



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลในระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4

Efficient Design of Convolutional Interleavers in MPEG-4 Image Wireless Transmission System

นามผู้วิจัย นายธีรรัตน์ อนุชาติ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูเกียรติ การะเกตุ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลในระบบสื่อสาร
แบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4

Efficient Design of Convolutional Interleavers in MPEG-4 Image Wireless Transmission System

โดย

นายธีนาร์ตน์ อนุชาติ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชินรัตน์ อนุชาติ 2553: การออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพของการสลับลำดับข้อมูลแบบ
คอนโวลูชันนอลในระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์, Ph.D. 91 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 โดย
ออกแบบการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล เพื่อแก้ปัญหาผลการรบกวนสัญญาณแบบ
กลุ่ม โดยทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดแบบไรเซี่ยลที่กำหนดการรบกวน
สัญญาณออกเป็น 2 กรณีคือ สัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและสัญญาณ
รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูล ผลการทดสอบที่ได้พบว่าเมื่อนำกระบวนการสลับ
ลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลมาใช้กับช่องสัญญาณที่มีการกำหนดสัญญาณรบกวนดังกล่าว
สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบได้ 2 dB และ 18 dB ตามลำดับ โดยในงานวิจัยนี้ใช้
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวามาใช้ในการจำลองระบบ

Teenarat Anuchat 2010: Efficient Design of Convolutional Interleavers in MPEG-4 Image Wireless Transmission System. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Srijidtra Charoenlarnnopparat, Ph.D. 91 pages.

This research improves the performance of the MPEG-4 image transmission systems by designing the convolutional interleavers to alleviate the effect of bursty noise. The system is tested in a rician flat block-fading channel that varying the fading variable for every symbol intervals and every five symbol intervals. In case of using the convolutional interleavers into the system, the simulation results show some improvement on the PSNR performance of 2 dB and 18 dB for the case of the fading variable vary every symbol intervals and every five symbol intervals respectively. In this research we use a JAVA computer program to simulate our system

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ให้คำปรึกษา แนะนำ และ
ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ ภาระเกตุ
และกรรมการทุกท่านที่ช่วยเหลือตรวจสอบพร้อมแนะนำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไป
ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ
มาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและ
มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในอนาคต ขอขอบคุณ นางสาวอิสริย์ สรรพสิริ
โสภณ ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในงานวิจัย และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการ
ใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธินารัตน์ อนุชาติ

มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	42
ผล	42
วิจารณ์	80
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	85
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงตัวอย่างการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอล	10
2	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	44
3	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	44
4	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	45
5	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML	46
6	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML	46
7	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML	46
8	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
9	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML	48
10	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML	49
11	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	53
12	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	53
13	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	54
14	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML	55
15	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูริจิสเตอร์ 4 แวลูและใช้การตรวจจับแบบ ML	55
17	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูริจิสเตอร์ต่างๆและใช้การตรวจจับแบบ ML	57
18	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูริจิสเตอร์ต่างๆและใช้การตรวจจับแบบ ML	58
19	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูริจิสเตอร์ต่างๆและใช้การตรวจจับแบบ ML	59
20	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	62
21	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	63
22	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉวและใช้การตรวจจับแบบ MAP	64
24	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉวและใช้การตรวจจับแบบ MAP	64
25	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉวและใช้การตรวจจับแบบ MAP	65
26	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆกันและใช้การตรวจจับแบบ MAP	66
27	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆกันและใช้การตรวจจับแบบ MAP	67
28	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆกันและใช้การตรวจจับแบบ MAP	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
29	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	71
30	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	71
31	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	72
32	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลที่ใช้รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP	73
33	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลที่ใช้รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP	73
34	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลที่ใช้รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP	73
35	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลที่มีรีจิสเตอร์ขนาดแถวต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ MAP	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
36	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีรีจิสเตอร์ขนาดแฉวต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ MAP	76
37	แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีรีจิสเตอร์ขนาดแฉวต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ MAP	77

สารบัญภาพ

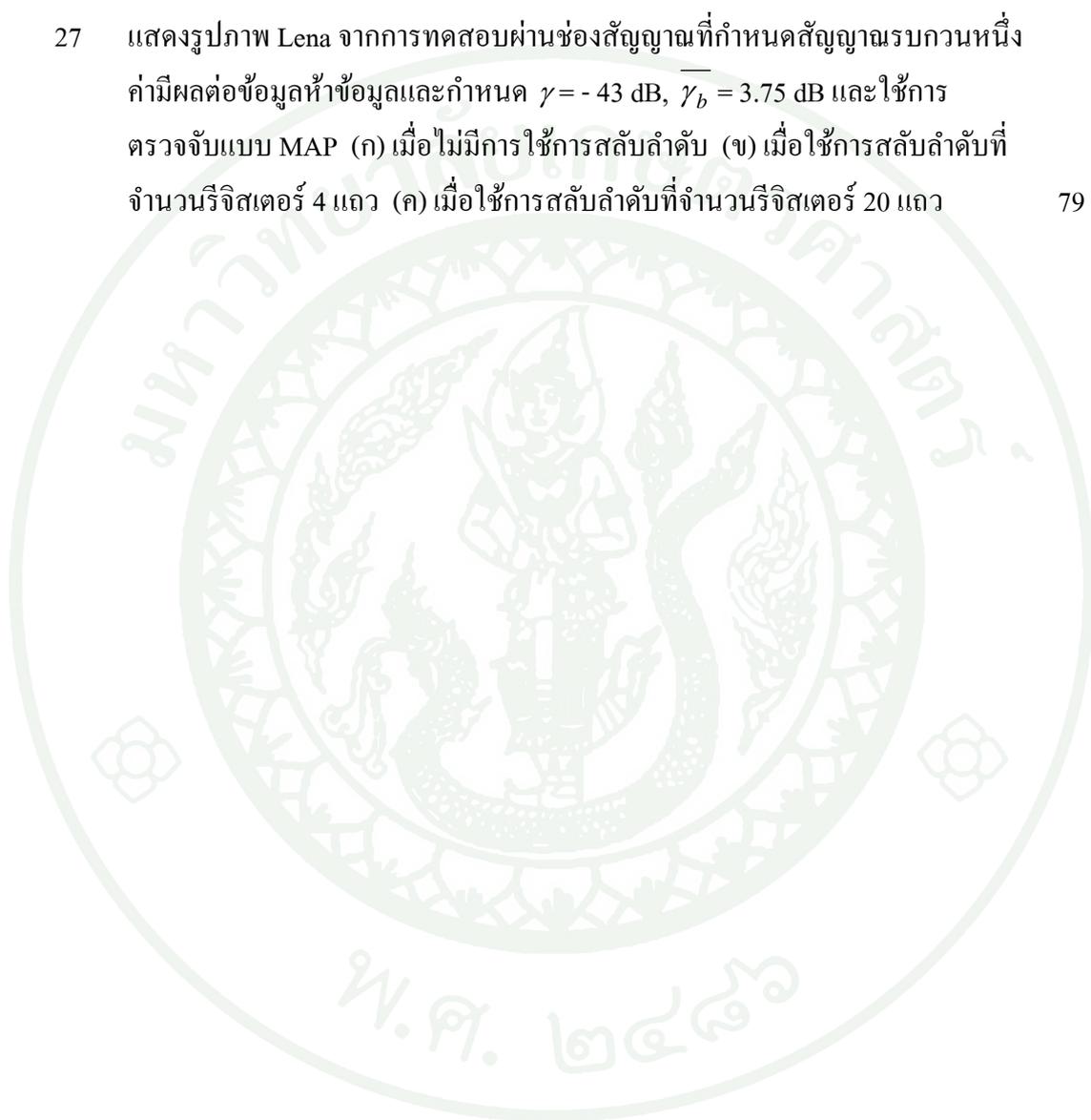
ภาพที่		หน้า
1	แสดงกระบวนการแปลงเวฟเลตแบบดีสครีตเวฟเลตทรานสฟอร์ม	5
2	แสดงตำแหน่งค่าสัมประสิทธิ์ X และสัมประสิทธิ์ใกล้เคียง	6
3	แสดงโครงสร้างการเข้ารหัสและถอดรหัสของสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำ	7
4	แสดงโครงสร้างการเข้ารหัสและถอดรหัสของสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูง	8
5	แสดงแผนภาพการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอลแบบ $G(D) = [D+1, D^2 + D + 1]$	9
6	แสดงแผนภาพการเข้ารหัสแบบริงคอนโวลูชันนอล	10
7	แสดงแผนภาพการสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อก	13
8	แสดงโครงสร้างของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล	15
9	แสดงตัวอย่างการทำงานของการทำงานของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล	16
10	แสดงแผนภาพกระบวนการเทลลิสโคดมอดูเลชัน (TCM)	18
11	แสดงแผนภาพโครงสร้างกระบวนการสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 ที่ผนวก กระบวนการสลับลำดับข้อมูลและกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับ	23
12	แสดงผังงานระบบการออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลในระบบสื่อสารภาพ แบบ MPEG-4	25
13	แสดงการเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอาร์เรย์แทนการใช้รีจิสเตอร์แบบเลื่อน	26
14	แสดงตำแหน่งตำแหน่งข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าสู่กระบวนการสลับลำดับกลับ	27
15	แสดงข้อมูลที่จะป้อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ในกระบวนการสลับลำดับกลับในแต่ละรอบที่มี ความยาวชุดข้อมูลต่างกัน	28
16	แสดงตัวอย่างการจัดเรียงข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์ในรูปแบบที่สองของกระบวนการ สลับลำดับกลับ	30
17	แสดงผังงานโปรแกรมกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล	32
18	แสดงผังงานโปรแกรมกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับแบบคอนโวลูชันนอล	34
19	แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena (ก) รูปภาพ Lena ที่ใช้ในการทดสอบระบบ (ข) รูปภาพ Lena ที่ได้จากระบบที่ไม่มีสัญญาณรบกวน	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้รีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	51
21	แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนเป็นแบบเดี่ยวโดยกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ ML (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว	52
22	แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้รีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML	60
23	แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ ML (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว	61
24	แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้รีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	69
25	แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ MAP (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว	70
26	แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้รีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
27 แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่ง ค่ามีผลต่อข้อมูลห้าข้อมูลและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การ ตรวจจับแบบ MAP (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่ จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว	79



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

EZW	=	Embedded Zerotree Wavelet
DWT	=	Discrete Wavelet Transform
ML	=	Maximum Likelihood
MAP	=	Maximum a posteriori
HFS	=	Higher Frequency Subband
LFS	=	Lowest Frequency Subband
DPCM	=	Differential Pulse Code Modulation
ZTR	=	Zerotree Root
IZ	=	Isolated Zero
VZTR	=	Valued Zerotree Root
VAL	=	Value
CRC	=	Cyclic Redundancy Check
SOT	=	Starting Spatial Orientation Tree
MLSE	=	Maximum Likelihood Sequence Estimator
CPM	=	Continuous Phase Modulation
TCM	=	Trellis-coded Modulation
AWGN	=	Additive White Gaussian Noise
PSNR	=	Peak Signal to Noise Ratio
WER	=	Word Error Rate

การออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลใน ระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4

Efficient Design of Convolutional Interleavers in MPEG-4 Image Wireless Transmission System

คำนำ

การส่งและรับข้อมูลในระบบสื่อสารแบบดิจิทัล เช่น ข้อความ หรือ มัลติมีเดีย (ภาพ เสียง วิดีโอ) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญทั้งในอดีตและปัจจุบัน และถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางเพื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ส่งและผู้รับ ในอดีตนั้นการรับส่งข้อมูลจะผ่านสายนำสัญญาณชนิดต่างๆ เช่น สายโทรศัพท์ สายเคเบิลนำแสง เป็นต้น แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาไปในทิศทาง การรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สายมากขึ้น เพื่อช่วยแก้ปัญหาการติดต่อในพื้นที่ห่างไกล และลดต้นทุนในการติดตั้งสายนำสัญญาณ แต่ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายคือ การรบกวนสัญญาณข้อมูลขณะส่งเพิ่มมากขึ้นและเกิดได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การรบกวนแบบเดี่ยวกล่าวคือสัญญาณข้อมูลถูกรบกวนครั้งละหนึ่งข้อมูล และการรบกวนแบบกลุ่มคือการรบกวนสัญญาณข้อมูลติดกันเป็นช่วงแบบกลุ่มก้อน

ซึ่งการรบกวนสัญญาณข้อมูลทุกแบบอาจเกิดขึ้นจากหลายๆ สาเหตุเช่น จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อม หรือ โครงสร้างอาคารที่มีส่วนในการสะท้อนหรือทำให้เกิดการสูญเสียเส้นทางของสัญญาณ ซึ่งจากสาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดการสื่อสารที่ผิดพลาดเนื่องจากความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับ และเพื่อลดผลความผิดพลาดของข้อมูลนักวิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจึงมุ่งคิดค้นเทคนิคและวิธีการต่างๆ ที่สามารถลดผลกระทบจากการรบกวนข้อมูล ทั้งการรบกวนข้อมูลแบบเดี่ยว และการรบกวนข้อมูลแบบกลุ่ม ซึ่งการรบกวนข้อมูลแบบกลุ่มส่งผลต่อความผิดพลาดของข้อมูลมากกว่าแบบเดี่ยว เนื่องจากกระบวนการทางฝั่งรับมีความสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการรบกวนแบบเดี่ยวได้ ดังนั้นจุดมุ่งหมายในงานวิจัยนี้ คือการออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Interleavers) เพื่อเป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหาการรบกวนแบบกลุ่ม โดยการสลับตำแหน่งข้อมูลให้ข้อมูลที่ติดกันแยกออกจากกันก่อนส่งข้อมูลเข้าสู่ช่องสัญญาณ และหากการรบกวนภายในช่องสัญญาณเป็นการรบกวนแบบกลุ่มแล้ว เมื่อฝั่งรับได้รับสัญญาณจะทำกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับเพื่อให้ลำดับของข้อมูลกลับสู่ปกติ ซึ่งผล

ที่ได้ทำให้การรวมแบบกลุ่มนั้นกระจายออกจากกัน หรือในอีกทางหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นเทคนิคในการเปลี่ยนการรวมแบบกลุ่มเป็นการรวมแบบเดี่ยว ซึ่งคาดหมายว่าทำให้ข้อมูลมีความผิดเพี้ยนน้อยลงและภาพรวมระบบการส่งและรับข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น



วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลให้สามารถใช้ร่วมกับระบบสื่อสารข้อมูลภาพผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายได้ โดยคำนึงถึงความยาวของกลุ่มข้อมูลและความเหมาะสมของการกระจายลำดับข้อมูล และมุ่งเน้นปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบให้เพิ่มมากขึ้น โดยใช้วิธีการจำลองระบบ (Simulation) ที่เสมือนจริงทั้งในส่วนคุณลักษณะองค์ประกอบต่างๆ เช่น การเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลภาพ การเข้ารหัสและถอดรหัสช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณแบบไร้สาย และองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ สรุปผลและนำไปสู่การใช้งานในสถานะจริงได้

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้เป็นงานสืบเนื่องจากงานวิจัยระบบสื่อสารข้อมูลภาพ (Van Dyck, 2000; Mahapakulchai, 2007; Mahapakulchai and Van Dyck, 2001; Mahapakulchai and Van Dyck, 2004) ซึ่งเป็นระบบรับส่งข้อมูลภาพที่ใช้มาตรฐานแบบ The Moving Pictures Expert Group Layer 4 (MPEG-4) ในการบีบอัดข้อมูลภาพและเป็นหนึ่งในกลุ่มมาตรฐานแบบ Moving Pictures Expert Group (MPEG) โดยส่งผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายที่มีการเลือนหายของสัญญาณแบบไร้สาย โดยผู้วิจัยนำมาพัฒนาต่อจากระบบเดิมเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยมีแนวคิดคือลดการสูญหายของข้อมูลภาพที่เกิดจากสัญญาณรบกวนแบบกลุ่มบนช่องสัญญาณ โดยใช้เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของระบบจากค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังส่งข้อมูลต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) และค่าเฉลี่ยอัตราการผิดพลาดของข้อมูล (Word Error Rate, WER)

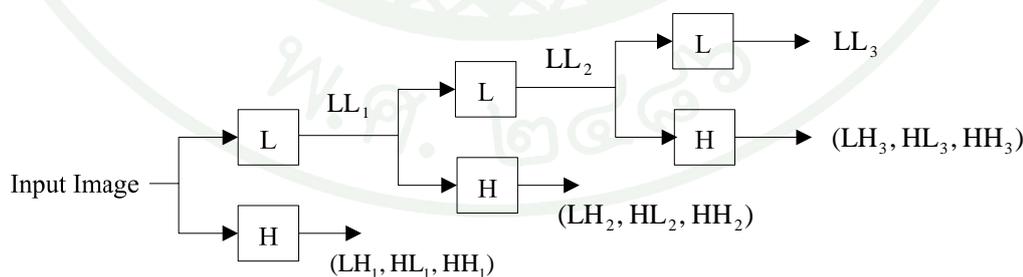
ระบบสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 สามารถแบ่งกระบวนการต่าง ๆ ออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ กลุ่มกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพ ประกอบด้วยกระบวนการเข้ารหัสข้อมูลภาพ (Source Encoder) ถอดรหัสข้อมูลภาพ (Source Decoder) กลุ่มที่สองคือกลุ่มกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการส่งและรับข้อมูล ประกอบด้วยกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Encoder) ถอดรหัสช่องสัญญาณ (Channel Decoder) การมอดูเลชัน (Modulation) และการดีมอดูเลชัน (Demodulation) และกลุ่มสุดท้ายคือการจำลองช่องสัญญาณแบบไร้สาย (Channel) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะเพิ่มเติมส่วนของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Interleavers) และการสลับลำดับข้อมูลกลับแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Deinterleavers) เข้าไปในกลุ่มกระบวนการส่งและรับข้อมูลเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล ซึ่งรายละเอียดในแต่ละกระบวนการจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

กระบวนการสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละกระบวนการที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ (Couch, 2007; Mahapakulchai, 2009) โดยแบ่งตามกลุ่มกระบวนการดังที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น

1. ข้อมูลภาพแบบ MPEG-4

มาตรฐาน The Moving Pictures Expert Group Layer 4 (MPEG-4) เป็นมาตรฐานการบีบอัดและเข้ารหัสรูปภาพ ซึ่งโดยทั่วไปใช้วิธีการแบบ เอ็มเบสเดดซีโรทรีเวฟเลต (Embedded Zerotree Wavelet, EZW) (Shapiro, 1993) เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายแต่และให้ประสิทธิภาพในการบีบอัดข้อมูลสูงและมีคุณลักษณะที่สำคัญคือ ข้อมูลถูกกำหนดตามลำดับความสำคัญ โดยคำว่า “เวฟเลต” มาจากกระบวนการแปลงเวฟเลตจากรูปภาพ (Wavelet transformation) ซึ่งผลที่ได้คือกลุ่มของสัมประสิทธิ์เวฟเลตที่ใช้แทนข้อมูลภาพ และถ้ารูปภาพเป็นแบบดิจิทัลกระบวนการแปลงเวฟเลตที่นิยมคือ ดิสกรีตเวฟเลตทรานสฟอร์ม (Discrete wavelet transform, DWT) ซึ่งกระบวนการ DWT จะประกอบไปด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter) และตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass filter) โดยใช้วิธีการกรองแบบอิตเทอเรท (Iterated filtering) และใช้เทคนิคแบบดาวน์แซมปลิง (Downsampling techniques) โดยที่การดาวน์แซมปลิงจะเป็นการกำหนดขนาดสเกลซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขนาดคือ เกลขนาดใหญ่ (Coarse) และสเกลขนาดเล็ก (Fine) เนื่องจากข้อมูลรูปภาพจะเป็นแบบ 2 มิติ คือมีองค์ประกอบในแนวนอนและแนวตั้ง และเพื่อลดความซับซ้อน ดังนั้นในการแปลงสัมประสิทธิ์จะทำแยกกันระหว่างองค์ประกอบแนวนอนและแนวตั้ง โดยในภาพที่ 1 แสดงค่าช่วงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงครั้งแรก 4 ค่า (LL_1, LH_1, HL_1, HH_1) ซึ่งตัวอักษรแรกของแต่ละชื่อแสดงชนิดของตัวกรองที่ใช้ในองค์ประกอบแนวนอน และอักษรตัวหลังแสดงชนิดในแนวตั้ง หลังจากนั้นช่วง LL_1 จะถูกนำไปแปลงต่อออกเป็น 4 ค่า เช่นเดียวกับครั้งแรกซึ่งจะได้ออกมาเป็น LL_2, LH_2, HL_2, HH_2 โดยการแปลงจะดำเนินต่อไปจนถึงจำนวนที่ได้กำหนดไว้

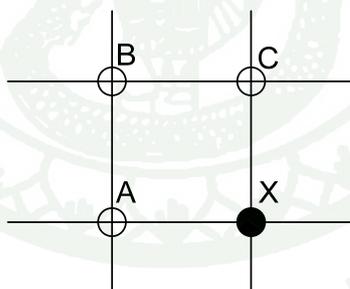


ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการแปลงเวฟเลตแบบดิสกรีตเวฟเลตทรานสฟอร์ม

ในงานวิจัยนี้ใช้รูปภาพ Lena ขนาด 512×512 จุดภาพ (Pixel) นำมาบีบอัดข้อมูลโดยใช้เทคนิคเอ็มแพ็กไฟว์เอ็มเบสเคตซีโรทรีเวฟเลต (MPEG-4 Embedded Zerotree Wavelet, MPEG-4 EZW) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีลักษณะคล้ายกับ EZW โดยกระบวนการดิสกรีตเวฟเลตทรานสฟอร์ม (DWT) ใช้ Daubechies (9,15) tap biorthogonal เป็นตัวกรองความถี่ โดยมีการแปลงสัมประสิทธิ์ 5 ระดับ ซึ่งจะได้สัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำ (Lowest Frequency Subband, LFS) และสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูง (Higher Frequency Subband, HFS) สัมประสิทธิ์ทั้งสองแบบจะถูกเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีการที่ต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการป้องกันความผิดพลาดของสัมประสิทธิ์ทั้งสองแบบต่างกัน โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

1.1 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำ (LFS)

กระบวนการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำเริ่มจากกระบวนการสเกลาร์ควอนไทซ์เซชัน (Scalar Quantization) จากนั้นส่งข้อมูลที่ได้ออกไปยังกระบวนการดิฟเฟอเรนเชียลโคดมอดูเลชัน (Differential Pulse Code Modulation, DPCM) โดยเริ่มต้นจากการทำนายค่าสัมประสิทธิ์ (\hat{X}) ของสัมประสิทธิ์แต่ละตัว (X) จากสัมประสิทธิ์ใกล้เคียงอีก 3 ตัวคือ A, B, C ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งค่าสัมประสิทธิ์ X และสัมประสิทธิ์ใกล้เคียง

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์รีซิดิวล (Residual Coefficient) จากผลต่างระหว่างค่าที่ทำนาย (\hat{X}) กับค่าสัมประสิทธิ์ X โดยในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์ (\hat{X}) กำหนดเงื่อนไขได้ดังนี้

$$\text{IF } (|A - B|) < (|A - C|),$$

$$\text{then } \hat{X} = C$$

$$\text{else } \hat{X} = A$$

$$\text{The residual} = X - \hat{X}$$

สำหรับการถอดรหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำจะทำกลับกันกับการเข้ารหัส เริ่มต้นโดยกระบวนการอินเวอร์ท DPCM เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์จริงจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ซิงควอลตามเงื่อนไขด้านล่าง จากนั้นเข้าสู่กระบวนการอินเวอร์ทกระบวนการสเกลาร์ควอนไทซ์เซชันเพื่อคืนค่าสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำ

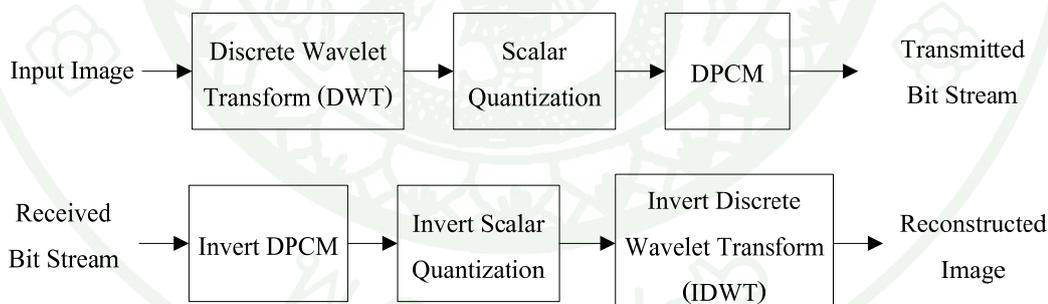
$$\text{IF } (|A - B|) < (|A - C|),$$

$$\text{then } \hat{X} = C$$

$$\text{else } \hat{X} = A$$

$$X = \hat{X} + \text{The residual}$$

จากกระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำจากข้างต้นสามารถแสดงโครงสร้างได้ดังภาพที่ 3



