ลินุกซ์คลัสเตอร์ขนาดเล็กสำหรับการจำลองสนามไฟฟ้าแรงสูง : การออกแบบและติดตั้งระบบ

Mini-Linux Cluster for High-Voltage Electric Field Simulation: Design and Installation

นิติพงศ์ ปานกลาง[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นรายงานผลการออกแบบและติดตั้งระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ที่พัฒนาจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่ว ๆ ไป สำหรับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูง ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบปิด ประกอบด้วยโหมดคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 3 เครื่อง โดยในบทความนี้ผู้เขียนได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณระหว่างลินุกซ์คลัสเตอร์กับคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ความเร็ว 3.0GHz จากผลการทดสอบ พบว่า ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมและประมวลผลคำสั่งในเวลา 1 วินาที มากว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ลินุกซ์คลัสเตอร์มีความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมเท่ากับ 1,075Mflops มากกว่าคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซีพียูเพนเทียม 4 ประมาณ 1.97 เท่า และลินุกซ์คลัสเตอร์สามารถประมวลผลคำสั่งได้เท่ากับ 2,235 ล้านคำสั่งในเวลา 1 วินาที คำสั่งที่ประมวลผลได้มากกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ประมาณ 2.33 เท่า

คำสำคัญ : ลินุกซ์คลัสเตอร์ โอเพนโมซิก แบวูฟล์ ยูนิกซ์ การประมวลผลแบบขนาน

Abstract

This paper is a report about designation and installation of Linux cluster system developed from ordinary personal computer for high-voltage electric-field analysis. Type of developed Linux cluster is a close system composed of three node-computers. In this paper, we are tested a computing performance of linux cluster compared with a Pentium4, 3.0 GHz, computer. Testing results shown that a developed linux cluster has more FLOPS and MIPS than the Pentium4-computer. The FLOPS and MIPS of Linux cluster are 1,075 Mflops and 2,235 MIPS respectively, that is about 1.97 and 2.23 times more than pentium4-computer.

Keywords : Linux Cluster, OpenMosix, Beowulf, Unix, Parallel Processing

1.บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้เราสามารถนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแก้ไขปัญหาทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้ง่ายมากขึ้น อาทิเช่น การประเมินสภาพอากาศล่วงหน้า [1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การจำลองการเกิดแผ่นดินไหวและผลกระทบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัตถุ [2] และการคำนวณทางการแพทย์ [3] เป็นต้น ส่วนในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงคอมพิวเตอร์ก็ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการจำลองและวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าบริเวณผิวของลูกถ้วยฉนวนปอร์ชเลนในสภาวะเปรอะเปื้อน [4] ฯลฯ การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงตัวเลขแบบต่างๆ ในกรณีที่แบบจำลองมีความซับซ้อนและมีเงื่อนไขการคำนวณที่หลากหลาย จำเป็นต้องใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าปกติ วิธีลดเวลาคำนวณดังกล่าว สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้วิธีเชิงตัวเลขสองวิธีมาคำนวณร่วมกัน[5] การใช้ตัวปรับสภาพล่วงหน้าช่วยในการแก้ระบบสมการเชิงเส้นเพื่อหาผลเฉลย[6] หรือแม้แต่การใช้เทคนิคการประมวลผลแบบขนาน

บทความนี้ นำเสนอรายงานผลเบื้องต้นในการออกแบบและติดตั้งระบบลินุกซ์คลัสเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูง เนื้อหาในบทความกล่าวถึงลักษณะโดยรวมของระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลภายในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า รวมถึงรายละเอียดผลการทดสอบประสิทธิภาพการคำนวณของระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ โดยการวัดความสามารถการประมวลผลเลขทศนิยมในเวลา 1 วินาที(Flops : Floating-Point Operations per Second) และจำนวนคำสั่งที่สามารถประมวลผลได้ในเวลา 1 วินาที (MIPS : Million Instructions per Second) เปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ความเร็ว 3.0 GHz

