

บทที่ 1

บทนำ

นับตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 โอเพนเอ็มพีได้รับการยอมรับให้เป็นส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์หรือเอพีไอมาตรฐาน สำหรับการพัฒนาโปรแกรมบนระบบคอมพิวเตอร์เชิงขนานแบบใช้หน่วยความจำร่วม ซึ่งรวมถึงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีหน่วยประมวลผลแบบชิปมัลติโพรเซสเซอร์ด้วย เอพีไอของโอเพนเอ็มพีอาศัยความสามารถของคอมไพเลอร์ เพื่อสร้างโปรแกรมประมวลผลแบบขนาน โดยแบ่งงานประมวลผลออกเป็นหลายเทรตตามคำสั่งที่โปรแกรมเมอร์ระบุไว้ในโปรแกรม เอพีไอของโอเพนเอ็มพีมีคำสั่งกำกับที่ระบุให้แต่ละเทรตช่วยกันประมวลผลลูบให้เสร็จเร็วขึ้น ด้วยการแบ่งจำนวนการวนรอบในลูบเดิมออกเป็นการวนรอบน้อยครั้งในหลายลูบย่อย และให้แต่ละเทรตรับผิดชอบแต่ละลูบย่อย การแบ่งงานประมวลผลที่ลูบโดยวิธีใส่คำสั่งกำกับเช่นนี้ เป็นแนวทางพัฒนาโปรแกรมเชิงขนานที่นอกจากจะทำได้เร็วกว่าวิธีอื่นแล้วยังได้โปรแกรมที่มีลักษณะสอดคล้องกับสถาปัตยกรรมเชิงขนานแบบใช้หน่วยความจำร่วมเป็นอย่างดี จึงทำให้โอเพนเอ็มพีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาโปรแกรมเชิงขนานบนระบบคอมพิวเตอร์แบบชิปมัลติโพรเซสเซอร์เป็นอย่างยิ่ง

โอเพนเอ็มพีมีคำสั่งกำกับคอมไพเลอร์ที่ใช้แบ่งงานประมวลผลที่ลูบ และมีข้อกำหนดเพื่อระบุวิธีการแจกตัวนับลูบให้แต่ละเทรตอยู่สามรูปแบบ โปรแกรมเมอร์จึงสามารถเลือกวิธีแจกลูบที่กระจายงานในลูบให้แต่ละเทรตได้อย่างสมดุล เพื่อให้ทุกเทรตในโปรแกรมเชิงขนานทำงานประมวลผลพร้อมกันได้มากที่สุด ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเร็วในการทำงานของโปรแกรมเชิงขนาน คือ การเลือกวิธีการแจกตัวนับลูบที่สอดคล้องกับสถาปัตยกรรมของแคช ดังนั้นโปรแกรมเมอร์จึงใช้ซอฟต์แวร์จำลองเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะ เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี โดยพิจารณาการใช้คำสั่งกำกับคอมไพเลอร์ที่ละส่วน แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ไปใช้ปรับเลือกรูปแบบคำสั่งกำกับที่กระจายงานให้แต่ละเทรตได้สมดุลสอดคล้องกับคุณลักษณะการใช้ข้อมูลของโปรแกรม และเหมาะสมกับสถาปัตยกรรมของแคชมากที่สุด กล่าวคือ เป็นรูปแบบคำสั่งที่ทำให้การอ่านเขียนข้อมูลส่วนใหญ่ทำเสร็จที่แคช โดยไม่ต้องรอข้อมูลจากหน่วยความจำ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลวิจัยที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่าการแจกตัวนับลูบไปยังเทรตให้สอดคล้องกับสถาปัตยกรรมของแคชนั้น เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่แคช

และสมรรถนะของโปรแกรมเชิงขนานแบบโอเพนเอ็มพีเป็นอย่างมาก แต่เครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะในปัจจุบันยังคงนำเสนอการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชที่เป็นผลจากการประมวลผลคำสั่งในแบบขนานได้จำกัด เนื่องจากเครื่องมือส่วนใหญ่สามารถนำเสนอข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว จึงมักจะแสดงคุณลักษณะเชิงสมรรถนะของโปรแกรมในภาพรวม โดยใช้เวลาประมวลผลและปริมาณงานเป็นหน่วยสะท้อนสมรรถนะ ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มทางเลือกให้กับโปรแกรมเมอร์โอเพนเอ็มพีและลดข้อจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะในปัจจุบัน โดยเสนอโครงงานวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี ชื่อว่า พี-สเปา (Parallel program analysis using a Simics-based, Performance Analyzer) ที่สามารถนำเสนอการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชได้ชัดเจนขึ้น โดยการวิเคราะห์สมรรถนะส่วนงานประมวลผลแบบขนานภายในรูป รวมถึงวิธีการแจกตัวนับรูปประมวลผลไปยังแต่ละเทร็ดเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเลือกใช้รูปแบบคำสั่งกำกับที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของโปรแกรม

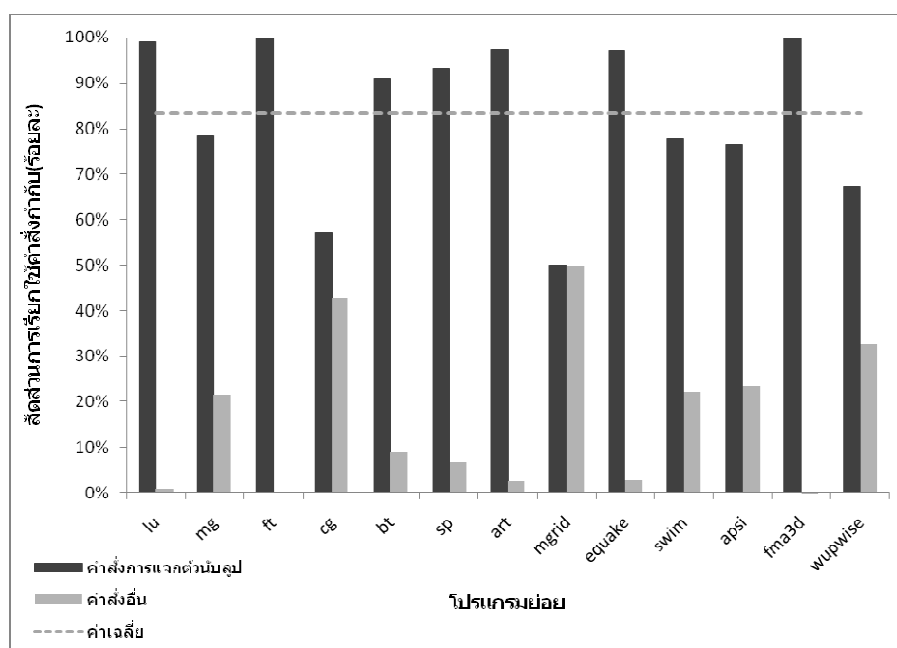
ในบทนำนี้ กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ และในส่วนท้ายของบทนี้จะเกริ่นนำเนื้อหาและประเด็นสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยสังเขป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

โอเพนเอ็มพีเป็นส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์หรือเอพีไอ (API ย่อมาจาก Application program interface) เพื่อใช้พัฒนาโปรแกรมเชิงขนาน ที่ได้รับการยอมรับให้เป็นมาตรฐานบนสถาปัตยกรรมเชิงขนานแบบใช้หน่วยความจำร่วม เอพีไอของโอเพนเอ็มพีประกอบด้วย คำสั่งกำกับคอมไพเลอร์ (Compiler directives) ไลบรารีรวมฟังก์ชันสำเร็จ (Library routines) และ ตัวแปรกำหนดสภาพแวดล้อมในการประมวลผล (Environment variables) ที่โปรแกรมเมอร์นำสิ่งเหล่านี้มาใช้เขียนแทรกลงไปโปรแกรมภาษาซี ซีพลัสพลัส และฟอร์แทรน ทำให้โปรแกรมสามารถประมวลผลแบบขนานโดยวิธีการแบ่งงานประมวลผลบนหลายเทร็ดได้ เอพีไอของโอเพนเอ็มพีอาศัยความสามารถของคอมไพเลอร์ เพื่อสร้างโปรแกรมเชิงขนานแบบหลายเทร็ด (Parallel multithreading program) โดยคอมไพเลอร์จะอ่านคำสั่งกำกับที่ถูกระบุไว้ภายในโปรแกรม ก่อนที่จะสร้างเทร็ดและควบคุมการทำงานร่วมกันระหว่างเทร็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ

ด้วยเหตุที่โอเพนเอ็มพีเป็นแนวทางพัฒนาโปรแกรมเชิงขนานด้วยวิธีการแทรกคำสั่งกำกับลงในโปรแกรมแบบลำดับ ประกอบกับการที่โอพีไอของโอเพนเอ็มพี มีจำนวนน้อยและมีไวยากรณ์ที่ไม่ซับซ้อน จึงทำให้ออเพนเอ็มพีได้รับความนิยมในกลุ่มโปรแกรมเมอร์ซึ่งไม่ใช่ผู้ที่เรียนทางด้านคอมพิวเตอร์มาโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อการสร้างงานประมวลผลทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เชิงขนานอย่างรวดเร็ว การ์โยและบานีเชสกุ (Cariño & Banicescu, 2008) ได้ชี้ให้เห็นว่าโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์โดยส่วนใหญ่มีการคำนวณซับซ้อน และมักจะสูญเสียเวลาไปกับการประมวลผลในรูป ผลงานวิจัยนี้ยืนยันการค้นพบของเฟรดริกสันและคณะ (Fredrickson *et al.*, 2003) ที่วิเคราะห์ตัวแทนของงานประมวลผลทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ด้วยโปรแกรมวัดเปรียบเทียบสมรรถนะเอ็นพีบี 3.0 (NPB 3.0) ขององค์การนาซ่า และโปรแกรมสเปกโอเอ็มพีแอล 2001 (SPEC OMPL2001) ของสถาบันสเปก พบว่า สัดส่วนของการเรียกใช้คำสั่งกำกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลแบบขนานที่ระดับลูปมีค่าเฉลี่ยถึงร้อยละ 83 ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของบลิกเบิร์กและโซเรวิก (Blikberg & Sorevik, 2005) ที่ชี้ให้เห็นว่า คำสั่งกำกับในโอเพนเอ็มพีที่ระบุให้มีการประมวลผลแบบขนานที่ระดับลูป (Loop-level parallelism) นั้นเป็นคำสั่งกำกับที่นิยมใช้และมีผลกระทบต่อสมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพีมากที่สุด

ภาพที่ 1.1 สัดส่วนการเรียกใช้คำสั่งกำกับคอมพิวเตอร์ในชุดโปรแกรมเอ็นพีบี 3.0 และสเปกโอเอ็มพีแอล 2001 (Fredrickson *et al.*, 2003)



โอเพนเอ็มพีมีคำสั่งกำกับคอมไพเลอร์เพื่อใช้ประมวลผลรูปแบบขนานเฉพาะกับลูปชนิดทราบนขอบเขตของตัวนับ (For loop) โดยมีคำสั่งสองรูปแบบคือ การแจกตัวนับลูปโดยไม่สร้างเทร็ดเพิ่ม และการแจกตัวนับลูปพร้อมทั้งสร้างเทร็ดเพิ่ม¹ โปรแกรมเมอร์สามารถใช้คำสั่งกำกับทั้งสองรูปแบบเพื่อระบุให้คอมไพเลอร์ทราบว่า การประมวลผลในลูปที่อยู่ถัดไปจากคำสั่งกำกับสามารถแบ่งตัวนับลูปออกไปประมวลผลบนแต่ละเทร็ดได้ นอกจากนี้ โอเพนเอ็มพียังอนุญาตให้โปรแกรมเมอร์สามารถกำหนดการแบ่งประมวลผลในลูปซ้อนกันมากกว่าหนึ่งระดับ (Nested parallelism) ได้อีกด้วย เพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะการประมวลผลของโปรแกรมให้สูงขึ้น (Blikberg & Sorevik, 2005) แต่อย่างไรก็ตาม สมรรถนะการประมวลผลแบบขนานที่ระดับลูปนั้น ขึ้นอยู่กับวิธีการแจกตัวนับลูปเพื่อสร้างสมดุลของภาระงาน (Load balancing) ที่กระจายไปยังแต่ละเทร็ดด้วย (Ayguadé *et al.*, 2003) ด้วยเหตุนี้โอเพนเอ็มพีจึงมี *ข้อกำหนด (Clause)* เพื่อระบุวิธีการแจกตัวนับลูปไปยังแต่ละเทร็ดอยู่สามวิธีได้แก่ การแจกตัวนับลูปแบบกำหนดตายตัว การแจกตัวนับลูปเมื่อโปรแกรมประมวลผล และการแจกตัวนับลูปแบบปรับขนาดตามข้อมูลเมื่อโปรแกรมประมวลผล (**schedule** แบบ **static/dynamic/guided**) โปรแกรมเมอร์สามารถเลือกใช้ข้อกำหนดเหล่านี้ต่อท้ายคำสั่งกำกับ เพื่อควบคุมการแบ่งตัวนับลูปไปประมวลผลยังแต่ละเทร็ดได้

