

บทที่ 5

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบโมดูลของ HLA ที่ได้ออกแบบและสร้างไว้ ทั้งในส่วนของ Object Management, Data Distribution Management และ Time Management โดยจะเปรียบเทียบกับแนวคิดทางทฤษฎีและการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลองเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการประเมินสมรรถนะของ Federation เช่น การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของ Federation หรือ การวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริง สำหรับส่วนของสคริปต์ OTcl ที่ใช้สำหรับการจำลองในบทนี้ได้รวมไว้ในภาคผนวก ก

5.1 การทดสอบโมดูล Object Management, Data Distribution Management และ การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของ Federation

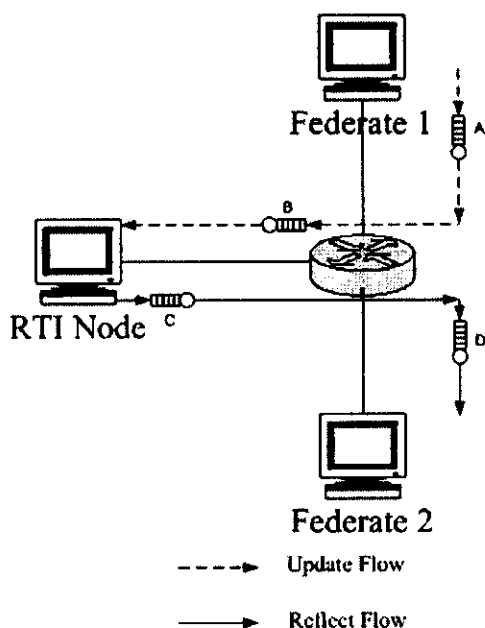
ในบทที่ว่าด้วยการออกแบบ ได้แสดงให้เห็นว่าโมดูล HLA ที่ได้จะเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ทั้งในส่วนของ Object Management, Data Distribution Management และ Time Management แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบโดยการวัดผลลัพธ์จากการทดลองและนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ทางทฤษฎี เนื่องจากใน ns ได้สร้างโมดูลของคิวไว้เป็นส่วนพื้นฐานสำหรับการทำงานของระบบทั้งหมด โดยสร้างไว้เป็นส่วนหนึ่งของ Communication Link (The ns Manual, 2002) เราจึงสามารถใช้ผลลัพธ์จากทฤษฎีคิวเพื่อเปรียบเทียบ โดยในขั้นต้นจะต้องตั้งค่าระบบทดสอบให้เป็นไปตามทฤษฎีคิวและวัดค่าผลลัพธ์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากสูตรซึ่งเป็นผลลัพธ์ในเชิงทฤษฎีและตอนท้ายจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของ Federation ด้วย

การทดสอบอาศัยทอพอโลยีดังรูปที่ 5.1 และ 5.3 เป็นฐานในการทดสอบเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้มีอ็อบเจกต์การจำลอง A อยู่ที่ Federate 1 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตกระแสของการปรับปรุงข้อมูล และที่ Federate 2 จะสมัครสมาชิกต่ออ็อบเจกต์การจำลอง A ซึ่งจะทำการกระจายการปรับปรุงจากอ็อบเจกต์การจำลอง A จาก Federate 1 ถูกสะท้อนโดย RTI มุ่งหน้าสู่ Federate 2 โดยลักษณะการตั้งค่าของ Federate 1 เป็นดังนี้

- อ็อบเจกต์การจำลอง A ปรับปรุงข้อมูลซึ่งทำให้เกิดโหลดต่อระบบ 70, 80, 85, 88, 90, 95 และ 98 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และมีการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Distribution)

- แต่ละครั้งของการปรับปรุงข้อมูลมีขนาดเฉลี่ย 110 ไบต์ และมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution)
- ทุกๆ ลิงค์มีแบนด์วิดท์ 1000 บิตต่อวินาที (bps) และมีความหน่วงแพร่กระจาย 10 มิลลิวินาที (ms)
- ขนาดของบัฟเฟอร์ของคิว A ถึง D เป็น 10,000
- ใช้ UDP เป็นโปรโตคอลสำหรับส่งข้อมูล

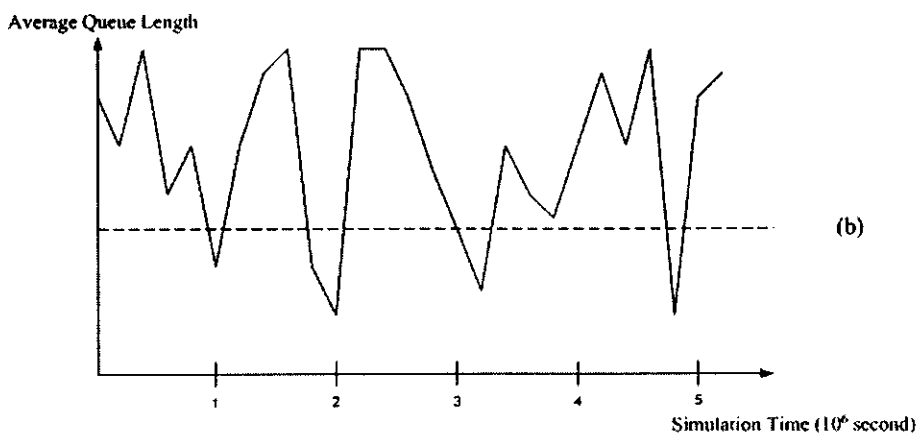
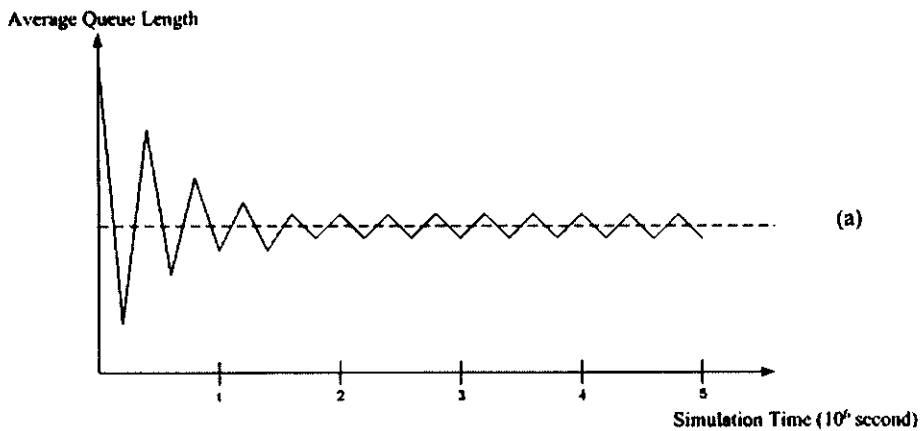
สำหรับทอพอโลยี 1 รูปที่ 5.1 ได้แสดงให้เห็นถึงกระแสของแพ็กเก็ตและลักษณะของคิวที่เกิดขึ้น และจากการกำหนดค่าสำหรับการทดลองนี้ที่ได้กล่าวแล้วตอนต้น แล้วจะวัดขนาดความยาวเฉลี่ยของคิวแยกตามโหนด 70, 80, 85, 88, 90, 95 และ 98 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 แสดงทอพอโลยี 1 ของการทดสอบ Object Management และ Data Distribution Management

สำหรับการจำลองที่เกี่ยวกับคิวนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการจำลองโดยใช้ Simulation Time จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะมั่นคง (Steady - State Condition) เพราะในช่วงระยะเวลาต้นๆของการจำลอง ระบบจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ผ่านไปและสถานะเริ่มต้น (Initial State) ซึ่งเรียกว่าว่าระบบอยู่ในสถานะชั่วคราว (Transient Condition) (วิชัย, 2544) ในสภาวะมั่นคงผลลัพธ์จากการจำลองจะเข้าสู่