2. ลินุกซ์คลัสเตอร์

ลินุกซ์คลัสเตอร์จัดเป็นระบบการคำนวณสมรรถนะสูง (High Performance Computing, HPC) โดยนำคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) มาต่อทำงานร่วมกันผ่านระบบเครือข่ายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผล หัวใจสำคัญของลินุกซ์คลัสเตอร์คือ การกระจายงานและควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องให้สอดคล้องกัน ปัจจุบันซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานมีอยู่หลายแบบ แต่ละแบบมีการทำงานและเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกัน เช่น แบวูฟล์ (Beowulf) [7] และโอเพนโมซิก (OpenMosix) เป็นต้นข้อดีของลินุกซ์คลัสเตอร์คือมีต้นทุนต่อประสิทธิภาพการคำนวณต่ำ เมื่อเทียบกับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์หรือมินิคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเราสามารถนำ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer, PC) มาทำ เป็นลินุกซ์คลัสเตอร์ได้ โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งลินุกซ์คลัสเตอร์ตามโครงสร้างของระบบออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ ระบบคลัสเตอร์แบบปิด และระบบคลัสเตอร์แบบเปิด

ระบบคลัสเตอร์แบบปิด คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะเชื่อมต่อผ่านเกตเวย์(Gateway)โดยเกตเวย์จะเป็นตัวเชื่อมระบบทั้งระบบกับโลกภายนอกหรืออินเตอร์เน็ต ข้อดีของระบบคลัสเตอร์แบบปิด คือ มีความปลอดภัยสูงและไม่สิ้นเปลืองไอพีแอดเดรส เนื่องจากใช้ไอพีแอดเดรสเพียงแอดเดรสเดียว ส่วนข้อเสีย คือ โหมดคอมพิวเตอร์ในระบบไม่สามารถติดต่อกับระบบภายนอกได้โดยตรง ทำให้การบริหารข้อมูลจากภายนอกได้ทำได้ยาก

ระบบคลัสเตอร์แบบเปิด ระบบคลัสเตอร์แบบนี้คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตภายนอกโดยตรง ดังนั้นผู้ใช้สามารถเข้าถึงทุกโหมดคอมพิวเตอร์ในระบบคลัสเตอร์ได้โดยตรง เหมาะกับงานบริการข่าวสารและข้อมูลเป็นจำนวนมาก เช่น ระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์ เป็นต้น แต่มีข้อเสียในเรื่องความปลอดภัยของข้อมูลและการใช้งานจะต่ำ นอกจากนั้น ระบบยังต้องหมายเลขไอพีแอดเดรสจำนวนมาก

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบลินุกซ์คลัสเตอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์แวร์ที่สำคัญ ๆ ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ สายเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแลน สวิตช์หรือฮับความเร็วสูง เป็นต้น ซอฟท์แวร์ในระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ถือเป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบโดยรวม และยังทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของทั้งระบบ ซอฟต์แวร์ที่จำเป็นในระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ ได้แก่ ระบบปฏิบัติการ ระบบซอฟท์แวร์สำหรับควบคุมการประมวลผลแบบขนาน และซอฟท์แวร์อรรถประโยชน์ และไลบรารี (Libraries) ต่าง ๆ

2.1 ระบบปฏิบัติการลินุกซ์

ลินุกซ์พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1980 โดย ลีนุส ทอร์วัลด์ส (Linus Torvalds) ชาวฟินแลนด์ ขณะศึกษาอยู่ ณ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ ลินุกซ์เป็นระบบปฏิบัติการแบบรหัสเปิด (Opensource) โดยอนุญาตให้ผู้ใช้ดัดแปลงแก้ไขและเผยแพร่ได้อย่างเสรี ภายใต้เงื่อนไขลิขสิทธิ์จีพีแอล (GPL : General Public License) [8] ลินุกซ์ประกอบด้วยส่วนสำคัญที่เรียกว่า เคอร์เนล (kernel) ซึ่งเป็นศูนย์กลางในการประสานการทำงานร่วมกันระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ลินุกซ์มีการใช้อย่างแพร่หลายกับงานสาขาต่างๆ โดยเฉพาะการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจาก ลินุกซ์เป็นระบบปฏิบัติการที่แจกฟรี สามารถดาวน์โหลดจากอินเตอร์เน็ตโดยไม่ผิดกฎหมาย ลินุกซ์มีความสามารถในการทำงานหลายงานในเวลาเดียวกัน (Multitasking) และสามารถทำงานเข้ากันได้กับสถาปัตยกรรมของซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ลินุกซ์ก็มีข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับระบบปฏิบัติการแบบอื่นๆ อาทิเช่น ข้อจำกัดของความเข้ากันได้กับฮาร์ดแวร์บางชนิด การใช้งานต้องอาศัยทักษะด้านคอมพิวเตอร์ค่อนข้างสูง และบางกรณีต้องอาศัยการใช้คำสั่งผ่านทางคีย์บอร์ด ซึ่งทำให้การใช้งานไม่สะดวก

