

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(10)
คำย่อและสัญลักษณ์.....	(15)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 หลักการและทฤษฎี.....	6
2.1 พื้นฐานการจำลองแบบกระจายด้วยโครงร่างสถาปัตยกรรมระดับสูง.....	6
2.2 อ็อบเจกต์ใน HLA.....	11
2.2.1 คลาสและการนิยาม.....	11
2.2.2 คลาสและการสืบทอด.....	12
2.2.3 การประกาศและสมัครสมาชิก.....	13
2.3 การส่งผ่านข้อมูลใน Federation.....	15
2.3.1 การส่งผ่านข้อมูลเชิงคลาสใน Object Management.....	15
2.3.2 การส่งผ่านข้อมูลเชิงค่าใน Data Distribution Management .....	18
2.4 องค์ประกอบภายใน RTI.....	20
2.5 การจัดการเวลา ( Time Management) ใน HLA.....	23

2.5.1 เหตุการณ์ (Event/Interaction).....	23
2.5.2 ข้อความที่ใช้ร้องขอและตอบรับการขอเคลื่อนเวลา.....	24
2.5.3 การคำนวณ LBTS.....	27
2.5.4 วิธีการอ่านกราฟการเคลื่อนที่ของเวลา.....	29
2.6 สรุป.....	31
3. หลักการทำงานและเพิ่มขยาย โปรแกรม ns .....	32
3.1 ลักษณะทั่วไปและการจำลองด้วย ns .....	32
3.2 โครงสร้างของโหนดและลิงค์.....	35
3.3 คลาสต้นแบบที่สำคัญ.....	39
3.3.1 ภาวะหลายรูปแบบ.....	39
3.3.2 OTcl linkage.....	44
3.3.3 คลาส Application และ Tcp Application .....	46
3.3.4 คลาส Random Variable.....	50
3.4 สรุป.....	52
4. การออกแบบและสร้างโมดูล.....	53
4.1 แนวคิดเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ.....	53
4.2 แนวคิดการออกแบบในเชิงโครงสร้าง.....	56
4.3 การออกแบบส่วน Object Management .....	59
4.4 การสร้างโมดูล Object Management.....	62
4.5 การออกแบบส่วน Data Distribution Management .....	71
4.6 การออกแบบส่วน Time Management .....	73
4.7 การสร้างโมดูล Time Management .....	75
4.8 สรุป.....	82
5. การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	83
5.1 การทดสอบโมดูล Object Management, Data Distribution Management.....	83
และ การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของ Federation	
5.2 การทดสอบโมดูล Time Management.....	92
5.3 การวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริง .....	99
5.4 การจำลองของ Federation ขนาดใหญ่.....	100
5.5 สรุป.....	101

6. สรุปผลการวิจัยและงานวิจัยต่อเนื่อง.....	103
6.1 สรุป.....	103
6.2 งานวิจัยต่อเนื่อง.....	104
บรรณานุกรม.....	107
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก บทความเรื่อง An Approach of Network Simulation Tool for Analyzing the HLA Performance .....	110
ภาคผนวก ข บทความเรื่อง A Simulation of the HLA Infrastructure Based on the ns Network Simulation Tool .....	116
ภาคผนวก ค รวมสคริปต์ OTcl ที่ใช้สำหรับทดสอบในบทที่ 5 .....	126
ภาคผนวก ง การแปล.....	139
ประวัติผู้เขียน.....	140

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
5.1 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 70 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	86
ข้อมูลประมาณ 0.7952 แพ็กเกิดต่อวินาที	
5.2 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 80 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	86
ข้อมูลประมาณ 0.9088 แพ็กเกิดต่อวินาที	
5.3 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 85 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	87
ข้อมูลประมาณ 0.9656 แพ็กเกิดต่อวินาที	
5.4 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 88 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	87
ข้อมูลประมาณ 1 แพ็กเกิดต่อวินาที	
5.5 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 90 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	87
ข้อมูลประมาณ 1.0224 แพ็กเกิดต่อวินาที	
5.6 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 95 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	88
ข้อมูลประมาณ 1.0792 แพ็กเกิดต่อวินาที	
5.7 แสดงความยาวคิวเฉลี่ยเมื่อโหลด 98 เปอร์เซ็นต์หรือใช้ความถี่เฉลี่ยของการปรับปรุง.....	88
ข้อมูลประมาณ 1.1132 แพ็กเกิดต่อวินาที	