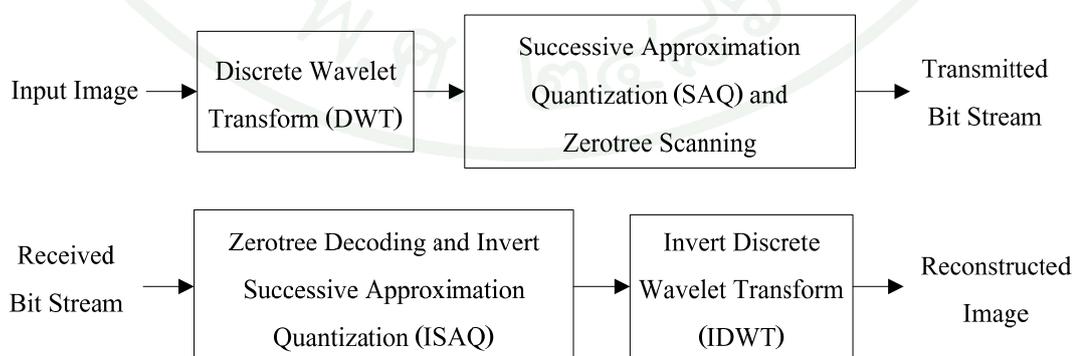
ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างการเข้ารหัสและถอดรหัสของสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำ

1.2 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูง (HFS)

การเข้ารหัสภาพของสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูงใช้กระบวนการอะพрокซิเมชันควอนไทซ์เซชัน (Approximation Quantization) ซีโรทรีสแกนนิ่ง (Zerotree Scanning) และสัมประสิทธิ์จะถูกแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือซีโรทรีรูท (Zerotree root, ZTR), ไอโซเลทซีโร (Isolated

Zero, IZ), แวลิกซีโรทรีรูท (Valued Zerotree Root, VZTR) และแวลิก (Value, VAL) ซึ่งในการควอนไทซ์นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือควอนไทซ์เพียงครั้งเดียว (Single Quantization) และแบบควอนไทซ์หลายครั้ง (Multi-Quantization) โดยในงานวิจัยนี้ใช้การควอนไทซ์เพียงครั้งเดียว โดยใช้มัลติเลเวลควอนไทเซอร์ (Multi-level Quantizer) จากนั้นสัมประสิทธิ์จะถูกแบ่งเข้าสู่โครงสร้างทรี โดยเริ่มเรียงลำดับสัมประสิทธิ์จากช่วง LH₃, HL₃, LH₃, HH₃, HL₂, LH₂, HH₂ และต่อด้วยสัมประสิทธิ์ในช่วงถัดไป จากนั้นสัมประสิทธิ์จะถูกแบ่งออกเป็น 4 แบบ โดยมีเงื่อนไขคือ เมื่อสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่าจุดขีดแบ่ง สัมประสิทธิ์จะอยู่ในกลุ่ม ZTR ถ้าสัมประสิทธิ์ถูกทุกตัวน้อยกว่าจุดขีดแบ่ง สัมประสิทธิ์จะอยู่ในกลุ่ม IZ ถ้ามีสัมประสิทธิ์ถูกอย่างน้อยหนึ่งตัวมากกว่าจุดขีดแบ่ง และถ้าสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าจุดขีดแบ่ง สัมประสิทธิ์จะอยู่ในกลุ่ม VZTR ถ้าสัมประสิทธิ์ถูกทุกตัวมีค่าน้อยกว่าจุดขีดแบ่ง และสัมประสิทธิ์จะอยู่ในกลุ่ม VAL ถ้ามีสัมประสิทธิ์ถูกอย่างน้อยหนึ่งตัวมีค่ามากกว่าจุดขีดแบ่ง เมื่อกระบวนการดังกล่าวเสร็จสิ้นจะวนกลับมาทำกระบวนการทรีถัดไป

กระบวนการถอดรหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูงจะใช้กระบวนการซีโรทรีดีโคดดิ้ง (Zerotree Decoding) และอินเวิร์ทซัคเซสซิฟอะพрокซิเมชันควอนไทซ์เซชัน (Inverse Successive Approximation Quantization) ตามลำดับเพื่อรีเซตค่าสัมประสิทธิ์กลับสู่ค่าเดิม เริ่มจากการนำค่าขีดแบ่งและสัญลักษณ์ซีโรทรีเข้ามาในกระบวนการ จากนั้นเซตค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดให้เป็นศูนย์ และถ้าสัญลักษณ์ที่รับมาเป็น VZTR และ VAL จะใช้ค่าขีดแบ่งเพิ่มค่าของสัมประสิทธิ์นั้น แต่ถ้าสัมประสิทธิ์ที่รับมาเป็น ZTR และ IZ จะยังคงค่าเดิม และทำปรับค่าระดับขีดแบ่งก่อนทำการรหัสครั้งต่อไป จากนั้นใช้กระบวนการอินเวิร์ท DWT เพื่อแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตกลับเป็นรูปภาพ กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูงจากข้างต้นสามารถแสดงโครงสร้างได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างการเข้ารหัสและถอดรหัสของสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่สูง

2. กระบวนการส่งและรับข้อมูลภาพแบบ MPEG-4

2.1 การเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Encoder)

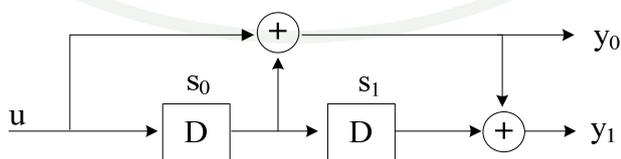
การเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอล (n, k, m) เป็นวิธีการรูปแบบหนึ่งที่ป้องกันความผิดพลาดจากการส่งข้อมูล โดยกำหนดเงื่อนไขสำคัญลักษณะ n คือจำนวนข้อมูลขาเข้า, k คือจำนวนข้อมูลขาออก และ m คือจำนวนชั้นของรีจิสเตอร์ และมีอัตราส่วนการเข้ารหัสคือ k/n และความยาวของรหัสคือ $(m+1)k$ รหัสคอนโวลูชันนอลสามารถแสดงค่าอินพุตและเอาต์พุตในเทอมของยูนิทไทม์ดีเลย์ (Unit Time Delay, D) ได้ดังสมการ

$$u(D) = u_0 + u_1D + u_2D^2 + \dots \quad (1)$$

และ

$$y(D) = y_0 + y_1D + y_2D^2 + \dots \quad (2)$$

โดย $u_i = (u_{0,i}, u_{1,i}, \dots, u_{k-1,i})$ และ $y_i = (y_{0,i}, y_{1,i}, \dots, y_{n-1,i})$ เป็นข้อมูลขาเข้าและขาออกตามลำดับ โดย Generator matrix ($G(D)$) ของรหัสคอนโวลูชันนอลซึ่งกำหนดในรูปเมตริกซ์พหุนามขนาด $k \times n$ ในเทอมของ D มีความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของรหัสคอนโวลูชันนอลคือ $y(D) = u(D)G(D)$ หรือข้อมูลขาออกจะเป็นรหัสคำ (Codeword) ที่สร้างจาก $G(D)$ โดยมีค่าสอดคล้องตามค่าอินพุต ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างของการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอลโดยตัวแปร S_0 และ S_1 คือรีจิสเตอร์ตัวที่หนึ่งและสองตามลำดับ และตัวแปร SN หมายถึงเลขชี้สถานะ (State Number) โดยเอาต์พุตตัวแรกคือ y_0 และเอาต์พุตตัวที่สองคือ y_1 โดยเอาต์พุตจะถูกกำหนดจากชั้นสถานะและค่าอินพุต โดยเริ่มต้นกำหนดชั้นสถานะเท่ากับศูนย์ และถ้าอินพุตคือ 0 ดังนั้นจะได้เอาต์พุตคือ $y_0 = 0$ และ $y_1 = 0$



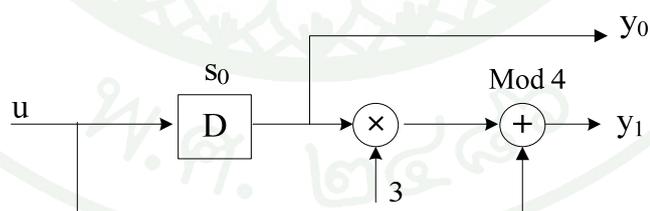
ภาพที่ 5 แสดงแผนภาพการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอลแบบ $G(D) = [D+1, D^2 + D+1]$

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอล

u	SN_1	SN_0	SN	y_1	y_0
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	1	0
1	0	1	1	0	1
0	1	0	2	1	1
1	1	0	2	0	0
0	1	1	3	0	1
1	1	1	3	1	0

2.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบริงคอนโวลูชันนอล (Ring Convolutional Encoder)

การเข้ารหัสแบบริงคอนโวลูชันนอลเป็นการเข้ารหัสโดยใช้มอดูโล M โดยมีข้อมูลอยู่ในเซต $Z_M = \{0, 1, \dots, M-1\}$ การเข้ารหัสแบบริงคอนโวลูชันนอลที่มีอัตราการเข้ารหัส k/n มีโครงสร้างคล้ายกับการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันนอลที่มีข้อมูลแบบไบนารี ในภาพที่ 6 แสดงแผนภาพการเข้ารหัสแบบริงคอนโวลูชันนอล โดยสามารถคำนวณจำนวนจำนวนสเตจได้จาก M^m โดย M คือจำนวนของข้อมูลใน Z_M และ m คือจำนวนของดีเลย์



ภาพที่ 6 แสดงแผนภาพการเข้ารหัสแบบริงคอนโวลูชันนอล

2.3 การถอดรหัสช่องสัญญาณ

การถอดรหัสคอนโวลูชันนอล (Convolutional Decoder) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การถอดรหัสแบบพีชคณิต และการถอดรหัสแบบความน่าจะเป็น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การถอดรหัสแบบความน่าจะเป็นที่เรียกว่า การถอดรหัสแบบวิเทอร์บี (Viterbi Decoder) (Viterbi, 1967) ซึ่งการถอดรหัสแบบวิเทอร์บีจะเป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากการถอดรหัสแบบวิเทอร์บีสามารถแก้ไขความผิดพลาดจากการรบกวนข้อมูลแบบเดียวได้ โดยกระบวนการถอดรหัสจะหาเส้นทางของข้อมูลที่ได้รับให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดและสามารถแก้ปัญหาในการหาความน่าจะเป็นของลำดับเหตุการณ์แบบ Maximum a posteriori (MAP) ในกระบวนการแบบมาร์คอฟ (Markov Process) ที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาและมีสถานะจำกัด ซึ่งกระบวนการที่กล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการแบบมาร์คอฟ คือมีค่าความน่าจะเป็นของสถานะ x_k ที่เวลา k โดยกำหนดให้ทุกๆ สถานะที่เวลา 0 ถึง $k-1$ ขึ้นอยู่กับสถานะที่ x_{k-1} ที่เวลา $k-1$ ดังสมการ

$$P(x_k | x_0, x_1, \dots, x_{k-1}) = P(x_k | x_{k-1}) \quad (3)$$

การเข้ารหัสคอนโวลูชันนอลที่อัตราการเข้ารหัส k/n สามารถมองเป็นกระบวนการมาร์คอฟที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาและมีสถานะจำกัดได้โดยที่แผนภาพสถานะของการเข้ารหัสคอนโวลูชันนอลสามารถแสดงเส้นทางเชื่อมต่อทุกๆ เส้นทางระหว่างสถานะก่อนหน้า x_{k-1} ที่เวลา $k-1$ และสถานะปัจจุบัน x_k ที่เวลา k ซึ่งความน่าจะเป็น $P(x_k | x_{k-1})$ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็น $P(u_k | u_{k-1})$ โดย u_k คือ บิตข้อมูล ซึ่งปัญหาในการหาลำดับของการถอดรหัสแบบ MAP คือต้องหาลำดับสถานะที่ $P(x|z)$ มีค่ามากที่สุด โดยที่ z คือลำดับที่สังเกตที่สัมพันธ์กับสถานะ x หรือการหาลำดับสถานะที่ $P(x, z) = P(x|z)P(z) = P(z|x)P(x)$ มีค่ามากที่สุด โดยความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นร่วมกันของสถานะ x แสดงดังสมการ

$$\begin{aligned} P(x) &= P(x_0, x_1, \dots, x_{K-1}) \\ &= P(x_{K-1} | x_{K-2}, \dots, x_0) P(x_{K-2} | x_{K-3}, \dots, x_0) \dots P(x_1 | x_0) P(x_0) \end{aligned} \quad (4)$$

เนื่องจากคุณสมบัติของกระบวนการมาร์คอฟในสมการที่ (3) ดังนั้นสมการที่ (4) สามารถลดรูปได้ดังสมการ

$$P(x) = P(x_{K-1} | x_{K-2}) P(x_{K-2} | x_{K-3}) \dots P(x_1 | x_0) P(x_0) \quad (5)$$

และจากคุณสมบัติของกระบวนการมาคอฟและสัญญาณรบกวนแบบที่ไม่มีหน่วยความจำ ได้ตั้งสมการ

$$\arg \max_x P(z|x)P(x) = \arg \max_x \prod_{k=1}^{K-1} P(z_k|x_k, x_{k-1})P(x_k|x_{k-1}) \quad (6)$$

เนื่องจากฟังก์ชัน Natural log, $\ln(\cdot)$ เป็น Monotonic Function ดังนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสมการที่ (6) โดยไม่ทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นสมการด้านขวาของสมการที่ (6) เปลี่ยนเป็น

$$\arg \max_x \sum_{k=1}^{K-1} \ln P(z_k|x_k, x_{k-1}) + \ln P(x_k|x_{k-1}) \quad (7)$$

นอกจากนี้ถ้ามีการกำหนดให้แต่ละเมตริกซ์ของแต่ละเส้นทางเป็น

$$\lambda(x_k, x_{k-1}) \triangleq -\ln P(z_k|x_k, x_{k-1}) - \ln P(x_k|x_{k-1}) \quad (8)$$

ทำให้สมการที่ (7) สามารถเปลี่ยนรูปสมการเป็น

$$\arg \min_x \sum_{k=1}^{K-1} \lambda(x_k, x_{k-1}) \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมของการถอดรหัสวีเทอร์บีมีความเกี่ยวข้องเนื่องกับการหาค่าระยะทางที่สั้นที่สุดในแผนภาพเทลลิส

2.4 การสลับลำดับข้อมูล

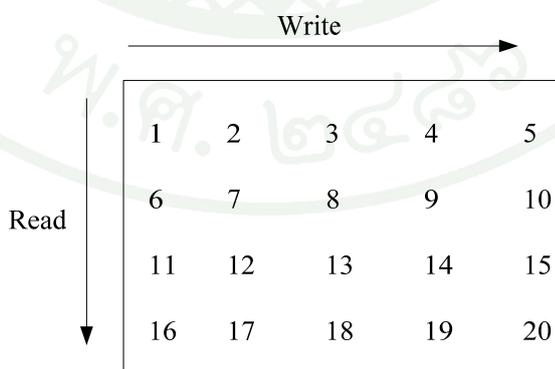
กระบวนการสลับลำดับข้อมูล เป็นเทคนิคที่ใช้แก้ปัญหาข้อมูลที่มีความผิดพลาดแบบกลุ่มโดยการเปลี่ยนแปลงลำดับของข้อมูล จากเดิมข้อมูลที่อยู่ติดกันเมื่อผ่านกระบวนการสลับลำดับข้อมูลจะกระจายออกจากกัน หรือทำให้ข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและป้องกันกระบวนการที่มีลักษณะแบบกลุ่มที่เกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ และทำให้กระบวนการถอดรหัสสามารถแก้ไขความผิดพลาดได้

กระบวนการสลับข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบหลักๆ คือ การสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อก (Block Interleavers) การสลับลำดับข้อมูลแบบสุ่ม (Random Interleavers) การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Interleavers) (Sklar, 2001) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละแบบต่อไป ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลซึ่งมีลักษณะผสมผสานระหว่างการสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อกและแบบสุ่ม

2.4.1 การสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อก

วิธีการสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อก เริ่มต้นจากกำหนดขนาดของเมตริกซ์ให้เหมาะสมกับปริมาณของข้อมูล หรือมีขนาด M แถวและ N คอลัมน์ จากนั้นนำข้อมูลแต่ละตัวใส่ลงในเมตริกซ์ทีละคอลัมน์ โดยเริ่มจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวา เมื่อเขียนข้อมูลในเมตริกซ์ครบแล้วจึงนำข้อมูลออกจากเมตริกซ์โดยนำข้อมูลออกทีละแถวเริ่มจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง โดยกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับจะมีขั้นตอนที่ตรงกันข้ามกัน คือเริ่มเขียนทีละแถว จากนั้นจึงนำข้อมูลออกทีละคอลัมน์ ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบการสลับข้อมูลแบบบล็อกโดยข้อมูลอินพุตคือเลขจำนวน 1-20 และจากรูปจะเห็นว่าข้อมูลหลังการสลับลำดับคือ “1, 6, 11, 16, 2 ...”

ตัวอย่างการนำวิธีสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อกมาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลภาพผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายภายในอาคารอาคาร (Mahapakulchai and Thongnumpen, 2007) ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวสรุปได้ว่าเมื่อมีการประยุกต์ใช้การสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ 10 dB (PSNR)



ภาพที่ 7 แสดงแผนภาพการสลับลำดับข้อมูลแบบบล็อก

2.4.2 การสลับลำดับข้อมูลแบบสุ่ม

งานวิจัยที่นำการทำงานของ การสลับลำดับข้อมูลแบบสุ่ม (Mahapakulchai and Sapisirisophon, 2008a; Mahapakulchai and Sapisirisophon, 2008b) มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารข้อมูลภาพ ซึ่งสลับลำดับข้อมูล โดยการนำเวกเตอร์ข้อมูลคูณกับเมตริกซ์เอกลักษณ์แบบสุ่มซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$d_{INT} = dP \quad (10)$$

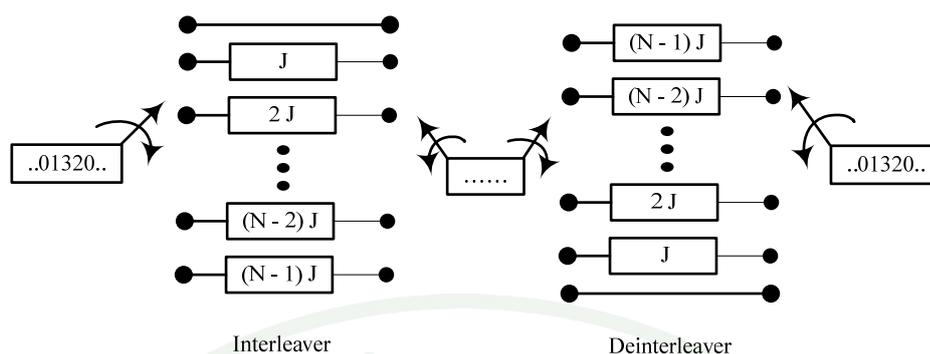
โดยที่ d คือเวกเตอร์ข้อมูล และ P คือเมตริกซ์เอกลักษณ์แบบสุ่มขนาด $L_T \times L_T$ ในส่วนของการสลับลำดับข้อมูลกลับ สามารถทำได้โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสลับลำดับข้อมูลคูณกับ ทรานโพสิชันของเมตริกซ์เอกลักษณ์แบบสุ่ม แสดงดังสมการ

$$d = d_{INT} P^T \quad (11)$$

และจากการค้นคว้างานวิจัยดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการสลับลำดับข้อมูลแบบสุ่มให้เป็นแบบกิ่งสุ่มได้ซึ่งทั้ง 2 แบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้การสื่อสารข้อมูลภาพผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายได้

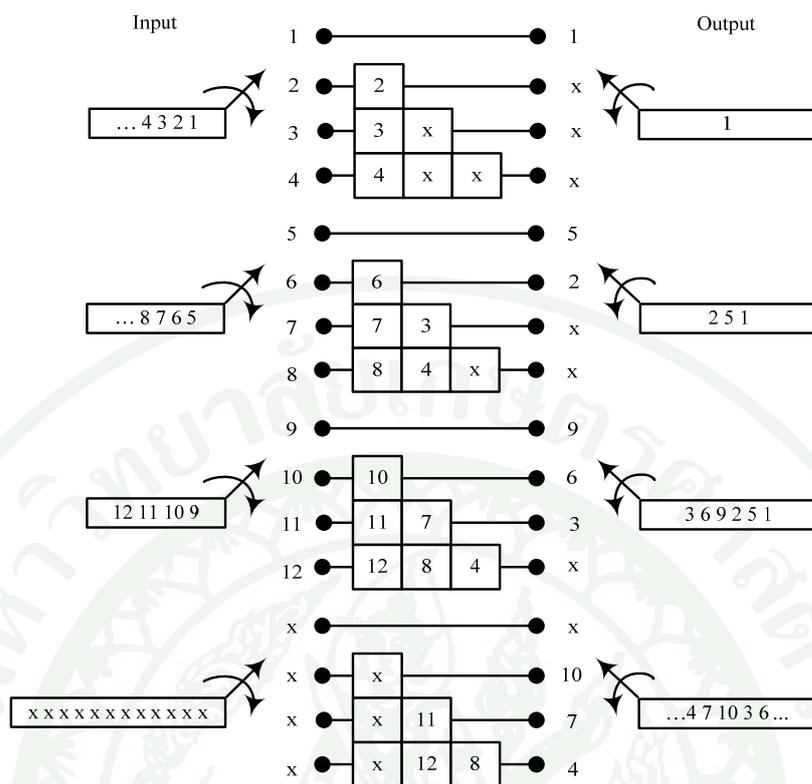
2.4.3 การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล

โครงสร้างและการทำงานของ การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลถูกนำเสนอโดย Ramsey และ Ferney (Ramsey, 1970; Ferney, 1971) ซึ่งประกอบด้วยรีจิสเตอร์แบบเลื่อน (Shift register) จำนวน N ตัว ซึ่งในแต่ละตัวมีขนาดการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยที่รีจิสเตอร์ตัวแรกจะไม่มีกรเก็บข้อมูล รีจิสเตอร์ตัวที่สองมีขนาดการเก็บข้อมูล J ข้อมูลและขนาดจะเพิ่มขึ้นหนึ่งข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวต่อไปจนถึงรีจิสเตอร์ตัวที่ N และวงจรเลือกข้อมูลจำนวน 2 ชุด แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงโครงสร้างของการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล

กระบวนการทำงานจะเริ่มต้น โดยวงจรเลือกข้อมูลชุดแรกทำหน้าที่ป้อนข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์ โดยเริ่มต้นป้อนข้อมูลแรกเข้าสู่รีจิสเตอร์ตัวแรกและเลื่อนไปป้อนข้อมูลที่สองเข้าสู่รีจิสเตอร์ตัวที่สองและป้อนข้อมูลต่อไปยังรีจิสเตอร์ตัวถัดไปจนถึงตัวที่ N และวนซ้ำกลับไปรีจิสเตอร์ตัวแรก และวงจรเลือกข้อมูลชุดที่สองทำหน้าที่เลือกข้อมูลออกจากรีจิสเตอร์ โดยทำงานพร้อมกับชุดแรก ในโครงสร้างการทำงานของการสลับลำดับข้อมูลกลับ มีลักษณะองค์ประกอบและการทำงานเหมือนกับการสลับลำดับข้อมูล แต่แตกต่างกันที่รีจิสเตอร์โดยจะวางตำแหน่งสลับกัน กล่าวคือรีจิสเตอร์ตัวแรกของกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับ จะมีขนาดเท่ากับรีจิสเตอร์ตัวที่ N ของกระบวนการสลับลำดับข้อมูล และขนาดจะลดลงหนึ่งข้อมูลจนถึงรีจิสเตอร์สุดท้ายซึ่งไม่มีการเก็บข้อมูล (ข้อมูลจะส่งผ่านโดยไม่มีการเก็บค่า) ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล แสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งมีรีจิสเตอร์สี่ตัว ($N = 4$, $J = 1$) กำหนดให้ X แทนข้อมูลที่ไม่ทราบค่าและข้อมูลก่อนการสลับลำดับคือ “1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16” ในขั้นแรกข้อมูลถูกวงจรเลือกข้อมูลป้อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ตัวที่หนึ่งถึงตัวที่สี่ตามลำดับ ซึ่งรีจิสเตอร์ตัวแรกไม่มีการเก็บค่าดังนั้นข้อมูลจึงถูกดึงออก ส่วนข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ที่สองถึงสี่จะถูกเก็บไว้ วงจรเลือกข้อมูลออกจะนำข้อมูลออกจากรีจิสเตอร์ซึ่งในครั้งแรกข้อมูลที่ต้องนำออกคือ “1XXX” แต่ในทางการปฏิบัติจริงนั้นวงจรเลือกข้อมูลจะรับเฉพาะค่าที่ทราบ เพราะฉะนั้นข้อมูลที่ออกคือ “1” ซึ่งการทำงานจะวนซ้ำเดิมเช่นนี้จนข้อมูลชุดสุดท้ายถูกป้อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ หลังเสร็จกระบวนการข้อมูลที่ออกจากกระบวนการสลับลำดับข้อมูล คือ “1 5 2 9 6 3 13 10 7 4 14 11 8 15 12 16” ซึ่งจะเห็นว่าลำดับข้อมูลจะแตกต่างไปจากข้อมูลขาเข้า ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายไปสู่กระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับ เพื่อจัดเรียงลำดับของข้อมูลกลับสู่ลำดับของข้อมูลตั้งต้น



