่องจากมีการทำงานในระดับคอร์นอลไม่ได้ทำงานในระดับผู้ใช้ปกติทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการจัดการกับแพ็คเกตที่วิ่งเข้าสู่ NIST Net อีกทั้งยังสามารถรองรับแพ็คเกต

เอกสารจำนวนมากๆ ได้อีกด้วย สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 เกี่ยวกับ Emulator

แนวคิดการทำงานของ NIST Net เป็นแบบ Network-in-a-box ดังรูปที่มีลักษณะพิเศษแบบเราเตอร์ที่สามารถจำลองพฤติกรรมต่างๆ ของเน็ตเวิร์กได้ภายในฮอปเดียว (Single hop) NIST Net จะทำการกำหนดสภาพเน็ตเวิร์กด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น ดีเลย์, การสูญหายของแพ็กเกจ และจิตเตอร์ (Jitter) เป็นต้น โดยตัวแปรเหล่านี้ผู้ใช้สามารถกำหนดได้



รูปที่ 2.4 NIST Net เปรียบเสมือนกล่องเน็ตเวิร์ก [2]

NIST Net ทำงานโดยผ่านตารางที่ทำการจำลองขึ้นมาซึ่งแต่ละเรคคอร์ดจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

1. เซ็ตของลักษณะของแพ็กเกจที่ตรงตามที่ใช้ได้ระบุได้ว่าจะให้ NIST Net มีผลต่อแพ็กเกจข้อมูลแบบใด ต้นทางที่ไหน ปลายทางที่ไหน พอร์ตอะไร และมีโปรโตคอลแบบใด
2. เซ็ตของผลกระทบที่จะมีต่อแพ็กเกจที่ตรงตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้ได้กำหนดว่าจะมีผลอะไรเกิดขึ้นกับแพ็กเกจที่ตรงตามลักษณะที่ระบุไว้ เช่น ดีเลย์เท่าไร การสูญหายของแพ็กเกจจะเกิดขึ้นกี่เปอร์เซ็นต์ และมีการเกิดซ้ำของแพ็กเกจหรือไม่ เป็นต้น
3. เซ็ตของสถิติที่จะถูกเก็บเกี่ยวกับแพ็กเกจที่ตรงตามเงื่อนไขที่ได้มีผลไปแล้ว แต่ละเรคคอร์ด (Record) สามารถเปลี่ยนแปลงได้และจะมีผลทันทีขณะที่โปรแกรมยัง

ทำงานอยู่การกำหนดลักษณะของแพ็กเกจส่วนใหญ่จะสนใจที่ไอพีและโปรโตคอลชั้นสูง อาทิ เช่น ไอพีแอดเดรสของต้นทางและปลายทาง, โปรโตคอล UDP, TCP, ICMP, IGMP หรือ IPIP เป็นต้น, หรืออาจจะเป็นพอร์ตต้นทางและปลายทาง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ผู้ใช้สามารถกำหนดได้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

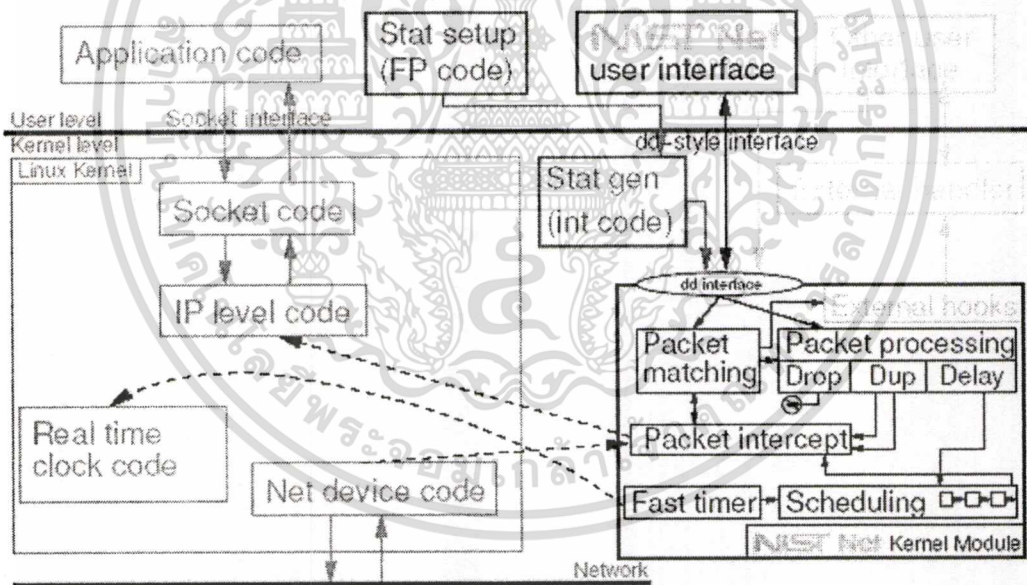
นอกจากนี้ ดีเลย์ของแพ็คเก็ตยังสามารถระบุแน่นอนหรือสุ่มได้ โดยการสุ่มสามารถกำหนดรูปแบบการกระจายตัว (Distribution) ได้ ส่วนในวิทยานิพนธ์นี้เราได้กำหนดการสูญหายของแพ็คเก็ตจะถูกกำหนดให้มีการกระจายตัวแบบ Uniform

2.3.2 สถาปัตยกรรมของ NIST Net

NIST Net ทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) เคอร์เนล (Kernel) 2.0.xx-2.4.xx ประกอบด้วยการทำงาน 2 ส่วนคือ

1. เป็น โมดูลที่ทำงานในโหมคของเคอร์เนลจะจัดการกับเน็ตเวิร์กของระบบปฏิบัติการด้วยสัญญาณาฬิกาแบบเรียลไทม์ (Real Time)
2. เป็นส่วนของยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ (User Interface) ที่ใช้ในการกำหนดค่าต่างๆ ที่จะนำไปใช้กับเคอร์เนลอิมูเลเตอร์

ทั้ง 2 ส่วนนี้จะทำงานร่วมกัน ดังรูป การทำงานทั้งหมดจะทำงานแบบเรียลไทม์ ไม่มีการขัดจังหวะจากการติดต่อที่วิ่งเข้ามายังเน็ตเวิร์ก การแยกการทำงานออกเป็น 2 ส่วนข้างต้นทำให้สามารถทำงานแบบหลายโปรเซส (Process) ได้



รูปที่ 2.5 สถาปัตยกรรมของ NIST Net

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Source	Dest	Delay (ms)	Delaysig(ms)	Bandwidth	Drop %	Dup %	DRTDmin	DRTDmax
0.0.0.0	DVMRP MCAST NET	0.000	0.000	0	0.0000	0.0000	0	0
0.0.0.0	RIP2 ROUTERS MCAST NET	0.000	0.000	0	0.0000	0.0000	0	0
dec.nih.gov	0.0.0.0	200.000	15.000	0	19.9997	0.0000	0	0
122.168.130.196	0.0.0.0	0.000	0.000	0	0.0000	0.0000	0	0
200.0.0.0	129.6.51.255	0.000	0.000	0	0.0000	0.0000	0	0
dec.z21.scrib.mit.gov	0.0.0.0	30.000	10.000	200.0	0.0000	0.0000	10	50
		0.000	0.000	0	0.0000	0.0000	0	0
		0.000	0.000	0	0.0000	0.0000	0	0

รูปที่ 2.6 ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซของ NIST Net

จากรูปที่ 2.6 ผู้ใช้สามารถควบคุมและตรวจสอบตัวเลขที่เกิดขึ้นจากการทำงานว่ามีจำนวนกี่แพ็คเก็ตที่วิ่งเข้าสู่ NIST Net มีสถิติขณะนั้นเป็นเท่าไรหรือการแสดงผลจะเป็นแบบรีลไทม์ นอกจากนี้เรายังสามารถกำหนดการกระจายตัวของดีเลย์ได้จากสมการ (1) และ (2)

$$D_T = D_M + (\sigma \times \Sigma) \tag{1}$$

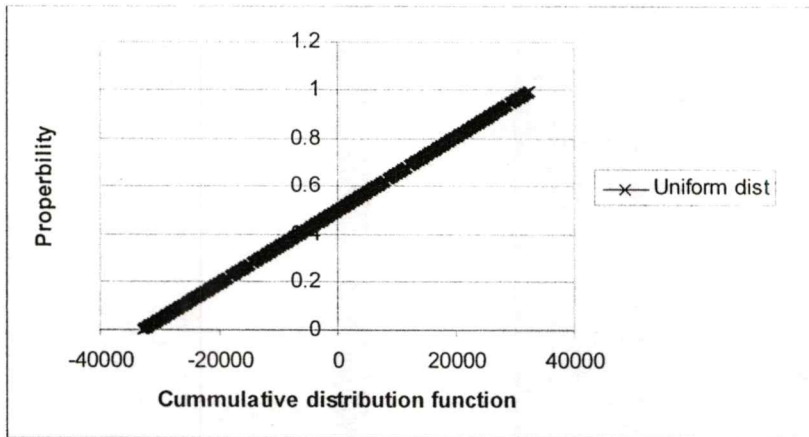
- D_T คือ ดีเลย์ที่จะเกิดขึ้นกับแพ็คเก็ตนั้นๆ
- D_M คือ ค่ามีนของดีเลย์ที่ผู้ใช้กำหนด
- σ คือ ค่าความแปรปรวนมาตรฐาน
- Σ คือ ค่าดีเลย์ซิกมา

ซึ่งค่า σ สร้างมาจากการกระจายตัวของข้อมูล ตามสมการ (2)

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f \tag{2}$$

โดยเรากำหนดให้มีการกระจายตัวจากข้อมูลดังรูปที่ 2.7 นั่นคือการกระจายตัวแบบ

Uniform



รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของคีย์ใน NIST Net

โดย σ ที่ได้ นั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง -4 ถึง +4 เนื่องจากค่าที่ได้เกิดจากแซมเปิลสเปซ (Sample Space) ที่มีค่าระหว่าง -32768 ถึง 32768 แล้วนำมาหารด้วย Table Factor ซึ่งมีค่า 8192

2.4 ระบบปฏิบัติการซิมเบียน (Symbian OS)

ระบบปฏิบัติการซิมเบียน เป็นระบบปฏิบัติการที่ออกแบบมาเพื่อรองรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถที่จะทำงานได้โดยไม่ต้องฮาร์ดแวร์ (Hardware) ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความแตกต่างกัน และสามารถจัดการกับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในอนาคตได้ ช่วยในด้านการส่งข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ อีกทั้งยังเป็นระบบที่ใช้งานได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง ช่วยประหยัดพลังงาน และใช้หน่วยความจำที่มีขนาดเล็ก เพื่อรองรับกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งในปัจจุบันและอนาคต

ทั้งนี้ระบบปฏิบัติการซิมเบียนนั้นยังเป็นระบบปฏิบัติการเปิด ที่อนุญาตให้โปรแกรมเมอร์รวมถึงผู้ใช้สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ต่างๆ บนระบบปฏิบัติการซิมเบียนได้เอง เรียกได้ว่าในอนาคตจะมีแอปพลิเคชันมากมายที่ถูกสร้างขึ้นบนระบบปฏิบัติการซิมเบียน และยังคงผลให้เป็นตลาดผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ยิ่งใหญ่ในอนาคตอีกด้วย

2.4.1 ความเป็นมาและพัฒนาการของระบบปฏิบัติการซิมเบียน

ซิมเบียน คือ บริษัทผลิตซอฟต์แวร์ (Software) ที่เป็นผู้นำในด้านการผลิตซอฟต์แวร์ที่รองรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากบริษัทผู้ค้า ก็คือ ระบบปฏิบัติการซิมเบียนนั่นเอง

ระบบปฏิบัติการซิมเบียนเกิดขึ้นในเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ.1998 ซึ่งในตอนนั้นมีพันธมิตรร่วมกัน 4 ราย คือ Ericsson, Motorola, Nokia และ Psion มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ประเทศอังกฤษ

ถัดมาในปี ค.ศ. 1999 ซิมเบียนก็ได้พันธมิตรรายใหม่นั้นคือ Matsushita (Panasonic) ในปี ค.ศ. 2000 พันธมิตรของซิมเบียน ก็มากขึ้นอีกโดยมีการจับมือกับ Sony, Sanyo และ Kenwood ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหลัง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ครั้งหนึ่งมีการนำไปใช้

รวมถึงการเปิดตัวโทรศัพท์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการซิมเบียน เครื่องแรกในรูปแบบของสมาร์ตโฟน นั่นก็คือ Ericsson R380 ซึ่งมีคุณสมบัติการใช้งานที่มากมาย และยังมีทำงานด้วยหน้าจอรระบบสัมผัสอีกด้วย

ในปี 2001 Nokia ที่เคยใช้ระบบปฏิบัติการ GEOS (Graphical Environment Operating System) ได้เปลี่ยนมาใช้ระบบปฏิบัติการซิมเบียนแทนระบบปฏิบัติการเดิม โดยทาง Nokia ได้พัฒนาคอมมิวนิเคเตอร์ (Communicator) รุ่นใหม่ออกมาคือ Nokia 9210 และโทรศัพท์ที่ใช้แพลตฟอร์ม (Platform) Series 60 รุ่นแรกคือ Nokia 7650 ซึ่งระบบปฏิบัติการที่ใช้ันั้นแตกต่างจาก Ericsson R380 เนื่องจากระบบปฏิบัติการซิมเบียนของ Nokia 9210 และ Nokia 7650 นั้นเป็นระบบปฏิบัติการเปิด (Open Symbian OS) คือสามารถที่จะนำโปรแกรมอื่นที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการซิมเบียนมาลงเพิ่มในเครื่องได้

ในปี 2002 ทางซิมเบียนได้มีการพัฒนาระบบปฏิบัติการรุ่นใหม่ที่เรียกว่าระบบปฏิบัติการซิมเบียนเวอร์ชัน 7.0 และทาง Sony Ericsson ก็เข้ามาเป็นพันธมิตรและเป็นหุ้นส่วนรายใหญ่ รวมทั้งทาง Sony Ericsson ก็เปิดตัวสมาร์ตโฟนรุ่นล่าสุด คือ Sony Ericsson P800 และในปี 2003 ก็ได้มีการพัฒนาระบบปฏิบัติการต่อจากเวอร์ชัน 7.0 เป็นเวอร์ชัน 7.0s โดยได้เพิ่มส่วนของการรองรับระบบโทรศัพท์แบบดับบลิวซีดีเอ็มเอ (WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access) และได้มีการปรับปรุงการรองรับ Java เป็น MIDP 2.0

และในปี 2004 ทางซิมเบียนก็ได้ทำการเปิดตัวระบบปฏิบัติการซิมเบียนเวอร์ชันใหม่ล่าสุดนั่นก็คือ เวอร์ชัน 8.0 ซึ่งระบบปฏิบัติการตัวนี้ได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อพยายามลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคค

2.4.2 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการซิมเบียน

ในส่วนโครงสร้างของระบบปฏิบัติการซิมเบียนประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

1. แกนหลัก (Core) ของระบบปฏิบัติการซิมเบียน เป็นแกนหลักในการทำงานของอุปกรณ์ เช่น เคอร์เนล (Kernel) ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ (File server) การจัดการด้านหน่วยความจำ (Memory management) และไดรเวอร์ของอุปกรณ์ (Device driver) ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ นั้นสามารถที่จะเพิ่มหรือลดได้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละชนิด

2. ชั้นของระบบ (System Layer) เป็นส่วนที่จัดการเกี่ยวกับการคำนวณ การติดต่อสื่อสาร เช่น TCP/IP, IMAP4, SMS และการจัดการฐานข้อมูล

3. แอปพลิเคชันเอนจิน (Application Engine) ซึ่งอยู่บนชั้นของระบบ ทำให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ติดต่อกับข้อมูลได้

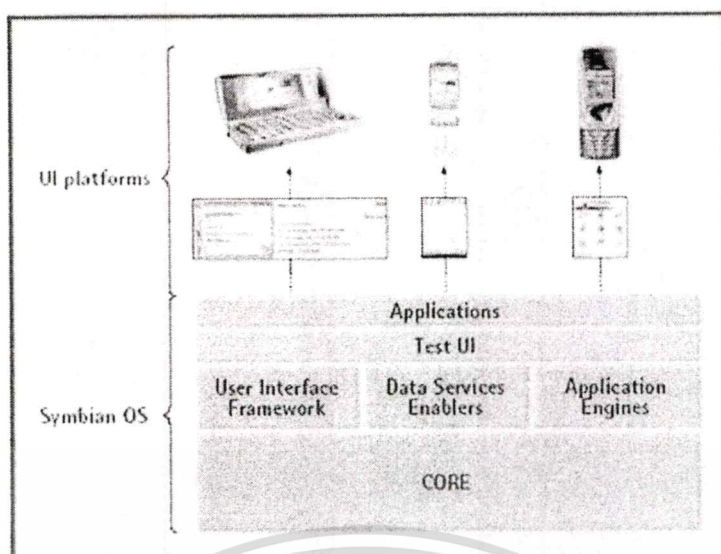
4. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ โดยผู้ผลิตแต่ละรายสามารถที่จะสร้างขึ้นได้ เช่น แพลตฟอร์ม

Series 60 ของบริษัท Nokia

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5. ชั้นของแอปพลิเคชัน (Application Layer) ซึ่งอยู่ส่วนบนของส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโดยรวมของระบบปฏิบัติการซิมเบียน

2.4.3 การจัดการเกี่ยวกับพลังงาน (Power management)

การจัดการเกี่ยวกับพลังงานถูกสร้างขึ้นในเคอร์เนลของระบบปฏิบัติการซิมเบียน การออกแบบช่วยทำให้การใช้พลังงานของ โปรเซสเซอร์ (Processor) และอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่ออุปกรณ์ชนิดใดไม่ถูกใช้งานก็จะถูกปิดโดยระบบ การที่มีระบบการจัดการพลังงานที่ดีเช่นนี้เองทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กและมีอยู่อย่างจำกัดได้

2.4.4 ความทนทานและความน่าเชื่อถือ (Robustness and Reliability)

ระบบปฏิบัติการซิมเบียน ประสบความสำเร็จในด้านประสิทธิภาพในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยอุปกรณ์ไม่ควรที่จะสูญเสียข้อมูล ระบบล่มหรือมีการรีบูต สิ่งที่ทำให้ระบบปฏิบัติการซิมเบียน ประสบความสำเร็จ คือ

1. แต่ละกระบวนการทำงานอยู่บนพื้นที่แอดเดรส (Address space) ที่มีการป้องกัน ทำให้แอปพลิเคชันใดๆ ไม่สามารถเขียนข้อมูลทับในพื้นที่แอดเดรสของแอปพลิเคชันอื่นได้
2. เคอร์เนลทำงานอยู่บนพื้นที่แอดเดรสที่มีการป้องกันจึงทำให้ข้อผิดพลาดของโปรแกรมต่างๆ ไม่สามารถเขียนข้อมูลทับลงในส่วนสแต็กหรือหน่วยความจำฮีป (Heap) ของเคอร์เนลได้

2.4.5 การจัดการหน่วยความจำ (Memory management)

ในอุปกรณ์เคลื่อนที่การจัดการหน่วยความจำมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากหน่วยความจำมีขนาดจำกัด ระบบปฏิบัติการซิมเบียนก็เช่นกัน ดังนั้นระบบจะมองว่าหน่วยความจำมีขนาดจำกัดและจะใช้หน่วยความจำให้น้อยที่สุดในการทำงานแต่ละครั้ง การใช้หน่วยความจำน้อยนี้ทำให้การใช้พลังงานลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การทำงานแบบมัลติทาสกิง (Multitasking)

แอปพลิเคชันต่างๆ ในระบบปฏิบัติการซิมเบียนทำงานอยู่ต่างกระบวนการกัน จึงสามารถทำให้หลายแอปพลิเคชันทำงานได้พร้อมกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ใช้งานต้องการตรวจสอบรายการประจำวันและรับสายโทรเข้า ระบบต้องสามารถที่จะสลับการทำงานระหว่างสองกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว ผู้ใช้สามารถดูรายการประจำวันขณะที่มีการโทรได้ ซึ่งในปัจจุบันโทรศัพท์เป็นสิ่งที่ให้ข้อมูลอย่างมาก ดังนั้นความสามารถนี้จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

2.4.7 แอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework)

การทำงานของแอปพลิเคชันที่ใช้ระบบปฏิบัติการซิมเบียน บนอิมูเลเตอร์ (Emulator) ที่อยู่บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) (ในทางเทคนิคเรียกว่า “WINS” ที่ทำงานแบบกระบวนการเดี่ยว) และอุปกรณ์จริง อย่างเช่น Nokia 3650 จะมีความแตกต่างกันอยู่เล็กน้อย ซึ่งความแตกต่างทำให้ผู้พัฒนาโปรแกรมที่มีปัญหากับความไม่สัมพันธ์กันระหว่างอิมูเลเตอร์กับอุปกรณ์จริง โดยเฉพาะผู้พัฒนาโปรแกรมที่เป็นโปรแกรมที่มีความซับซ้อนมาก จะเป็นห่วงเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่าง WINS กับอุปกรณ์จริง

กุญแจหลักสำคัญของแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์คนี้คือ UIKON ซึ่ง UIKON ก็คือ มาตรฐานของเฟรมเวิร์คที่ทุกๆ อุปกรณ์ซึ่งทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการซิมเบียนต่างมีเหมือนกัน UIKON ไม่เพียงแต่จะมีเฟรมเวิร์คที่จัดเตรียมไว้สำหรับการทำงานของแอปพลิเคชันเท่านั้น แต่ยังมีส่วนที่สนับสนุน การทำงานของคอมโพเนนท์สำหรับการควบคุมต่างๆ ไปด้วย เช่น กล่องข้อความ (dialog box) ตัวแก้ไขตัวเลข (number editor) และตัวแก้ไขวันที่ (date editor) ซึ่งกลุ่มของแอปพลิเคชันจะสามารถใช้ประโยชน์ได้ขณะทำงาน

แอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการซิมเบียน ประกอบด้วย 4 คอมโพเนนท์ ซึ่งแต่ละส่วนมีความเกี่ยวข้องกับคลาส (Class) ใน UIKON เฟรมเวิร์ค ได้แก่

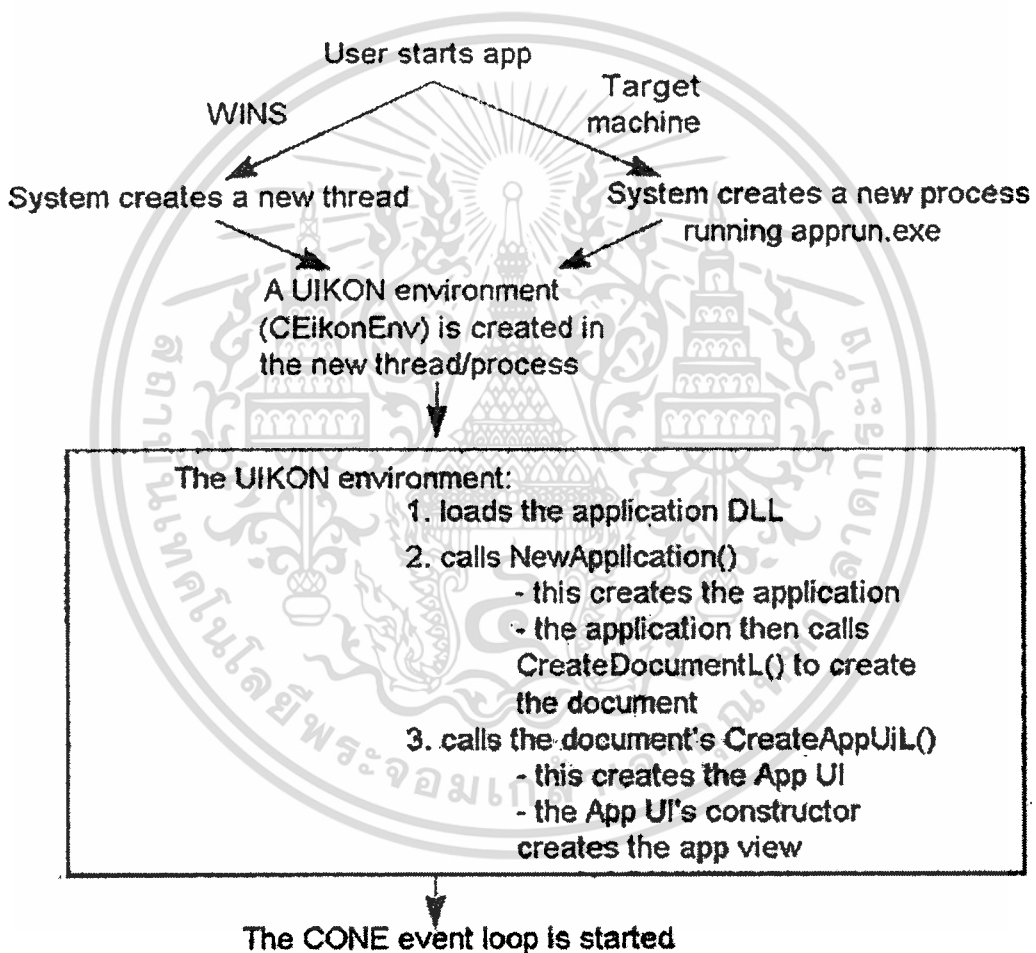
1. แอปพลิเคชันเชลล์ (Application shell) ซึ่งได้รับการถ่ายทอดคุณสมบัติมาจาก CEikApplication และคลาสนี้จะถูกสร้างขึ้นตอนแรกสุด โดยเฟรมเวิร์ค ทันทีที่ถูกสร้างขึ้นมันจะมีส่วนที่รับผิดชอบต่อการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้กับโค้ด (Code) ส่วนที่เหลืออยู่

2. คอคิวเมนต์ (Document) ซึ่งได้รับการถ่ายทอดคุณสมบัติมาจาก CEikDocument ส่วนนี้จะทำให้เข้าใจผิดเล็กน้อยในเรื่องที่ว่า ไม่ใช่ทุกแอปพลิเคชันต้องมีคอคิวเมนต์ที่จะต้องมาเกี่ยวข้องกับมัน เหมือนกับที่แอปพลิเคชันเหล่านี้จะต้องเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ตัวอย่างเช่น โปรแกรม Notepad ที่เป็นโปรแกรมเกี่ยวข้องกับคอคิวเมนต์โดยตรงอย่างชัดเจน ในขณะที่โปรแกรม เช่น นาฬิกา นั้นจะไม่ถูกกำหนดความสามารถในการจัดการคอคิวเมนต์ทั้งการสร้าง การเปิดเอกสาร และการแก้ไขคอคิวเมนต์ใดๆ ในความเป็นจริงทุกๆ แอปพลิเคชันจะต้องมีคลาส CEikDocument ที่เฟรมเวิร์คจะต้องการสร้างขึ้น

3. ส่วนติดต่อผู้ใช้งานของแอปพลิเคชัน (App UI) ซึ่งได้รับการถ่ายทอดคุณสมบัติมาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CEikAppUi ซึ่งคลาสนี้จัดเตรียมหน้าที่การทำงานหลักสำหรับทุกๆ แอปพลิเคชัน เช่น การรับมือกับเหตุการณ์ (event handing) การควบคุมเหตุการณ์ (event control) การสร้างการควบคุม การเข้าถึงการเรียกของระบบ (system call) ที่เป็นประโยชน์หลายๆ ตัว เป็นต้น

4. วิว (View) ส่วนนี้คือส่วนที่ผู้ใช้สามารถมองเห็นได้จริงในหน้าจอของอุปกรณ์ มันสามารถใช้งานสำหรับการแสดงข้อมูลอย่างง่าย หรือรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้ในแอปพลิเคชันที่ซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ในแอปพลิเคชันประเภทการแก้ไขข้อความ ตัวหนังสือที่ถูกพิมพ์นั้นก็คือการควบคุมมาตรฐานซึ่งถูกจัดไว้โดย UIKON โดยจัดเก็บอยู่ในส่วนของวิว ในขณะที่ทุกแอปพลิเคชันจะมีอยู่หนึ่งวิวโดยปกติ แต่แอปพลิเคชันที่มีความซับซ้อนมากสามารถมีได้หลายวิว



รูปที่ 2.9 แอปพลิเคชันเฟรมเวิร์คของระบบปฏิบัติการซิมเบียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

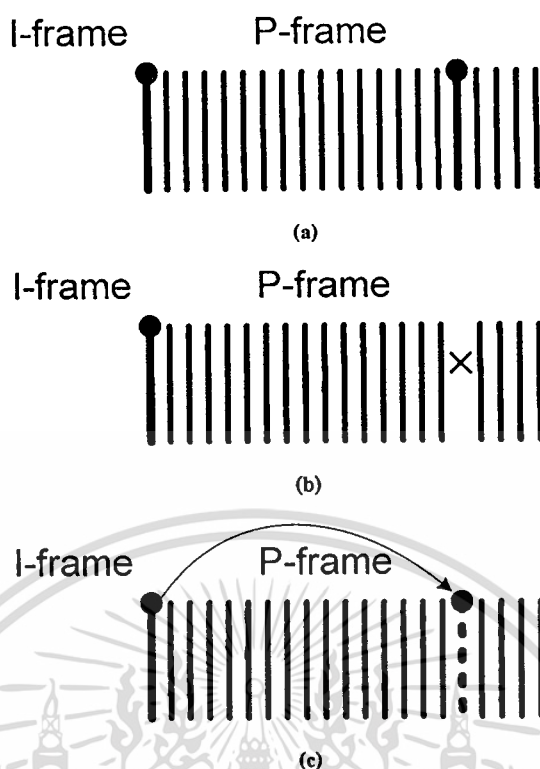
วิธีการแคชเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ

3.1 วิธีการแคช

ในส่วนนี้จะเสนอเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ เช่น การแคชเฟรมวิดีโอซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอเมื่อเฟรมวิดีโอในส่วนนั้นหายไป และการจัดเรียงข้อมูลที่มีการบัพเฟอร์ไว้ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดในการดีโค้ดข้อมูลวิดีโอ โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ในการเก็บบัพเฟอร์ใช้การเก็บข้อมูลแบบลิงค์ลิส (Linked List) ที่เชื่อมโยงกันแบบทางเดียว (Singly Linked List) โดยแต่ละโหนด (Node) จะเก็บข้อมูลที่ถูกระบุโดยเลขของเฟรมวิดีโอ ลำดับเลขเฟรมวิดีโอ และพอยน์เตอร์สำหรับชี้ไปยังโหนดถัดไป โดยเทคนิคต่างๆ มีดังนี้

3.1.1 การแคชไอเฟรม

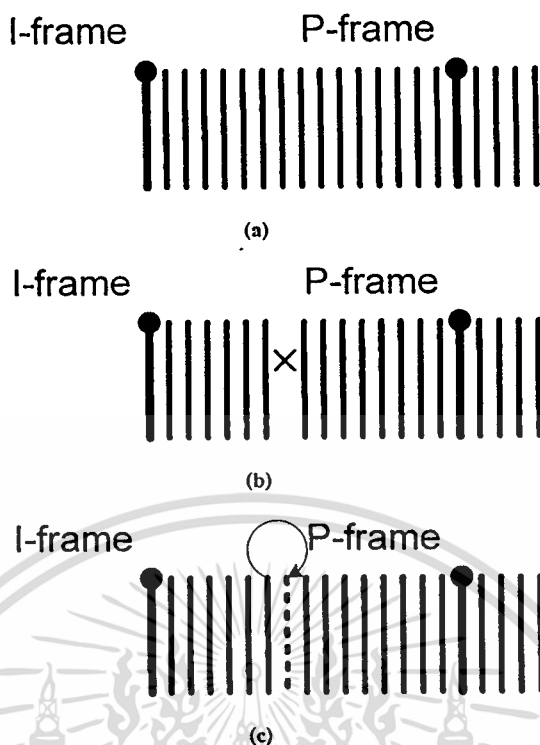
ในการรับวิดีโอสตรีมมิ่งเมื่อไอเฟรม ดังรูปที่ 3.1(a) แสดงการรับเฟรมวิดีโอแบบปกติไม่มีการสูญหายของเฟรมวิดีโอ รูปที่ 3.1(b) แสดงการรับเฟรมวิดีโอที่มีการสูญหายของไอเฟรมทำให้เกิดการผิดพลาดแบบต่อเนื่อง (Error Propagation) ดังนั้น รูปที่ 3.1(c) จึงเป็นการแสดงวิธีแคชไอเฟรม โดยเซิร์ฟเวอร์จะทำการแคชไอเฟรมล่าสุดที่ได้รับไว้และเมื่อเกิดการสูญหายของไอเฟรมเกิดขึ้นเซิร์ฟเวอร์จะนำไอเฟรมเฟรมล่าสุดที่แคชไว้มาแทนที่ไอเฟรมที่หายไปดังรูปที่ 3.1(c)



