บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและงานวิจัยต่อเนื่อง

6.1 สรุปผลการวิจัย

สาระสำคัญของการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์เรื่องการจำลองโครงร่างสถาปัตยกรรมระดับสูง สามารถสรุปได้เป็นประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

1. ได้ออกแบบและสร้างโมดูล HLA ลงในโปรแกรมการจำลอง ns โดยครอบคลุม 3 บริการหลักคือ Object Management, Data Distribution Management และ Time Management โดยได้ทำการดึงเอาลักษณะเด่นของ HLA ที่เกี่ยวข้องกับบริการทั้ง 3 ด้านดังกล่าวมาสร้างเป็นโมดูลการจำลอง โดยกล่าวแยกย่อยได้ดังนี้

- สำหรับบริการ Object Management และ Data Distribution Management ได้ดึงเอาลักษณะเด่นประกอบด้วย ด้านการปรับปรุงและสะท้อนข้อมูล รวมทั้งการประกาศและสมัครสมาชิก
- สำหรับบริการ Time Management ประกอบด้วย การร้องขอการเคลื่อนเวลา การตอบรับการเคลื่อนที่ของเวลา การรับและส่งเหตุการณ์ รวมทั้งการประกาศและสมัครสมาชิกต่อเหตุการณ์

ทั้งนี้โมดูลที่ได้ทำให้การประเมินสมรรถนะของระบบการจำลองแบบกระจายที่ใช้ HLA สามารถทำได้ง่ายและทดสอบระบบได้หลากหลาย เหมาะสำหรับเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบระบบก่อนที่จะสร้างระบบจริงขึ้นมา

2. การวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดในการพิสูจน์ความถูกต้องของโมดูล HLA โดยการเทียบเคียงกับผลลัพธ์ทางทฤษฎี ซึ่งพอที่จะกล่าวแยกย่อยได้ดังนี้

- ใช้ทฤษฎีคิวสำหรับบริการ Object Management และ Data Distribution Management เนื่องจากพฤติกรรมการปรับปรุงข้อมูลของ Simulation Object นั้นเกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระ ไม่ว่าจะเป็นอัตราการปรับปรุงข้อมูลหรือขนาดของข้อมูลที่ปรับปรุง ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ทฤษฎีคิวเพื่อที่จะพิสูจน์ความถูกต้องของโมดูล Object Management และ Data Distribution Management ได้ ซึ่งผลการทดสอบที่ใช้ Simulation Time 1,000,000 2,000,000 และ 5,000,000 วินาที พบว่าระบบสามารถเข้าสู่สถานะมั่นคงได้ ดังนั้น โมดูลที่สร้างขึ้นจึงมีความถูกต้อง

- ใช้หลักการพิจารณากราฟการเคลื่อนที่ของเวลาสำหรับบริการ Time Management เนื่องจากกราฟการเคลื่อนที่ของเวลาบอกให้ทราบถึงเวลาที่ต่างกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ระหว่าง Constrained Federate และ Regulating Federate และเราจะใช้ระยะห่างนี้มาเทียบกับกราฟการเคลื่อนที่ของเวลา เพื่อพิสูจน์ว่าโมดูลในส่วน Time Management ทำงานได้อย่างถูกต้อง

3. การวิจัยได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้โมดูล HLA เป็นเครื่องมือศึกษาสมรรถนะของระบบการจำลองที่ใช้ HLA ในหลายแง่มุม กล่าวแยกย่อยได้ดังนี้

- การศึกษาด้านความเชื่อถือได้ของ Federation พบว่าทั้งปัจจัยด้านเครือข่าย เช่น ทอพอโลยี หรือ ขนาดบัฟเฟอร์ และปัจจัยภายใน Federation ที่กำหนดโหลดต่อระบบ เช่น ความถี่ของการปรับปรุงข้อมูล ล้วนสามารถส่งผลต่อปริมาณแพ็กเกตที่ถูกคัดทิ้ง ซึ่งทำให้ Federate ผู้สมัครสมาชิกได้รับข้อมูลไม่ครบสมบูรณ์ ซึ่งโมดูล HLA สามารถวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของ Federation เป็นเชิงปริมาณได้
- การศึกษาสภาวะการจำลองแบบเวลาจริง พบว่าความสามารถในการเคลื่อนที่เวลาของ Constrained Federate นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่เวลาของ Regulating Federate ที่เคลื่อนที่เวลาได้ช้าที่สุด ทำให้ได้ข้อสรุปว่า แม้ว่า Constrained Federate จะถูกออกแบบมาให้ทำงานได้ตอบสนองแบบเวลาจริงได้ดีเพียงใด ก็ไม่สามารถรับประกันความสามารถได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากต้องพิจารณาปัจจัยแวดล้อมด้วย นั่นก็คือ ปัจจัยด้านสภาวะการจำลองแบบเวลาจริงของ Regulating Federate ทุก Federate ด้วย

