บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเกี่ยวกับการสื่อสารแบบพหุสื่อ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทำวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้มีการออกแบบกลไกในการควบคุมคุณภาพแบบปรับตัวสำหรับการสื่อสารแบบพหุสื่อขึ้นมาใหม่ ซึ่งประกอบด้วยการควบคุมคุณภาพของการสื่อสารเสียงและการควบคุมคุณภาพของการสื่อสารวีดิทัศน์ เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถให้กับโปรแกรมประยุกต์ทางด้านการสื่อสารแบบพหุสื่อให้สามารถปรับค่าของพารามิเตอร์ในการส่งเสียงและวีดิทัศน์ได้อย่างเหมาะสมกับสภาพของเครือข่าย โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมไม่ให้คุณภาพของเสียงและวีดิทัศน์ลดลงจนต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้

6.1.1 การควบคุมคุณภาพของการสื่อสารเสียง

การควบคุมคุณภาพของการสื่อสารเสียงในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการควบคุมปริมาณการสูญหายของข้อมูลเสียงไม่ให้มากเกินไป ถ้ามีข้อมูลเสียงสูญหายมากเกินไปจะส่งผลกระทบคุณภาพของเสียงได้ ซึ่งในวิทยานินพธ์นี้ได้เลือกทำวิจัยในกรณีที่ใช้การบีบอัดเสียงด้วย G.723.1 เท่านั้น โดยได้มีการเสนออัลกอริทึมในการควบคุมความผิดพลาดขึ้นมาใหม่คือ อัลกอริทึม CNR ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้พื้นฐานของเทคนิค FEC ชนิดที่ขึ้นกับสื่อ ซึ่งหลักการของเทคนิคนี้ก็คือ เมื่อผู้ส่งเริ่มส่งแพ็กเก็ตเสียง ทุกแพ็กเก็ตจะมีข้อมูลซ้ำของข้อมูลเสียงจากแพ็กเก็ตที่อยู่ก่อนหน้า ซึ่ง IETF ก็ได้มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับเทคนิค FEC เช่นกันซึ่งก็คือ RFC 2198 แต่ใน RFC นี้ได้กำหนดเฉพาะรูปแบบของแพ็กเก็ต RTP เมื่อมีการบรรจุข้อมูลซ้ำของเสียงเท่านั้น ไม่ได้มีการกำหนดว่าควรจะมีปริมาณข้อมูลซ้ำเท่าใด ข้อมูลซ้ำแต่ละบล็อกในหนึ่งแพ็กเก็ตนำมาจากตำแหน่งใดบ้าง รวมทั้งไม่ได้มีการกำหนดว่าข้อมูลซ้ำแต่ละบล็อกใช้การบีบอัดแบบใด ข้อมูลเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยโปรแกรมประยุกต์ อัลกอริทึม CNR เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกรูปแบบการการบรรจุข้อมูลซ้ำในแต่ละแพ็กเก็ตหรือที่เรียกว่า Combination ให้เหมาะสมกับสภาพของเครือข่าย ความจริงแล้วก่อนหน้านี้ได้มีงานวิจัยในลักษณะนี้เสนอขึ้นมาบ้างแล้ว แต่อัลกอริทึมเหล่านั้นยังมีจุดพร่องอยู่ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้แก้ไขจุดบกพร่องดังกล่าวแล้วเสนอเป็นอัลกอริทึมใหม่ขึ้นมา

ในการประเมินผลอัลกอริทึม CNR และอัลกอริทึมในการควบคุมความผิดพลาดแบบปรับตัวที่ได้รับการเสนอก่อนหน้านี้ 3 อัลกอริทึมคือ อัลกอริทึม Bolot, อัลกอริทึม USF และอัลกอริทึม RCCS ได้มีการทดลองโดยใช้การจำลองบน NS-2 ซึ่งจากผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นแล้วว่าอัลกอริทึม CNR สามารถควบคุมความผิดพลาดได้ดีกว่าอัลกอริทึมอื่น เพราะมีปริมาณการสูญหายของข้อมูลเสียงน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น

6.1.2 การควบคุมคุณภาพของการสื่อสารวีดิทัศน์

การควบคุมคุณภาพของการสื่อสารวีดิทัศน์ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้มีการทำวิจัยในกรณีของวีดิทัศน์ที่มีการบีบอัดด้วย MPEG-4 เท่านั้น โดยได้มีการเสนออัลกอริทึมขึ้นมาใหม่โดยใช้วิธีการปรับระยะห่างระหว่างเฟรมหลักซึ่งพารามิเตอร์ตัวหนึ่งของการบีบอัดวีดิทัศน์ด้วย MPEG-4 โดยอัลกอริทึมในการปรับค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักจะพยายามควบคุมไม่ให้อัตราเฟรมฝั่งรับและค่า PSNR เฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าค่าเทรสโฮลด์ที่กำหนด อัตราเฟรมเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงความราบรื่นของวีดิทัศน์ ส่วนค่า PSNR สามารถบอกถึงความชัดเจนของภาพในแต่ละเฟรมวีดิทัศน์หลังการบีบอัดเมื่อเทียบกับต้นฉบับ โดยอัลกอริทึมนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราเฟรมและอัตราบิตเป้าหมายในการส่งวีดิทัศน์