รูปที่ 3.1 แสดงเทคนิคการจัดการกับไอเฟรม(a) ทำการแคชไอเฟรมล่าสุด (b) แสดงเมื่อเกิดไอเฟรมหายไป (c) นำไอเฟรมล่าสุดมาแทนที่

3.1.2 การแคชพีเฟรม

ในการรับวิดีโอสตรีมมิ่งเมื่อพีเฟรม ดังรูปที่ 3.2(a) แสดงการรับเฟรมวิดีโอแบบปกติไม่มีการสูญหายของเฟรมวิดีโอ รูปที่ 3.2(b) แสดงการรับเฟรมวิดีโอที่มีการสูญหายของพีเฟรม ทำให้ขาดความต่อเนื่อง ดังนั้น รูปที่ 3.2(c) จึงเป็นการแสดงวิธีแคชพีเฟรม โดยเซิร์ฟเวอร์จะทำการแคชพีเฟรม ล่าสุดที่ได้รับไว้และเมื่อเกิดการสูญหายของไอเฟรมเกิดขึ้นเซิร์ฟเวอร์จะนำพีเฟรม เฟรมล่าสุดที่แคชไว้มาแทนที่พีเฟรม ที่หายไปดังรูปที่ 3.1(c)



รูปที่ 3.2 แสดงเทคนิคการจัดการกับพีเฟรม (a) ทำการแคชพีเฟรม ล่าสุด (b) แสดงเมื่อเกิดพีเฟรม หายไป (c) นำพีเฟรม ล่าสุดมาแทนที่

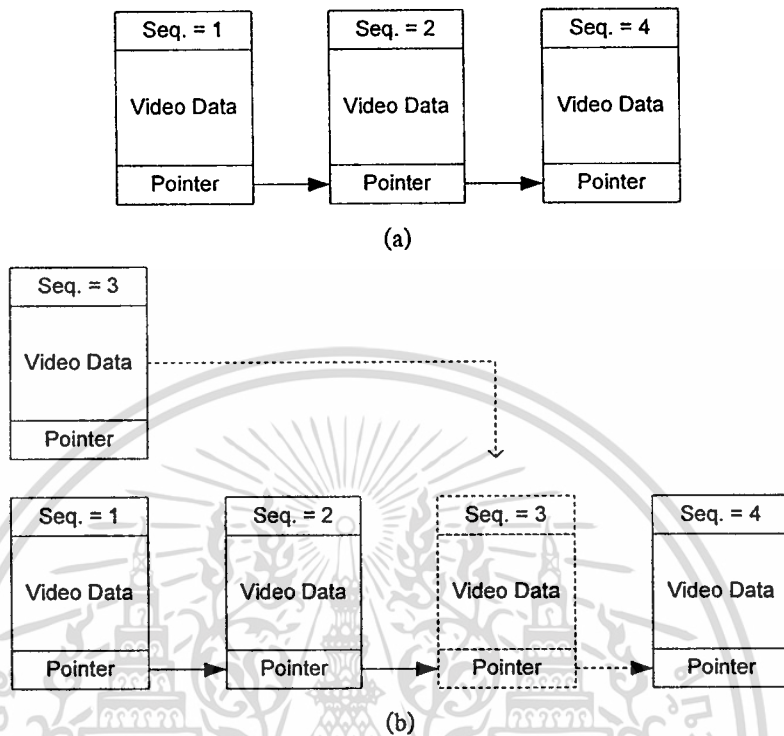
3.2 วิธีการจัดเรียงข้อมูลที่แคชได้

เมื่อการมาถึงของเฟรมวิดีโอไม่ได้มาเป็นลำดับที่ถูกต้องจึงทำให้เกิดการผิดพลาดในการดีโค้ดข้อมูลวิดีโอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์มาช่วยในการจัดเก็บเฟรมวิดีโอให้เป็นลำดับ โดยทำการเรียงลำดับของเฟรมวิดีโอใหม่แล้วจึงทำการดีโค้ดข้อมูลวิดีโอ เพื่อให้ได้ลำดับในการดีโค้ดที่ถูกต้อง โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ในการเก็บบัฟเฟอร์ใช้การเก็บข้อมูลแบบลิงค์ลิส (Linked List) ที่เชื่อมโยงกันแบบทางเดียว (Singly Linked List) โดยแต่ละ โหนด (Node) จะเก็บข้อมูลที่ถูกต้องของเฟรมวิดีโอ, ลำดับเลขเฟรมวิดีโอ และพอยน์เตอร์สำหรับชี้ไปยังโหนดถัดไป เป็นแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนครบขนาดบัฟเฟอร์ที่ต้องการ

การจัดเรียงข้อมูลนั้นเราจะทำการจัดเรียงข้อมูลตั้งแต่ที่นำโหนดมาต่อในลิงค์ลิสโดยใช้วิธีเรียงข้อมูลที่เรียกว่า อินเซิร์ทซัน (Insertion Sort) โดยเมื่อมีการสร้างโหนดใหม่ เราจะทำการแทรกโหนดใหม่เข้าไปในลิงค์ลิสโดยจะทำการเรียงตั้งแต่โหนดแรกเมื่อมีโหนดที่สองเข้ามาก็จะเปรียบเทียบกับโหนดแรก แล้วเมื่อโหนดที่สามเข้ามาก็จะเปรียบเทียบกับโหนดแรกเพื่อหาตำแหน่งที่จะแทรกที่ถูกต้อง ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนเต็มบัฟเฟอร์

ขนาดบัฟเฟอร์ที่เราใช้พักข้อมูลเพื่อทำการเรียงลำดับเฟรมใหม่ สมมติเท่ากับ 7 เฟรม โดยการทำงานคือ เซิร์ฟเวอร์จะทำการดีโค้ดออกจากแคช 1 เฟรมเมื่อทุกๆ 1 เฟรมที่เข้ามา เมื่อ

บัพเฟอร์เต็มแล้ว เพราะฉะนั้นจะมีเนื้อที่ในการรอเพื่อจัดเรียงข้อมูลมีขนาด 7 เฟรม ซึ่งลำดับของวิดีโอจะถูกแนบมาพร้อมกับเฟรมวิดีโออยู่แล้ว



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลวิดีโอ (a) การจัดเก็บข้อมูลแบบปกติ (b) การจัดเก็บข้อมูลเมื่อมีการมาถึงของข้อมูลวิดีโอแบบมาเป็นลำดับ

จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บเฟรมเมื่อแต่ละเฟรมมาถึงอย่างไม่เป็นลำดับ รูปที่ 3.3(a) ลำดับการมาถึงของเฟรมเป็น 1, 2, และ 4 ตามลำดับ เมื่อเซิร์ฟเวอร์ได้รับตั้งแต่เฟรมที่ 1 ก็จะเริ่มสร้างโหนดใหม่ จากนั้นเมื่อเฟรมที่ 2 มาถึงก็จะสร้างโหนดสำหรับเฟรมที่ 2 และก่อนที่จะนำโหนดมาต่อจะมีการตรวจสอบตำแหน่งที่จะนำเฟรมที่ 2 ไปต่อ นั้นเฟรมที่ 4 ก็มาถึงแล้วนำมาต่อ จะได้โครงสร้างดังรูปที่ 3.3(a) และเมื่อต่อจากเฟรมที่ 4 มาถึงเฟรมที่ตามมาคือเฟรมที่ 3 เซิร์ฟเวอร์ก็จะสร้างโหนดสำหรับเก็บข้อมูลเฟรมที่ 3 แล้วจะนำมาต่อในลิงค์ลิส ก่อนที่จะนำมาต่อในลิงค์ลิสเราจะทำการตรวจสอบตำแหน่งที่จะวางในลิงค์ลิส ซึ่งได้ตำแหน่งต่อจากลำดับเฟรมที่ 2 ซึ่งเทคนิคที่ใช้เรียกว่า การเรียงข้อมูลแบบอินเซิร์ตชัน

3.3 หลักการคำนวณค่าต่างๆ ที่นำมาใช้

ในการตรวจสอบคุณภาพของภาพวิดีโอจำเป็นต้องมีการมาตรฐานในการวัด ในที่นี้เราได้ใช้ค่า PSNR ในการวัดคุณภาพ นอกจากนี้ยังต้องคำนวณหาค่าการหายไปของเฟรมวิดีโอเพื่อให้ทราบ่วิธีของเราทำงานอย่างถูกต้องบน NIST Net ซึ่งค่าต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 ค่า PSNR

การวัดคุณภาพของวิดีโอสามารถวัดได้จากสมการที่ (3)

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M * N} \quad (3)$$

MSE คือ Mean Squared Error

M คือ จำนวนแถวของขนาดเฟรม

N คือ จำนวนหลักของเฟรม

I คือ ค่าคอมโพเน้นท์ของวิดีโอที่เราสนใจ

เมื่อได้ค่า MSE แล้วจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณต่อในสมการที่ (4)

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{R^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

PSNR คือ ค่า Peak Signal to Noise Ratio

R คือ ค่ามากที่สุดของคอมโพเน้นท์ที่เราสนใจ

3.3.2 ค่า Packet Drop

การสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความล่าช้าของสภาพเน็ตเวิร์กที่เรากำหนดขึ้นบน NIST Net สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (5)

$$\text{Percent Packet Drop (\%)} = \frac{P_D}{P_S} \times 100 \quad (5)$$

P_D คือ จำนวนแพ็คเกจที่ส่งถึงปลายทาง

P_S คือ จำนวนแพ็คเกจที่ส่งทั้งหมด

3.3.3 จำนวนขนาดบัฟเฟอร์

ขนาดบัฟเฟอร์ที่ใช้ในเลขซึ่งอัลกอริทึม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$Buffer\ Size = ROUNDUP\left(\frac{\Sigma \times 4 \times 2}{T}\right) + 1 \quad (6)$$

Σ คือ ค่าตัวเลขิกม่า

T คือ ระยะเวลาของเฟรมวิดีโอ 1 เฟรม



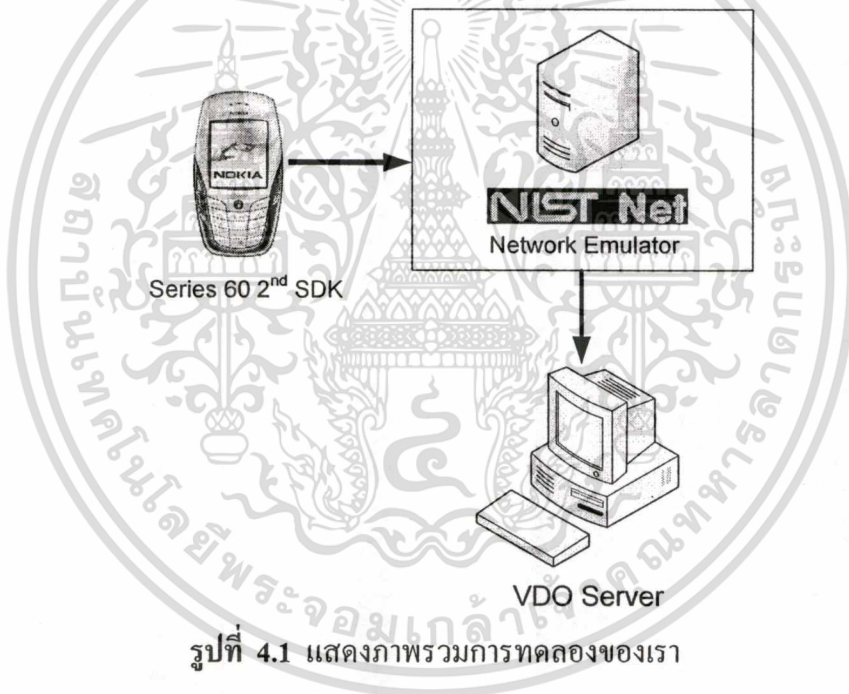
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพที่เราเสนอ รูปที่ 4.1 แสดงวิธีการทดลอง เราจะใช้ simple-profile simple-level MPEG-4 [5], [9] วิดีโอโคเดคของ Xvid [6] รันบนอีมูเลเตอร์ Symbian 8.0a Series 60 FP2 SDK [10] เพื่อส่งวิดีโอสตรีมมิ่งผ่าน NIST Net แล้วไปยังวิดีโอสตรีมมิ่งเซิร์ฟเวอร์ รันบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เอ็กพี (Windows XP) จากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึมกับวิธีที่มีแคชชิงอัลกอริทึมซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ



ในการกำหนดสภาพแวดล้อมของเครือข่ายโดยใช้ NIST Net ตามตัวแปรดังนี้ ดีเลย์ของแพ็คเกจเท่ากับ 550 มิลลิวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิวินาที ตามลำดับ [8] มีการกระจายตัวของดีเลย์แบบ Uniform การสูญหายของแพ็คเกจที่ 10 เปอร์เซ็นต์

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอ

ในการทดลอง เราใช้สอง QCIF วิดีโอในการทดลองมี Foreman และ News โดยบีบอัดที่ 15 เฟรมต่อวินาทีที่บิตเรต 64 และ 128 กิโลบิตต่อวินาที เอนโค้ดโดยใช้ หนึ่งไอเฟรม ต่อ 30 เฟรม ส่งด้วยวิดีโอความยาว 300 เฟรม ส่งผ่านเข้าไปยัง NIST Net ที่มีการกำหนดสภาพแวดล้อมของเน็ตเวิร์กด้วยตัวแปรดังนี้ ดีเลย์ 550 มิลลิวินาที มีการกระจายตัวของดีเลย์แบบ Uniform โดยมีจิกมาเท่ากับ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิวินาที ตามลำดับ การสูญหายของแพ็คเกจอยู่ที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ โดยทดลองเปรียบเทียบ 2 แบบ คือ แบบที่ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมและแบบที่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม โดยกำหนดขนาดบัฟเฟอร์เป็น 7 และ 13 ตามลำดับ

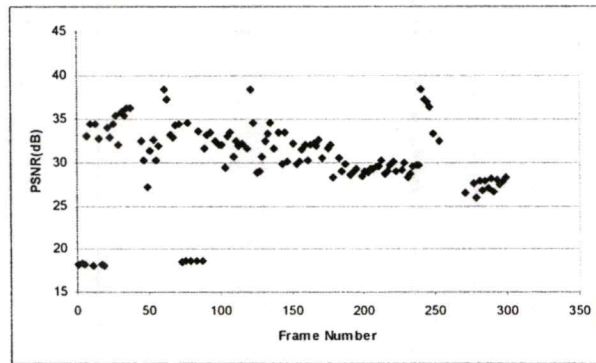
4.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพและผลการทดลอง

4.2.1 วิเคราะห์คุณภาพและผลการทดลอง

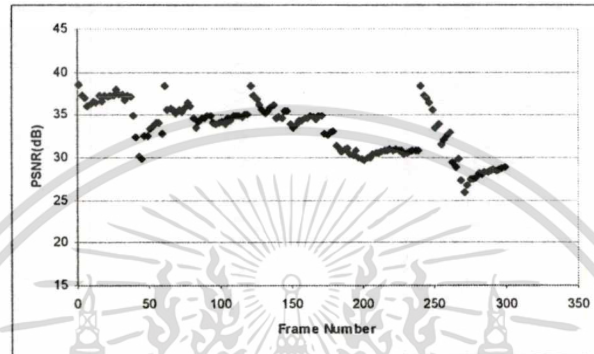
โดยสิ่งที่สนใจคือค่า PSNR ที่เปลี่ยนแปลงไปและการสูญหายของแพ็คเกจ ว่าเป็นไปตามที่เราได้กำหนดหรือไม่

-การส่งสตรีมมิ่งวิดีโอ

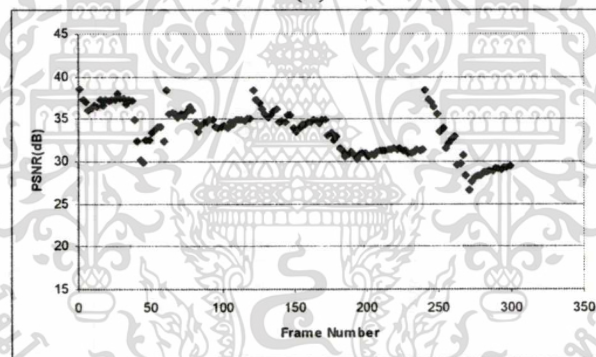
เราใช้ QCIF วิดีโอในการทดสอบมี Foreman, และ Container โดยบีบอัดที่ 15 เฟรมต่อวินาทีและส่งด้วยบิตเรทเท่ากับ 64 และ 128 กิโลบิตต่อวินาที แล้วกำหนดให้มีไอเฟรมเกิดขึ้นทุกๆ 30 เฟรม ที่ใช้กับการทดลอง จากนั้นทำการกำหนดค่าตัวแปรบน NIST Net โดยให้มีดีเลย์เป็น 550 มิลลิวินาที ดีเลย์ขึ้นมาเท่ากับ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิวินาที ตามลำดับและมีการสูญหายของแพ็คเกจอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการทดลองโดยทดสอบกับเซิร์ฟเวอร์ที่ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม กับเซิร์ฟเวอร์ที่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม โดยมีขนาดบัฟเฟอร์เท่ากับ 7 เฟรมและ 13 เฟรม ตามลำดับ ด้วยวิธีการในบทที่ 3



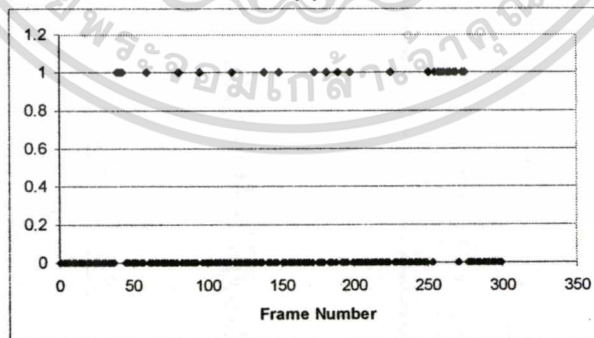
(a)



(b)



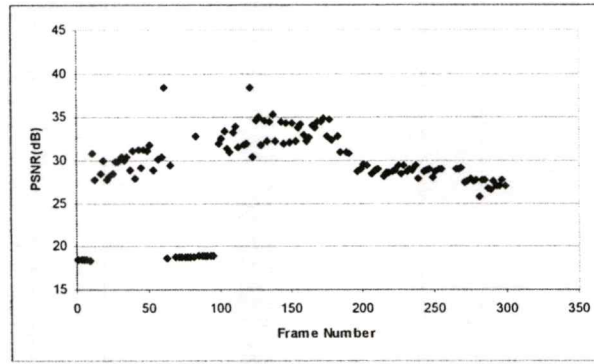
(c)



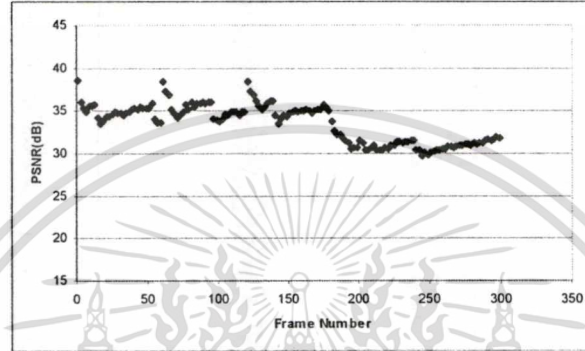
(d)

รูปที่ 4.2 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

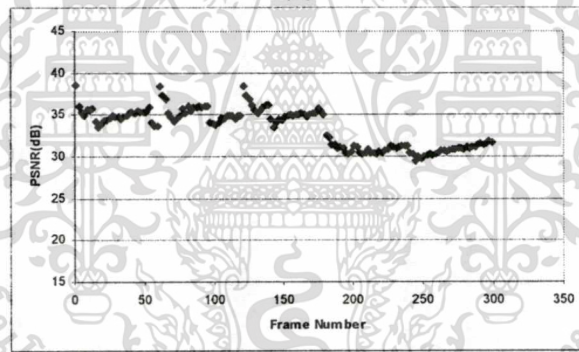
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



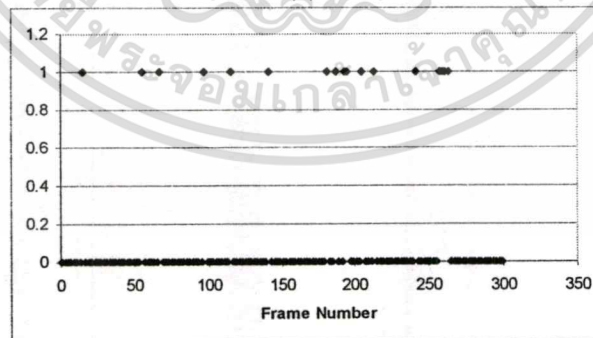
(a)



(b)



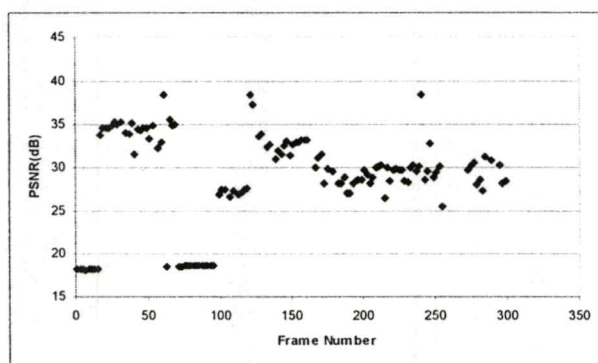
(c)



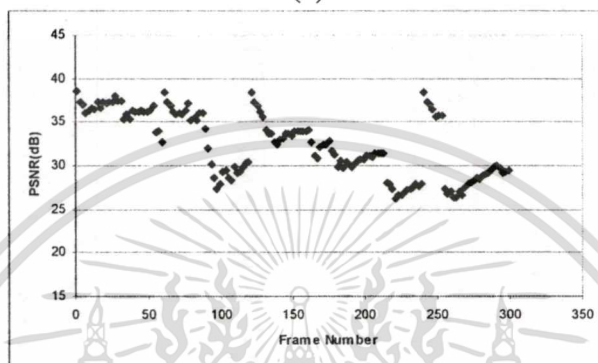
(d)

รูปที่ 4.3 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

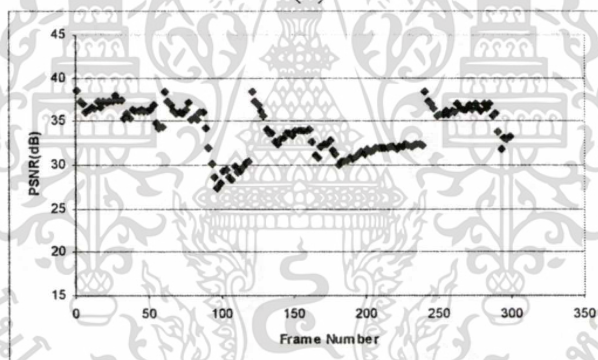
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



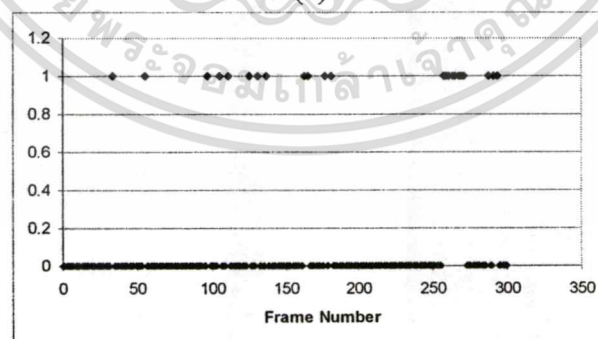
(a)



(b)



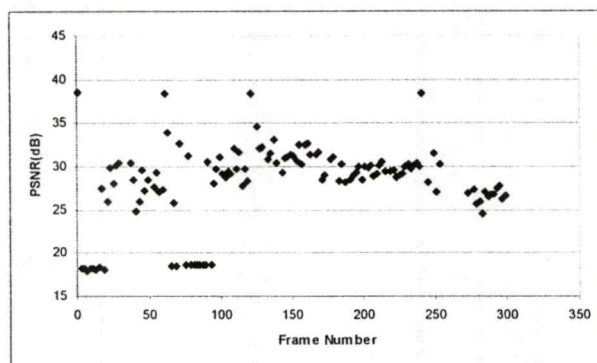
(c)



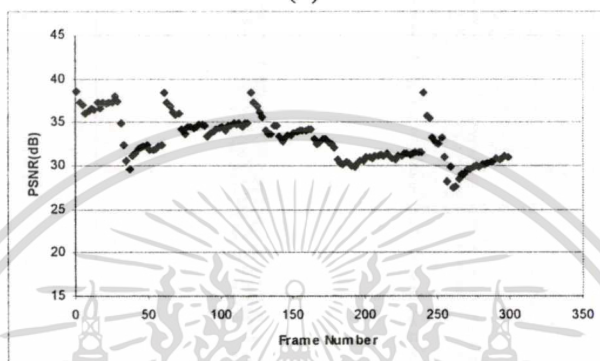
(d)

รูปที่ 4.4 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

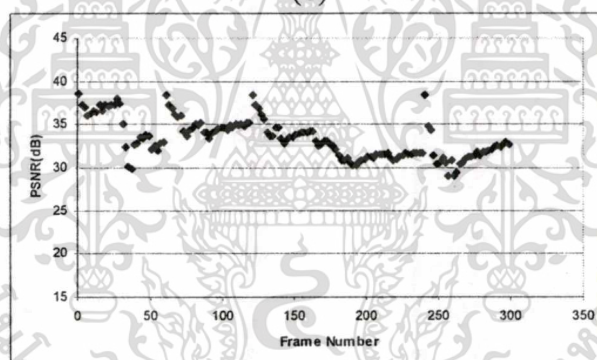
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



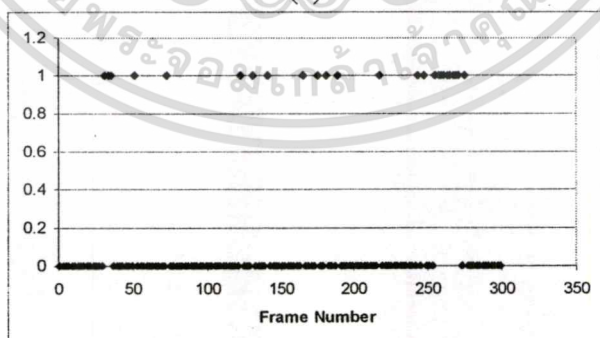
(a)



(b)



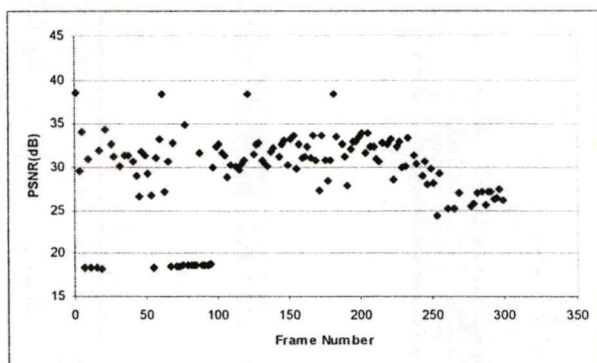
(c)



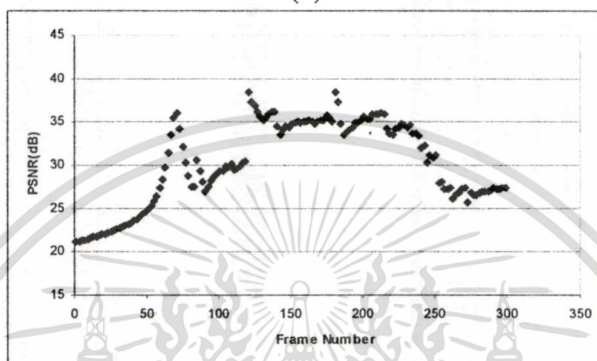
(d)

รูปที่ 4.5 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

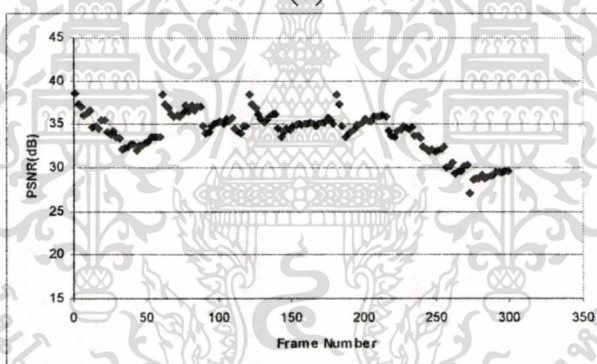
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



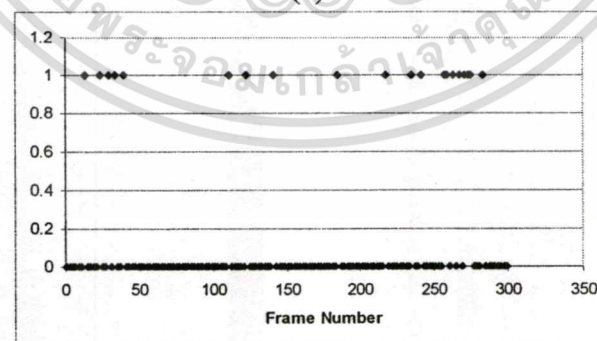
(a)



(b)



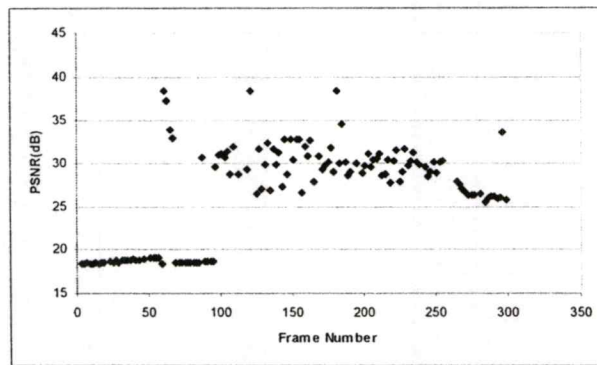
(c)



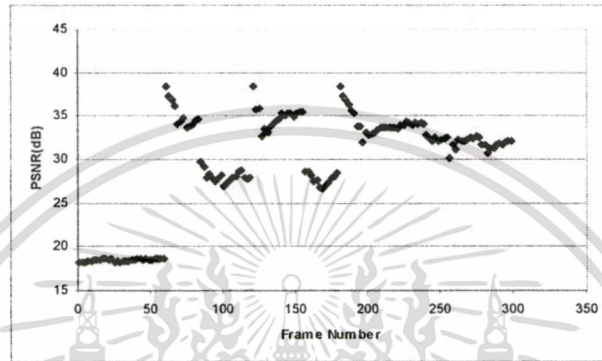
(d)