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างการทำงานของกรสลับลำดับข้อมูลแบบคอน โวลูชันนอล

2.5 การมอดูเลชันและการดีมอดูเลชัน

ในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการมอดูเลชันแบบเฟสต่อเนื่อง (Continuous phase modulation, CPM) (Rimoldi, 1988) ซึ่งเป็นวิธีการมอดูเลตข้อมูลดิจิทัลไม่เชิงเส้นแบบมีหน่วยความจำ เนื่องจากเฟสของสัญญาณแบบ CPM มีความต่อเนื่องกันดังนั้นสัญญาณจึงขึ้นกับข้อมูลที่ถูส่ง การมอดูเลตสัญญาณแบบ CPM จึงเป็นที่นิยมและยังเป็นวิธีการที่เหมาะสม เนื่องจากมีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านช่องสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยทั่วไปการมอดูเลตสัญญาณแบบ CPM จะส่งสัญญาณในรูปแบบของ

$$sm(t, \underline{\alpha}) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t, \underline{\alpha}) + \varphi_0) \tag{12}$$

โดยที่ $\underline{\alpha}$ คือ ลำดับของสัญลักษณ์แบบ M -ary ที่ไม่สัมพันธ์กัน และ $\alpha_i \in \{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)\}$ โดยเฟสที่ใช้ในการส่งข้อมูล $\varphi(t, \underline{\alpha})$ สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\varphi(t, \underline{\alpha}) = 2\pi h \sum_{i=-\infty}^{\infty} \alpha_i f(t - iT), \quad -\infty < t < \infty \quad (13)$$

โดย h คือ Modulation Index และ $f(t)$ คือ ผลตอบสนองเชิงเฟสที่แถบความถี่ฐานในเทอมของพัลส์ความถี่ $g(t)$ โดย $f(t) = \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau$, $-\infty < t < \infty$ และในกรณีที่ CPM เป็นรูปแบบสมมาตร $g(t)$ ต้องจะอยู่ในเกณฑ์ $g(t) = 0$, $t < 0$, $t > LT$ และ $g(t) \neq 0$, $0 \leq t \leq LT$ ดังนั้นสามารถแสดงเฟสที่ใช้ในการส่งข้อมูลภายในช่วงข้อมูลทั้งหมดได้ดังสมการที่

$$\varphi(t, \underline{\alpha}) = \pi h \sum_{i=-\infty}^{n-L} \alpha_i + 2\pi h \sum_{i=n-L+1}^n \alpha_i f(t - iT), \quad nT \leq t \leq (n+1)T \quad (14)$$

แบบแผน CPM จะถูกกำหนดค่าโดยตัวแปร h , M และ $g(t)$ (or $f(t)$) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ $g(t)$ ในรูปแบบของ Rectangular (L -REC)

$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2LT}, & 0 \leq t \leq LT \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

หรือฟังก์ชัน raised cosine (L -RC)

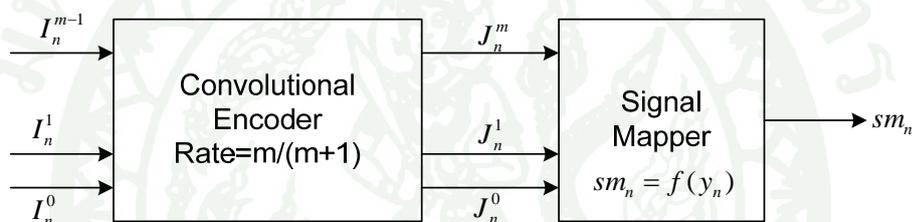
$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2LT} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{LT}\right) \right], & 0 \leq t \leq LT \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

ถ้าค่า $L=1$ เรียกว่า *full response* CPM และถ้าค่า $L>1$ จะเรียกว่า *partial response* CPM ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณแบบ CPFSK จะเป็นกรณีพิเศษของการมอดูเลตสัญญาณแบบ *full response* CPM ที่ผลตอบสนองเชิงเฟสเชิงเส้นที่แถบความถี่ฐาน

2.6 การมอดูเลตรหัสเทลลิสของกระบวนการ CPM

กระบวนการเทลลิสโคดมอดูเลชัน (Trellis-coded modulation, TCM) เป็นเทคนิคที่มีการรวมการเข้ารหัสและมอดูเลตสัญญาณเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลดิจิทัล กระบวนการแบบ TCM เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้กับช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด หน้าที่ของ

วิธีการ TCM คือสร้างแฉกสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสโดยวิธีการรวมการเข้ารหัสแบบจำกัดขั้น (Finite-state) และการเลือกสัญญาณมอดูเลต หลักการของการออกแบบวิธีการ TCM คือ การออกแบบกระบวนการเข้ารหัสและกระบวนการมอดูเลตสัญญาณร่วมกัน โดยการขยายขีดสูงสุดของระยะทางสั้นที่สุดที่เรียกว่า “free distance” ของแฉกหัสสัญญาณ ทำให้เกิดการสร้างรหัสสัญญาณที่มีค่า free distance ทั้งหมดมากกว่าระยะห่างน้อยสุดระหว่างสัญญาณที่ไม่ได้เข้ารหัสที่อัตราการส่งข้อมูลเดียวกันและที่ค่าความกว้างช่องสัญญาณเดียวกัน ภาพที่ 10 แสดงแผนภาพของกระบวนการ TCM โดยแฉกข้อมูลกำหนดเป็น $\underline{I} = (I_0, I_1, \dots, I_n, \dots)$ โดยที่ $I_n = (I_n^0, I_n^1, \dots, I_n^{m-1})$ กับการเข้ารหัสคอนโวลูชันนอลที่มีอัตราการเข้ารหัสข้อมูลเท่ากับ $m/m+1$ จะสร้างแฉกข้อมูลที่ถูกเข้ารหัส $\underline{J} = (J_0, J_1, \dots, J_n, \dots)$ โดยที่ $J_n = (J_n^0, J_n^1, \dots, J_n^{m+1})$ จากนั้นนำรหัสที่ได้ไปจับคู่กับสัญญาณ $\underline{sm} = (sm_0, sm_1, \dots, sm_n, \dots)$



ภาพที่ 10 แสดงแผนภาพกระบวนการเทลลิสโคดมอดูเลชัน (TCM)

3. ช่องสัญญาณแบบไร้สาย

3.1 ช่องสัญญาณแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN)

แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อน (Thermal Noise) และมีความหนาแน่นเชิงความถี่ (Spectral Density) เกิดขึ้นอย่างชัดเจนบนช่วงของความถี่ ซึ่งสัญญาณรบกวนนั้นจะถูกเรียกว่าสัญญาณรบกวนสีขาว (White Noise) สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักกระบวนการสุ่มแบบเกาส์เซียน ซึ่งสามารถแสดงค่า Power Spectral Density (PSD) ของสัญญาณดังกล่าวได้ดังสมการ

$$S_n(\omega) = \frac{N_0}{2} \quad \text{watts/Hz} \quad (17)$$

และสามารถแสดงสมการ Autocorrelation ของสัญญาณรบกวนสีขาวได้ดังสมการ

$$R_m(\tau) = F^{-1}(S_n(\omega)) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau) \quad (18)$$

โดยโอเปอเรเตอร์ $F^{-1}(\cdot)$ คือ การแปลงกลับฟูเรียร์ และจากสมการที่ (18) ทำให้ทราบว่า สัญญาณ 2 ค่าที่แตกต่างกันของค่า Zero Mean Gaussian White Noise จะไม่สัมพันธ์กันและเป็นอิสระต่อกัน ในระบบสื่อสารข้อมูลดิจิทัลนั้น ข้อมูลดิจิทัลจะถูกส่งโดยการใส่รูปคลื่น M สัญญาณ ซึ่งสามารถเขียนแทนโดย $s_m(t), m=1,2,\dots,M$ โดยที่แต่ละสัญญาณจะถูกส่งภายในช่วงเวลาสัญญาณ T และถูกรบกวนโดย AWGN ดังนั้นสามารถแสดงสมการสัญญาณที่ได้รับในช่วงเวลา $0 \leq t \leq T$ ได้ดังสมการ

$$r(t) = s_m(t) + n_\omega(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (19)$$

โดย $n_\omega(t)$ แทนฟังก์ชันของกระบวนการ AWGN ที่มี PSD ดังสมการที่ (17) และสามารถแสดงสมการของสัญญาณ $s_m(t)$ ได้ดังสมการ

$$s_m(t) = \text{Re}[s_{ml}(t)e^{j\omega_c t}] \quad (20)$$

โดยที่โอเปอเรเตอร์ $\text{Re}[x]$ คือจำนวนจริงของค่า x และ $s_{ml}(t)$ ซึ่งปกติมักจะอยู่ในรูปของ Complex envelope ของ $s_m(t)$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการสมมูลความถี่ต่ำผ่าน (Equivalent lowpass) ของสัญญาณที่ได้รับดังสมการที่ 21 โดยที่ n_{wl} คือ Complex Envelope ของ $n_\omega(t)$

$$r_l(t) = s_{ml}(t) + n_{wl}(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (21)$$

3.2 ช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายของสัญญาณ (Fading Channel)

แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการเลือนหาย (Fading Channel) เป็นการจำลองช่องสัญญาณแบบไร้สายซึ่งศึกษาถึงคุณลักษณะช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายของสัญญาณ โดยแบบจำลองการเลือนหายที่เป็นที่นิยม คือ แบบจำลองการเลือนหายแบบไรเซอ (Rician Fading) และ แบบจำลองการเลือนหายแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading) ซึ่งแบบจำลองทั้งสองแบบสัญญาณที่

มาถึงฝั่งรับจะเป็นสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทางซึ่งอาจเกิดจากการสะท้อนหรือหักเหจากละอองน้ำในอากาศ หรือโครงสร้างอาคาร และอย่างน้อยสัญญาณจากหนึ่งเส้นทางเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกลดทอน โดยจุดแตกต่างกันระหว่างแบบจำลองทั้งสองคือ ในการเลือนหายแบบไร้เชิงจะมีองค์ประกอบของสัญญาณที่มีความแข็งแรงมากกว่าสัญญาณอื่นอยู่ อย่างเช่น สัญญาณที่มาจากเส้นทางที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง (line of sight Signal) ซึ่งในการเลือนหายแบบเรย์ลีจะไม่มีองค์ประกอบดังกล่าวอยู่นอกจากนั้นการเลือนหายของสัญญาณสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือการเลือนหายของสัญญาณเชิงขนาด (Flat Fading) และการเลือนหายของสัญญาณในเชิงความถี่ (Frequency-Selective Fading) ซึ่งการเลือนหายเชิงขนาดนั้นทุกองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณถูกลดทอนโดยค่าคงที่ค่าหนึ่งและสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือแบบช้า (Slow Flat Fading) โดยการเปลี่ยนแปลงในเชิงขนาดมีค่าคงที่อย่างน้อยภายในช่วงสัญญาณข้อมูลหนึ่งข้อมูล และแบบเร็ว (Fast Flat Fading) ซึ่งเกิดในทางตรงกันข้ามกล่าวคือการเปลี่ยนแปลงในเชิงขนาดมีค่าเปลี่ยนไปภายในช่วงสัญญาณข้อมูลนั้นๆ ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงสัญญาณที่ฝั่งรับในกรณีการเลือนหายเชิงขนาดแบบช้าได้ดังสมการ

$$r(t) = (\sqrt{2S} + \sqrt{x_i^2(t) + x_q^2(t)}) \cos(\omega_c t + \theta(t)) + n_w(t) \quad (22)$$

โดย $x_i(t)$ และ $x_q(t)$ คือองค์ประกอบอินเฟสและควอดเรเจอร์เฟส (In-phase and Quadrature phase) ของสัญญาณกระเจิงซึ่งเป็นค่าตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ σ^2 โดย S คือกำลังสัญญาณ (Signal power) และ $n_w(t)$ คือสัญญาณรบกวนสีขาวแบบเกาส์เซียน (White Gaussian noise) ที่ความเข้มเชิงสเปกตรัม $N_0/2$ และถ้าสัญญาณความถี่ฐานที่ถูกส่งคือ $s_i(t)$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการสมมูลตัวกรองความถี่ต่ำผ่านของสัญญาณที่ฝั่งรับได้ดังสมการ

$$r_i(t) = (1 + \beta e^{-j\phi}) s_i(t) + n_{ol}(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (23)$$

โดยที่ $n_{ol}(t)$ คือค่าเชิงซ้อนของสัญญาณรบกวนที่มีกระบวนการสุ่มแบบเกาส์เซียน และเนื่องจากกำหนดให้ช่องสัญญาณเป็นแบบช้า ดังนั้นสามารถจัดค่าการเลือนเฟส (ϕ) จากสัญญาณทางฝั่งรับได้และถ้ากำหนดค่า ϕ เท่ากับศูนย์ตัวแปร β จะถูกกำหนดโดย

$$\beta = \sqrt{\left[\frac{x_i(t)}{\sqrt{2S}} \right]^2 + \left[\frac{x_q(t)}{\sqrt{2S}} \right]^2} \quad (24)$$

กำหนดให้ γ_b เป็น $(1 + \beta)^2 E_s / N_0$ ดังนั้นความน่าจะเป็นของ γ_b สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$p(\gamma_b) = \frac{1 + \gamma}{\gamma_b} \exp(-\gamma - (1 + \gamma)\gamma_b / \bar{\gamma}_b) I_0 \left(2 \sqrt{\frac{\gamma(1 + \gamma)\gamma_b}{\bar{\gamma}_b}} \right) \quad (25)$$

โดย

$$\bar{\gamma}_b = E[(1 + \beta^2)] \frac{E_s}{N_0} = \frac{1 + \gamma}{\gamma} E_s / N_0 \quad (26)$$

และ $\gamma = S / \sigma^2$ เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังส่งในเส้นทางตรงและกำลังส่งในเส้นทางกระเจิง ถ้าสัญญาณในเส้นทางตรงถูกกีดขวางจะเป็นช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายแบบเรย์ลีซึ่งสามารถกำหนดโดยให้ตัวแปร S มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับกำลังของสัญญาณของเส้นทางกระเจิง (σ^2)

3.3 การถอดรหัสแบบ MAP บนช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายของสัญญาณ

สมมติให้การเลือนหายของสัญญาณเชิงขนาดแบบซ้ำมีค่าการเลือนทางเฟสมีเท่ากับศูนย์ดังนั้นสมการสมมูลตัวกรองความถี่ต่ำผ่านใตสมการที่ (23) จะถูกลดรูปดังสมการ

$$r_l(t) = (1 + \beta)s_{ml}(t) + n_{wl}(t) \quad (27)$$

และเพื่อสร้างการถอดรหัสแบบ MAP สำหรับกระบวนการ CPFSK นั้นจะต้องสังเกตจากตัวอย่างข้อมูล $z_{k,i}$ ในช่วงเวลา $kT \leq t \leq (k+1)T$ แสดงได้ดังสมการ $z_{k,i} = (1 + \beta)sm_{k,i} + n_{k,i}$ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, N$ สำหรับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหาย ตัวแปร β มีค่าคงที่ระหว่างช่วงเวลาของแต่ละสัญญาณ และสมมติให้ค่าการเลือนหายสามารถกำหนดได้โดยการประมาณค่า Channel State Information (CSI) ดังนั้นข้อมูลจะถูกรวมเข้ากับเมตริกซ์ของการถอดรหัส และค่าความน่าจะเป็นของ CSI สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$P(z_k | x_{2,k+1}, x_{2,k}) = P(z_k | sm_k) = \frac{1}{(\sqrt{\pi N_0})^N} \exp \left[- \sum_{i=1}^N \frac{(z_{k,i} - \alpha sm_{k,i})^2}{N_0} \right] \quad (28)$$

โดยที่ $\alpha = (1 + \beta)$ เมื่อนำสมการที่ (28) แทนในสมการที่ (8) จะได้การคำนวณค่าขนาดในแต่ละเส้นทางบนเทลลิส $\lambda(sm_k)$ คือ

$$\lambda(sm_k) = -\sum_{i=1}^N z_{k,i} sm_{k,i} - \frac{N_0}{2\alpha} \ln P(x_{2,k+1} | x_{2,k}) \quad (29)$$

และเนื่องจากข้อมูลอินพุต u ถูกแบ่งโดยกระบวนการมาคอฟ จะได้เส้นทางเทลลิสใหม่คือ

$$\lambda(sm_k) = -\sum_{i=1}^N z_{k,i} sm_{k,i} - \frac{N_0}{2\alpha} \ln P(u_k | u_{k-1}) \quad (30)$$

ในการรวมส่วนของการเข้ารหัสภายนอกเข้ามาในระบบ จะต้องพิจารณาความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $P(z_k | S_{0,k+1}, S_{0,k})$ แทน $P(z_k | x_{2,k+1}, x_{2,k})$ ซึ่งทำให้มีผลกับขนาดของการเลือนหายของสัญญาณ และจากความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข $P(z_k | S_{0,k+1}, S_{0,k})$ ที่สัมพันธ์ของสมการที่ (28) จะได้สมการการคำนวณค่าขนาดในแต่ละเส้นทางบนเทลลิสดังนี้

$$\lambda(sm_k) = -\alpha_1 \sum_{i=1}^N z_{k,i} sm_{k,i} - \alpha_2 \sum_{i=N+1}^{2N} z_{k,i} sm_{k,i} - \frac{N_0}{2} \ln P(S_{0,k+1} | S_{0,k}) \quad (31)$$

โดยที่ α_1 และ α_2 เป็นค่าขนาดของเป็นการเลือนหายของสัญญาณของช่วงเวลาของ 2 สัญญาณ

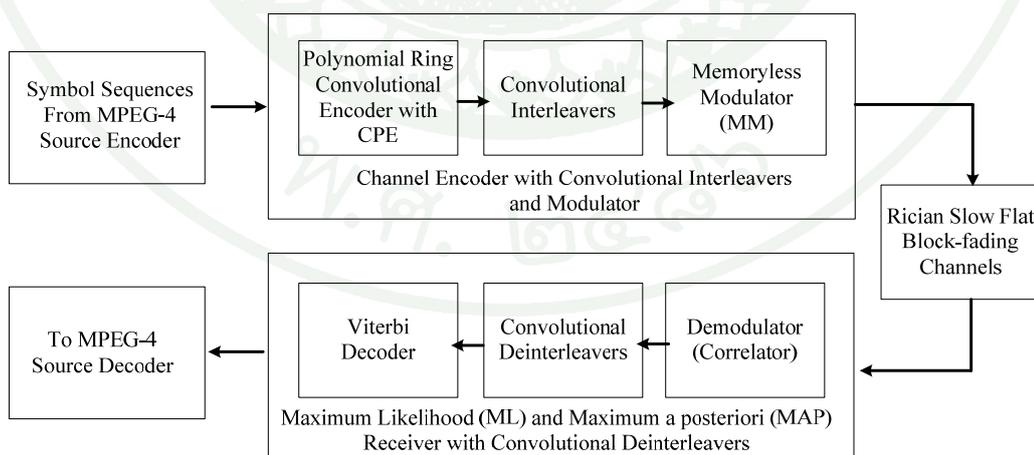
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. ซอฟต์แวร์
 - JCreator
 - Java SE Development Kit (JDK)
3. รูปภาพ Lena ขนาด 512×512 จุดภาพ

วิธีการ

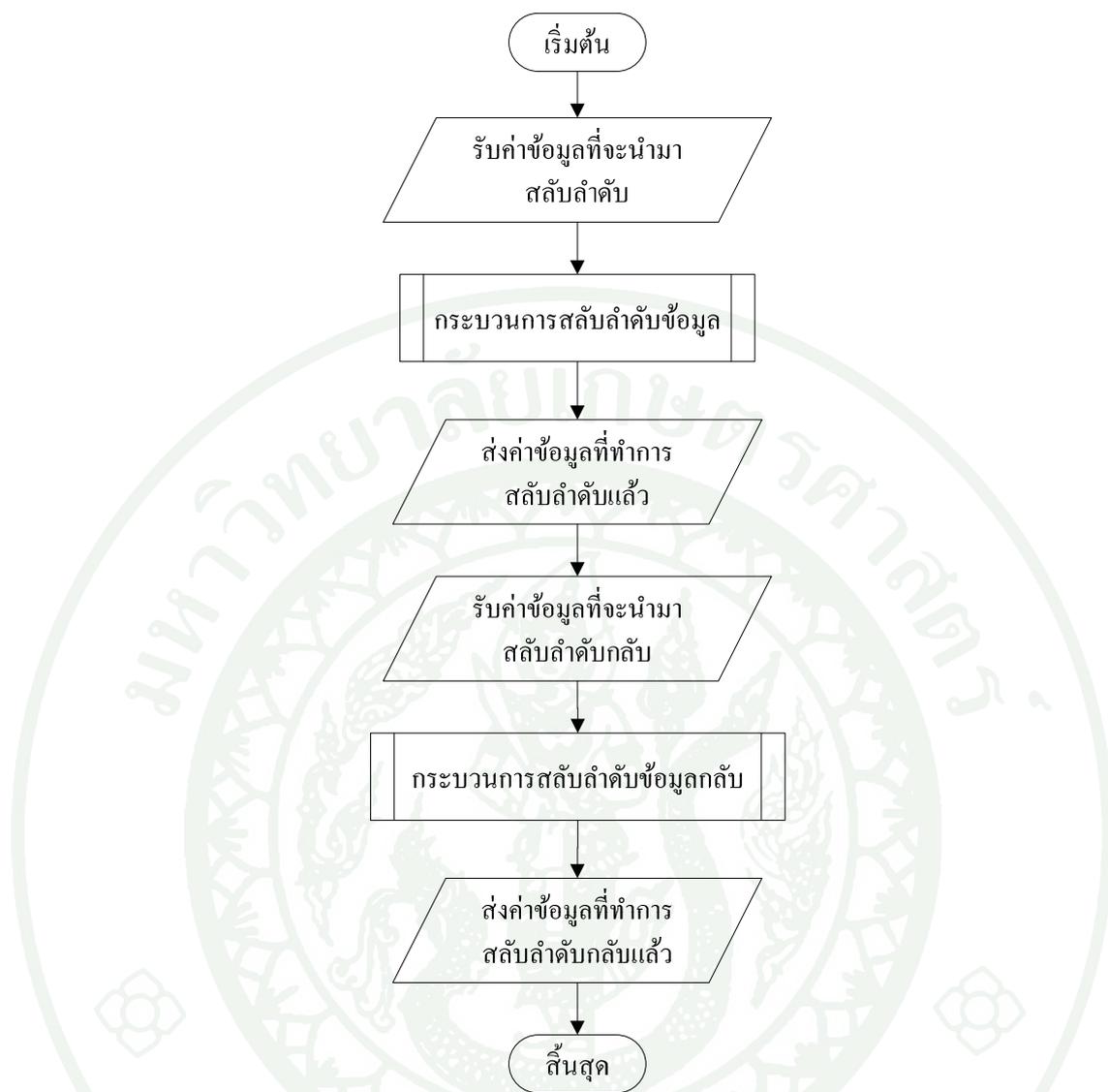
งานวิจัยนี้นำระบบสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 ผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายมาพัฒนาต่อจากระบบเดิม โดยนำกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลมาประยุกต์ใช้กับระบบ ซึ่งแสดงแผนภาพโครงสร้างของระบบได้ดังภาพที่ 11 โดยการออกแบบกระบวนการทำงานจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการสลับลำดับข้อมูล และกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับ ซึ่งทั้งสองกระบวนการดังกล่าวจะถูกแทรกเข้ากับกระบวนการทางฝั่งส่ง และกระบวนการทางฝั่งรับตามลำดับตามที่แสดงอยู่ในแผนภาพโครงสร้าง



ภาพที่ 11 แสดงแผนภาพ โครงสร้างกระบวนการสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 ที่ผนวกกระบวนการสลับลำดับข้อมูลและกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับ

การออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล

งานวิจัยนี้มุ่งหมายนำกระบวนการสลับลำดับข้อมูล (Convolutional Interleavers) และกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Deinterleavers) มาใช้ร่วมกับกระบวนการรับส่งข้อมูลภาพชนิด MPEG-4 ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วในงานวิจัยก่อนหน้า (Van Dyck, 2000; Mahapakulchai, 2007; Mahapakulchai and Van Dyck, 2001; Mahapakulchai and Van Dyck, 2004) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลให้มากยิ่งขึ้น โดยในการนำการสลับลำดับข้อมูลมาใช้นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงลำดับการทำงานของระบบ เพื่อให้การสลับลำดับข้อมูลสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพให้มากที่สุด จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการสลับลำดับข้อมูลวางไว้ระหว่างกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบริงคอนโวลูชันนอล (Ring Convolutional Encoder) และกระบวนการมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) และในส่วนของกระบวนการสลับลำดับกลับนั้นจะแทรกอยู่ระหว่างกระบวนการดีมอดูเลชัน (Demodulator) และกระบวนการถอดรหัสช่องสัญญาณแบบวีเทอร์บี (Viterbi Decoder) ดังนั้นในการออกแบบภาพรวมผังงานระบบการสลับลำดับนั้น เริ่มต้นระบบจะทำงาน โดยรับข้อมูลจากกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณแล้วนำข้อมูลนั้นมาทำกระบวนการสลับลำดับข้อมูลจากนั้นส่งข้อมูลที่ถูกลบลำดับแล้วออกไปสู่กระบวนการมอดูเลชัน ซึ่งเมื่อข้อมูลผ่านช่องสัญญาณและกระบวนการดีมอดูเลชันแล้วระบบก็จะทำงานอีกครั้ง โดยรับข้อมูลที่ได้ผ่านการมอดูเลตแล้วนำมาทำการสลับลำดับกลับเพื่อให้ลำดับของข้อมูลเป็นดังเดิม และเมื่อเสร็จสิ้นระบบจะส่งข้อมูลกลับไปสู่กระบวนการถอดรหัสสัญญาณ เพื่อทำกระบวนการต่างๆ ต่อไป โดยโครงสร้างผังงานระบบในส่วนของการสลับลำดับข้อมูล และกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อย่อยต่อไป โดยในภาพที่ 12 แสดงภาพรวมผังงานระบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูล

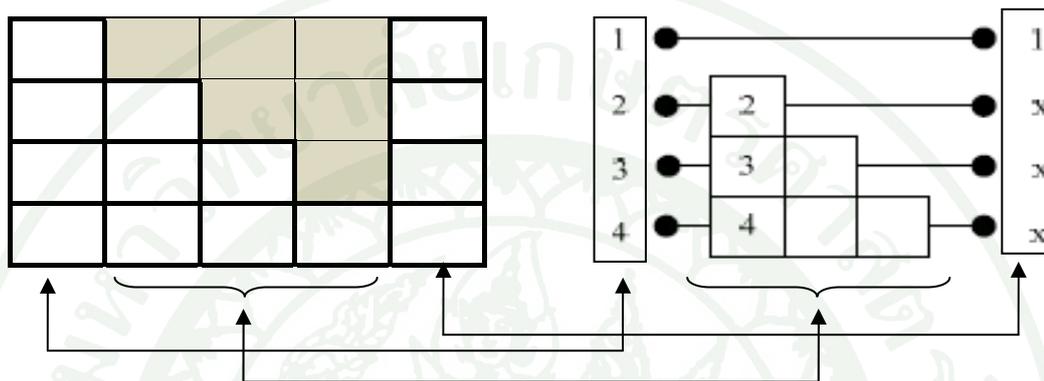


ภาพที่ 12 แสดงผังงานระบบการออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลในระบบสื่อสารภาพแบบ MPEG-4

1. กระบวนการสลับลำดับข้อมูล

การออกแบบการผังงาน โปรแกรมกระบวนการสลับลำดับข้อมูลนั้นเริ่มต้นโดยโปรแกรมรับค่าข้อมูลที่จะนำมาสลับลำดับจากตัวโปรแกรมหลักมาเก็บไว้ โดยในการออกแบบโปรแกรม ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในตัวแปรชนิดอาร์เรย์ทั้งข้อมูลก่อนการสลับลำดับและข้อมูลหลังการสลับลำดับ โดยรีจิสเตอร์แบบเลื่อน (Shift Register) ที่กล่าวไปภาคทฤษฎีนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นตัวแปรอาร์เรย์เช่นกัน โดยกำหนดลักษณะของอาร์เรย์ให้คล้ายรีจิสเตอร์แบบเลื่อนแสดง

ตัวอย่างดังภาพที่ 13 ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดจำนวนแฉวรีจิสเตอร์แบบเลื่อนเท่ากับ 4 ก็จะได้อาร์เรย์ขนาด 4 แถว 5 คอลัมน์ โดยคอลัมน์แรกจะเป็นส่วนที่หนึ่งซึ่งใช้เก็บค่าข้อมูลก่อนเข้ารีจิสเตอร์แบบเลื่อน คอลัมน์สุดท้ายเป็นส่วนที่สามใช้เก็บค่าข้อมูลที่ออกจากรีจิสเตอร์แบบเลื่อนและส่วนกลางระหว่างสองคอลัมน์เป็นส่วนที่สองแทนรีจิสเตอร์แบบเลื่อน ซึ่งทำให้สามารถสร้างหรือกำหนดขนาดรีจิสเตอร์แบบเลื่อนได้ตามต้องการ

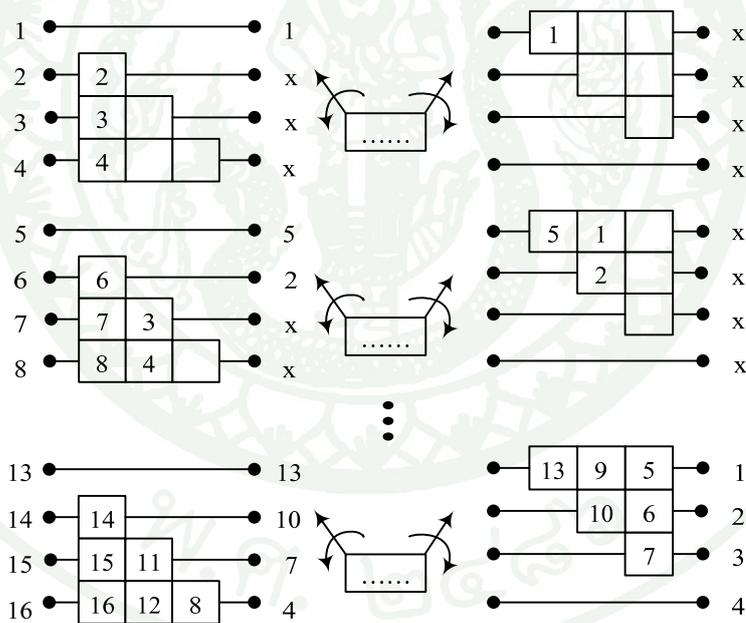


ภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอาร์เรย์แทนการใช้รีจิสเตอร์แบบเลื่อน

ซึ่งเมื่อกำหนดขนาดอาร์เรย์ได้ตามต้องการแล้ว โปรแกรมจะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับอาร์เรย์เป็นค่า “X” และรับค่าข้อมูลที่จะนำมาสลับลำดับ ระบบเริ่มสลับลำดับข้อมูลโดยเริ่มป้อนข้อมูลชุดแรกเข้าสู่อาร์เรย์ในคอลัมน์แรกโดยเริ่มจากแถวแรกไปจนถึงอาร์เรย์แถวสุดท้าย จากนั้นข้อมูลในอาร์เรย์จะเลื่อนขวาทั้งหมด โดยหลังจากการเลื่อนขวาข้อมูลในส่วนที่สองช่องสุดท้ายของแต่ละแถว จะถูกส่งไปเก็บในคอลัมน์สุดท้ายซึ่งข้อมูลในคอลัมน์นี้จะถือเป็นข้อมูลที่ถูกสลับลำดับแล้วในหนึ่งรอบ จากนั้นข้อมูลทั้งหมดในคอลัมน์สุดท้ายจะส่งไปเก็บในอาร์เรย์ข้อมูลหลังการสลับลำดับโดยมีการนำค่าเริ่มต้น “X” ออก หลังจากจบการทำงานหนึ่งรอบ โปรแกรมก็จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลที่ต้องการสลับลำดับอีกหรือไม่ ถ้ายังคงมีข้อมูลอยู่ โปรแกรมก็จะกลับไปทำงานซ้ำรูปแบบเดิมแต่ถ้าไม่มีข้อมูลแล้ว โปรแกรมจะป้อนค่าเริ่มต้น “X” ลงในคอลัมน์แรกโดยมีจุดประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ค้างอยู่ในส่วนที่สองออก เมื่อโปรแกรมเสร็จสิ้นกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแล้วนั้นข้อมูลหลังการสลับลำดับจะถูกส่งกลับไปสู่ตัวโปรแกรมหลัก โดยในภาพที่ 17 แสดงผังงานการออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลจากที่ได้กล่าวมา

2. กระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับ

การออกแบบผังงาน โปรแกรมการสลับลำดับข้อมูลกลับนั้นมียุทธศาสตร์ประกอบและลักษณะการทำงานส่วนใหญ่คล้ายกับการสลับลำดับข้อมูล โดยรีจิสเตอร์แบบเลื่อนจะยังคงใช้อาร์เรย์เป็นตัวดำเนินการเช่นเดิม โดยปรับเปลี่ยนเฉพาะในส่วนรีจิสเตอร์ส่วนที่สองให้มีลักษณะแบบการสลับลำดับกลับ ซึ่งในการทำงานของกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับนั้น มีประเด็นที่ต้องพิจารณาคือ ข้อมูลที่นำมาสลับลำดับข้อมูลกลับนั้นเป็นข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการสลับลำดับที่มีการกรองค่าเริ่มต้น "X" ออกเพื่อให้ได้เฉพาะข้อมูลจริงไปทำกระบวนการอื่นๆ ต่อไป แต่ในการทำงานของการสลับลำดับข้อมูลกลับนั้นจำเป็นต้องป้อนข้อมูลเข้าสู่แถวของรีจิสเตอร์แบบเลื่อนให้ตรงกับแถวของรีจิสเตอร์แบบเลื่อนฝั่งสลับลำดับที่ข้อมูลนั้นออกมาโดยยังไม่มีกรองค่าเริ่มต้น "X" ออก หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลออกมาจากรีจิสเตอร์แบบเลื่อนแถวใดก็ต้องเข้ารีจิสเตอร์แบบเลื่อนแถวนั้นในฝั่งสลับลำดับข้อมูลกลับ ซึ่งดูได้จากภาพประกอบในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงตำแหน่งการป้อนข้อมูลเข้าสู่กระบวนการสลับลำดับกลับ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการให้การสลับลำดับและการสลับลำดับกลับทำงานแยกออกจากกัน ดังนั้นในการออกแบบผังงาน โปรแกรมการสลับลำดับข้อมูลกลับ โปรแกรมจะต้องคำนวณได้ว่าข้อมูลนี้จะต้องป้อนเข้าสู่รีจิสเตอร์แบบเลื่อนแถวใด โดยในการออกแบบเริ่มต้นผู้วิจัยพิจารณาลักษณะรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลระหว่างข้อมูลจริงและค่าเริ่มต้น "X" ในแต่ละรอบที่จะป้อนเข้าสู่

อาร์เรย์ ซึ่งแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 15 โดยสมมติให้การสลับลำดับมีอาร์เรย์ขนาด 5 แถว และมีชุดข้อมูล 5 ชุด โดยมีความยาวข้อมูลที่จะนำมาสลับลำดับกลับแตกต่างกันตั้งแต่ 26-30 ข้อมูล จากภาพในแต่ละชุดคอลัมน์แต่ละคอลัมน์หมายถึงลำดับข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าสู่อาร์เรย์จากแถวแรกถึงแถวสุดท้ายในแต่ละรอบการป้อนข้อมูล คอลัมน์ถัดไปคือรอบถัดไปตามลำดับ

1	6	11	16	21	26	x	x	x		1	6	11	16	21	26	x	x	x
x	2	7	12	17	22	x	x	x		x	2	7	12	17	22	27	x	x
x	x	3	8	13	18	23	x	x		x	x	3	8	13	18	23	x	x
x	x	x	4	9	14	19	24	x		x	x	x	4	9	14	19	24	x
x	x	x	x	5	10	15	20	25		x	x	x	x	5	10	15	20	25

(ก) 26 ข้อมูล

(ข) 27 ข้อมูล

1	6	11	16	21	26	x	x	x		1	6	11	16	21	26	x	x	x
x	2	7	12	17	22	27	x	x		x	2	7	12	17	22	27	x	x
x	x	3	8	13	18	23	28	x		x	x	3	8	13	18	23	28	x
x	x	x	4	9	14	19	24	x		x	x	x	4	9	14	19	24	29
x	x	x	x	5	10	15	20	25		x	x	x	x	5	10	15	20	25

(ค) 28 ข้อมูล

(ง) 29 ข้อมูล

1	6	11	16	21	26	x	x	x	x
x	2	7	12	17	22	27	x	x	x
x	x	3	8	13	18	23	28	x	x
x	x	x	4	9	14	19	24	29	x
x	x	x	x	5	10	15	20	25	30

(จ) 30 ข้อมูล

ภาพที่ 15 แสดงข้อมูลที่จะป้อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ในกระบวนการสลับลำดับกลับในแต่ละรอบที่มีความยาวชุดข้อมูลต่างกัน

จากภาพที่ 15 จะเห็นว่าเมื่อนำข้อมูลในแต่ละชุดมาพิจารณาจะเห็นว่ามีการแยกรูปแบบออกเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบแรกข้อมูลจะเพิ่มขึ้นครั้งละหนึ่งข้อมูลจนเต็มจำนวนอาร์เรย์ ตัวอย่างจากภาพที่ 15(ก) คอลัมน์ที่ 1-6 และในภาพที่ 15(จ) คอลัมน์ที่ 1-6 ซึ่งหลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบที่สองคือ ข้อมูลในแต่ละรอบจะลดลงเรื่อยๆ แต่การลดจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไปซึ่งจะ

กล่าวถึงภายหลัง ตัวอย่างเช่นในภาพที่ 15(ก) คอลัมน์ 7-9 และในภาพที่ 15(จ) คอลัมน์ 7-10 เป็นต้น ดังนั้นเริ่มต้นการสลับลำดับกลับ โดยให้โปรแกรมสามารถคำนวณหากรอบการป้อนข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบแรก โดยหาจากผลหารและค่าเศษจากการหารจำนวนข้อมูลด้วยจำนวนแถวของรีจิสเตอร์ ถ้าเศษที่ได้เท่ากับศูนย์รอบการป้อนข้อมูลรูปแบบแรกเท่ากับผลหารที่ได้ แต่ถ้าเศษเป็นค่าอื่นรอบการป้อนข้อมูลรูปแบบแรกเท่ากับผลหารบวกหนึ่ง เมื่อได้จำนวนรอบการป้อนข้อมูลรูปแบบแรกแล้ว โปรแกรมจะเริ่มการสลับลำดับกลับ โดยป้อนข้อมูลเข้าสู่อาร์เรย์ตามจำนวนรอบ และในแต่ละรอบก็จะเพิ่มจำนวนข้อมูลขึ้นครั้งละหนึ่งข้อมูล โดยอาร์เรย์แถวใดที่ไม่มีการป้อนข้อมูล โปรแกรมจะป้อนค่าเริ่มต้น “X” เข้าไป หลังจากนั้นจะเลื่อนขวาข้อมูลและส่งข้อมูลที่ได้สลับลำดับกลับแล้วในแต่ละรอบไปเก็บในอาร์เรย์หลังการสลับลำดับกลับ โดยมีการกรองค่าเริ่มต้น “X” ออกเช่นเดียวกับกระบวนการสลับลำดับ

เมื่อป้อนข้อมูลครบตามจำนวนรอบที่ได้กำหนดไว้ในรูปแบบแรกแล้ว โปรแกรมจะเริ่มทำงานในรูปแบบที่สองซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่อจำนวนข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนแถวรีจิสเตอร์คูณด้วยจำนวนแถวรีจิสเตอร์ลบสอง หรือ $N(N-2)$ โดยที่ N คือจำนวนแถวของรีจิสเตอร์ รูปแบบที่สองจะเปลี่ยนไปจากที่เคยกล่าวไว้ซึ่งจะกล่าวถึงอีกครั้งภายหลัง ดังนั้นหลังจากการป้อนข้อมูลรูปแบบที่หนึ่ง โปรแกรมจะตรวจสอบว่าจำนวนข้อมูลมีค่าน้อยกว่า $N(N-2)$ หรือไม่ ถ้าข้อมูลมีค่ามากกว่าโปรแกรมจะคำนวณหาจำนวนรอบการป้อนข้อมูลรูปแบบที่สองคือ ถ้าเศษเท่ากับศูนย์จำนวนรอบการป้อนข้อมูลรูปแบบที่สองเท่ากับจำนวนแถวรีจิสเตอร์ลบหนึ่ง ถ้าเศษเป็นค่าอื่นๆจำนวนรอบเท่ากับจำนวนแถวรีจิสเตอร์ลบสอง จากที่กล่าวไปแล้วว่ารูปแบบที่สองมีลักษณะการลดลงของข้อมูลแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างจะถูกกำหนดและขึ้นอยู่กับค่าเศษ จากตัวอย่างดังภาพที่ 15 ซึ่งมีจำนวนแถวรีจิสเตอร์แบบเลื่อนเท่ากับ 5 ดังนั้นค่าเศษที่เกิดขึ้นจากการหารจำนวนข้อมูลด้วยจำนวนแถวรีจิสเตอร์จะมีค่าเศษเกิดขึ้นทั้งหมด 5 ค่า คือเศษ 0-4 โดยในภาพที่ 15(ก) เมื่อจำนวนข้อมูลมี 26 ข้อมูลดังนั้นเศษเท่ากับ 1 และภาพที่ 15(ข) มีค่าเศษ 2 จนถึงภาพที่ 15(จ) มีค่าเศษ 0 หรือกล่าวได้ว่าจำนวนลักษณะในรูปแบบที่สองจะเท่ากับจำนวนแถวรีจิสเตอร์ และลักษณะการลดลงจะถูกกำหนดโดยค่าเศษ เช่นถ้าค่าเศษเท่ากับ 2 จากก่อนหน้าจำนวนข้อมูลลดลงหนึ่งตัวรอบต่อไปข้อมูลจะลดลงเป็นสามตัว หรือมีการกระโดดข้ามการลดของข้อมูลที่มีค่าเท่ากับค่าเศษแสดงตัวอย่างในภาพที่ 15(ข) หรือถ้าเศษเท่ากับ 1 เริ่มต้นข้อมูลก็จะลดลงสองตัวแสดงตัวอย่างในภาพที่ 15(ก) หรือถ้าเป็นเศษ 0 ข้อมูลก็จะลดลงครั้งละหนึ่งตัว เช่นในภาพที่ 15(จ) แต่ในภาพที่ 15(ง) ซึ่งมีค่าเศษเท่ากับ 4 แต่จำนวนรอบมีเพียง 3 รอบดังนั้นจึงไม่มีการกระโดดข้าม เป็นต้น ดังนั้นเมื่อโปรแกรมทราบว่าจำนวนรอบการป้อนข้อมูลรูปแบบที่สองมีค่าเท่าใด และเศษเท่าใด ก็จะป้อนข้อมูลเข้าสู่อาร์เรย์และเลื่อนขวาข้อมูลจนได้ข้อมูลที่ถูกต้องสลับลำดับกลับในแต่ละรอบไปเก็บใน

อาร์เรย์หลังการสลับลำดับกลับ ซึ่งเมื่อครบตามจำนวนรอบแล้ว โปรแกรมจะป้อนค่าเริ่มต้น “X” เข้าสู่รีจิสเตอร์แบบเลื่อนเพื่อผลึกค่าข้อมูลที่ค้างอยู่ภายในออก และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมดก็จะส่งข้อมูลที่ได้รับการสลับลำดับกลับแล้ว กลับไปสู่โปรแกรมหลัก และจากที่เคยกล่าวไปแล้วถ้าข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า $N(N-2)$ ลักษณะของรูปแบบที่สองจะเปลี่ยนไปแสดงตัวอย่างได้ในภาพที่ 16

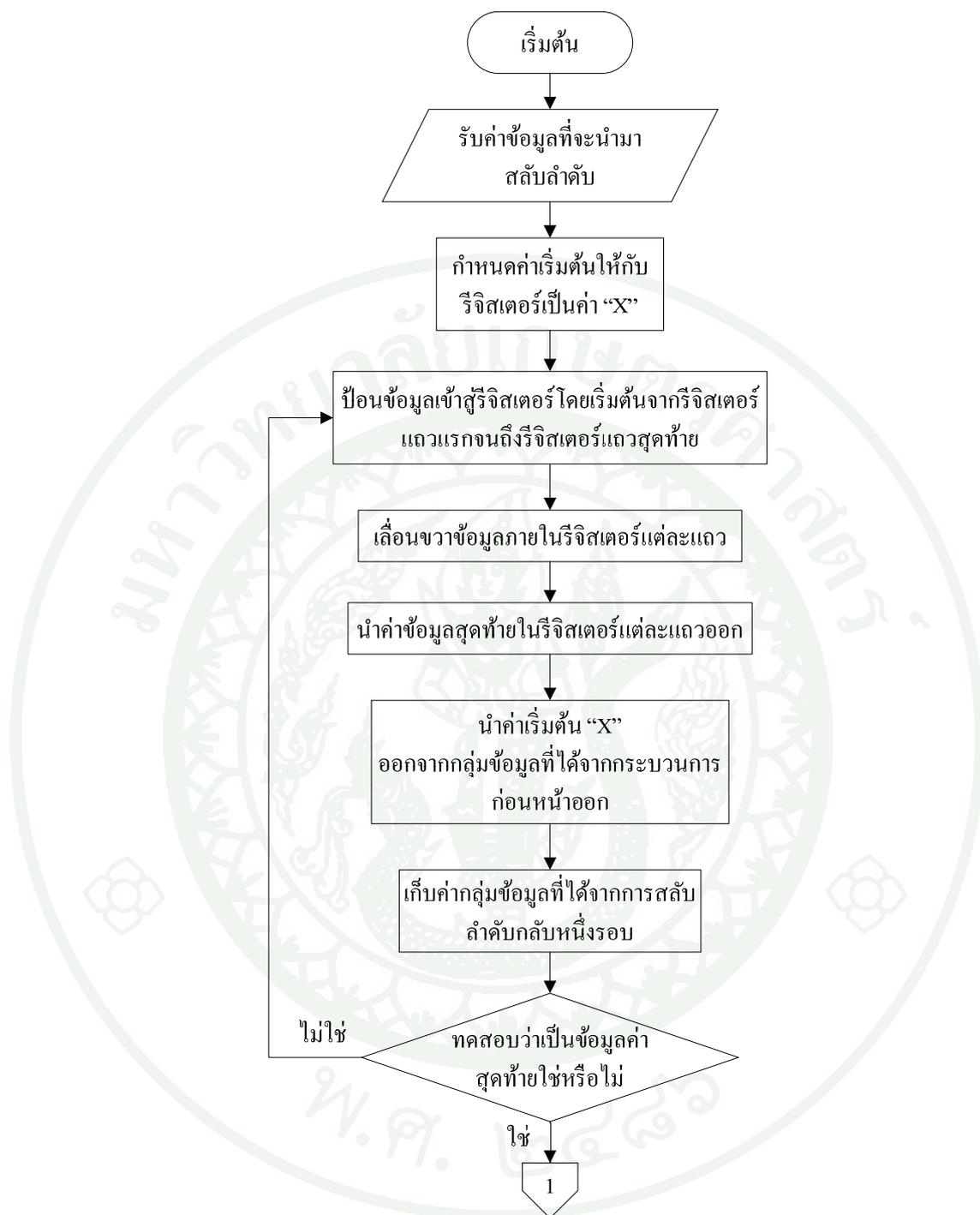
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>2</td><td>8</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>3</td><td>9</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>4</td><td>10</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>5</td><td>11</td><td>17</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>6</td><td>12</td></tr> </tbody> </table> <p>(ก) 12 ข้อมูล</p>	1	7	x	x	x	x	x	x	2	8	x	x	x	x	x	x	3	9	x	x	x	x	x	x	4	10	x	x	x	x	x	x	5	11	17	x	x	x	x	x	6	12	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>13</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>2</td><td>8</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>3</td><td>9</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>4</td><td>10</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>5</td><td>11</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>6</td><td>12</td></tr> </tbody> </table> <p>(ข) 13 ข้อมูล</p>	1	7	13	x	x	x	x	x	2	8	x	x	x	x	x	x	3	9	x	x	x	x	x	x	4	10	x	x	x	x	x	x	5	11	x	x	x	x	x	x	6	12
1	7	x	x	x	x	x																																																																															
x	2	8	x	x	x	x																																																																															
x	x	3	9	x	x	x																																																																															
x	x	x	4	10	x	x																																																																															
x	x	x	x	5	11	17																																																																															
x	x	x	x	x	6	12																																																																															
1	7	13	x	x	x	x																																																																															
x	2	8	x	x	x	x																																																																															
x	x	3	9	x	x	x																																																																															
x	x	x	4	10	x	x																																																																															
x	x	x	x	5	11	x																																																																															
x	x	x	x	x	6	12																																																																															

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>13</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>2</td><td>8</td><td>14</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>3</td><td>9</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>4</td><td>10</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>5</td><td>11</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>6</td><td>12</td></tr> </tbody> </table> <p>(ค) 14 ข้อมูล</p>	1	7	13	x	x	x	x	x	2	8	14	x	x	x	x	x	3	9	x	x	x	x	x	x	4	10	x	x	x	x	x	x	5	11	x	x	x	x	x	x	6	12	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>13</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>2</td><td>8</td><td>14</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>3</td><td>9</td><td>15</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>4</td><td>10</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>5</td><td>11</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>6</td><td>12</td></tr> </tbody> </table> <p>(ง) 15 ข้อมูล</p>	1	7	13	x	x	x	x	x	2	8	14	x	x	x	x	x	3	9	15	x	x	x	x	x	4	10	x	x	x	x	x	x	5	11	x	x	x	x	x	x	6	12
1	7	13	x	x	x	x																																																																															
x	2	8	14	x	x	x																																																																															
x	x	3	9	x	x	x																																																																															
x	x	x	4	10	x	x																																																																															
x	x	x	x	5	11	x																																																																															
x	x	x	x	x	6	12																																																																															
1	7	13	x	x	x	x																																																																															
x	2	8	14	x	x	x																																																																															
x	x	3	9	15	x	x																																																																															
x	x	x	4	10	x	x																																																																															
x	x	x	x	5	11	x																																																																															
x	x	x	x	x	6	12																																																																															