2.1 โอเพนโมซิก(OpenMosix)

โอเพนโมซิกเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำลินุกซ์คลัสเตอร์ โดยเป็นส่วนขยายเคอร์เนล (Kernel Patch) ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ใช้โอเพนโมซิกมีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากเราสามารถเพิ่มหรือลดจำนวนโหมดคอมพิวเตอร์ (Computer Node) ได้อย่างอิสระ โอเพนโมซิกยังเป็นซอฟต์แวร์แบบรหัสเปิดภายใต้ลิขสิทธิ์จีพีแอล

การทำงานของโอเพนโมซิกจะแบ่งภาระการคำนวณระหว่างโหมดคอมพิวเตอร์ให้สมดุล โดยการเคลื่อนย้ายโปรเซส (Process Migration) ไปยังโหมดคอมพิวเตอร์ที่มีภาระการคำนวณน้อยหรือไปยังโหมดคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณสูงโดยอัตโนมัติ ข้อดีของการใช้โอเพนโมซิกในการทำลินุกซ์คลัสเตอร์คือโปรแกรมที่นำมาคำนวณไม่ต้องเป็นรหัสคำสั่งแบบขนาน (Parallel Code) และไม่ต้องการไลบรารีเพิ่มเติม[9]

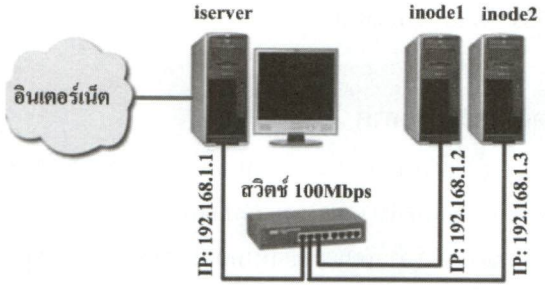
บทความนี้ ได้ออกแบบระบบลินุกซ์คลัสเตอร์เป็นแบบปิด โครงสร้างของลินุกซ์ คลัสเตอร์แสดงดังรูปที่ 1 โดยประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่อง iserver เป็นเครื่องหลักหรือโหมดหลัก (Master Node) ใช้ซีพียูเอเอ็มดีเซมพรอน (Sempron) ความเร็ว 1.667GHz และมีหน่วยความจำแบบ DDR ขนาด 1GB การใช้งานลินุกซ์คลัสเตอร์ผู้ใช้จะป้อนคำสั่งหรือโปรแกรมผ่านทางเครื่อง iserver และสามารถดูการทำงานทางจอมอนิเตอร์ นอกจากนั้น เครื่อง iserver ยังทำหน้าที่เป็นเกตเวย์(Gateway) สำหรับเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตเพื่อใช้สำหรับการเข้าใช้งานระยะไกล

เครื่อง inode1 และ inode2 เป็นโหมดคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ช่วยในการประมวลผล คอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องใช้ซีพียูเพนเทียม 3 ความเร็ว 833MHz และมีหน่วยความจำแบบ SD ขนาด 256 MB คอมพิวเตอร์ทั้งสามเครื่องจะเชื่อมต่อถึงกันผ่านระบบแลน (LAN) ความเร็ว 100Mbps ระบบปฏิบัติการที่ใช้คือ ลินุกซ์เรดแฮท (RedHat) รุ่น 7.3 และโอเพนโมซิกเคอร์เนลรุ่น 2.4