หาค่าผลลัพธ์ทางทฤษฎีถ้าการสร้างระบบเป็นไปอย่างถูกต้อง ในทางกลับกันระบบจำลองจะไม่สามารถหาสถานะมั่นคงได้เลขหากระบบมีความผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 5.2 รูป (a) ซึ่งระบบสามารถเข้าสู่สถานะมั่นคงได้หลังจากผ่านการจำลองไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง สังเกตได้จากค่าความยาวคิวเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าทฤษฎีและจะคงสภาพเช่นนี้เรื่อยไป แต่สำหรับรูป 5.2 (b) นั้นแสดงพฤติกรรมของระบบที่ไม่สามารถหาสถานะมั่นคงได้ ดังนั้นในหัวข้อที่ 5.1 นี้เราจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ทางทฤษฎีเพื่อให้เห็นว่าระบบได้อยู่ในสถานะมั่นคงแล้ว โดยใช้ Simulation Time เป็น 1,000,000, 2,000,000, 5,000,000 วินาที สำหรับการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ แล้วในตารางที่ 5.1 – 5.7 นั้นผลลัพธ์ทั้งหมดจะแสดงว่าระบบสามารถหาสถานะมั่นคงได้ คือ ค่าความยาวคิวเฉลี่ยที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงผลลัพธ์ทางทฤษฎี แต่อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดบางประการสำหรับการเปรียบเทียบดังจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 5.2 (a) แสดงความยาวคิวเฉลี่ยของระบบที่สามารถเข้าสู่สภาวะมั่นคงได้ และ
(b) แสดงความยาวคิวเฉลี่ยของระบบที่ไม่สามารถเข้าสู่สภาวะมั่นคงได้

ข้อจำกัดสำหรับทฤษฎีคิวตามสมการ 5.1 ก็คือกระบวนการมาถึงของแพ็กเก็ตจะต้องเป็น ขบวนการปัวซอง (Poisson Process) ซึ่งกระบวนการมาถึงเป็นแบบไม่มีความจำ (Memoryless) (Bertsekas, Gallager, 1992) ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้สมการ (1) สำหรับการวิเคราะห์คิว B, C และ D เนื่องจากกระบวนการมาถึงของแพ็กเก็ตของคิวดังกล่าวล้วนผ่านคิว A โดยทั่วไปการวิเคราะห์ ลักษณะของคิวที่มีความซับซ้อนจะนิยมใช้การจำลอง (วิชัย, 2544) แต่ถึงอย่างไรระบบการจำลอง จะต้องถูกทดสอบถึงความถูกต้องในระดับหนึ่งก่อนนำไปใช้งาน ดังในวิทยานิพนธ์นี้การทดสอบจะ ทำเฉพาะกับคิว A ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์กับสมการ 5.1 ได้และเนื่องจากในทางซอฟต์แวร์ การทำงานของคิว B, C และ D จะเรียกใช้ไปยังโมดูลของคิวเดียวกัน ซึ่งหากคิว A ทำงานถูกต้องคิว อื่นๆย่อมทำงานถูกต้องด้วย

ตารางที่ 5.1 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อ โหลด 70 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง ข้อมูลประมาณ 0.7952 แพ็กเก็ตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1 (1,000,000วินาที)	1.53	0.71	0.81	0.92
2 (2,000,000วินาที)	1.62	0.69	0.83	0.98
3 (5,000,000วินาที)	1.74	0.74	0.78	1.01
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.49 %				

ตารางที่ 5.2 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อ โหลด 80 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง ข้อมูลประมาณ 0.9088 แพ็กเก็ตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1 (1,000,000วินาที)	3.26	1.12	1.24	1.31
2 (2,000,000วินาที)	3.37	1.23	1.26	1.53
3 (5,000,000วินาที)	3.15	1.10	1.33	1.28
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.88 %				

ตารางที่ 5.3 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 85 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง
ข้อมูลประมาณ 0.9656 แพ็กเกตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1 (1,000,000วินาที)	4.69	1.94	2.26	2.43
2 (2,000,000วินาที)	4.73	2.03	2.25	2.66
3 (5,000,000วินาที)	4.93	2.16	2.41	2.47
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย				
2.22 %				

ตารางที่ 5.4 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 88 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง
ข้อมูลประมาณ 1 แพ็กเกตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1 (1,000,000วินาที)	6.39	3.09	3.28	3.64
2 (2,000,000วินาที)	6.55	2.83	3.36	3.49
3 (5,000,000วินาที)	6.27	2.90	3.22	3.45
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย				
2.87 %				

ตารางที่ 5.5 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 90 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง
ข้อมูลประมาณ 1.0224 แพ็กเกตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1 (1,000,000วินาที)	7.89	3.62	3.95	4.21
2 (2,000,000วินาที)	8.16	4.00	4.13	4.42
3 (5,000,000วินาที)	8.07	3.81	4.16	4.26
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย				
1.23 %				

ตารางที่ 5.6 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 95 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง
ข้อมูลประมาณ 1.0792 แพ็กเกตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1(1,000,000วินาที)	18.17	7.64	9.33	10.15
2 (2,000,000วินาที)	17.84	7.81	9.45	10.38
3 (5,000,000วินาที)	17.98	7.63	9.42	9.86
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.68 %				

ตารางที่ 5.7 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อ โหลด 98 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง
ข้อมูลประมาณ 1.1132 แพ็กเกตต่อวินาที

ขนาดคิวเฉลี่ย ทดลองครั้งที่	คิว A	คิว B	คิว C	คิว D
1(1,000,000วินาที)	48.08	16.23	17.85	19.10
2 (2,000,000วินาที)	47.94	17.41	19.44	18.62
3 (5,000,000วินาที)	47.89	16.13	18.10	18.31
คลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.29 %				

$$N_Q = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda) \dots \dots \dots (\text{สมการที่ 5.1})$$

เมื่อ

N_Q คือ ความยาวคิวเฉลี่ย

λ คือ อัตราการมาถึงเฉลี่ย (Arrival Rate)

μ คือ อัตราการให้บริการเฉลี่ย (Service Rate)

ตัวอย่างการคำนวณความยาวของคิว A ทางทฤษฎีตามสมการ (1) คำนวณได้ดังนี้

$$\lambda = 1 \text{ แพ็กเกต/วินาที (โหลด 88 เปอร์เซ็นต์)}$$

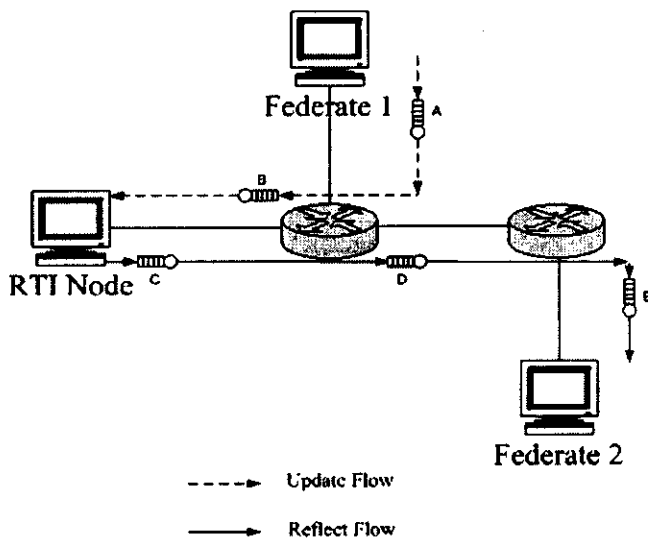
$$\mu = 1000/(8*110) = 1.136 \text{ แพ็กเกต/วินาที}$$

