

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้หลักการสังเคราะห์วงจรตรรกเชิงลำดับ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาซอฟต์แวร์ตัวก่อกำเนิดโปรแกรมสำหรับระบบควบคุมที่ใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมหลัก กระบวนการสังเคราะห์สมการตรรก ผ่านการทำงานของซอฟต์แวร์ 5 ขั้นตอนดังนี้

- 1) การกำหนดพฤติกรรมการทำงานของระบบควบคุม
- 2) การสร้างตารางสถานะต่อไปจากการกำหนดพฤติกรรมของระบบควบคุม
- 3) การแยกอนเซตของเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตออกมาจากรายตารางสถานะต่อไป
- 4) การลดทอนของสมการให้มีขนาดเล็กที่สุด
- 5) การแปลงสมการตรรกสองระดับเป็นสมการตรรกหลายระดับ

หลังจากการสังเคราะห์เพื่อให้ได้สมการทางตรรกเรียบร้อยแล้ว สมการทางตรรกจะถูกเก็บอยู่ในโครงสร้างข้อมูลที่เรียกว่าบูลีนเอ็กซ์เพรสชันทรี รหัสบีโมนิคส์ ของพีแอลซีได้จากการแปลงสมการตรรกจากโครงสร้างข้อมูล บูลีนเอ็กซ์เพรสชันทรี และรหัสคำสั่งได้จากการนำเอารหัสบีโมนิคส์ไปเปิดตารางรหัสคำสั่ง โดยหลักการแล้วตารางรหัสคำสั่งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงให้เป็นรหัสคำสั่งของพีแอลซีต่างรุ่นกันกับ พีแอลซีที่ใช้ออกแบบ ดังนั้นผลงานงานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขึ้น

จากการทดสอบโดยการกำหนดเงื่อนไขของระบบควบคุม ด้วยกราฟอธิบายการเปลี่ยนแปลงสถานะ แล้วสั่งให้ซอฟต์แวร์ทำการค้นหารหัสบีโมนิคส์ และรหัสคำสั่งของพีแอลซี เมื่อมีการเปรียบเทียบกับระบบที่มีการออกแบบไว้แล้ว บีโมนิคส์ที่ได้ออกมาจะไม่เหมือนกันแต่เมื่อเปรียบเทียบการทำงานแล้วสามารถทำงานได้เหมือนกัน ทั้งนี้เพราะพีแอลซีบางรุ่นมีฟังก์ชันพิเศษต่าง ๆ ที่มีการรวมเอาหลาย ๆ คำสั่งเข้าด้วยกันซึ่งจะทำให้ได้โปรแกรมที่สั้นกว่า เนื่องจากในการวิจัยนี้ได้ใช้เฉพาะคำสั่งพื้นฐาน AND และ OR เท่านั้น

จึงความสามารถของซอฟต์แวร์ก่อกำเนิดโปรแกรมสรุปได้ดังนี้

- สามารถกำหนดพฤติกรรมการทำงานของระบบควบคุมโดยใช้ กราฟอธิบายการเปลี่ยนแปลงสถานะ หรือภาษาอธิบายการเปลี่ยนแปลงสถานะ
- ในการกำหนดพฤติกรรมของระบบควบคุมกำหนดให้มีสัญญาณอินพุตไม่เกิน 24 สัญญาณในระบบควบคุมเดียวกัน และกำหนดให้มีจำนวนเอาต์พุตไม่เกิน 16 เอาต์พุต
- สถานะการทำงานของระบบควบคุมขึ้นอยู่กับจำนวนอินพุตและจำนวนเอาต์พุต เนื่องจากสถานะภายในของระบบควบคุมจะทำให้เกิดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตเพิ่มขึ้น

- สามารถสร้างรหัสนิโมติกส์ของพีแอลซีทั่วไป และรหัสคำสั่งของพีแอลซี CMU-1 ได้ สามารถเปลี่ยนรหัสคำสั่งให้เป็นพีแอลซีรุ่นอื่นได้โดยการเปลี่ยนข้อมูลในตารางรหัสคำสั่ง

