ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247994

# การพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของเครื่องปรับอากาศสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความสลับซับซ้อน: กรณีศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลข

นายสิทธิกร ถาวรรัตนวณิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00252980

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247994

# การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ปรับปรุงประสิทธิภาพได้สำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด: กรณีศึกษาการจำลองสึนามิ

นายสิทธิกร ถาวรรัตนวณิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170494321

# PARALLEL PROGRAM DEVELOPMENT WITH ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING FOR MULTI-SCALE PROBLEM: A CASE STUDY OF TSUNAMI SIMULATION

Mr. Sittikorn Thawornrattanawanit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ปรับปรุงประสิทธิภาพได้สำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด: กรณีศึกษาการจำลองสึนามิ |
| โดย | นายสิทธิกร ถาวรรัตนวณิช |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัศมี |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัศมี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ อุทโยภาศ)

**สิทธิกร ถาวรรัตนวณิช** : การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ปรับปรุงประสิทธิภาพได้สำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด: กรณีศึกษาการจำลองสึนามิ. (PARALLEL PROGRAM DEVELOPMENT WITH ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING FOR MULTI-SCALE PROBLEM: A CASE STUDY OF TSUNAMI SIMULATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัศมี, 120 หน้า.

247994

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคำนวณแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมจำลองสึนามิเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากการจำลองสึนามิเป็นปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด เมื่อนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณแบบขนานจะมีความซับซ้อนในการออกแบบโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงควรมีระเบียบวิธีการจัดการงานสำหรับโปรแกรมคำนวณแบบขนานจากกรณีศึกษา ด้วยการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงานด้วยข้อมูลตัวอย่างจากการทดสอบ จากนั้นหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงเวลากับรูปแบบในการแบ่งงาน ขนาดของปัญหา และค่าใช้จ่ายอื่นที่เกิดขึ้นสำหรับการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล เพื่อทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาในการคำนวณลดลงอันเนื่องมาจากการกระจายงานที่สม่ำเสมอตามลักษณะการทำงานของโปรแกรม เหมาะสมกับขนาดของปัญหา และระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน

ภาควิชา : .....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์... ลายมือชื่อนิสิต : .....สิทธิกร ถาวรรัตนวณิช.....

สาขาวิชา : ....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : .....วีระ เหมืองสิน.....

ปีการศึกษา : .....2553..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : .....อาณัติ เรืองรัศมี.....

## 5170494321 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: PARALLEL PROGRAM / ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING / MULTI-SCALE PROBLEM / TSUNAMI SIMULATION / TUNAMI

SITTIKORN THAWORNRATTANAWANIT : PARALLEL PROGRAM DEVELOPMENT WITH ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING FOR MULTI-SCALE PROBLEM: A CASE STUDY OF TUSNAMI SIMULATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. VEERA MUANGSIN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. ANAT RUANGRASSAMEE, Ph.D., 120 pp.

247994

Parallel computing, using many processors working together, aims to compute faster or to compute the larger problem size. Because of several factors, the increasing number of processors may not be efficient to reduce the computation time. The factors that affect the performance of parallel program depend on partitioning, granularity, and the number of processors. The load balancing to fit the size of the problem, the behavior of parallel program, and the cluster computer are the consideration. This thesis studies the factors that affect the efficiency of the parallel program using a case study of tsunami simulation. Because the tsunami simulation is a multi-scale problem or a multi-level resolution problem, the parallel program development are the complexity in designing and improving program. The experiment tries to find the methodology to manage the parallel program that increased efficiency and reduced computation time. The methodology can improve the parallel program by adjusting the partitioning to fit the size of the problem with the load balancing by the behavior of the program.

Department : ..Computer Engineering.. Student's Signature : .....

Field of Study : ..Computer Engineering.. Advisor's Signature : .....