$$\text{ดังนั้น } N_0 = 1 / 1.136 \times (1.136 - 1)$$

$$= 6.49 \text{ แพ็กเกต}$$

สำหรับการคำนวณค่าอื่นๆ ก็ทำได้ในทำนองเดียวกันโดยเปลี่ยนค่า λ ซึ่งโดยสรุปค่าความยาวคิวเฉลี่ยทางทฤษฎีที่ได้สำหรับโหลด 70, 80, 85, 88, 90, 95 และ 98 เปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 1.63, 3.20, 4.81, 6.49, 8.10, 18.05 และ 48.02 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ในตารางที่ 5.1 ถึง 5.7 จะได้ค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 4.49, 1.88, 2.22, 2.87, 1.23, 0.68 และ 0.29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ดังนั้น การสร้างโมดูลเพิ่มขยายของ HLA ในส่วนของ Object Management และ Data Distribution Management ลงใน ns ทำให้การทำงานโดยรวมของ ns เป็นปกติ รวมทั้งลักษณะทางตรรกะของโมดูล HLA ก็เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน



รูปที่ 5.3 แสดงทอพอโลยี 2 ของการทดสอบ Object Management และ Data Distribution Management

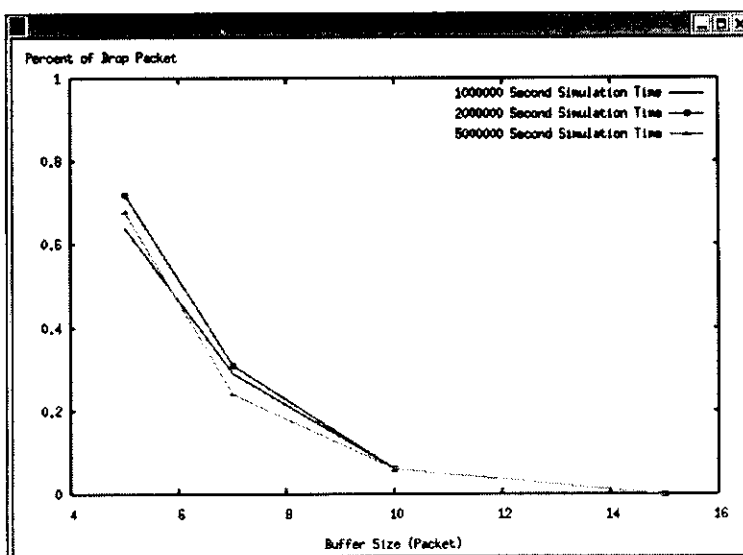
ต่อมาได้ทำการทดสอบ Federation เดิมแต่เปลี่ยนเป็นทอพอโลยี 2 และด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นเช่นเดียวกับที่ใช้ในการทดลองแรก ผลลัพธ์จากการวัดค่าความยาวเฉลี่ยของคิว A ถึง D เหมือนกับทอพอโลยี 1 ทุกประการ แต่ในทอพอโลยี 2 มีเรเตอร์เพิ่มขึ้น 1 ตัว ทำให้เกิดคิว E ซึ่งมี

ความยาวคิวเฉลี่ยเท่ากับ 0.98, 1.41, 2.71, 3.62, 4.49, 11.16 และ 18.93 เมื่อใช้โหลด 70, 80, 85, 88, 90, 95 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในทอพอโลยี 1 นั้นได้กำหนดให้ขนาดบัฟเฟอร์ของทุกคิวเป็น 10,000 ซึ่งจัดว่าใหญ่มาก เมื่อเทียบกับความยาวคิวเฉลี่ย ทำให้ไม่มีแพ็กเก็ตข้อมูลถูกคัดทิ้งที่คิว A ถึง D เลย นั่นหมายความว่าทุกแพ็กเก็ตที่ถูกส่งจากฮ็อบเจกต์ A จะถึงปลายทางที่ Federate 2 ทุกแพ็กเก็ต จึงกล่าวได้ว่า Federation นี้หากอยู่บนทอพอโลยี 1 จะมีความเชื่อถือได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือมีความผิดพลาด 0 เปอร์เซ็นต์

ในทอพอโลยี 2 นั้น แพ็กเก็ตจากฮ็อบเจกต์ A ที่ Federate 1 จะต้องผ่านคิว A, B, C, D และ E และถ้ากำหนดให้มีบัฟเฟอร์เป็น 10,000 ทุกคิว ก็จะทำให้ไม่มีแพ็กเก็ตข้อมูลถูกคัดทิ้งที่คิว A ถึง E เลย นั่นหมายความว่าทุกแพ็กเก็ตที่ถูกส่งจากฮ็อบเจกต์ A จะถึงปลายทางที่ Federate 2 ทุกแพ็กเก็ต จนกล่าวได้ว่าการจำลองของ Federation นี้จะมีความผิดพลาด 0 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น Federation นี้แม้จะจำลองในทอพอโลยี 1 หรือ ทอพอโลยี 2 ก็ให้ค่าความผิดพลาด 0 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน

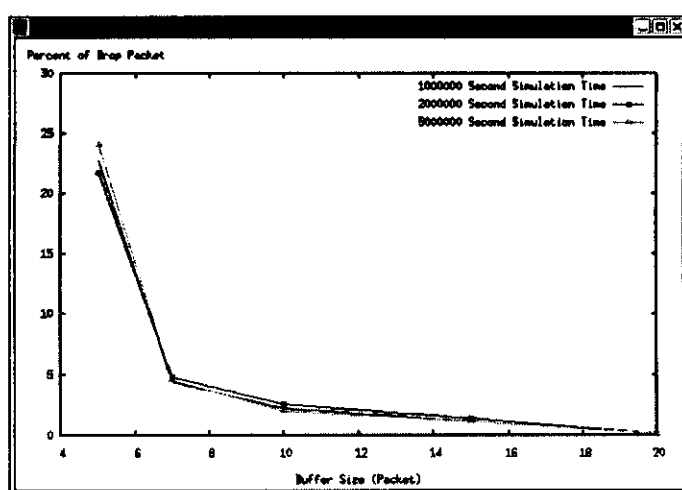
ต่อมาสมมติให้ขนาดของบัฟเฟอร์ที่คิว E มีขนาดเล็กลง รูปที่ 5.4 แสดงปริมาณแพ็กเก็ตที่ถูกคัดทิ้งเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของบัฟเฟอร์ จะเห็นว่าเมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์ลงจนเมื่อขนาดบัฟเฟอร์เหลือ 15 หน่วย ก็จะเริ่มสังเกตเห็นการคัดแพ็กเก็ตทิ้งโดยเราเตอร์อันเนื่องมาจากบัฟเฟอร์เต็ม และปริมาณการคัดทิ้งจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์ลงเรื่อยๆ เช่น เมื่อลดบัฟเฟอร์เหลือขนาด 5 หน่วย ปริมาณแพ็กเก็ตที่ถูกคัดทิ้งประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณแพ็กเก็ตทั้งหมดที่ผลิตโดยฮ็อบเจกต์ A นั่นคือหากลดขนาดบัฟเฟอร์ของคิว E ลงจนเหลือ 5 หน่วย ก็จะทำให้มีโอกาสที่แพ็กเก็ตที่ผลิตจากฮ็อบเจกต์ A ถึงปลายทางไม่ครบทุกแพ็กเก็ต โดยมีแพ็กเก็ต 0.7 เปอร์เซ็นต์ที่ไม่ถึงปลายทาง หรือ Federation มีความผิดพลาด 0.7 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.4 แสดงอัตราการถูกคัดทิ้งเมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์ที่คิว E ลง โดยทดสอบที่โหลด 88 เปอร์เซ็นต์