การเลือกใช้คำสั่งกำกับคอมไพเลอร์ ให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของโปรแกรม เป็นงานที่นอกจากโปรแกรมเมอร์จะต้องเข้าใจคุณลักษณะของโปรแกรมเป็นอย่างดีแล้ว ยังต้องมีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมของแคชอีกด้วย แต่เนื่องจากโปรแกรมเมอร์ที่พัฒนาโปรแกรมด้วยโอเพนเอ็มพีนั้นอาจจะไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ จึงมีงานวิจัยหลายชิ้นนำเสนอเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี (Mohr & Wolf, 2003; Furlinger & Gerndt, 2005; Hernandez *et al.*, 2005) และโปรแกรมวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ (Bull, 1999) เพื่อช่วยให้โปรแกรมเมอร์ทั่วไปสามารถวิเคราะห์สมรรถนะของโปรแกรม แต่ละส่วนที่ใช้คำสั่งกำกับคอมไพเลอร์ ซึ่งในที่นี้รวมทั้งส่วนที่มีคำสั่งกำกับให้ประมวลผลแบบขนานที่ระดับลูป และส่วนข้อกำหนดเพื่อระบุวิธีการแบ่งตัวนับลูปไปยังแต่ละเทร็ดอีกด้วย โดยส่วนใหญ่เครื่องมือเหล่านี้สะท้อนภาพรวมเกี่ยวกับสมรรถนะของโปรแกรม โดยการจับเวลาการประมวลผล (Execution time) ที่มีหน่วยเป็นวินาที และปริมาณงานที่ได้ (Throughput) ซึ่งมักจะวัดจากจำนวนงานประมวลผลเลขจำนวนจริงที่ทำเสร็จในหนึ่งวินาที ที่มีหน่วยเป็น ฟลอปส์ (FLOPS)

¹ **for** กับ **parallel for** สำหรับภาษาซี และซีพลัสพลัส, **do** กับ **parallel do** สำหรับภาษาฟอร์แทรน ซึ่งคำสั่ง **for** และ **do** ต้องประกาศใช้ภายใต้พื้นที่ของโปรแกรมที่ประกาศใช้คำสั่ง **parallel** ไว้ก่อนล่วงหน้าแล้วเท่านั้น

งานวิจัยของอายกัวเดและคณะ (Ayguadé *et al.*, 2003) แสดงให้เห็นว่า วิธีการแจกตัวนับรูปเพื่อประมวลผลแบบขนานมีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่แคช (Cache utilization) ทั้งในแง่ประสิทธิภาพการทำงาน คุณลักษณะการเข้าถึงข้อมูลในแคช และคุณสมบัติการเข้าถึงพื้นที่ข้อมูล หรือคุณสมบัติของพื้นที่เก็บข้อมูล (Data locality) และในขณะเดียวกันงานวิจัยของนาคาโนะ (Nakano *et al.*, 2003) แสดงให้เห็นว่า สถาปัตยกรรมของแคชก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแจกตัวนับรูปไปยั้งแต่ละเทรตด้วย อย่างไรก็ตามแม้ผลวิจัยที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่า การแจกตัวนับรูปเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชและสมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี แต่เครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะที่มีในปัจจุบัน ยังคงนำเสนอการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชซึ่งเป็นผลจากการประมวลผลคำสั่งในรูปแบบขนานได้จำกัด ดังนั้นหากมีเครื่องมือวิเคราะห์ที่สามารถสะท้อนสมรรถนะการประมวลผลแบบขนานที่ระดับรูป ซึ่งประกอบด้วยประสิทธิภาพการทำงานของแคช คุณลักษณะการเข้าถึงข้อมูลในแคช และคุณสมบัติของพื้นที่เก็บข้อมูล ข้อมูลสมรรถนะเหล่านี้จะช่วยให้โปรแกรมเมอร์สามารถเลือกใช้คำสั่งการแจกตัวนับรูปที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของโปรแกรมได้ดีขึ้น

