การออกแบบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม

The Mobile High-performance Computing Design for Satellite Data Processing

เศรษฐกาล โปร่งนุช* จิรายุส อ้อมเขต ธนาธิป พิกุลทอง และ พิพัฒน์ มะลาพิมพ์

Sethakarn Prongnuch* Jirayut Omkhet Thanathip Phikulthong and Pipat Malapim

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพ ประเทศไทย

Computer Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, Thailand

**Corresponding author, E-mail: sethakarn.pr@ssru.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม ด้วยการนำข้อมูลอุณหภูมิอากาศมาประมวลผล ผ่านสมการคำนวณหาปริมาณเม็ดฝนของพื้นที่ประเทศไทย มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อการออกแบบ และสร้างระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลดาวเทียม 3 สถาปัตยกรรม โดยแต่ละสถาปัตยกรรมมีมาสเตอร์โหนดจำนวน 1 เครื่อง และมีสเลฟโหนดจำนวน 2, 4 และ 8 เครื่อง ตามลำดับ บนบอร์ดพาราเลลลาที่ประกอบด้วยตัวประมวลผลหลักซิงค์กับตัวประมวลผลร่วมอิฟิฟานนี เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ โดยมาสเตอร์โหนดใช้งานเอมพีไอ ซึ่งเป็นส่วนประสานโปรแกรมประยุกต์สั่งงาน ให้สเลฟโหนดประมวลผลข้อมูลบนระบบปฏิบัติการพาราบุนตู ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ระบบระบายความร้อน โดยระบบสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีถึง 13 เปอร์เซ็นต์ และรองรับการทำงานอย่างต่อเนื่อง 2) การประมวลผลข้อมูลดาวเทียมผ่านระบบคลัสเตอร์สถาปัตยกรรมแบบที่ 3 ใช้เวลาประมวลผลข้อมูลเร็วที่สุด 7 วินาที ตามทฤษฎีระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการประมวลผลสูงถึง 21 จิกกะฟล็อปส์

คำสำคัญ: *การออกแบบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพา ระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงสำหรับประมวลผลข้อมูลดาวเทียม พาราเลลลาแบบคลัสเตอร์*

Abstract

This article presents the mobile high-performance computing design for satellite data processing by applying the air temperature data processing through the equation to calculate the rain rate in Thailand. The purpose is to design and implement the mobile high-performance computing design for satellite data processing for three architectures, each of the architectures has a master node, and there are two, four, and eight slave nodes, respectively. The Parallella board consists of a Zynq processor and an Epiphany coprocessor for test performance.

The master node is running the MPI which controls all slave nodes to the processing of the Parabuntu operating system. The results are divided into two parts: 1) The cooling system can heat up to thirteen percent and support continuous operation. 2) The satellite data processing through the cluster architecture, the third type, takes the best of data processing time of seven seconds. According to the theory, the system has a high processing efficiency of twenty-one GFLOPS.

Keywords: *The Mobile High-performance Computing Design, High-performance Computing for Satellite Data Processing, Parallella Cluster*

1. บทนำ

ข้อมูลจากดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา นำมาใช้ในการพยากรณ์อากาศ และปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งในอนาคต เช่น ฝน อุณหภูมิ เมฆ หมอก คลื่นลม รวมทั้งภัยธรรมชาติ ทำให้มนุษย์สามารถวางแผนการป้องกันภัยธรรมชาติล่วงหน้าได้ โดยข้อมูลดาวเทียมจะส่งมาเก็บไว้ในเครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์ ข้อมูลถูกแปลงเป็นตัวหนังสือและตัวเลขแล้ว คือ ข้อมูล อุณหภูมิ ละติจูด และลองติจูด ซึ่งจะต้องนำมาคำนวณผ่านสูตรคำนวณปริมาณเม็ดฝน (Rain Rate: RR) เพื่อหาค่าปริมาณการเกิดเม็ดฝน (Areerachakul, N., Prongnuch, S., Sakolnakhon, K.P.N. 2017) ใช้ในการพยากรณ์อากาศ การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนมากต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีความรวดเร็วในการประมวลผลเป็นฟล็อปส์ (Floating-point Operation Per Second: FLOPS) หรือหน่วยวัดความสามารถในการประมวลผลชุดคำสั่งทางทศนิยมต่อวินาที คำนวนจากจำนวนแกนประมวลผลคูณกับความเร็วสัญญาณนาฬิกาเฉลี่ย และคูณกับวงรอบการทำงาน แต่ก็ต้องแลกมาซึ่งต้นทุน ปริมาณการใช้พลังงาน สถานที่ผู้เชี่ยวชาญ และการบำรุงรักษาที่สูงมาก