รูปที่ 4.6 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

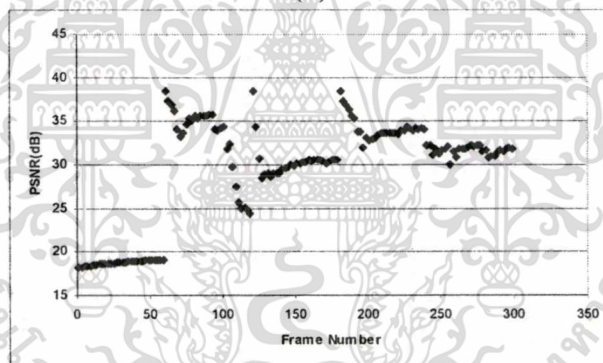
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



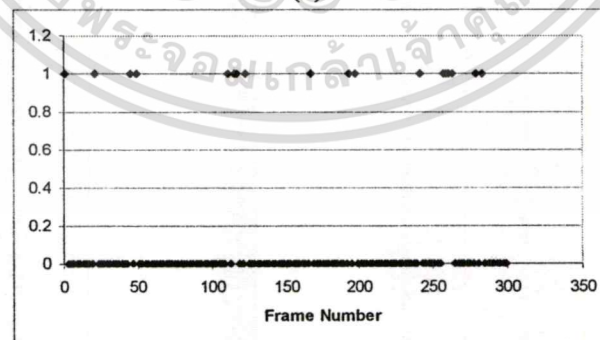
(a)



(b)



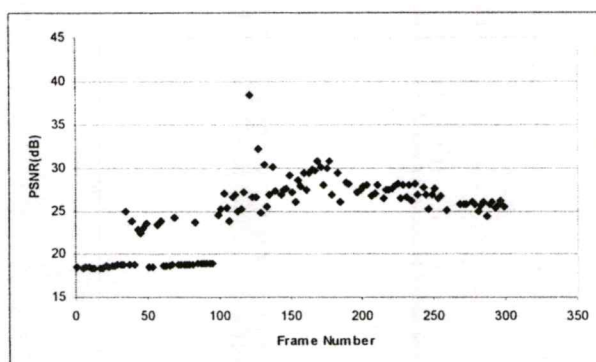
(c)



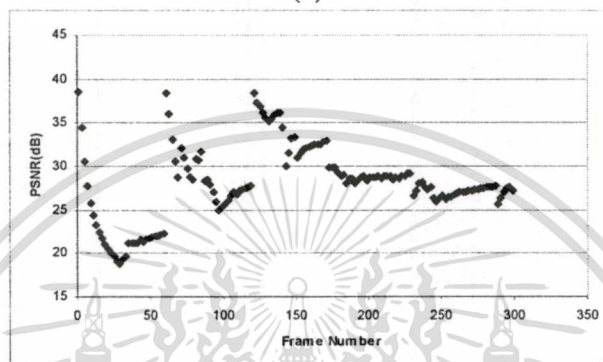
(d)

รูปที่ 4.7 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

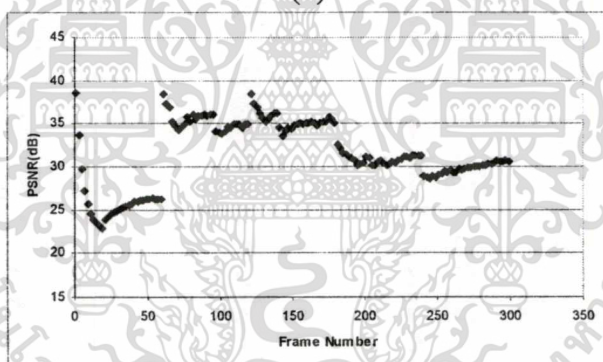
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



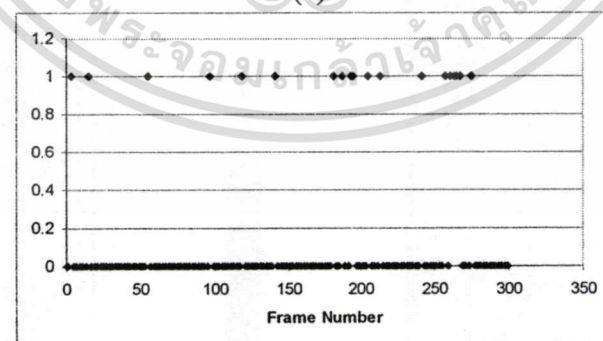
(a)



(b)



(c)

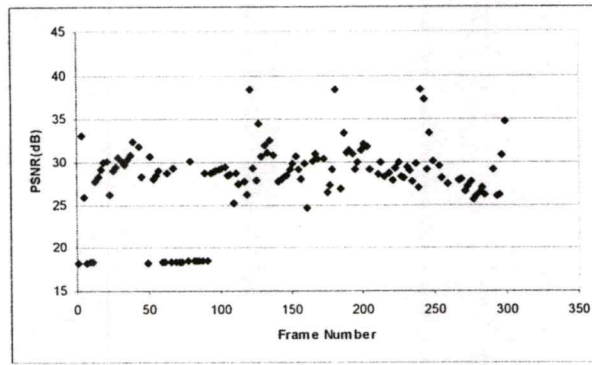


(d)

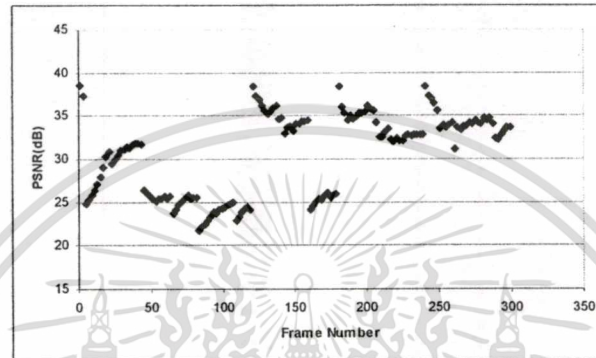
รูปที่ 4.8 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซิงอัลกอริทึม (b) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

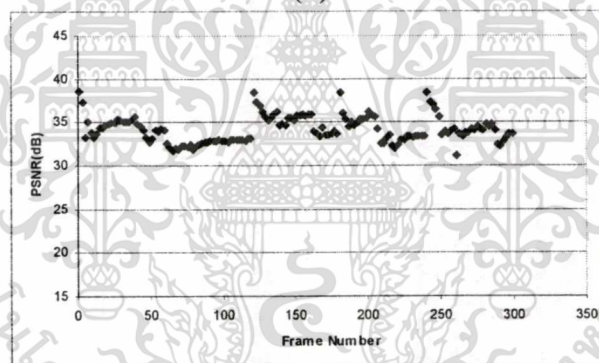
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



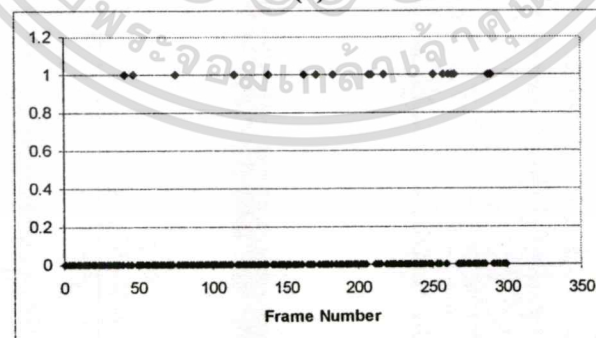
(a)



(b)



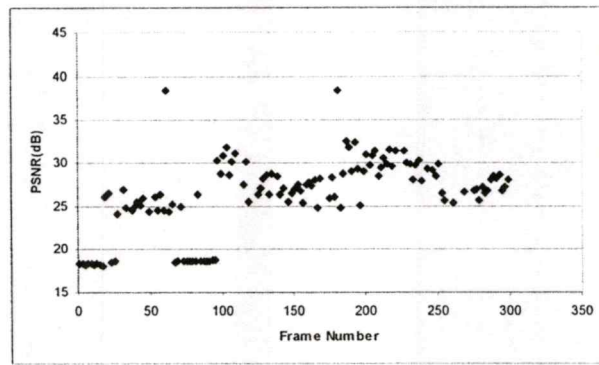
(c)



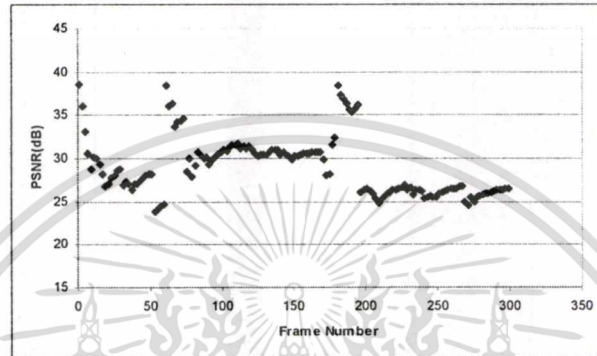
(d)

รูปที่ 4.9 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

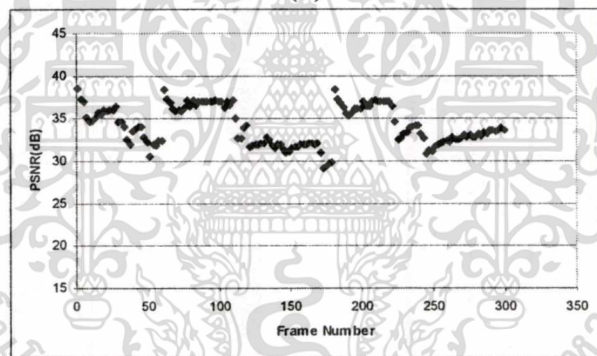
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



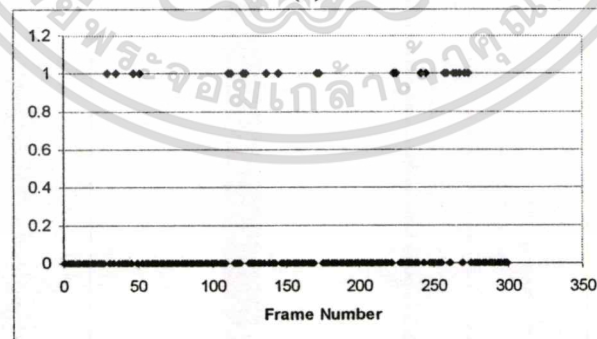
(a)



(b)



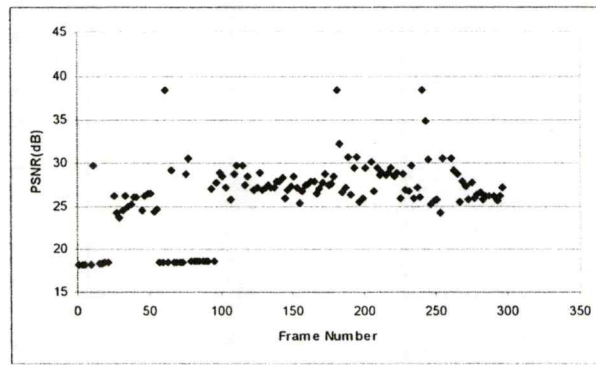
(c)



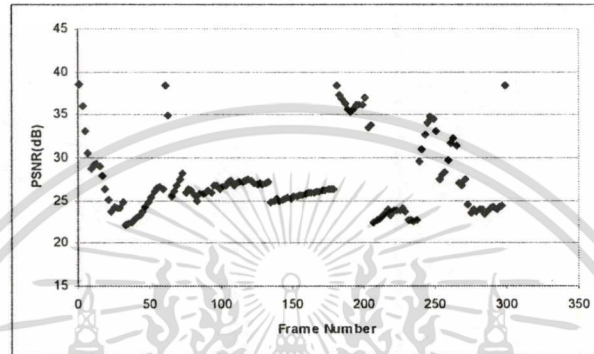
(d)

รูปที่ 4.10 วิดีโอ Container บิทเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีเลขซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเลขซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเลขซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน การสูญหาย

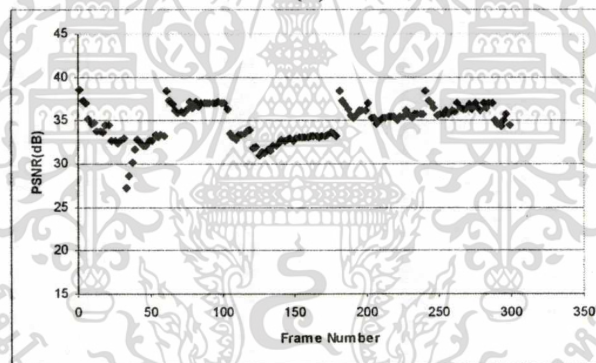
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



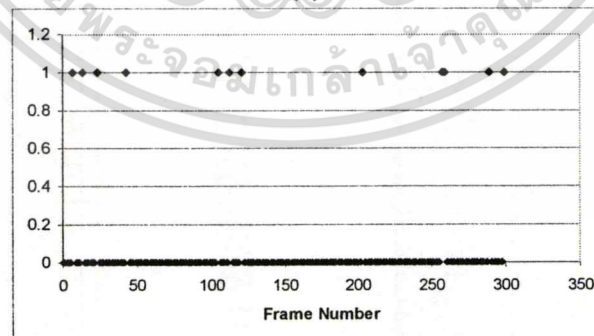
(a)



(b)



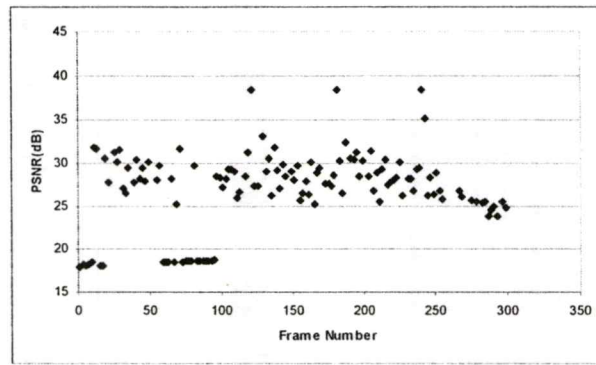
(c)



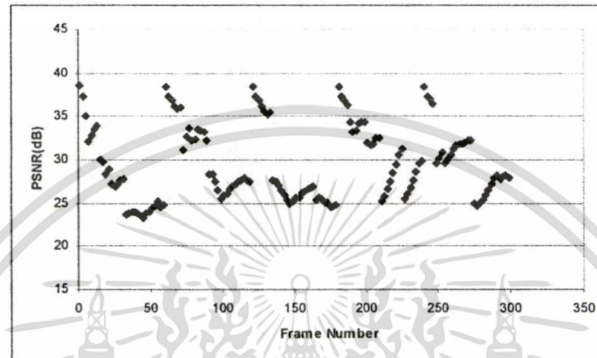
(d)

รูปที่ 4.11 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

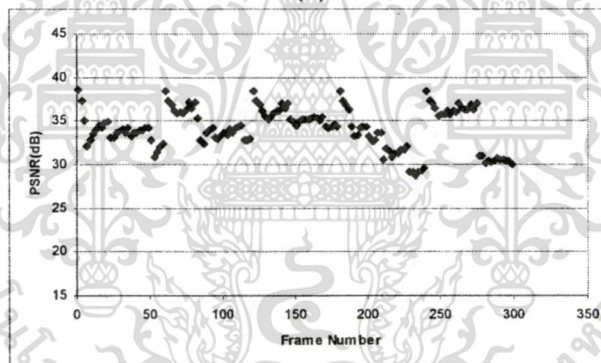
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



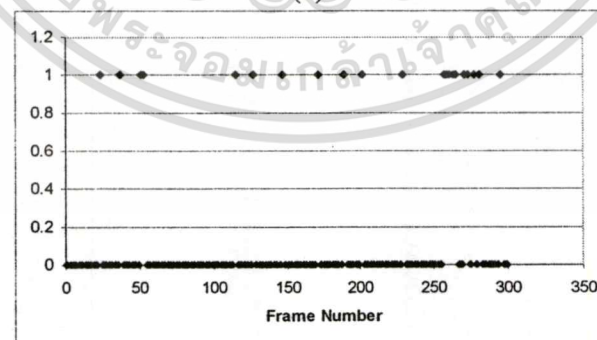
(a)



(b)



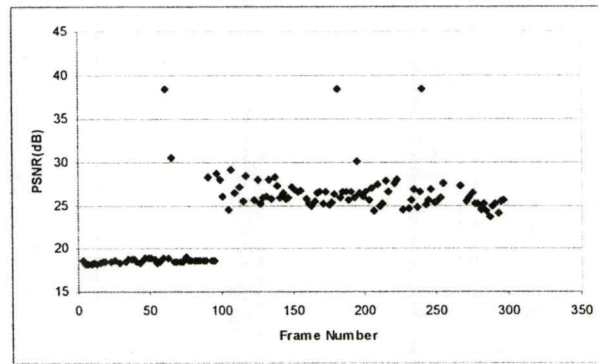
(c)



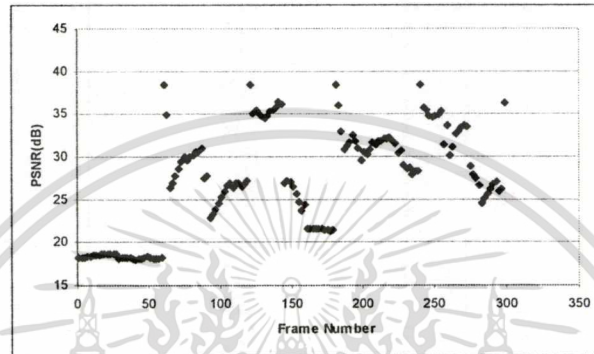
(d)

รูปที่ 4.12 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

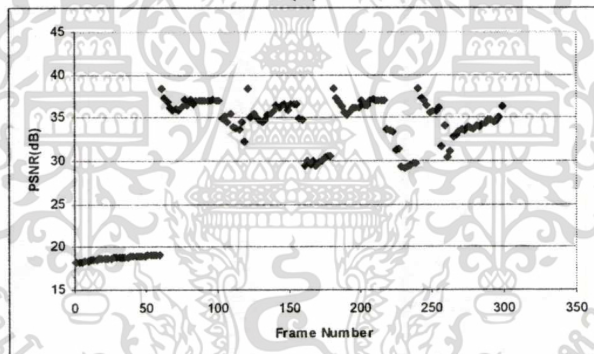
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



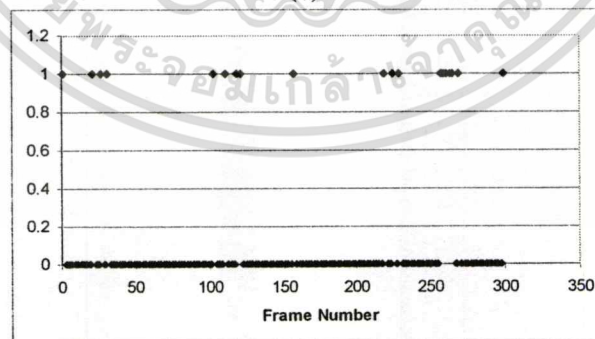
(a)



(b)



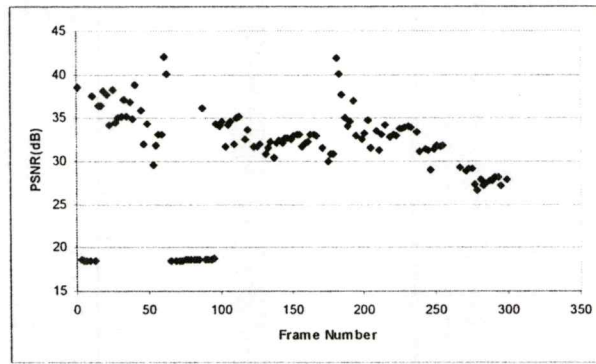
(c)



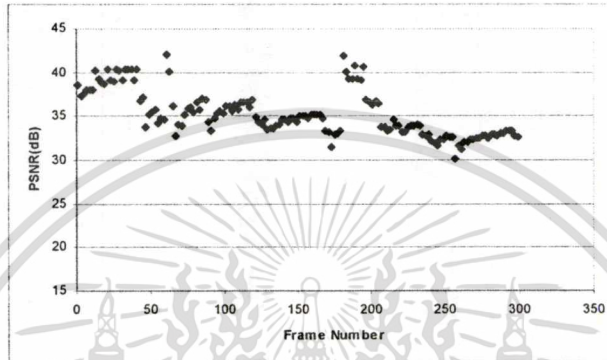
(d)

รูปที่ 4.13 วิดีโอ Container บีทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีเศษซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

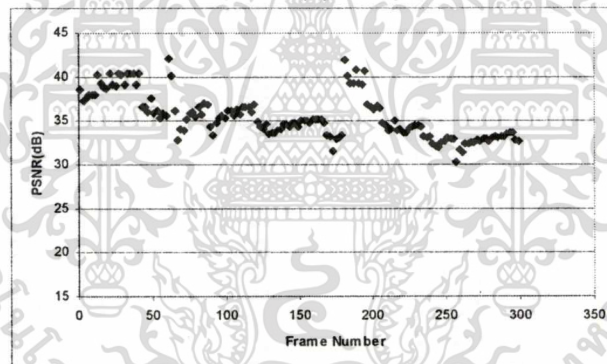
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



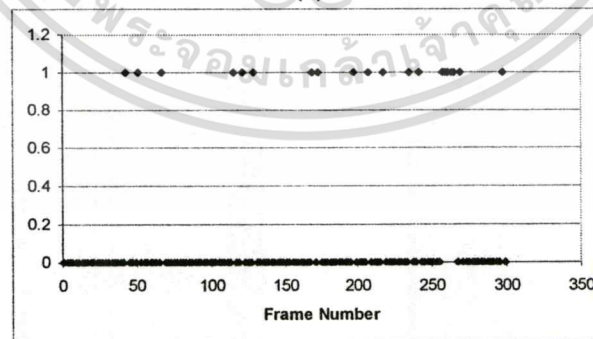
(a)



(b)



(c)

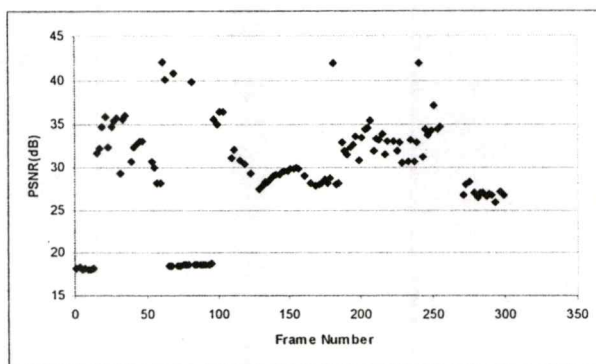


(d)

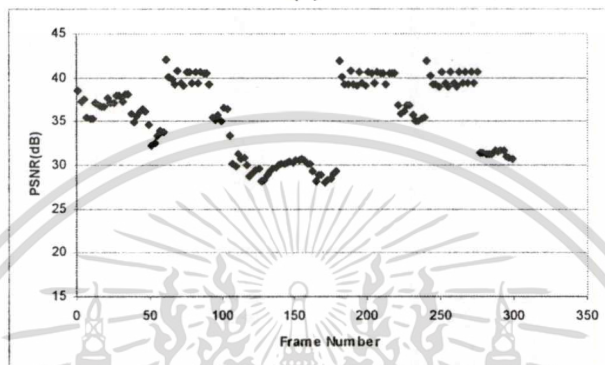
รูปที่ 4.14 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที
ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม
(c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



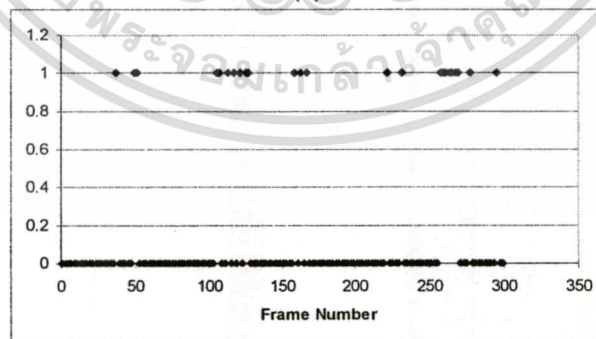
(a)



(b)



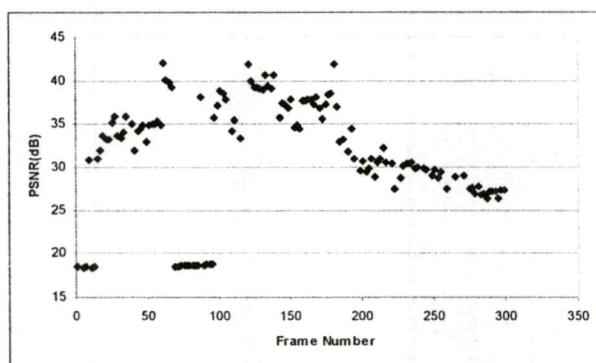
(c)



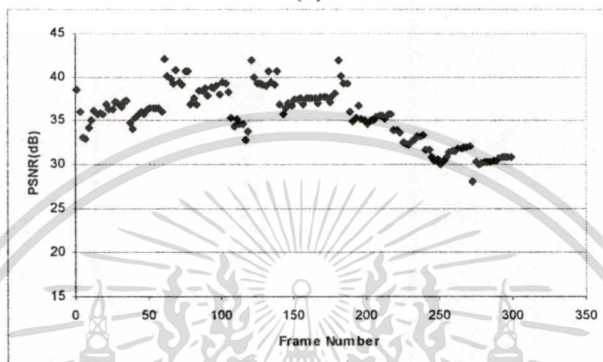
(d)

รูปที่ 4.15 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

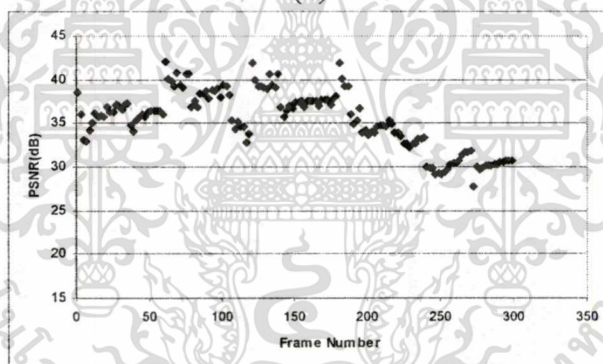
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



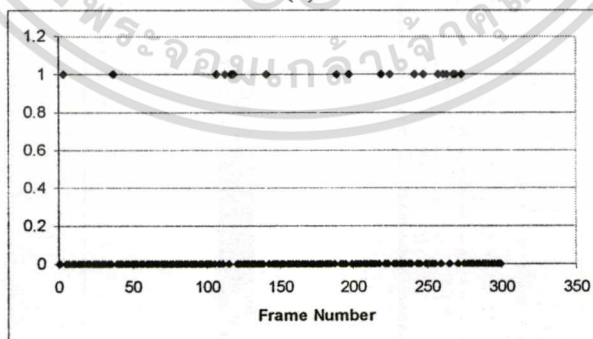
(a)



(b)



(c)

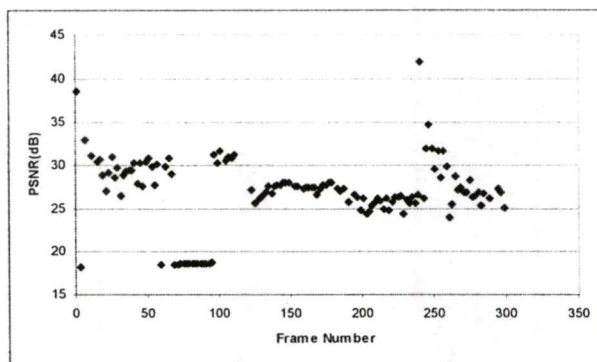


(d)

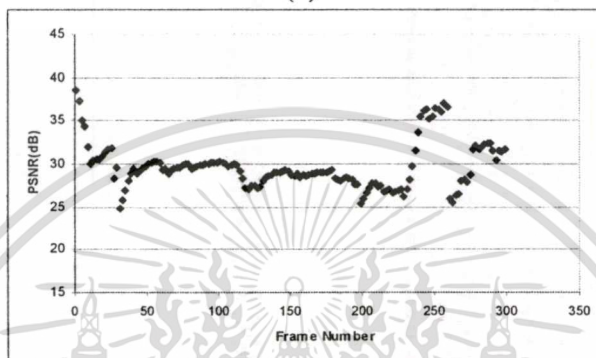
รูปที่ 4.16 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

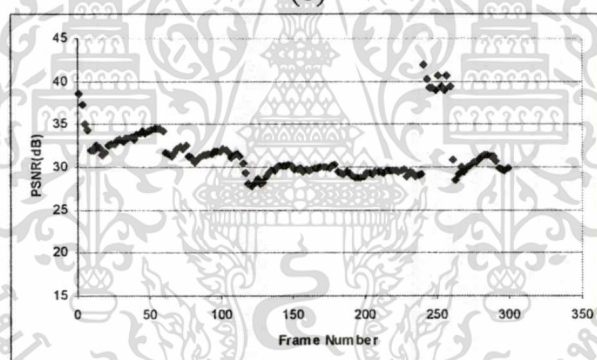
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



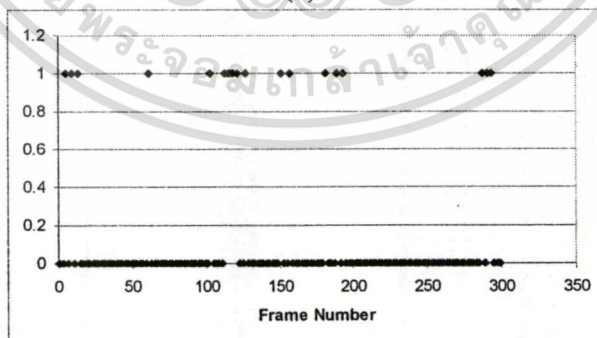
(a)



(b)



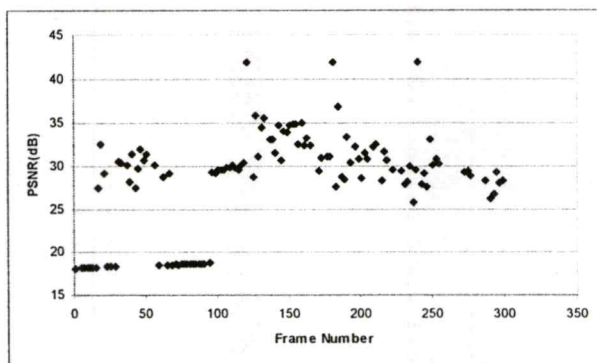
(c)



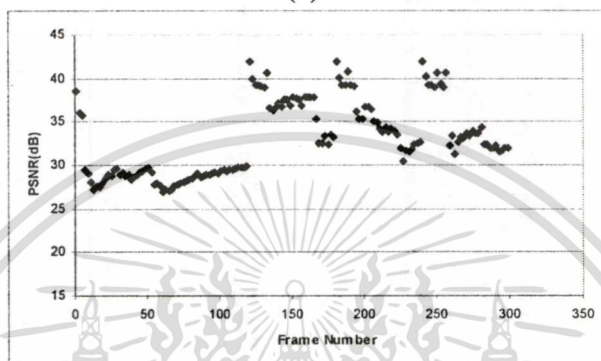
(d)

รูปที่ 4.17 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

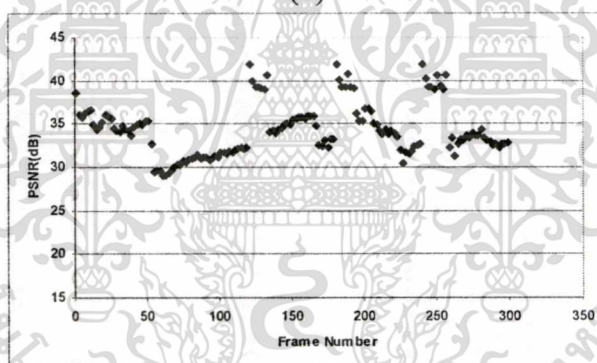
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