จากความสำคัญของการประมวลผลแบบขนานที่ระดับรูปของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เวลาประมวลผลมากที่สุดของโปรแกรม งานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มทางเลือกให้กับผู้พัฒนาโปรแกรมโอเพนเอ็มพี และเสนอการลดข้อจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะในปัจจุบัน โดยการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี ชื่อว่า พี-สเปา ที่สามารถแสดงข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชได้ชัดเจนขึ้น โดยยให้เครื่องมือดังกล่าวมีคุณลักษณะการทำงานสองประการ คือ (1) เครื่องมือสามารถวิเคราะห์สมรรถนะการประมวลผลแบบขนานที่ระดับรูป และการแจกตัวนับรูปบนโปรแกรมที่พัฒนาด้วยโอเพนเอ็มพี เนื่องจากการประมวลผลแบบขนานที่ระดับรูปเป็นส่วนที่ใช้เวลาประมวลผลมากที่สุดของโปรแกรม และ (2) เครื่องมือสามารถนำเสนอข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่แคช ที่ประกอบด้วยประสิทธิภาพการทำงานของแคช คุณลักษณะเข้าถึงข้อมูลในแคช และคุณสมบัติของพื้นที่เก็บข้อมูล เพื่อให้โปรแกรมเมอร์นำไปเลือกใช้คำสั่งการแจกตัวนับรูปที่ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชสูงที่สุด

1.2 คำจำกัดความของศัพท์เฉพาะ

โอเพนเอ็มพี (OpenMP) (ย่อมาจาก Open multi-processing) หมายถึง ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์หรือเอพีไอการเขียนโปรแกรมบนภาษาซี ซีพลัสพลัส และฟอร์แทรน สำหรับระบบคอมพิวเตอร์เชิงขนาน ที่มีสถาปัตยกรรมแบบใช้หน่วยความจำร่วม (Shared memory multiprocessing)

สถาปัตยกรรมเชิงขนาน (Parallel architecture) หรือ ระบบคอมพิวเตอร์เชิงขนาน (Parallel computer) หมายถึง สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์หรือระบบคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลตั้งแต่สองหน่วยขึ้นไป

การประมวลผลแบบขนาน (Parallel processing) หมายถึง การประมวลผลโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็นส่วนย่อย และประมวลผลส่วนย่อยหลายส่วนพร้อมกันได้ ซึ่งระดับการแบ่งส่วนประมวลผลสามารถแบ่งได้หลายระดับ เช่น ระดับบิต (Bit-level parallelism) ระดับคำสั่ง (Instruction-level parallelism) ระดับข้อมูล (Data-level parallelism) ระดับลูป (Loop-level parallelism) ระดับเธรด (Thread-level parallelism) และระดับงาน (Task-level parallelism)

โปรแกรมเชิงขนาน (Parallel program) หมายถึง โปรแกรมที่มีการประมวลผลแบบขนาน

ระบบเชิงขนาน (Parallel system) หมายถึง ระบบที่ใช้เรียกรวมระหว่างระบบคอมพิวเตอร์เชิงขนานและโปรแกรมเชิงขนานเข้าเป็นระบบเดียวกัน เพื่อใช้อ้างอิงสำหรับการวัดสมรรถนะของระบบ โดยที่ระบบคอมพิวเตอร์เชิงขนานเดียวกันแต่ประมวลผลโปรแกรมเชิงขนานไม่เหมือนกัน ถือว่าในช่วงเวลาที่ประมวลผลโปรแกรมเชิงขนานเหล่านั้น เป็นระบบเชิงขนานคนละระบบ

ระบบคอมพิวเตอร์เป้าหมาย (Target system) หมายถึง แพลตฟอร์มที่ต้องการศึกษาและถูกจำลองการทำงานขึ้นบนระบบจำลอง

โปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี หมายถึง โปรแกรมเชิงขนานที่พัฒนาด้วยโอเพนเอ็มพี

สมรรถนะของโปรแกรม หมายถึง ความสามารถในการประมวลผลของโปรแกรม ซึ่งข้อมูลที่ให้สะท้อนสมรรถนะหรือที่เรียกว่า หน่วยวัดสมรรถนะ มีให้เลือกใช้อยู่หลายหน่วยขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการประเมินสมรรถนะ เช่น เวลาประมวลผล และอัตราการไม่พบข้อมูลในแคช