จากปัญหาข้างต้น ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วตามกฎของมัวร์ (David A. Patterson and John L. Hennessy, 2013) สามารถแก้ไขได้ด้วยระบบคลัสเตอร์ เป็นการเชื่อมต่อกลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแบ่งปันข้อมูลหรือความสามารถในการคำนวณ โดยในกลุ่มของคอมพิวเตอร์จะประกอบด้วยเครื่องที่ทำหน้าที่บริหารจัดการ 1 เครื่อง คือ มาสเตอร์โหนด (Master Node) และเครื่องสำหรับทำงานหรือช่วยงาน คือ สเลฟโหนด (Slave Node) อีกหลายๆ เครื่อง ซึ่งจะรับส่งข้อมูลผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์

คณะผู้วิจัย จะออกแบบ และสร้างระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลดาวจากเทียมเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว 3 สถาปัตยกรรม โดยแต่ละสถาปัตยกรรมมีมาสเตอร์โหนดจำนวน 1 เครื่อง และมีสเลฟโหนดจำนวน 2, 4 และ 8 เครื่อง ตามลำดับ บนบอร์ดพาราเลลลา เพื่อการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ มีจุดเด่นคือ การใช้พลังงาน และต้นทุนต่ำ มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับซูเปอร์คอมพิวเตอร์ สามารถพกพาหรือเคลื่อนที่ได้

2. วัตถุประสงค์

1. ออกแบบ และสร้างสถาปัตยกรรมระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม เพื่อนำองค์ความรู้มาสร้างนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งานจริง

2. ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมที่ได้สร้างขึ้น

3. เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้งานหรือแบ่งเบาภาระงานในกรมอุตุนิยมวิทยาหรืองานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

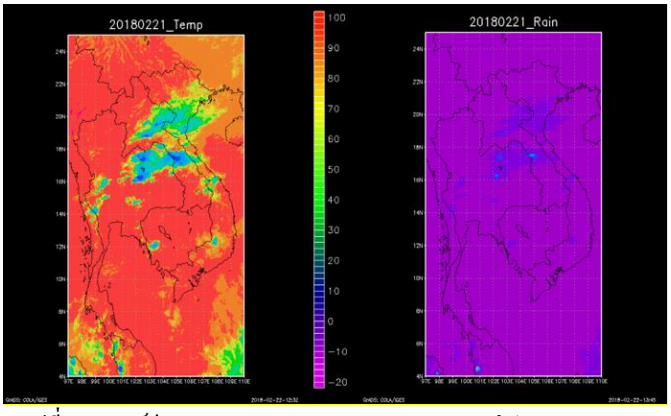
3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย มีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การออกแบบสถาปัตยกรรม การสร้างระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม และการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ประกอบด้วย การประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม ประเภทของระบบคลัสเตอร์ หลักการออกแบบระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว ฮาร์ดแวร์สำหรับระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว ระบบปฏิบัติการสำหรับระบบคลัสเตอร์ และส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม คือ การนำข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมมาทำการประมวลผลผ่านสูตรการคำนวณเพื่อให้ได้ข้อมูลตามต้องการ มีโปรแกรมในการแปลงข้อมูลดาวเทียม คือ โปรแกรมจัดการไฟล์ดาวเทียม (Network Common Data From: NetCDF) และโปรแกรมแสดงผลลัพธ์ของข้อมูล คือ โปรแกรมแสดงผลข้อมูลดาวเทียม (Grid Anylysis and Display System: GrADS) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์ส



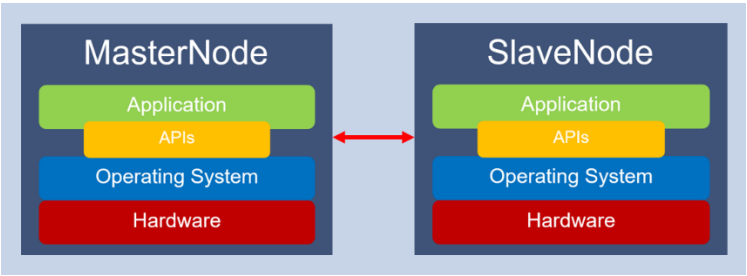
รูปที่ 1 ผลลัพธ์ก่อนการคำนวณ และหลังการคำนวณจากโปรแกรม GrADS

