บทที่ 3
แนวคิดของงานวิจัย

3.1 แนวคิดหลัก

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดที่ทำให้ได้ความเร็วในการคำนวณและมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น โดยทำการปรับตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเร็วและประสิทธิภาพในการคำนวณ โดยเน้นที่วิธีแบ่งงานและการกระจายงานให้สม่ำเสมอ และการลดปริมาณการสื่อสารและการประสานการทำงาน ทั้งนี้ สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขีดความสามารถของระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำงาน ข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ และข้อกำหนดของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ด้วย โดยใช้โปรแกรมจำลองสึนามิเป็นกรณีศึกษา และใช้ระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถที่แตกต่างกันอย่าง ระบบคลัสเตอร์ TERA ของ Thai National Grid Center และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ของ Tokyo Institute of Technology โดยมีเป้าหมายคือ เพื่อออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงานในการคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาการคำนวณแบบหลายระดับความละเอียด ที่ใช้ในการหารูปแบบของการแบ่งงานให้กับปัญหา จำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ และเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม โดยงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการแก้ปัญหา แนวคิดในการทดสอบ แนวคิดในการออกแบบ และแนวคิดในการประเมินผลดังนี้

3.1.1 แนวคิดในการแก้ปัญหา

แนวคิดในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1. ศึกษาลักษณะการทำงานของทั้งโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับและด้วยการคำขนานแบบขนาน เพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับการทำงานของโปรแกรม ด้วยการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงาน
2. เพื่อให้สามารถแบ่งงานได้อย่างสม่ำเสมอ จำเป็นต้องสามารถวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละชิ้น และเวลาที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งอาจไม่เท่ากันในระบบคอมพิวเตอร์แบบขนานแต่ละระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้การวัดประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของระบบคอมพิวเตอร์แบบขนานที่จะใช้ก่อน แล้วนำผลลัพธ์ที่วัดได้มาเป็นส่วนประกอบในการแบ่งงาน

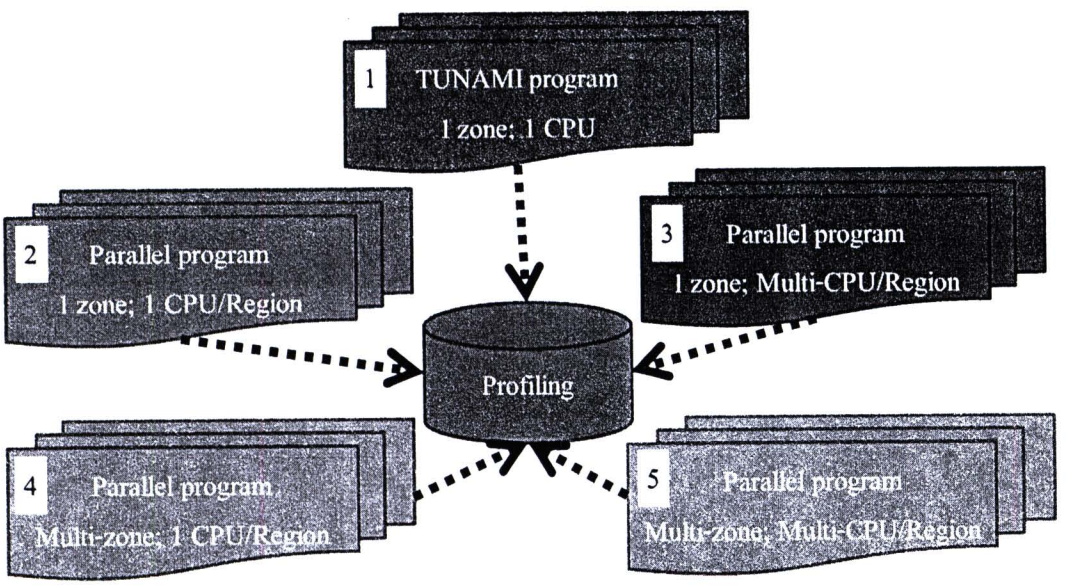
3. ในโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหลายโซนพร้อมกันเพื่อลดเวลาในการทำงาน ซึ่งต่างจากโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้การคำนวณทีละหนึ่งโซน ทำให้มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นในการคำนวณเนื่องจากต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแต่ละระดับความละเอียดด้วย จึงต้องกำหนดรูปแบบของการทดสอบให้ครอบคลุมทั้งการคำนวณแบบหนึ่งโซนและแบบหลายโซน
4. เมื่อมีข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ ต้องสามารถหารูปแบบของการแบ่งงานสำหรับปัญหาทั่วไปที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้อยู่ภายใต้จำนวนหน่วยประมวลผลที่กำหนดด้วยเวลาที่ใช้ในการทำงานเร็วที่สุด
5. เมื่อมีข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ ต้องสามารถหารูปแบบของวิธีการแบ่งงานสำหรับปัญหาทั่วไปที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ทันเวลาที่กำหนดด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลที่น้อยที่สุด