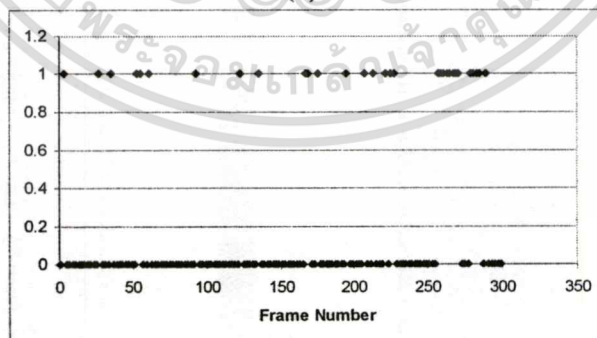
(a)



(b)



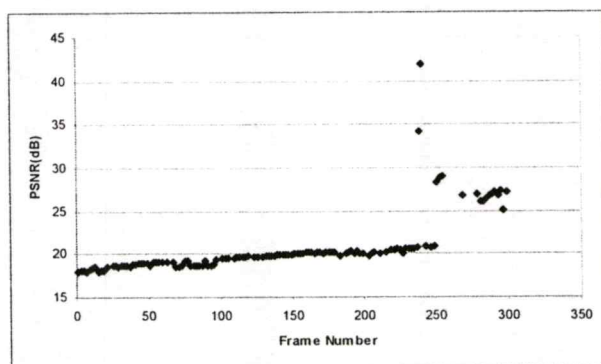
(c)



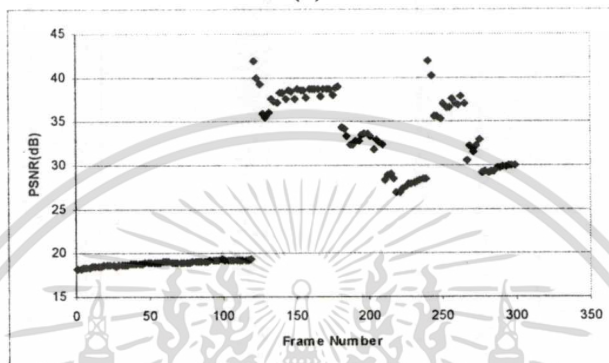
(d)

รูปที่ 4.18 วิดีโอ Container บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

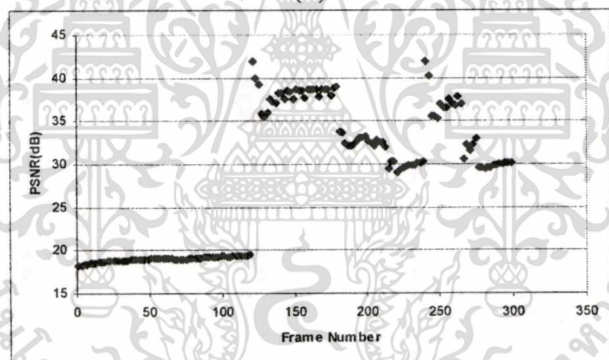
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



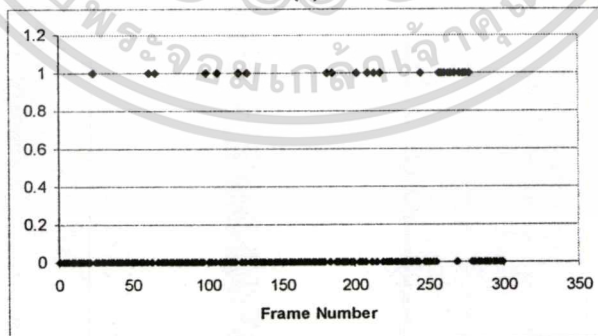
(a)



(b)



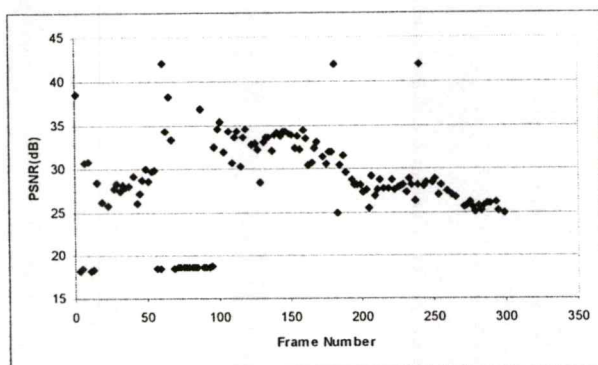
(c)



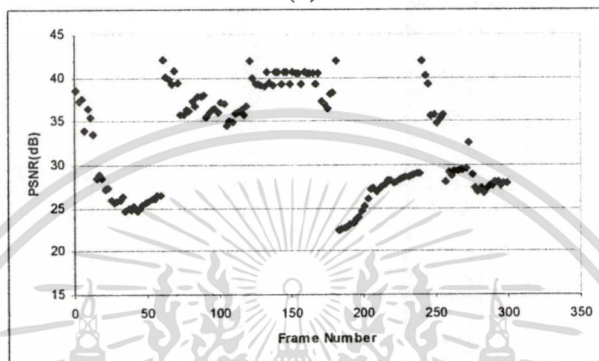
(d)

รูปที่ 4.19 วิดีโอ Container บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

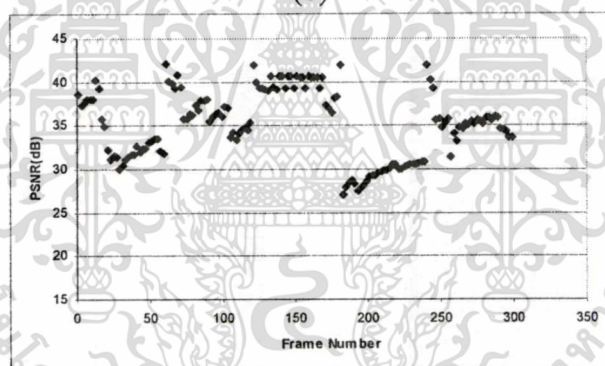
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



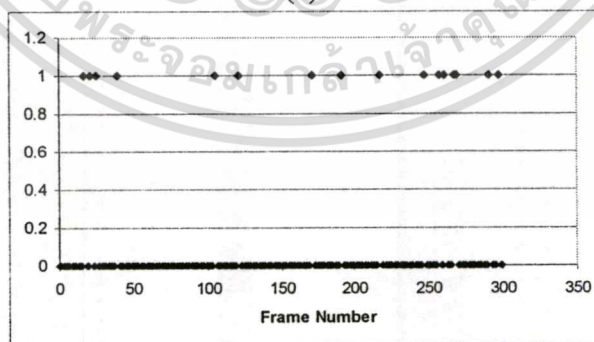
(a)



(b)



(c)

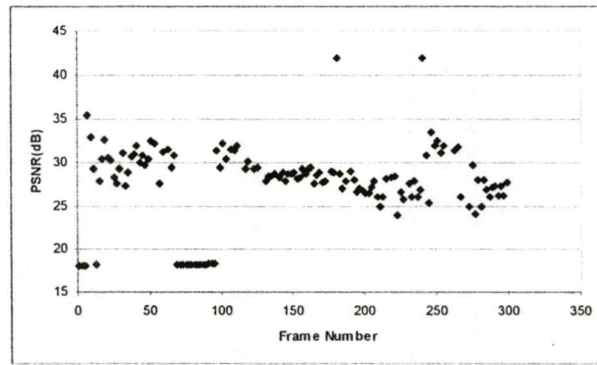


(d)

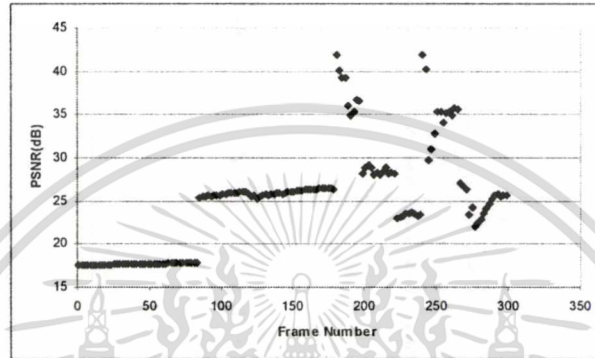
รูปที่ 4.20 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

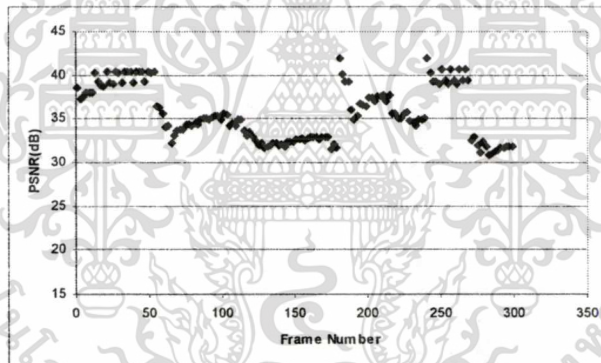
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



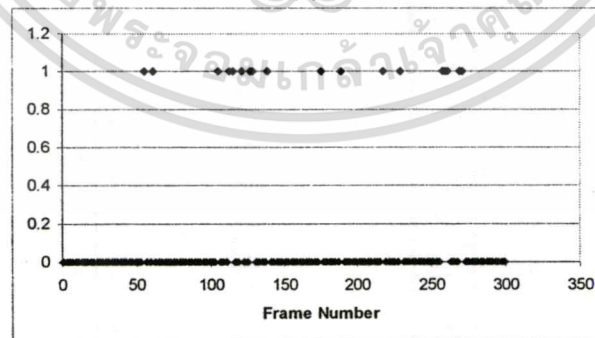
(a)



(b)



(c)

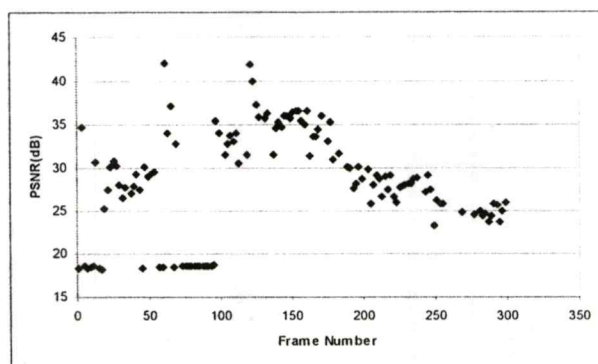


(d)

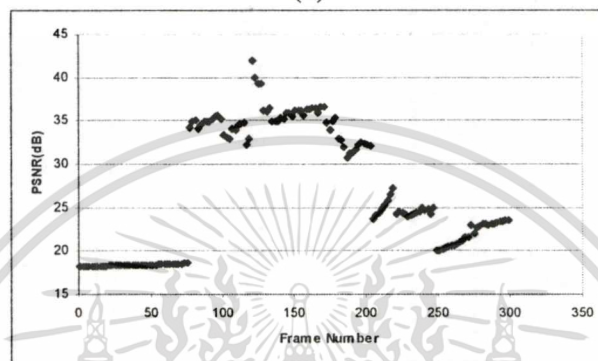
รูปที่ 4.21 วิดีโอ Container บิตเรตเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

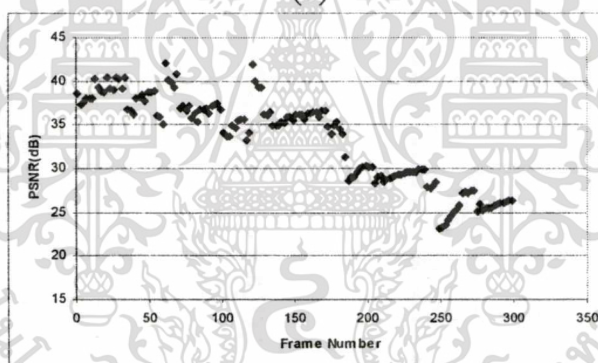
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



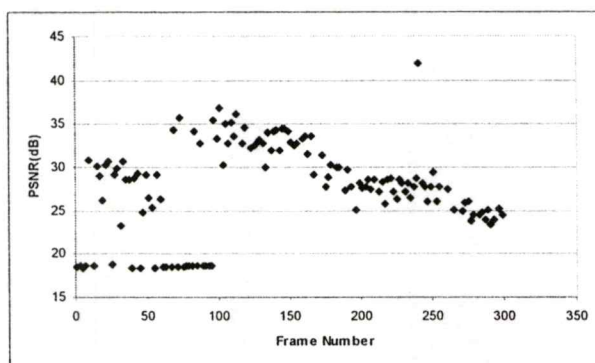
(c)



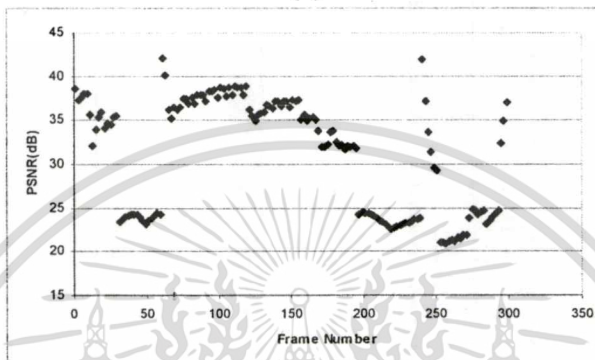
(d)

รูปที่ 4.22 วิดีโอ Container บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

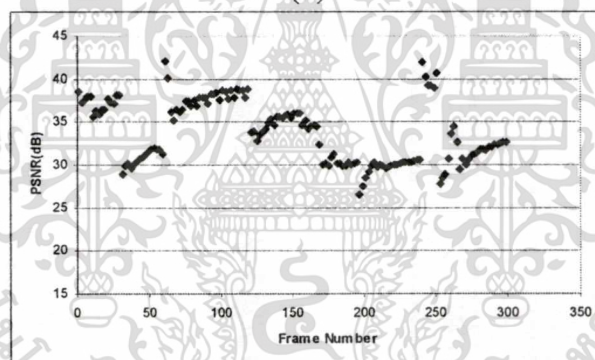
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



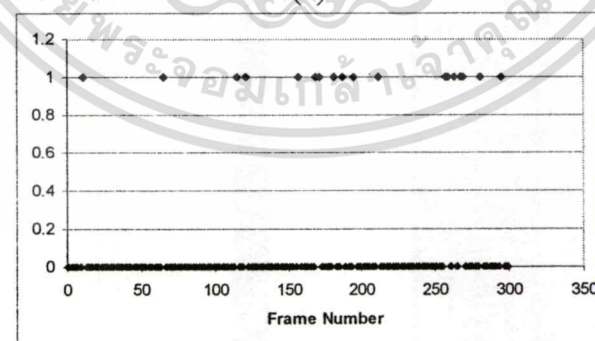
(a)



(b)



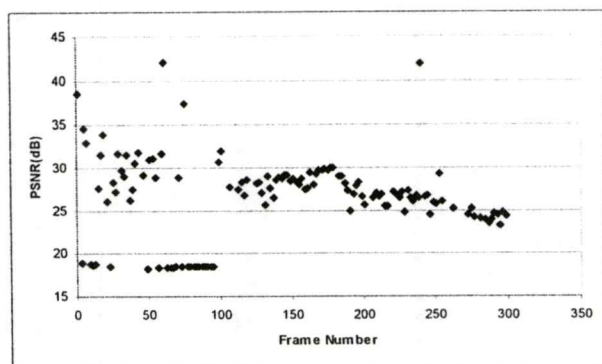
(c)



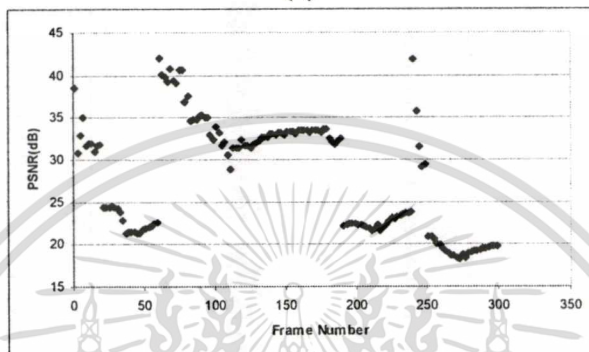
(d)

รูปที่ 4.23 วิดีโอ Container บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

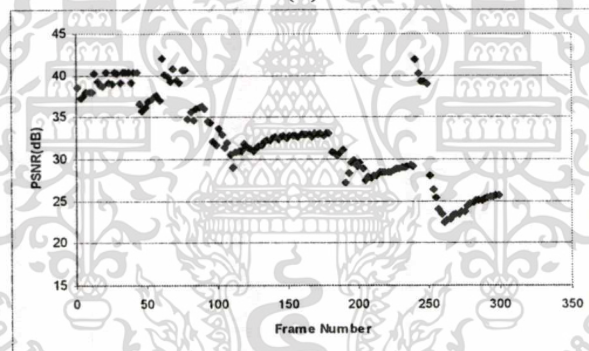
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



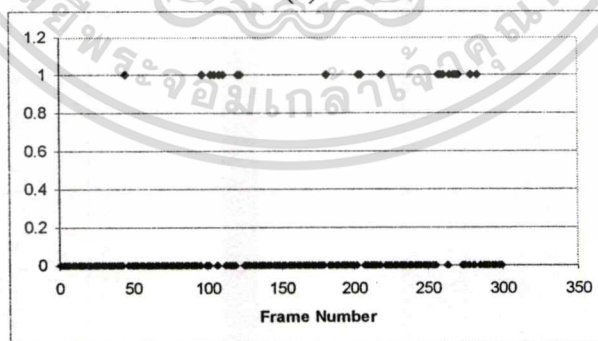
(a)



(b)



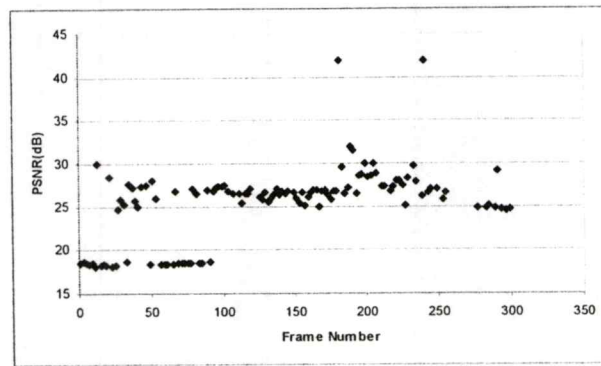
(c)



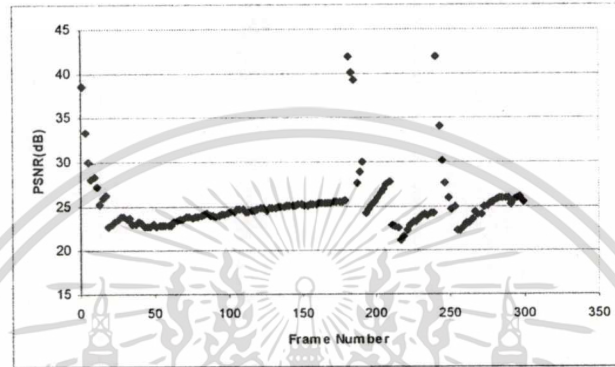
(d)

รูปที่ 4.24 วิดีโอ Container บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีเลขซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเลขซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเลขซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

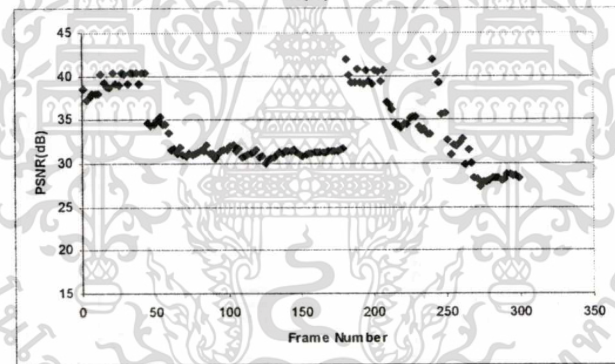
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



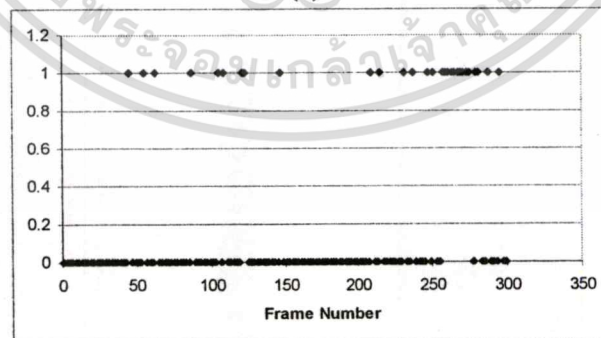
(a)



(b)



(c)

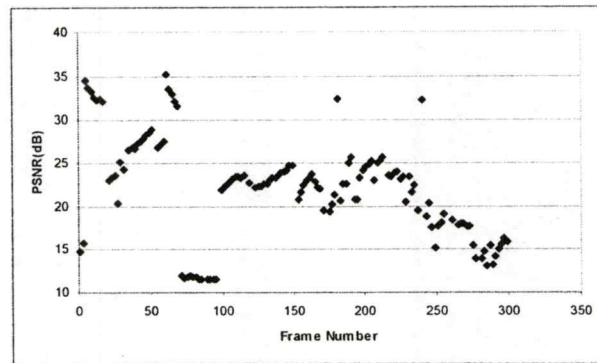


(d)

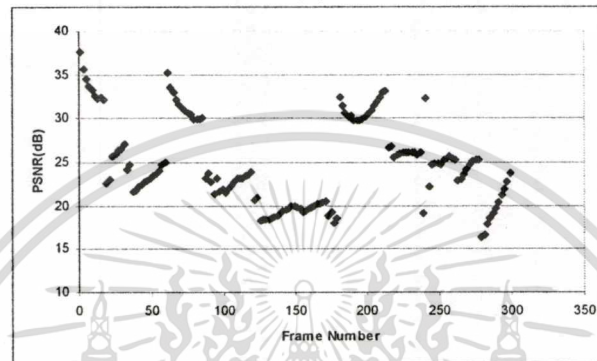
รูปที่ 4.25 วิดีโอ Container บิทเรตเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีเลขซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเลขซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเลขซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

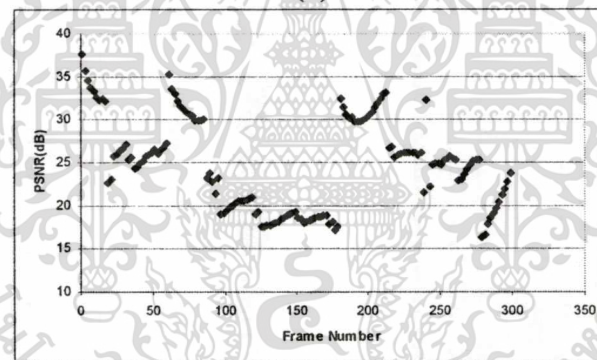
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



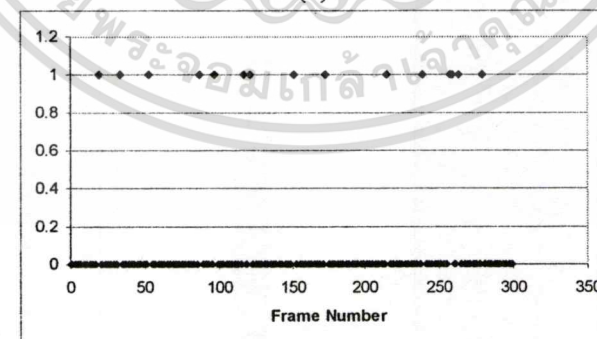
(a)



(b)



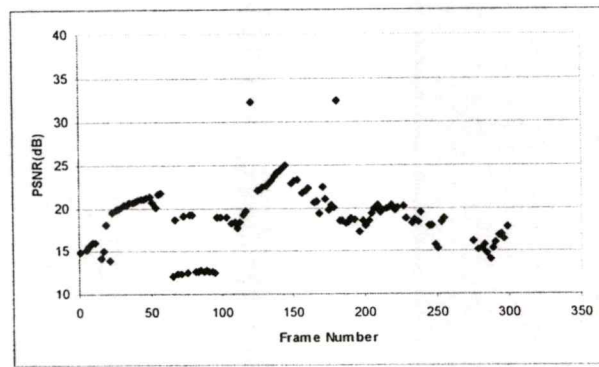
(c)



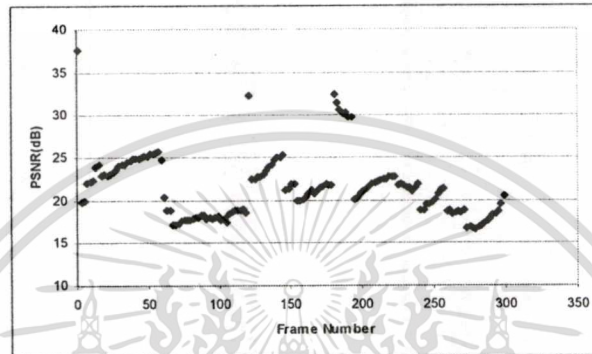
(d)

รูปที่ 4.26 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน การสูญหาย

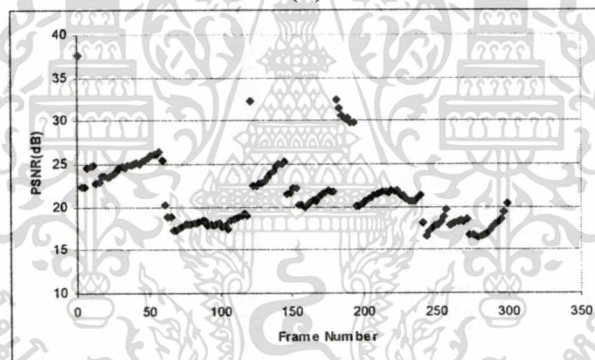
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



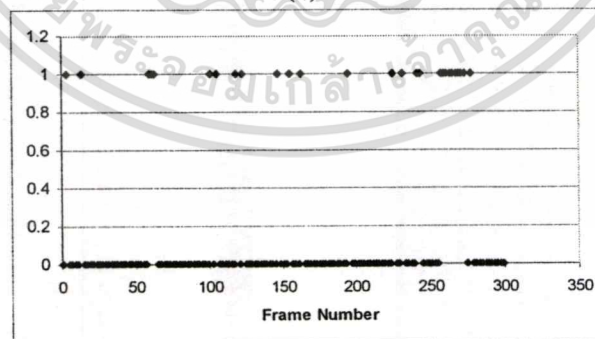
(a)



(b)



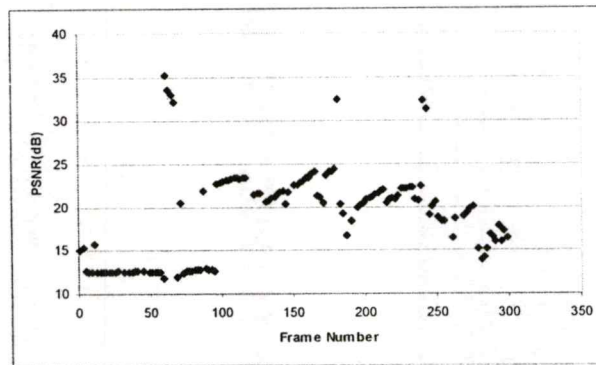
(c)



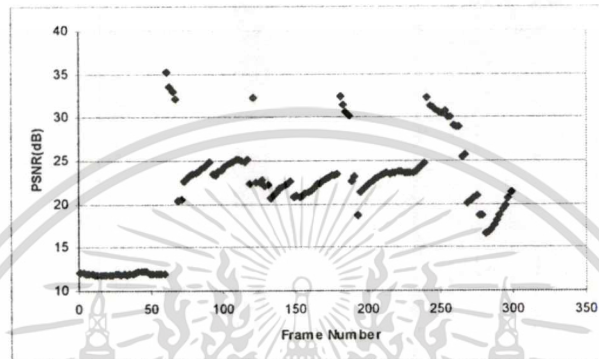
(d)

รูปที่ 4.27 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

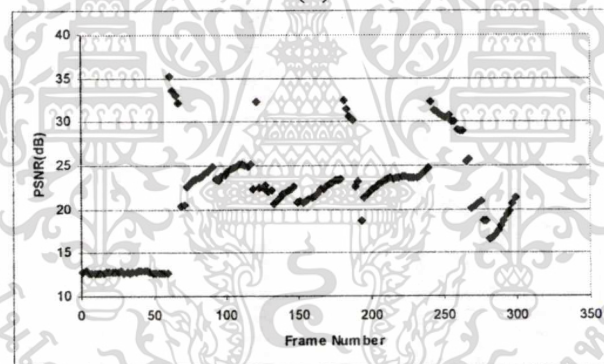
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



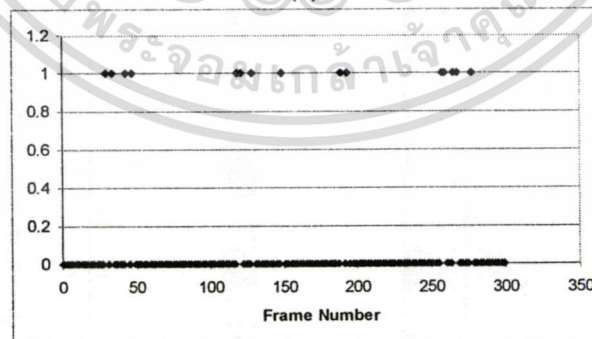
(a)



(b)



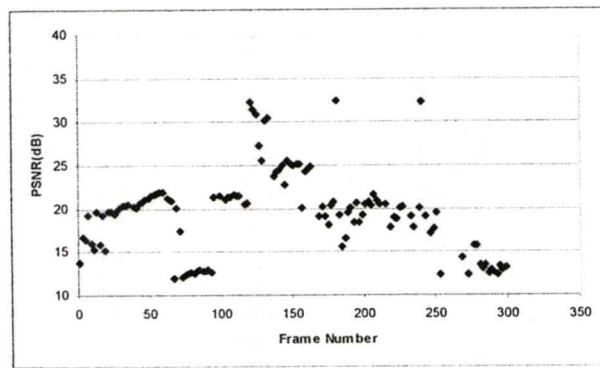
(c)



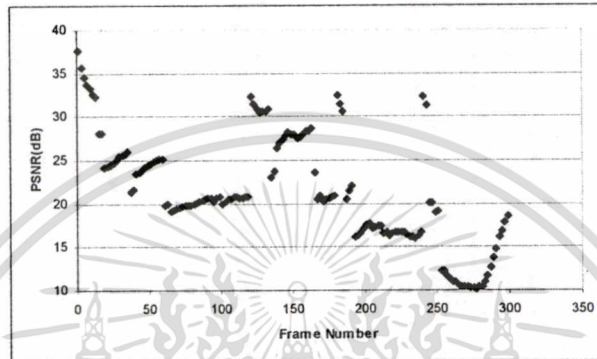
(d)

รูปที่ 4.28 วิดีโอ Foreman บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

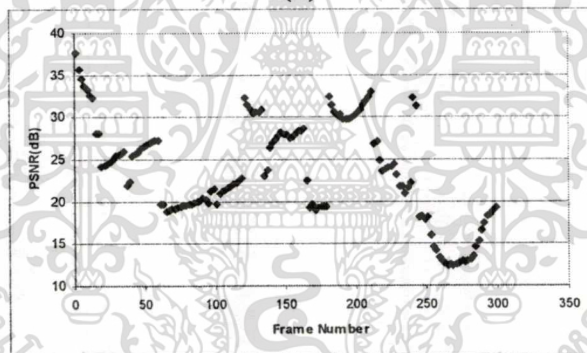
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



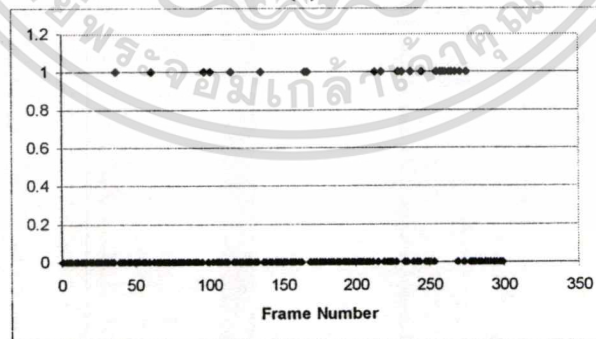
(a)