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยก่อนหน้านี้จำนวนหนึ่งได้เสนอให้ใช้วิธีการปรับค่าอัตราบิตในการส่งวีดิทัศน์ให้เหมาะสมกับสภาพเครือข่าย โดยให้ลดอัตราบิตเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งสูง และเพิ่มอัตราบิตเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งต่ำ และใช้ค่าอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตเป็นตัวชี้วัดระดับความคับคั่งของเครือข่าย เทคนิคนี้จะทำงานได้ดีในกรณีที่ปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ของผู้ร่วมใช้เครือข่ายไม่เต็มความจุของเครือข่าย การลดอัตราบิตให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่จะสามารถลดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตในการส่งวีดิทัศน์ได้ แต่ในกรณีที่แบนด์วิดท์ของเครือข่ายถูกใช้จนเต็มความจุของเครือข่าย และผู้ร่วมใช้เครือข่ายต่างก็ต้องการเพิ่มอัตราบิตในการส่งข้อมูลขึ้นอีกเมื่อมีโอกาส ซึ่งเห็นได้ชัดในกรณีของโปรโตคอล TCP ซึ่งจะมีการเพิ่มอัตราบิตให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในกรณีนี้การลดอัตราบิตในการส่งวีดิทัศน์ไม่สามารถที่จะลดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตลงได้ เนื่องจากว่าเมื่อลดอัตราบิตของการส่งวีดิทัศน์ ผู้ร่วมใช้เครือข่ายรายอื่นก็จะเพิ่มอัตราบิตในการส่งข้อมูล ความคับคั่งของเครือข่ายจึงไม่ได้ลดลง รวมไปถึงค่าอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตวีดิทัศน์ก็อาจจะไม่ได้ลดลงเช่นกัน

ในการควบคุมคุณภาพของการสื่อสารวีดิทัศน์โดยใช้อัลกอริทึมในการปรับระยะห่างระหว่างเฟรมหลัก ค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักจะถูกลดลงเมื่ออัตราเฟรมฝั่งรับมีค่าต่ำเกินไป ซึ่งการลดค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักทำให้ความยาวของเฟรมวีดิทัศน์หลังการบีบอัดมีขนาดเล็กลงซึ่งทำให้โอกาสที่เฟรมจะเสียหายมีน้อยลงตามไปด้วย นอกจากนี้การลดค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักยังช่วยลดจำนวนเฟรมที่ถอดรหัสผิดพลาดเนื่องจากการสูญหายของเฟรมก่อนหน้าได้

แต่ในกรณีที่มีการกำหนดอัตราบิตเป้าหมายที่ค่อนข้างต่ำ การลดค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักจะมีการตัดข้อมูลของเฟรมวีดิทัศน์ออกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จะไม่ลดค่าระยะห่างระหว่างระหว่างเฟรมหลักถ้าค่า PSNR เฉลี่ยมีค่าต่ำเกินไป

จากการประเมินผลอัลกอริทึมในการปรับค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักโดยใช้แบบจำลอง พบว่าอัลกอริทึมนี้สามารถสามารถปรับค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักได้อย่างเหมาะสมกับสภาพเครือข่าย โดยในสภาพที่เครือข่ายมีความคับคั่งสูงอัลกอริทึมนี้สามารถควบคุมให้อัตราเฟรมฝั่งรับไม่ให้ต่ำกว่าค่าเทรสโฮลด์ที่กำหนดได้ เมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งลดลงอัลกอริทึมนี้ก็จะมีการเพิ่มค่าระยะห่างระหว่างเฟรมหลักเพื่อเพิ่มความชัดเจนของภาพในแต่ละเฟรมวีดิทัศน์

6.1.3 การพัฒนา API สำหรับการสื่อสารแบบพหุสื่อ

เพื่อให้อัลกอริทึมในการควบคุมคุณภาพของการสื่อสารเสียงและวีดิทัศน์ที่ได้เสนอขึ้นใหม่ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาโปรแกรมทางด้านสื่อสารแบบพหุสื่อ จึงได้มีการจัดทำเป็น API ขึ้นมา เพื่อให้ผู้ที่สนใจพัฒนาโปรแกรมทางด้านนี้สามารถนำไปใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมส่วนนี้ขึ้นมาใหม่ และเพื่อให้แน่ใจว่าทั้งอัลกอริทึมดังกล่าวนอกจากจะทำงานได้บนแบบจำลองแล้ว สามารถใช้งานได้ในการส่งเสียงและวีดิทัศน์บนเครือข่ายจริงด้วย จึงได้นำ API ดังกล่าวมาพัฒนาโปรแกรมตัวอย่างและทดสอบบนเครือข่ายในห้องทดลอง และจากผลการทดลองพบว่าทั้งอัลกอริทึม CNR และอัลกอริทึมในการปรับระยะห่างระหว่างเฟรมหลักให้ผลเป็นที่น่าพอในเช่นเดียวกับที่ได้ทดลองในแบบจำลอง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึม CNR กับการบีบอัดเสียงชนิดอื่น