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบเชิงกายภาพของการจำลองแบบกระจายด้วย HLA.....	7
2.2 แสดง HLA Federation ในการทำงานจริง.....	8
2.3 แสดงการแบ่งแยกส่วนของ RTI และ Federate.....	9
2.4 แสดงองค์ประกอบสำคัญของแบบจำลองของ HLA.....	10
2.5 แสดงองค์ประกอบภายใน Federate.....	11
2.6 แสดงคลาสและคุณสมบัติของคลาส.....	12
2.7 แสดงแผนผังลำดับชั้นของคลาส.....	12
2.8 แสดงแผนภาพของเวอน์.....	13
2.9 แสดงตัวอย่างการสมัครสมาชิกและการสมัครสมาชิก.....	15
2.10 แสดงการปรับปรุงและสะท้อนข้อมูล.....	16
2.11 แสดงการปรับปรุงและสะท้อนข้อมูล และมี 1 Federate สมัครสมาชิก.....	17
2.12 แสดงการปรับปรุงและสะท้อนข้อมูล และมี 2 Federate สมัครสมาชิก.....	18
2.13 แสดงการประกาศและสมัครสมาชิกเชิงค่า.....	19
2.14 แสดงการส่งผ่านข้อมูลเชิงค่า.....	20
2.15 แสดงองค์ประกอบภายใน RTI.....	22
2.16 แสดงความผิดปกติอันเกิดจาก เหตุการณ์เดินทางมาถึงล่าช้า.....	24
2.17 แสดงการจัดการเวลาด้วย TAR .....	25
2.18 แสดงการจัดการเวลาด้วย NER .....	26
2.19 แสดงตัวอย่างการจัดการเวลาใน HLA กรณีร้องขอการเคลื่อนเวลาด้วย TAR.....	27
2.20 แสดงตัวอย่างการจัดการเวลาใน HLA กรณีร้องขอการเคลื่อนเวลาด้วย NER.....	29
2.21 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในกราฟการเคลื่อนที่ของเวลา.....	30
2.22 แสดงกราฟการเคลื่อนที่ของเวลา.....	31
3.1 แสดงลักษณะการใช้งาน โปรแกรม ns.....	33
3.2 แสดงส่วนของโปรแกรม OTcl สคริปต์บริหารจัดการใช้ ns ในภาคปฏิบัติ.....	33
3.3 แสดงผลทางกายภาพของส่วนของ โปรแกรมในรูปแบบที่ 3.2.....	34
3.4 แสดงวัฏจักรของการจำลองด้วย ns.....	34
3.5 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างโมดูลภาษา C++ กับสคริปต์ OTcl.....	35

## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.6 แสดงโครงสร้างของโหนด.....	35
3.7 แสดงโครงสร้างของลิงค์.....	36
3.8 แสดงกลไกการทำงานของระบบการจำลอง FTP.....	37
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลาส A, B, Z และ Y.....	39
3.10 แสดงคลาสนามธรรม A และ B.....	40
3.11 แสดงการรับทอดของคลาส B จากคลาส A และ คลาส Y จากคลาส Z.....	40
3.12 แสดงการเขียนโปรแกรมลงในส่วน Virtual Function ของคลาส B และ Y.....	41
3.13 แสดงการสร้างอ็อบเจกต์ของคลาส B และ Y ซึ่งทั้งคู่ต่างเรียกใช้ซึ่งกันและกัน.....	41
3.14 แสดงการเพิ่มเติมคลาส X สู่อระบบ.....	42
3.15 แสดงการเขียนโปรแกรมลงในส่วน Virtual Function ของคลาส X.....	42
3.16 แสดงการสร้างอ็อบเจกต์ของคลาส B และ X และมีการเรียกใช้ซึ่งกันและกัน.....	43
3.17 แสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อของ Application และ Agent.....	43
3.18 แสดงการประกาศคลาส Fed สำหรับส่วนการทำงานจริง.....	44
3.19 แสดงการสร้าง FedClass เพื่อประกาศคลาส Fed ในพื้นที่ OTcl.....	45
3.20 แสดงส่วนของการแปลคำสั่งสำหรับคลาส Fed.....	45
3.21 แสดงโครงร่างของโมดูลที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้.....	46
3.22 แสดงโครงสร้างของคลาส Application.....	47
3.23 แสดงส่วนการทำงานของฟังก์ชัน send และ recv.....	48
3.24 แสดงโครงร่างการทำงานของ TcpApp.....	49
3.25 แสดงการทำงานของ TcpApp.....	50
3.26 แสดงโครงร่างของคลาส RandomVariable.....	51
4.1 แสดงโลกเสมือนซึ่งประกอบด้วยอ็อบเจกต์ 3 ชนิด.....	53
4.2 แสดงการกระจายอ็อบเจกต์ให้แก่แต่ละ Federate.....	54
4.3 แสดงโครงสร้างการทำงานของ Federate 1.....	54
4.4 แสดงโครงสร้างการทำงานของ Federate 3.....	55
4.5 แสดงการทำงานร่วมกันเพื่อจำลองการทำงานของ Federate.....	56
4.6 แสดงโครงสร้างโดยรวมของโมดูลใน ns.....	57

## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 แสดงการสร้างส่วนของโปรแกรมเพื่อทำงานส่วน Attribute Distribution .....	58
4.8 แสดงการสร้างส่วนของโปรแกรมเพื่อทำงานส่วน Interaction Distribution.....	59
4.9 แสดงการเชื่อมต่อโมดูลเพื่อการจำลองในส่วน Object Management.....	61
4.10 แสดงกลไกการส่งผ่านข้อมูลของ RTI.....	62
4.11 แสดงผังการทำงานของ Attribute Distribution ที่ฝั่งส่ง.....	63
4.12 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งภาษา OTcl สำหรับการ Update สำหรับ Simulation Object ที่ใช้และไม่ใช้ Timer	63
4.13 แสดงส่วนการทำงานสำหรับการตั้งเวลา Timer.....	64
4.14 แสดงส่วนการทำงานเมื่อหมดเวลาและมีการส่งข้อมูลออก.....	64
4.15 แสดงส่วนการทำงานที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อระหว่างคลาส Simulation Object และ คลาส Random Variable	65
4.16 แสดงส่วนการทำงานสำหรับการแปลคำสั่ง OTcl ของคำสั่ง attachsize.....	65
4.17 แสดงส่วนการทำงานที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อระหว่างคลาส FedOM และ คลาส Simulation Object	66
4.18 แสดงส่วนการทำงานสำหรับการแปลคำสั่ง OTcl ของคำสั่ง attachsimobj.....	66
4.19 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อของ Simulation Object, Federate Agent และ Communication Agent	66
4.20 แสดงส่วนการทำงานของการส่งผ่านข้อมูลของ Simulation Object และ Federate Agent	67
4.21 แสดงผังการทำงานของ Attribute Distribution ที่ RTI.....	68
4.22 แสดงการขยายความสามารถของ Simulation Object เพื่อทำงานเป็น Transmission Object	69
4.23 แสดงการประกาศคลาส Subscribe.....	69
4.24 แสดงโครงสร้างการสมัครสมาชิกและนำไปใช้สำหรับการ Update.....	70
4.25 แสดงส่วนการทำงานสำหรับแปลคำสั่ง OTcl ของคำสั่ง subscribe-by.....	70
4.26 แสดงการสะท้อนข้อมูลไปยังสมาชิก.....	71
4.27 แสดงหลักการการแยกแยะกระแสข้อมูล.....	71

## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.28 แสดงหลักการแยกแยะกระแสข้อมูลขณะใช้งานจริง.....	72
4.29 แสดงการเชื่อมต่อเพื่อการจำลองในส่วน Time Management.....	74
4.30 แสดงผังการทำงานของคลาสที่ใช้สำหรับ Time Management.....	75
4.31 แสดงสถานะที่เป็นไปได้ของ Federate.....	76
4.32 แสดงแผนภูมิสายงานของ Time Manager.....	78
4.33 แสดงส่วนการทำงานที่ใช้คำนวณ LBTS.....	79
4.34 แสดงลำดับการทำงานของการส่งเหตุการณ์และข้อความร้องขอการเคลื่อนเวลา.....	80
4.35 แสดงลำดับการทำงานของการส่ง Interaction และข้อความร้องขอการเคลื่อนเวลา.....	82
5.1 แสดงทอพอโลยี 1 ของการทดสอบ Object Management และ Data Distribution.....	84
Management	
5.2 (a) แสดงความยาวคิวเฉลี่ยของระบบที่สามารถเข้าสู่สภาวะมั่นคงได้ และ.....	85
(b) แสดงความยาวคิวเฉลี่ยของระบบที่ไม่สามารถเข้าสู่สภาวะมั่นคงได้	
5.3 แสดงทอพอโลยี 2 ของการทดสอบ Object Management และ Data Distribution.....	89
Management	
5.4 แสดงอัตราการถูกคัดทิ้งเมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์ที่คิว E ลง โดยทดสอบที่โหลด.....	90
88 เเปอร์เซ็นต์	
5.5 แสดงอัตราการถูกคัดทิ้งเมื่อลดขนาดบัฟเฟอร์ที่คิว E ลง โดยทดสอบที่โหลด.....	91
90 เเปอร์เซ็นต์	
5.6 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1 และ Federate 2 โดยกำหนดค่าให้.....	92
เวลาหน่วยระหว่าง Federate 2 และเรเตอร์เป็น 100 ms	
5.7 แสดงตัวอย่างความแตกต่างของ Logical Time ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการทดสอบ.....	93
5.8 แสดงกราฟการเคลื่อนที่ของเวลา.....	94
5.9 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1 และ Federate 2 โดยกำหนดค่าให้เวลา.....	95
หน่วยระหว่าง Federate 2 และเรเตอร์เป็น 50 ms	
5.10 แสดงทอพอโลยีสำหรับการทดลองที่มี Regulating Federate 2 Federate โดย.....	97
ระหว่าง เรเตอร์กับ Federate 2 มีความหน่วง 100 ms และ Federate 3 ความหน่วง	
50 ms	



## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.11 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1 ,Federate 2 และ Federate 3 โดย ..... 97 กำหนดค่าให้ เวลาหน่วงระหว่าง Federate 2 กับเรอเตอร์เป็น 100 ms และ Federate 3 กับเรอเตอร์เป็น 50 ms	
5.12 แสดงทอพอโลยีสำหรับการทดลองที่มี Regulating Federate 2 Federate ..... 98 และมี Constrained Federate 2 Federate	
5.13 แสดงการเคลื่อนที่ของเวลาของ Federate 1, 2, 3 และ 4 ของทอพอโลยี..... 98 ในรูปที่ 5.11	
5.14 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สภาวะการจำลองแบบเวลาจริง..... 100	
5.15 แสดงการทดสอบใน Federation ขนาด 25 Federate ..... 102	
6.1 แสดงการสมัครสมาชิกที่น่าจะนามาศึกษาสมรรถนะ..... 105	
6.2 แสดงการนิยามสัญลักษณ์สำหรับการเชื่อมต่อ Federate เข้ากับ RTI..... 106	
6.3 แสดงลักษณะที่น่าจะเป็นไปได้ของการเชื่อมต่อ RTI หลายชั้น..... 106	

## ตัวย่อและสัญลักษณ์

DDM	= Data Distribution Management
HLA	= High Level Architecture
LAN	= Local Area Network
LBTS	= Lower Bound on the Time Stamp
LT	= Logical Time
$N_0$	= ความยาวคิวเฉลี่ย
NER	= Next Event Request
ns	= Network Simulation
OM	= Object Management
PT	= Physical Time
RTI	= Runtime Infrastructure
TAG	= Time Advance Grant
TAR	= Time Advance Request
TM	= Time Management
WAN	= Wide Area Network
$\lambda$	= Arrival Rate
$\mu$	= Service Rate