จากที่กล่าวมาทั้งหมด ทอพอโลยี 1 และทอพอโลยี 2 ที่ใช้ขนาดบัฟเฟอร์ใหญ่มากจะให้ความผิดพลาด 0 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับทอพอโลยี 2 ที่กำหนดให้บัฟเฟอร์ที่คิว E เล็กลงจะมีความผิดพลาดมากขึ้น ทั้งๆที่ทั้งหมดคือ Federation เดียวกัน (เพียงแต่เปลี่ยนข้อกำหนดทางเครือข่าย)

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า Federation ใดๆ แม้มือองค์ประกอบภายในเหมือนกันทุกประการ เช่น มีจำนวน Federate เหมือนกัน จำนวนฮ็อบเจกต์เหมือนกัน ความถี่ในการปรับปรุงข้อมูลเท่ากัน แต่ถ้ามีข้อกำหนดทางเครือข่ายต่างกันแล้ว จะทำให้ Federation นั้นมีความเชื่อถือได้ไม่เท่ากัน



รูปที่ 5.5 แสดงอัตราการถูกตัดทิ้งเมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์ที่คิว E ลงโดยทดสอบที่โหลด 90 เปอร์เซ็นต์

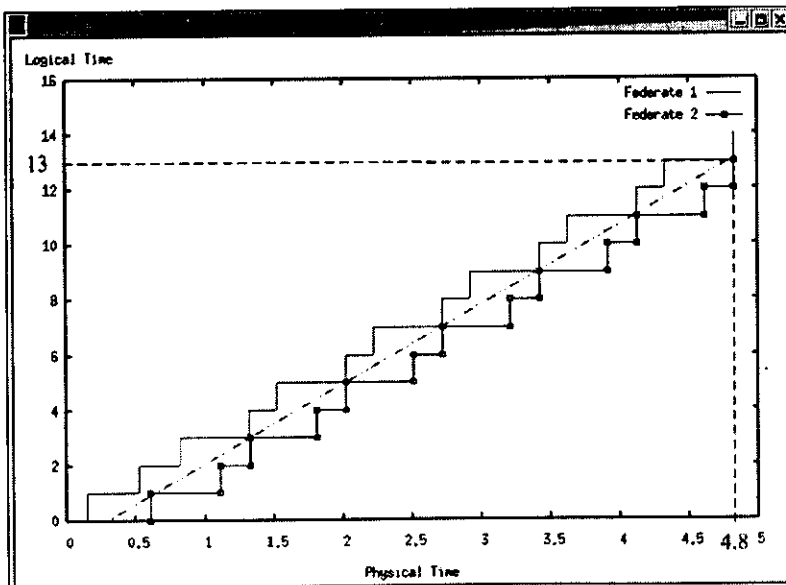
ในรูปที่ 5.5 นั้นเป็นผลการตรวจวัดการตัดแพ็กเก็ตที่คิว E ในขณะที่มีโหลด 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขณะนี้คิว E มีความยาวเฉลี่ย 4.49 และเมื่อพิจารณาในทำนองเดียวกับรูปที่ 5.4 (ซึ่งใช้โหลด 88 เปอร์เซ็นต์ และคิวยาวเฉลี่ย 3.62) โดยทำการลดขนาดบัฟเฟอร์ลงก็จะเห็นการตัดแพ็กเก็ตที่มากขึ้นเรื่อยๆ โดยเริ่มจากขนาดบัฟเฟอร์ประมาณ 20 หน่วย ก็จะเริ่มสังเกตเห็นการตัดแพ็กเก็ตทิ้ง แต่เมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์เหลือ 5 หน่วย ก็จะทำให้มีการตัดทิ้งประมาณ 22-24 เปอร์เซ็นต์ หรือมีความผิดพลาด 22-24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผิดพลาดสูงกว่าที่โหลด 88 เปอร์เซ็นต์ ประเด็นนี้ชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบภายในของ Federation ที่เป็นตัวกำหนดโหลดให้กับระบบ ในท้ายที่สุดก็จะเป็นตัวกำหนดความเชื่อถือได้ของ Federation ด้วย ทั้งนี้หากเราพิจารณาขนาดความยาวคิวเฉลี่ยดังที่ได้เสนอไว้ในตารางที่ 5.1 ถึง 5.7 ก็พอจะบ่งบอกได้ถึงความเชื่อถือได้ของ Federation อย่างคร่าวๆ ได้เช่นเดียวกัน

ดังนั้น ทั้งปัจจัยด้านเครือข่ายและปัจจัยด้านองค์ประกอบภายในของ Federation ก็อาจส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของ Federation ได้ แต่ในปัจจุบัน การหาข้อสรุปเรื่องความเชื่อถือได้หรือความถูกต้องของ Federation นั้นไม่สามารถทำล่วงหน้าได้ จะต้องทำหลังจากสร้างระบบจำลองเสร็จแล้วเท่านั้น ทำให้การสร้างระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์ของนักออกแบบเป็นหลัก ซึ่งเสี่ยงต่อความล้มเหลวของการสร้างระบบ ดังนั้น การทดสอบ HLA Federation เพื่อศึกษาความเชื่อถือได้ของ Federation บน ns ก่อนการสร้างระบบจริง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

5.2 การทดสอบโมดูล Time Management

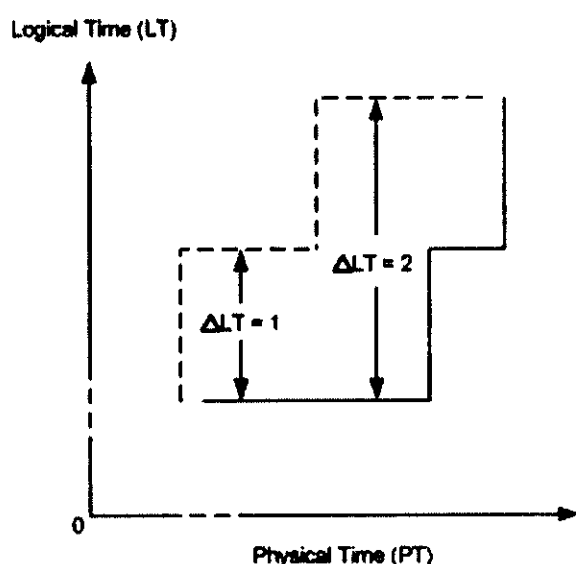
ในส่วนของ Time Management ได้ทำการทดสอบโดยใช้ทอพอโลยี 1 ของคอนที่แล้วเป็นฐาน แล้วทำการวัดค่าการเคลื่อนของ Logical Time และจะใช้กราฟการเคลื่อนที่ของเวลาสำหรับเปรียบเทียบเพื่อวัดความถูกต้องของการจำลอง โดยการทดลองได้กำหนดค่าต่อไปนี้