3.1.2 แนวคิดในการทดสอบ

แนวคิดในการทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้ใช้ข้อกำหนดในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการคำนวณบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ทั้งสองระบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของการคำนวณบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์แต่ละแบบ ที่ทำให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริงของแต่ละส่วนการทำงาน (Calculation task) และทราบระยะเวลาหรือค่าใช้จ่ายอื่นที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล (Communication overhead) ของรูปแบบการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 3-1 ที่ประกอบด้วยการทดสอบทั้งหมด 5 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้การคำนวณหนึ่งโซนด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วย
2. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหนึ่งโซน และใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย
3. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหนึ่งโซน แต่ใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลมากกว่าหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย

4. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหลายโซนพร้อมกัน และใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย
5. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหลายโซนพร้อมกัน แต่ใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลมากกว่าหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย



รูปที่ 3-1 การทดลองที่ต้องทำเพื่อทดสอบการคำนวณ

ในการทดสอบข้อ 1 จะเป็นการทดสอบการคำนวณที่ไม่มีการติดต่อระหว่างหน่วยประมวลผล เพื่อให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริง และใช้เป็นฐานเวลาในการเปรียบเทียบความเร็วในการคำนวณที่เพิ่มขึ้น ส่วนในการทดสอบข้อ 2 – 5 จะเป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริงของแต่ละหน่วยประมวลผล โดยวิธีการแบ่งงานให้แต่ละหน่วยประมวลผลสำหรับหนึ่งพื้นที่ย่อยนั้น จะพิจารณาจากขนาดของพื้นที่ในการคำนวณแต่ละระดับความละเอียด โดยอ้างอิงจากระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณของแต่ละระดับความละเอียดที่ได้จากการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรม

3.1.3 แนวคิดในการออกแบบ

แนวคิดในการออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน มีดังนี้

1. วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาของแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรม ที่จะได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริงกับค่าใช้จ่ายอื่น
2. ทดสอบตามแนวคิดเพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Performance parameters) สำหรับโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา เช่น ความเร็วในการคำนวณ (Processor speed) และความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Network bandwidth) เป็นต้น
3. นำค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบมาปรับโครงแบบข้อมูลของโปรแกรมตามข้อกำหนดในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ หรือจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการทำงาน
4. ทดสอบการทำงานด้วยโครงแบบข้อมูลของโปรแกรมที่ได้ปรับแต่งตามค่าประสิทธิภาพที่ได้

3.1.4 แนวคิดในการประเมินผล

แนวคิดในการประเมินผลการทำงานของระเบียบวิธีการจัดการงานที่ได้คือ ใช้โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับมาเป็นกรณีเปรียบเทียบสำหรับการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ทำการปรับรูปแบบของการแบ่งงานตามลักษณะของปัญหา และข้อกำหนดต่าง ๆ ในโปรแกรมจากระเบียบวิธี เพื่อนำมาทดสอบบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ทั้งสอง ตามข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ หรือข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ โดยทำการทดสอบกับลักษณะของปัญหาต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ใช้ในการเตือนภัยสึนามิ เพื่อวิเคราะห์ว่าระเบียบวิธีการจัดการนี้ มีค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานได้จริง

3.2 ระเบียบวิธีการจัดการงาน

ระเบียบวิธีการจัดการงาน (Methodology) เป็นรูปแบบหรือวิถีทางที่ไว้จัดการกับงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงกระบวนการสร้างระเบียบวิธีการจัดการงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด ที่นำการจำลองสึนามิมาเป็นกรณีศึกษา ด้วยวิธีการแบ่งงานที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้ตามขนาดของปัญหา ลักษณะการทำงานของโปรแกรม และตามความสามารถของเครื่องที่ใช้ ที่มีเรื่องเวลากับจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ใน

การทำงานเป็นข้อกำหนดของการจัดการงาน และจากแนวคิดของงานวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งระเบียบวิธีการจัดการงานจึงต้องมีการวางแผนและออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงาน ซึ่งประกอบด้วย

3.2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาของแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรม

การศึกษาลักษณะการทำงานของโปรแกรม จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลการทำงานในแต่ละส่วนการทำงาน เพื่อให้ทราบเวลาที่ใช้และประสิทธิภาพของเครื่องที่ใช้ อีกทั้งเพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ไปกับลักษณะการทำงานของโปรแกรมด้วย โดยทำการวิเคราห์การทำงานจากทั้งโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ และโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน บนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

3.2.1.1 การวิเคราะห์โปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนานทำการพัฒนาด้วยรูปแบบการแบ่งด้วยของเขตของปัญหาและด้วยวิธีการทำงาน จึงจำเป็นต้องศึกษาเวลาที่ใช้ทำงานของแต่ละส่วนการทำงาน ที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของปัญหาโดยทำการแทรกคำสั่ง cpu_time ที่ใช้ในการจับเวลาไปในแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3-2 เป็นตัวอย่างของการแทรกคำสั่งเข้าไปในโปรแกรม

```
      REALstime, etime, ttime
      call cpu_time(stime)
C     Call subroutine
      call cpu_time(etime)
      ttime=ttime+(etime-stime)
```

