บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของโปรโตคอลในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ต่อไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการขยายขีดความสามารถของโปรแกรม NS ให้สามารถสร้างแบบจำลองที่ทำงานตามมาตรฐานระบบเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 3 (UMTS) ด้วยโมดูล EURANE และทำการสร้างเครือข่ายจำลองระบบ ทดสอบวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโปรโตคอลชั้น RLC เมื่อทำการส่งข้อมูลชนิด MPEG-4 เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารในปัจจุบันผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะไม่ใช่เพียงแค่เสียงอย่างเช่นเมื่อก่อน ข้อมูลอาจเป็นการสื่อสารระหว่างกันในรูปแบบวิดีโอ (video call) หรืออาจเป็นการเล่นอินเตอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

ดังนั้นสาระสำคัญโดยหลักของการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์นี้คือ เพื่อสร้างระบบจำลองการทำงานของโปรโตคอลชั้นที่ 2 ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 พร้อมกับวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน รวมถึงเพื่อดูผลกระทบของการกำหนดค่า poll_timer ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งของกลไกการ poll ในชั้น RLC ฝั่งส่งที่มีต่อการส่งข้อมูลเมื่อ error rate มีค่าต่าง ๆ โดยยกกรณีทดสอบจำลองเหตุการณ์ที่ UE หรือผู้ใช้โทรศัพท์มือถือทำการร้องขอเปิดดูไฟล์วิดีโอจากโหนดที่อยู่บนอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยแยกเป็นข้อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

6.1.1 แบบจำลองการทำงานของเครือข่าย UMTS

แบบจำลองการทำงานของเครือข่าย UMTS ในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้โปรแกรม ns สำหรับเป็นองค์ประกอบหลักในการจำลองการทำงานการส่งข้อมูลบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และทำการเพิ่มเติมโมดูลที่มีความสามารถในการทำงานแบบเครือข่าย UMTS ได้ลงไป เนื่องจากความซับซ้อนของระบบ UMTS การที่จะพัฒนาโมดูลจำลองการทำงานของระบบขึ้นมาเองนั้น คงต้องใช้เวลาอย่างมากเพื่อให้ระบบครบถ้วนสมบูรณ์และทำงานได้ถูกต้อง ดังนั้นการนำเอาโมดูล UMTS ที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กรที่มีความน่าเชื่อถือและถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง ก็เป็นทางเลือกที่ดี เพราะทำให้ผู้ทดลองมั่นใจได้ว่าระบบจำลองที่จัดตั้งขึ้นทำงานได้ตามมาตรฐานของโปรโตคอล

แน่นอน สามารถนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์อย่างอื่นต่อได้ ซึ่งโมดูล UMTS ที่เลือกใช้นำมาเพิ่มเติมโปรแกรม ns สำหรับวิทยานิพนธ์นี้คือ EURANE ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับ Ericsson Telecommunicate หลังจากเพิ่มโมดูลลงในโปรแกรม ns เรียบร้อยแล้ว จะทำให้สามารถสร้างโหนดและเครือข่ายทดสอบการทำงานของโปรแกรม UMTS ได้ตามต้องการ

โดยทั่วไปโมดูลที่สร้างแทนแบบจำลองของโปรโตคอลใน ns จะเขียนด้วยภาษา C++ เนื่องจากต้องการความเร็วในการประมวลผล แต่ในส่วนของการกำหนดสภาวะสำหรับการจำลองจะเขียนด้วย OTcl สคริปต์ เช่น กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อ แบนด์วิดท์ของลิงค์โปรโตคอลชั้นต่าง ๆ เพราะสามารถเขียนโปรแกรมได้เร็วกว่า และเมื่อระบบทำงานเสร็จสิ้นก็จะได้แฟ้มผลลัพธ์ออกมา ซึ่งผู้ใช้จะต้องประยุกต์เครื่องมือเสริมอื่น ๆ เช่น โปรแกรมตารางคำนวณ โปรแกรม awk หรือภาษา perl เพื่อวิเคราะห์แฟ้มผลลัพธ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำผลลัพธ์การจำลองมาโดยผ่านโปรแกรม Network AniMator หรือ NAM

6.1.2 กลไกและพารามิเตอร์ของโปรโตคอล RLC ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

เนื่องจากความซับซ้อนของโปรโตคอลและความหลากหลายในการปรับแต่งค่าของพารามิเตอร์ ดังนั้นการปรับแต่งค่าของโปรโตคอลที่ต่างกันจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโปรโตคอลเองและมีผลต่อความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลระดับชั้นบนด้วย ได้มีการวิจัยและนำเสนอในกรณีของกลไกและพารามิเตอร์ของโปรโตคอล RLC ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการตรวจเอกสาร แต่ผลวิจัยเหล่านั้นไม่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานเมื่อข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่าย UMTS เป็นข้อมูลชนิดวิดีโอซึ่งเป็นข้อมูลชนิดหลักที่ถูกส่งผ่านเครือข่ายในปัจจุบัน นอกจากนี้ผลที่นำเสนอก็ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของผลการทดลองแต่ละค่า กล่าวไว้แค่เพียงหากพารามิเตอร์ถูกกำหนดเป็นแบบนั้นจะทำให้ค่าที่กำลังตรวจสอบเปลี่ยนไปเช่นไร ไม่ได้ระบุว่าค่าที่ตรวจสอบแต่ละอันสัมพันธ์กันอย่างไร ดังนั้นประเด็นหลักของผลการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ก็เพื่อทดสอบกลไกการทำงานและพารามิเตอร์ของโปรโตคอล RLC พร้อมประเมินประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่าตรวจวัดแต่ละตัว โดยใช้กรณีจำลองที่ผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือ (UE) ทำการเรียกดูไฟล์ข้อมูลวิดีโอ MPEG-4 จากเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ poll timer ค่าต่ำกว่าจะให้ค่าเวลาหน่วงในการรับเฟรมดีกว่าแม้ว่าอัตราความผิดพลาดในช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราความผิดพลาดในช่องสัญญาณสูงจนเกินค่า threshold ค่า poll timer ก็จะไม่มีผลต่อเวลาหน่วงในการรับเฟรมอีกต่อไป ซึ่งค่า threshold นี้เกิดจากข้อจำกัดของขนาดช่องสัญญาณ เพราะเมื่ออัตราความผิดพลาดในช่องสัญญาณสูง จะเป็นผลให้มีแพ็กเกตจำนวนมากที่ต้องทำการส่งซ้ำ ด้วยเหตุนี้ทำให้ข้อมูลที่ต้องส่งและต้องส่งซ้ำมีปริมาณ

มากจนเกินความสามารถที่ช่องสัญญาณจะส่งได้ ทำให้แพ็กเกตค้างอยู่ในบัฟเฟอร์เพื่อรอการส่งให้สำเร็จเป็นจำนวนมาก ส่งผลต่อค่าเวลาหน่วงในการรับเฟรมของฝั่งรับที่จะเพิ่มสูงขึ้น

6.1.3 การปรับเปลี่ยนกลไกการทำงานภายในโปรโตคอล RLC

จากเอกสารกำหนดมาตรฐานของกลุ่ม 3GPP กำหนดกลไกการเลือกส่งข้อมูลของ RLC ไว้ว่า หากแพ็กเกตหรือ PDU ใดที่เป็นการส่งซ้ำอันเนื่องมาจากความผิดพลาดไม่ว่ากรณีใด ๆ ให้มีลำดับความสำคัญสูงที่สุด นั่นคือ แพ็กเกตหรือ PDU ที่ต้องส่งซ้ำจะต้องถูกส่งออกไปก่อน PDU ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่และจะส่งเป็นครั้งแรกเสมอ ดังนั้น แม้ว่าในบัฟเฟอร์ส่งจะมี PDU ที่รอการส่งเป็นครั้งแรกรออยู่ในคิว หากตรวจพบว่ามี PDU ที่ถูกส่งไปไม่สำเร็จเกิดขึ้นและต้องการทำการส่งซ้ำ PDU นั้นก็จะถูกนำส่งออกก่อนทันทีแล้วให้ PDU อื่นในคิวรอ เมื่อทำการเปลี่ยนกลไกการเลือกส่งข้อมูลภายในโปรโตคอล RLC ให้แตกต่างจากที่มาตรฐานระบุ โดยกลไกใหม่ที่ออกแบบ อ้างอิงตามการทำงานของคิวในลักษณะ FIFO กล่าวคือ หากตรวจพบว่ามี PDU ที่ถูกส่งไปไม่สำเร็จเกิดขึ้นและต้องการทำการส่งซ้ำ PDU นั้นจะถูกนำไปต่อท้ายคิวเพื่อทำการรอส่งแทนการส่งทันที โดยผลการเปรียบเทียบการทำงานของกลไกทั้งสองไม่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ให้ค่าเวลาหน่วงในการรับเฟรมและประสิทธิภาพต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นไม่ว่า link error rate จะเป็นค่าใด ๆ