รูปที่ 1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมทางด้านซ้าย คือ รูปที่แสดงผลอุณหภูมิก่อนการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิองศาเคลวิน (t) สีในภาพสามารถบ่งบอกอุณหภูมิได้ โดยการเทียบกับแถบสีตรงกลางภาพ ที่บอกถึงอุณหภูมิสีที่มีโทนร้อน หมายถึง อุณหภูมิสูง สีที่มีโทนเย็น หมายถึง อุณหภูมิต่ำ เมื่อโปรแกรมได้ทำการคำนวณผ่านสูตรแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จึงออกมาเป็นดังภาพด้านขวา แสดงถึงปริมาณน้ำฝนของแต่ละพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำฝน (Rain Rate: RR) จากสมการ (Areerachakul, N., Prongnuch, S., Sakolnakhon, K.P.N. 2017) ดังต่อไปนี้

$$RR = 1.1183 \times 10^{(-0.036382 \times t^{0.5})}$$

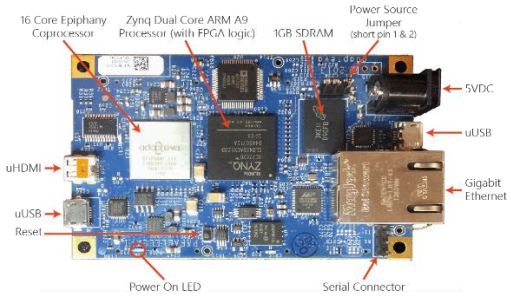
3.1.2 ประเภทของระบบคลัสเตอร์ ในปัจจุบันสามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบ (ศุภกิจ พฤกษอรุณ, 2558) คือ 1) คลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Performance Cluster: HPC) ใช้สำหรับ ประมวลผลกับข้อมูล ขนาดใหญ่ ที่ต้องการกำลังประมวลผลสูงโดยต้องการผลลัพธ์ในเวลาอันรวดเร็ว เช่น งานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ 2) คลัสเตอร์ประมวลผลปริมาณงานสูง (High Throughput Cluster: HTC) ใช้สำหรับประมวลผลกับงานที่มีจำนวนมาก แต่ละงานเป็นอิสระต่อกันใช้เวลาประมวลผลนานเป็นเดือนหรือปี ในงานด้านวิทยาศาสตร์ 3) คลัสเตอร์ที่มีสภาพพร้อมใช้งานสูง (High Availability Cluster: HA) เพื่อใช้เพิ่มเสถียรภาพของการประมวลผลสำหรับงานที่สำคัญ และหยุดการประมวลผลไม่ได้ โดยต้องการประมวลผลคู่ขนาน มีหน่วยประมวลผลอย่างน้อยสองตัวขึ้นไป ซึ่งใช้ในงานด้านธุรกิจการเงินและธนาคาร

3.1.3 หลักการออกแบบระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว อ้างอิงลำดับชั้นการทำงานของระบบสมองกลฝังตัว และเพิ่มส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Program Interface: API) ในการกระจายงาน และประมวลผลข้อมูลแบบขนาน ดังรูปที่ 2 ระบบฝังตัวหรือสมองกลฝังตัว เป็นระบบที่ทำงานร่วมกันระหว่างซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์ (Prongnuch, S., and Wiangtong, T., 2017) มีการประมวลผลโดยใช้ชิปหรือไมโครโปรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีการแบ่งลำดับชั้นการทำงาน เริ่มต้นจากชั้นแอปพลิเคชัน (Application) จะทำหน้าที่โปรแกรมคำสั่งไปยังระบบปฏิบัติการ (Operating System) เพื่อควบคุมระบบปฏิบัติการให้สามารถทำงานเป็นระบบได้ และระบบปฏิบัติการเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) โดยจะทำหน้าที่ควบคุมการแสดงผลการทำงานของฮาร์ดแวร์จัดเก็บข้อมูล และจัดสรรการใช้ทรัพยากรระบบให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ลำดับชั้นการทำงานของระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว

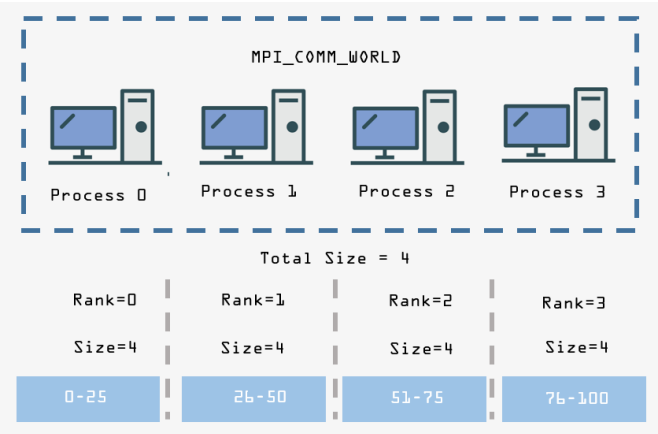
3.1.4 ฮาร์ดแวร์สำหรับระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว หรือบอร์ดสมองกลฝังตัว (Embedded Board) สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด มีขนาดเล็ก เช่น บอร์ดพาราเลลลา (Parallella Board) ดังรูปที่ 3 เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีตัวประมวลผลมากกว่าหนึ่งตัว ประกอบด้วยชิปซิงค์ (Zynq-7010) ที่มี ARM-A9 เป็นตัวประมวลผลหลัก มีแกนประมวลผลจำนวน 2 แกนอยู่ภายในชิป และชิปอิฟิฟานนี (Epiphany) มีแกนประมวลผล 16 แกน ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลร่วม นอกจากนี้ยังมีบอร์ดราสเบอรี่ พาย (Rasberry Pi Board) ที่มีชิปตัวประมวลผล ARM เหมือนกัน หรือบอร์ดบานาน่า พาย (Banana Pi Board) ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับบอร์ดราสเบอรี่ พาย