รูปที่ 3-2 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง cpu_time

โดยการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมนี้ ได้ถูกวิเคราะห์การทำงานของแต่ละส่วนการทำงานออกมาตามระดับความละเอียดตามนี้ คือ

1. ระดับความละเอียด R1 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
   - MASS, MOMENT, OPENBOUNDARY, AFDEFORM
   - INTERQT
   - ZMAX, MNMAX
   - OutputZ, OutputM, OutputN

- ETAMAP, CHANGE
- Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta

2. ระดับความละเอียด R2 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
   - NLMASS, NLMMT, JNQ_S2C
   - ETAMAP, CHANGE
   - ZMAX, MNMAX
   - OutputZ, OutputM, OutputN
   - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta
3. ระดับความละเอียด R3 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
   - NLMASS, NLMMT, JNZ, JNQ
   - ETAMAP, CHANGE
   - ZMAX, MNMAX
   - OutputZ, OutputM, OutputN
   - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta
4. ระดับความละเอียด R4 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
   - NLMASS, NLMMT, JNZ, JNQ
   - ETAMAP, CHANGE
   - ZMAX, MNMAX
   - OutputZ, OutputM, OutputN
   - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta

ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในส่วนการทำงานเบื้องต้น (INITIAL) ไม่ถูกระบุแยกตามระดับความละเอียดเนื่องจากเป็นการทำงานร่วมกันของทุกระดับความละเอียด ซึ่งข้อมูลของพื้นที่บริเวณที่ทำการจำลองสีนามิที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานนี้ ได้ใช้ข้อมูลตามตารางที่ 2-1 ทั้งหมดในการทำงานเพื่อทำเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานที่แตกต่างกันของในพื้นที่การ

จำลองสึนามิ โดยทำการจำลองทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำเอาข้อมูลเวลาที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงานต่อไป

3.2.1.2 การวิเคราะห์โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

สำหรับโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานจะทำการเก็บข้อมูลการทำงานของส่วนการทำงานด้วยการแทรกการคำสั่ง MPI_Wtime ลงในแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรมที่ต้องการเก็บข้อมูลเวลาดังรูปที่ 3-3 เป็นตัวอย่างของการแทรกคำสั่งเข้าไปในโปรแกรม

```
double stime, etime, ttime;
#ifdef __T_TIMING__
        stime = MPI_Wtime();
#endif
//Call subroutine
#ifdef __T_TIMING__
        etime = MPI_Wtime();
        ftime = ftime + etime - stime;
#endif
```

รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง MPI_Wtime

จากการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมนี้ ได้วิเคราะห์การทำงานของแต่ละส่วนการทำงานออกมาตามระดับความละเอียดตามนี้ คือ

1. ระดับความละเอียด R1 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
    - INITIAL, S_BARRIER
    - send1, send2, send3
    - wait1, wait2, wait3
    - recv1, recv2
    - preMASS, postMASS, preMOMENT, postMOMENT
    - AFDEFORM, OPENBOUND, INTERQT
    - ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
    - OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER

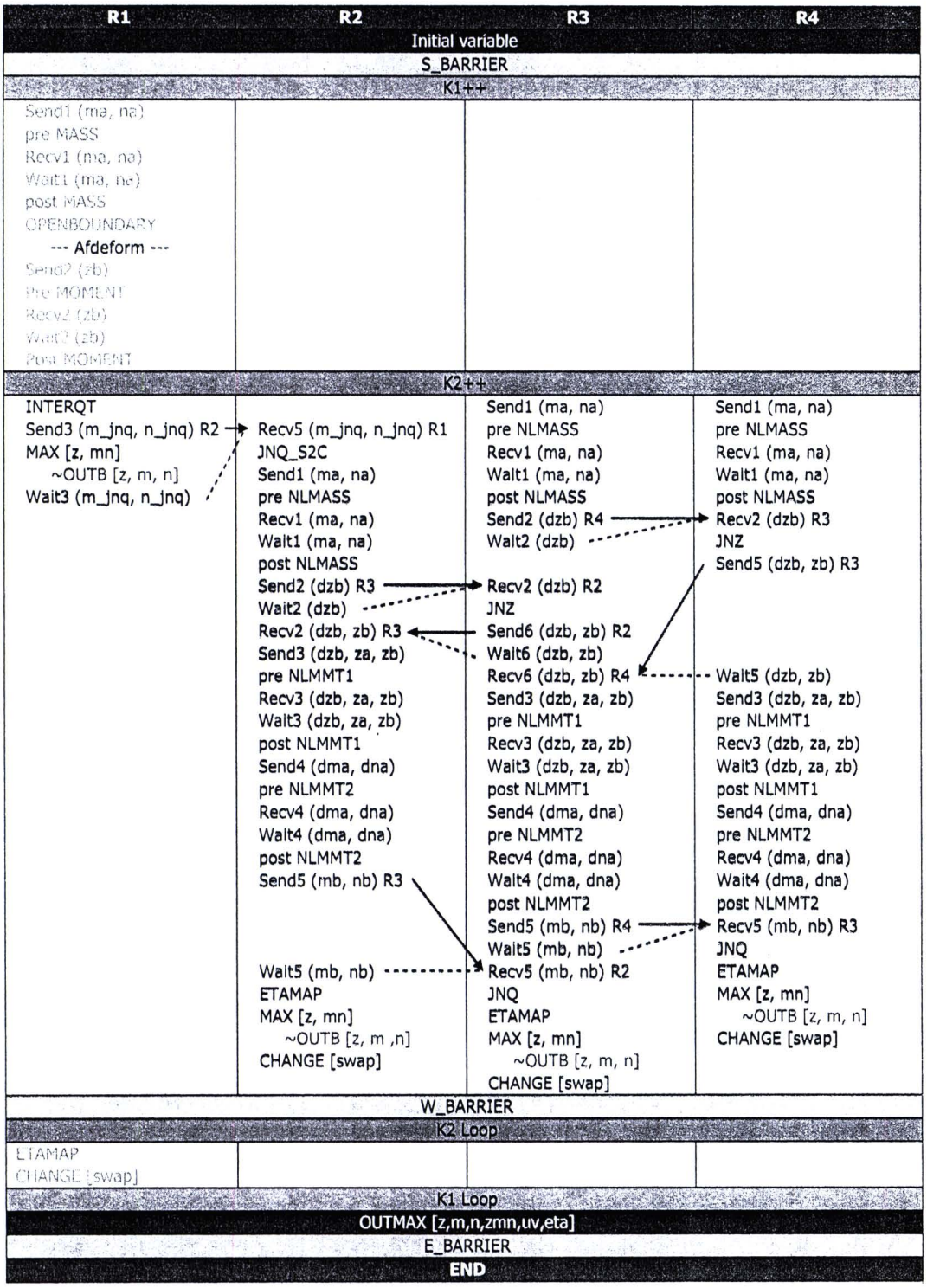
2. ระดับความละเอียด R2 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
    - INITIAL, S_BARRIER
    - send1, send2, send3, send4, send5
    - wait1, wait2, wait3, wait4, wait5
    - recv1, recv2, recv3, recv4, recv5
    - JNQ_S2C
    - preNLMASS, postNLMASS
    - preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2
    - ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
    - OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER
3. ระดับความละเอียด R3 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
    - INITIAL, S_BARRIER
    - send1, send2, send3, send4, send5, send6
    - wait1, wait2, wait3, wait4, wait5, wait6
    - recv1, recv2, recv3, recv4, recv5, recv6
    - JNZ, JNQ
    - preNLMASS, postNLMASS
    - preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2
    - ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
    - OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER
4. ระดับความละเอียด R4 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
    - INITIAL, S_BARRIER
    - send1, send3, send4, send5
    - wait1, wait3, wait4, wait5
    - recv1, recv2, recv3, recv4, recv5
    - JNZ, JNQ
    - preNLMASS, postNLMASS
    - preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2

- ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
- OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER

ซึ่งในการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมแบบขนานนี้ ได้แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนการทำงานตามหลักการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานได้ดังนี้

1. ส่วนที่ไม่สามารถลดเวลาการทำงานได้จากการเพิ่มหน่วยประมวลผล
   - INITIAL, AFDEFORM, OPENBOUNDARY
   - JNQ_S2C, JNZ, JNQ
   - CHANGE
2. ส่วนที่สามารถลดเวลาการทำงานได้จากการเพิ่มหน่วยประมวลผล
   - preMASS, postMASS
   - preMOMENT, postMOMENT
   - INTERQT
   - preNLMASS, postNLMASS
   - preNLMMT1, postNLMMT1
   - preNLMMT2, postNLMMT2
   - ETAMAP, MAX
   - OUTB, OUTMAX
3. ส่วนการรับส่งข้อมูลกันระหว่างหน่วยประมวลผลที่ใช้เวลาเพิ่มขึ้น เมื่อใช้จำนวนหน่วยประมวลผลมากขึ้น
   - send, wait, recv
4. ส่วนที่ต้องรอการทำงานกันระหว่างหน่วยประมวลผลเพื่อเริ่มการทำงานขั้นต่อไปพร้อม ๆ กัน
   - S_BARRIER, W_BARRIER, E_BARRIER

จากการแบ่งการทำงานของแต่ละส่วนการทำงานตามหลักการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานแล้วพบว่า ส่วนการทำงานที่ทำให้ใช้เวลาลดลง และส่วนการรับส่งข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผลที่ทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นนั้น จำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ตามลักษณะการทำงานของแต่ละส่วนการทำงานต่อไป



รูปที่ 3-4 ลำดับการทำงานและประสานการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน

เมื่อวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมตามลำดับการทำงานและการประสานการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิแบบขนาน ได้เป็นขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3-4 ที่แสดงลำดับการทำงานและประสานการทำงานของของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่แตกต่างกันตามแต่ละระดับความละเอียด

ส่วนแนวทางในการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน ที่ใช้งานชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรม MpiP และ IPM สามารถทำได้ด้วยการนำชุดคำสั่งสำเร็จรูปที่ได้การพัฒนามาทำการคอมพายล์เข้าไปในโปรแกรม เพื่อแทรกคำสั่งที่ใช้เก็บข้อมูลการทำงานของคำสั่ง MPI ที่ถูกเรียกใช้งานโดยโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาของโปรแกรมตามรูปแบบการนำเสนอผลของชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของแต่ละโปรแกรม