Academic Year : .....2010..... Co-Advisor's Signature : .....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน โดยบุคคลสองท่านแรกที่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์ ให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งชี้แนะแนวทางและทัศนคติที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ อีกท่านหนึ่งคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับทำการทดลองในวิทยานิพนธ์ ทั้งยังจัดการทรัพยากรต่าง ๆ ให้ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วย

ลำดับต่อมาขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภุชงค์ อุทโยภาศ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบพระคุณผู้ดูแลระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ทั้งสองระบบที่ใช้ทำการทดลองในวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA ของศูนย์ไทยกริดแห่งชาติ สำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ ประเทศไทย และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ของศูนย์ GSIC (Global Scientific Information and Computing Center) สถาบันเทคโนโลยีโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ นายเกษม ตริตระการ นายธีรยุทธ โกสินทร์ นางสาวเปรมจิต อภิเมธีธำรง นายกิตติพัฒน์ วิโรจน์ศิริ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนายอาทิตย์ อินทวี ภาควิชาวิศกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก รวมถึงเพื่อน ๆ และพี่ ๆ ร่วมห้องปฏิบัติการทุกคน ที่คอยรับฟังและให้คำปรึกษาทั้งเรื่องวิทยานิพนธ์และการดำเนินชีวิตในมหาวิทยาลัย ทำให้มีความสุขและสนุกสนานกับการศึกษาในภาควิชาตลอด 2 ปีที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจและให้การอุปการะในทุกด้านอยู่เสมอมา รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาตลอดช่วงชีวิตที่ผ่านมา ทำให้มีความรู้เป็นอาวุธติดตัวเรื่อยมาจนถึงทุกวันนี้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย ..... 4

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย ..... 4

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย ..... 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 6

1.7 ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ ..... 6

1.8 ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ ..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 7

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 19

บทที่ 3 แนวคิดของงานวิจัย ..... 38

3.1 แนวคิดหลัก ..... 38

3.2 ระเบียบวิธีการจัดการงาน ..... 41

บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผลการวิจัย ..... 56

4.1 การทดลอง ..... 56

4.2 การวิเคราะห์ผล ..... 65

บทที่ 5 การประเมินผลงานวิจัย ..... 92

5.1 การประเมินผล ..... 92

5.2 ผลการประเมิน ..... 97

5.3 สรุปผลการประเมิน ..... 99

บทที่ 6 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... 101
6.1 สรุปงานวิจัย ..... 101
6.2 สิ่งที่ได้จากการวิจัย ..... 102
6.3 ประโยชน์ของระเบียบวิธีการจัดการงาน ..... 102
6.4 แนวทางการวิจัยต่อ ..... 102
รายการอ้างอิง ..... 103
ภาคผนวก ..... 105
ภาคผนวก ก. Configuration file ของโปรแกรม ..... 106
ภาคผนวก ข. โปรแกรมจำลองสืนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 120

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 พิกัดของบริเวณที่สนใจที่จะนำมาคำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสีนามิ ..... 22
ตารางที่ 2-2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการคำนวณที่มีการเรียกใช้งานซ้ำ ๆ ตลอดการทำงานจากการจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับของพื้นที่โซน 2111 และโซน 2121 ..... 33
ตารางที่ 3-1 ขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดของปัญหาทั้งหมด ..... 49
ตารางที่ 4-1 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 56
ตารางที่ 4-2 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ..... 57
ตารางที่ 4-3 ชื่องานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ของแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 58
ตารางที่ 4-4 ค่าตัวแปรของส่วนการทำงานในโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ 79
ตารางที่ 4-5 เวลาเฉลี่ยของส่วนการทำงานในโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ..... 79
ตารางที่ 4-6 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ..... 80
ตารางที่ 4-7 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละโซนของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ..... 81
ตารางที่ 4-8 ค่าตัวแปรของส่วนการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 82
ตารางที่ 4-9 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 83
ตารางที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทำงานของแต่ละระดับความละเอียดต่อขนาดปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ ..... 84
ตารางที่ 4-11 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 86
ตารางที่ 4-12 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 86