รูปที่ 3 บอร์ดพาราเลลลา (Prongnuch, S., and Wiangtong, T., 2017)

3.1.5 ระบบปฏิบัติการสำหรับระบบคลัสเตอร์ เป็นซอฟต์แวร์ตัวกลางระหว่างฮาร์ดแวร์ และโปรแกรมประยุกต์ มีหน้าที่หลัก คือ การจัดสรรทรัพยากรภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบริหารให้โปรแกรมประยุกต์ในเรื่องการรับส่ง และจัดเก็บข้อมูลกับฮาร์ดแวร์ โดยระบบปฏิบัติการสำหรับระบบคลัสเตอร์ที่นิยมใช้งานส่วนมาก คือ ระบบปฏิบัติการแบบโอเพนซอร์ส (Open Source) อาทิเช่น ระบบปฏิบัติการตระกูลลินุกซ์ (Linux Operating System)

3.1.6 ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ เป็นตัวกลางที่ทำให้โปรแกรมประยุกต์เชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น หรือเชื่อมการทำงานเข้ากับระบบปฏิบัติการ ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้สำหรับระบบคลัสเตอร์นั้น จะต้องรองรับการทำงานแบบขนานเพื่อใช้ในการแจกแจงหรือกระจายงานที่ถูกแบ่งแล้ว ให้แต่ละสเลฟโหนดประมวลผลพร้อมๆ กัน อาทิเช่น MPI (Message Passing Interface) ใช้ในการกระจายการทำงานในระบบคลัสเตอร์เพื่อประมวลข้อมูลแบบขนาน (ทรรศมน ผลใหม่. ธิติมา ไทยง้วน. และนนทพร ทับทิมหิน, 2558) โดยหลักการพื้นฐานของ MPI แสดงดังรูปที่ 4 ประกอบไปด้วย Rank คือ ทุกๆ Process จะได้รับหมายเลขประจำตัว ซึ่งจะเริ่มต้นที่หมายเลข 0 เสมอ Rank จะใช้งานในการระบุต้นทาง และปลายทางของการรับส่งข้อความระหว่าง Process ภายใน Group และ Communicator คือ กลุ่มของ Process โดยที่กลุ่มของ Process จะเชื่อมโยงกับ Communicator ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงสำหรับการทำงานแบบกลุ่ม Process จะอยู่ในกลุ่มที่ชื่อว่า MPI_COMM_WORLD โดย Size คือ จำนวน Process ในการประมวลผลข้อมูล และจะแสดงถึงจำนวน Process ใน Group ที่มาร่วมประมวลผล