(b)



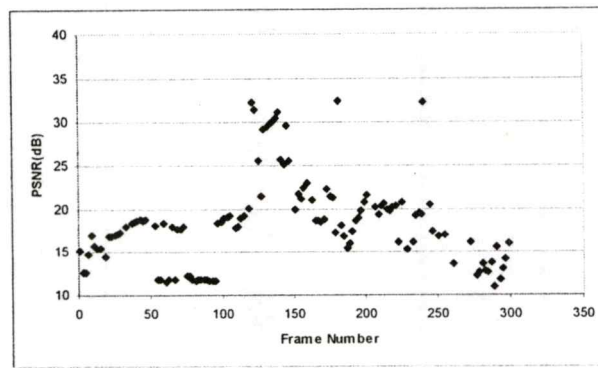
(c)



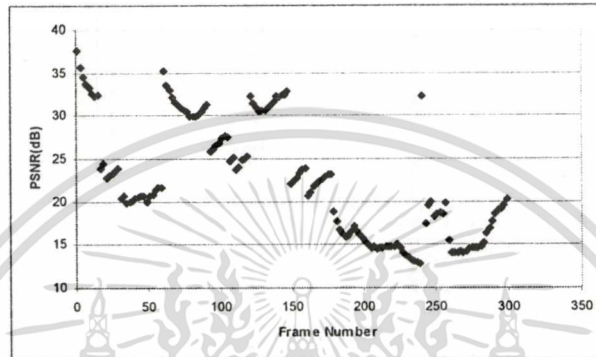
(d)

รูปที่ 4.29 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีเศษซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

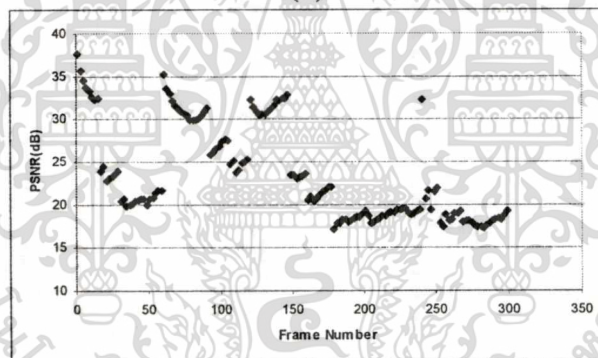
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



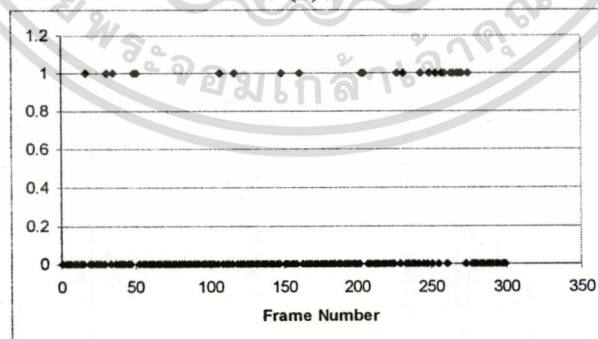
(a)



(b)



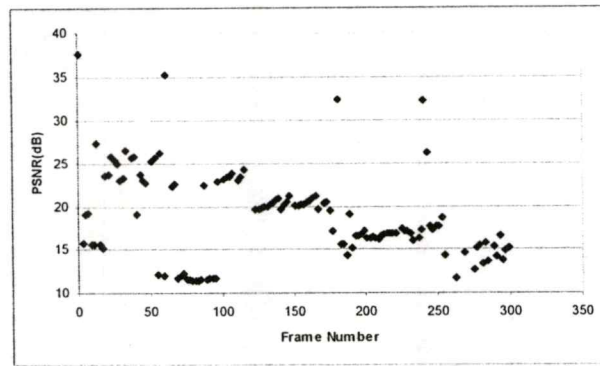
(c)



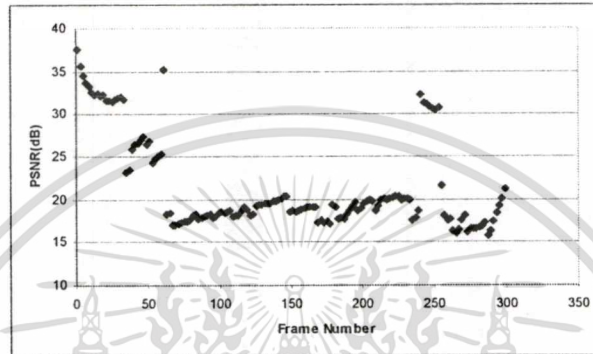
(d)

รูปที่ 4.30 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซิงอัลกอริทึม (b) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

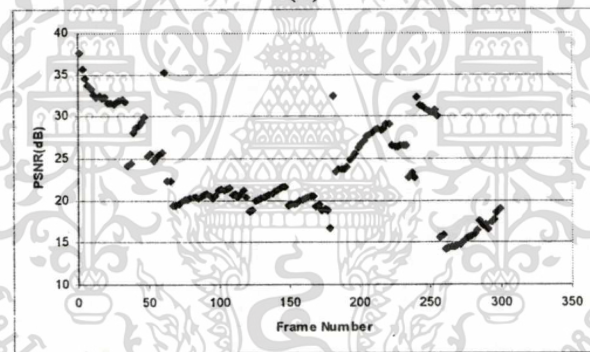
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



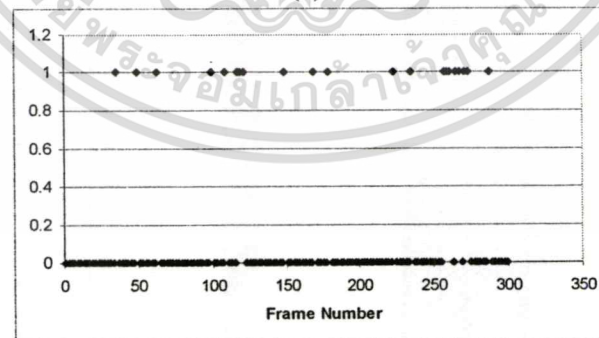
(a)



(b)



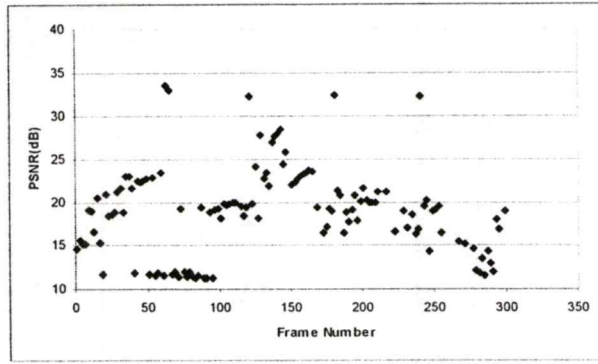
(c)



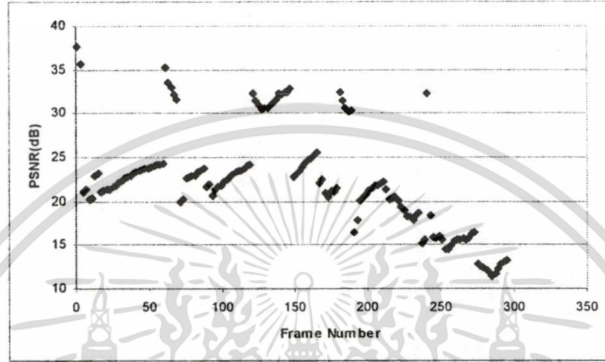
(d)

รูปที่ 4.31 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีเศษซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

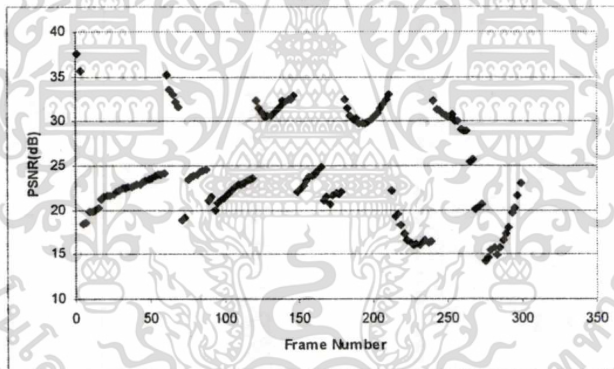
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



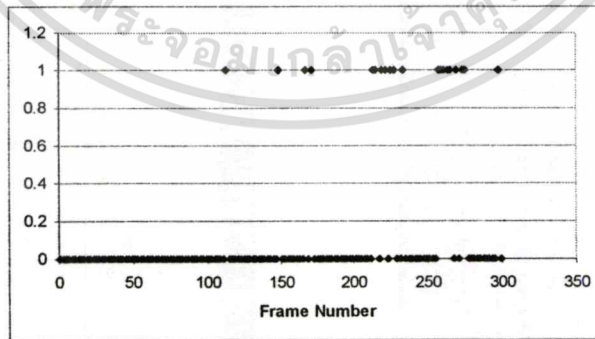
(a)



(b)



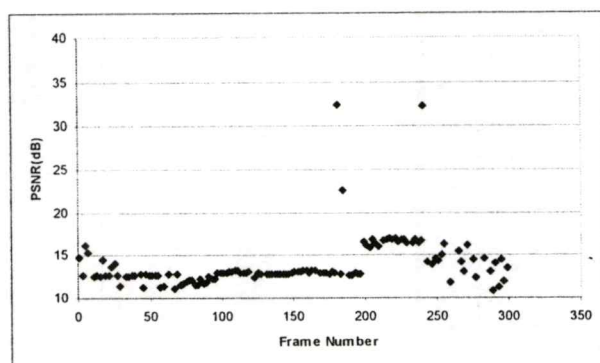
(c)



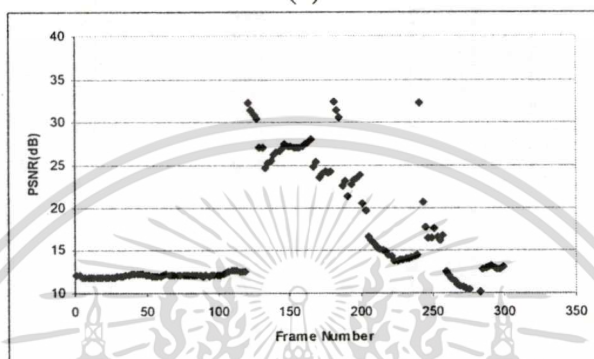
(d)

รูปที่ 4.32 วิดีโอ Foreman บีทเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

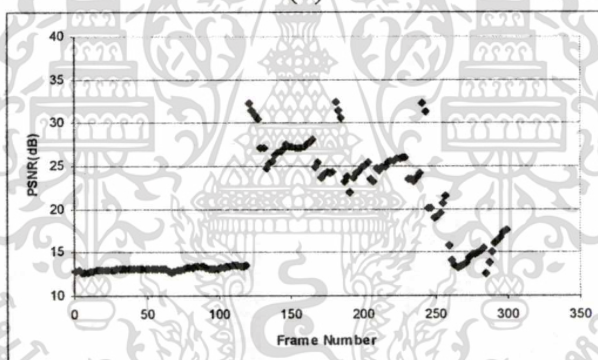
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



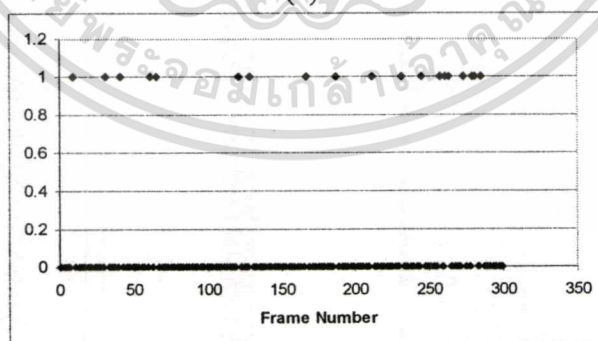
(a)



(b)



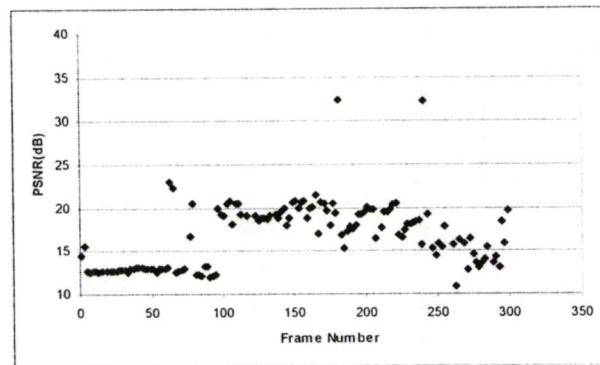
(c)



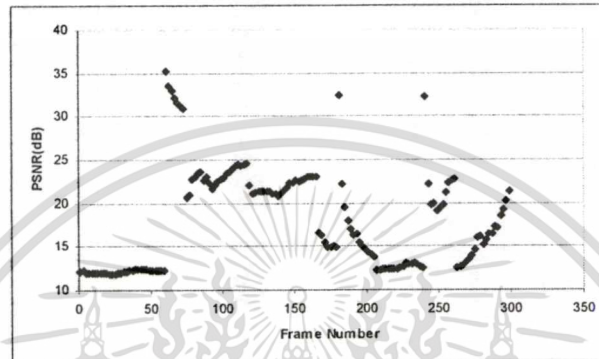
(d)

รูปที่ 4.33 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน การสูญหาย

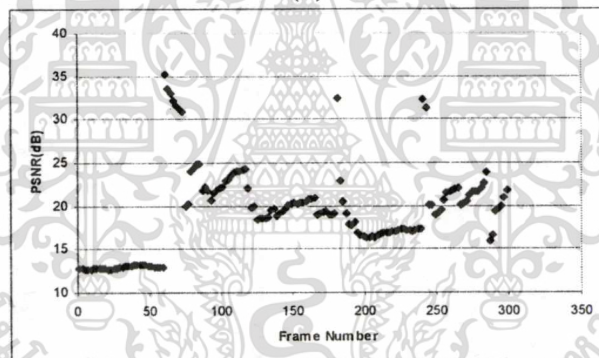
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



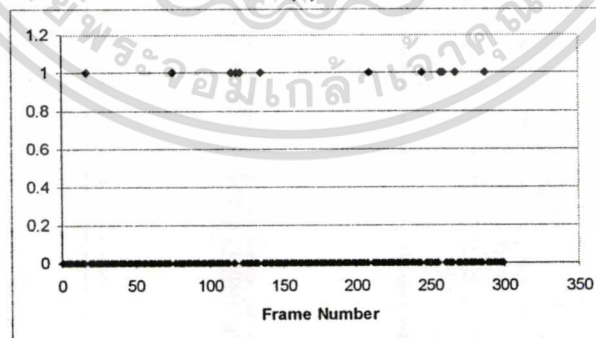
(a)



(b)



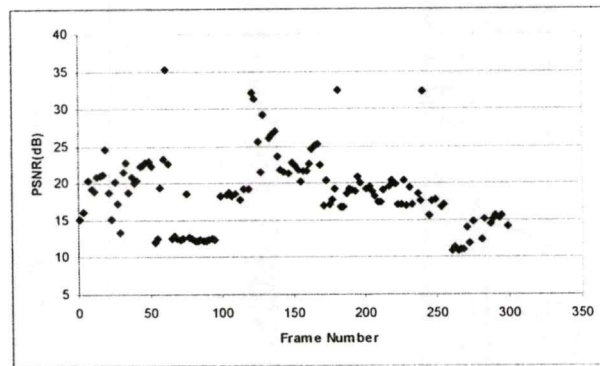
(c)



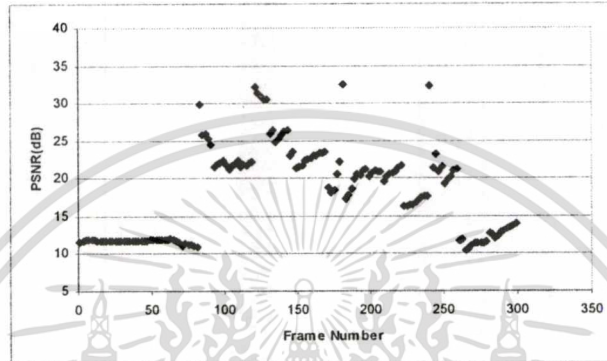
(d)

รูปที่ 4.34 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

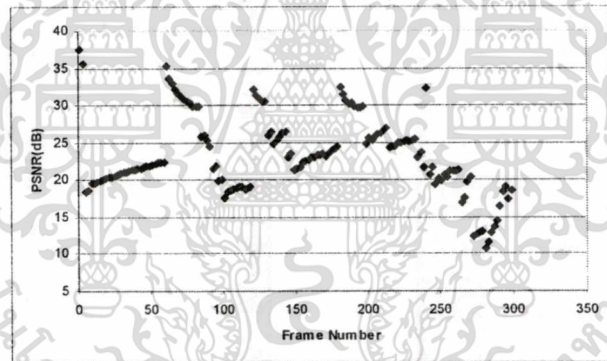
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



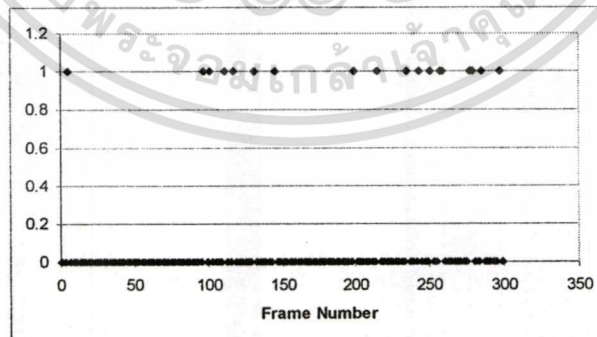
(a)



(b)



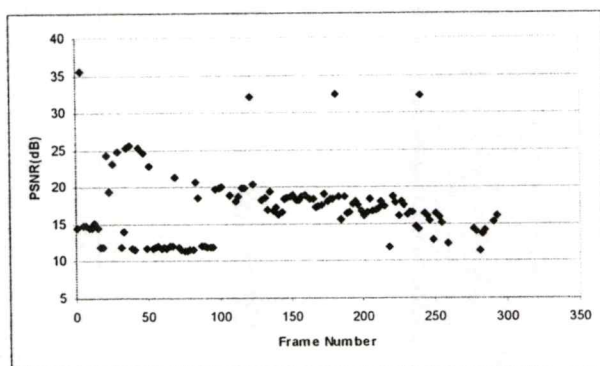
(c)



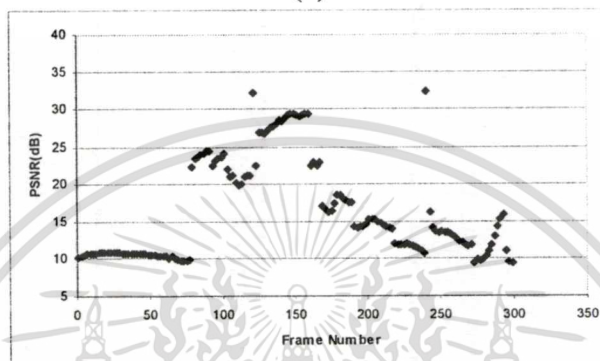
(d)

รูปที่ 4.35 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซิงอัลกอริทึม (b) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน การสูญหาย

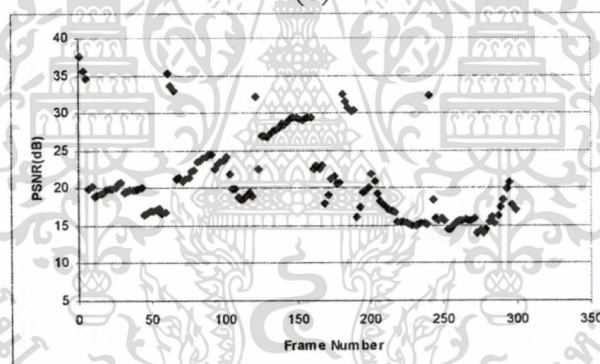
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



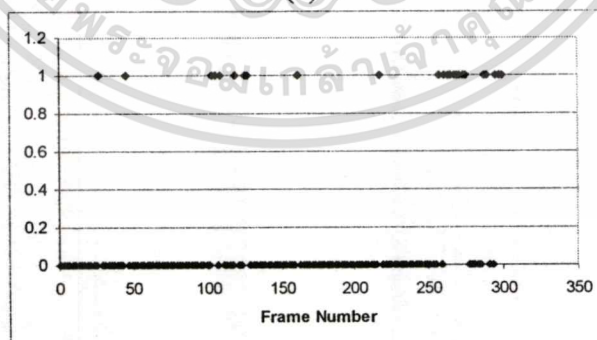
(a)



(b)



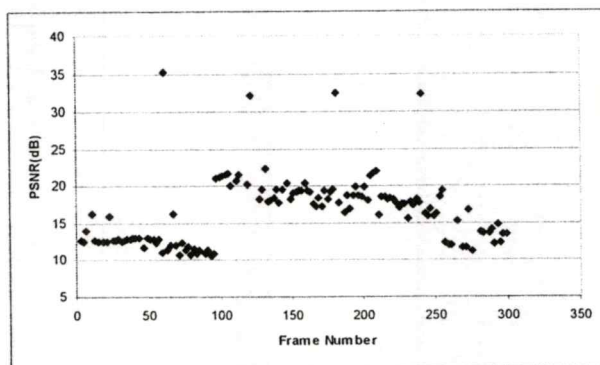
(c)



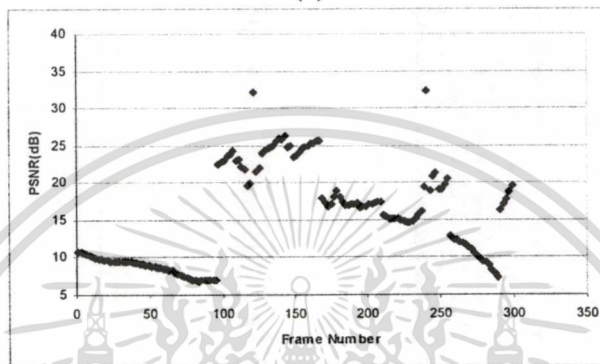
(d)

รูปที่ 4.36 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



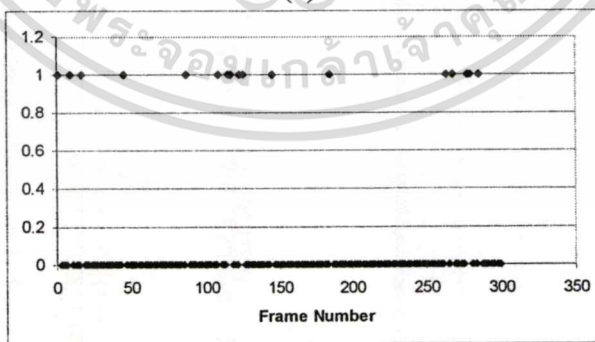
(a)



(b)



(c)

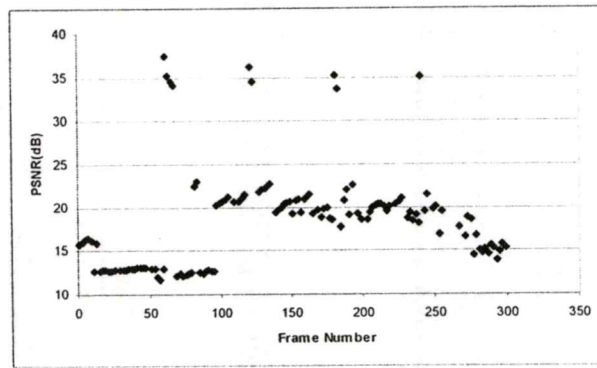


(d)

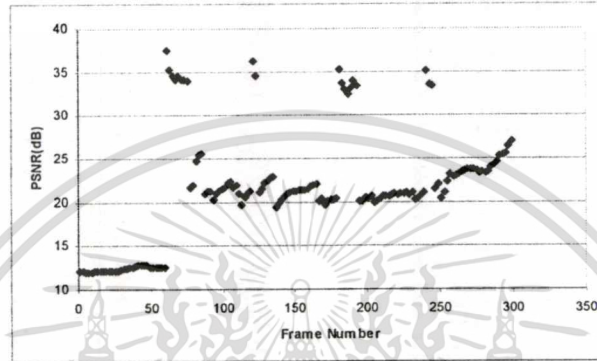
รูปที่ 4.37 วิดีโอ Foreman บิตเรตเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีเศษซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

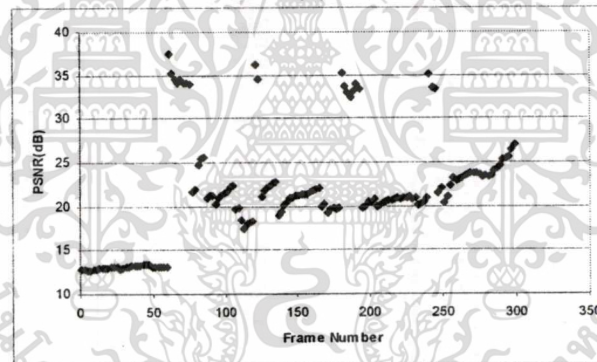
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



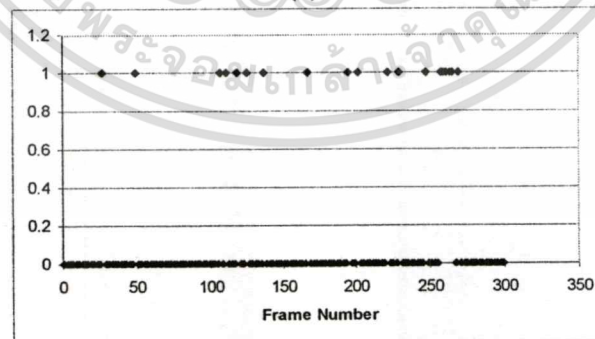
(a)



(b)



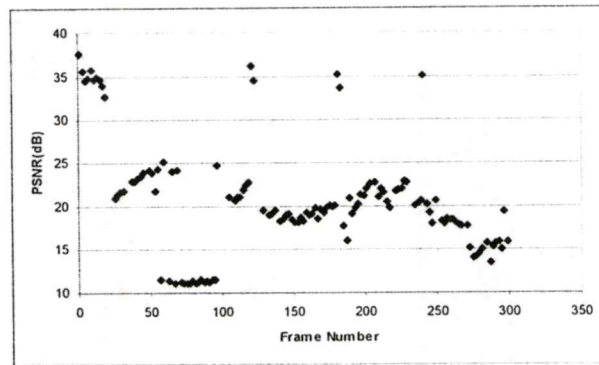
(c)



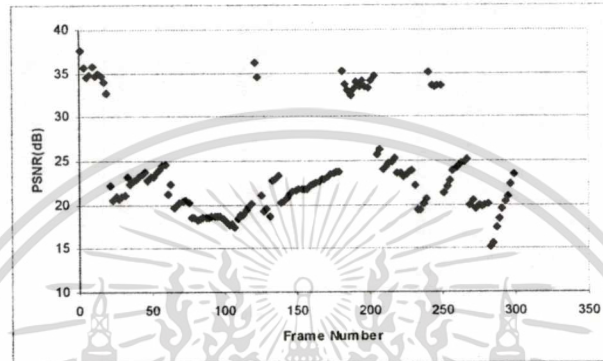
(d)

รูปที่ 4.38 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

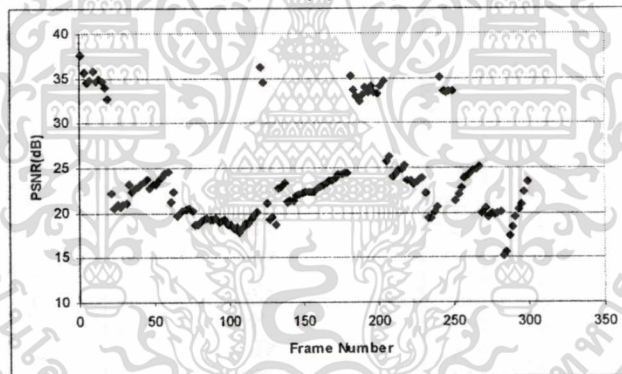
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



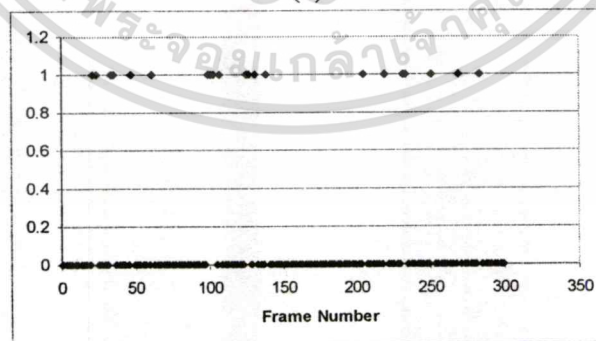
(a)



(b)



(c)

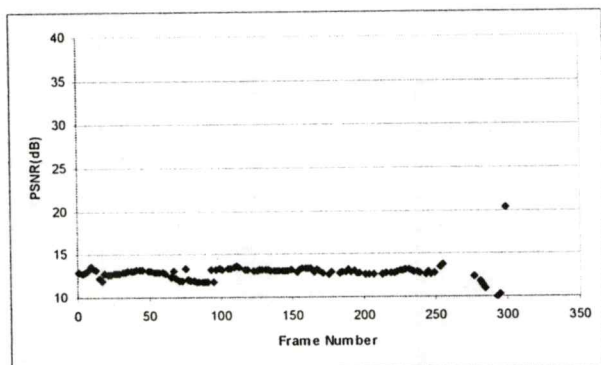


(d)

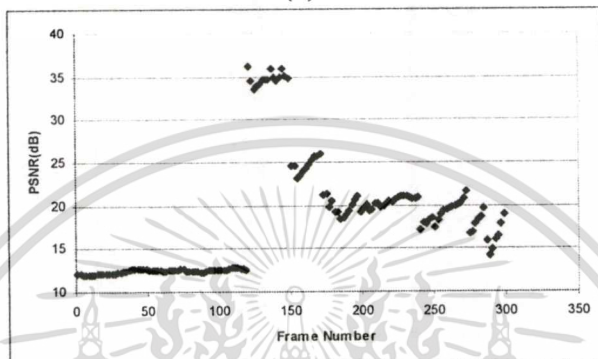
รูปที่ 4.39 วิดีโอ Foreman บัทรบเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

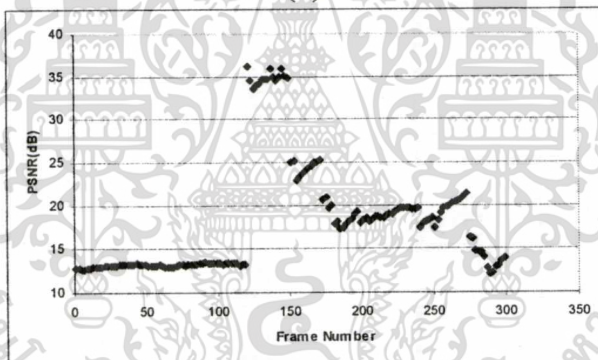
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



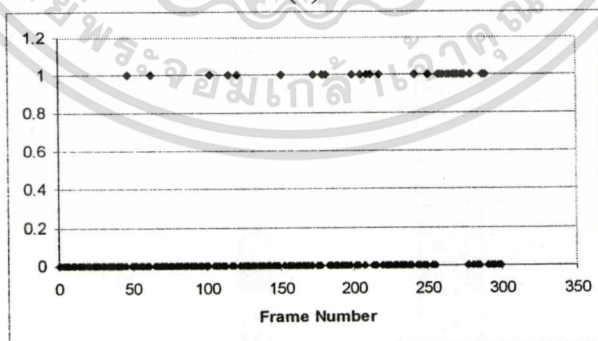
(a)



(b)