- กำหนดให้ Federate 2 เป็น Regulating Federate และ Federate 1 เป็น Constrained Federate
- Federate ทั้งสองมี Lookahead เป็น 1
- เวลาหน่วงแพร่กระจายของลิงค์สำหรับ Federate 2 เป็น 100 ms สำหรับการทดลองแรกซึ่งแสดงผลดังกราฟ 5.6 และ เป็น 50 ms สำหรับการทดลองที่สองซึ่งจะแสดงผลในรูป 5.9
- แบนด์วิดท์ของทุกลิงค์เป็น 2 ล้านบิตต่อวินาที
- ใช้โปรโตคอล TCP เป็น Communication Agent
- ใช้ข้อความร้องขอ TAR ในการขอเคลื่อนเวลา



รูปที่ 5.6 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1 และ Federate 2 โดยกำหนดค่าให้เวลาหน่วง ระหว่าง Federate 2 และเรดเดอร์เป็น 100 ms

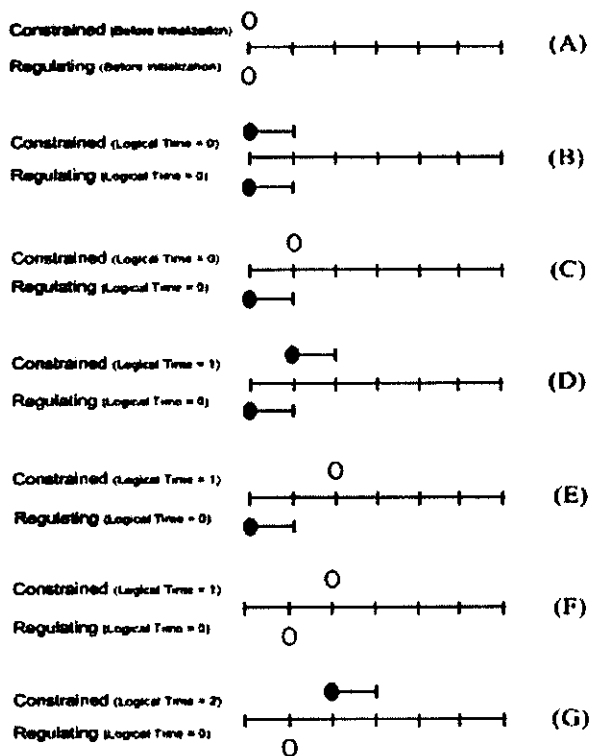
ในการทดลองแรกได้ทำการกำหนดค่าให้เวลาหน่วงระหว่าง Federate 1 และเรอเตอร์เป็น 100 ms แล้วทำการวัดค่าการเคลื่อนที่ของเวลาที่ Federate 1 และที่ Federate 2 หลังจากนั้นทำข้อมูลมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งได้นำ Logical Time ของทั้งสอง Federate มาทำการเปรียบเทียบกับ Physical Time



รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างความแตกต่างของ Logical Time ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการทดสอบ

การตรวจสอบความถูกต้องทำโดยการสังเกตระยะห่างในแนวตั้งของ Logical Time ของทั้งสอง Federate ดังแสดงตัวอย่างในรูป 5.7 ข้อสังเกตก็คือหากได้ทำการกำหนดค่าการทดลองดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ที่ Physical Time ใดๆ จะไม่พบความห่างของ Logical Time เกิน 2 ($\Delta LT \leq 2$) ซึ่งความจริงข้อนี้จะได้จากการวิเคราะห์กราฟการเคลื่อนที่ของเวลาดังรูป 5.8

จุดวิกฤตของกราฟการเคลื่อนที่ของเวลาในการทดลองนี้คือ กราฟรูป E นั่นคือ Constrained Federate ไม่อาจเคลื่อนเวลาได้ต่อไปจนกว่า Regulating Federate จะได้รับ TAG อนุญาตให้เคลื่อนที่เวลาพ้นจาก Logical Time เท่ากับ 0 เพื่อให้เห็นรายละเอียดมากขึ้น จะทำการอธิบายขั้นตอนวิธีเป็นลำดับ โดยจะเริ่มจากรูป C



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟการเคลื่อนที่ของเวลา

รูป C

สถานะตั้งต้น ทั้งสอง Federate อยู่ที่ Logical Time เท่ากับ 0

ขั้น 1 Constrained Federate ขอ TAR(1) และเมื่อข้อความ TAR(1) ถึง RTI จะทำให้เกิดการ

คำนวณ LBTS

ขั้น 2 RTI คำนวณ LBTS ดังนี้

$$\begin{aligned}
 LBTS &= \min (T_{REG} + L_{REG}) \\
 &= \min (0 + 1) \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จึงอนุญาตให้ Constrained Federate ผู้ส่ง TAR(1) ได้รับการเคลื่อนเวลา

รูป D Constrained Federate ได้รับ TAG (1) ทำให้ Logical Time กลายเป็น 1

รูป E

สถานะตั้งต้น Constrained Federate อยู่ที่ Logical Time เท่ากับ 1 ส่วน Regulating Federate

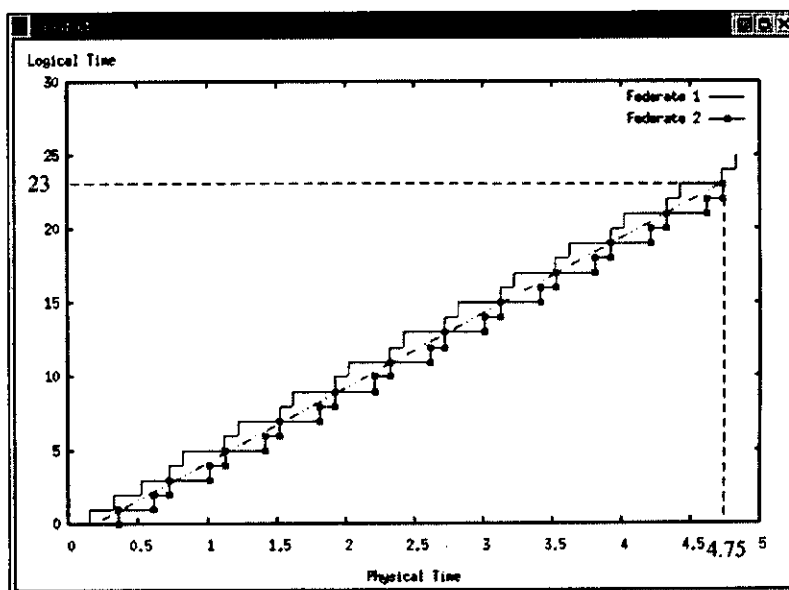
อยู่ที่ Logical Time เท่ากับ 0

ขั้น 1 Constrained Federate ขอ TAR(2) และเมื่อข้อความ TAR(2) ถึง RTI จะทำให้เกิดการคำนวณ LBTS

ขั้น 2 RTI คำนวณ LBTS ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{LBTS} &= \min (T_{\text{REG}} + L_{\text{REG}}) \\ &= \min (0 + 1) \\ &= 1 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $2 > 1$ จึงไม่อนุญาตให้ Constrained Federate ผู้ส่ง TAR(2) ได้รับการเคลื่อนเวลา Constrained Federate จึงต้องรอ หนทางเดียวที่จะทำให้ Constrained Federate ได้รับอนุญาตให้เคลื่อนเวลาตัว 2 ได้คือการที่ Logical Time ของ Regulating Federate ต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1



รูปที่ 5.9 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1 และ Federate 2 โดยกำหนดค่าให้เวลาหน่วงระหว่าง Federate 2 และเรเตอร์เป็น 50 ms