ตารางที่ 4-13 ปริมาณข้อมูล จำนวนครั้งในการรับส่งข้อมูล และเวลาที่ใช้ของการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดของโปรแกรม ..... 87
ตารางที่ 4-14 ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด ..... 88
ตารางที่ 4-15 เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด..... 89
ตารางที่ 4-16 ลำดับการทำงานที่มีการรอรับข้อมูลของโปรแกรม ..... 90
ตารางที่ 4-17 ลำดับการทำงานของโปรแกรมเพื่อประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงาน..... 91
ตารางที่ 5-1 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบก่อนและหลังการแบ่งงาน..... 93
ตารางที่ 5-2 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงาน..... 94
ตารางที่ 5-3 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียด..... 95
ตารางที่ 5-4 การวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด..... 95
ตารางที่ 5-5 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด ..... 96
ตารางที่ 5-6 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละลำดับการทำงานของการคำนวณแบบหนึ่งโซน..... 96
ตารางที่ 5-7 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละลำดับการทำงานของการคำนวณแบบหลายโซน..... 97
ตารางที่ 5-8 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2111..... 97
ตารางที่ 5-9 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2112..... 97
ตารางที่ 5-10 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2151..... 98
ตารางที่ 5-11 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2121..... 98
ตารางที่ 5-12 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2211..... 98
ตารางที่ 5-13 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2321..... 98
ตารางที่ 5-14 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของการคำนวณแบบหลายโซน ..... 99
ตารางที่ 5-15 เวลาที่ใช้ในการทำงานจริงของชุดทดสอบด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA..... 99
ตารางที่ 5-16 อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน ..... 100

# สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ลักษณะปัญหาในการแบ่งงานสำหรับการคำนวณแบบขนาน....3
รูปที่ 2-1 โปรแกรมคำนวณแบบขนาน (Parallel program)....7
รูปที่ 2-2 โปรแกรมคำนวณแบบลำดับ (Sequential program)....7
รูปที่ 2-3 ลักษณะของ Message passing model....8
รูปที่ 2-4 จำลองการควบคุมกลุ่มงานหรือหน่วยประมวลผลของ MPI_COMM_WORLD....9
รูปที่ 2-5 ลักษณะของ Data parallel model....11
รูปที่ 2-6 ลักษณะการแบ่งด้วยของเขตของปัญหา....11
รูปที่ 2-7 ลักษณะการแบ่งด้วยวิธีการทำงาน....11
รูปที่ 2-8 ตัวอย่างการบันทึกผลจากชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วย MpiP....12
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการรายงานผลจากการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม MpiPView....13
รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการบันทึกผลจากชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วย IPM....14
รูปที่ 2-11 ตัวอย่างของการรายงานผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย IPM....14
รูปที่ 2-12 ตัวอย่างของการรายงานผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย IPM (ต่อ)
....15
รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการแบ่งข้อมูลตามแถวเพื่อใช้จำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน....16
รูปที่ 2-14 การหาคำตอบของตำแหน่งใด ๆ ของโปรแกรม....20
รูปที่ 2-15 ตัวอย่างระดับความละเอียดของข้อมูลบริเวณที่คำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิ ..21
รูปที่ 2-16 ความละเอียดที่ต่างกันของแต่ละระดับ....23
รูปที่ 2-17 พื้นที่ของบริเวณสนใจในการจำลองสึนามิ....24
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างกรณีเกิดแผ่นดินไหวใต้มหาสมุทร....25
รูปที่ 2-19 ลำดับการคำนวณของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ....26
รูปที่ 2-20 ลำดับการทำงานของการคำนวณแบบลำดับในส่วนการคำนวณ....29
รูปที่ 2-21 ลำดับการทำงานเมื่อพัฒนาโปรแกรมเป็นการคำนวณแบบขนาน....30
รูปที่ 2-22 การแบ่งงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน....30
รูปที่ 2-23 ตัวอย่างการทำ Page Flipping....31
รูปที่ 2-24 ลำดับการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน....35
รูปที่ 2-25 รูปแบบของโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้....36