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมได้เรียบร้อยแล้ว ก็นำมาคิดเป็นค่าชั่งน้ำหนักสำหรับการทำงานด้วยข้อมูลในระดับความละเอียดต่าง ๆ ที่ส่งผลให้การได้รับหน่วยประมวลผลในการทำงานแตกต่างกันขึ้นกับระดับความละเอียดของปัญหา

3.2.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหา

เมื่อใช้ปัญหาในการทำงานที่แตกต่างกัน ขนาดของปัญหามีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานในแต่ละระดับความละเอียด การหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงเวลากับขนาดของปัญหานั้น สามารถหาได้จากการเก็บข้อมูลการทำงานโดยอ้างอิงจากขนาดของปัญหาในแต่ละตัวอย่างที่นำมาทดสอบของเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของปัญหา โดยขนาดของปัญหาสำหรับการจำลองสึนามิมีขนาดของปัญหาตามตารางที่ 3-1 แสดงขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดของปัญหาทั้งหมด จากการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิแล้วพบว่าประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาของโปรแกรมนั้น สามารถแบ่งส่วนการทำงานที่มีความสัมพันธ์กับขนาดปัญหาได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด (Grid size) ของแต่ละระดับความละเอียด คือ คิดทั้งส่วนของพื้นน้ำและพื้นดิน ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงาน INITIAL, MAX, ETAMAP, CHANGE, OUTB, OUTMAX
2. ส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ (Sea area) ของแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงาน MASS, MOMENT, NLMASS, NLMMT
3. ส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะบริเวณขอบของปัญหาของแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงาน OPEN BOUNDARY, INTERQT, JNQ_S2C, JNZ, JNQ

แต่เนื่องจากส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะบริเวณขอบของปัญหาใช้เวลาในการทำงานน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ทั้งหมด และขนาดของขอบของปัญหาก็สัมพันธ์กับขนาดของปัญหาทั้งหมด จึงทำการวิเคราะห์ร่วมกันกับส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด

ตารางที่ 3-1 ขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดของปัญหาทั้งหมด

Region levels	Region ID	No. of Grid		Grid size (Units)	Sea area (units)
		X	Y		
R1	1	690	840	579,600	449,678
R2	21	721	841	606,361	547,045
	22	721	841	606,361	496,667
	23	721	841	606,361	299,396
R3	211	241	325	78,325	67,620
	212	637	469	298,753	275,475
	213	397	211	83,767	60,977
	214	241	229	55,189	41,759
	215	469	697	326,893	187,636
	221	639	487	311,193	234,716
	231	655	466	305,230	90,912
	232	637	466	296,842	210,574
R4	2111	487	325	158,275	131,692
	2112	487	421	205,027	179,132
	2121	643	469	301,567	248,562
	2122	679	745	505,855	440,115
	2131	595	601	357,595	246,310
	2141	379	637	241,423	154,148
	2151	271	817	221,407	125,652
	2152	739	493	364,327	152,237
	2153	523	529	276,667	131,121
	2211	703	457	321,271	182,585
	2212	703	493	346,579	190,094
	2213	703	421	295,963	146,077
	2311	667	457	304,819	107,779
	2312	631	457	288,367	140,935
	2313	703	421	295,963	103,332
	2321	703	457	321,271	249,792
	2322	631	349	220,219	107,433
	2323	631	493	311,083	250,013

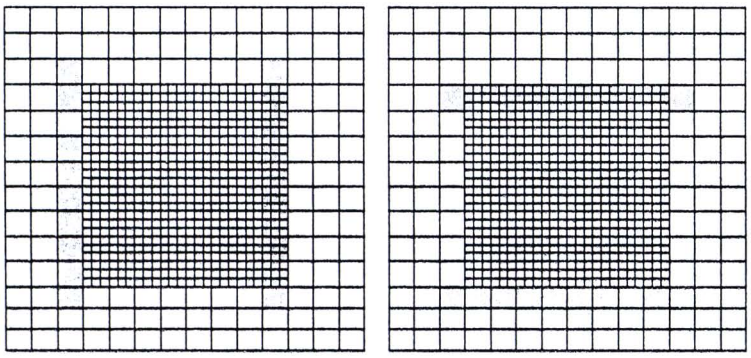
3.2.3 การวิเคราะห์การติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

เนื่องจากการทำงานของโปรแกรมมีการคำนวณข้อมูลที่มีความขึ้นต่อกันของข้อมูล (Data dependency) จึงต้องมีส่วนการทำงานที่รับส่งข้อมูลกันระหว่างหน่วยประมวลผลของโปรแกรม ได้แก่ send wait และ recv เพื่อติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน โดยประสิทธิภาพเชิงเวลานั้นขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนที่ต้องมีการติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเท่านั้น ซึ่งอยู่บริเวณขอบของปัญหาที่อยู่ติดกันของแต่ละระดับความละเอียด จากการวิเคราะห์สามารถจำแนกการติดต่อสื่อสารของโปรแกรมได้ดังนี้