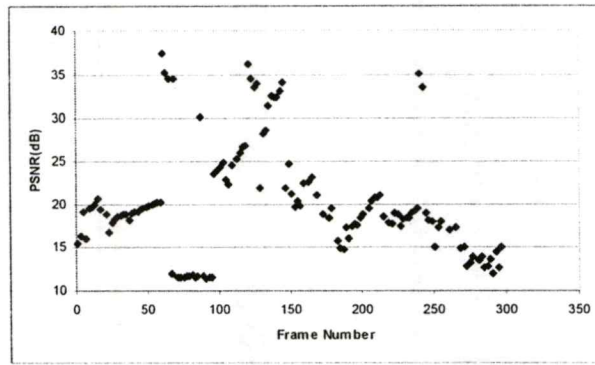
(c)



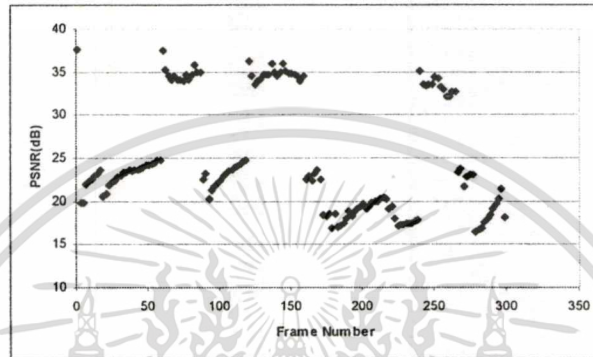
(d)

รูปที่ 4.40 วิดีโอ Foreman บิตเรตเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ศีลย์ซิกม่าเท่ากับ 25 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีเศษซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

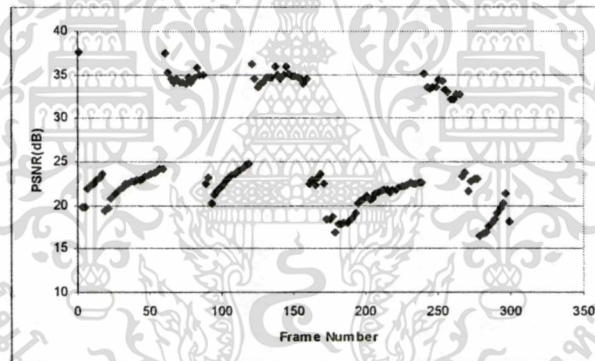
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



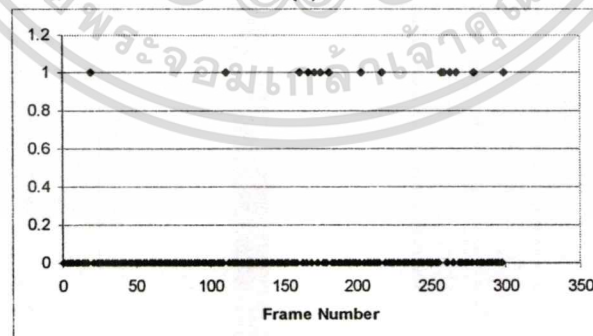
(a)



(b)



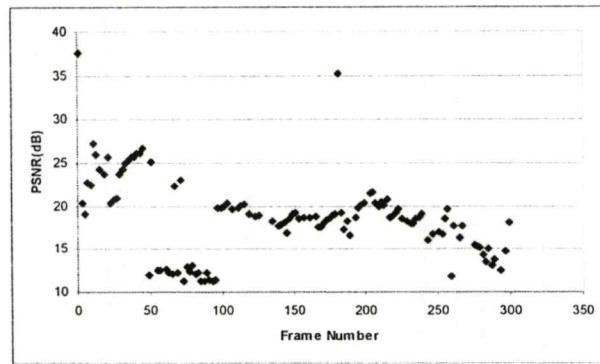
(c)



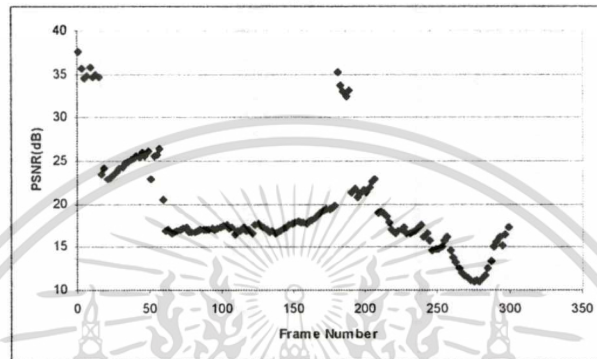
(d)

รูปที่ 4.41 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที
ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม
(c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน
การสูญหาย

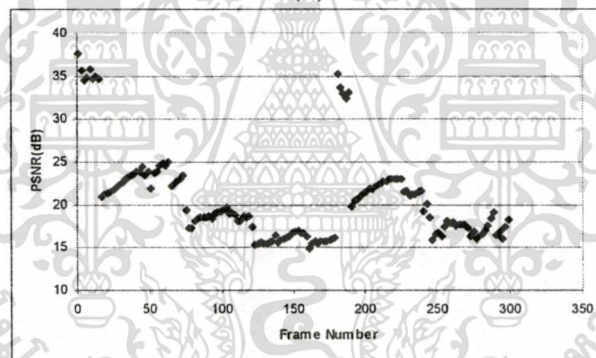
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



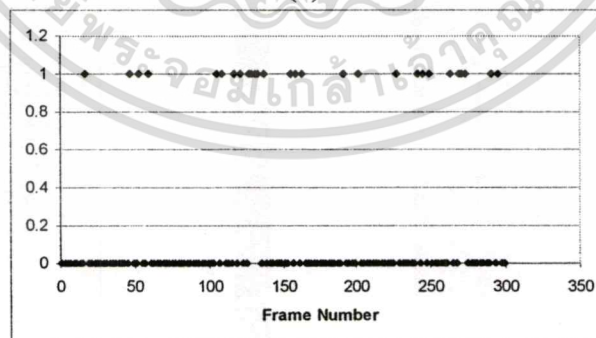
(a)



(b)



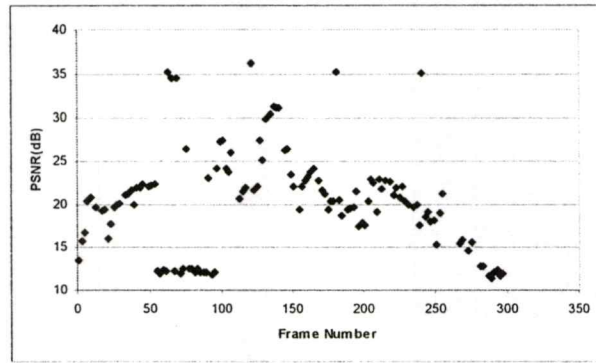
(c)



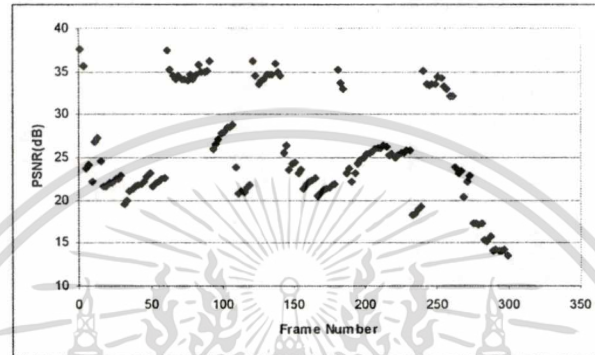
(d)

รูปที่ 4.42 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชซิงอัลกอริทึม (b) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

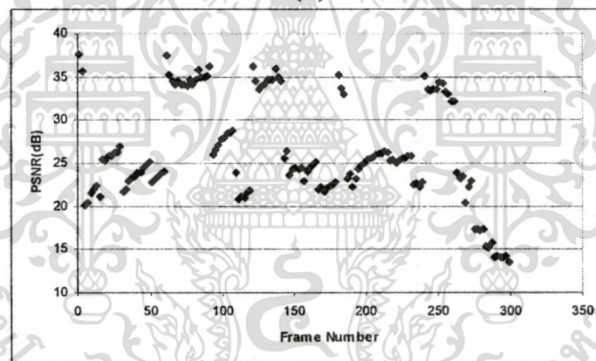
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



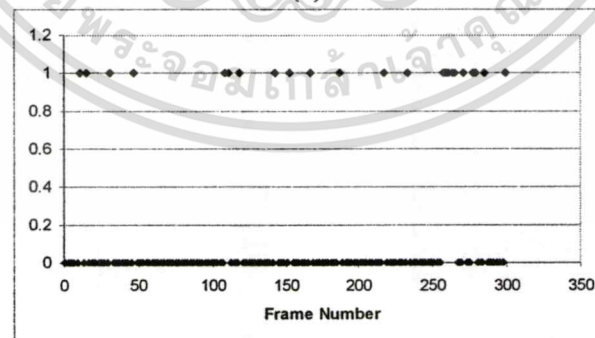
(a)



(b)



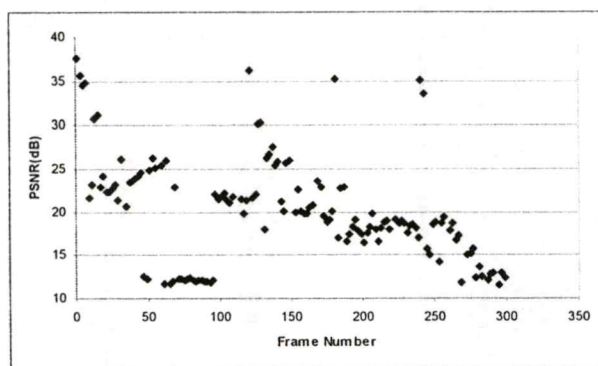
(c)



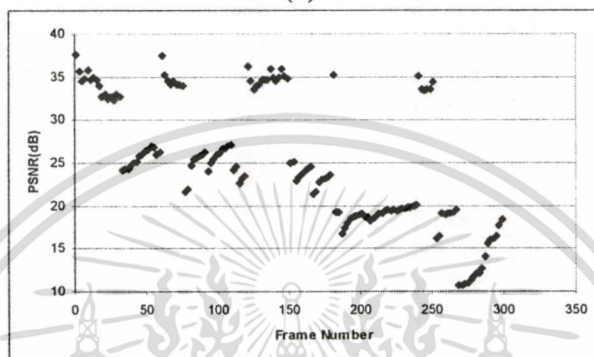
(d)

รูปที่ 4.43 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

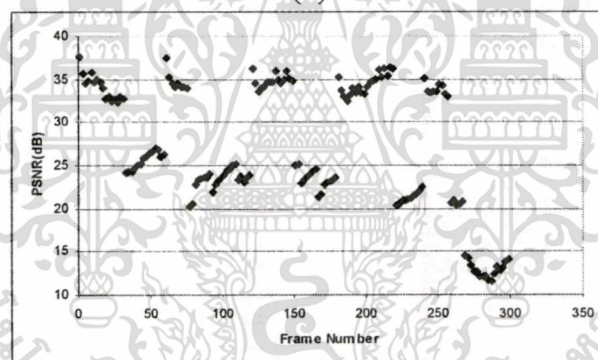
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



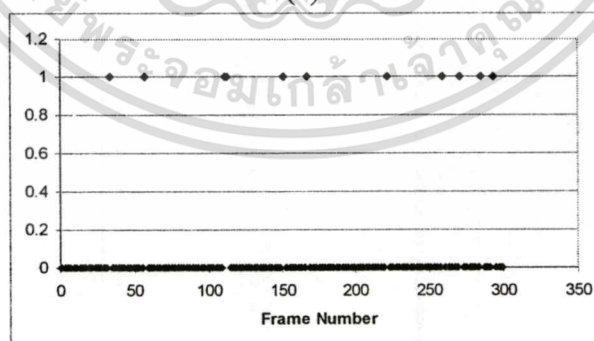
(a)



(b)



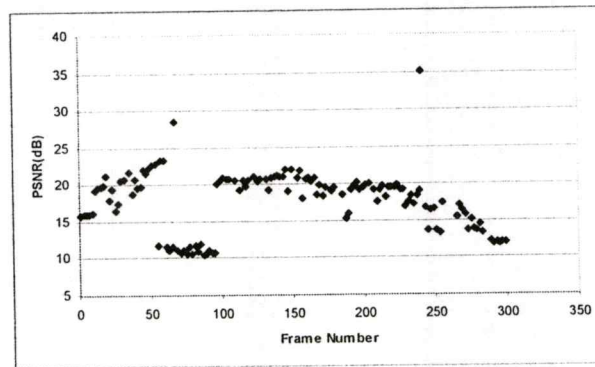
(c)



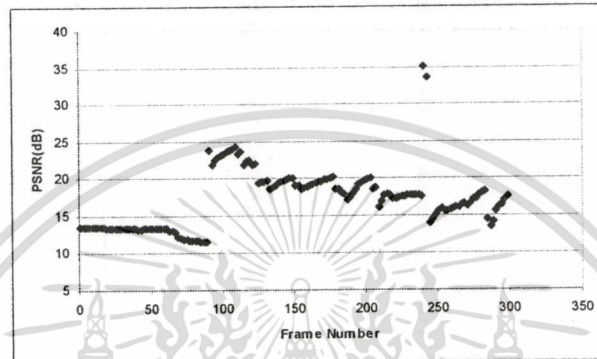
(d)

รูปที่ 4.44 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีเคชชิงอัลกอริทึม (b) มีเคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

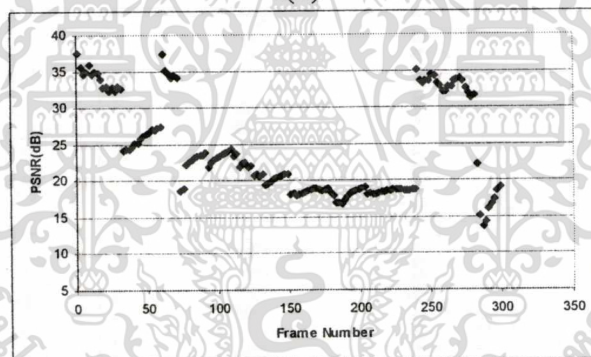
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



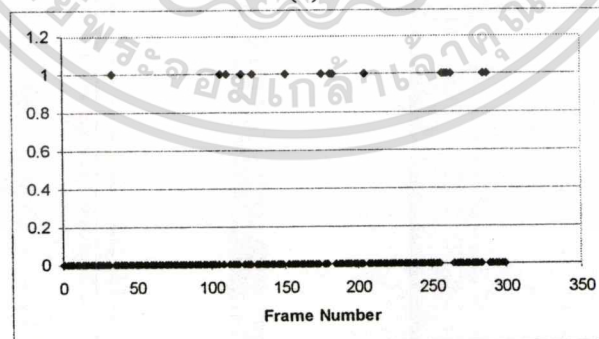
(a)



(b)



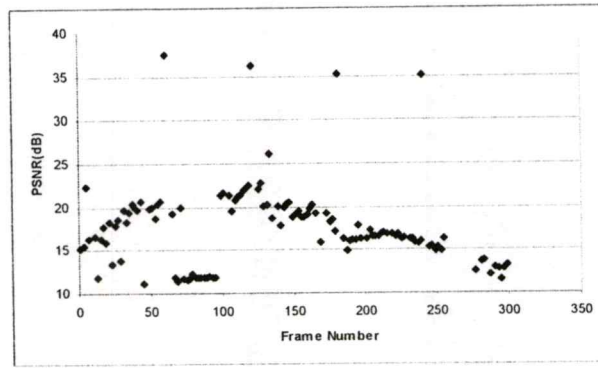
(c)



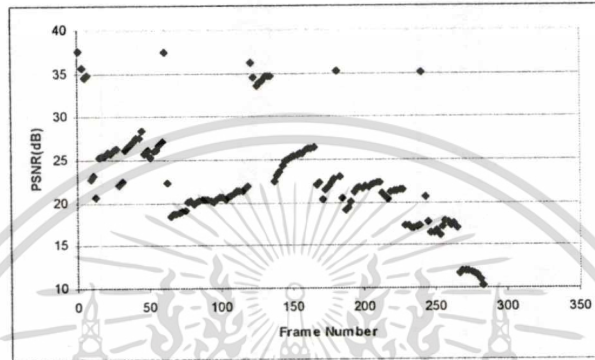
(d)

รูปที่ 4.45 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ศีลย์ซิกม่าเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีเศษซึ่งอัลกอริทึม (b) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีเศษซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

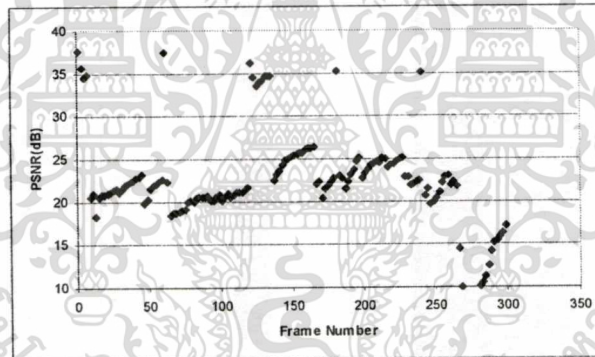
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



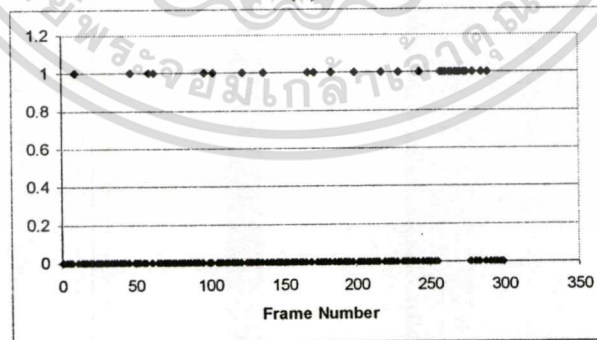
(a)



(b)



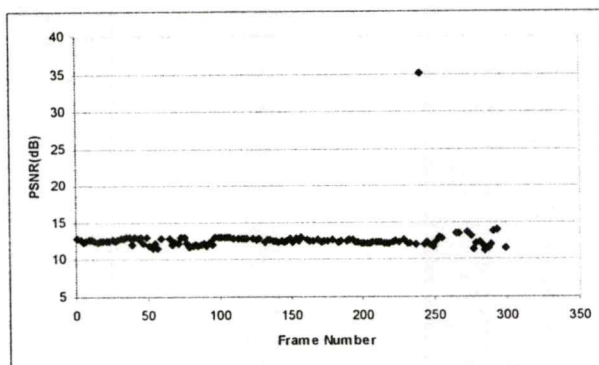
(c)



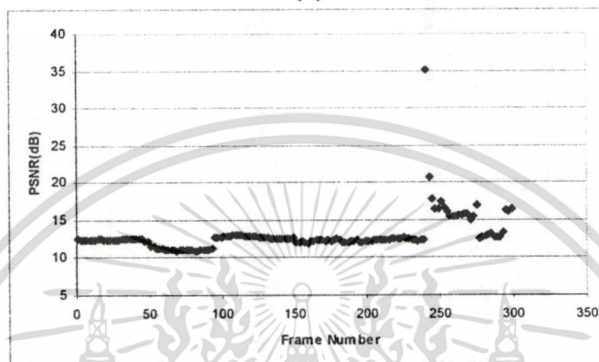
(d)

รูปที่ 4.46 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์จิกมาเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม (b) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซึ่งอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

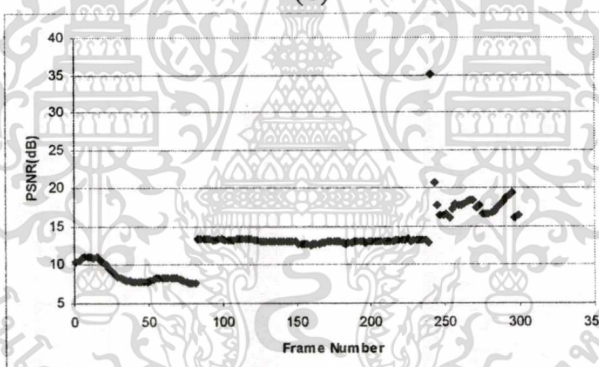
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



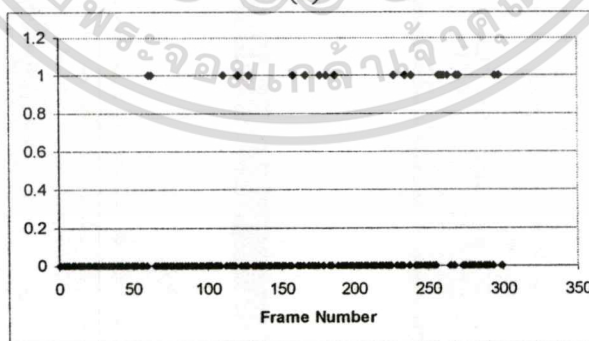
(a)



(b)



(c)

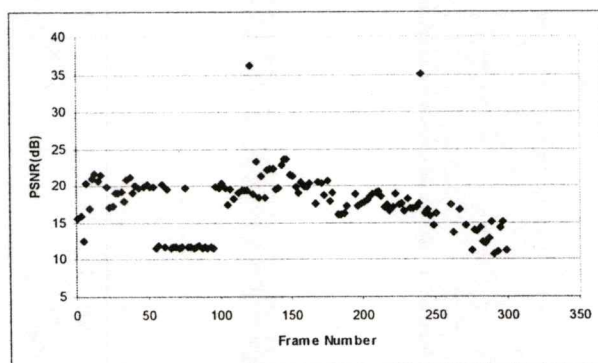


(d)

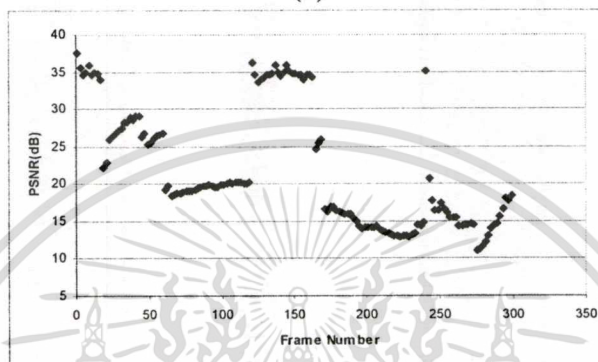
รูปที่ 4.47 วิดีโอ Foreman บีทเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดีเลย์ซิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 1 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

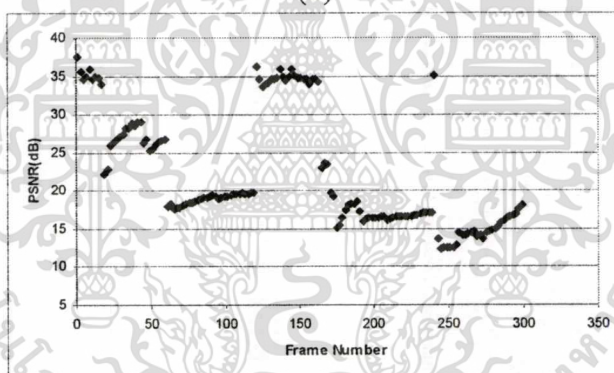
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



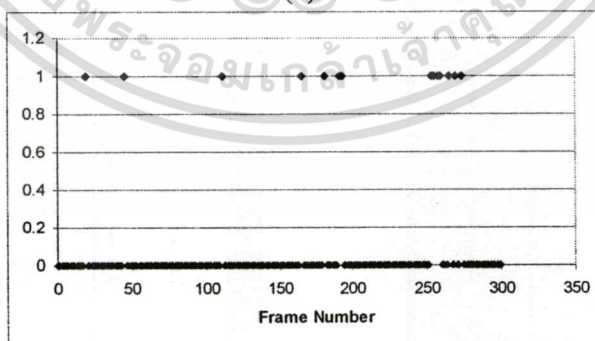
(a)



(b)



(c)

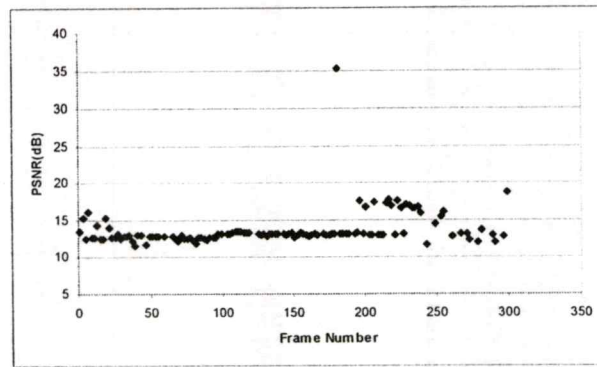


(d)

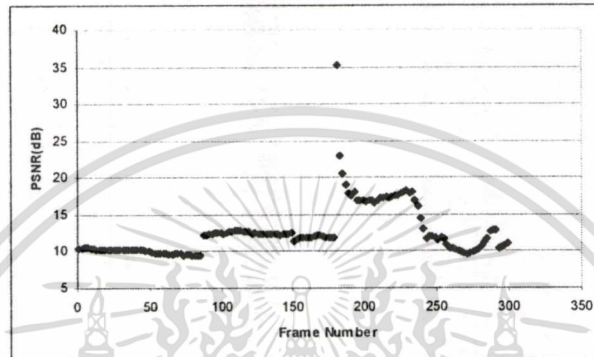
รูปที่ 4.48 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที ดิเลย์ซิกมาเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 2 (a) ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม (b) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชชิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทน

การสูญหาย

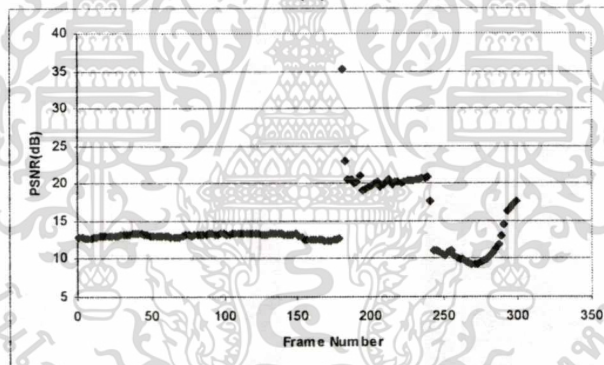
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



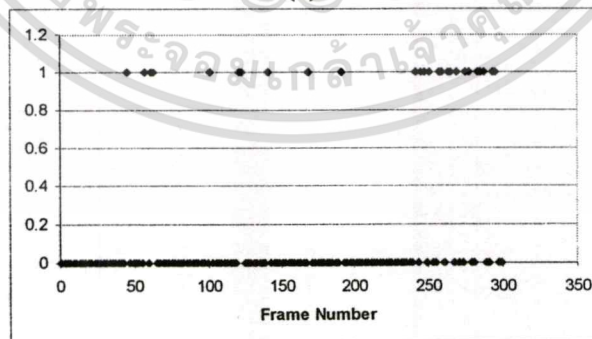
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.49 วิดีโอ Foreman บิตเรทเท่ากับ 128 กิโลบิตต่อวินาที คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 100 มิลลิวินาที ครั้งที่ 3 (a) ไม่มีแคชซิงอัลกอริทึม (b) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 7 เฟรม (c) มีแคชซิงอัลกอริทึม บัฟเฟอร์ขนาด 13 เฟรม (d) แสดงเฟรมที่หายไปโดย 1 แทนการสูญหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2-4.49 แสดงกราฟค่า PSNR ที่เกิดขึ้นตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองและลักษณะของการสูญหายของเฟรมวิดีโอของชุดวิดีโอซีเควนซ์ (Container และ Foreman) ที่ 15 เฟรมต่อวินาที โดยบิตเรทเท่ากับ 64 และ 128 กิโลบิตต่อวินาที คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิวินาทีตามลำดับ เอนโค้ดไอเฟรม 1 เฟรม ทุกๆ 30 เฟรม จะเห็นได้ชัดเจนว่าการสูญหายของเฟรมวิดีโอเป็นการเกิดขึ้นแบบสุ่ม วิดีโอเซิร์ฟเวอร์แบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมจะให้ค่า PSNR ที่มีความแปรปรวนน้อยกว่าแบบที่ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม และยังสามารถทำให้ค่า PSNR เพิ่มขึ้นเมื่อเราเลือกขนาดของบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมกับคีเลย์ซิกม่าที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าตั้งแต่ที่คีเลย์ซิกม่าเท่ากับ 75 มิลลิวินาที ค่า PSNR ของวิดีโอเซิร์ฟเวอร์แบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมที่มีขนาดบัฟเฟอร์เท่ากับ 13 เฟรม มีค่ามากกว่าวิดีโอเซิร์ฟเวอร์แบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมที่มีขนาดบัฟเฟอร์เท่ากับ 7 เฟรม เนื่องจากขนาดของบัฟเฟอร์ที่ไม่เหมาะสมกับคีเลย์ซิกม่าที่เกิดขึ้น

เนื่องจากเราต้องการพิสูจน์เพิ่มว่าการแทนที่ไอเฟรมและพีเฟรมที่สูญหายสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอได้จริง เราจึงได้ทำการทดลองเพิ่มโดยกำหนดให้คีเลย์ซิกม่าเท่ากับศูนย์ แล้ววัดค่า PSNR ที่ได้ และเพื่อพิสูจน์ว่าขนาดบัฟเฟอร์ที่ได้จากการคำนวณคือขนาดบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมเราจึงได้ทดลองเพิ่มเติมโดยเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์แล้ววัดค่า PSNR เกลี่ยที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

Detail	Round 1												
	No cache	Cache3	Diff3	Cache7	Diff7	Cache13	Diff13	Cache20	Diff20	Frame drop (%)			
Container 64 kbps, no sigma, drop 10%	31.34	33.09	1.75	33.51	2.17	33.69	2.35	33.34	2	12			
Container 64 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	30.31	22.49	-7.82	33.31	3	33.49	3.18	33.38	3.07	16.67			
Container 64 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	28.11	21.82	-6.29	33.05	4.94	33.37	5.26	33.33	5.22	16.67			
Container 64 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	24.71	21.69	-3.02	28.14	3.43	31.47	6.76	32.98	8.27	12.67			
Container 64 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	26.2	22.37	-3.83	27.35	1.15	34.76	8.56	35.1	8.9	8			
Container 128 kbps, no sigma, drop 10%	31.99	25.86	-6.13	34.12	2.13	33.95	1.96	34.15	2.16	13.33			
Container 128 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	30.92	25.83	-5.09	35.31	4.39	35.45	4.53	34.97	4.05	13.33			
Container 128 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	26.97	16.34	-10.6	29.69	2.72	31.46	4.49	32.67	5.7	12.67			
Container 128 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	28.54	23.1	-5.44	32.58	4.04	35.13	6.59	36.65	8.11	10.67			
Container 128 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	27.75	24.37	-3.38	31.06	3.31	33.76	6.01	35.44	7.69	12			
Foreman 64 kbps, no sigma, drop 10%	23.45	24.54	1.09	25.74	2.29	25.63	2.18	25.78	2.33	10			
Foreman 64 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	22.08	23.54	1.46	24.93	2.85	24.74	2.66	25.08	3	10			
Foreman 64 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	19.48	16.6	-2.88	21.38	1.9	23.57	4.09	24.49	5.01	15.33			
Foreman 64 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	18.98	15.79	-3.19	22.16	3.18	24.41	5.43	24.95	5.97	13.33			
Foreman 64 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	18.76	16.3	-2.46	19.98	1.22	23.31	4.55	24.42	5.66	12			
Foreman 128 kbps, no sigma, drop 10%	23.53	20.58	-2.95	23.81	0.28	23.35	-0.18	23.8	0.27	12			
Foreman 128 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	18.57	17.87	-0.7	21.58	3.01	21.57	3	21.5	2.93	12.67			
Foreman 128 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	20.16	18.52	-1.64	25.29	5.13	25.64	5.48	25.55	5.39	10			
Foreman 128 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	20.07	16.39	-3.68	25.08	5.01	27.24	7.17	28.07	8	7.33			
Foreman 128 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	12.68	9.67	-3.01	12.94	0.26	12.92	0.24	15.18	2.5	14			