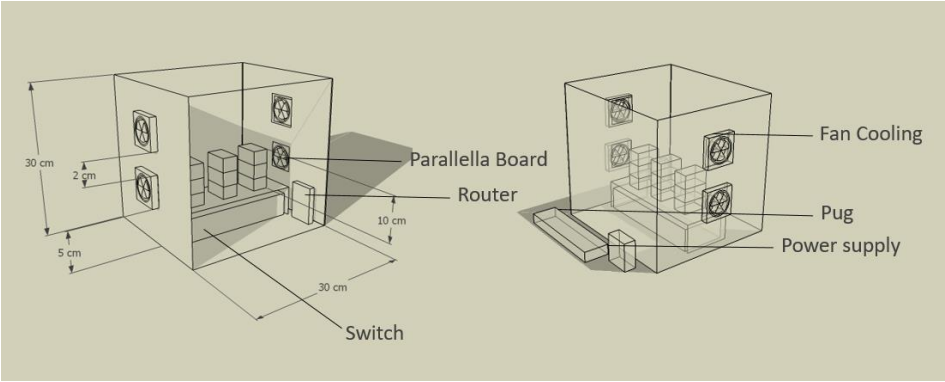


รูปที่ 4 หลักการทำงานของ MPI

3.2 การออกแบบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลดาวเทียม

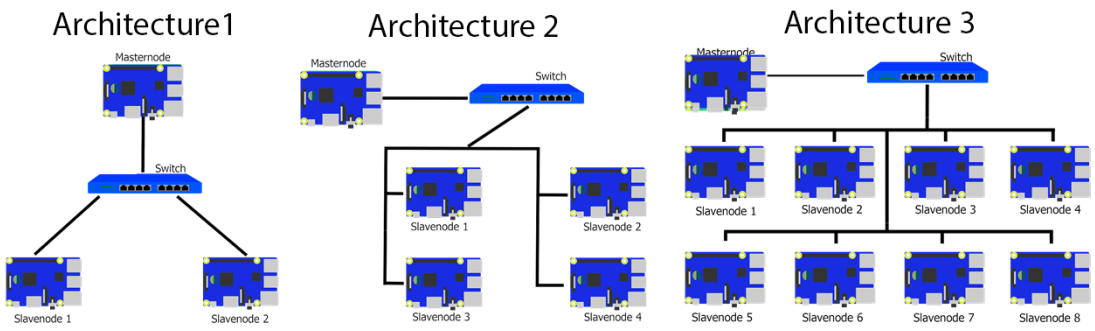
การออกแบบระบบประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างส่วนของฮาร์ดแวร์ และออกแบบโครงสร้างส่วนของซอฟต์แวร์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์ โดยทั่วไประบบคลัสเตอร์สมองกลฝังตัวออกแบบในลักษณะทาวเวอร์คลัสเตอร์ (Cluster Tower) (Andrew Back, 2014) ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและไม่มีส่วนป้องกัน คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบเป็นกล่อง พร้อมติดตั้งระบบระบายความร้อนอาศัยหลักการการระบายอากาศโดยวิธีทางกล เพื่อให้มีความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และการป้องกันความเสียหายจากภายนอก ดังรูปที่ 5



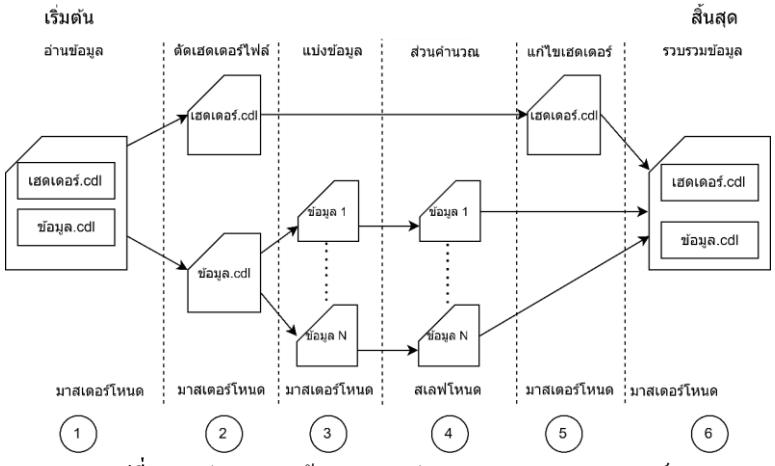
รูปที่ 5 โครงสร้างระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว

สำหรับการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัว แบ่งเป็น 3 สถาปัตยกรรม แสดงดังรูปที่ 6 คือ สถาปัตยกรรมที่ 1 ประกอบด้วย 1 มาสเตอร์โหนด และ 2 สเลฟโหนด สถาปัตยกรรมที่ 2 ประกอบด้วย 1 มาสเตอร์โหนด และ 4 สเลฟโหนด และสถาปัตยกรรมที่ 3 ประกอบด้วย 1 มาสเตอร์โหนด และ 8 สเลฟโหนด ซึ่งจำนวนของสเลฟโหนดที่เพิ่มขึ้นมาจาก 2^n หรือเอกซ์โพเนนเชียล ใช้สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแต่ละสถาปัตยกรรม เลือกใช้โทโปโลยีระบบเครือข่ายแบบดาวในการเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันสายเคเบิลทางโหนดใดเสียหายจะไม่กระทบต่อโหนดอื่นๆ มีสวิตช์เป็นศูนย์กลางทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์จุดเสียหายบนเครือข่าย



รูปที่ 6 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบคลัสเตอร์ทั้ง 3 แบบ