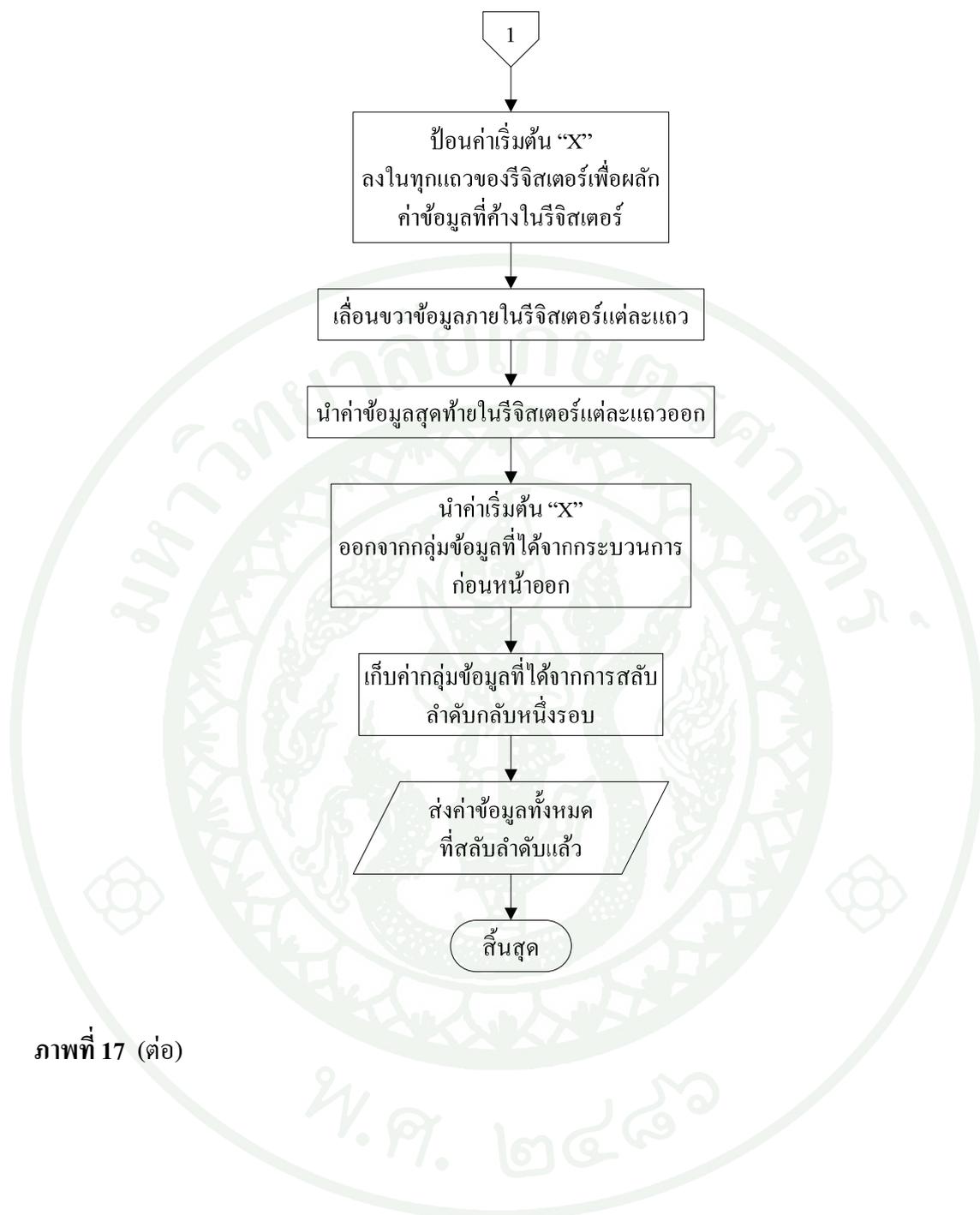
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>13</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>2</td><td>8</td><td>14</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>3</td><td>9</td><td>15</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>4</td><td>10</td><td>16</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>5</td><td>11</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>6</td><td>12</td></tr> </tbody> </table> <p>(จ) 16 ข้อมูล</p>	1	7	13	x	x	x	x	x	2	8	14	x	x	x	x	x	3	9	15	x	x	x	x	x	4	10	16	x	x	x	x	x	5	11	x	x	x	x	x	x	6	12	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>13</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>2</td><td>8</td><td>14</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>3</td><td>9</td><td>15</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>4</td><td>10</td><td>16</td><td>x</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>5</td><td>11</td><td>17</td></tr> <tr><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>6</td><td>12</td></tr> </tbody> </table> <p>(ฉ) 17 ข้อมูล</p>	1	7	13	x	x	x	x	x	2	8	14	x	x	x	x	x	3	9	15	x	x	x	x	x	4	10	16	x	x	x	x	x	5	11	17	x	x	x	x	x	6	12
1	7	13	x	x	x	x																																																																															
x	2	8	14	x	x	x																																																																															
x	x	3	9	15	x	x																																																																															
x	x	x	4	10	16	x																																																																															
x	x	x	x	5	11	x																																																																															
x	x	x	x	x	6	12																																																																															
1	7	13	x	x	x	x																																																																															
x	2	8	14	x	x	x																																																																															
x	x	3	9	15	x	x																																																																															
x	x	x	4	10	16	x																																																																															
x	x	x	x	5	11	17																																																																															
x	x	x	x	x	6	12																																																																															

ภาพที่ 16 แสดงตัวอย่างการจัดเรียงข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์ในรูปแบบที่สองของกระบวนการสลับลำดับกลับ

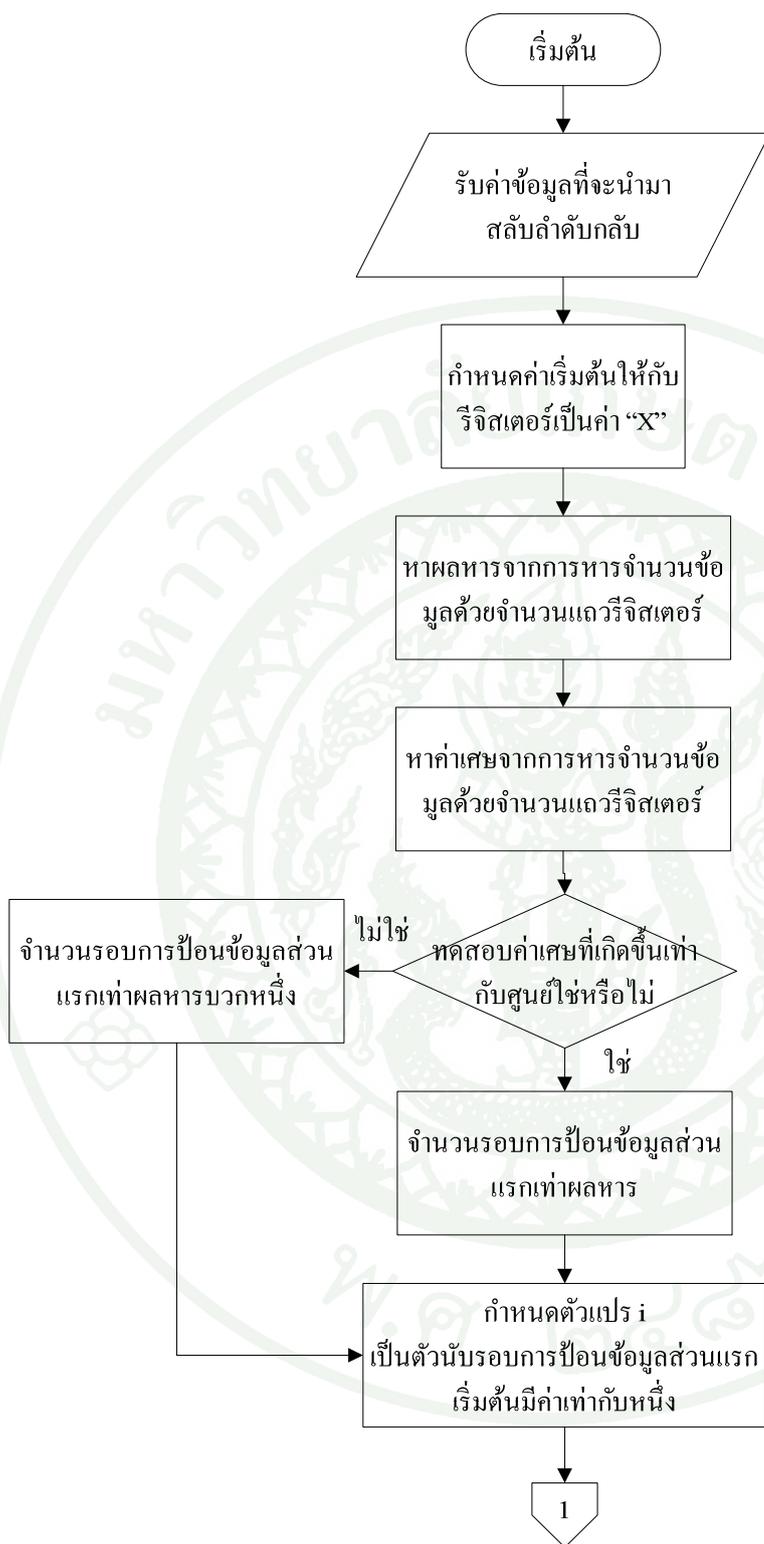
จากภาพที่ 16 ซึ่งสมมติให้รีจิสเตอร์มีขนาด 6 แถวและแสดงจำนวนข้อมูลที่นำมาสลับลำดับกลับในช่วง 12-17 ข้อมูล จากภาพจะพบว่าในรูปแบบที่สองจากเดิมที่ข้อมูลจะค่อยๆ ลดลง เปลี่ยนเป็นข้อมูลจะอยู่เป็นช่วงๆ ภายในรีจิสเตอร์ และในบางครั้งมีจำนวนข้อมูลไม่เท่ากันในแต่ละรอบ ตัวอย่างเช่นในภาพที่ 16(ค) คอลัมน์ที่ 4 มีจำนวนข้อมูล 3 ข้อมูล คอลัมน์ที่ 5 และคอลัมน์ที่ 6 มี 2 ข้อมูล และคอลัมน์ที่ 7 มี 1 ข้อมูล แต่ยังคงมีลักษณะการลดลงของข้อมูลในรูปแบบเดียวกับเมื่อมีข้อมูลจำนวนมากว่า $N(N-2)$ อย่างเช่นที่ข้อมูลมี 13 ข้อมูลซึ่งมีเศษเท่ากับ 1 นั้นการลดแถวของข้อมูลจะเริ่มต้นจากหนึ่งข้อมูลแล้วข้ามไปเป็นสามข้อมูลในรอบต่อไป ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมส่วนนี้ต้องสามารถกำหนดได้ว่าในรอบนั้นมีจำนวนข้อมูลเท่าไรแล้วเริ่มต้นป้อนข้อมูลเข้าสู่แถวไหน ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงได้ดังภาพที่ 18 ซึ่งแสดงผังงานโปรแกรมการสลับลำดับข้อมูลกลับแบบคอนโวลูชันนอล



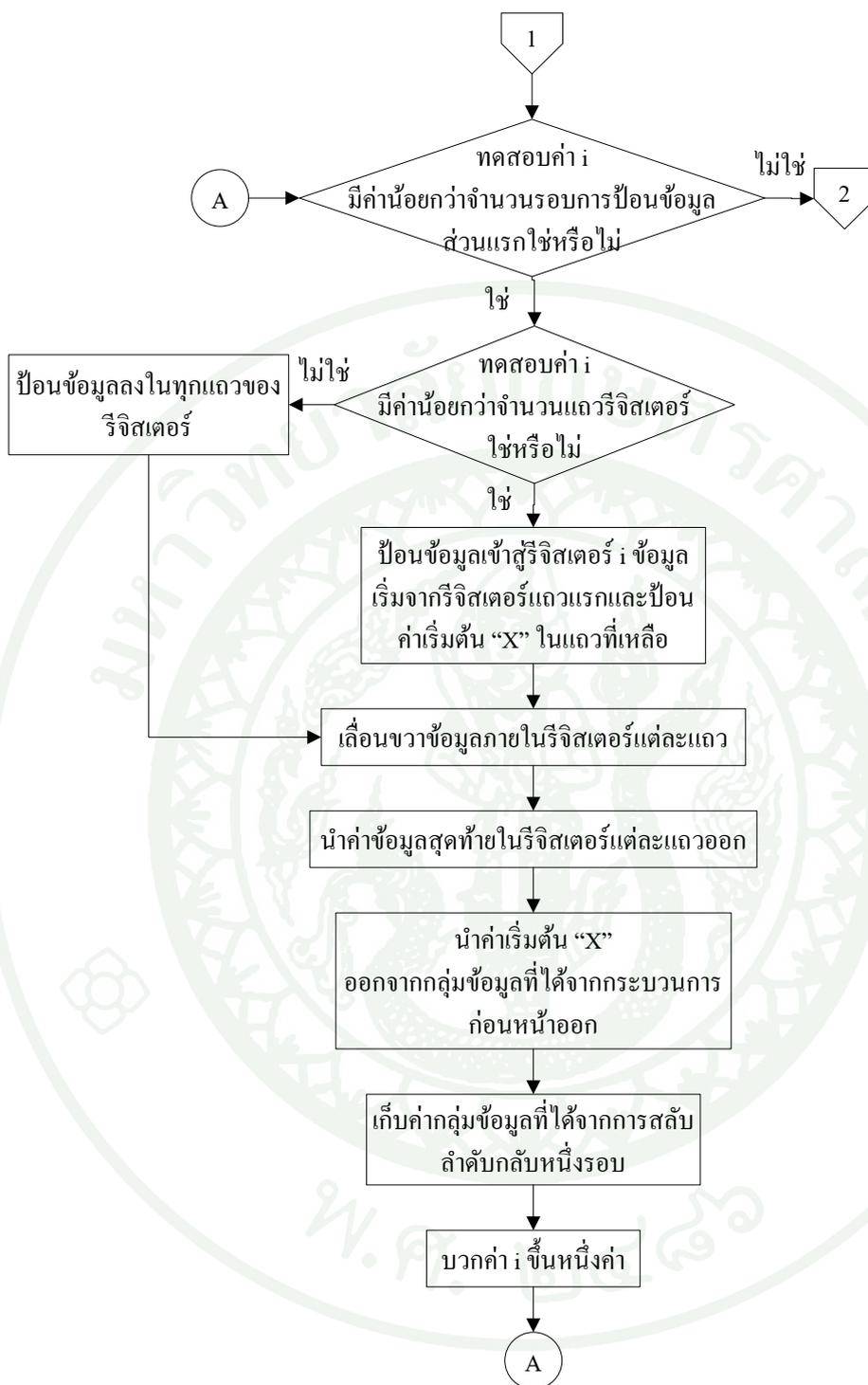
ภาพที่ 17 แสดงผังงาน โปรแกรมกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล



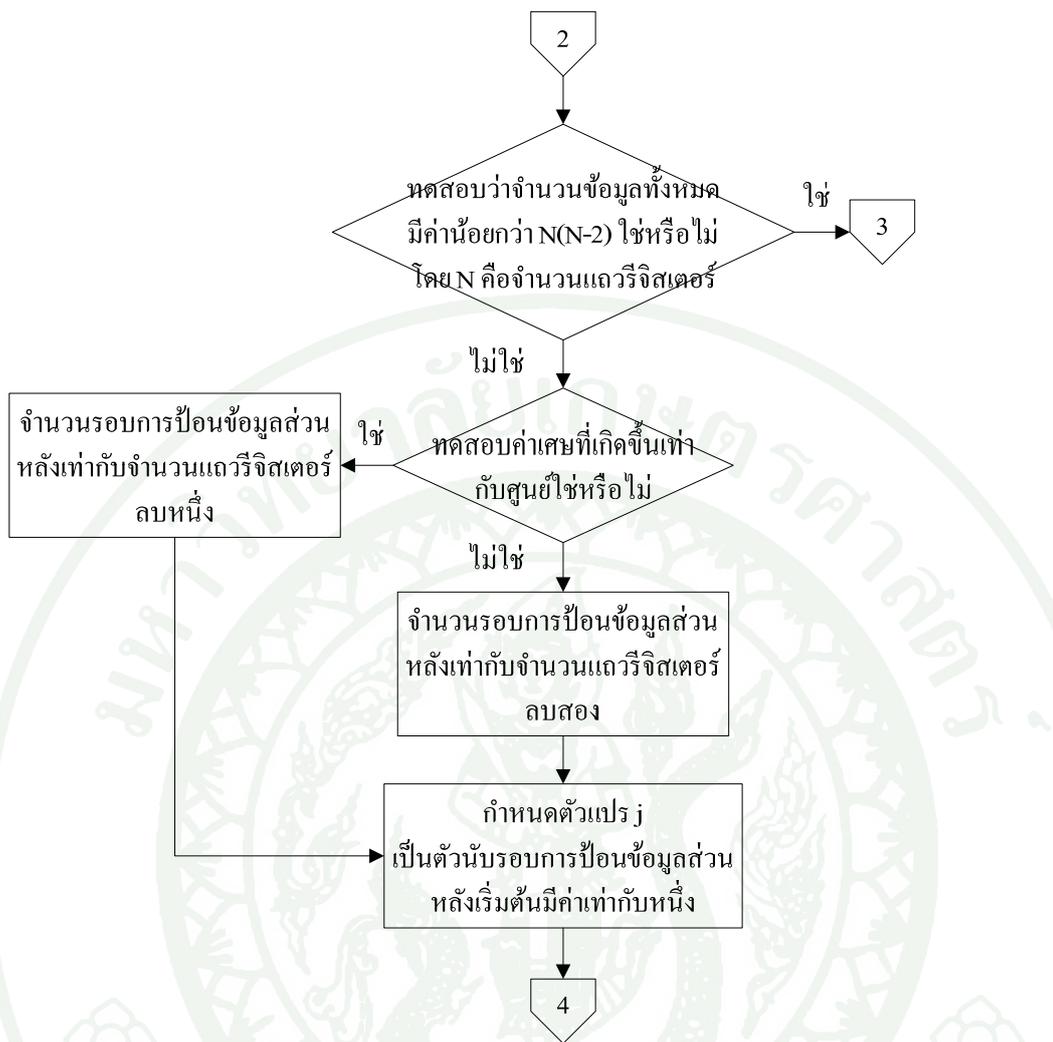
ภาพที่ 17 (ต่อ)



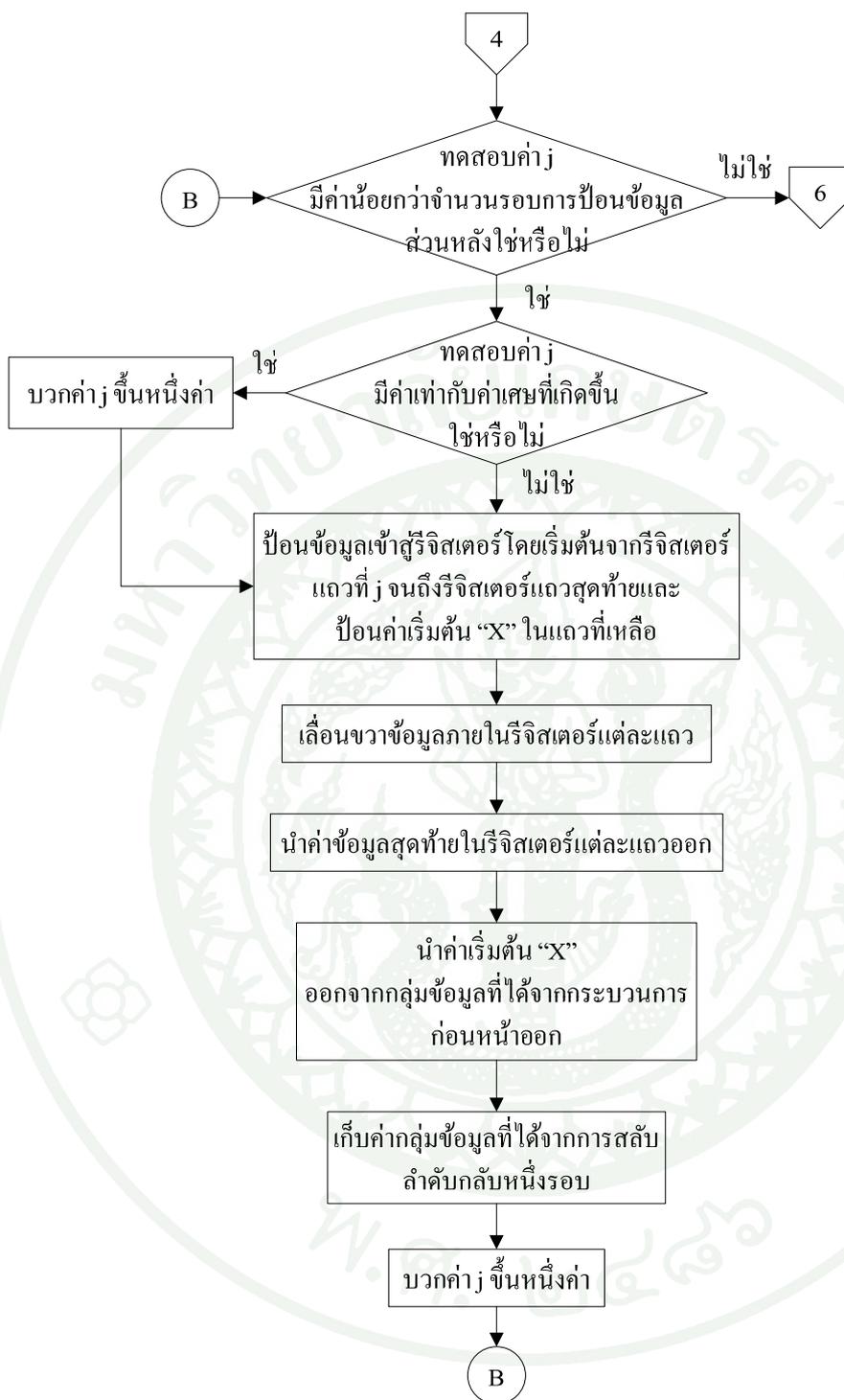
ภาพที่ 18 แสดงผังงาน โปรแกรมกระบวนการสลับลำดับข้อมูลกลับแบบคอนโวลูชันนอล



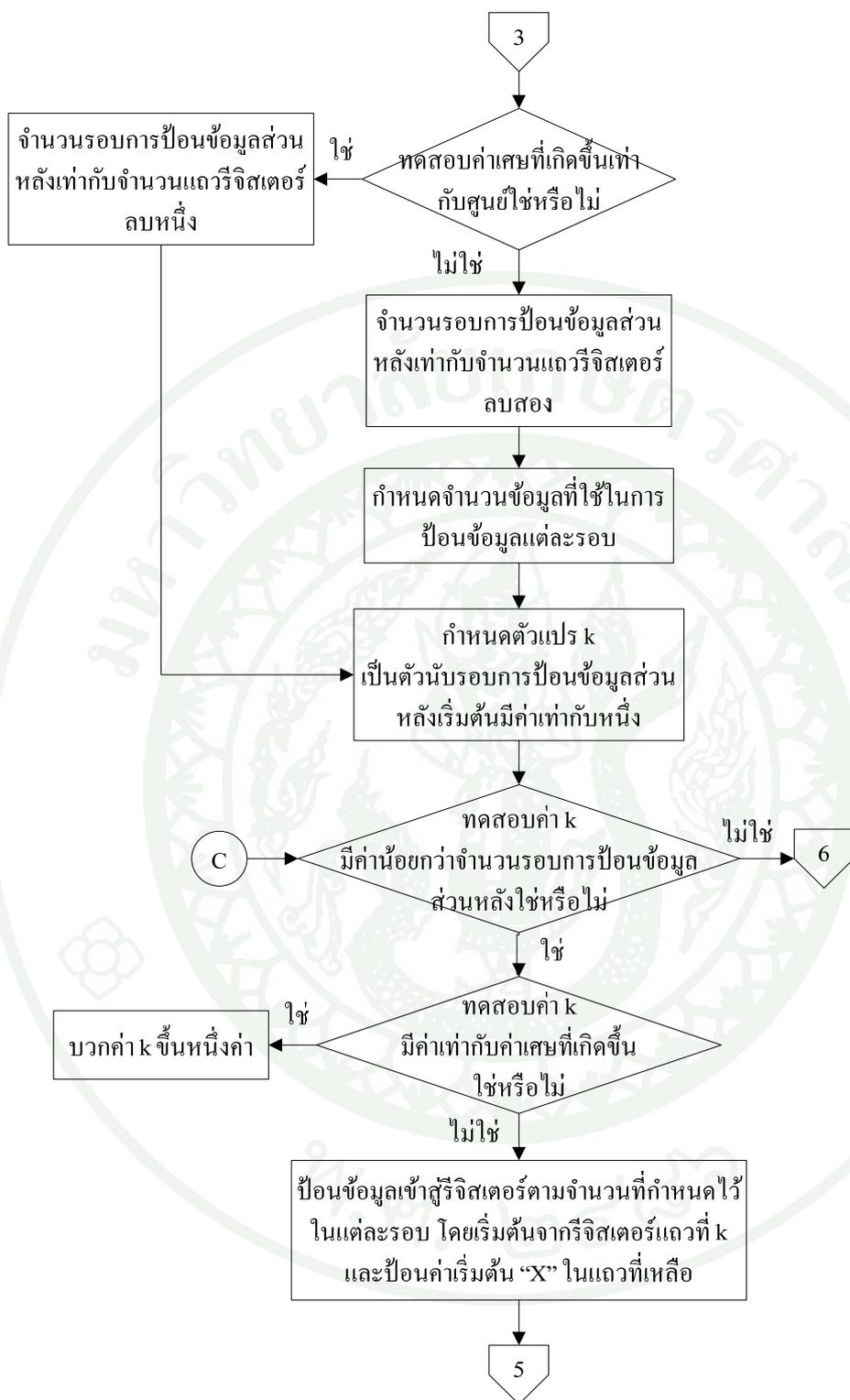
ภาพที่ 18 (ต่อ)