1.3 วัตถุประสงค์

งานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้มีเป้าหมาย เพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะ ชื่อว่า พี-สปา ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โปรแกรมที่พัฒนาด้วยโอเพนเอ็มพี ที่ประมวลผลบนชิปมัลติโพรเซสเซอร์ ทั้งนี้ เพื่อให้งานวิจัยดำเนินการไปตามเป้าหมายดังกล่าว จึงกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยไว้ห้าข้อดังนี้

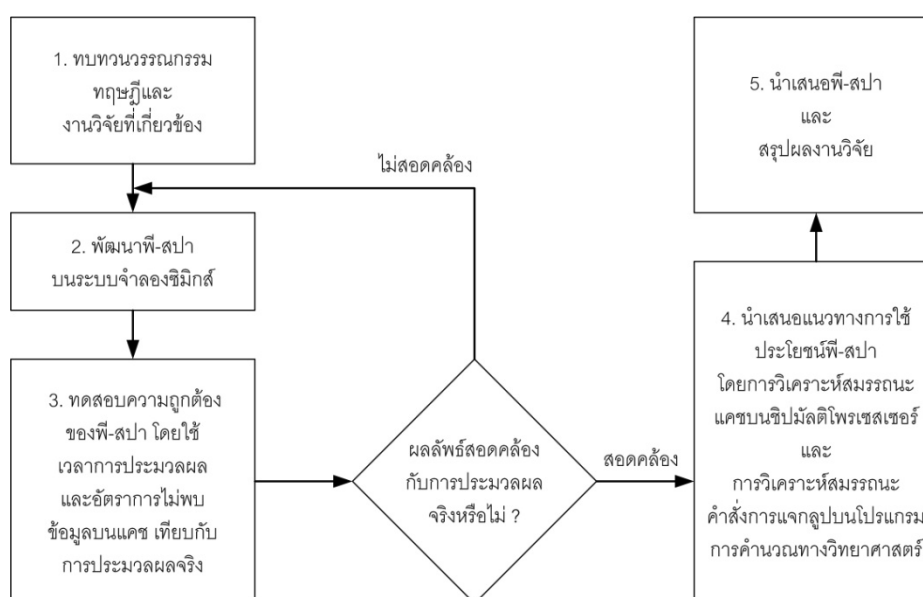
1. เพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะ ที่ใช้เทคนิคการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดคุณลักษณะเฉพาะหรือโพรไฟลิง (Profiling) ซึ่งงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้พัฒนาเครื่องมือดังกล่าวเพิ่มเติมบนระบบจำลองซิมิกส์ (Magnusson *et al.*, 2002)
2. เพื่อพัฒนาให้เครื่องมือสามารถวิเคราะห์สมรรถนะส่วนของโปรแกรม ที่ประมวลผลแบบขนานที่ระดับลูปด้วยคำสั่งกำกับคอมไพเลอร์เพื่อแบ่งตัวนับลูป ทั้งคำสั่ง **for** กับ **parallel for** ในภาษาซี/ซีพลัสพลัส ไม่ว่าจะเป็นการใช้คำสั่งกำกับอย่างเดี่ยว หรือใช้ควบคู่กับข้อกำหนดวิธีการแจกตัวนับลูปให้กับเทรด (**schedule**) ทั้งสามรูปแบบ (**static/dynamic/guided**)
3. เพื่อพัฒนาให้เครื่องมือสามารถนำเสนอ เวลาประมวลผล อัตราการไม่พบข้อมูลในแคช ชนิดของการไม่พบข้อมูลในแคช และคุณสมบัติของพื้นที่เก็บข้อมูล เป็นข้อมูลที่ใช้สะท้อนสมรรถนะของโปรแกรม
4. เพื่อยืนยันความถูกต้องของเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะพี-สปา ด้วยการประมวลผลโปรแกรมเอ็นพีบี 2.3 (Jin *et al.*, 1999) ขององค์การนาซ่า และใช้ข้อมูลเวลาในการประมวลผลและอัตราการไม่พบข้อมูลในแคช เปรียบเทียบกับการประมวลผลบนระบบคอมพิวเตอร์จริง

5. เพื่อนำเสนอแนวทางการใช้เครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะพี-สปา โดยการวิเคราะห์สมรรถนะของแคชบนชิปมัลติโพรเซสเซอร์ และวิเคราะห์เพื่อเลือกคำสั่งการแจกตัวนับลูบที่เหมาะสมกับโปรแกรมการคำนวณทางวิทยาศาสตร์