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองและผลการทดลองเป็นผลมาจากวิดีโอไฟล์จำลอง MPEG-4 ที่สร้างขึ้นเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผลทำนั้น แต่การทดลองยังไม่ได้มีการทดสอบกับไฟล์วิดีโอจริงที่มีได้หลากหลายสถานการณ์ เช่น วิดีโอที่แต่ละเฟรมภาพมีการเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น คนเดินช้า ๆ, นักประกาศข่าวที่กำลังประกาศข่าวอยู่ เป็นต้น หรืออาจเป็นไฟล์วิดีโอที่แต่ละเฟรมภาพมีการเปลี่ยนแปลงสูง เช่น ฉากการเกิดระเบิด, คอนเสิร์ต เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจเป็นผลให้สมรรถนะการทำงานของโปรโตคอลและการวิเคราะห์สมรรถนะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรนำไฟล์วิดีโอจริงในหลาย ๆรูปแบบมาทดสอบและวิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ใช้ไฟล์วิดีโอจำลอง เพื่อยืนยันผลการทดลองให้แน่ชัดและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าสมรรถนะการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 อันเป็นผลมาจากการทำงานของโปรโตคอลภายในชั้นที่ 2 (RLC) เกิดจากพารามิเตอร์หรือกลไกใดบ้างและมีผลสัมพันธ์กันอย่างไร ทำให้สามารถนำผลไปออกแบบกลไกเพิ่มเติมที่ช่วยในการปรับการทำงานให้มีสมรรถนะดีขึ้นได้ เช่น ปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการคิวในบัฟเฟอร์ กลไลช่วยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ภายในของ RLC แบบอัตโนมัติตามลักษณะของข้อมูลที่กำลัง

ส่ง จำกัดจำนวนการส่งซ้ำของแพ็กเกตและเปลี่ยนแปลงค่าโดยขึ้นกับความสามารถของช่องสัญญาณในขณะนั้น ๆ หรือ จำกัดจำนวนการส่งซ้ำของแพ็กเกตตามลำดับความสำคัญ โดยสร้างเงื่อนไขในการให้ลำดับความสำคัญของแต่ละแพ็กเกต เป็นต้น

สำหรับการเลือกใช้และทดสอบผลกระทบของค่า poll timer นั้น อาจเพิ่มกรณีศึกษาที่กำหนดให้ poll timer มีค่ากว้างพร้อมกับมีการกำหนดใช้ poll periodic timer ร่วมด้วย โดยให้มีค่าแคบกว่าค่าของ poll timer ซึ่งการกำหนดค่าใช้งานในลักษณะนี้อาจให้ผลใกล้เคียงกับการกำหนดให้ poll timer มีค่าแคบ เพราะการ trig ของ poll periodic timer จะช่วยเพิ่มปริมาณการ poll ฝั่งส่งสามารถรับรู้สถานะของการรับข้อมูลของฝั่งรับได้มากขึ้น เนื่องจากการ poll ด้วย poll timer จะทำให้ฝั่งส่งรับรู้สถานะการรับข้อมูลทุก ๆช่วงเวลาที่กำหนด ในขณะที่การ poll ด้วย poll periodic timer จะช่วยให้รับรู้ว่ามีแพ็กเกตที่ต้องการการส่งซ้ำเป็นปริมาณมากน้อยอย่างไร ช่วยทำให้เกิดการส่งซ้ำที่รวดเร็วขึ้นกว่าการรอคอยเฉพาะสถานะที่มาจากการ poll ด้วย poll timer