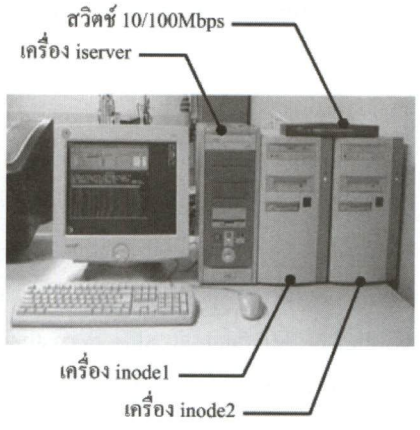
3. การทดสอบประสิทธิภาพการคำนวณ

การทดสอบประสิทธิภาพการคำนวณของลินุกซ์คลัสเตอร์ทำโดยวัดเวลาการประมวลผลคำสั่งและความสามารถการประมวลผลเลขทศนิยม การทดสอบประสิทธิภาพของลินุกซ์คลัสเตอร์จะเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ความเร็ว 3.0GHz การวัดเวลาการประมวลผล ทำโดยการวัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลคำสั่ง “awk ‘BEGIN{for(i=1;i<20000;i++) for(j=1;j<10000;j++);}’&” [10] จำนวน n โปรเซส โดยรูปที่ 3 แสดงเวลาของการประมวลผลที่จำนวนโปรเซสต่างๆ จากรูป เมื่อโปรเซสเท่ากับ 1 โปรเซส ลินุกซ์คลัสเตอร์ใช้เวลาประมวลผลมากกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 เนื่องจากข้อจำกัดของโอเพนโมซิกที่ไม่สามารถแบ่งโปรเซสเป็นเทรดย่อย ๆ เพื่อส่งให้โหมดคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณได้ กรณีนี้ เครื่อง iserver ทำหน้าที่ประมวลผล

เพียงตัวเดียว ซึ่งมีความเร็วต่ำกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ลินุกซ์คลัสเตอร์ใช้เวลาประมวลผลเท่ากับ 51 วินาที ส่วนคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ใช้เวลาประมวลผล 35.5 วินาที

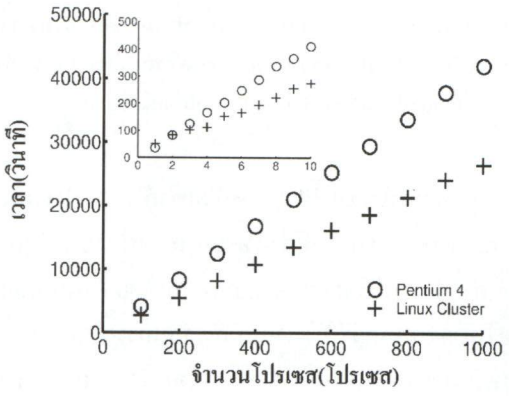


รูปที่ 1 โครงสร้างของลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

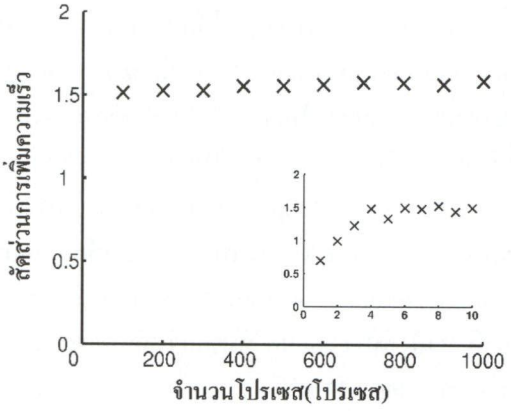


รูปที่ 2 ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เมื่อโปรเซสเท่ากับ 2 โปรเซส ลินุกซ์คลัสเตอร์ใช้เวลาประมวลใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ลินุกซ์คลัสเตอร์ใช้เวลาประมวลผลเท่ากับ 82.9 วินาที ในขณะที่คอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ใช้เวลาประมวลผล 83.6 วินาที เมื่อโปรเซสมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ลินุกซ์คลัสเตอร์ใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ในกรณีนี้ ลินุกซ์คลัสเตอร์จะแบ่งโปรเซสทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน แล้วส่งไปประมวลผลด้วยเครื่อง iserver, inode1 และ inode2 พร้อม ๆ กัน



รูปที่ 3 เปรียบเทียบเวลาการประมวลผลต่อจำนวนโปรเซส



รูปที่ 4 สัดส่วนการเพิ่มความเร็วที่จำนวนโปรเซสต่าง ๆ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมและจำนวนคำสั่งที่สามารถประมวลผลได้ใน 1 วินาที

ระบบคำนวณ	Mflops	MIPS
Pentium 4(3.0GHz)	545	959
Linux Cluster	1,075	2,235

รูปที่ 4 แสดงสัดส่วนการเพิ่มความเร็ว (Speedup) เมื่อเทียบกับจำนวนโปรเซสที่ประมวลผล สัดส่วนการเพิ่มความเร็วคำนวณโดยสมการ

$$S_n = \frac{T_1}{T_p} \qquad (1)$$

เมื่อ S_n คือสัดส่วนการเพิ่มความเร็ว เมื่อประมวลผล n โปรเซส
T_i คือเวลาประมวลผลของคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 (วินาที)
T_p คือเวลาประมวลผลของลินุกซ์คลัสเตอร์(วินาที)

กรณีที่โปรเซสน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 โปรเซส สัดส่วนการเพิ่มความเร็วมีค่าต่ำกว่าหนึ่ง เนื่องจากลินุกซ์คลัสเตอร์ใช้เวลาประมวลผลมากกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 เมื่อโปรเซสมากกว่า 2 โปรเซส สัดส่วนการเพิ่มความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนโปรเซส โดยสัดส่วนการเพิ่มความเร็วลู่เข้าที่ค่าประมาณ 1.6 เท่า

การวัดความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมของลินุกซ์คลัสเตอร์ ผู้เขียนได้วัดความสามารถการประมวลผลเลขทศนิยมในเวลา 1 วินาทีและจำนวนคำสั่งที่สามารถประมวลผลได้ในเวลา 1 วินาที จากตารางที่ 1 ลินุกซ์คลัสเตอร์มีความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมเท่ากับ 1,075Mflops มากกว่าคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซีพียูเพนเทียม 4 ประมาณ1.97 เท่า และลินุกซ์คลัสเตอร์สามารถประมวลผลคำสั่งได้เท่ากับ 2,235 ล้านคำสั่งในเวลา 1 วินาที คำสั่งที่ประมวลผลได้มากกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ประมาณ 2.33 เท่า

4. สรุป

บทความนี้ นำเสนอรายงานผลการออกแบบและติดตั้งระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ออกแบบเป็นระบบปิด พัฒนาขึ้นจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่อง iserver ทำหน้าที่เป็นโหมดหลักและเกตเวย์สำหรับเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต และเครื่อง inode1 กับ inode2 เป็นโหมดคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ช่วยในการประมวลผล ระบบปฏิบัติการที่ใช้เป็นลินุกซ์เรดแฮทรุ่น 7.3 ร่วมกับโอเพนโมซิกเคอร์เนลรุ่น 2.4 จากการทดสอบประสิทธิภาพการประมวลผลของลินุกซ์คลัสเตอร์เปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซีพียูเพนเทียม 4 ความเร็ว 3.0GHz และมีหน่วยความจำแบบ DDR ขนาด 1GB พบว่า ลินุกซ์คลัสเตอร์มีความสามารถการประมวลผลเลขทศนิยมในเวลา 1 วินาที และจำนวนคำสั่งที่สามารถประมวลผลได้ในเวลา 1 วินาทีของลินุกซ์คลัสเตอร์มากกว่าคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 ลินุกซ์คลัสเตอร์มีความสามารถการประมวลผลเลขทศนิยมในเวลา 1 วินาที และจำนวนคำสั่งที่สามารถประมวลผลได้ในเวลา 1 วินาทีเท่ากับ 1,075 Mflops และ 2,235 MPIS ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยและเขียนบทความฉบับนี้ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการระบบควบคุมและอาจารย์สมชาย เบียนสูงเนิน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำงาน รวมถึงอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. McCormick, P.S. and Anrens, J.P., "Visualization of wildfire simulations", Computer Graphics and Applications, IEEE, Vol. 18, Issue 2, March-April 1998, pp. 17 - 19.
2. Kwan-Liu Ma and et al., "Visualizing Very Large-Scale Earthquake Simulations", Supercomputing, Proceedings of the ACM/ IEEE SC2003 Conference.
3. Peng Wen and Yan Li, "Constructing head models by computation", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 19, Issue 6, Nov.-Dec. 2000, pp. 82 - 87.
4. N. Morales and et al., "Field Solution in Polluted Insulators with Non-Symmetric Boundary Conditions", IEE E Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.8 No. 2, April 2001.
5. Ayoub, M. and et al., "Numerical modelling of 3D magnetostatic saturated structures with

a hybrid FEM-BEM technique", IEEE Trans action on Magnetics, Vol. 28, Issue 2, Mar 1992 pp. 1052 - 1055.

6. นิติพงศ์ ปานกลาง, "การลดเวลาการคำนวณสนามไฟฟ้าโดยใช้ตัวปรับสภาพล่วงหน้าแบบแยกตัวประกอบแอลยูไม่บริบูรณ์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 28, 20-21 ต.ค. 2548.
7. How to Build a Beowulf: A Tutorial, http://www.cacr.caltech.edu/beowulf/tutorial/tutorial.html
8. GNU General Public License, http://www.gnu.org
9. Kris Buytaert and et al., "The OpenMosix How To", http://howto.ipng.be/Mosix-HOWTO/
10. M. Michels and W. Borremans, "Clustering with OpenMosix", Master program System and Network Engineering, University of Amsterdam, 2005.

ประวัติผู้เขียน

นิติพงศ์ ปานกลาง วศ.บ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2542 วศ.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2547 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สาขางานวิจัยที่สนใจได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูงด้วยวิธีเชิงตัวเลข