1.4 สรุปขั้นตอนการทำวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะสำหรับโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี เพื่อให้การทำวิจัยบรรลุได้ตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนห้าขั้นตอน (ภาพที่ 1.2) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ภาพที่ 1.2 ขั้นตอนการทำวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะพี-สปา



1. การทบทวนวรรณกรรม ความรู้พื้นฐาน ทฤษฎีและงานวิจัยที่ก่อให้เกิดแนวทางการทำงานวิจัยชิ้นนี้ และศึกษาเพื่อคัดเลือกระบบจำลองที่นำมาใช้พัฒนาในงานวิจัยนี้

2. การพัฒนาเครื่องมือพี-สปา เมื่อทบทวนวรรณกรรมแล้วพบว่า ระบบจำลองซิมิกส์มีลักษณะการออกแบบและเครื่องมือพร้อมใช้ ที่สอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการพัฒนา และดำเนินการพัฒนาเครื่องมือพี-สปาให้สามารถคัดคุณลักษณะเฉพาะของโปรแกรมหรือทำโพรไฟลิง จากโปรแกรมที่ประมวลผลบนระบบจำลองซิมิกส์

3. การทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือพี-สปา งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมเอ็นพีบี 2.3 ที่พัฒนาด้วยโอเพนเอ็มพีขององค์การนาซ่า เป็นโปรแกรมวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ โดย

วิธีการยืนยันความถูกต้องได้ใช้เวลาการประมวลผลและอัตราการไม่พบข้อมูลในแคชของโปรแกรม ที่ประมวลผลบนระบบจำลองเปรียบเทียบกับเวลาการประมวลผลบนระบบคอมพิวเตอร์จริง

4. การนำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์เครื่องมือพี-สเปค ผู้วิจัยได้ใช้พี-สเปควิเคราะห์บนสามงานทดลอง ประกอบด้วย การเปรียบเทียบสมรรถนะสถาปัตยกรรมของแคชบนชิปมัลติโพรเซสเซอร์ การเปรียบเทียบสมรรถนะคำสั่งแจกตัวนับรูปแบบโปรแกรมหาค่าจำนวนเฉพาะและฟังก์ชันการคูณเมทริกซ์

5. การสรุปผลงานวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 1.4 นั้น อยู่ภายใต้ขอบเขตของการวิจัยทั้งสิ้นห้าประการ ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้กำหนดไว้เพื่อเป็นกรอบการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะพี-สเปค ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และสามารถกรองเฉพาะประเด็นที่สำคัญซึ่งเป็นเป้าหมายของการทำวิจัย ออกจากรายละเอียดที่ยังไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับวัตถุประสงค์ได้ ขอบเขตของการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือสามารถประมวลผลโปรแกรมที่พัฒนาด้วยเอพีไอของโอเพนเอ็มพีเวอร์ชัน 2.5 บนภาษาซีและซีพลัสพลัส

2. เครื่องมือสามารถวิเคราะห์สมรรถนะส่วนของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี ที่ใช้คำสั่งกำกับเพื่อแจกตัวนับรูป ทั้งในรูปแบบ **for** และ **parallel for** ที่ระบุโดดเดี่ยว หรือระบุควบคู่กับข้อกำหนดเพื่อแจกตัวนับรูปให้กับเทรด (**schedule**) ทั้งสามรูปแบบ (**static/dynamic/guided**)

3. เครื่องมือสามารถรองรับกลไกรักษาความสอดคล้องของข้อมูลในแคช ตามโพรโทคอลเมซี (MESI cache coherence protocol) (Patterson & Hennessy, 1990)

4. เครื่องมือสามารถรองรับชิปมัลติโพรเซสเซอร์ที่ใช้ชุดคำสั่งอินเทล x86_64 ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์เท่านั้น

5. เครื่องมือสามารถนำเสนอ เวลาประมวลผล อัตราการไม่พบข้อมูลในแคช ชนิดของการไม่พบข้อมูลในแคช และคุณสมบัติของพื้นที่เก็บข้อมูล เป็นข้อมูลที่ใช้สะท้อนสมรรถนะของโปรแกรม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ภายใต้ขอบเขตการวิจัยที่กำหนดไว้ ผลงานวิจัยชิ้นนี้คาดว่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