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการสร้างตารางสภาวะจากกราฟอธิบายการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ช่องตารางที่อาจจะเป็นไปได้ทั้งหมดคือ 2^(อินพุต+เอาต์พุต+ตัวแปรสภาวะภายใน) ช่อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรตรรกเชิงลำดับ ซึ่งวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการแปลเป็นคำสั่งของพีแอลซี ขั้นตอนที่ทำให้เกิดข้อจำกัดมากในการกำหนดจำนวนของอินพุตและเอาต์พุตของระบบควบคุมคือการลดทอนของสมการตรรกเนื่องจากต้องการพื้นที่ในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมาก การใช้เวลาในการทำงานก็มากตามไปด้วย และต่อมาคือตารางสภาวะที่ทำให้เกิดข้อจำกัดของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

วิธีการลดทอนสมการที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ วิธีของ Quine-McCluskey ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอนคือ การค้นหา Prime Implicant จากมินเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีการสร้างตารางเปรียบเทียบระหว่างมินเทอม โดยตารางอาจจะถูกสร้างขึ้นถึง n ตารางเมื่อ n คือจำนวนตัวแปรทั้งหมดของฟังก์ชัน และกระบวนการสร้างตารางแต่ละตารางจะต้องวนซ้ำเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเทอมผลคูณเพื่อรวมกันและสร้างตารางใหม่

เมื่อต้องการให้ระบบซอฟต์แวร์มีความสามารถในการทำงานที่มากกว่านี้จำเป็นต้องมีวิธีใหม่ที่จะนำมาใช้ในการลดทอนสมการตรรก โดยจะต้องมีการใช้หน่วยความจำที่ลดลง มีการวนซ้ำในขณะการทำงานน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนตัวแปรที่เท่ากันวิธีเดิม วิธีการลดทอนสมการอีกวิธีซึ่งใช้ตารางเช่นเดียวกันกับวิธีของ Quine - McCluskey แต่ใช้จำนวนตารางและการวนซ้ำขณะทำงานน้อยกว่าคือวิธี CAMP (Computer Aided Minimization Procedure) [6]

CAMP ไม่ต้องมีตารางเปรียบเทียบเพื่อค้นหา Prime Cube เนื่องจากใช้วิธีการคำนวณหา DA (Degree of Adjacency) มินเทอมที่เป็นสมาชิกในฟังก์ชันถูกเรียงตามน้ำหนักของเทอมซึ่งได้กล่าวถึงไว้แล้วในบทที่ผ่านมา DA ของแต่ละมินเทอมสามารถหาได้โดยการสลับค่าในแต่ละบิตของมินเทอม จาก 1 เป็น 0 และจาก 0 เป็น 1 ที่ละบิตจากนิยามของ DA คือ

นิยาม 6.2.1 Degree of Adjacency (DA) ของมินเทอมคือจำนวนครั้งที่มินเทอมสามารถรวมกับมินเทอมอื่นในฟังก์ชัน

EPC (Essential Prime Cube) สามารถระบุได้ด้วยนิยามต่อไปนี้

นิยาม 6.2.2 ถ้ามินเทอมของ DA สร้างมินเทอมได้ α เทอมในตารางที่ T_α ดังนั้นเทอมคือ EPC

จาก DA ทั้งหมดของมินเทอมสามารถคาดเดาเทอมผลคูณสุดท้ายที่อาจจะเป็นเทอมที่ครอบคลุม มินเทอมทั้งหมดที่เป็น DA ของแต่ละมินเทอม โดยเทอมที่คาดเดาได้มีวิธีการคาดเดาคือ สมมติ มินเทอม 0001 จากการคำนวณหา DA ของมินเทอมที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ 0000, 0010, 0101, 1001 แต่สมมติให้มินเทอม 0000 ไม่ได้อยู่ในฟังก์ชันนี้ ดังนั้นการคาดเดาทำได้โดยเปรียบเทียบรวมทุกเทอมเลือกตัวแปรที่มีค่าเหมือนกันทุก ๆ เทอมเอาไว้วนนอกเหนือจากนั้นตัดทิ้งซึ่งจะได้ ---1 เมื่อ '-' แทนตัวแปรที่ถูกตัดทอนนั่นคือเทอมที่คาดเดาได้มีขนาดเท่ากับ 3-Cube โดยเรียกเทอมนี้ว่า CSC (Candidate Solution Cube) โดยนิยาม 6.2.3 ดังนี้