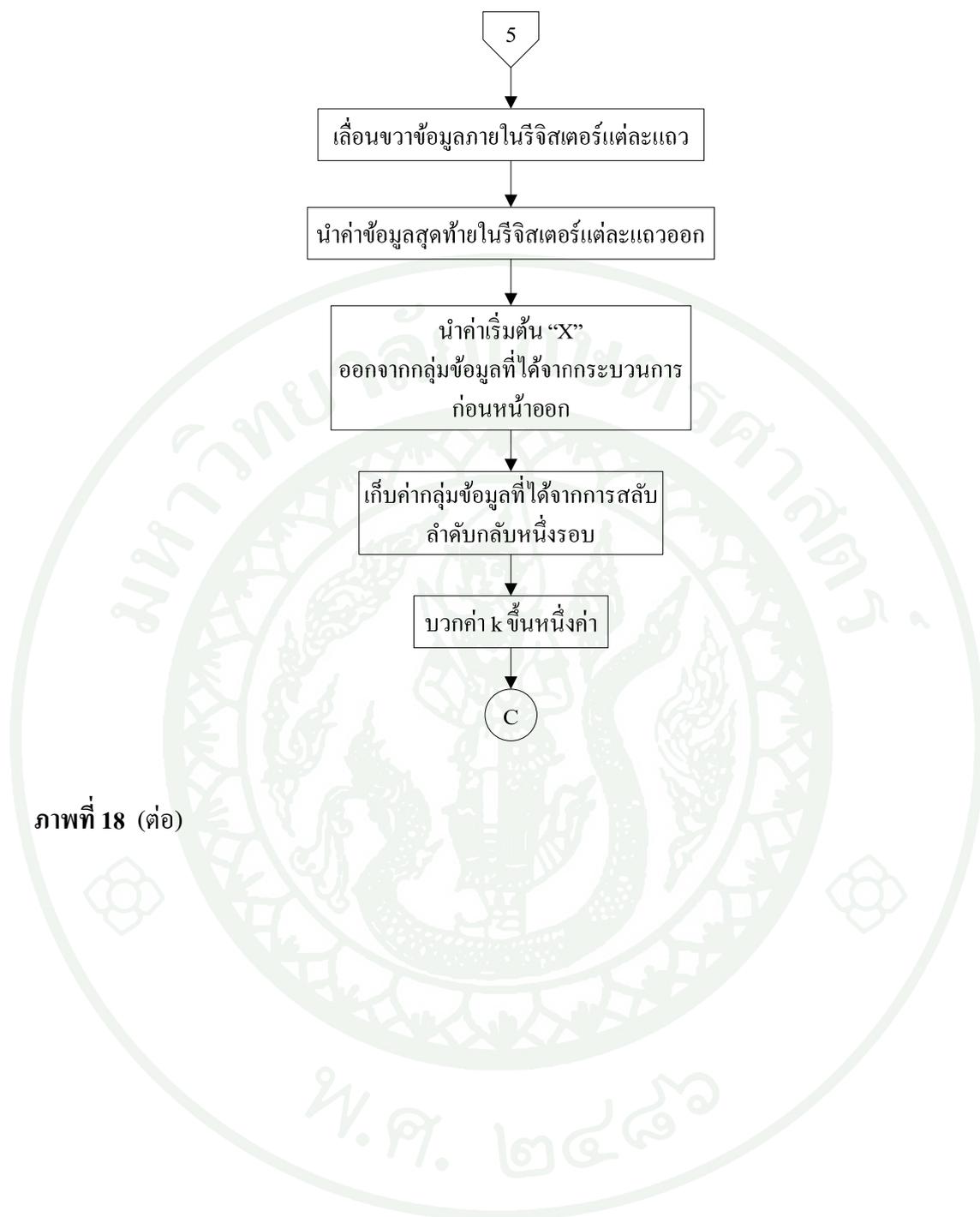
ภาพที่ 18 (ต่อ)



ภาพที่ 18 (ต่อ)



ภาพที่ 18 (ต่อ)



ภาพที่ 18 (ต่อ)



ภาพที่ 18 (ต่อ)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

1. การคำนวณค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังส่งข้อมูลต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)

ในงานวิจัยนี้ใช้การวัดประสิทธิภาพของระบบโดยการหาค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังส่งข้อมูลต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (PSNR) โดยค่า PSNR ที่ของระบบที่ดีต้องมีค่าใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มีการรบกวนมากที่สุด การหาค่า PSNR สามารถหาได้ดังสมการ

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (32)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (33)$$

โดยค่า MSE คือค่า Mean Square Error และค่า MAX_I คือค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของจุดภาพ หรือเท่ากับ $2^B - 1$ ซึ่ง B คือ จำนวนบิตของรูปภาพ และ $\|I(i, j) - K(i, j)\|$ คือ ผลต่างระหว่างจุดภาพภาพต้นแบบและภาพที่รับได้ในแต่ละคอลัมน์ m และแถว n

2. การคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราการผิดพลาดของข้อมูล (Word Error Rate, WER)

โดยค่าเฉลี่ยอัตราการผิดพลาดของข้อมูลของระบบที่ดีต้องมีค่าต่ำหรือเข้าใกล้ศูนย์ โดยสามารถหาค่า WER ได้จากสมการ

$$WER = \frac{\text{จำนวนสัญลักษณ์ที่ผิดพลาด}}{\text{จำนวนสัญลักษณ์ทั้งหมด}} \quad (34)$$

ผลและวิจารณ์

ผล

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำโดยนำการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล มาผนวกเข้ากับระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพ โดยรูปภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบ คือ รูปภาพ Lena ขนาด 512×512 จุดภาพ โดยใช้เทคนิค MPEG-4 EZW ในการเข้ารหัสข้อมูลภาพ ซึ่ง เริ่มต้นจะแยกออกเป็นสัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง (LFS, HFS) โดย สัมประสิทธิ์ในย่านความถี่ต่ำจะทำหน้าที่แทน โครงสร้างหลักของข้อมูล ส่วนสัมประสิทธิ์ในย่าน ความถี่สูงจะเป็นรายละเอียดของภาพ จากนั้นส่งไปยังกระบวนการควอนไทซ์เซชันซึ่งจะ เปลี่ยนเป็นบิตข้อมูลและแบ่งบิตของข้อมูลภาพออกเป็นกลุ่มทั้งหมด 102 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมี จำนวนบิตไม่เท่ากัน จากนั้นบิตของข้อมูลภาพในแต่ละกลุ่มจะถูกแปลงเป็นสัญลักษณ์ (Symbol) โดยอัตราการแปลงอยู่ที่ 2 บิตต่อ 1 สัญลักษณ์ จากนั้นเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบริงคอนโวลูชัน นอลและสลับลำดับข้อมูลของแต่ละกลุ่ม เมื่อสลับลำดับแล้วก็ส่งไปมอดูเลตสัญญาณ เพื่อส่งไปยัง ช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการกำหนดค่าการรบกวนสัญญาณ (Block-fading) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการทางด้านรับซึ่งประกอบด้วย การดีมอดูเลต การสลับลำดับข้อมูล กลับ การถอดรหัสแบบวีเทอร์บี จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากฝั่งรับไปถอดรหัสข้อมูลภาพเพื่อแปลง กลับเป็นรูปภาพที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจากค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ที่ได้

โดยการทดสอบประสิทธิภาพในการวิจัยนี้ทดสอบโดยส่งรูปภาพ Lena จำนวน 200 รูป แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย PSNR และ WER โดยในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตาม กระบวนการตรวจจับที่ใช้ในฝั่งรับคือ การตรวจจับสัญลักษณ์แบบ Maximum Likelihood (ML) และการตรวจจับสัญลักษณ์แบบ Maximum a posteriori (MAP) ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะทดสอบย่อยโดย ส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีการกำหนดการรบกวนสัญญาณออกเป็น 2 แบบคือ กำหนดสัญญาณ รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อสัญญาณข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อ สัญญาณข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูล ซึ่งเป็นการกำหนดลักษณะการรบกวนข้อมูลในช่องสัญญาณให้ เป็นแบบเดี่ยวและแบบกลุ่มตามลำดับ โดยในแต่ละแบบจะเริ่มต้นโดยวัดค่าประสิทธิภาพในกรณี ไม่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูล จากนั้นวัดค่าประสิทธิภาพในกรณีที่ใช้การสลับลำดับข้อมูลที่ รีจิสเตอร์มีขนาด 4 แถว และวัดค่าประสิทธิภาพในกรณีที่ใช้การสลับลำดับที่รีจิสเตอร์มีขนาดแถว

ต่างๆ กันออกไป โดยในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวนภายในช่องสัญญาณประสิทธิภาพของระบบจะมีค่าเฉลี่ย PSNR อยู่ที่ 31.83 dB ที่อัตราส่วนการบีบอัดข้อมูล 31:1 ภาพที่ 19(ก) แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena ที่นำมาใช้ในการทดสอบ และภาพที่ 19(ข) แสดงภาพ Lena ที่ได้จากระบบที่ไม่มีสัญญาณรบกวนภายในช่องสัญญาณ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 19 แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena (ก) รูปภาพ Lena ที่ใช้ในการทดสอบระบบ (ข) รูปภาพ Lena ที่ได้จากระบบที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

การทดสอบระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 โดยใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ Maximum Likelihood (ML)

การทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลกับระบบที่ใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ Maximum Likelihood (ML) (Mahapakulchai and Anuchat, 2009) และใช้แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่กำหนดการรบกวนออกเป็น 2 กรณีคือ สัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อสัญญาณข้อมูลหนึ่งข้อมูลและสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อสัญญาณข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูล กล่าวคือในแบบแรกเป็นการกำหนดลักษณะการรบกวนข้อมูลในช่องสัญญาณให้เป็นการรบกวนแบบเดี่ยวและในแบบที่สองเป็นการกำหนดให้เป็นการรบกวนแบบกลุ่มที่รบกวนต่อเนื่องครั้งละ 5 ข้อมูล โดยในการเลื่อนหายของสัญญาณนั้นจะมีความมากขึ้นกับการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณในเส้นทางตรงต่อกำลังของสัญญาณในเส้นทางกระเจิงหรือค่า γ ซึ่งในการทดสอบนี้จะทดสอบ 3 ค่าคือ -23 dB, -33

dB และ -43 dB และในแต่ละค่าของ γ จะมีการเปลี่ยนค่า $\overline{\gamma}_b$ 3 ค่าคือ 3.75 dB, 5 dB และ 6.25 dB โดยการปรับค่าในเทอมของอัตราส่วนกำลังของสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งในการทดสอบแต่ละแบบผู้วิจัยนี้จะทำการวิจัยโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างไม่มีกระบวนการสลับลำดับข้อมูลและการสลับลำดับข้อมูลที่มีขนาดรีจิสเตอร์ต่างๆ ออกไป

1. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและไม่มีสลับลำดับข้อมูล

ตารางที่ 2, 3 และ 4 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลซึ่งกำหนดให้เป็นการรบกวนแบบเดี่ยว โดยไม่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูล เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบในขณะที่ไม่มีการสลับลำดับข้อมูล

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	25.0147	0.832
5.00	28.6672	0.257
6.25	30.4816	0.094

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	21.7679	1.7
5.00	26.4655	0.528
6.25	29.3918	0.181

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดคสัญลักษณ์รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	20.6816	2.1
5.00	25.5244	0.677
6.25	28.9050	0.232

จากตารางที่ 2, 3, และ 4 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ในกรณีที่ไม่มี การสลับลำดับข้อมูลที่ทดสอบบนช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่กำหนดการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูล จะเห็นได้ว่าเมื่อทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนนั้นค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าลดลงในทุกรณีจากกรณีที่ไม่มี การรบกวนที่มี PSNR เท่ากับ 31.83 dB โดยที่ $\gamma = -23$ dB นั้นค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 1-5 dB และที่ $\gamma = -33$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 2-9 dB ที่ $\gamma = -43$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 2-10 dB และจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าลดลงเมื่อมีการปรับค่าสัญญาณในเส้นทางกระเจิงให้มากขึ้น ซึ่งในการทดสอบนี้ที่ค่า $\gamma = -43$ dB เป็นค่าที่มากที่สุดก็ให้ค่าเฉลี่ย PSNR น้อยที่สุดเช่นกัน

2. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถว

ตารางที่ 5, 6 และ 7 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลเช่นเดียวกับตารางที่ 2, 3, 4 แต่เพิ่มกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล โดยรีจิสเตอร์มีขนาด 4 แถวเข้าไปซึ่งเป็นขนาดที่มีการนำใช้งานเป็นส่วนใหญ่ เพื่อวัดว่าจะส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพของระบบเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับขณะไม่มีการใช้กระบวนการสลับลำดับ

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวีจิสเตอร์ 4 แวล และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	24.8662	0.827
5.00	28.6316	0.248
6.25	30.3501	0.095

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวีจิสเตอร์ 4 แวล และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	22.1098	1.7
5.00	26.4741	0.526
6.25	29.1479	0.187

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวีจิสเตอร์ 4 แวล และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	20.9667	2.2
5.00	25.7346	0.671
6.25	28.6730	0.230

จากตารางที่ 5, 6 และ 7 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย PSNR ในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแอมพลิจูด 4 แถว กับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบเดี่ยว เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีค่า γ เท่ากันกับตารางที่ 2, 3, 4 จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน หรือสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อมีการนำการสลับลำดับข้อมูลมาใช้ก็ไม่ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงแต่อย่างใด เนื่องจากช่องสัญญาณมีการรบกวนภายในหนึ่งช่วงข้อมูลหรือเป็นการรบกวนแบบเดี่ยว ซึ่งการรบกวนแบบนี้โดยปกติกระบวนการทางฝั่งรับสามารถแก้ไขการรบกวนในลักษณะนี้ได้โดยไม่ต้องมีการสลับลำดับข้อมูล

3. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาดแถวต่างๆ

ตารางที่ 8, 9 และ 10 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูล โดยในการทดสอบนี้จะทดสอบกับกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่รีจิสเตอร์มีขนาดแถวต่าง ๆ กันออกไป เพื่อศึกษาว่าขนาดที่เพิ่มขึ้นของรีจิสเตอร์ส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพของระบบ และขนาดใดที่มีความเหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพรวมทั้งระบบดีที่สุด

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแอมพลิจูดขนาดต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB) (WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	24.8662 (0.827)	24.9385 (0.784)	24.2481 (0.815)	24.8549 (0.804)	25.0109 (0.796)	25.1133 (0.799)
5.00	28.6316 (0.244)	28.5393 (0.238)	28.1339 (0.242)	28.6155 (0.24)	28.7262 (0.244)	28.7706 (0.245)
6.25	30.3501 (0.095)	30.2866 (0.095)	30.2294 (0.092)	30.4612 (0.09)	30.4639 (0.09)	30.5253 (0.084)

ตารางที่ 8 (ต่อ)

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	10	15	20	25	30	35
3.75	25.2433 (0.786)	24.6871 (0.81)	24.6742 (0.805)	25.1739 (0.794)	25.2902 (0.794)	24.9908 (0.814)
5.00	28.6948 (0.253)	28.5957 (0.241)	28.3337 (0.247)	28.6476 (0.24)	28.5584 (0.242)	28.7339 (0.242)
6.25	30.5349 (0.089)	30.4502 (0.088)	30.4646 (0.089)	30.4204 (0.086)	30.3090 (0.088)	30.4035 (0.092)

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\bar{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแอมพลิจูดขนาดต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	22.1098 (1.7)	21.6863 (1.7)	21.2188 (1.7)	21.7695 (1.7)	21.5592 (1.7)	21.9931 (1.7)
5.00	26.4741 (0.526)	26.5603 (0.504)	26.2295 (0.518)	26.5061 (0.506)	26.7191 (0.510)	26.5308 (0.507)
6.25	29.1479 (0.187)	28.9807 (0.182)	29.0197 (0.18)	29.3101 (0.181)	29.4086 (0.179)	29.5246 (0.17)

ตารางที่ 9 (ต่อ)

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	10	15	20	25	30	35
3.75	21.5689 (1.7)	21.7152 (1.7)	21.7312 (1.7)	22.0270 (1.7)	21.7702 (1.6)	21.4904 (1.7)
5.00	26.7622 (0.52)	26.3431 (0.517)	26.3794 (0.508)	26.6576 (0.497)	26.5047 (0.513)	26.7903 (0.511)
6.25	29.3494 (0.182)	29.1818 (0.177)	29.2488 (0.174)	29.1899 (0.177)	29.2334 (0.179)	29.4495 (0.177)

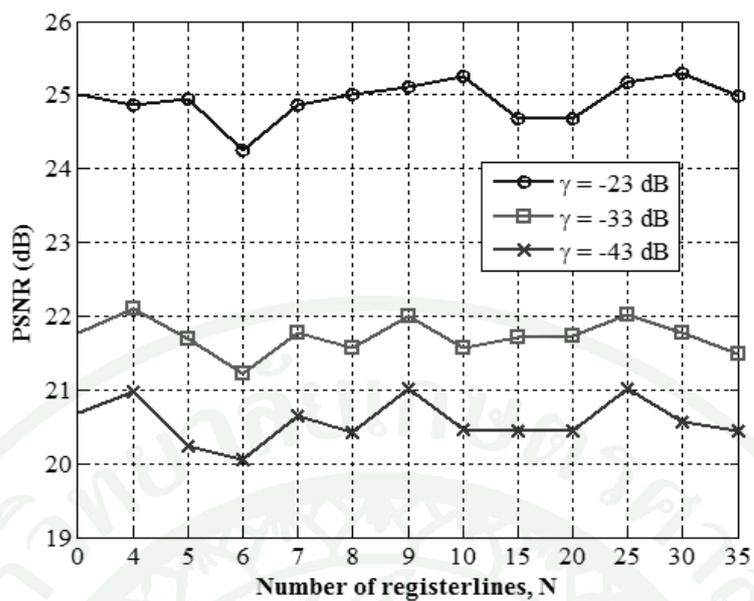
ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\bar{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูริจิสเตอร์ขนาดต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	20.9667 (2.2)	20.2403 (2.2)	20.0547 (2.2)	20.6551 (2.2)	20.4285 (2.2)	21.0226 (2.2)
5.00	25.7346 (0.671)	25.6970 (0.642)	25.1792 (0.667)	25.5062 (0.658)	25.8670 (0.652)	25.5777 (0.659)
6.25	28.6730 (0.23)	28.5665 (0.225)	28.2878 (0.23)	28.6772 (0.229)	28.7996 (0.226)	29.0598 (0.219)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	10	15	20	25	30	35
3.75	20.4686 (2.2)	20.4402 (2.2)	20.4462 (2.2)	21.0209 (2.2)	20.5623 (2.2)	20.4472 (2.2)
5.00	25.9317 (0.65)	25.3588 (0.657)	25.2086 (0.66)	25.7795 (0.656)	25.6970 (0.652)	25.7002 (0.668)
6.25	28.8449 (0.235)	28.6563 (0.224)	28.4390 (0.229)	28.7076 (0.227)	28.6537 (0.234)	28.8717 (0.224)

จากตารางที่ 8, 9 และ 10 ค่าเฉลี่ย PSNR ในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉ่วรีจิสเตอร์ต่างๆ กันออกไปซึ่งทดสอบบนช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบเดียวกันนั้น ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด รวมถึงมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลคือที่ $\gamma = -23$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR จะอยู่ที่ 24 - 30 dB ขึ้นกับค่า $\overline{\gamma}_b$ ที่ทดสอบและที่ค่า $\gamma = -33$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าประมาณ 22 - 29 dB และสุดท้ายที่ $\gamma = -43$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าประมาณ 20 - 28 dB โดยภาพที่ 20 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้การสลับลำดับที่จำนวนแฉ่วรีจิสเตอร์ต่างๆ กัน โดยกำหนดค่า $\overline{\gamma}_b$ เท่ากับ 3.75 dB ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าจำนวนแฉ่วรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆ นั้นให้ผลที่ได้ค่าเฉลี่ย PSNR ที่มีแนวโน้มคงที่ ภาพที่ 21 แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena ที่ได้จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบเดียวโดยกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้สัญญาณรบกวนตัวเดียวกันโดยในภาพ (ก) แสดงรูปภาพเมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ โดยมีค่า PSNR เท่ากับ 20.6312 dB ภาพ (ข) แสดงรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แฉ่วมีค่า PSNR เท่ากับ 23.4676 dB และภาพ (ค) แสดงตัวอย่างรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แฉ่วมีค่า PSNR เท่ากับ 22.6273 dB



ภาพที่ 20 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้รีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดคสัญลักษณ์รอบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML



(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 21 แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนเป็นแบบเดี่ยวโดยกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB, $\bar{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ ML (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว

4. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่อง ครั้งละห้าข้อมูลและไม่มีการสลับลำดับข้อมูล

ตารางที่ 11, 12 และ 13 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละ 5 ข้อมูล ซึ่งการกำหนดในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณข้อมูลแบบกลุ่มก้อนภายในช่องสัญญาณ ซึ่งอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากและไม่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลเพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อน

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	9.9577	29.6
5.00	11.3875	17.9
6.25	12.9877	10.9

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	8.9992	43.0
5.00	10.0140	28.1
6.25	11.2581	18.4

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	8.7951	48.1
5.00	9.6469	31.9
6.25	10.7828	21.5

จากตารางที่ 11, 12, และ 13 ค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ในกรณีที่ไม่มีกรสลับลำดับข้อมูล ที่ทดสอบบนช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่กำหนดการรบกวนข้อมูลครั้งละ 5 ข้อมูล ซึ่งเป็นการกำหนดให้เป็นการรบกวนแบบกลุ่ม ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีที่สัญญาณไม่มีการรบกวน อันเนื่องมาจากการรบกวนในลักษณะนี้ กระบวนการทางฝั่งรับไม่สามารถแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดได้ อีกทั้งยังไม่มีกรสลับลำดับข้อมูล ทำให้ค่าเฉลี่ย PSNR ที่ $\gamma = -23$ dB นั้นเหลือเพียง 9 -12 dB และที่ $\gamma = -33$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงเหลือ 8 -11 dB และที่ $\gamma = -43$ dB ซึ่งเป็นกรณีที่สัญญาณในเส้นทางกระเจิงมากค่ามากที่สุดในการทดลองนั้นค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงเหลือเพียง 8-10 dB

5. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละห้าข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถว

ตารางที่ 14, 15 และ 16 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละ 5 ข้อมูล ซึ่งเป็นการจำลองการรบกวนแบบกลุ่มก่อนโดยการรบกวนในลักษณะนี้ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นต้นเหตุแนวคิดในการวิจัยนี้ที่จะใช้การสลับลำดับข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการทดสอบนี้ใช้การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่มีขนาดแถวรีจิสเตอร์ 4 แถว เพื่อศึกษาว่าการสลับลำดับข้อมูลจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้หรือไม่

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	11.9751	17.5
5.00	14.6567	9.0
6.25	18.0356	4.4

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	10.5327	28.2
5.00	12.3671	15.8
6.25	14.7110	8.7

ตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉว และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	10.1831	32.3
5.00	11.6876	18.6
6.25	13.8896	10.7

จากตารางที่ 14, 15 และ 16 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย PSNR ในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ 4 แฉวกับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อนนั้น จากตารางจะเห็นเมื่อเปรียบเทียบในกรณีค่า γ เท่ากันกับกรณีที่ไม่มีการใช้การสลับลำดับนั้น จะเห็นได้ว่าในทุกกรณีมีค่าเฉลี่ย PSNR ที่ดีขึ้น โดยประมาณ 2 – 3 dB เพราะเมื่อมีการใช้การสลับลำดับข้อมูลทำให้ข้อมูลที่ถูกรบกวนเป็นกลุ่มๆ นั้นกระจายออก ซึ่งส่งผลให้กระบวนการทางฝั่งรับสามารถแก้ไขข้อมูลได้มากขึ้น แต่ในการทดสอบครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้สัญญาณรบกวนหนึ่งค่ารบกวนข้อมูลติดต่อกัน 5 ข้อมูล แต่ใช้กระบวนการสลับลำดับที่มีจำนวนแฉวรีจิสเตอร์ขนาด 4 แฉวซึ่งอาจจะไม่สามารถกระจายข้อมูลได้ทั้งหมด ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนแฉวของรีจิสเตอร์ขึ้น เพื่อสังเกตว่าค่าเฉลี่ย PSNR จะเพิ่มขึ้นหรือไม่

6. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละห้าข้อมูล และใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาดต่างๆ

ตารางที่ 17, 18 และ 19 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละ 5 ข้อมูล หรือทำให้เกิดการรบกวนแบบกลุ่มในช่องสัญญาณ โดยในการทดสอบนี้จะทดสอบกับกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่รีจิสเตอร์มีขนาดแฉวต่าง ๆ กันออกไป เพื่อศึกษาว่าขนาดที่เพิ่มขึ้นของรีจิสเตอร์ส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแอมพลิฟายเออร์ต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	11.9751	12.9370	15.7784	17.8250	19.9373	21.9811
	(17.5)	(15.0)	(8.6)	(5.6)	(3.5)	(2.3)
5.00	14.6567	15.8557	20.2349	22.6039	25.2846	26.5437
	(9.0)	(7.1)	(3.3)	(2.0)	(1.1)	(0.742)
6.25	18.0356	19.2503	24.3882	26.8627	28.2164	29.2018
	(4.4)	(3.2)	(1.3)	(0.697)	(0.41)	(0.255)
	10	15	20	25	30	35
3.75	22.5899	24.2503	24.5293	24.4819	24.3907	24.5199
	(1.8)	(1.2)	(1.0)	(0.991)	(0.982)	(0.98)
5.00	26.9555	27.5967	28.0623	27.9925	28.0983	28.3382
	(0.593)	(0.4)	(0.349)	(0.334)	(0.308)	(0.311)
6.25	29.4299	29.7184	29.9316	29.9569	30.0183	29.9160
	(0.211)	(0.157)	(0.143)	(0.139)	(0.119)	(0.128)

ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแอมพลิฟายเออร์ต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML

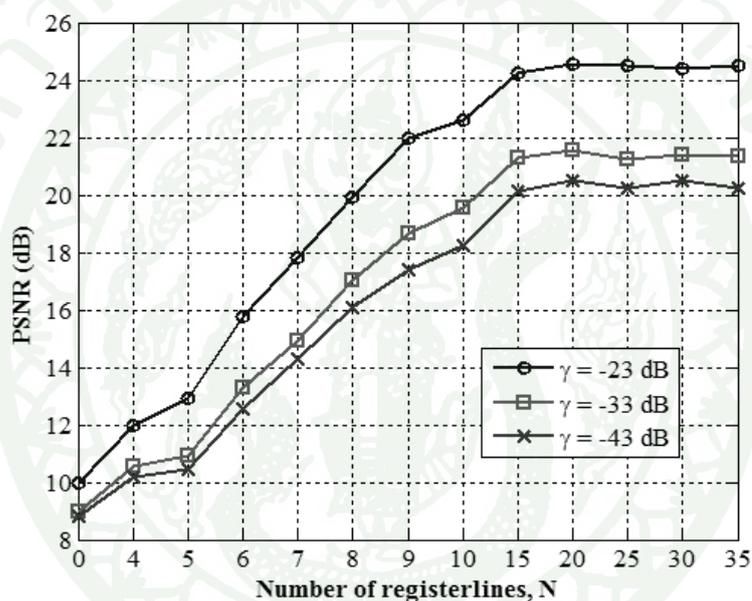
$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	10.5327	10.9141	13.2706	14.9118	17.0245	18.6404
	(28.2)	(24.8)	(15.6)	(10.8)	(7.2)	(5.0)
5.00	12.3671	13.3925	16.6550	19.1639	21.5384	23.4542
	(15.8)	(13.1)	(7.0)	(4.4)	(2.6)	(1.7)
6.25	14.7110	16.0262	20.7021	23.4651	25.9386	27.1121
	(8.7)	(6.8)	(3.0)	(1.7)	(0.969)	(0.594)
	10	15	20	25	30	35
3.75	19.5508	21.2986	21.5743	21.2339	21.3789	21.3251
	(4.1)	(2.6)	(2.2)	(2.0)	(2.0)	(2.0)
5.00	24.1632	25.4101	25.9218	25.8468	25.7723	25.8008
	(1.3)	(0.841)	(0.705)	(0.664)	(0.649)	(0.674)
6.25	27.4897	28.1613	28.6887	28.6083	28.8144	28.8620
	(0.48)	(0.313)	(0.273)	(0.266)	(0.237)	(0.24)

ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวรีจิสเตอร์ต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ ML

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	10.1831	10.4263	12.5657	14.2670	16.0870	17.3697
	(32.3)	(28.8)	(18.7)	(13.2)	(9.0)	(6.4)
5.00	11.6876	12.8423	15.6857	17.9411	20.4413	22.5216
	(18.6)	(15.7)	(8.7)	(5.6)	(3.4)	(2.2)
6.25	13.8896	15.1883	19.4372	22.1848	24.6533	26.4794
	(10.7)	(8.4)	(3.9)	(2.3)	(1.3)	(0.768)
	10	15	20	25	30	35
3.75	18.2346	20.1266	20.4934	20.2145	20.5034	20.2240
	(5.2)	(3.4)	(2.8)	(2.6)	(2.6)	(2.6)
5.00	23.0602	24.5420	25.0235	24.9163	24.9316	24.8826
	(1.7)	(1.0)	(0.901)	(0.85)	(0.836)	(0.849)
6.25	26.8088	27.6011	28.0910	28.0784	28.1784	28.3332
	(0.62)	(0.394)	(0.346)	(0.328)	(0.298)	(0.309)

จากตารางที่ 17, 18 และ 19 ผลจากการทดสอบในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวรีจิสเตอร์ต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อน จากตารางจะเห็นเมื่อจำนวนแวลวของรีจิสเตอร์มีจำนวนมากขึ้น ค่าเฉลี่ย PSNR จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อันเนื่องจากการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่จำนวนแวลวมากขึ้น ทำให้ข้อมูลที่ถูกรบกวนกระจายห่างกันมากขึ้น และจากตารางทั้ง 3 ตารางจะเห็นว่าที่จำนวนแวลวขนาด 20 แวลวนั้นให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับการทดสอบก่อนหน้าทีทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มเดียว และเมื่อเพิ่มขนาดแวลวมากขึ้นค่าเฉลี่ยไม่ได้เพิ่มขึ้นดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมกับระบบที่ทดสอบ เพราะถ้าจำนวนแวลวมีมากเกินไปจะทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น ภาพที่ 22 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ต่าง ๆ กันบน

ช่องสัญญาณที่กำหนดคสัญลักษณ์รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\overline{\gamma}_b$ เท่ากับ 3.75 dB ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนแฉกริเจสเตอร์มากขึ้นผลที่ได้มีแนวโน้มที่ดีขึ้น และมีแนวโน้มคงที่เมื่อริเจสเตอร์มีขนาดแถว 15 แถวขึ้นไป ในภาพที่ 23 แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena ที่ได้จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB โดยภาพ (ก) แสดงรูปภาพเมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับมีค่า PSNR เท่ากับ 8.4281 dB ภาพ (ข) แสดงรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนริเจสเตอร์ 4 แถวมีค่า PSNR เท่ากับ 10.9611 dB และภาพ (ค) แสดงตัวอย่างรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนริเจสเตอร์ 20 แถว มีค่า PSNR เท่ากับ 21.6986 dB



ภาพที่ 22 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้ริเจสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบน ช่องสัญญาณที่กำหนดคสัญลักษณ์รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและใช้การ ตรวจจับแบบ ML



(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 23 แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ ML (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว

การทดสอบระบบสื่อสารแบบไร้สายข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 โดยใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ Maximum a posteriori (MAP)

ในหัวข้อนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่ใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ Maximum a posteriori (MAP) โดยในส่วนของช่องสัญญาณจะเหมือนกับการทดสอบในหัวข้อแรกคือ ทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดที่กำหนดคสัญลักษณ์รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและสัญลักษณ์รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูล และปรับเปลี่ยนลักษณะรูปแบบการเลือนหายของสัญญาณตามการเปลี่ยนค่าตัวแปรซึ่งได้แก่ค่า γ ซึ่งในการทดสอบนี้จะทดสอบ 3 ค่า คือ -23 dB, -33 dB และ -43 dB เช่นเดียวกับการทดสอบในครั้งแรกและปรับค่าตัวแปร $\overline{\gamma}_b$ ในแต่ละค่าของ γ เป็น 3 ค่าคือ 3.75 dB, 5 dB และ 6.25 dB โดยการทดสอบนี้ผู้วิจัยนี้จะทำการวิจัยโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างไม่ใช้กระบวนการสลับลำดับและใช้กระบวนการสลับลำดับที่มีขนาดรีจิสเตอร์ต่างๆ

1. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและไม่มีการสลับลำดับข้อมูล

ตารางที่ 20, 21 และ 22 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูล ซึ่งเป็นการจำลองการรบกวนแบบเดี่ยวภายในช่องสัญญาณและได้ปรับเปลี่ยนการตรวจจับทางฝั่งรับเป็น Maximum a posteriori (MAP) และยังไม่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลเพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบในขณะที่ไม่มีการสลับลำดับข้อมูล

ตารางที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญลักษณ์รบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	25.2054	0.751
5.00	28.7582	0.240
6.25	30.5099	0.092

ตารางที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	22.0584	1.509
5.00	26.5849	0.495
6.25	29.4686	0.174

ตารางที่ 22 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	20.9225	1.928
5.00	25.6727	0.620
6.25	28.9759	0.221

จากตารางที่ 20, 21, และ 22 ค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบบนช่องสัญญาณที่กำหนดการรบกวนข้อมูลภายในหนึ่งข้อมูลกรณีที่กระบวนการทางฝั่งรับเป็นแบบ MAP และไม่มีการสลับลำดับข้อมูลนั้น ผลที่ได้ค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1 – 2 dB เมื่อเทียบกับกระบวนการทางฝั่งรับแบบ ML โดยในกรณีที่ $\gamma = -23$ dB นั้นค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าประมาณ 25 - 30 dB และที่ $\gamma = -33$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR ประมาณ 22-29 dB ที่ $\gamma = -43$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR ประมาณ 20-28 dB โดยค่าเฉลี่ยยังคงลดลงเมื่อมีการปรับค่าสัญญาณในเส้นทางกระเจิงให้มีความมากขึ้น

2. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถว

ตารางที่ 23, 24 และ 25 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูล และใช้กระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลโดยกำหนดให้มีรีจิสเตอร์มีขนาด 4 แถว เพื่อวัดว่าจะส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพของระบบเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับขณะไม่มีการใช้กระบวนการสลับลำดับ

ตารางที่ 23 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\bar{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวรีจิสเตอร์ 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	25.0605	0.745
5.00	28.7208	0.234
6.25	30.4000	0.091

ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\bar{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลวรีจิสเตอร์ 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	22.3621	1.52
5.00	26.6452	0.476
6.25	29.2149	0.180

ตารางที่ 25 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ 4 แวลูและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	21.2019	1.97
5.00	25.9317	0.607
6.25	28.7377	0.221

จากตารางที่ 23, 24 และ 25 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย PSNR ในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ 4 แวลูกับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบเดี่ยวและการตรวจจับทางฝั่งรับเป็นแบบ Maximum a posteriori (MAP) นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ค่า γ เท่ากันกับตารางที่ 20, 21, 22 นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งให้ผลเหมือนกับการทดสอบก่อนหน้าที่ใช้การตรวจจับทางฝั่งรับเป็นแบบ ML เพราะกระบวนการสลับลำดับข้อมูลนั้นออกแบบมาให้แก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการรบกวนแบบกลุ่มก่อน แต่เมื่อนำมาใช้กับการรบกวนแบบเดี่ยวก็ไม่ทำให้ค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงแต่อย่างใดเมื่อเทียบกับในกรณีที่ไม่มีกรสลับลำดับข้อมูล

3. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลทีรีจิสเตอร์ขนาดแวลูต่างๆ

ตารางที่ 26, 27 และ 28 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละหนึ่งข้อมูล และใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ MAP โดยทดสอบกับการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่รีจิสเตอร์มีขนาดแวลูต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาว่าขนาดที่เพิ่มขึ้นของรีจิสเตอร์ส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพของระบบและเพื่อศึกษาว่าจำนวนรีจิสเตอร์ขนาดใดมีความเหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพต่อระบบดีที่สุด

ตารางที่ 26 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูจิสเตอร์ขนาดต่างๆกันและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	25.0605	25.1362	24.4229	24.9951	25.2118	25.3161
	(0.745)	(0.708)	(0.745)	(0.729)	(0.725)	(0.724)
5.00	28.7208	28.6319	28.2019	28.7191	28.8053	28.8365
	(0.234)	(0.226)	(0.230)	(0.228)	(0.232)	(0.236)
6.25	30.4000	30.3015	30.2363	30.4680	30.4996	30.5400
	(0.091)	(0.093)	(0.090)	(0.089)	(0.086)	(0.083)
	10	15	20	25	30	35
3.75	25.4122	24.9316	24.8623	25.3748	25.4883	25.1941
	(0.721)	(0.723)	(0.729)	(0.716)	(0.714)	(0.736)
5.00	28.7901	28.6665	28.4370	28.7380	28.6405	28.8492
	(0.238)	(0.229)	(0.235)	(0.227)	(0.235)	(0.227)
6.25	30.5381	30.4732	30.4802	30.4648	30.3439	30.4294
	(0.086)	(0.085)	(0.087)	(0.082)	(0.085)	(0.089)

ตารางที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแอมพลิฟายเออร์ขนาดต่างๆกันและใช้การตรวจจับแบบ MAP

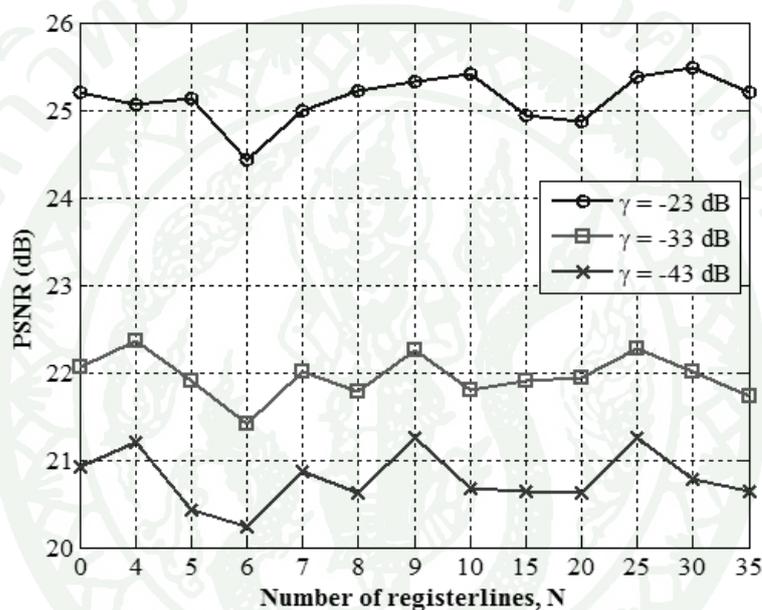
$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	22.3621	21.9056	21.4083	22.0047	21.7747	22.2552
	(1.52)	(1.49)	(1.53)	(1.53)	(1.53)	(1.52)
5.00	26.6452	26.7310	26.3671	26.6387	26.8931	26.6812
	(0.476)	(0.465)	(0.482)	(0.465)	(0.471)	(0.469)
6.25	29.2149	29.0401	29.0785	29.3825	29.4797	29.5582
	(0.180)	(0.175)	(0.172)	(0.172)	(0.169)	(0.165)
	10	15	20	25	30	35
3.75	21.7949	21.9042	21.9320	22.2703	22.0021	21.7241
	(1.51)	(1.52)	(1.51)	(1.51)	(1.50)	(1.54)
5.00	26.8894	26.5312	26.5191	26.8049	26.6312	26.9667
	(0.484)	(0.470)	(0.473)	(0.462)	(0.476)	(0.476)
6.25	29.4224	29.2348	29.2885	29.2437	29.2761	29.5309
	(0.173)	(0.167)	(0.168)	(0.169)	(0.175)	(0.170)

ตารางที่ 28 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยมีการสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆกันและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	21.2019	20.4273	20.2376	20.8704	20.6175	21.2567
	(1.97)	(1.95)	(1.96)	(1.96)	(1.95)	(1.94)
5.00	25.9317	25.8560	25.2796	25.6331	26.0605	25.7598
	(0.607)	(0.592)	(0.621)	(0.607)	(0.599)	(0.606)
6.25	28.7377	28.6438	28.3611	28.7819	28.8709	29.1471
	(0.221)	(0.215)	(0.218)	(0.217)	(0.215)	(0.210)
	10	15	20	25	30	35
3.75	20.6714	20.6438	20.6150	21.2502	20.7887	20.6432
	(1.93)	(1.94)	(1.96)	(1.94)	(1.94)	(1.96)
5.00	26.0724	25.5833	25.3586	25.9392	25.8445	25.8867
	(0.603)	(0.595)	(0.607)	(0.598)	(0.602)	(0.6144)
6.25	28.9287	28.7545	28.5209	28.7832	28.7129	28.9498
	(0.225)	(0.213)	(0.218)	(0.218)	(0.226)	(0.214)

จากตารางที่ 26, 27 และ 28 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย PSNR ที่ทดสอบกับช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ต่างๆ กันออกไปนั้น ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลคือที่ $\gamma = -23$ dB มีค่าเฉลี่ย PSNR อยู่ที่ 24 – 30 dB และที่ค่า $\gamma = -33$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าประมาณ 21 - 29 dB และสุดท้ายที่ $\gamma = -43$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าประมาณ 20 – 28 dB ดังนั้นขนาดของรีจิสเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการรบกวนสัญญาณแบบเดียวคือรีจิสเตอร์ขนาด 4 แวลู เนื่องจากเป็นขนาดที่ระบบมีความซับซ้อนน้อยที่สุด ภาพที่ 24 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้การสลับลำดับที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ต่าง ๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนดค่า $\overline{\gamma}_b$ เท่ากับ

3.75 dB โดยใช้การตรวจจับแบบ MAP ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าที่จำนวนแฉกริเจสเตอร์มีค่าต่างๆ ค่าเฉลี่ย PSNR มีแนวโน้มคงที่เหมือนกับในกรณีของ ML ภาพที่ 25 แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena ที่ได้จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดเป็นการรบกวนแบบเดี่ยวและค่า $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB โดยภาพ (ก) แสดงรูปภาพเมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับมีค่า PSNR เท่ากับ 21.1164 dB ภาพ (ข) แสดงรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนริเจสเตอร์ 4 แฉกริเจสเตอร์ มีค่า PSNR เท่ากับ 23.8499 dB และภาพ (ค) แสดงตัวอย่างรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนริเจสเตอร์ 20 แฉกริเจสเตอร์ มีค่า PSNR เท่ากับ 22.8967 dB โดยทั้ง 3 ภาพใช้สัญญาณรบกวนตัวเดียวกัน



ภาพที่ 24 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้ริเจสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 25 แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma_b} = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ MAP (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว

4. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่อง ครั้งละห้าข้อมูลและไม่มีการสลับลำดับข้อมูล

ตารางที่ 29, 30 และ 31 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนต่อเนื่องครั้งละ 5 ข้อมูล โดยช่องสัญญาณในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณข้อมูลแบบกลุ่มก้อนที่มีการรบกวนติดต่อกัน 5 ข้อมูล โดยเริ่มต้นทดลองไม่ใช้การสลับลำดับข้อมูลเพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อน

ตารางที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	9.9596	26.52
5.00	11.4162	16.36
6.25	13.0285	10.04

ตารางที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	9.0070	38.65
5.00	10.0163	25.57
6.25	11.2753	16.99

ตารางที่ 31 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	8.7957	43.425
5.00	9.6490	29.238
6.25	10.7778	19.887

จากตารางที่ 29, 30, และ 31 ค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ในกรณีที่ไม่มีกรสลับลำดับข้อมูล ที่ทดสอบบนช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดที่กำหนดการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละ 5 ข้อมูลซึ่งเป็นการกำหนดให้เป็นการรบกวนแบบกลุ่มก้อนและใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ MAP ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย PSNR นั้นลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีที่สัญญาณไม่มีกรรบกวนซึ่งค่าเฉลี่ย PSNR ที่ $\gamma = -23$ dB นั้นเหลือเพียง 9 -12 dB และที่ $\gamma = -33$ dB ค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงเหลือ 8 -11 dB และที่ $\gamma = -43$ dB ซึ่งค่าที่มากที่สุดนั้นค่าเฉลี่ย PSNR ลดลงเหลือเพียง 8-10 dB ซึ่งผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีแบบ ML นั้นค่าเฉลี่ย PSNR มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแตกต่างจากในกรณีที่มีการรบกวนแบบเดี่ยวซึ่งกระบวนการแบบ MAP จะให้ผลดีกว่าแบบ ML ประมาณ 1 -2 dB

5. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละห้าข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถว

ตารางที่ 32, 33 และ 34 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลือนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละ 5 ข้อมูลและใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ Maximum a posteriori (MAP) ร่วมกับการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่มีขนาดแถวรีจิสเตอร์ 4 แถว เพื่อศึกษาว่าการสลับลำดับข้อมูลจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่มีการรบกวนดังกล่าวได้หรือไม่

ตารางที่ 32 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	12.0324	15.37
5.00	14.7281	7.96
6.25	18.1699	3.94

ตารางที่ 33 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	10.5660	24.79
5.00	12.4181	14.06
6.25	14.7821	7.87

ตารางที่ 34 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่รีจิสเตอร์ขนาด 4 แถวและใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)	WER $\times 10^{-3}$
3.75	10.2161	28.56
5.00	11.7254	16.65
6.25	13.9397	9.70

จากตารางที่ 32, 33 และ 34 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย PSNR ในกรณีที่ใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ 4 แลวกับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อนนั้น เมื่อเปรียบเทียบที่ค่า γ เท่ากันกับกรณีที่ไม่มีการใช้การสลับลำดับนั้นจะเห็นได้ว่าในทุกกรณีมีค่าเฉลี่ย PSNR ดีขึ้นโดยประมาณ 3 – 5 dB เพราะเมื่อมีการใช้การสลับลำดับข้อมูลนั้นทำให้ข้อมูลที่ถูกรบกวนเป็นกลุ่มๆ นั้นกระจายออกซึ่งส่งผลให้กระบวนการทางฝั่งรับสามารถแก้ไขข้อมูลและถอดรหัสได้ดีขึ้น แต่ในการทดสอบครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้การรบกวนหนึ่งครั้งรบกวนข้อมูลต่อเนื่องกัน 5 ข้อมูล แต่ใช้กระบวนการสลับลำดับที่มีจำนวนแวลูรีจิสเตอร์ขนาด 4 แลวกิ่งนั้นค่าที่ได้จึงยังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งผู้วิจัยจะทำการทดสอบต่อไปโดยเพิ่มขนาดแวลูของรีจิสเตอร์เพื่อดูว่าขนาดใดให้ผลที่ดีที่สุด

6. การทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีการรบกวนข้อมูลต่อเนื่องครั้งละห้าข้อมูลและใช้การสลับลำดับข้อมูลทีรีจิสเตอร์ขนาดต่างๆ

ตารางที่ 35, 36 และ 37 เป็นผลการทดสอบกับช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่มีการรบกวนข้อมูลครั้งละ 5 ข้อมูลและใช้การตรวจจับทางฝั่งรับแบบ Maximum a posteriori (MAP) โดยทดสอบกับการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่รีจิสเตอร์มีขนาดแวลูต่างๆ กันออกไป เพื่อศึกษาว่าขนาดที่เพิ่มขึ้นของรีจิสเตอร์ส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพของระบบ และขนาดใดที่มีความเหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด

ตารางที่ 35 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -23$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีรีจิสเตอร์ขนาดแถวต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	12.0324	12.9870	15.9138	18.0284	20.1431	22.1726
	(15.37)	(13.07)	(7.31)	(4.83)	(3.12)	(2.11)
5.00	14.7281	15.9674	20.4535	22.8059	25.4689	26.6430
	(7.96)	(6.33)	(2.93)	(1.75)	(1.04)	(0.702)
6.25	18.1699	19.4100	24.6370	27.0123	28.3298	29.2932
	(3.94)	(2.95)	(1.17)	(0.63)	(0.38)	(0.24)
	10	15	20	25	30	35
3.75	22.8268	24.4192	24.7013	24.6142	24.6240	24.7173
	(1.69)	(1.15)	(0.965)	(0.904)	(0.889)	(0.899)
5.00	27.0199	27.6884	28.1377	28.0620	28.1802	28.4423
	(0.56)	(0.37)	(0.336)	(0.322)	(0.294)	(0.293)
6.25	29.4633	29.7420	29.9580	29.9826	30.0443	29.9413
	(0.204)	(0.154)	(0.139)	(0.136)	(0.116)	(0.127)

ตารางที่ 36 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -33$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีรีจิสเตอร์ขนาดแถวต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ MAP

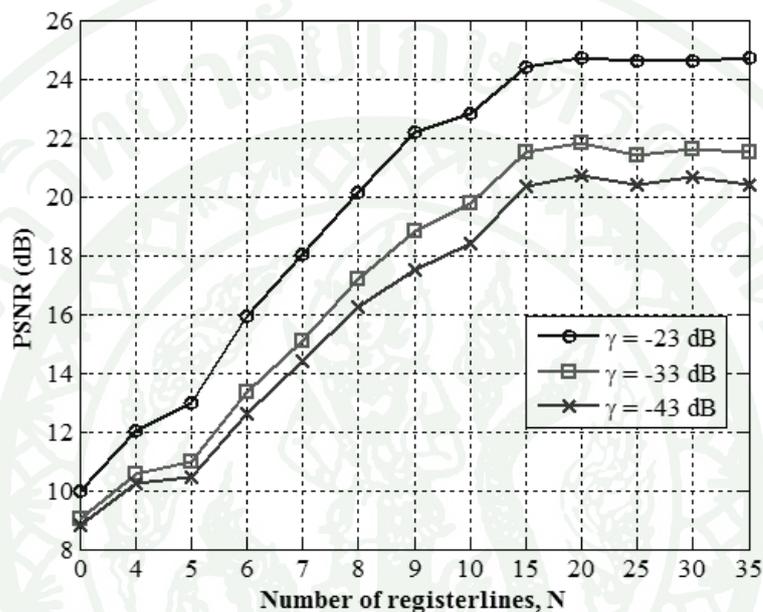
$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	10.5660	10.9481	13.3326	15.0549	17.1912	18.8093
	(24.79)	(21.67)	(13.33)	(9.26)	(6.18)	(4.41)
5.00	12.4181	13.4478	16.8204	19.3804	21.7511	23.6232
	(14.06)	(11.66)	(6.05)	(3.83)	(2.36)	(1.53)
6.25	14.7821	16.1348	20.8851	23.6548	26.0765	27.1945
	(7.87)	(6.08)	(2.70)	(1.53)	(0.868)	(0.568)
	10	15	20	25	30	35
3.75	19.7594	21.5132	21.7944	21.4042	21.6279	21.5081
	(3.57)	(2.35)	(1.98)	(1.83)	(1.80)	(1.84)
5.00	24.3563	25.5659	26.0517	25.9670	25.9357	25.9872
	(1.18)	(0.776)	(0.65)	(0.619)	(0.597)	(0.625)
6.25	27.5765	28.2441	28.7298	28.6675	28.8640	28.9282
	(0.457)	(0.299)	(0.264)	(0.258)	(0.229)	(0.231)

ตารางที่ 37 แสดงค่าเฉลี่ย PSNR และ WER ของภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\gamma = -43$ dB และ $\overline{\gamma}_b = 3.75, 5$ และ 6.25 dB โดยใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีรีจิสเตอร์ขนาดแถวต่างๆ และใช้การตรวจจับแบบ MAP

$\overline{\gamma}_b$ (dB)	PSNR (dB)					
	(WER $\times 10^{-3}$)					
	4	5	6	7	8	9
3.75	10.2161 (28.56)	10.4447 (25.24)	12.6139 (16.07)	14.3844 (11.37)	16.2385 (7.76)	17.4990 (5.60)
5.00	11.7254 (16.65)	12.8901 (13.98)	15.7882 (7.63)	18.1232 (4.87)	20.6405 (3.04)	22.6760 (1.99)
6.25	13.9397 (9.70)	15.2517 (7.58)	19.6126 (3.48)	22.3261 (2.03)	24.8429 (1.17)	26.5673 (0.735)
	10	15	20	25	30	35
3.75	18.3977 (4.55)	20.3221 (3.00)	20.6895 (2.53)	20.3874 (2.34)	20.6696 (2.30)	20.3878 (2.34)
5.00	23.2307 (1.55)	24.6975 (1.02)	25.1772 (0.838)	25.0356 (0.787)	25.1315 (0.768)	25.0552 (0.791)
6.25	26.8728 (0.591)	27.6593 (0.376)	28.1576 (0.334)	28.1561 (0.319)	28.2506 (0.287)	28.4303 (0.292)

จากตารางที่ 35, 36 และ 37 ผลจากการทดสอบในกรณีที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่มีจำนวนแฉกริจิสเตอร์ต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อน จากตารางจะเห็นว่าเมื่อจำนวนแถวของรีจิสเตอร์มีจำนวนมากขึ้น ค่าเฉลี่ย PSNR จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งคล้ายกับกรณีของ ML อันเนื่องจากการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลที่จำนวนแถวมากขึ้นทำให้ข้อมูลที่ถูกรบกวนกระจายห่างกันมากขึ้น ภาพที่ 26 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ต่าง ๆ กับช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและกำหนดค่า $\overline{\gamma}_b$ เท่ากับ 3.75 dB และการตรวจจับแบบ MAP ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนแฉกริจิสเตอร์ขึ้นผลที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะมีแนวโน้มคงที่เมื่อจำนวนแถวของรีจิสเตอร์มีค่าเท่ากับ 15 ในภาพที่ 27 แสดงตัวอย่างรูปภาพ Lena ที่ได้จากการ

ทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบกลุ่มก้อนและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้สัญญาณรบกวนตัวเดียวกัน โดยภาพ (ก) แสดงรูปภาพเมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับมีค่า PSNR เท่ากับ 8.3850 dB ภาพ (ข) แสดงรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว มีค่า PSNR เท่ากับ 10.8929 dB และภาพ (ค) แสดงตัวอย่างรูปภาพที่ได้เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถวมีค่า PSNR เท่ากับ 21.8357 dB



ภาพที่ 26 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้รีจิสเตอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันบนช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและใช้การตรวจจับแบบ MAP



(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 27 แสดงรูปภาพ Lena จากการทดสอบผ่านช่องสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลห้าข้อมูลและกำหนด $\gamma = -43$ dB, $\overline{\gamma}_b = 3.75$ dB และใช้การตรวจจับแบบ MAP (ก) เมื่อไม่มีการใช้การสลับลำดับ (ข) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 4 แถว (ค) เมื่อใช้การสลับลำดับที่จำนวนรีจิสเตอร์ 20 แถว

วิจารณ์

ผลการทดสอบระบบกับภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลหนึ่งข้อมูลและใช้การสลับลำดับแบบคอนโวลูชัน นอลพบว่า ค่าเฉลี่ย PSNR และค่าเฉลี่ย WER มีค่าใกล้เคียงกับภาพที่ผ่านช่องสัญญาณ โดยไม่มีการใช้การสลับลำดับ หรือมีค่าดีขึ้นเล็กน้อยเพียง 1-2 dB ในบางกรณี เนื่องจากการทดสอบระบบที่กำหนดค่าการรบกวนภายในช่องสัญญาณเป็นการรบกวนแบบเดี่ยวโดยปกติแล้วนั้นกระบวนการถอดรหัสของระบบสามารถแก้ปัญหาในลักษณะนี้ได้ ดังนั้นเมื่อมีการใช้กระบวนการสลับลำดับจึงไม่เห็นผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้มากนัก แต่สามารถกล่าวได้ว่าเมื่อมีการนำกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลมาใช้ร่วมกับระบบก็ไม่ทำให้ระบบลดประสิทธิภาพหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่แย่ลง

ผลการทดสอบระบบกับภาพที่ผ่านช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดของสัญญาณที่กำหนดสัญญาณรบกวนหนึ่งค่ามีผลต่อข้อมูลต่อเนื่องห้าข้อมูลและใช้การสลับลำดับพบว่า ค่าเฉลี่ย PSNR และ ค่าเฉลี่ย WER มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากและในบางกรณีค่าที่ได้เพิ่มขึ้นถึง 3 เท่าเมื่อเทียบกับภาพที่ผ่านช่องสัญญาณ โดยไม่มีการสลับลำดับข้อมูล เนื่องจากการทดสอบกับระบบที่กำหนดค่าการรบกวนภายในช่องสัญญาณเป็นแบบกลุ่มครั้งละ 5 ข้อมูลโดยทั่วไปแล้วสภาพการรบกวนในลักษณะนี้จะทำลายประสิทธิภาพของระบบอย่างมาก ดังนั้นเมื่อผู้วิจัยนำกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลมาใช้ร่วมกับระบบ การสลับลำดับข้อมูลจะช่วยกระจายข้อมูลออกก่อนที่จะถูกรบกวนซึ่งเมื่อทำการสลับลำดับกลับแล้วนั้นข้อมูลที่ถูกรบกวนแบบกลุ่มก็จะกระจายออกเป็นการรบกวนแบบเดี่ยว ทำให้กระบวนการทางฝั่งรับสามารถแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลได้และส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ผลการทดสอบกับระบบที่ใช้การตรวจจับทางฝั่งรับต่างกันระหว่างแบบ ML และแบบ MAP พบว่า ค่าเฉลี่ย PSNR และค่าเฉลี่ย WER ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลนั้น การทดสอบกับการตรวจจับแบบ MAP ให้ผลที่ดีกว่าการตรวจจับแบบ ML ซึ่งผลที่ได้เป็นตามความเป็นจริงเนื่องจากการตรวจจับแบบ MAP นั้นข้อมูลจะจัดระดับความสำคัญของข้อมูลซึ่งส่งผลต่อถอดรหัสข้อมูลมากกว่าแบบ ML ซึ่งหมายถึงการสลับลำดับแบบคอนโวลูชันนอลสามารถนำมาใช้ร่วมกับการตรวจจับทางฝั่งรับทั้ง 2 แบบได้โดยไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 ที่ผู้วิจัยประยุกต์และออกแบบกระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลให้สามารถทำงานร่วมกับระบบสื่อสารข้อมูลภาพต้นแบบที่ประกอบไปด้วยกระบวนการต่างๆ คือ กระบวนการเข้ารหัสข้อมูลภาพ (Source Encoder) การถอดรหัสข้อมูลภาพ (Source Decoder) การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Encoder) การถอดรหัสช่องสัญญาณ (Channel Decoder) ที่ใช้การตรวจจับทั้งแบบ ML และแบบ MAP การการมอดูเลชัน (Modulation) การดีมอดูเลชัน (Demodulation) และการจำลองช่องสัญญาณแบบไร้สาย (Channel) ที่มีการกำหนดสัญญาณรบกวนข้อมูลเป็นแบบเดี่ยวและแบบกลุ่ม ซึ่งผลการทดสอบส่งภาพผ่านช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีลักษณะการรบกวนเป็นแบบเดี่ยวและมีการใช้การสลับลำดับข้อมูลนั้นให้ผลค่าเฉลี่ย PSNR และค่าเฉลี่ย WER ใกล้เคียงหรือดีกว่าเล็กน้อยในบางกรณีเมื่อเทียบกับไม่ใช้การสลับลำดับข้อมูลทั้งในแบบของ ML และแบบ MAP และเมื่อทดสอบส่งภาพผ่านช่องสัญญาณที่มีการเลื่อนหายทางขนาดที่มีลักษณะเป็นการรบกวนแบบกลุ่ม ผลที่ได้ปรากฏว่าเมื่อมีการใช้การสลับลำดับข้อมูลจะให้ผลค่าเฉลี่ย PSNR และค่าเฉลี่ย WER ดีขึ้นกว่าไม่ใช้การสลับลำดับข้อมูลมากทั้งในแบบ ML และแบบ MAP ซึ่งเป็นไปได้ตามจุดประสงค์ที่ได้วางไว้เพื่อให้การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลช่วยในการแก้ไขปัญหาการรบกวนสัญญาณข้อมูลที่เป็นแบบกลุ่มภายในช่องสัญญาณแบบไร้สาย และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในระบบให้มากยิ่งขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอื่นๆ

ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบระบบสื่อสารข้อมูลภาพแบบ MPEG-4 ที่มีการใช้การสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอลนั้น ผู้วิจัยได้เริ่มทำการทดสอบโดยไม่มีการใช้กระบวนการสลับลำดับข้อมูล ต่อมาการใช้การสลับลำดับข้อมูลที่จำนวนแวลูรีจิสเตอร์ 4 แวลู และปรับจำนวนรีจิสเตอร์ขึ้นไปเพื่อเปรียบเทียบผลและดูว่ารีจิสเตอร์ขนาดใดที่มีความเหมาะสมกับการรบกวนแบบกลุ่ม เนื่องจากถ้ามีขนาดน้อยเกินไปทำให้เพิ่มประสิทธิภาพขึ้นได้ไม่เต็มที่ และถ้าหากมีขนาดที่มากเกินไปก็จะทำให้ระบบใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรเลือกขนาดที่มีความเหมาะสมหรือปรับให้กระบวนการสลับลำดับสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองว่าควรใช้ขนาดเท่าใดจึงจะมีความเหมาะสมกับระบบมากที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Couch, L.W. 2007. **Digital and Analog Communication System**. 7 ed. Prentice Hall, Upper Saddle, NJ.
- Forney, G.D. 1971. Burst-Correcting Codes for the Classic Bursty Channel. **IEEE Trans. Comm.** 19 (5): 772 - 781.
- Mahapakulchai, S. 2007. MAP decoding for polynomial ring convolutional trellis codes for MPEG-4 image transmission system over Rician fading channel. **Proceeding of the ECTI2007** 2: 655-658.
- Mahapakulchai, S. 2009. **Image Transmission Systems for Wireless Channels: Theories, Algorithms and Applications**. 1 ed. VDM Verlag Dr. Müller, Germany.
- Mahapakulchai, S. and I. Sapisirisopon. 2008. Design of Random Interleavers for the Variable Length of MPEG-4 Packets in Rician Fading Channels. **5th International Conference on ECTI-CON 2008** (1): 409-412.
- Mahapakulchai, S. and I. Sapisirisopon. 2008. MAP Decoding with Random Interleaver for MPEG-4 Image Indoor Wireless Transmission System. **14th Asia-Pacific Conference on APCC 2008** : 1-5.
- Mahapakulchai, S. and R.E. Van Dyck. 2001. Design of Ring Convolutional Trellis Codes for MAP Decoding for MPEG-4 Imagery. **IEEE International Conference on ICC 2001** (3): 959 - 963.
- Mahapakulchai, S. and R.E. Van Dyck. July 2004. Design of ring convolutional trellis codes for MAP decoding of MPEG-4 images. **IEEE Trans. Comm.** 52: 1033-1037.

- Mahapakulchai, S. and T. Anuchat. 2009. Efficient Design of Convolutional Interleavers in MPEG-4 Image Wireless Transmission System. **6th International Conference on ECTI-CON 2009** (2): 1080-1083.
- Mahapakulchai, S. and W. Thongnumpen. 2007. Design of Block Interleavers in MPEG-4 Image Indoor Wireless Transmission System. **International Conference on Engineering Applied Science and Technology**
- Ramsey, J.L. May 1970. Realization of optimum interleavers. **IEEE Trans. Inform. Theory** 16: 338-345.
- Rimoldi, B.E. 1988. A decomposition approach to CPM, pp. 260-270. **vol. 34, no. 2.** IEEE Trans. Info. Theory.
- Shapiro, J.M. 1993. Embedded Image Coding using Zerotrees of Wavelete Coefficients. **IEEE Trans. Signal Processing** 12 (41): 3445 - 3462.
- Sklar, B. 2001. **Digital communications : fundamentals and applications.** 2 ed. Prentice-Hall International, Upper Saddle River, NJ.
- Van Dyck, R.E. 2000. MPEG-4 image transmission using MAP source-controlled channel decoding. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications** 6 (18): 1087 - 1098.
- Viterbi, A.J. 1967. Error Bounds for Convolutional Codes and Asymptotically Optimum Decoding Algorithm. **IEEE Trans. Inform. Theory** 2 (13): 260 - 269.



โปรแกรมภาษาจาวากระบวนการสลับลำดับข้อมูลแบบคอนโวลูชันนอล

```

import java.io.*;
import java.lang.*;
import java.math.*;
import java.awt.Event.*;
import java.util.*;
//-----CLASS-----
public class ConvolutionalInterleaver
{
//---CLASS DECLARATION---
int sizeR;
int NumRegLine;
int isymsarray[][];
int isymsarray_intl[][];
double isymsarray_intl2[][];
double isymsarray_deintl[][];
int IntRegister[][];
double DeIntRegister[][];
int Leavings;
int IndexIsym = 0;
int IndexArray = 0;
//-----MAIN METHOD-----
public static void main (String[] args) throws IOException
{
//-----DECLARATION-----
int sizeR = 100;
int AssumeData[][] = new int [sizeR][2];
int ReData [][];
double AsIntData[][] = new double [sizeR][8];
double ReIntData[][];
//-----PROCESS-----
ConvolutionalInterleaver ConvoInterleaver = new ConvolutionalInterleaver(sizeR);
for(int i = 0 ; i < sizeR ; i++){
    for(int j = 0 ; j < 2 ; j++){
        AssumeData[i][j] = i+1;
    }
}
ReData = ConvoInterleaver.interleaver(AssumeData);
for(int i = 0 ; i < sizeR ; i++){
    for(int j = 0 ; j < 8 ; j++){
        AsIntData[i][j] = ReData[i][0];
    }
}
ReIntData = ConvoInterleaver.deinterleaver(AsIntData);
} // MAIN
//-----CONSTRUCTOR-----
ConvolutionalInterleaver (int sizeR) throws IOException
{
this.sizeR = sizeR;
NumRegLine = 35;
Leavings = sizeR % NumRegLine;
IntRegister = new int [NumRegLine][NumRegLine+1];
DeIntRegister = new double [NumRegLine][NumRegLine+1];
}

```

```

isymsarray    = new int[sizeR][2];
isymsarray_intl  = new int[sizeR][2];
isymsarray_intl2 = new double[sizeR][8];
isymsarray_deintl = new double[sizeR][8];
}
//-----INTERLEAVER-----
public int[][] interleaver(int[][] ReIsymsArray)
{
//----DECLARATION----
//----PROCESS----
for (int i = 0; i < NumRegLine; i++){
    for (int j = 0; j < NumRegLine+1 ; j++){
        IntRegister[i][j] = 999;
    }
}
for(int i = 0 ; i < 2 ; i++){
    while (IndexArray < sizeR){
        for (int j = 0; j < NumRegLine ; j++){
            if(IndexArray < sizeR){
                IntRegister[j][0] = ReIsymsArray[IndexArray][i];
                IndexArray++;
            }else{
                IntRegister[j][0] = 999;
            }
        }
        ShiftReg(i);
    }
    int n = 0;
    while (n < (NumRegLine-1)){
        for (int j = 0; j < NumRegLine; j++){
            IntRegister[j][0] = 999;
        }
        ShiftReg(i);
        n++;
    }
    IndexIsym = 0;
    IndexArray = 0;
}
return isymsarray_intl;
}
public void ShiftReg(int i)
{
IntRegister[0][NumRegLine] = IntRegister[0][0];
for (int j = 1 ; j < NumRegLine ; j++){
    IntRegister[j][NumRegLine] = IntRegister[j][j];
    for (int k = j ; k > 0 ; k--){
        IntRegister[j][k] = IntRegister[j][k-1];
    }
}
FillToIsym(i);
}
public void FillToIsym(int i)
{
for (int p = 0; p < NumRegLine; p++){
    if(IntRegister[p][NumRegLine]!= 999){
        isymsarray_intl[IndexIsym][i] = IntRegister[p][NumRegLine];

```

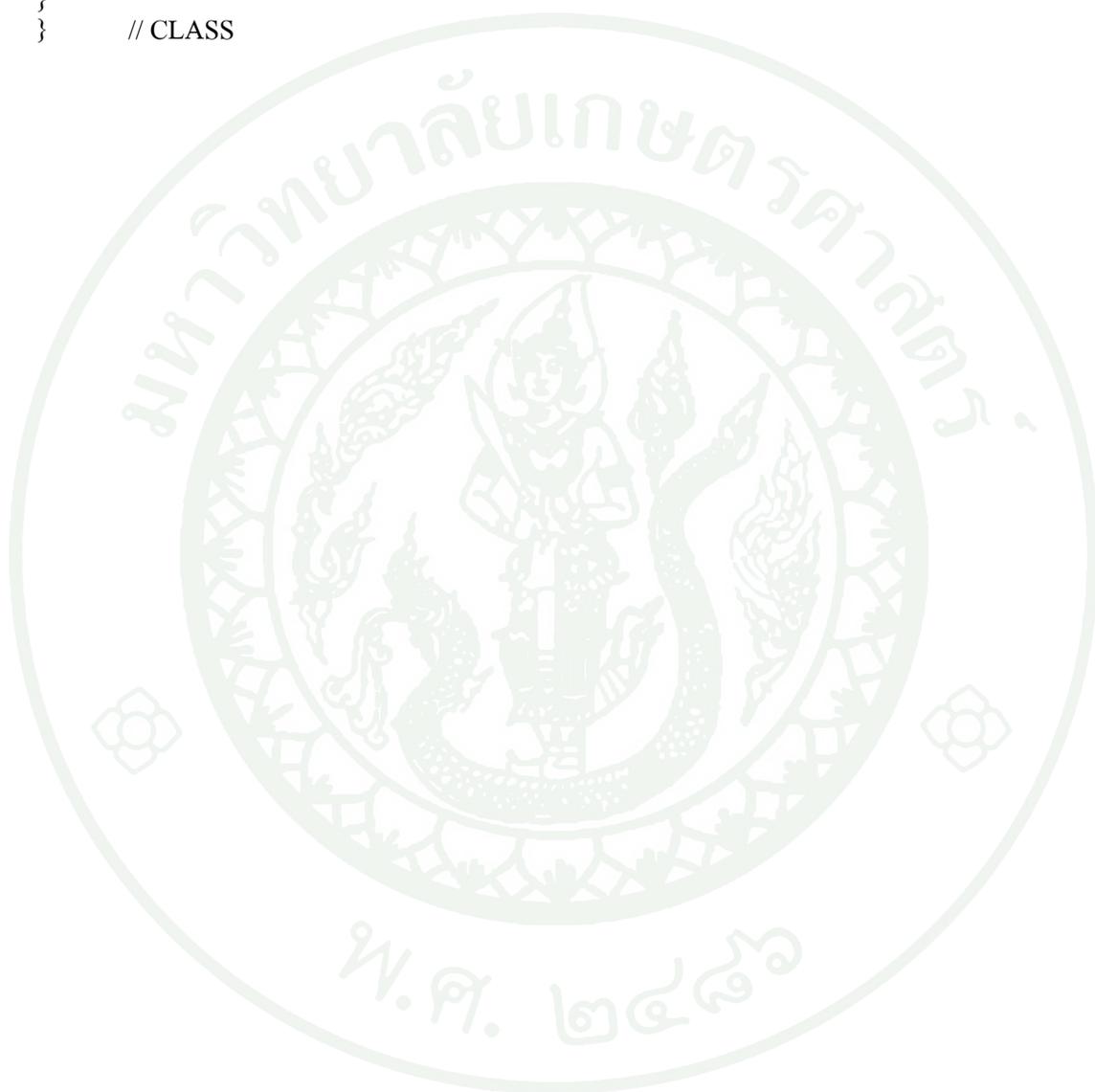


```

    }
    int n = 0;
    for (int j = 1 ; j < NumRegLine ; j++){
        if(j == Leavings){
            j = Leavings+1;
        }
        for (int k = 0; k < NumRegLine; k++){
            DeIntRegister[k][0] = 999.999;
        }
        for (int l = j ; l < (j+NumDaEachStep[n]) ; l++){
            DeIntRegister[l][0] = ReIntlArray[IndexArray][i];
            IndexArray++;
        }
        if(n == (NumDaEachStep.length-1)){
            NumDaEachStep[n] = 0;
        }else{
            n++;
        }
        DeShiftReg(i);
    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
}else{
    for (int k = 1 ; k < NumRegLine ; k++){
        if(k == Leavings){
            k = Leavings+1;
        }
        for (int m = 0; m < k; m++){
            DeIntRegister[m][0] = 999.999;
        }
        for (int l = k ; l < NumRegLine ; l++){
            DeIntRegister[l][0] = ReIntlArray[IndexArray][i];
            IndexArray++;
        }
        DeShiftReg(i);
    }
}
for (int j = 0; j < NumRegLine; j++){
    DeIntRegister[j][0] = 999.999;
}
DeShiftReg(i);
IndexSym = 0;
IndexArray = 0;
}
return isymsarray_deintl;
}
public void DeShiftReg(int i)
{
    DeIntRegister[NumRegLine-1][NumRegLine] = DeIntRegister[NumRegLine-1][0];
    for (int j = 0 ; j < NumRegLine-1 ; j++){
        for (int k = NumRegLine ; k > j+1 ; k--){
            DeIntRegister[j][k] = DeIntRegister[j][k-1];
        }
        DeIntRegister[j][j+1] = DeIntRegister[j][0];
    }
}
DeFillToIsym(i);
}

```

```
public void DeFillToIsym(int i)
{
for (int j = 0; j < NumRegLine; j++){
    if(DeIntRegister[j][NumRegLine]!= 999.999){
        isymsarray_deintl[IndexIsym][i] = DeIntRegister[j][NumRegLine];
        IndexIsym++;
    }
}
}
}
}
// CLASS
```



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายธีนารัตน์ อนุชาติ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 เมษายน 2527
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น 5 ห้อง 505/5
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ได้รับการตีพิมพ์ผลงานเรื่อง " Efficient Design of Convolutional Interleavers in MPEG-4 Image Wireless Transmission System" ในงานประชุมวิชาการ ECTI-CON 2009 International Conference, pp. 1080-1083, May, 2009
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-