รูป E ได้แสดงให้เห็นจุดวิกฤตของการเคลื่อนที่ของเวลา ซึ่งสรุปได้ว่าการทดลองนี้ Constrained Federate ไม่อาจเคลื่อนที่เวลาได้มากกว่า Regulating Federate เกิน 2 และในเมื่อการทดลองนี้ ได้กำหนดให้ Federate 1 เป็น Constrained Federate และกำหนดให้ Federate 2 เป็น Regulating Federate จึงทำให้ช่วงห่างของ Logical Time ที่วัดได้จากทั้งสอง Federate ห่างกันไม่เกิน 2 ด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูป 5.6 และ 5.9 ก็จะเห็นความจริงดังกล่าว

ผลการทดลองในรูป 5.9 แสดงว่าเมื่อ Physical Time ผ่านไปประมาณ 4.8 วินาที ทำให้ Logical Time เป็น 13 ซึ่งสามารถคำนวณเป็นความชัน(ตามแนวเส้นประ) ได้คือ $13/4.8 = 2.7$ ส่วนผลการทดลองในรูป 5.8 Physical Time ผ่านไปประมาณ 4.75 วินาที ทำให้ Logical Time เป็น 23 ซึ่งสามารถคำนวณเป็นความชัน ได้คือ $23/4.75 = 4.84$

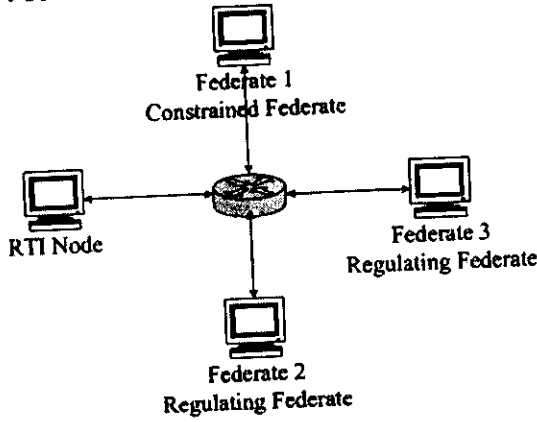
จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา Physical Time ที่เท่ากันใดๆ หาก Federation ใดสามารถเคลื่อนที่ Logical Time ได้มากกว่าแสดงว่า มีแนวโน้มที่จะทำการจำลองได้เร็วกว่า Federation ที่เคลื่อนที่ Logical Time ได้น้อยกว่า หรือจะสังเกตความเร็วจากความชันของเส้นประก็ได้ ซึ่งจาก Federation ในรูป 5.6 นั้นความชันเป็น 2.7 ซึ่งน้อยกว่ารูป 5.9 ซึ่งมีความชัน 4.84 ซึ่งความชันนี้จะเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของกลุ่มการจำลอง (Coefficient of Federation Speed)

จากการกำหนดค่าให้เวลาหน่วยของ รูป 5.6 ซึ่งมากกว่า รูปที่ 5.9 แล้วทำให้สัมประสิทธิ์ความเร็วของกลุ่มการจำลองเปลี่ยนไปนั้นแสดงให้เห็นว่า ทอพอโลยีที่ต่างกันออกไปทำให้สมรรถนะเชิงความเร็วของ Federation เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งการศึกษาสมรรถนะของระบบล่วงหน้าเช่นนี้ จะทำให้ผู้ออกแบบระบบการจำลองสามารถคาดเดาสมรรถนะและขีดจำกัดของระบบได้ก่อนการสร้างระบบจริง เพื่อเป็นการประกันความสำเร็จของการออกแบบระบบการจำลองได้ในระดับหนึ่ง

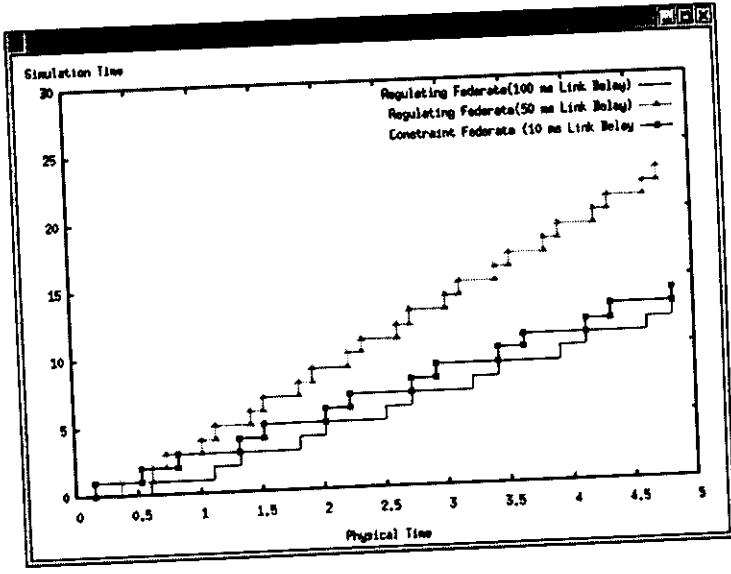
และการทดสอบที่สาม ซึ่งมีทอพอโลยีดังรูปที่ 5.10 โดยข้อกำหนดสำหรับการจำลองสำหรับ Federate 1 และ 2 เหมือนการทดลองแรก คือ Federate 1 เป็น Constrained Federate โดยทำการสมัครสมาชิกแก่ Regulating Federate ทั้ง 2 และ Federate 2 เป็น Regulating Federate และได้เพิ่ม Federate 3 ซึ่งเป็น Regulating Federate เพิ่มขึ้นอีก 1 Federate โดยมีเวลาหน่วยระหว่างเรเตอร์และ Federate 3 เป็น 50 ms

จากข้อกำหนดจะเห็นว่า Constrained Federate จะต้องตกอยู่ภายใต้อิทธิพลทางด้านเวลาของ Regulating Federate ทั้ง 2 สำหรับ Regulating Federate ซึ่งขณะนี้ไม่อยู่ภายใต้อิทธิพลทางด้านเวลาของ Federate ใดๆ เลย การเคลื่อนที่ของเวลาจึงเคลื่อนที่อย่างอิสระหรือสามารถจะเร็วได้เท่าที่เครือข่ายอำนวยให้ โดย Regulating Federate ที่มีความหน่วงการแพร่กระจายของลิงค์ต่ำกว่าจะมีความชันมากกว่า แต่จากกราฟผลลัพธ์จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.11 ซึ่งทำให้เห็นว่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของเวลาของ Constrained Federate นั้นผูกติดอยู่กับ Regulating Federate ที่มีเวลาหน่วงการแพร่กระจายของลิงค์เป็น 100 ms ทั้งนี้เพราะ Constrained Federate นั้นไม่อาจละเมิดกฎของ LBTS ซึ่งจะต้องนำ Regulating Federate ที่มีค่าน้อยที่สุดมาพิจารณา ซึ่งในที่นี้จะหมายถึง Regulating Federate ที่มีเวลาหน่วงของการแพร่กระจายของลิงค์เป็น 100 ms นั่นเอง

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าสำหรับ Constrained Federate นั้นความสามารถในการเคลื่อนเวลาจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนเวลาของ Regulating Federate ที่ช้าที่สุด ซึ่งในที่นี้คือ Federate 2 ซึ่งมีความหน่วง 100 ms

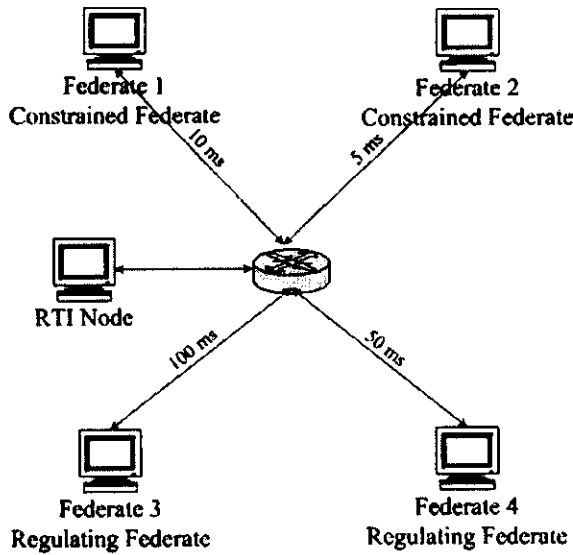


รูปที่ 5.10 แสดงทอพอโลยีสำหรับการทดลองที่มี Regulating Federate 2 Federate โดยระหว่างเราเตอร์กับ Federate 2 มีความหน่วง 100 ms และ Federate 3 ความหน่วง 50 ms

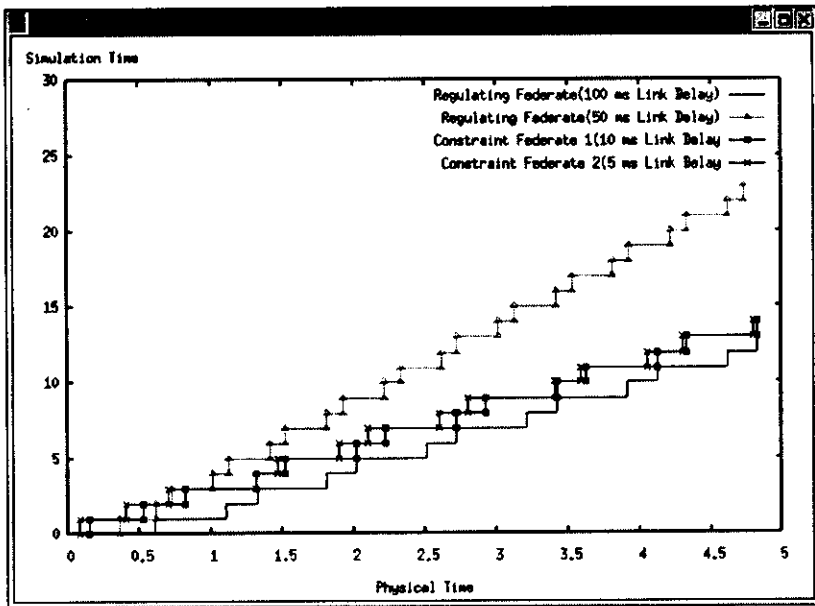


รูปที่ 5.11 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1 ,Federate 2 และ Federate 3 โดย กำหนดค่าให้เวลาหน่วงระหว่าง Federate 2 กับเราเตอร์เป็น 100 ms และ Federate 3 กับเราเตอร์เป็น 50 ms

ต่อมาจะพิจารณาในกรณีที่ Federation มีองค์ประกอบดังรูปที่ 5.12 ซึ่งคล้ายกับกรณีที่ผ่านมา เพียงแต่ได้เพิ่มให้มี Constrained Federate ที่มีความหน่วงแพร่กระจายของลิงค์ 5 ms เพิ่มอีก 1 Federate โดยกำหนดให้ Constrained Federate ทั้ง 2 สมครสมาชิกกับ Regulating Federate ทั้ง 2 Federate โดยผลลัพธ์ของการจำลองได้แสดงไว้ในกราฟเคลื่อนที่ของเวลารูปที่ 5.13



รูปที่ 5.12 แสดงทอพอโลยีสำหรับการทดลองที่มี Regulating Federate 2 Federate และมี Constrained Federate 2 Federate



รูปที่ 5.13 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1, 2, 3 และ 4 ของทอพอโลยีในรูปที่ 5.11

โดยผลลัพธ์ของการจำลองสามารถพิจารณาได้ว่า ในเมื่อ Constrained Federate ทั้ง 2 ต้องคอยอยู่ภายใต้อิทธิพลการเคลื่อนที่ของเวลาของ Regulating Federate ทั้ง 2 Federate ดังนั้น Regulating Federate ใดที่สามารถเคลื่อนที่เวลาได้ช้าที่สุดก็จะเป็นตัวกำหนดความสามารถของการเคลื่อนที่ของเวลาของ Constrained Federate ไปโดยปริยาย ซึ่งความจริงนี้ก็เป็นที่น่าพอใจเหมือนกับในกรณีที่ผ่านมา แต่ถ้าพิจารณาแต่ละ Constrained Federate ก็จะพบว่า Constrained

Federate ที่มีความหน่วงแพร่กระจาย 5 ms จะสามารถเคลื่อนที่เวลาได้เร็วกว่า Constrained Federate ที่มีความหน่วงแพร่กระจายของลิงค์ 10 ms เพียงแต่ขณะที่ทั้ง 2 Constrained Federate ถูกกำหนดด้วย Regulating Federate ที่มีความหน่วงการแพร่กระจายของลิงค์เป็น 100 ms ซึ่งเป็นตัวเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่เห็นความต่างของความสามารถในการเคลื่อนที่เวลาได้ชัดเจนนัก

จากกรณีศึกษาที่ผ่านมาทำให้กล่าวได้ว่า ความสามารถในการเคลื่อนเวลาของ Constrained Federate นั้นจะต้องอยู่ภายใต้อิทธิพลของ Regulating Federate ที่เคลื่อนเวลาได้ช้าที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่า Regulating Federate ที่ช้าที่สุดจะเป็นตัวกำหนดความเร็วการจำลองของ HLA Federation

5.3 การวิเคราะห์สถานะการจำลองแบบเวลาจริง

การวิเคราะห์ระบบการจำลองแบบเวลาจริงนั้น ขึ้นอยู่กับสถานะการปัจจุบันของการจำลอง (Zhao and Georganas, 2001) โดยสถานะการจำลองแบบเวลาจริงสามารถแบ่งได้ 3 กรณี โดยจะอธิบายผ่านสมการ (2) (Fujimoto, 2000)

1. กรณี scale เป็น 1 ซึ่งระบบการจำลองต้องทำงานให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของ Physical Time
2. กรณี scale มากกว่า 1 ซึ่งระบบจะต้องทำงานเร็วกว่า Physical Time
3. กรณี scale น้อยกว่า 1 ซึ่งระบบทำงานช้ากว่า Physical Time

จะสังเกตเห็นว่าค่า scale อาจเป็นค่าใดก็ได้ ซึ่งให้อัตราส่วนเวลาจริงที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ในระบบการจำลองจริง เป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบระบบที่จะต้องทำให้ระบบการจำลองทำงานได้สอดคล้องกับค่า scale ที่กำหนด จะเห็นว่า scale นั้นแท้จริงก็คือค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของกลุ่มการจำลองที่ได้กล่าวถึงแล้ว ซึ่งสามารถวัดค่าได้จากการจำลอง

$$\Delta LT = \text{scale} \times \Delta PT \dots \dots \dots (\text{สมการที่ 5.2})$$