รูปที่ 3-1 การทดลองที่ต้องทำเพื่อทดสอบการคำนวณ ..... 40
รูปที่ 3-2 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง cpu_time ..... 42
รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง MPI_Wtime ..... 44
รูปที่ 3-4 ลำดับการทำงานและประสานการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน ..... 47
รูปที่ 3-5 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร m_jnq (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร n_jnq (รูปขวา) ให้ระดับ R2 ..... 50
รูปที่ 3-6 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb ให้ระดับ R3 และ R4 ..... 50
รูปที่ 3-7 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร mb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร nb (รูปขวา) ให้ระดับ R3 และ R4 ..... 51
รูปที่ 3-8 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R3 และ R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb และค่าตัวแปร zb ให้ระดับ R2 และ R3 ..... 51
รูปที่ 3-9 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร ma (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร na (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1 ..... 52
รูปที่ 3-10 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร zb ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1 ..... 52
รูปที่ 3-11 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร ma และ na ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4 ..... 53
รูปที่ 3-12 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร za, zb (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4 ..... 53
รูปที่ 3-13 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dma และ dna ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4 ..... 54
รูปที่ 3-14 การส่งข้อมูลระหว่างกันของแต่ละระดับความละเอียด ..... 54
รูปที่ 3-15 การรอรับข้อมูลของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล ..... 55
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละโซนด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ..... 60
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละระดับความละเอียดด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ..... 60
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA ..... 61

รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA ..... 61
รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ..... 62
รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ..... 62
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณหนึ่งโซน ..... 63
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสองโซน ..... 64
รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสามโซน ..... 64
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสี่โซน ..... 65
รูปที่ 4-11 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITAIL กับขนาดของปัญหาโดยรวม ..... 66
รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด ..... 66
รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด ..... 67
รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมด ..... 67
รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด ..... 68
รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมด ..... 68
รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด ..... 68
รูปที่ 4-18 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน NLMASS กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ ..... 69
รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน NLMMT กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ ..... 69
รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITIAL กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ..... 71

รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ_S2C กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ..... 71
รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ..... 72
รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ..... 72
รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INTERQT กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 73
รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 73
รูปที่ 4-26 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 73
รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_3 กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 74
รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 75
รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 75
รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAMO กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 76
รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_1 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 76
รูปที่ 4-32 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_2 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล ..... 77
รูปที่ 4-33 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน Send กับปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร ..... 78
รูปที่ 4-34 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน Recv กับปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร ..... 78
รูปที่ 4-35 ลำดับการทำงานที่ไม่ต้องมีการรอรับข้อมูล (รูปซ้าย) และลำดับการทำงานที่ต้องมีการรอรับข้อมูล (รูปขวา) ..... 78

รูปที่ 5-1 เวลาที่ใช้ อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพ กับจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ ..... 100
รูปที่ ก-1 ตัวอย่างโครงสร้าง Configuration file ..... 107
รูปที่ ก-2 โครงสร้าง Configuration file สำหรับข้อมูลพื้นที่มากกว่าหนึ่งโซน ..... 112
รูปที่ ข-1 โครงสร้างของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ..... 113
รูปที่ ข-2 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดกมลาของโซน 2111 ..... 114
รูปที่ ข-3 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดกมลาของโซน 2111 ..... 115
รูปที่ ข-4 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดป่าตองของโซน 2111 ..... 115
รูปที่ ข-5 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดป่าตองของโซน 2111 ..... 116
รูปที่ ข-6 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดเขาหลักของโซน 2121 ..... 116
รูปที่ ข-7 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดเขาหลักของโซน 2121 ..... 117
รูปที่ ข-8 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดปะการังของโซน 2121 ..... 117
รูปที่ ข-9 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดปะการังของโซน 2121 ..... 118
รูปที่ ข-10 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดคึกคักของโซน 2121 ..... 118
รูปที่ ข-11 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดคึกคักของโซน 2121 ..... 119