6.2 งานวิจัยต่อเนื่อง

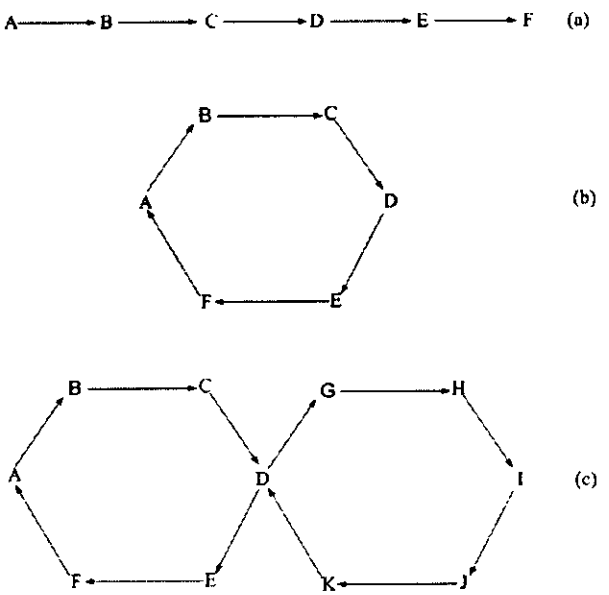
1. การทดสอบสมรรถนะของ HLA ใน Federation ที่มีขนาดใหญ่และมีการจัดการสมาชิกที่ซับซ้อน ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.1 ซึ่งแสดงการสมัครสมาชิกอย่างต่อเนื่องโดยกำหนดให้สัญลักษณ์ A→B หมายถึงการที่ A สมัครสมาชิกต่อ B ทำให้การเคลื่อนเวลาของ A ตกอยู่ภายใต้อิทธิพลการเคลื่อนเวลาของ B ดังแสดงในรูป 6.1 โดยจะกล่าวแยกดังนี้

รูปย่อย (a) เป็นการสมัครสมาชิกต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็นรูปแบบขั้นต้นที่สุด ซึ่งรูปแบบนี้ได้กล่าวถึงบ้างแล้วในวิทยานิพนธ์นี้ เพียงแต่ไม่ได้มีการสมัครสมาชิกที่ต่อเนื่องกันมากขนาดนี้

รูป (b) เป็นรูปแบบที่ยังไม่เคยทำการวิจัยกันมาก่อน โดยเป็นการสมัครสมาชิกต่อเนื่องกันและตัวท้ายสุด ซึ่งตามรูปคือ Federate F จะย้อนกลับมาสมัครสมาชิกต่อ Federate A ซึ่งเป็นที่น่า

ศึกษาอย่างยิ่งว่าระบบนี้จะให้สมรรถนะเป็นอย่างไร เช่น มีความเร็วเป็นอย่างไร โดยมี Federate ใด จะเป็นผู้กำหนดความเร็วของ Federation

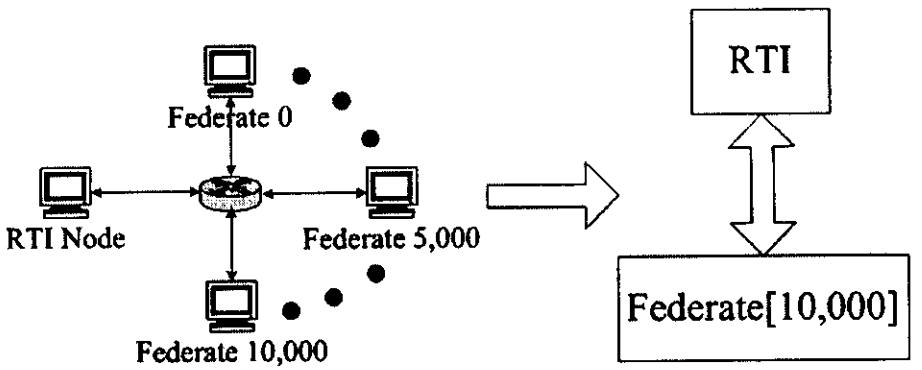
รูป (c) ซึ่งคล้ายกับรูป (b) เพียงแต่การสมัครสมาชิกเป็นวงนั้นมี 2 วง และทั้ง 2 วงใช้ Federate หนึ่งร่วมกัน ในที่นี้คือ Federate D ซึ่งก็เป็นที่น่าศึกษาเช่นกันว่า Federate ใด หรือ Federate ที่มีลักษณะเช่นไรที่จะเป็นผู้กำหนดสมรรถนะของ Federation