3.2.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนของซอฟต์แวร์ ได้ออกแบบบนระบบคลัสเตอร์แบบสมองกลฝังตัวของทั้ง 3 สถาปัตยกรรม มีหลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 7 มีขั้นตอนดังนี้ (1) เริ่มต้นรับไฟล์ข้อมูลดาวเทียม (2) ตัดข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือไฟล์เฮดเดอร์ (Header) ที่ไม่ได้ใช้ในการคำนวณ จะถูกเก็บไว้เพื่อรอการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป ส่วนที่ 2 คือส่วนของไฟล์ข้อมูลอุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณบนมาสเตอร์โหนด (3) การแบ่งไฟล์ข้อมูลตามแต่ละสถาปัตยกรรมที่ได้ออกแบบไว้ (4) การคำนวณหาค่าปริมาณเม็ดฝนผ่านสูตรบนสเลฟโหนด (5) เป็นส่วนแก้ไขไฟล์เฮดเดอร์ให้เหมาะสมกับส่วนแสดงผลบนมาสเตอร์โหนด (6) เป็นส่วนรวบรวมรวบรวมไฟล์เฮดเดอร์ที่แก้ไขเข้ากับไฟล์ข้อมูลที่ทำการประมวลผล และจบการทำงาน



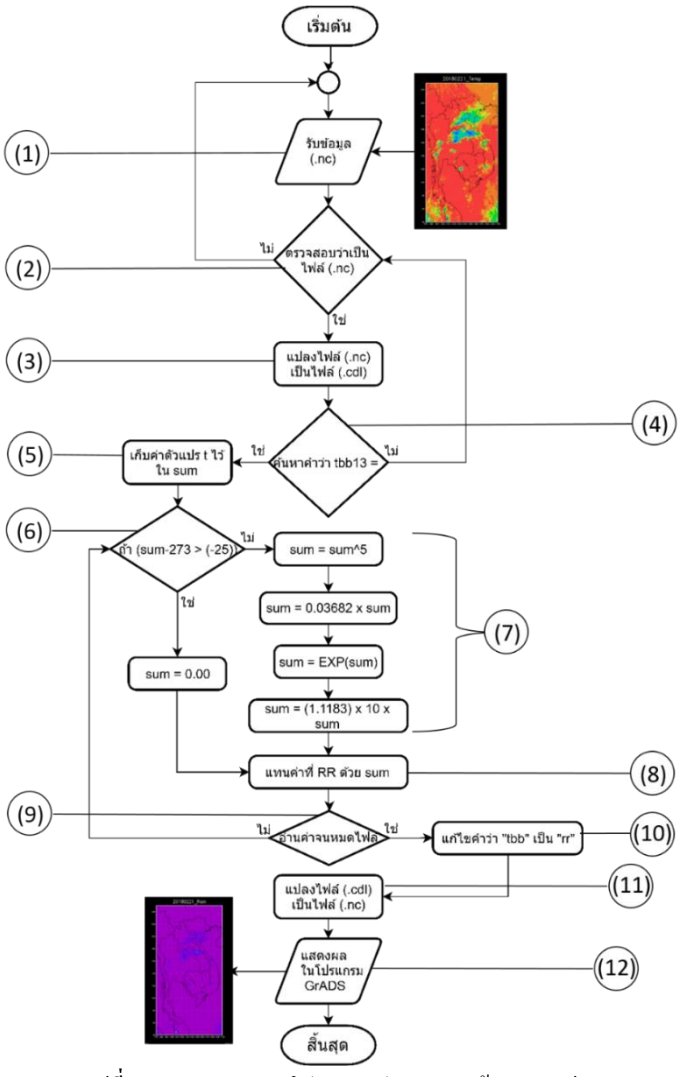
รูปที่ 7 การประมวลผลข้อมูลจากตัวประมวลผลบนระบบคลัสเตอร์

3.3 การสร้างระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม

การสร้างระบบประกอบด้วย โครงสร้างฮาร์ดแวร์เลือกใช้แผ่นอะคริลิกเป็นส่วนประกอบหลักทั้ง 3 สถาปัตยกรรม ใช้บอร์ดพาราเลลลาเชื่อมต่อกันแบบโทโปโลยีระบบเครือข่ายแบบดาว ติดตั้งระบบปฏิบัติการ (Parabuntu) ที่พัฒนาโดยบริษัท Adaptava ผู้ผลิตบอร์ดพาราเลลลา (Parallella, 2014) ใช้ MPI ที่ทำหน้าเป็นส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์สำหรับบริหารจัดการงานและการประมวลผลบนระบบคลัสเตอร์