การควบคุมคุณภาพเสียงโดยใช้อัลกอริทึม CNR เป็นอัลกอริทึมที่ใช้พื้นฐานของเทคนิค FEC ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการส่งข้อมูลซ้ำเพื่อลดผลกระทบจากการสูญหายของแพ็กเก็ต ถึงแม้ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นวิจัยในกรณีที่ใช้การบีบเสียงด้วย G.723.1 แต่ในการใช้งานนั้นสามารถประยุกต์ใช้อัลกอริทึมอัลกอริทึม CNR กับการบีบอัดเสียงชนิดอื่นได้ แต่จะต้องเป็นการบีบอัดเสียงที่มีอัตราบิตไม่สูงนัก เช่น G.729 (8 กิโลบิตต่อวินาที) เป็นต้น เพราะถ้าเป็นการบีบอัดเสียงที่มีอัตราบิตสูงเช่น G.711 (64 กิโลบิตต่อวินาที) การส่งข้อมูลซ้ำจะทำให้มีอัตราบิตเพิ่มขึ้นมากเกินไป

6.2.2 การตัดแบ่งข้อมูลของเฟรมวีดิทัศน์หลังการบีบอัด

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ตั้งข้อจำกัดของการส่งวีดิทัศน์เอาไว้ว่า หากผู้ส่งบรรจุข้อมูลของเฟรมวีดิทัศน์หลังการบีบอัดลงในแพ็กเก็ตมากกว่าหนึ่งแพ็กเก็ต ผู้รับจะนำข้อมูลของเฟรมดีวีดิทัศน์ดังกล่าวมาถอดรหัสได้ก็ต่อเมื่อได้รับแพ็กเก็ตของเฟรมนั้นครบทุกแพ็กเก็ต แต่ความจริงแล้วในมาตรฐานของ MPEG-4 ได้กำหนดวิธีการตัดแบ่งเฟรมวีดิทัศน์ออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ หลายชิ้นเพื่อใช้ในการบรรจุลงในแพ็กเก็ตเดียว โดยแต่ละชิ้นส่วนสามารถนำไปถอดรหัสแยกกันได้ และสามารถแสดงเฟรมวีดิทัศน์ได้ถึงแม้จะได้ข้อมูลไม่ครบทั้งเฟรม แต่ก็มีข้อเสียก็คือมีโอเวอร์เฮดเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องมีเฮดเดอร์ที่ระบุคุณลักษณะของแต่ละชิ้นส่วน อย่างไรก็ใน XviD ซึ่ง API ของการบีบอัดวีดิทัศน์ด้วย MPEG-4 ที่ใช้วิทยานิพนธ์นี้ ยังไม่ได้รองรับการทำงานในส่วนนี้

6.2.3 การบีบอัดแบบแยกระดับชั้น (Layered Encoding)

MPEG-4 มีความสามารถในการรองรับการบีบอัดวีดิทัศน์แบบแยกระดับชั้น โดยระดับชั้นที่อยู่ต่ำสุดหรือระดับชั้นฐาน เป็นระดับชั้นที่สำคัญที่สุดจะประกอบด้วยข้อมูลที่ทำให้สื่อมีคุณภาพที่ยอมรับได้ในระดับหนึ่ง เช่น อาจมีความชัดเจนของภาพต่ำ ส่วนระดับชั้นอื่นที่อยู่ในระดับเหนือขึ้นมาเป็นข้อมูลที่ช่วยในการเพิ่มคุณภาพของสื่อให้ดีขึ้น ในการส่งวีดิทัศน์สามารถใช้ประโยชน์จากความสามารถนี้ได้ โดยในขั้นตอนของการบรรจุข้อมูลของเฟรมวีดิทัศน์ลงแพ็กเก็ต ข้อมูลของระดับชั้นที่ต่างกันจะต้องไม่นำมาบรรจุลงแพ็กเก็ตเดียวกัน ดังนั้นหากผู้รับได้รับข้อมูลของระดับชั้นฐานก็สามารถนำไปถอดรหัสและแสดงผลได้เลย โดยไม่ต้องรอข้อมูลของระดับชั้นที่อยู่ข้างบน และเมื่อได้รับข้อมูลของระดับชั้นที่อยู่เหนือขึ้นมาความชัดเจนของเฟรมวีดิทัศน์ที่แสดงผลก็จะเพิ่มขึ้น หากมีการสูญหายของข้อมูลในระดับชั้นที่ไม่ใช่ระดับชั้นฐาน จะส่งผลให้เฟรมวีดิทัศน์มีความคมชัดลดลงเท่านั้นโดยไม่ทำให้ให้เฟรมวีดิทัศน์เสียหายทั้งเฟรม แต่การบีบอัดวีดิทัศน์ด้วยวิธีนี้ต้องใช้เวลาในการบีบอัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาก่อนว่าหากใช้การบีบอัดแบบนี้จะเหมาะสมกับการส่งวีดิทัศน์แบบเวลาจริงหรือไม่ สำหรับ XviD ในเวอร์ชันปัจจุบันยังไม่รองรับการบีบอัดแบบแยกระดับชั้น