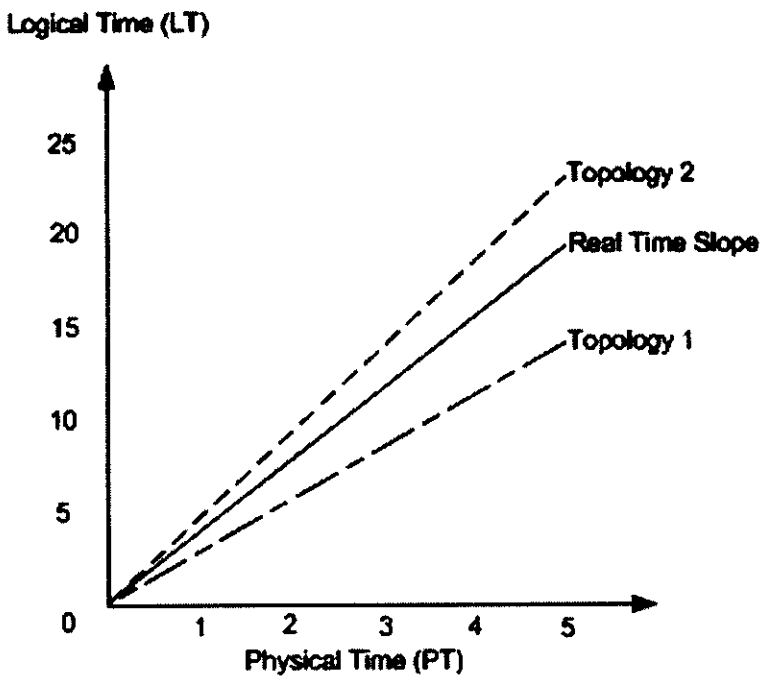
LT คือ Logical Time

PT คือ Physical Time

Scale คือ อัตราส่วนเวลาจริง

ยกตัวอย่างการวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริงดังปรากฏในรูป 5.14 สมมติให้ความต้องการของระบบเป็นดั่งเส้นทึบ (Real Time Slope) จะเห็นว่าจากข้อกำหนดดังกล่าวทอพอโลยี 1 (รูป 5.6 ความหน่วง 100ms) มีสัมประสิทธิ์ความเร็วของกลุ่มการจำลองน้อยกว่าความต้องการของระบบ สำหรับ Federation เดียวกัน แต่ถ้าใช้ทอพอโลยี 2 (รูป 5.9 ความหน่วง 50ms) ที่มีค่าเวลาหน่วงต่ำกว่า พบว่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของกลุ่มการจำลองมากกว่าความต้องการของระบบ

การวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริงทำได้ยากหากศึกษาจากระบบจริง ซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของข้อกำหนดทางเครือข่าย แต่สามารถศึกษาได้ผ่านทางารจำลองด้วยโมดูลเพิ่มขยายของ HLA ดังได้เสนอแนวคิดการศึกษาวิเคราะห์จากการจำลองมาทั้งหมด



รูปที่ 5.14 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริง

5.4 การจำลองของ Federation ขนาดใหญ่

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบโมดูลการจำลองของ HLA กับ Federation ที่มีขนาดใหญ่เพื่อศึกษาระยะเวลาการประมวลผล โดยการทดลองนี้ได้ทำในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Intel Celeron 1.7 กิกะเฮิร์ตซ์ หน่วยความจำ 128 เมกะไบต์ ระบบปฏิบัติการ Linux (Red Hat รุ่น 7.2) โดยกำหนดให้ Federation มีลักษณะดังรูปที่ 5.15 โดยมี 1 Regulating

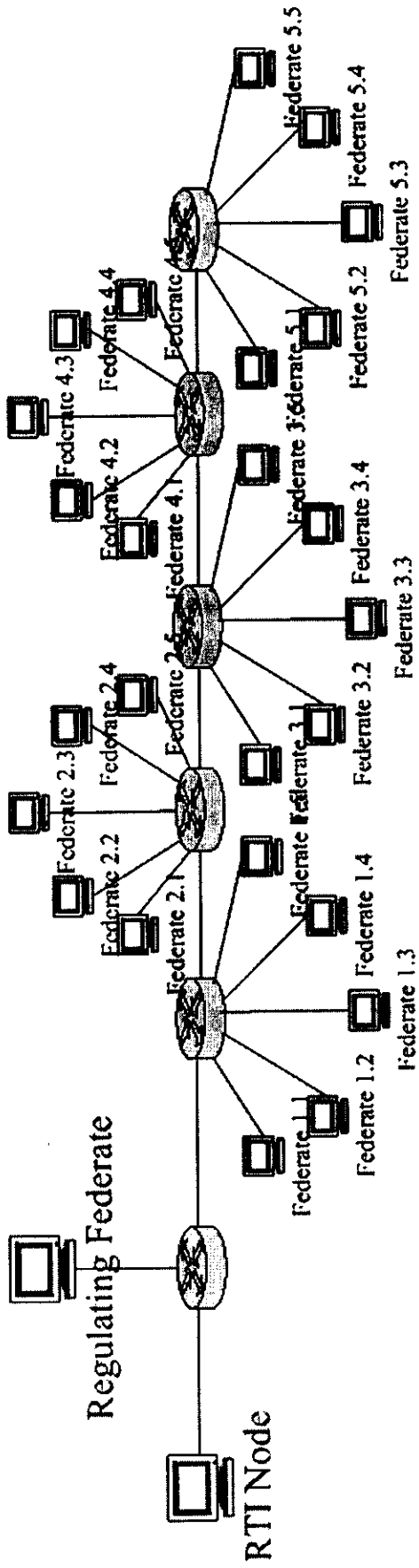
Federate และมี 25 Constrained Federate โดยใช้ Simulation Time 5 วินาที ซึ่งสามารถทำการจำลองได้เสร็จภายใน 16 วินาที และจากนั้นได้ขยายการจำลองให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 50 Constrained Federate ซึ่งสามารถทำการจำลองได้เสร็จด้วยเวลาประมาณ 52 วินาที

อย่างไรก็ตาม การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบในสภาวะการใช้งานแบบผู้ใช้ปกติ ผลการทดสอบจึงเป็นการวัดโดยประมาณ หากต้องการผลการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้นจำเป็นจะต้องกำหนดสภาวะแวดล้อมของระบบให้ชัดเจนโดยการควบคุมให้มีเฉพาะโปรเซสที่จำเป็นสำหรับการจำลองเท่านั้น แต่ผลการทดสอบก็เพียงพอที่จะแสดงว่าโมดูลช่วยการจำลองของ HLA นี้สามารถทำงานได้ในเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวสำหรับการทดสอบ Federation ขนาดประมาณ 50 Federate แต่ทั้งนี้ระบบการจำลองที่สร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้สามารถรองรับจำนวน Federate ได้อย่างไม่จำกัด เพียงแต่จะทำให้ระบบทำงานช้าลงเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์

ทั้งนี้หากต้องการทำการจำลองในระบบที่มีขนาดใหญ่กว่านี้หรือต้องการความเร็วมากขึ้นก็อาจใช้ระบบการจำลองแบบกระจายซึ่งปัจจุบัน ns ได้ทำการสนับสนุนแล้ว แต่ต้องอาศัยส่วนการทำงานเพิ่มเติมเรียกว่า Parallel/Distributed ns (PDns, 2004) ซึ่งคาดว่าจะทำให้การจำลองทำงานได้รวดเร็วมากขึ้นเพราะ PDns จะกระจายการประมวลผลออกไปยังเครื่องสมาชิกให้ช่วยการประมวลผลได้

5.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบความถูกต้องของโมดูล HLA ทั้งในส่วน of Object Management, Data Distribution Management และ Time Management โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ทางทฤษฎี และได้ทำการทดสอบการจำลองของ Federation ที่มีขนาดใหญ่แล้วศึกษาเวลาของการประมวลผล นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะการประยุกต์ใช้โมดูล HLA และแนวทางการวิเคราะห์สมรรถนะใน 3 ประเด็นหลัก คือ ประเด็นความเชื่อถือได้ของ Federation การประมาณความเร็วของ Federation จาก Regulating Federate ที่ช้าที่สุดและการวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริง



รูปที่ 5.15 แสดงการทดสอบใน Federation ขนาด 25 Federate