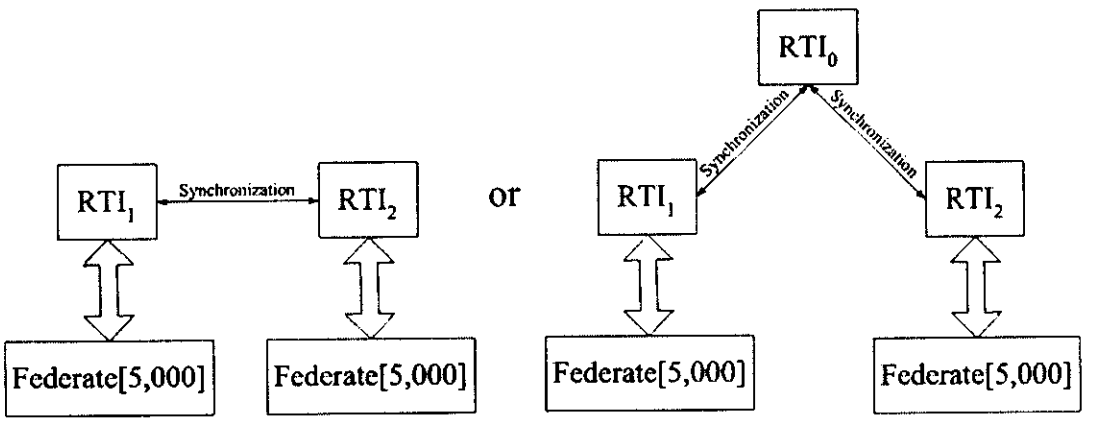
รูปที่ 6.1 แสดงการสมัครสมาชิกที่น่าจะนามาศึกษาสมรรถนะ

2. การวิจัยเพื่อศึกษาสมรรถนะของ Federation ที่ใช้ RTI แบบหลายชั้น (multi-level RTI) และสร้างโมดูลการทำงานของ RTI ที่สนับสนุนการทำงานแบบหลายชั้น กล่าวคือ HLA ไม่ได้กำหนดให้ Federation หนึ่งๆ มีเพียง RTI เดียว ซึ่งการมี RTI เพียง 1 โหนดใน Federation ขนาดใหญ่และแต่ละ Federate อยู่ห่างไกลกันจนอาจทำให้เกิดปัญหาคอขวดและปัญหาด้านความเร็วของการจำลอง และมีบทความวิชาการหลายชิ้น (Chang, 2004; Sjöström, Johansson and Nyberg, 2000) ได้แนะนำให้ลดภาระการทำงานของ RTI โดยการใช้ RTI แบบหลายชั้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการเสนอผลลัพธ์ที่ชัดเจนของการใช้ RTI แบบหลายชั้นออกมามากนัก เราสามารถอธิบายแนวคิดของแบ่งเบาภาระของ RTI ได้ด้วยรูปที่ 6.2 และ 6.3 โดยในรูปที่ 6.2 นั้นสมมติให้มีการนิยามสัญลักษณ์ของการเชื่อมต่อ Federate จำนวนหนึ่งเข้ากับ RTI node เพียง 1 RTI แต่ในรูปที่ 6.3 นั้นได้แสดงการแบ่งเบาภาระของ RTI ลงเหลือครึ่งหนึ่ง แล้วให้ RTI ทำการประสานเวลากันเอง โดยกระบวนการประสานเวลานั้นอาจ RTI_1 และ RTI_2 อาจทำการประสานเวลากันโดยตรงหรืออาจใช้ RTI อีกตัวหนึ่งเป็นผู้ประสานเวลาหลัก และเพราะยังไม่มีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนเกี่ยวกับโครงสร้างการเชื่อมต่อ RTI

ที่จะส่งผลให้เกิดสมรรถนะของระบบจำลองที่ดีที่สุด จึงน่าจะเป็นโอกาสดีที่จะทำการศึกษา โดยเฉพาะการศึกษาผ่านการจำลอง เพราะสามารถกำหนดสภาวะแวดล้อมสำหรับการจำลองได้รวดเร็วและครอบคลุม



รูปที่ 6.2 แสดงการนิยามสัญลักษณ์สำหรับการเชื่อมต่อ Federate เข้ากับ RTI



รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะที่น่าจะเป็นไปได้ของการเชื่อมต่อ RTI หลายชั้น

3. การวิจัยเพื่อสร้างโมดูลของการประสานเวลาของ RTI แบบ Optimistic กล่าวคือ HLA ไม่ได้กำหนดขั้นตอนวิธีการประสานเวลา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ในได้กล่าวถึงการประสานเวลาแบบอนุรักษ์นิยม (Conservative Synchronization) แต่ปัจจุบันยังไม่มีการสร้างโมดูลสำหรับการประสานเวลาแบบ Optimistic สำหรับการจำลองการทำงานของ HLA โดยความท้าทายของการสร้างโมดูลการจำลองที่อาศัยการประสานเวลาแบบ Optimistic ก็คือ การที่แบบจำลองจะต้องสามารถย้อนกลับไปประมวลผลใหม่ (Roll Back) หลังจากพบความผิดปกติของเหตุการณ์ แทนที่การคำนวณ LBTS ที่ใช้ในการประสานเวลาแบบอนุรักษ์นิยม