3.2.3.1 การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียด (Inter communication)

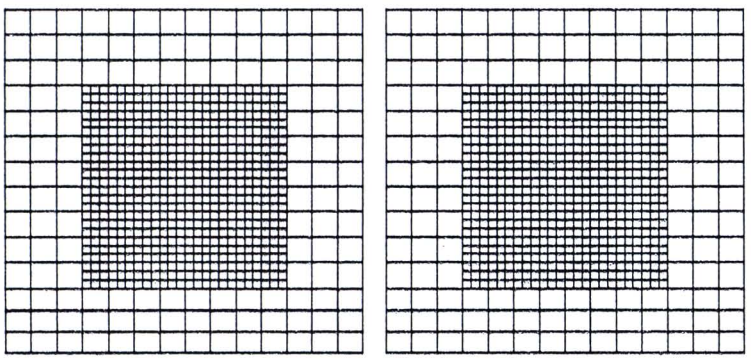
การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียดนั้น เป็นการส่งข้อมูลจากระดับความละเอียดหนึ่งไปยังอีกระดับความละเอียดหนึ่งที่อยู่ติดกันเท่านั้น โดยข้อมูลที่ส่งนั้นอยู่บริเวณขอบของการเชื่อมต่อข้อมูลที่เกิดจากความขึ้นต่อกันของข้อมูลในการคำนวณ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ลักษณะการทำงานออกได้ดังนี้

1. การส่งข้อมูลจากระดับ R1 ไประดับ R2
    a. [m_jnq, n_jnq] – เป็นค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน JNQ_S2C



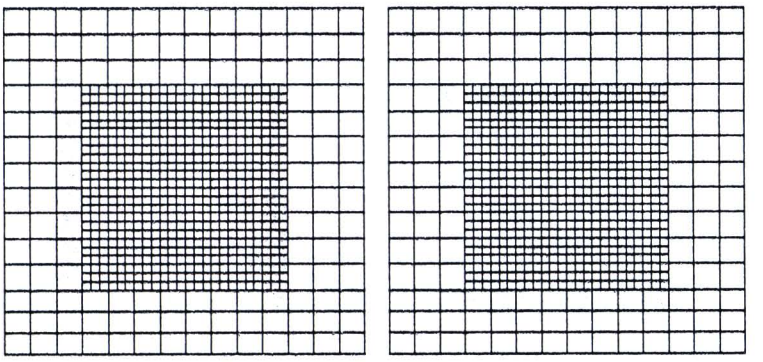
รูปที่ 3-5 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร m_jnq (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร n_jnq (รูปขวา) ให้ระดับ R2

2. การส่งข้อมูลจากระดับ R2 ไประดับ R3 และการส่งข้อมูลจากระดับ R3 ไประดับ R4
    a. [dzb] – เป็นค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน JNZ



รูปที่ 3-6 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb ให้ระดับ R3 และ R4

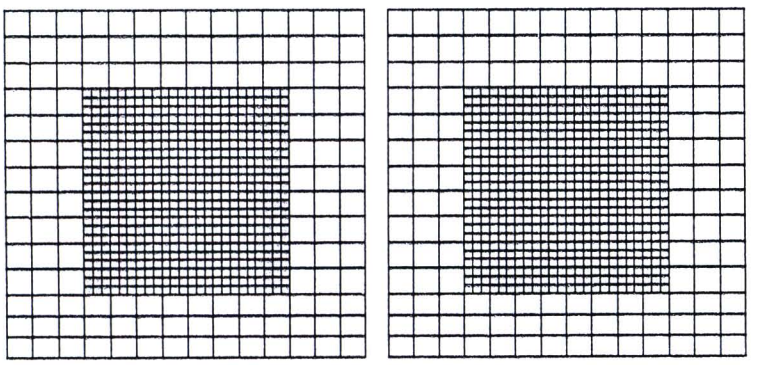
b. [mb, nb] – เป็นค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน JNQ



รูปที่ 3-7 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร mb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร nb (รูปขวา) ให้ระดับ R3 และ R4

3. การส่งข้อมูลจากระดับ R4 ไประดับ R3 และการส่งข้อมูลจากระดับ R3 ไประดับ R2

a. [dzb,zb] – เป็นค่าตัวแปรที่ได้จากการทำงาน JNZ



รูปที่ 3-8 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R3 และ R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb และค่าตัวแปร zb ให้ระดับ R2 และ R3

