บทที่ 3
รายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการปรับปรุงระบบเข้ารหัสโดยการปรับพารามิเตอร์การเข้ารหัส เพื่อให้สอดคล้องกับระบบป้องกันความผิดพลาดขณะส่งวิดีโอเพื่อให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณไร้สาย รายละเอียดจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

3.1 ภาพรวมของระบบ

ระบบจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบที่นำเสนอ

ส่วนแรกคือสัญญาณวิดีโอขาเข้าจะได้รับการเข้ารหัส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมอัตราบิต จากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่กระบวนการส่งเพื่อควบคุมอัตราความผิดพลาด แล้วสัญญาณจะถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังผู้รับ

3.2 ลักษณะสัญญาณขาเข้า

สัญญาณวิดีโอขาเข้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอยู่ในรูปแบบ QCIF (176 x 144 pixels) ซึ่งเป็นสัญญาณวิดีโอมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยโดยทั่วไป รูปแบบการจัดการสีจะเป็นแบบ YUV อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เราจะให้ความสำคัญกับส่วนประกอบความสว่างมากกว่า เนื่องจากจะเป็นส่วนที่ทำให้ผู้ใช้สังเกตความผิดพลาดได้ง่าย นอกจากนี้ ตัวอย่างวิดีโอที่ใช้จะเน้นไปที่ตัวอย่างที่อยู่ในรูปโทรศัพท์วิดีโอ (Video Phone) นั่นคือ จะเป็นสัญญาณภาพคนตั้งแต่ส่วนหน้าอกขึ้นมา การเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณส่วนหัว เช่น Foreman, Claire เป็นต้น สัญญาณวิดีโอทั้งสองชุดจะมีลักษณะการเคลื่อนไหวบริเวณส่วนหัวโดย Foreman จะมีการเคลื่อนไหวมากกว่า นอกจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบกับวิดีโอตัวอย่างซึ่งมีการเคลื่อนไหวสูง เช่น Table Tennis ด้วย ตัวอย่าง วิดีโออยู่ในรูปที่ 3.2

3.3 ระบบการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ

แบบจำลองการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่ใช้ สอดคล้องกับมาตรฐานของ ITU-T คือมาตรฐานH.263 ซึ่งเป็นการเข้ารหัสวิดีโออัตราบิตต่ำ แบบจำลองดังกล่าวเรียกว่า แบบจำลองการทดลองระยะใกล้ (Test Model for Near-Term, TMN) โดยจะมีพารามิเตอร์ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเข้ารหัสอยู่หลายตัว ตัวที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังนี้

1. การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายในการเข้ารหัส ซึ่งจะอยู่บนพื้นฐานของเฟรม
2. การกำหนดจำนวนเฟรมในการกระโดดข้ามเวลาเข้ารหัส (Frame Skip)
3. การเลือกตัวควอนไตส์สำหรับอินทราเฟรมและอินเตอร์เฟรม ซึ่งมีทั้งหมด 31 ตัว
4. การกำหนดชนิดของสัญญาณวิดีโอขาเข้าซึ่งในที่นี้เป็น QCIF
5. การเลือกเฟรมอ้างอิง (Intra Frame Selection)

รูปที่ 3.2 สัญญาณวิดีโอตัวอย่างที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