นิยาม 6.2.3 มินเทอม m ในตารางรายการมินเทอมที่ประกอบเป็นฟังก์ชันตรรก $f(m < f)$ ที่มี DA เท่ากับ α สร้าง Candidate Solution Cube (CSC) ที่มีตัวแปรถูกตัดทอนเท่ากับ α ตัวแปร

เมื่อมินเทอมที่ประกอบด้วย n ตัวแปร 2 เทอมสามารถรวมกันได้ ทุกครั้งที่มีการรวมกันตัวแปรจะถูกตัดออกครั้งละ 1 ตัวแปรโดยผลลัพธ์ในการรวมกันจะสร้างเทอมผลคูณขนาด 1-Cube ของ $n-1$ ตัวแปร นั่นคือ m - Cube ของฟังก์ชันตรรก n ตัวแปรคือเทอมผลคูณที่ m ตัวแปรถูกตัดทอน โดยเป็นผลจากการรวมกันของมินเทอม 0 - Cube จำนวน 2^m เทอม

นิยาม 6.2.4 เซตของ 2^m มินเทอมของฟังก์ชันบูลีน n ตัวแปร ที่รวมกันและสร้างเทอมผลคูณ $n-m$ ตัวแปร หรือ m -Cube เรียกว่า Set of Subsuming Minterm (SSM) ของเทอมผลคูณ m - Cube

ทฤษฎี 6.2.1 Candidate Solution Cube(CSC) คือ Essential Prime Cube (EPC) ของฟังก์ชันบูลีนถ้าเซตของ SSM ของ CSC มีอยู่ในฟังก์ชันบูลีน ($SSM < f$) นั่นคือ ถ้า CSC ทั้งหมดอยู่ในฟังก์ชัน

ทฤษฎี 6.2.2 ถ้า SSM ที่สร้างขึ้นมาจาก CSC ของมินเทอมที่ไม่ได้อยู่ในฟังก์ชันทั้งหมดดังนั้น มินเทอมถูกรอบคลุมโดย PC ที่เป็น Intersection กันอย่างน้อยที่สุด 2 เทอม

CAMP แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนขั้นตอนแรกทำการค้นหา EPC และ CSC โดยวิธี CAMP มินเทอมที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดถูกเลือกเป็นเทอมแรกและคำนวณหา DA และ CSC โดยผลจากการคำนวณที่ได้จะถูกเก็บอยู่ในอาร์เรย์ที่กำหนด ถ้า DA มีค่าเป็น 1 หรือ 0 ดังนั้น CSC คือ Solution Cube (SC) ของผลลัพธ์ และมินเทอมที่เป็น SSM จะถูกกำหนด Flag เป็น Off และถ้า DA มีค่าเป็น 2 หรือมากกว่า 2 จะต้องทำการคำนวณหา SSM จาก CSC และ SSM ทุกตัวจะต้องกำหนด Flag ด้วย Off ถ้ามีปรากฏอยู่ในฟังก์ชันบูลีน จากทฤษฎี 6.2.1 ถ้า SSM อยู่ในฟังก์ชัน ดังนั้น CSC คือ EPC และเก็บให้อยู่ในตารางของ SC ของผลลัพธ์ และ SSM ทุกตัวถูกกำหนด Flag เป็น Off ถ้า SSM ไม่ได้อยู่ในฟังก์ชันบูลีน ดังนั้น CSC ที่คำนวณจาก DA ไม่ใช่เทอมผลคูณของผลลัพธ์ ตามทฤษฎีที่ 6.2.2 แต่จะต้องเก็บไว้