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของ PSNR, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบไม่มีเครื่องหมายกับแบบมีเครื่องหมายที่แตกต่างกัน, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์เฟรมที่หายไป ในการทดลองครั้งที่

Detail	Round 2										
	No cache	Cache3	Diff3	Cache7	Diff7	Cache13	Diff13	Cache20	Diff20	Frame drop (%)	
Container 64 kbps, no sigma, drop 10%	27.74	27.06	-0.68	30.49	2.75	30.49	2.75	30.52	2.78	22.67	
Container 64 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	28.88	26.65	-2.23	33.55	4.67	33.46	4.58	33.48	4.6	11.33	
Container 64 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	29.26	23.93	-5.33	30.22	0.96	34.02	4.76	33.7	4.44	13.33	
Container 64 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	28.03	20.61	-7.42	30.64	2.61	34.14	6.11	34.51	6.48	12	
Container 64 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	26.87	22.7	-4.17	29.59	2.72	34.14	7.27	34.36	7.49	14	
Container 128 kbps, no sigma, drop 10%	32.44	25.73	-6.71	34.6	2.16	34.23	1.79	34.42	1.98	13.33	
Container 128 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	29.47	29.57	0.1	35.5	6.03	35.8	6.33	35.24	5.77	16	
Container 128 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	28.34	16.18	-12.2	33.05	4.71	34.33	5.99	34.49	6.15	20.67	
Container 128 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	27.58	19.57	-8.01	25.05	-2.5	35.65	8.07	34.73	7.15	12	
Container 128 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	26.58	22.54	-4.04	28.07	1.49	32.5	5.92	34.07	7.49	14	
Foreman 64 kbps, no sigma, drop 10%	21.83	18.95	-2.88	21.84	0.01	21.67	-0.16	21.15	-0.68	14.67	
Foreman 64 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	18.88	16.39	-2.49	21.49	2.61	21.4	2.52	21.74	2.86	18	
Foreman 64 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	18.38	15.82	-2.56	22.5	4.12	23.55	5.17	24.36	5.98	16	
Foreman 64 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	13.86	14.31	0.45	16.71	2.85	19.07	5.21	18.85	4.99	16.67	
Foreman 64 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	16.98	15.89	-1.09	16.36	-0.6	21.09	4.11	21.63	4.65	16	
Foreman 128 kbps, no sigma, drop 10%	22.04	20.3	-1.74	22.84	0.8	21.71	-0.33	21.99	-0.05	14	
Foreman 128 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	20.55	15.74	-4.81	23.87	3.32	24.02	3.47	24.13	3.58	14	
Foreman 128 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	18.62	13.85	-4.77	19.52	0.9	20.64	2.02	20.14	1.52	18.67	
Foreman 128 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	17.77	12.18	-5.59	17.18	-0.6	24.31	6.54	24.39	6.62	10.67	
Foreman 128 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	17.58	14.47	-3.11	21.94	4.36	22.21	4.63	24.94	7.36	9.33	

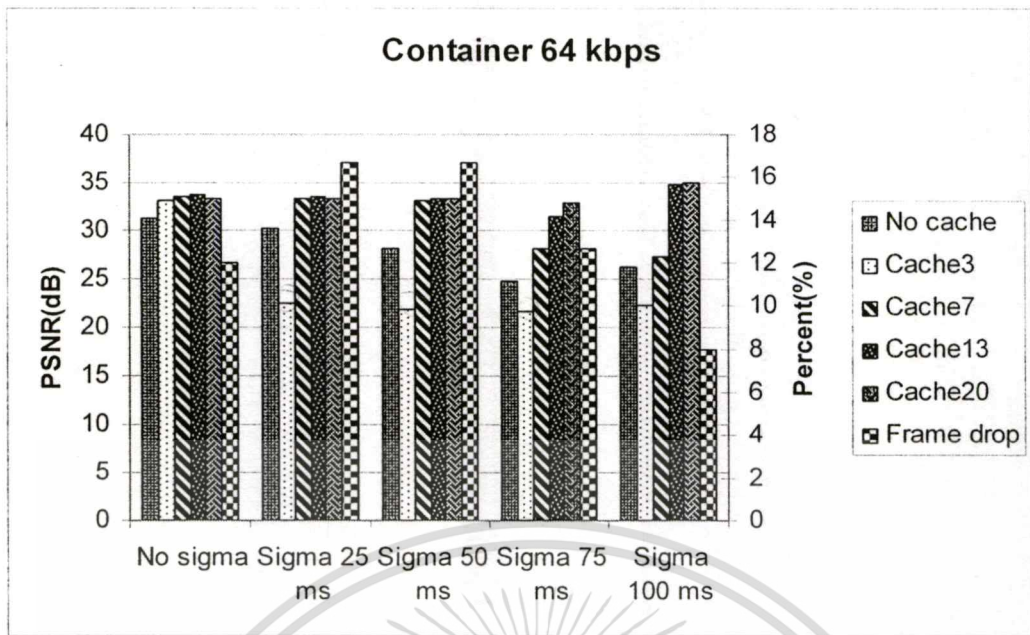
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของ PSNR, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมที่บีบอัดวิดีโอที่บีบอัดต่างกัน, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์เฟรมที่หายไป ในการทดลองครั้งที่ 2

Detail	Round 3										
	No cache	Cache3	Diff3	Cache7	Diff7	Cache13	Diff13	Cache20	Diff20	Frame drop (%)	
Container 64 kbps, no sigma, drop 10%	32.6	28.66	-3.9	34.57	1.97	34.58	1.98	34.65	2.05	8.67	
Container 64 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	28.86	26.98	-1.9	32.44	3.58	34.07	5.21	33.75	4.89	15.33	
Container 64 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	26.61	21.32	-5.3	29.52	2.91	29.58	2.97	31.03	4.42	12	
Container 64 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	26.18	23.09	-3.1	29.04	2.86	34.14	7.96	34.11	7.93	15.33	
Container 64 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	24.14	22.56	-1.6	27.36	3.22	31.53	7.39	31.94	7.8	12.67	
Container 128 kbps, no sigma, drop 10%	29.46	29.67	0.21	34.15	4.69	34.6	5.14	34.49	5.03	21.33	
Container 128 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	31.57	26.67	-4.9	35.61	4.04	35.42	3.85	35.58	4.01	12.67	
Container 128 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	20.66	19.94	-0.7	27.98	7.32	28.2	7.54	28.21	7.55	16	
Container 128 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	28.33	24.11	-4.2	26.96	-1.4	33.38	5.05	34.49	6.16	16.67	
Container 128 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	25.4	19.34	-6.1	25.27	-0.1	33.72	8.32	34.07	8.67	19.33	
Foreman 64 kbps, no sigma, drop 10%	20.51	21.43	0.92	21.19	0.68	21.61	1.1	21.42	0.91	16	
Foreman 64 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	19.16	18.1	-1.1	21.52	2.36	21.68	2.52	21.57	2.41	10	
Foreman 64 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	18.83	13.7	-5.1	21.46	2.63	23.52	4.69	24.04	5.21	14	
Foreman 64 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	16.72	13.09	-3.6	18.13	1.41	19.36	2.64	20	3.28	8	
Foreman 64 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	16.5	13.84	-2.7	15.45	-1.1	19.81	3.31	21.91	5.41	11.33	
Foreman 128 kbps, no sigma, drop 10%	26.65	22.94	-3.7	26.27	-0.4	26.57	-0.08	26.97	0.32	7.33	
Foreman 128 kbps, sigma 25 ms, drop 10%	12.84	15.93	3.09	18.49	5.65	18.22	5.38	18.2	5.36	19.33	
Foreman 128 kbps, sigma 50 ms, drop 10%	20.37	18.26	-2.1	25.89	5.52	26.33	5.96	26.22	5.85	15.33	
Foreman 128 kbps, sigma 75 ms, drop 10%	17.63	14.15	-3.5	21.91	4.28	22.38	4.75	22.95	5.32	18.67	
Foreman 128 kbps, sigma 100 ms, drop 10%	13.73	11.25	-2.5	12.56	-1.2	14.31	0.58	15.19	1.46	17.33	

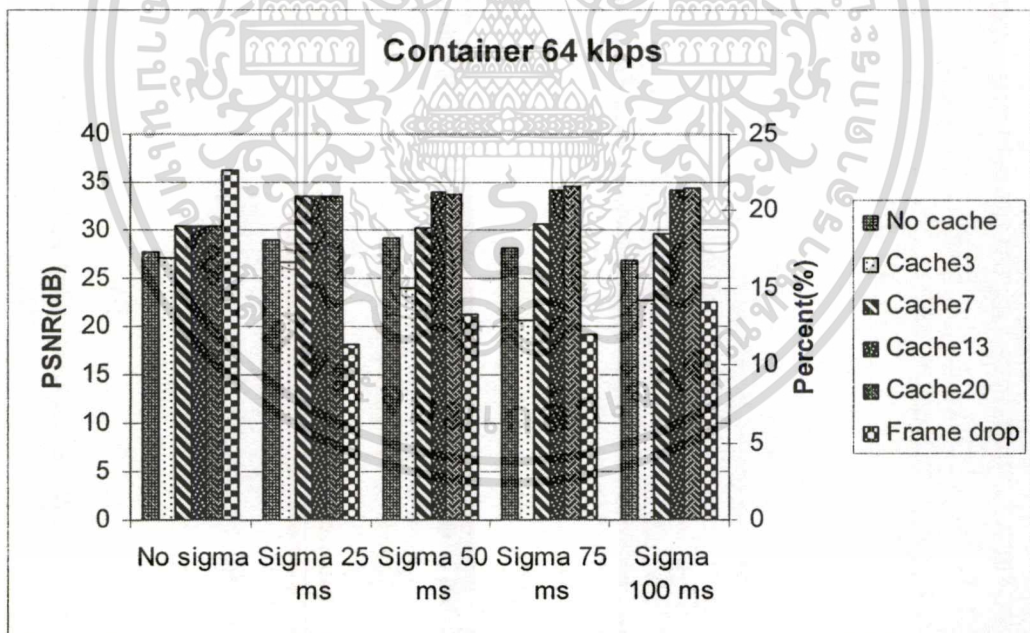
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของ PSNR, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ยระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบีบอัดวิดีโอที่ต่างกัน, ผลต่างของค่า PSNR เฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์เฟรมที่หายไป ในการทดลองครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 เป็นตารางแสดงค่า PSNR เฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายไป โดยคอลัมน์ No Cache เป็นการแสดงค่า PSNR เฉลี่ยของภาพวิดีโอที่ได้จากแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม ส่วนคอลัมน์ Cache3 เป็นการแสดงค่า PSNR เฉลี่ยของภาพวิดีโอที่ได้จากแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมโดยใช้ขนาดบัพเฟอร์เท่ากับ 3 เฟรม คอลัมน์ Diff3 เป็นการแสดงผลต่าง PSNR เฉลี่ยของแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึม โดยใช้ขนาดบัพเฟอร์เท่ากับ 3 เฟรม เช่นเดียวกับคอลัมน์ Cache7, Cache13 และ Cache20 โดยตัวเลขแสดงถึงขนาดบัพเฟอร์ที่ใช้ และคอลัมน์ Diff7, Diff13 และ Diff20 เป็นผลต่างระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมโดยใช้บัพเฟอร์ขนาด

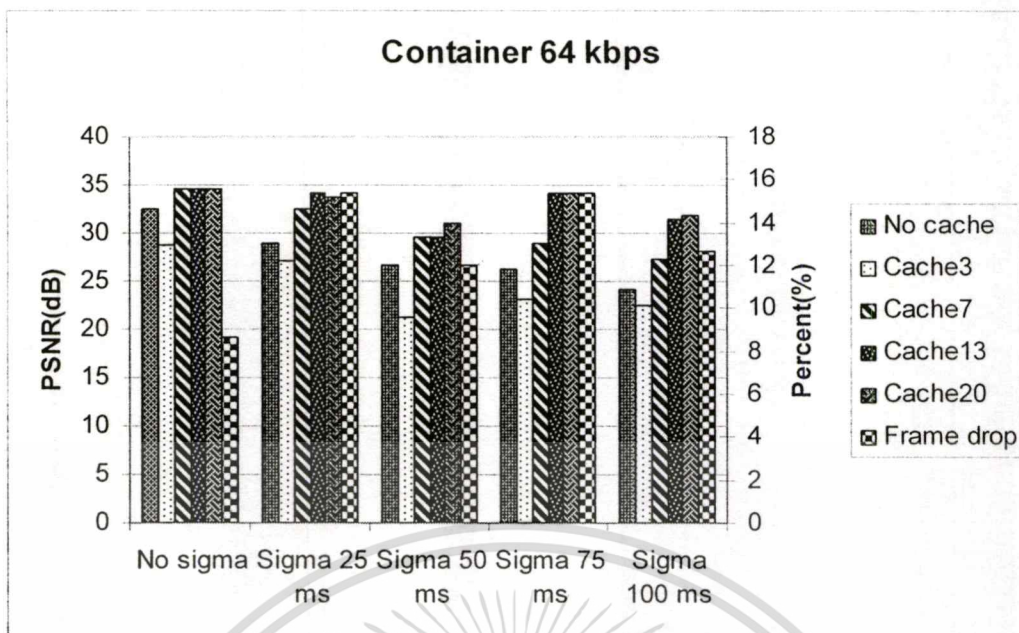
จากตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าที่ตัวเลขชิกม่า 25 มิลลิวินาทีและ 50 มิลลิวินาที ค่า PSNR เฉลี่ยของวิดีโอเซิร์ฟเวอร์แบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมสูงกว่าแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึม และแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้บัพเฟอร์ทั้งสองแบบให้ค่า PSNR ที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทำการเพิ่มตัวเลขชิกม่าเป็น 75 มิลลิวินาทีและ 100 มิลลิวินาที แบบที่มีบัพเฟอร์ขนาด 7 เฟรม ให้ค่า PSNR ต่ำกว่าแบบที่มีบัพเฟอร์ขนาด 13 เฟรม อย่างเห็นได้ชัด เราได้นำผลที่ได้มาแสดงเป็นกราฟ ดังรูปที่ เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น



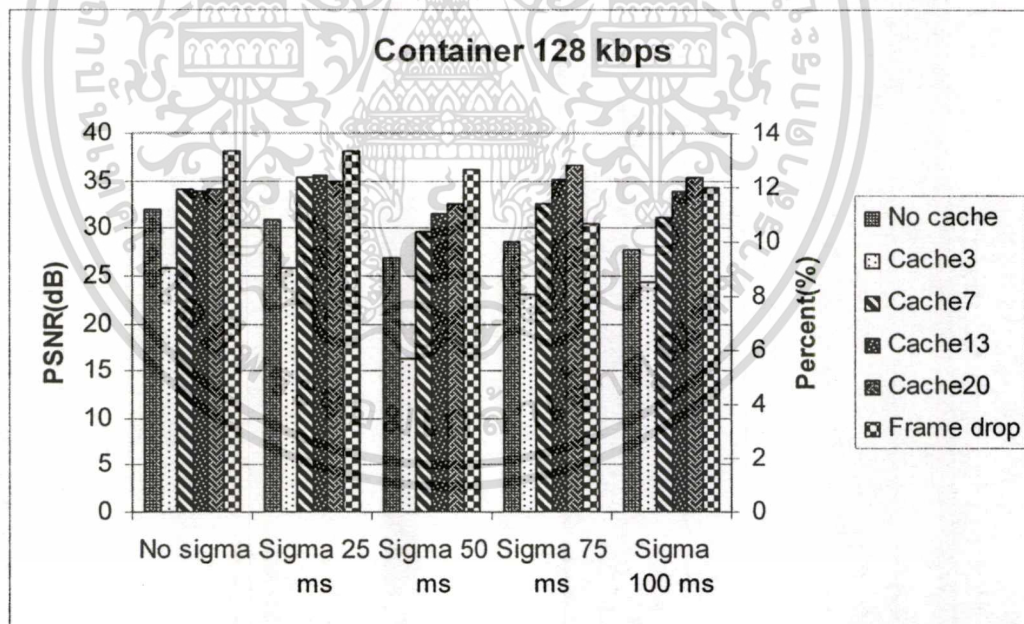
รูปที่ 4.50 แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1



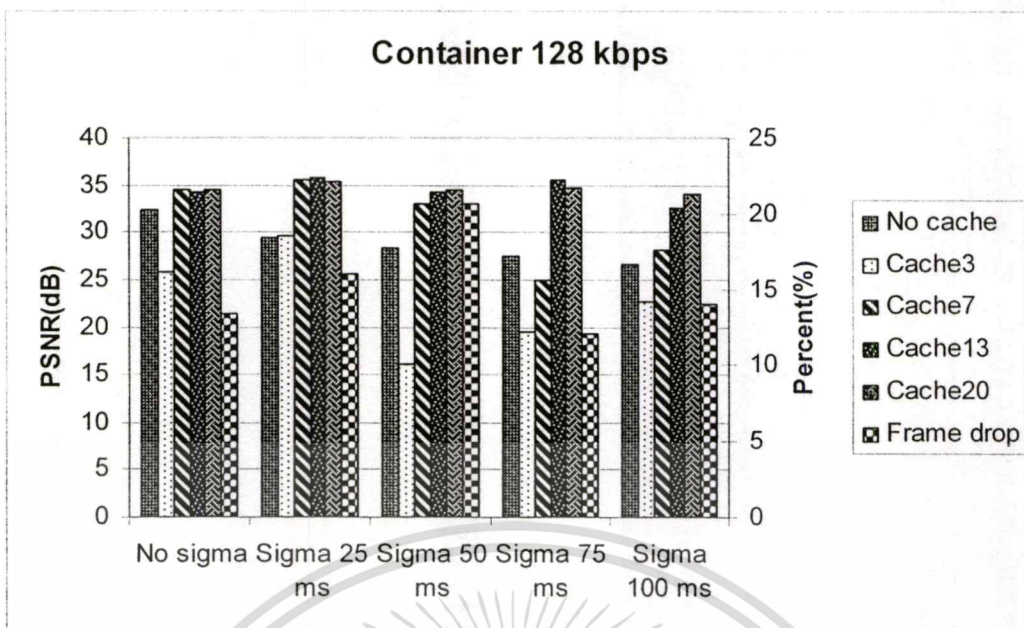
รูปที่ 4.51 แสดงค่า PSNR เกลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2



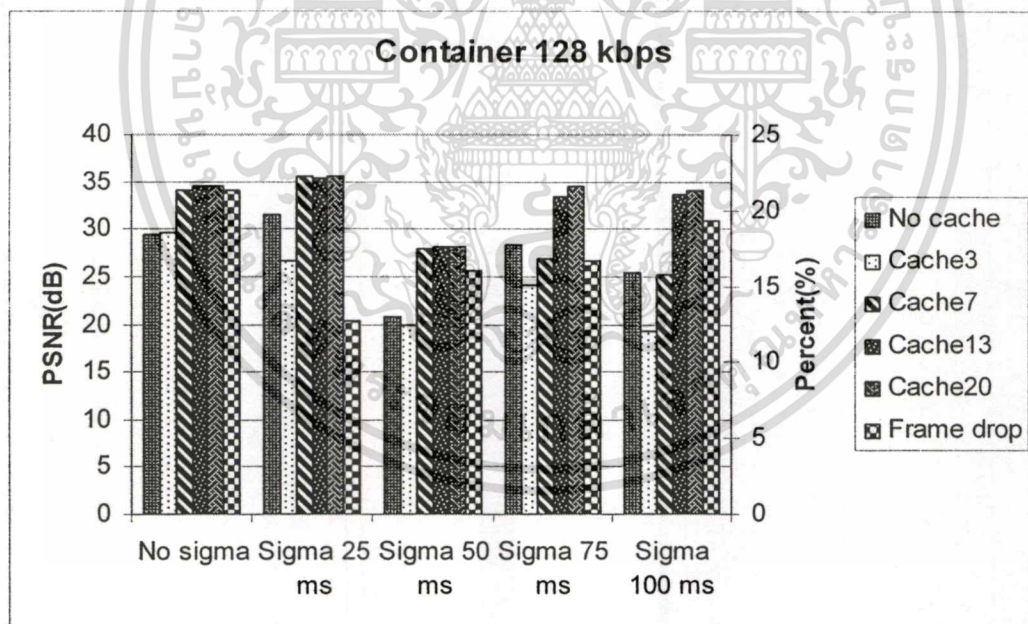
รูปที่ 4.52 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิตเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.53 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิตเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1

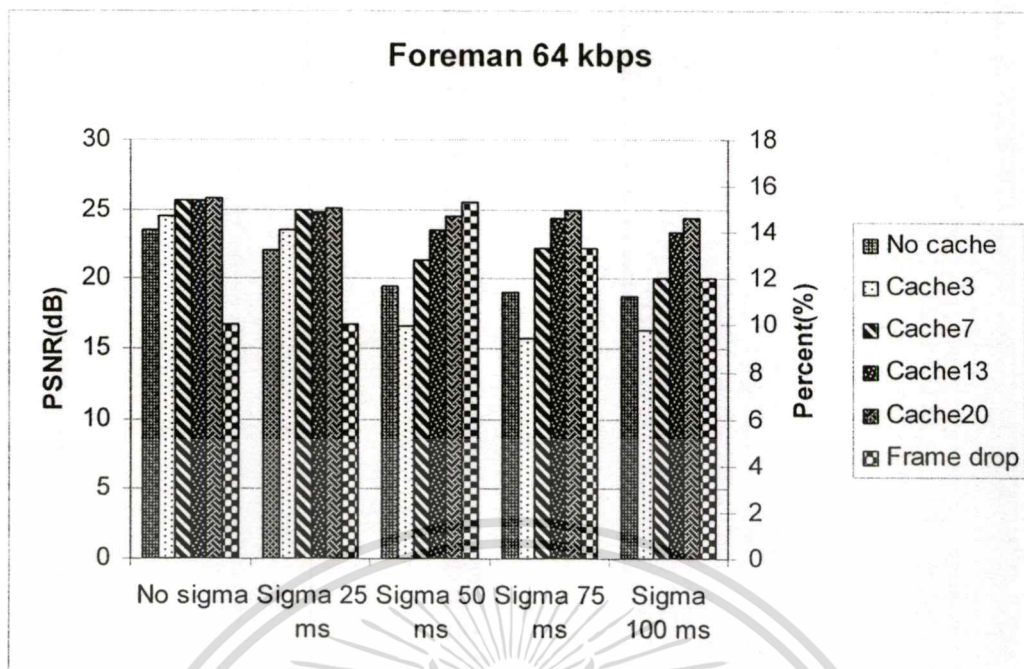


รูปที่ 4.54 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบีทไฟฟอร์จขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บีทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2

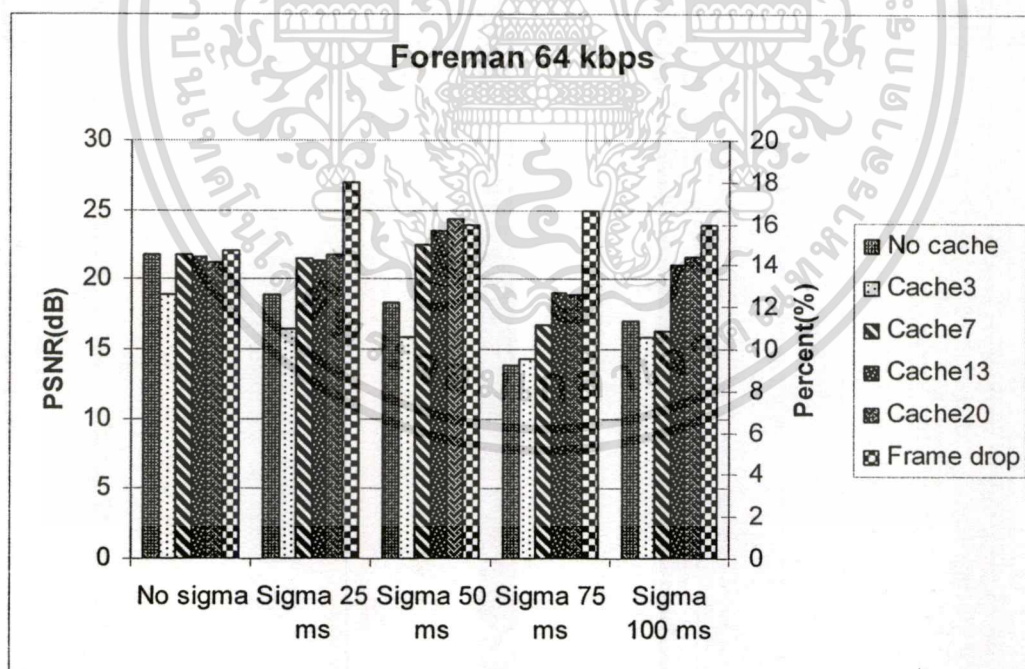


รูปที่ 4.55 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบ ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบีทไฟฟอร์จขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บีทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

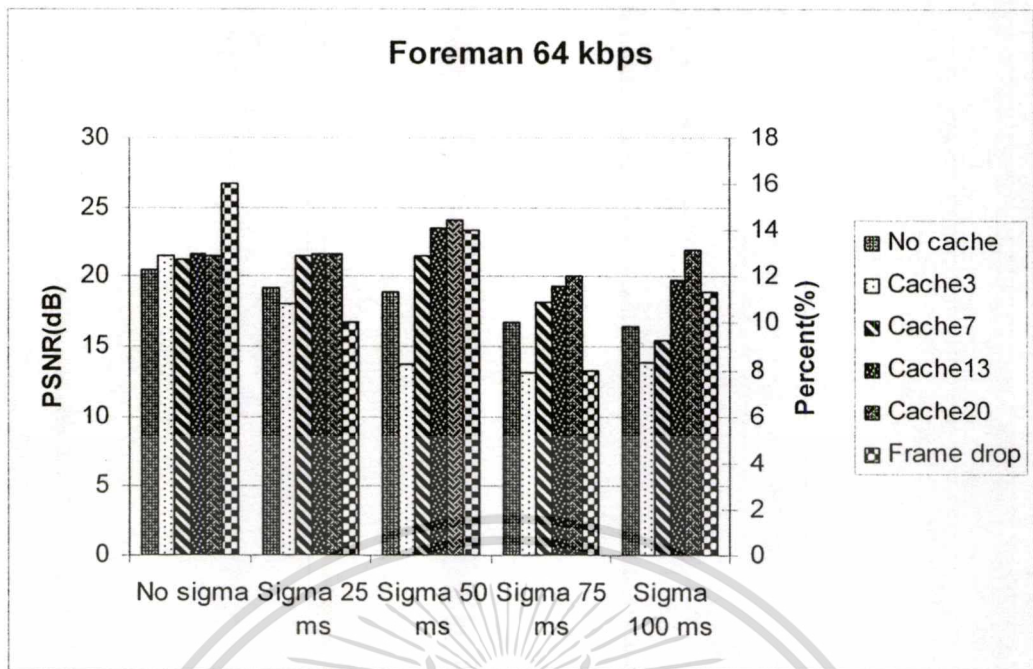


รูปที่ 4.56 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบีพื่อรขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิตเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1

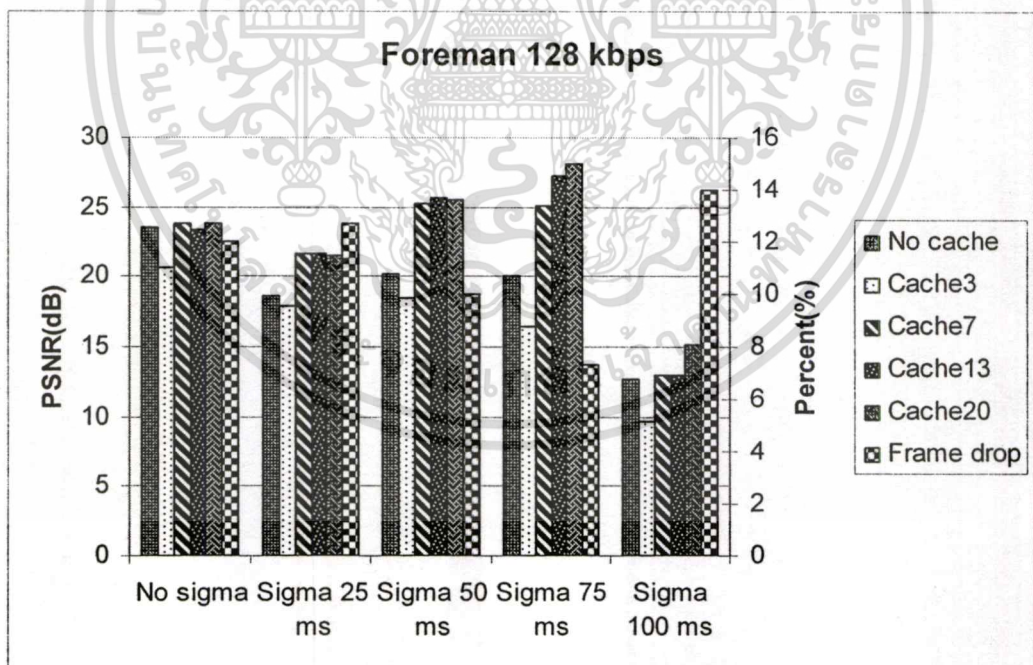


รูปที่ 4.57 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบีพื่อรขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บิตเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

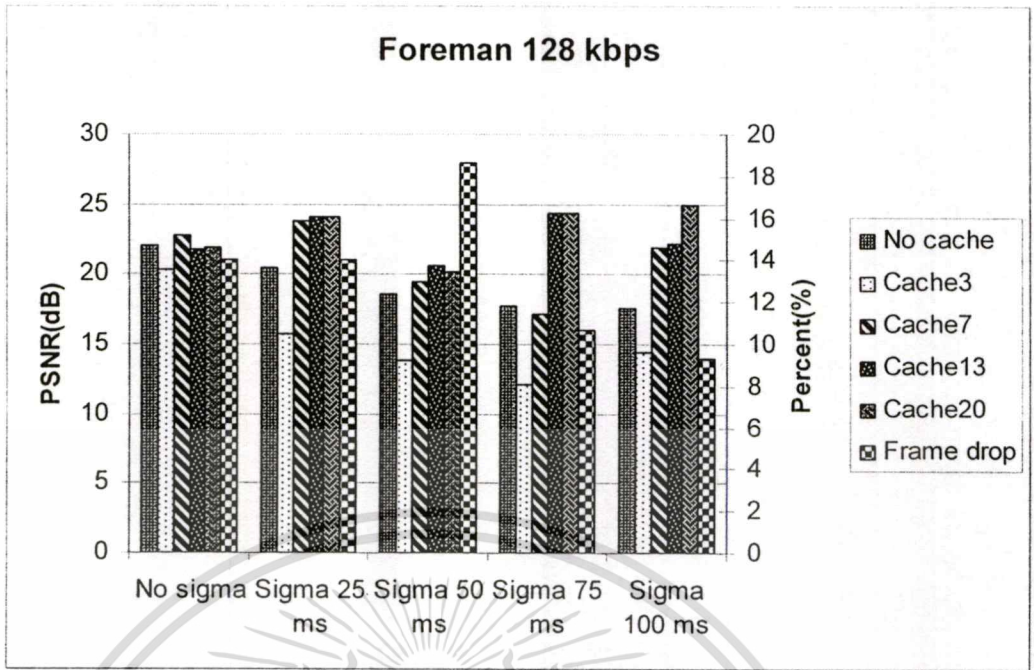


รูปที่ 4.58 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Foreman บีทเรท 64 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3