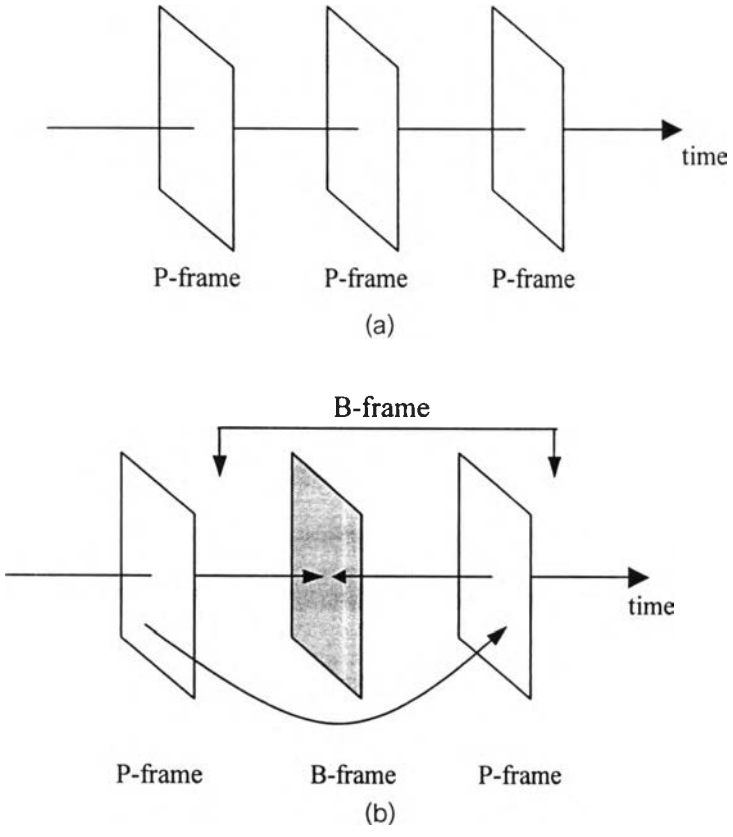
(a) Foreman *เป็นวิดีโอแบบ* QCIF *จำนวน 400 เฟรม*

(b) Table Tennis *เป็นวิดีโอแบบ* QCIF *จำนวน 179 เฟรม*

(c) คือ Claire *เป็นวิดีโอแบบ* QCIF *จำนวน 494 เฟรม*

สำหรับงานที่นำเสนอจะเน้นหนักมาที่ส่วนการเข้ารหัส นั่นคือ เราจะออกแบบตัวเข้ารหัสให้สามารถเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอได้หลายอัตรา โดยเงื่อนไขในการใช้อัตราบิตจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของเครือข่ายในเวลานั้นๆ กล่าวคือ ตัวเข้ารหัสจะสามารถลดอัตราบิตลง ซึ่งหมายถึงจำนวนข้อมูลต่อเฟรมลดลง เมื่ออัตราความผิดพลาดของช่องสัญญาณมีมาก สอดคล้องกับช่วงเวลาที่สัญญาณถูกกระทบจากการลดทอนเชิงเวลา ในขณะที่คุณภาพของสัญญาณลดลงไม่มากหรือสามารถเพิ่มได้

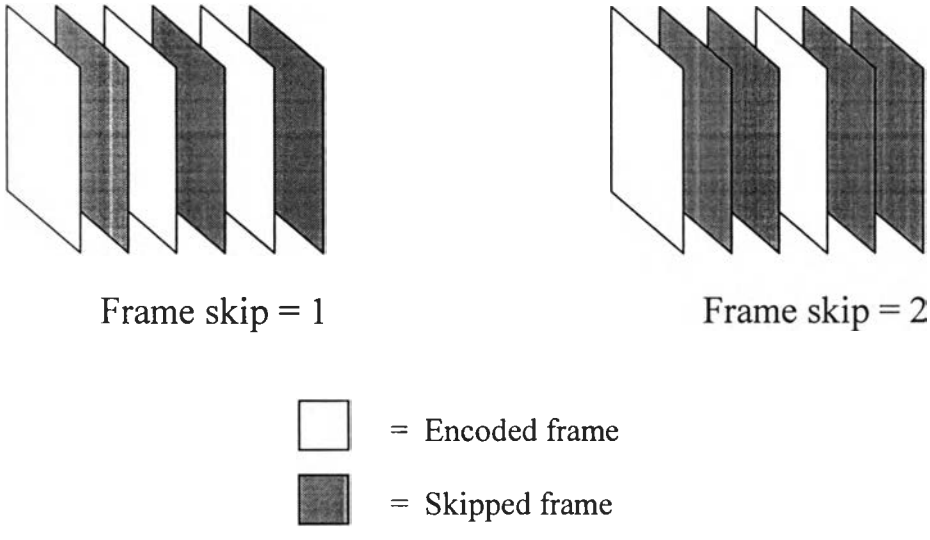
เวลาที่ช่องสัญญาณมีความผิดพลาดของบิตต่ำ ทำให้คุณภาพของสัญญาณสูงขึ้น ระเบียบวิธีนี้จะทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการเข้ารหัสและสอดคล้องกับลักษณะย่านความถี่กว้างของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ด้วย รายละเอียดของส่วนต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 3.3 ชนิดของอินเตอร์เฟรมในมาตรฐาน H.263 โดย
(a) *เฟรม* P (b) *เฟรม* B