เพื่อใช้ต่อไป ขั้นตอนต่อมาของวิธี CAMP คือนำมินเทอมที่มีน้ำหนักในลำดับต่อมาที่ยังไม่ได้กำหนด Flag เป็น Off และทำขั้นตอนเหมือนกันกับมินเทอมแรก ๆ จนครบทุก ๆ มินเทอมในฟังก์ชัน

โดยวิธี CAMP เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Quine-McCluskey วิธี CAMP ไม่ต้องเสียเวลากับการวนซ้ำเปรียบเทียบกับมินเทอมเดิม ๆ หลาย ๆ ครั้งเนื่องจากเมื่อเทอมใดที่มีการจัดการแล้วจะถูกกำหนด Flag เป็น Off และไม่ต้องนำมาใช้อีก

ขั้นตอนต่อมาของวิธี CAMP คือการค้นหา Selective Prime Cube (SPC) ถ้าในขั้นตอนแรกทุกเทอมผลคูณถูกกำหนดเป็น EPC แล้วก็จะไม่ต้องทำในขั้นตอนนี้ แต่ถ้าไม่ใช่ นั่นคือ ยังคงมีเทอมผลคูณที่เป็น Redundant Prime Cube (RPC) และ SPC อยู่ในด้วยนิยามต่อไปนี้สามารถค้นหา RPC และ SPC

นิยาม 6.2.5 ถ้าแต่ละมินเทอมที่เป็น SSC ถูกครอบคลุมด้วย EPC อื่น ดังนั้นเทอมผลคูณนั้นเรียกว่า Redundant Prime Cube (RPC)

นิยาม 6.2.6 เทอมผลคูณที่ไม่ได้อยู่ในตาราง EPC และ RPC เทอมผลคูณนั้นคือ Selective Prime Cube (SPC)

ในกระบวนการแปลโปรแกรมจากสมการตรรกเป็นรหัสไมนิกส์สำหรับพีแอลซี ตามมาตรฐานการโปรแกรมพีแอลซี ตัวดำเนินการจะต้องเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีการกระทำกันทุก ๆ ตัวแปรที่เพิ่มขึ้นถึงแม้ว่าตัวแปรหลาย ๆ ตัวมีตัวดำเนินการเดียวกัน เช่น $A B C D$ ที่ AND กันคือ $LD A, AND B, AND C, AND D$ จะเห็นว่าตัวดำเนินการ AND ถูกเรียกมาใช้เปลืองมาก ในกรณีที่โปรแกรมควบคุมมีความสลับซับซ้อนมาก ๆ ตำแหน่งของหน่วยความจำที่มีค่อนข้างจำกัดของพีแอลซีอาจจะไม่เพียงพอ และไม่สามารถบรรจุโปรแกรมการทำงานได้อีก ซึ่งกลายเป็นข้อจำกัดของพีแอลซี ข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ การลดจำนวนตัวดำเนินการลง โดยการใช้วิธีการกำหนดรูปแบบการโปรแกรมวิธีใหม่ให้นำตัวดำเนินการเพียงตัวเดียว กระทำกับทุกตัวแปรที่ตามมาเช่นจากตัวอย่างที่กล่าวถึงอาจจะใช้เป็น AND ตัวดำเนินการ ตามด้วยตัวแปร $A B C D$ นั่นคืออาจจะเขียนในรูปแบบใหม่เป็น

AND : $A B C D$ หมายความว่า $A B C$ และ D นำมากระทำการโดยตัวดำเนินการ AND เพียงตัวเดียว

จากข้อเสนอแนะนี้จะต้องทำการเปลี่ยนโปรแกรมควบคุมการทำงานของตัวพีแอลซีให้รองรับการโปรแกรมรูปแบบใหม่นี้ด้วยเช่นกัน