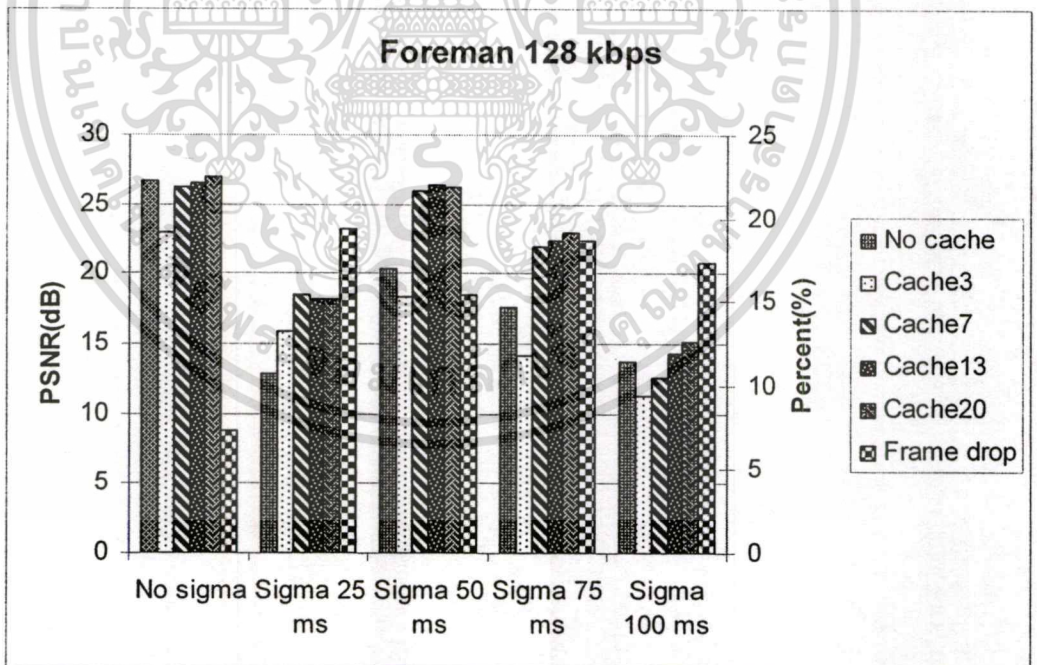


รูปที่ 4.59 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัพเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บีทเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิตเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.61 แสดงค่า PSNR เปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมกับแบบมีแคชซึ่งอัลกอริทึมบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆและเปอร์เซ็นต์เฟรมที่สูญหายในการส่งวิดีโอ Container บิตเรท 128 กิโลบิตต่อวินาที ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากดีเลย์ซิกม่าทำให้เกิดการดีเลย์ของเฟรมวิดีโอทำให้การมาถึงของเฟรมวิดีโอไม่เป็นลำดับ ทำให้การดีโค้ดวิดีโอผิดพลาดคุณภาพของภาพวิดีโอจึงลดลง อีกทั้งเฟรมวิดีโอที่สูญหายไปอาจทำให้เกิดการผิดพลาดอย่างต่อเนื่องในการดีโค้ด เราจึงได้ใช้แคชชิงอัลกอริทึมมาช่วยในการแก้ปัญหานี้ แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อแคชชิงอัลกอริทึมคือขนาดบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม ดังแสดงให้เห็นชัดเจนในผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 เมื่อกำหนดให้ไม่มีดีเลย์ซิกม่า จะเห็นได้ว่าการส่ง Container ค่า PSNR ที่ได้มีค่าผลต่างกับแบบไม่มีแคชชิงมากกว่า การส่ง Foreman เนื่องจากว่า Container มีการเคลื่อนไหวในภาพน้อยซึ่งเมื่อมีการสูญหายของเฟรมจะนำเอาเฟรมก่อนหน้าที่ได้รับล่าสุดมาแทนที่ ภาพที่นำมาแทนที่ของ Container มีความคล้ายคลึงกับเฟรมที่หายไปกว่า Foreman ซึ่งมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงของภาพมาก จึงทำให้ค่า PSNR เพิ่มขึ้นน้อยกว่า Container นั้นเอง

จากรูปที่ 4.50-4.61 แสดงกราฟแท่งของค่า PSNR เฉลี่ยของอัลกอริทึมแบบต่างๆ โดยค่า PSNR คูได้จากตัวเลขทางแกนด้านซ้าย ส่วนแกนด้านขวาแสดงเปอร์เซ็นต์ของเฟรมที่สูญหายไปใน การส่งวิดีโอ จะเห็นได้ชัดเจนว่า เมื่อใช้ดีเลย์ซิกม่าน้อยกว่า 50 มิลลิวินาที ค่า PSNR ของแคชชิงอัลกอริทึมที่มีบัฟเฟอร์ขนาด 7 และ 13 ให้ค่า PSNR เฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อใช้ดีเลย์ซิกม่า 75 และ 100 มิลลิวินาที ค่า PSNR ของแคชชิงอัลกอริทึมที่มีบัฟเฟอร์ขนาด 13 และ 20 ให้ค่า PSNR เฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า จำนวนบัฟเฟอร์ที่ได้จากการคำนวณสามารถใช้ได้จริงและให้ค่า PSNR เฉลี่ยที่สูงขึ้นกว่าแบบ ไม่มีแคชชิงอัลกอริทึม

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปงานวิจัยที่นำเสนอ

เนื่องจากในทุกวันนี้โทรศัพท์มือถือได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของบุคคลทั่วไปเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการสื่อสารผ่านทางระบบมัลติมีเดียก็ได้พัฒนาขึ้นเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากระบบเน็ตเวิร์กของโทรศัพท์มือถือมีการสูญหายและดีเลย์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้คุณภาพของภาพวิดีโอที่ทำการส่งจากโทรศัพท์มือถือมีคุณภาพต่ำ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเพิ่มคุณภาพของภาพวิดีโอและลดความแปรปรวนของค่า PSNR ตามผลการทดลองที่ได้นำเสนอ ทำให้ภาพที่ได้บนฝั่งของเซิร์ฟเวอร์มีความคมชัดมากขึ้นและลดความแปรปรวนของคุณภาพของภาพวิดีโอได้จริง

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในปัจจุบันมีผู้ให้บริการ โทรศัพท์มือถือในประเทศเป็นจำนวนมาก แต่ไม่สามารถควบคุมค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมของเน็ตเวิร์ก ดังนั้นจึงนำค่าที่อ้างอิงได้จากงานวิจัยต่างๆ มากำหนดโดยใช้ NIST Net มาช่วยในการจำลองสภาพเครือข่าย แล้วทำการทดลองส่งวิดีโอสตรีมมิ่งทั้ง 2 วิธี เพื่อเปรียบเทียบกัน คือ แบบที่ไม่มีแคชซึ่งอัลกอริทึมและแบบที่มี แคชซึ่งอัลกอริทึม แล้วทำการแก้ไขเพื่อให้ได้วิดีโอที่มีคุณภาพมากขึ้น

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

ในอนาคตเราจะพัฒนาวิดีโอเซิร์ฟเวอร์ให้ทำงานแบบมัลติเทรค เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ในจำนวนมาก และสามารถกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ได้อย่างเหมาะสมกับสภาพเครือข่ายที่เกิดขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] A.H. Li, S. Kittitornkun, Y.H. Hu, D.-S. Park, J. Villasenor, **Data Partitioning and Reversible Variable Length Codes for Robust Video Communications**, IEEE Data Compression Conference 2000, pp.460-9
- [2] M. Carson and D. Santay, **NIST Net: a Linux-based network emulation tool**, Computer Communication Review (ACM SIGCOMM), 33(3):111-126, 2003.
- [3] W. Tu and E. Steinbach, **Proxy-Based Reference Picture Selection for Real-Time Video Transmission Over Mobile Networks**, *ICME2005*, 2005.
- [4] J. Zhao, B. Li, C. Kok, and A. Ishfaq, **ANALYSIS OF PRIORITY BASED SCHEDULING OF REAL-TIME VIDEO OVER 3G WIRELESS NETWORK**, 5th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communications
- [5] J. Kneip, B. Schmale, and H. Moller, **Applying and Implementing the MPEG-4 Standard**, *IEEE Micro*, pp. 64–74, 1999.
- [6] XviD, <http://www.xvid.org>
- [7] S. Fukunaga, T. Nakai, and H. Inoue, **Error resilient video coding by dynamic replacing of reference pictures**, in Proc. IEEE GLOBECOM, vol 3, Nov 1996, pp. 1503-1508.
- [8] M.B. Myers, **Predicting and measuring quality of service for mobile multimedia**, 3G Mobile Communication Technologies, Conference Publication No. 471, IEE 2000.
- [9] T. Sikora, **The MPEG-4 video standard verification model**, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 19-31, Feb 1997.
- [10] L. Edwards, R. Barker, and Staff of EMCC Software Ltd, **Developing Series 60 Applications A Guide for Symbian OS C++ Developers**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิธีการใช้งาน NIST Net

1. Cnistnet

Usage:

Cnistnet [commands]

Available commands:

-u up (on)

-d down (off)

-a src[:port[:protocol]] dest[:port[:prot]] [cos]

add new

[--delay delay [delsigma/delcorr]]

[--drop drop_percentage[/drop_correlation]]

[--dup dup_percentage[/dup_correlation]]

[--bandwidth bandwidth]

[--drd drdmin drdmax [drdcongest]]

-r src[:port[:prot]] dest[:port[:prot]] [cos] remove

-s src[:port[:prot]] dest[:port[:prot]] [cos] see stats

-S src[:port[:prot]] dest[:port[:prot]] [cos] see stats continuously

[-n] -R read current settings (-n numerical format)

-D value debug on (value=0 none, 1 minimal,... 9 maximal)

-U debug off

-G global stats

-K kickstart the clock

-F flush the queues

-h this help message

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. C Mathong and S Kittitornkun, "MPEG-4 Video Mobile Uplink Caching Algorithm",
Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Conference
2008, 14-17 May 2008, Krabi, Thailand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-CON 2008

THE 2008 ECTI INTERNATIONAL CONFERENCE

Volume 1

Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/ Electronics, Computer
Telecommunications and Information Technology (ECTI)
International Conference

May 14-17, 2008

Maritime Park and Spa Resort, Krabi, THAILAND



11:00-11:20	Image Sequence Segmentation Using the Gradient Structure Tensor Method and Self-Organizing Map	I-425
TAM1-6-2	Tin Mon Mon Swe, Toshiaki Kondo, and Waree Kongprawechnon	
11:20-11:40	Abrupt Video Scene Change Detection Using Structural Similarity Measure	I-429
TAM1-6-3	Wuttipong Kumwilaisak and Anon Wasurutpaisan	
11:40-12:00	Outdoor vehicle and shadow segmentation by temporal edge density information of adjacent frames	I-433
TAM1-6-4	Chanchai Techawatcharapaikul, Pakorn Kaewtrakulpong, and Supakorn Siddhichai	
12:00-12:20	Pedestrian Detection using Color Symmetry Phases	I-437
TAM1-6-5	Jakawut Janta, Prayoth Kumsawat, Kitti Attakitmongcol, and Arthit Srikaew	
15-May-08	TPM1-6: Biometrics/ Pattern Recognition	
14:20-14:40	Facial Expression Recognition from a Partial Face Image by Using Displacement Vector	I-441
TPM1-6-1	Theekapun Charoenpong, Shogo Tokai, and Hiroyuki Hase	
14:40-15:00	Circular and Elliptical Modeling for Pupil Boundary in Closed-up Human Eye Images	I-445
TPM1-6-2	Chirayuth Sreecholpech and Somying Thainimit	
15:00-15:20	New Face Segmentation Technique Insusceptible To Illumination	I-449
TPM1-6-3	King Lim Hann, Li-Minn Ang, and Kah Phooi Seng	
15:20-15:40	M-Band Wavelet Transform in Face Recognition System	I-453
TPM1-6-4	Yee Wan Wong, Kah Phooi Seng, Li-Minn Ang	
15:40-16:00	Transient Feature Extraction for Machine Olfaction based on Wavelet Decomposition	I-457
TPM1-6-5	Ekachai Phaisangittisagul	
15-May-08	TPM2-6: Image & Video Coding, SRR, and Compression	
16:20-16:40	CONTEXT ADAPTIVE IMAGE CODING USING LAPPED TRANSFORM	I-461
TPM2-6-1	Poonlap Lamsrichan	
16:40-17:00	Fast Deblocking Filter Implementation Method and it's architecture for H.264/AVC	I-465
TPM2-6-2	Yoshinori Hayashi, Tian Song, Eiji Koeta, and Takashi Shimamoto	
17:00-17:20	MPEG-4 Video Mobile Uplink Caching Algorithm	I-469
TPM2-6-3	Chatchaphong Mathong and Surin Kittitornkun	
17:20-17:40	A Robust Iterative Multiframe SRR using Stochastic Regularization Technique based on Hampel Estimation	I-473
TPM2-6-4	Vorapoj Patanavijit	
17:40-18:00	Information Signs Compression and Classification Using Vector Quantization and Neural Network for Blind man Tourisms Navigation System	I-477
TPM2-6-5	Songkran Kran Kantawong and Thnasak Panprasit	
16-May-08	FAM1-6: Biomedical Signal & Image Processing	
08:30-08:50	Design of Portable Stroke Monitoring Care in Old Human	I-481
FAM1-6-1	Suranan Noimanee, Tawee Tunkasiri, Kingkeo Siriwitayakorn, and Jerapong Tuntrakoon	
08:50-09:10	Computer-Aided Analysis of Nuclear Stained Breast Cancer Cell Images	I-485
FAM1-6-2	Pornchai Phukpattaranont and Pleumjit Boonyaphiphat	
09:10-09:30	Detection and Follow-Up Assessment of Pleural Thickenings from 3D CT Data	I-489
FAM1-6-3	Kraisorn Chaisaowong, Benjamin Bross, Achim Knepper, Thomas Kraus, and Til Aach	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MPEG-4 Video Mobile Uplink Caching Algorithm

Chatchaphong Mathong, Surin Kittitornkun
 Dept. of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
 Bangkok 10520, Thailand
 Email: chatchaphong@hotmail.com, kksurin@kmitl.ac.th

Abstract-Digital cellular mobile technologies have been rapidly developed since the analog technology was presented. This has led to many new applications especially multimedia. More interestingly, the new mobile has embedded the digital camera in itself, so that the user can take photos, record the videos and make video calls. Although many applications of mobile uplink video exist, we cannot see the video clearly because of the bandwidth limitation and error-prone environment. Therefore, we propose a mobile video uplink caching algorithm that can make diminish PSNR variations which may result in better subjective video quality with simple implementation.

Key Words: mobile video uplink, uplink transmission, mobile uplink, MPEG-4 Video, XVID

I. INTRODUCTION

Real time MPEG-4 [4] video applications have become commonplace for mobile smart phones, PDAs and personal multimedia systems. MPEG-4 is the video codec that greatly reduces the video frame size and suitable for the mobile application. Although we can use the real time MPEG-4 video on mobile, we can't see the video clearly because of the limitation of bandwidth. At this point, the video encoding is needed to increase the video quality.

In our experiments, we choose XVID codec [5]; one of the MPEG-4 codec; to study the parameters that affect the video quality and relate with the bandwidth. And we choose NIST Net Network Emulator; to fix network environment. The results of our experiments show the higher video quality over NIST Net.

The paper is organized as follows. Section II reviews some previous algorithms and describe the nature of NIST Net, an open-source network emulator. Later, our algorithm is described in section III. Extensive experimental results are shown and discussed in section VI. Finally, the paper is concluded and future works are suggested in section V.

II. LITERATURE REVIEW

A. Mobile Video Uplink Cache Proxy Server

Many error resilient video encoding algorithms have been proposed and validated for mobile environment including [1]. Another proposal that uses feedback

information to stop error propagation is NEWPRED [2]. While FDRPS (Fixed-distance reference picture selection) [2] uses a distance adjusted to the round-trip-time in combination with retransmission to effectively stop error propagation. In this paper, we propose a simple caching algorithm in mobile video uplink transmission in an emulated environment called NIST Net.

B. NIST Net Network Emulator

NIST Net is an open-source, fast, Linux kernel-based network emulator. NIST Net provides the ability to emulate common network effects such as packet loss, duplication or delay; router congestion; and bandwidth limitations.

A useful way to think of NIST Net is as a "network-in-a-box"[3]. We edit delay distribution in NIST Net Network Emulator. The distribution used is governed by a table of short integers which you can load. The code generates a uniformly distributed "random" number between 0 and the size of the table (4096 is what I used, which should be more than good enough for any use I can imagine). This is used as an index in looking up the table value, which is then divided by the table "factor" to get a "number of standard deviations" value. In tables, the factor was always 8192. Hence, the "number of standard deviations" always between -4 and 4 (MAXSHORT/8192). Again, as mentioned above, the generated delay time is then:

$$D_T = D_M + (\sigma \times \Sigma) \quad (1)$$

Where D_T is delay time, D_M is average delay, σ is number of standard deviations and Σ is delay sigma. Uniform distribution used for our environment system.

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^{\infty} f \quad (2)$$

Where $F()$ be the cumulative distribution function for a probability distribution function of x , $F(X)$ and $f(x)$ is the probability density function. It is assumed that X has zero mean and standard deviation of 1.0.

In our environment system, we use setting delay time in NIST Net network emulator with 550 ms [7], [8] and sigma with 100 ms.

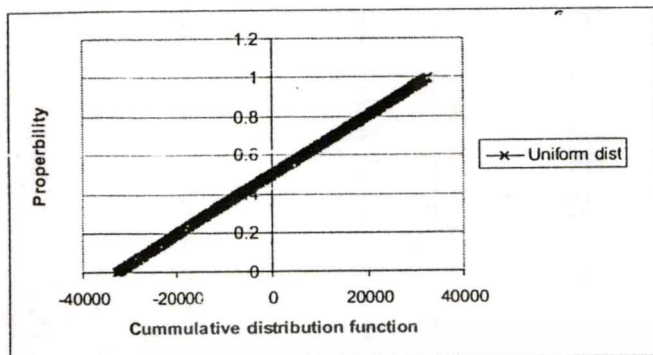


Figure 1. NIST Net delay distribution.

C. Video Quality Metrics

1) PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)

The PSNR block computes the peak signal-to-noise ratio, in decibels, between two videos. This ratio is often used as a quality measurement between the original and a compressed video. The higher the PSNR is better quality of the compressed video.

To compute the PSNR, the block first calculates the mean-squared error (MSE) using the following equation.

$$MSE = \frac{\sum_{M..N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M * N} \quad (3)$$

In the previous equation, M and N are the number of rows and columns in the input video frames, respectively. Then the block computes the PSNR using the following equation.

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{R^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

In the previous equation, R is the maximum fluctuation in the input video component type. Therefore high PSNR value has high video quality.

2) Packet Drop

Packet drops have more effects to video quality because dropped packets can cause the errors while decoding video. Some errors may be recovered using data partitioning and reversible variable length coding [1]. However, in this paper we assume that no such strategies are optional and not implemented. Therefore, video quality depends on frame losses especially I-frames. Percent packet drop can be compute as follows:

$$\text{Percent Packet Drop (\%)} = \frac{P_D}{P_S} \times 100 \quad (5)$$

where P_D is number of dropped packets and P_S is total packets sent. We set the packet drop rate in NIST Net network emulator to 10% to emulate the harsh cellular mobile Internet environment.

III. CACHING ALGORITHM

Our algorithm is proposed a simple yet effective caching algorithm to increase video quality in a mobile Internet environment. The caching algorithm can be deployed in an uplink direction of mobile phones to the video proxy server. The video server receives and decodes video frames while caching the latest I-frame and P-frame. Whenever the current I-frame or P-frame is dropped due to errors, the previously cached I-frame or P-frame will be inserted.

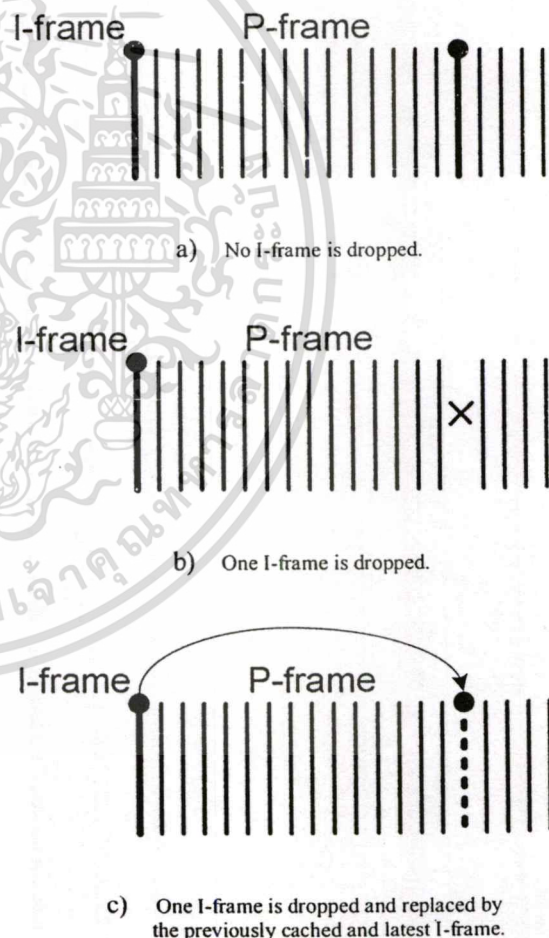


Figure 2. The thick line represents an I-frame and thin line represents a P-frame. The cross mark is a dropped I-frame.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 2a) shows normal transmission. Video server receives altogether I-frame not have I-frame drop. This case occurs in good network environment. Figure 2b) shows I-frame drop and no cache I-frame then has effect to decrease video quality. And Figure 2c) shows I-frame drop and use our algorithm by replace loss I-frame with latest I-frame.

IV. EXPERIMENT SET UP AND RESULTS

A. Experiment Set Up

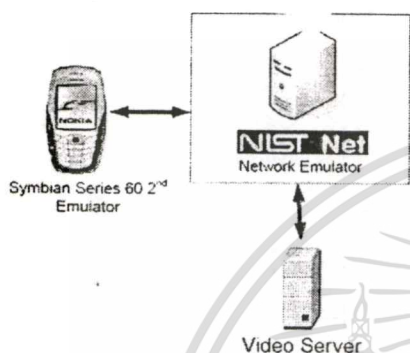


Figure 3. MPEG-4 Video Uplink Experiment System

Our experiment system consists of three parts as shown in Figure 3. Part one is a mobile emulator based on Symbian 8.0a Series 60 FP2 SDK., which sends MPEG-4 encoded video stream to the video server with our caching algorithm. Part two is NIST Net [2] network emulator, emulating network effect as described by distribution in Figure 1. NIST Net runs on Linux Fedora Core 3. Finally, part three is the video server, to receive encoded video stream from the mobile emulator.

To demonstrate the effectiveness of our proposed method, we use a simple-profile simple-level MPEG-4 video decoder. Our experiments are based on a XviD Coder/Decoder.



a) Container b) Foreman

Figure 4. Example video sequences.

Our two test QCIF video sequences including *Container* (Figure 4a) and *Foreman* (Figure 4b) are

selected and encoded at 15 frame per second (fps) and 64 and 128 kilobits per second (kbps). The network emulator is configured to drop packets at 10%, with delay time of 550 ms and delay sigma of 100 ms, respectively.

B. Results and Discussions

We can evaluate the objective performance of our mobile video uplink caching algorithm using the PSNR. The decoded PSNRs are plotted in Figure 5-8. At slow bit rate of 64 kbps, with caching algorithm, both *Container* and *Foreman* sequences show smoother curves of PSNRs (in Figure 5b and 6b) than those with no caching algorithm (in Figure 5a and 6a). The same behavior can be found in higher bit rate (128 kbps) as plotted in Figure 7b and 8b. Although the average PSNRs between them are almost the same, the smoothness of PSNR curve may result in better subjective video quality due to smaller picture quality variations between consecutive frames.

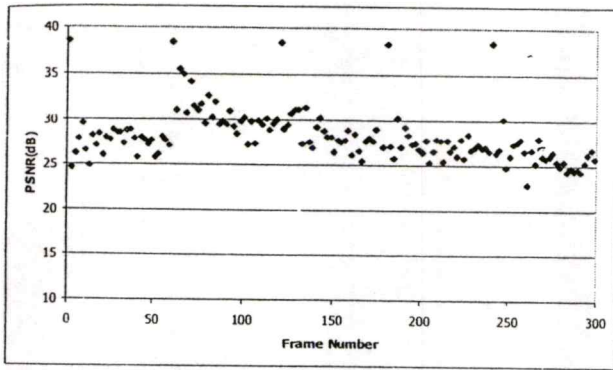
V. CONCLUSIONS

We have presented a mobile video uplink caching algorithm for real-time video transmission in a mobile Internet environment. We use this caching algorithm to recover lost I-frame or P-frame on the uplink video server. Our caching algorithm can mitigate large variations of objective video quality in term of PSNR. This has to be proved by subjective tests and other metrics.

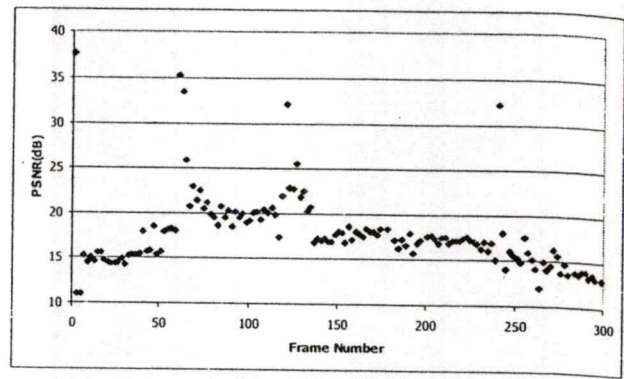
As future works, we will enhance this caching algorithm to the video proxy server to and test with various configurations similar to real mobile Internet environment on NIST Net network emulator.

REFERENCES

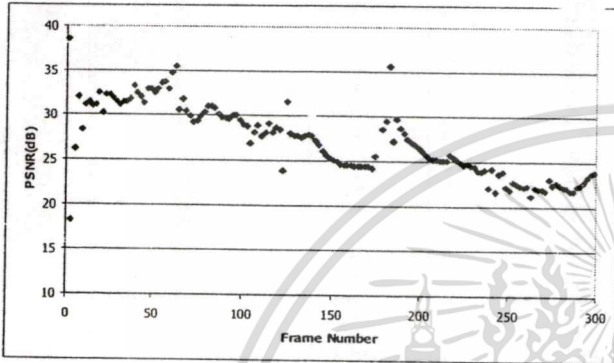
- [1] A.H. Li, S. Kittitornkun, Y.H. Hu, D.-S. Park, J. Villasenor, Data Partitioning and Reversible Variable Length Codes for Robust Video Communications, IEEE Data Compression Conference 2000, pp.460-9
- [2] W. Tu and E. Steinbach, "Proxy-Based Reference Picture Selection for Real-Time Video Transmission Over Mobile Networks", *ICME2005*, 2005.
- [3] Mark Carson and Darrin Santay., NIST Net: a Linux-based network emulation tool, Computer Communication Review (ACM SIGCOMM), 33(3):111-126, 2003.
- [4] J. Kneip, B. Schmale, and H. Moller. "Applying and Implementing the MPEG-4 Standard". *IEEE Micro*, pp. 64-74, 1999.
- [5] XviD, <http://www.xvid.org>
- [6] S. Fukunaga, T. Nakai, and H. Inoue, "Error resilient video coding by dynamic replacing of reference pictures," in Proc. IEEE GLOBECOM, vol 3, Nov 1996, pp. 1503-1508.
- [7] M.B. Myers, "Predicting and measuring quality of service for mobile multimedia", 3G Mobile Communication Technologies, Conference Publication No. 471, IEE 2000.
- [8] P. Callyam, M. Sridharan, W. Mandrawa, and P. Schopis, "Performance measurement and analysis of H.323 Traffic, PAM Workshop, April 2004.



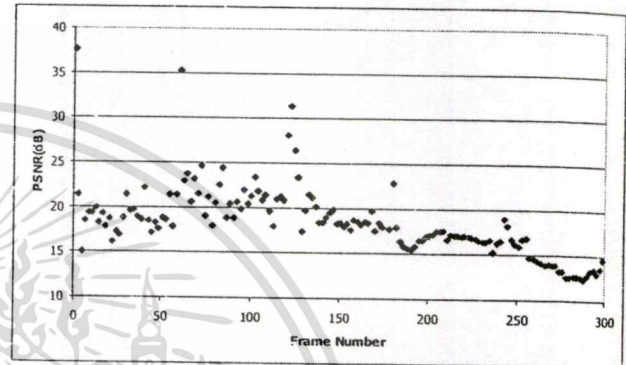
a) No caching algorithm.



a) No caching algorithm.



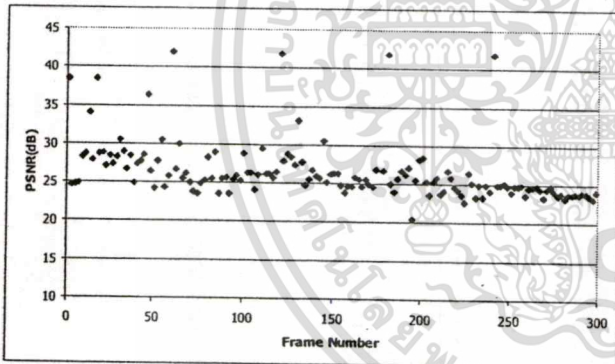
b) With caching algorithm.



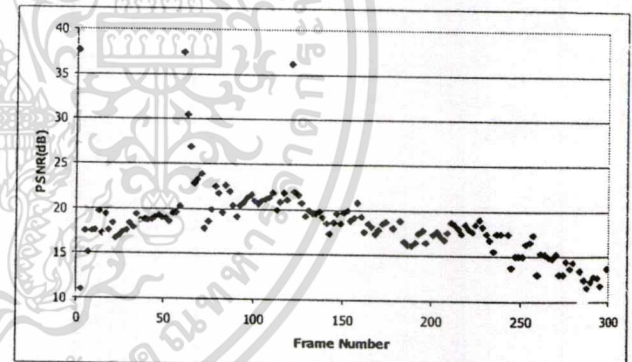
b) With caching algorithm.

Figure 5. PSNR of decoded video Container 64 kbps, 10% packet drop.

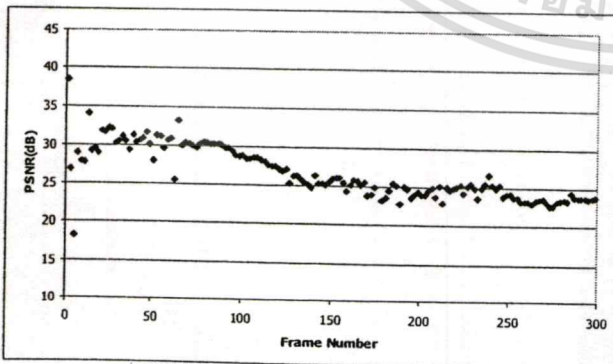
Figure 6. PSNR of decoded video Foreman 64 kbps, 10% packet drop.



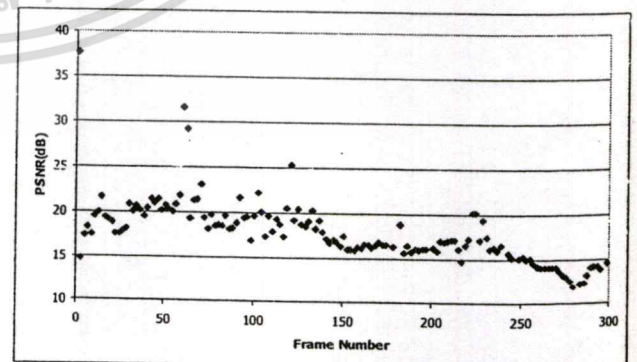
a) No caching algorithm.



a) No caching algorithm.



b) With caching algorithm.



b) With caching algorithm.

Figure 7. PSNR of decoded video Container 64 kbps, 10% packet drop.

Figure 8. PSNR of decoded video Foreman 128 kbps, 10% packet drop.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ชัยพงษ์ มาทอง

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547

งานวิจัยที่สนใจ Mobile Computing, Wireless Communication และ Multimedia



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้