1. *ค่าพารามิเตอร์การควอนไทส์* จะเป็นตัวแปรสำคัญในการเปลี่ยนแปรอัตราบิต อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปรส่วนนี้จะมีผลต่อคุณภาพของภาพ หรือค่ากำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

2. *ค่าจำนวนเฟรมในการกระโดดข้าม* หมายถึง เฟรมของสัญญาณขาเข้า ไม่จำเป็นถูกเข้ารหัสแล้วส่งไปทั้งหมด ระบบอาจกระโดดข้ามบางเฟรม โดยความต่อเนื่องของภาพยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การกระโดดข้ามบางเฟรม จะส่งผลให้อัตราบิตของสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วลดลง ความต้องการทรัพยากรในการส่งก็จะลดลงด้วย การเปลี่ยนแปลงค่านี้ควบคู่ไปกับค่าพารามิเตอร์การควอนไทส์ จะทำให้เราสามารถเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอด้วยอัตราบิตที่สอดคล้องกับสภาวะของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. *การตัดสินใจใช้อินทราเฟรมหรืออินเตอร์เฟรม* เนื่องจากอินทราเฟรมจะทำหน้าที่เป็นเฟรมอ้างอิงสำหรับคาดการณ์อินเตอร์เฟรม ในบางครั้งเมื่อเฟรมก่อนหน้า เกิดความเสียหายเนื่องจากผลกระทบของเครือข่าย เฟรมที่ตามมาจะได้รับความเสียหายไปด้วย ดังนั้นการตัดสินใจเริ่มใช้อินทราเฟรมอีกครั้งจะทำให้คุณภาพของสัญญาณกลับมาดีอีกครั้ง นอกจากนั้นการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์สำหรับอินทราเฟรมยังง่ายกว่าในกรณีของอินเตอร์เฟรม ที่ต้องพึ่งพาเฟรมก่อนหน้า การจะนำมาใช้งานจริงจะทำได้ง่ายกว่า
4. *การเลือกชนิดของอินเตอร์เฟรม* อินเตอร์เฟรมในมาตรฐาน ITU-H.263 มีอยู่ 2 ชนิด คือ อินเตอร์เฟรมแบบ P (Predicted Frame, P-Frame) และ อินเตอร์เฟรมแบบ B (Bidirectional Frame,B-Frame) ซึ่งมีความแตกต่างกัน สำหรับอินเตอร์เฟรมแบบ P จะอาศัยเพียงเฟรมก่อนหน้าในการคาดการณ์การเคลื่อนไหวภายในเฟรมปัจจุบัน ซึ่งทำให้สามารถเข้ารหัสได้ตามลำดับเฟรมขาเข้า ต่างจากอินเตอร์เฟรมแบบ B ที่อาศัยเฟรมก่อนหน้าและเฟรมตามหลังในการประมาณการเคลื่อนไหวภายในเฟรมปัจจุบัน ทำให้ ความผิดพลาดของการประมาณน้อยลง อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบไม่สามารถรอเฟรมถัดไปก่อนจะเข้ารหัสเฟรมปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงใช้อินเตอร์เฟรมแบบ P

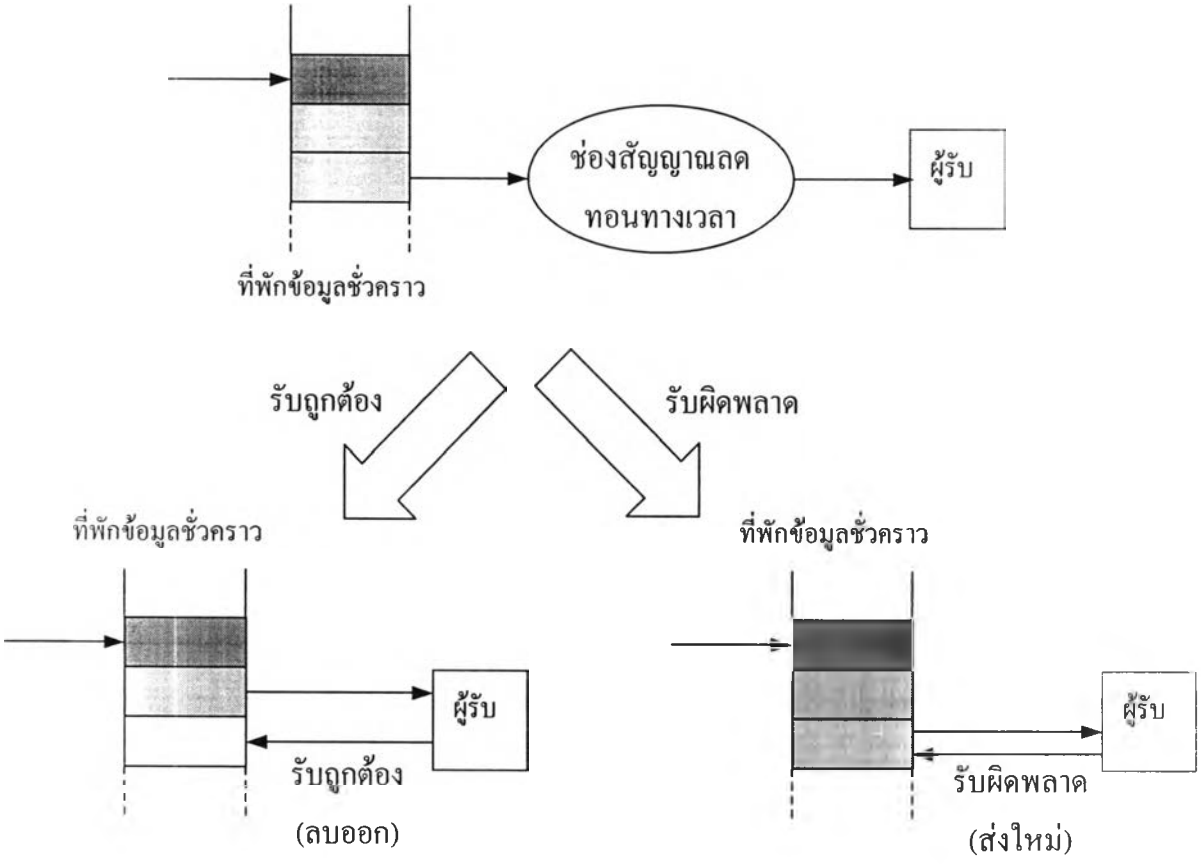


รูปที่ 3.4 รูปแบบการกระโดดข้ามเฟรมในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ

3.4. ระบบป้องกันความผิดพลาดแบบวงรอบปิด

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้ความผิดพลาด ที่เกิดจากการลดทอนเชิงเวลา มีลักษณะเป็นช่วงๆ ดังนั้นระบบที่จะใช้จะเป็นระบบควบคุมความผิดพลาดแบบวงรอบปิดที่เรียกว่า ระบบ ARQ แบบผสม ซึ่งมีการทำงานดังรูปที่ 3.5

สัญญาณวิดีโอที่ถูกเข้ารหัสแล้วจะเข้ามาในที่พักข้อมูลชั่วคราวของระบบเรียงตามลำดับ จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลไปยังผู้รับ ถ้าข้อมูลไปถึงผู้รับโดยไม่มีความผิดพลาด หรือมีความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตที่แก้ไขได้ ผู้รับจะทำการส่งข้อมูลมายังผู้ส่งแจ้งว่าข้อมูลถูกต้อง ข้อมูลกลุ่มนั้นจึงจะถูกลบออกจากที่พักข้อมูล แต่ถ้าข้อมูลเกิดผิดพลาดระหว่างการส่ง ผู้ส่งจะต้องส่งข้อมูลที่ยังอยู่ในที่พักข้อมูลชั่วคราวไปอีกครั้ง

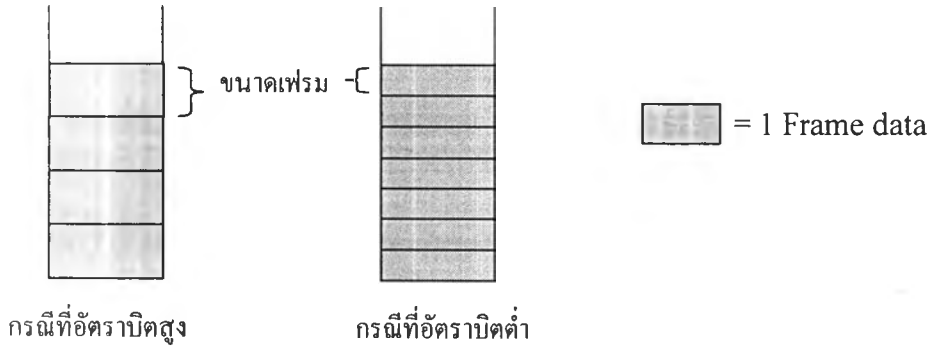


รูปที่ 3.5 การทำงานของระบบการควบคุมความผิดพลาดแบบวงรอบปิด

จากระบบดังกล่าวจะเห็นว่าในกรณีที่เครือข่ายไร้สายถูกรบกวนด้วยการลดทอนทางเวลา ข้อมูลที่ส่งไปในเครือข่ายจะได้รับผลกระทบทำให้กลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ในช่วงนั้นๆ ตกค้างอยู่ในที่พักข้อมูลชั่วคราว ซึ่งมีขนาดจำกัด ถ้าระยะเวลาที่เกิดการลดทอนนานเกินไป อาจจะทำให้ที่พักข้อมูลที่เตรียมไว้เต็มได้ ส่งผลให้ข้อมูลบางส่วนต้องสูญหายไป ดังนั้นจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นผู้ส่งจึงสามารถดูสถานะของเครือข่ายในแง่ของอัตราการสูญหายของข้อมูลได้จากจำนวนข้อมูลในที่พัก