1. ได้เครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี ที่ใช้วิเคราะห์ส่วนงานประมวลผลแบบขนานภายในลูป รวมถึงวิธีแจกตัวนับลูปไปยังแต่ละเทร็ด โดยที่เครื่องมือสามารถนำเสนอข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชได้
2. ได้แนวทางการพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะสำหรับโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพี เพื่อให้มีสมรรถนะการประมวลผลสูงขึ้น โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของเครื่องมือไปเลือกใช้คำสั่งกำกับกับคอมไพเลอร์ให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของโปรแกรมมากที่สุด
3. ได้แนวทางการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะบนระบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์เชิงขนานประเภทอื่น เช่น ระบบคลัสเตอร์ หรือของโปรแกรมเชิงขนานแบบอื่น เช่น โปรแกรมเชิงขนานแบบรับส่งข้อความ
4. ได้แนวทางการเปรียบเทียบสถาปัตยกรรมของแคชบนชิปมัลติโพรเซสเซอร์ เพื่อเลือกใช้สถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของโปรแกรม
5. ได้แนวทางการปรับปรุงสมรรถนะของโปรแกรมการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ โดยการเลือกใช้คำสั่งการแจกตัวนับลูปที่เหมาะสมกับโปรแกรม

1.7 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็นเจ็ดบท ในบทแรกนี้คือ บทนำ ซึ่งสรุปภาพรวมของวิทยานิพนธ์ เนื้อความในบทถัดไปสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง โปรแกรมเชิงขนานแบบโอเพนเอ็มพี ชิปมัลติโพรเซสเซอร์ เทคนิคการวิเคราะห์สมรรถนะด้วยระบบจำลอง และหน่วยวัดสมรรถนะและการใช้ประโยชน์พื้นที่แคช

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของการประมวลผลเชิงขนานที่ระดับลูป งานวิจัยที่การพัฒนาเครื่องมือปรับสมรรถนะการใช้ประโยชน์พื้นที่แคชแบบอัตโนมัติ งานวิจัยที่เพิ่มสมรรถนะของโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพีด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะ งานวิจัยที่เพิ่มสมรรถนะโปรแกรมแบบโอเพนเอ็มพีด้วยระบบจำลอง และในส่วนสุดท้ายกล่าวถึง แนวคิดใหม่ของพี-สเปซซึ่งต่อยอดจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 4 วิธีการวิจัย กล่าวถึง การคัดเลือกระบบจำลองที่นำไปใช้งานวิจัย การพัฒนาเครื่องมือพี-สปา วิธีการวิเคราะห์สมรรถนะโปรแกรม การนำเสนอข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่แคช และการทดสอบความถูกต้องของพี-สปา

บทที่ 5 การทดลองเบื้องต้น กล่าวถึง การทดลองเบื้องต้นที่ได้ทำการทดลองระหว่างพัฒนาเครื่องมือพี-สปา ซึ่งมีสามการทดลองประกอบด้วย การทดลองเพื่อคัดเลือกคำสั่งการแจกตัวนับรูป บนชุดโปรแกรมเอ็นพีบี 2.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะแคชระดับที่ 2 บนชิปมัลติโพรเซสเซอร์ และการวิเคราะห์คุณสมบัติการใช้พื้นที่เก็บข้อมูลของฟังก์ชันการคูณเมทริกซ์แบบขนาน

บทที่ 6 กล่าวถึง แนวทางวิเคราะห์และปรับสมรรถนะของโปรแกรมโอเพนเอ็มพีโดยใช้พี-สปา ซึ่งได้ใช้พี-สปาทำการทดลองสามงานทดลอง ประกอบด้วย การศึกษาผลกระทบของคุณสมบัติการเข้าถึงข้อมูลที่มีต่อระบบบัสบนชิปมัลติโพรเซสเซอร์ ศึกษาแนวทางการปรับสมรรถนะโปรแกรมหาค่าจำนวนเฉพาะ ซึ่งมีภาระงานที่ไม่สมดุล และศึกษาแนวทางการปรับสมรรถนะฟังก์ชันการคูณเมทริกซ์แบบขนาน ซึ่งมีอัตราการใช้ข้อมูลร่วมกันระหว่างเทรตสูง

บทที่ 7 สรุปวิทยานิพนธ์และข้อเสนอแนะ ซึ่งเป็นการสรุปของงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และกล่าวถึงข้อเสนอแนะของแนวทางงานวิจัยในอนาคต