สำหรับส่วนการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม คณะผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมแปลงข้อมูลดาวเทียมด้วยภาษาซี เขียนสคริปเพื่อเรียกใช้งานโปรแกรมจัดการไฟล์ดาวเทียม และโปรแกรมแสดงผลข้อมูลดาวเทียม ผังงานการพัฒนาโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 8 มีการทำงานดังนี้ (1) รับไฟล์นามสกุล nc เป็นข้อมูลจากดาวเทียม (2) ตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์ (3) แปลงข้อมูลไฟล์นามสกุล nc ให้เป็นไฟล์นามสกุล cdl (4) ค้นหา tbb13 เพื่อนำข้อมูลที่กำหนดไปเข้าสูตร (5) นำค่าอุณหภูมิ tbb13 ย้ายใส่ตัวแปร sum ในโปรแกรม (6) นำค่า sum ลบกับ 273 ถ้าค่าที่ได้มากกว่า -25 ให้ค่า sum เท่ากับ 0.00 แต่ถ้าไม่ใช่ ให้นำค่า sum ไปเข้าสูตรในลำดับถัดไป การทำกระบวนการนี้ เพื่อให้ประหยัดเวลา เพราะถ้ามีการคำนวณในขณะที่ค่า sum มากกว่า -25 ค่าที่ได้จะเป็น 0.00 (7) ขั้นตอนการคำนวณหาค่าปริมาณเม็ดฝนตามสูตร (8) แทนค่า sum ที่ได้จากการคำนวณลงในไฟล์ตามลำดับ (9) ตรวจสอบการอ่านค่าจากไฟล์ถ้าอ่านข้อมูลจนหมดไฟล์แล้ว ให้จบการทำงาน (10) เปลี่ยนข้อมูลส่วนเฮดเดอร์จาก tbb13 เป็น rr เพื่อที่ใช้ในการ

แสดงผลในโปรแกรม GrADS (11) แปลงข้อมูลไฟล์นามสกุล cdl เป็นไฟล์นามสกุล nc (12) นำไฟล์ที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม GrADS เพื่อแสดงผลลัพธ์ สิ้นสุดการทำงาน



รูปที่ 8 ผังงานการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม

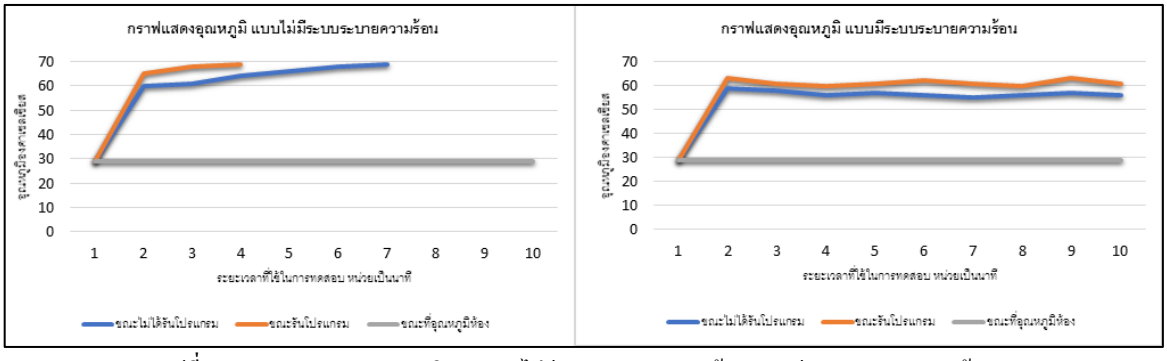
3.4 การทดสอบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การทดสอบระบบระบายความร้อน เนื่องจากข้อเสียของบอร์ดพาราเลลาที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงมีการวัดอุณหภูมิแบบไม่มีระบบระบายความร้อน และมีระบบระบายความร้อนด้วย ztemp ซึ่งเป็นโปรแกรมตรวจวัดอุณหภูมิของตัวประมวลผลภายในบอร์ดพาราเลลลา โดยตรวจวัด 2 สถานะได้แก่ ขณะไม่ได้รันโปรแกรม และรันโปรแกรม ทำการเก็บผลอุณหภูมิ 10 นาที และ 2) การทดสอบการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมบน 3 สถาปัตยกรรมที่ได้สร้างขึ้นจำนวน 100 ครั้ง ด้วยฟังก์ชันจับเวลามาตราฐาน timer.h

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบระบบระบายความร้อน

การทดสอบแบ่งออกเป็น แบบไม่มี และมีระบบระบายความร้อน ดังรูปที่ 9 จากการวัดอุณหภูมิแบบไม่มีระบบระบายความร้อน อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จากเมื่อเปิดเครื่องที่ 59 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจนเกิน 70 องศาเซลเซียส บอร์ดพาราเลลลาหยุดการทำงานอัตโนมัติเพื่อป้องกันการเสียหาย สำหรับผลการวัดอุณหภูมิแบบมีระบบระบายความร้อน เมื่อเปิดเครื่องอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะเริ่มคงที่ที่ 62 องศาเซลเซียส



รูปที่ 9 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิของแบบไม่มีระบบระบายความร้อน และมีระบบระบายความร้อน

4.2 ผลการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมบนระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพา

ค่าเฉลี่ยของการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมของทั้ง 3 สถาปัตยกรรม พบว่าสถาปัตยกรรมที่ 3 ประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุดเพียง 164.16 วินาที เนื่องจากมีจำนวนสเลฟโหนดมากที่สุด เมื่อเทียบกับสถาปัตยกรรมอื่นๆ ทำให้การแบ่งภาระงานในการประมวลผลทำได้ดีกว่า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมบนระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพา

สถาปัตยกรรมที่	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเฉลี่ย (วินาที)					
	ตัดเฮดเดอร์	ตัดข้อมูล	ประมวลผลข้อมูล (หาค่าปริมาณฝน)	แก้ไขเฮดเดอร์	รวบรวมข้อมูล	รวมเวลาทั้งหมด
1	61.10	56.40	22.98	0.30	28.14	168.94
2	61.03	64.03	14.98	0.30	28.21	168.55
3	61.01	65.04	7.72	0.30	30.09	164.16

5. การอภิปรายผล

ผลการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมบนระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพานั้น สถาปัตยกรรมที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดถึง 21 จิกกะฟล็อปส์ เมื่อเทียบกับสถาปัตกรรมอื่นๆ ที่ได้สร้างขึ้น การดำเนินการวิจัยครั้งนี้มีปัญหาและอุปสรรค อาทิเช่น การเขียนโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการพาราบุนตูเป็นระบบปฏิบัติการเฉพาะ สำหรับ

บอร์ดพาราเลลลา ต้องอาศัยเวลาในการศึกษาและแก้ปัญหาค่อนข้างมาก แนวทางการพัฒนาต่อ นำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบประมวลผลคลาวด์ (Cloud Computing) หรือการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และใช้งานจริงในกรมอุตุนิยมวิทยาหรือหน่วยงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง

6. บทสรุป

การออกแบบระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมที่ได้นำเสนอนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อการออกแบบ และสร้างระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูงแบบพกพาสำหรับประมวลผลข้อมูลดาวเทียมเพื่อหาค่าปริมาณเม็ดฝนของพื้นที่ประเทศไทย ได้ออกแบบเป็นระบบคลัสเตอร์มี 3 สถาปัตยกรรมบนบอร์ดพาราเลลลาที่ประกอบด้วยตัวประมวลผลหลักซิงค์กับตัวประมวลผลร่วมอิฟฟานนี โดยแต่ละสถาปัตยกรรมมีมาสเตอร์โหนดจำนวน 1 เครื่อง และมีสเลฟโหนดจำนวน 2, 4 และ 8 เครื่อง ตามลำดับ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ มีเอมพีไอซึ่งเป็นส่วนประสานโปรแกรมประยุกต์สั่งงาน และบริหารจัดการบนระบบปฏิบัติการพาราบุนตู ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ระบบระบายความร้อน ที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ถึง 13 เปอร์เซ็นต์ และการประมวลผลข้อมูลของสถาปัตยกรรมแบบที่ 3 ใช้เวลาประมวลผลข้อมูลเพียง 7 วินาที หรือประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มมีความเร็ว 21 จิกกะฟล็อปส์ (2 แกนประมวลผล × 667MHz × 0.0164 รอบการทำงาน)

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีงบประมาณ 2562 และขอขอบคุณ ดร.กมล พรหมสาขา ณ สกลนคร ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์ข้อมูลเรดาห์และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

ทรรศมน ผลใหม่. ธิติมา ไทยง้วน. และนนทพร ทับทิมหิน. การประมวลผลแบบขนาน. [ออนไลน์]. 2558. แหล่งที่มา http://parallelcomputing57.blogspot.com/. [10 มกราคม 2562].

ศุภกิจ พฤกษอรุณ. ระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ คืออะไร?. [ออนไลน์]. 2558. แหล่งที่มา http://tairgle.egat.co.th/. [21 มกราคม 2562].

Areerachakul, N., Prongnuch, S., and Sakolnakhon, K.P.N. (2017). The Estimation of Rainfall by Using Radar Data and IDV to Simulate 3D Rainfall Map. *The Journal of Water Sustainability*. 7(2), 183-191.

Andrew Back. My Name is Brian and I Build Supercomputers in My Spare Time. [Online]. 2014. Available from: https://www.parallella.org. [2018 December, 12]

David A. Patterson and John L. Hennessy. (2013). *Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface 5th Edition.* Massachusetts: Morgan Kaufmann.

Parallella. Parallella. [Online]. 2014. Available from: https://www.parallella.org. [2018 December, 13]

Prongnuch, S., and Wiangtong, T. (2017). The Implementation of Edge Detection on HSA Environment. *The 2017 International Electrical Engineering Congress*. (pp. 1 – 4). 8-10 March, Pattaya, Thailand.