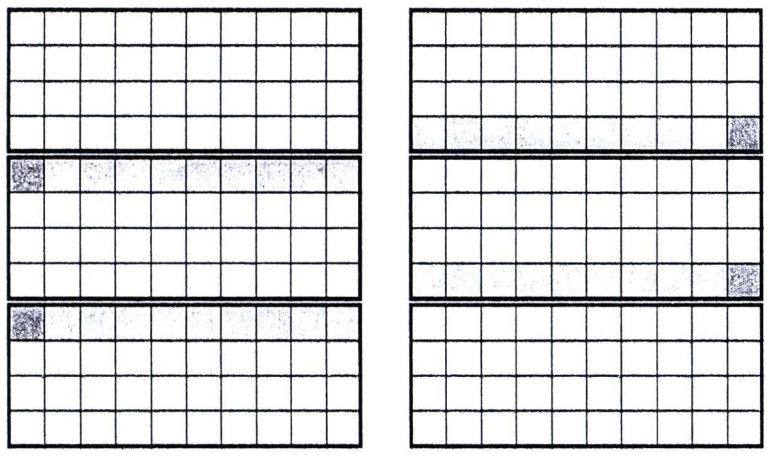
3.2.3.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในของแต่ละระดับความละเอียด (Intra communication)

การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในของแต่ละระดับความละเอียดจะทำงานก็ต่อเมื่อมีการแบ่งงานให้ในระดับความละเอียดนั้น ๆ เพื่อลดขนาดของปัญหาให้เกิดความสม่ำเสมอในการกระจายงาน การติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในของแต่ละระดับความละเอียดนั้น

เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ที่อยู่ติดกันเท่านั้น โดยลักษณะของพื้นที่ที่ถูกแบ่งนั้นสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนล่าง (ส่วนที่ 0) ส่วนกลาง (ส่วนที่ 1 ถึง n-1) และส่วนบน (ส่วนที่ n-1) ที่มีการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามส่วนของพื้นที่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ลักษณะการทำงานออกได้ดังนี้

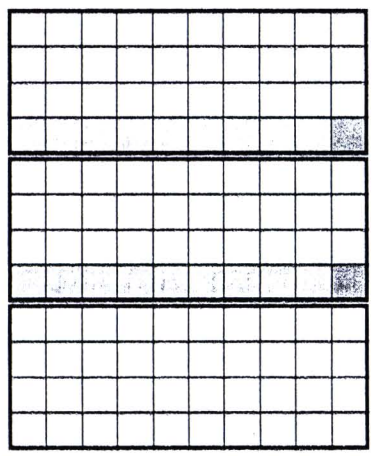
1. การส่งข้อมูลระหว่างกันภายในระดับ R1

   a. [ma,na] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน MASS



รูปที่ 3-9 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร ma (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร na (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1

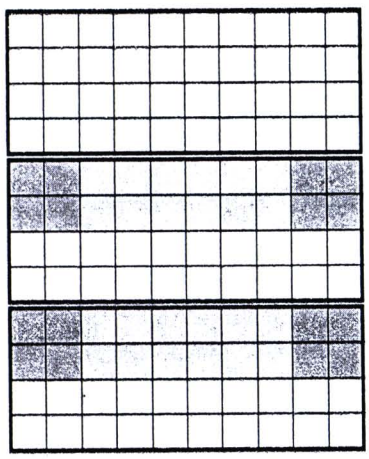
   b. [zb] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน MOMENT



รูปที่ 3-10 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร zb ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1

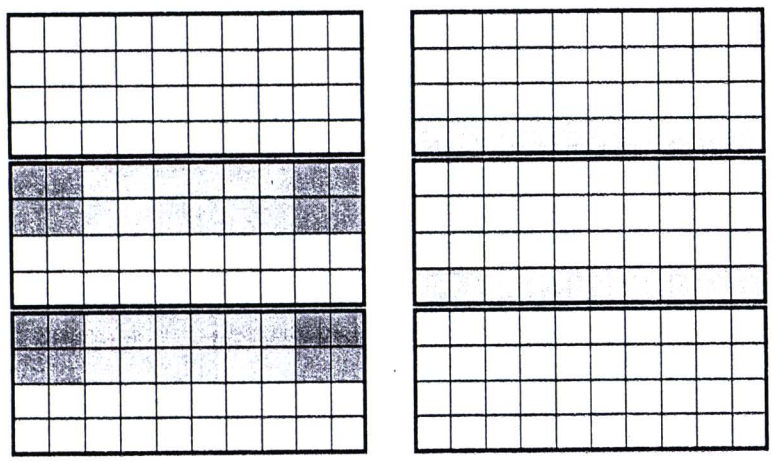
2. การส่งข้อมูลระหว่างกันภายในระดับ R2, R3 และ R4

a. [ma,na] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน NLMASS



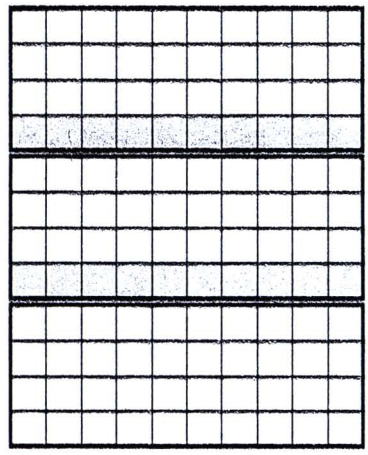
รูปที่ 3-11 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร ma และ na ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4