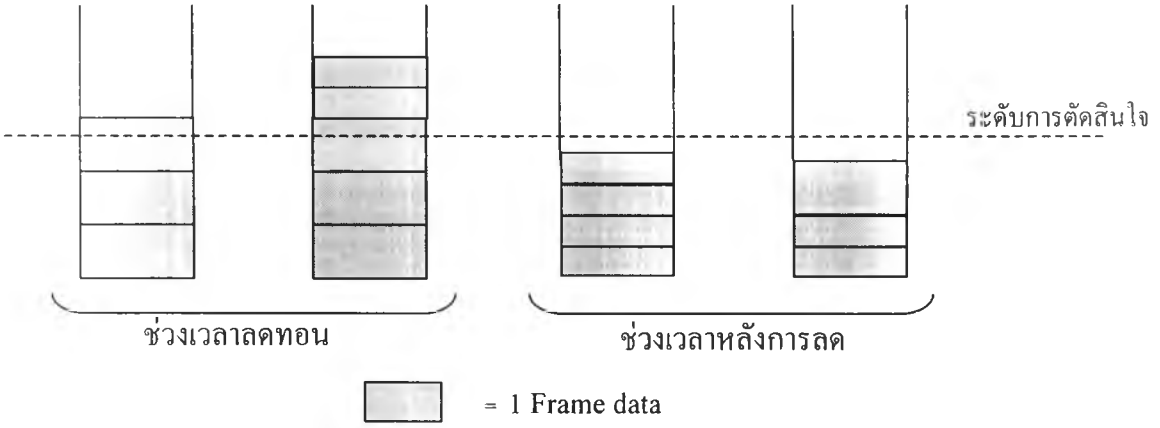
ข้อมูลชั่วคราว กล่าวคือ เมื่อจำนวนข้อมูลตกค้างในที่พักข้อมูลชั่วคราวมีมาก แสดงว่าการส่งข้อมูลในเครือข่ายมีอัตราความผิดพลาดสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนข้อมูลตกค้างมีน้อยแสดงว่าการส่งข้อมูลมีอัตราความผิดพลาดต่ำนั่นเอง

ถ้าเราถือว่าความจุของที่พักข้อมูลชั่วคราวคงที่ จะเห็นได้ว่า สัญญาณวิดีโอที่มีอัตราบิตต่ำกว่าหรือว่ามีขนาดของข้อมูลต่อเฟรมเล็กกว่า จำนวนเฟรมที่สามารถบรรจุลงในที่พักข้อมูลชั่วคราวจะมากกว่าในกรณีที่อัตราบิตสูงกว่าหรือขนาดของข้อมูลต่อเฟรมใหญ่กว่า ดังนั้นในช่วงเวลาที่เกิดการลดทอน ถ้าระบบสามารถลดอัตราบิตลง นอกจากจะทำให้ระบบสามารถทนทานต่อการลดทอนได้นานขึ้นแล้ว หลังจากช่วงเวลาที่เกิดการลดทอน ข้อมูลยังสามารถส่งไปยังผู้รับ โดยมีค่าการประวิงเวลาต่ำลงอีกด้วย



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบความจุของที่พักข้อมูลชั่วคราว
ในระบบ ARQ กรณีที่อัตราบิตต่างกัน

จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอแนวทางที่จะทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ด้วยการออกแบบระบบเข้ารหัสและระบบการป้องกันความผิดพลาดให้ทำงานสอดคล้องกัน นั่นคือ ระบบจะสามารถปรับเปลี่ยนอัตราบิต ซึ่งทำได้โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์การเข้ารหัส ตามสภาพของที่พักข้อมูลชั่วคราว กล่าวคือ เมื่อความจุของที่พักข้อมูลชั่วคราวเริ่มจะลดลงอันเนื่องจากผลของการลดทอนจนถึงจุดที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการลดอัตราบิตลงเพื่อให้จำนวนข้อมูลต่อเฟรมลดลง ในทางตรงกันข้าม หากความจุของที่พักข้อมูลชั่วคราวเริ่มจะเพิ่มขึ้นหลังจากพ้นช่วงเวลาของการลดทอน ระบบจะทำการเพิ่มอัตราบิตเพื่อเพิ่มคุณภาพของสัญญาณ ระเบียบวิธีนี้จะทำให้ระบบสามารถทำการส่งสัญญาณวิดีโอที่มีคุณภาพสอดคล้องกับลักษณะของช่องสัญญาณในเวลานั้นได้



รูปที่ 3.7 ระเบียบวิธีปรับเปลี่ยนอัตราบิต

ในส่วนต่อไปจะกล่าวถึงทำงานของระบบที่นำเสนอ โดยพิจารณาเฉพาะผลกระทบของการลดทอนทางเวลา ต่อสัญญาณที่อยู่ในเครือข่าย

3.5 การทำงานของระบบที่นำเสนอ

การปรับพารามิเตอร์การเข้ารหัส ทั้งสามค่า คือ การกระโดดข้ามเฟรม, การเลือกตัวควอนไทส์, และ การเลือกเฟรมอ้างอิง จะส่งผลกระทบต่ออัตราบิตและคุณภาพของสัญญาณวิดีโอ การปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการเข้ารหัส ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอรูปแบบการปรับพารามิเตอร์ทั้งสามตามสถานะของที่พักข้อมูลชั่วคราวในระบบ ARQ ซึ่งจะกล่าวในส่วนต่อไปโดยมีหลักการดังนี้

1. ระบบจะทำการเข้ารหัสที่อัตราบิตสูง ในช่วงแรกของการส่งสัญญาณวิดีโอ เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพสูง
2. เมื่อช่องสัญญาณเกิดการลดทอน สังเกตได้จากขนาดของข้อมูลที่ตกค้างในที่พักข้อมูลชั่วคราว ระบบจะทำการปรับลดอัตราบิตในสองแนวทาง
   2.1 ทำการปรับเพิ่มพารามิเตอร์การกระโดดข้ามเฟรม – ซึ่งจะทำให้อัตราบิตลดลง โดยความคมชัดของสัญญาณยังคงที่ คุณภาพที่ลดลงจะสังเกตได้จากความไม่ต่อเนื่องของภาพเนื่องจากมีบางเฟรมที่หายไป วิธีนี้เหมาะกับกรณีที่ผู้ใช้ต้องการรักษาระดับความคมชัดของสัญญาณภาพ
   2.2 ทำการเปลี่ยนตัวควอนไทส์ – ให้ขนาดขั้นของการทำควอนไทส์สูงขึ้น ทำให้ความคมชัดของสัญญาณภาพลดลงแต่ความต่อเนื่องของภาพยังคงเดิม วิธีนี้จะเหมาะกับกรณีที่ผู้ใช้ต้องการรักษาระดับความต่อเนื่องของสัญญาณภาพ
3. เมื่อช่องสัญญาณกลับสู่สภาพปกติระบบจะทำการเพิ่มอัตราบิตของสัญญาณให้กลับมาดีเหมือนเดิมโดย

3.1 ถ้าทำการปรับพารามิเตอร์การกระโดดข้ามเฟรม – ซึ่งไม่มีผลต่อความคมชัดเฟรมต่อไปที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องเป็นเฟรมอ้างอิง อัตราการใช้เฟรมอ้างอิงก็ยังคงเหมือนเดิม

3.2 ถ้าทำการเปลี่ยนตัวควอนไทส์ – ให้เฟรมถัดไปที่จะเข้ารหัสเป็นอินทราเฟรมเพื่อกู้ความคมชัดที่ลดลงคืนกลับมา โดยให้สลับตำแหน่งกับหมายเลขเฟรมที่จะเป็นเฟรมอ้างอิงถัดไป ทำให้อัตราบิตโดยรวมยังคงไม่เพิ่มขึ้นมากนัก

นอกจากนั้น ทุกครั้งที่ระบบจะต้องเข้ารหัสเฟรมอ้างอิง ระบบจะทำการเพิ่มการกระโดดข้ามเฟรมเฉพาะเฟรมนั้น เพื่อลดอัตราบิตที่เกิดจากการเข้ารหัสอินทราเฟรม ผลที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงที่สั้นมากเกินกว่าที่ผู้รับจะสังเกตได้

ในบทต่อไปจะเป็นผลการทดลองการจำลองระบบการส่งสัญญาณวิดีโอ ผ่านเครือข่ายไร้สายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยการเปรียบเทียบผลที่อัตราบิตค่าต่างๆ กับประสิทธิภาพการส่ง