b. [dzb, za, zb] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน NLMMT1



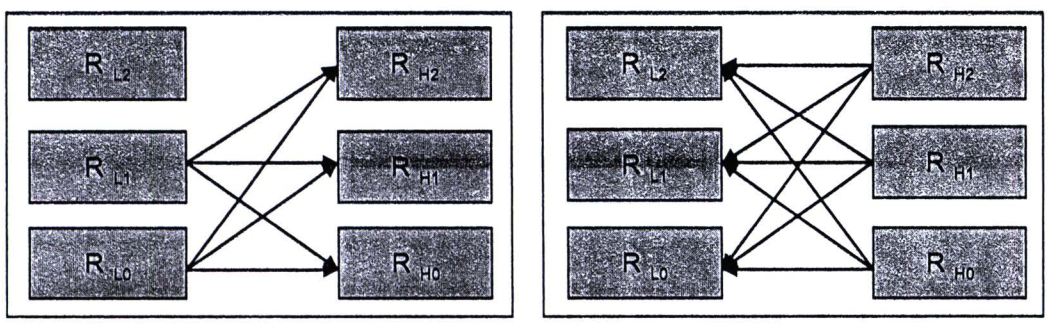
รูปที่ 3-12 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร za, zb (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4

c. [dma, dna] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน NLMMT2



รูปที่ 3-13 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dma และ dna ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4

3.2.3.3 การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียด เมื่อมีการแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียด



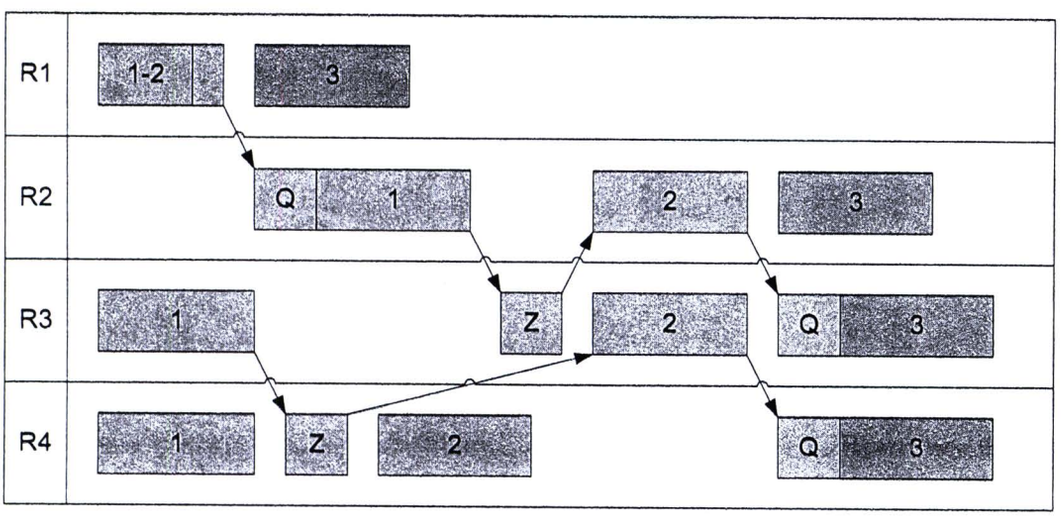
รูปที่ 3-14 การส่งข้อมูลระหว่างกันของแต่ละระดับความละเอียด

จากการแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียด ทำให้ลักษณะของการแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียดที่ถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ นั้น มีรูปแบบของการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันตามขอบเขตที่อยู่ติดกันของแต่ละระดับความละเอียด โดยสามารถแบ่งรูปแบบของการส่งข้อมูลได้เป็น การส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า (R_L) ไประดับที่มีความละเอียดสูงกว่า (R_H) ที่เป็นการส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่าเฉพาะส่วนที่มีขอบเขต

ติดกับระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าเท่านั้น ไปยังทุกส่วนของระดับที่มีความละเอียดสูงกว่า ส่วนที่ไม่มีขอบเขตติดกับระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าจะไม่มีการส่งข้อมูล และการส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าไประดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า เป็นการส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าทุกส่วน ไปยังทุกส่วนของระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่าดังรูปที่ 3-14

3.2.3.4 การรอรับข้อมูลของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

เนื่องจากโปรแกรมมีการคำนวณข้อมูลที่มีความขึ้นต่อกันของข้อมูล ทำให้จำเป็นต้องมีการรอรับข้อมูลจากการติดต่อสื่อสารในแต่ละครั้งให้เรียบร้อยก่อนการทำงานในลำดับต่อไป เพื่อลดระยะเวลาในการรอรับข้อมูลดังกล่าวจึงได้ทำการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละครั้งของการติดต่อสื่อสารตามรูปที่ 3-15 ที่ใช้ตัวเลข 1 กับ 2 แทนการทำงานในส่วนที่ทำการคำนวณตามหลักการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัม และตัวเลข 3 แทนการทำงานส่วนที่ทำการจัดการผลการคำนวณ ส่วนตัวอักษร Q และ Z แทนการทำงานส่วนที่ทำการเชื่อมต่อกันของข้อมูลภายนอกระดับความละเอียด และใช้เส้นที่มีหัวลูกศรบอกทิศทางของการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผลที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดของแต่ละระดับความละเอียด



รูปที่ 3-15 การรอรับข้อมูลของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล