บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากความต้องการระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ที่สามารถสังเกตและควบคุมการทำงานของโปรแกรมในการทดสอบซอฟต์แวร์ที่ใช้งานจริงในฮาร์ดแวร์ต้นแบบ ทำให้เราสามารถกำหนดสิ่งที่จำเป็นต้องมีในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ได้ดังนี้

1. การติดต่อกับผู้ใช้
2. การควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์
3. การติดต่อกับระบบเป้าหมายที่เราพัฒนา

เราจะแยกแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ออกเป็น 3 ส่วน ตามที่กล่าวมาแล้ว เพื่อให้เห็นหลักการที่มีผู้นำมาใช้ในแต่ละส่วนและวิเคราะห์เลือกนำมาใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์บางอย่างมีหลักการทำงานที่คล้ายกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ จึงควรนำมาพิจารณาร่วมด้วย เช่น การทำงานของคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวจะมีส่วนที่เป็นวงจรควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่คล้ายคลึงกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์, ลอจิกอะนาไลเซอร์ ที่มีวงจรติดตามและแสดงลำดับการทำงานของบัส, รอมอีมูเลเตอร์มีการใช้งานในส่วนรับข้อมูลภาษาเครื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์และมีการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ในระบบเป้าหมายที่กำลังพัฒนา

การติดต่อกับผู้ใช้

เราสามารถแยกการติดต่อระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับผู้ใช้ได้เป็น 3 ส่วน คือ การเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์ระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์, การส่งข้อมูลระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ และรูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้

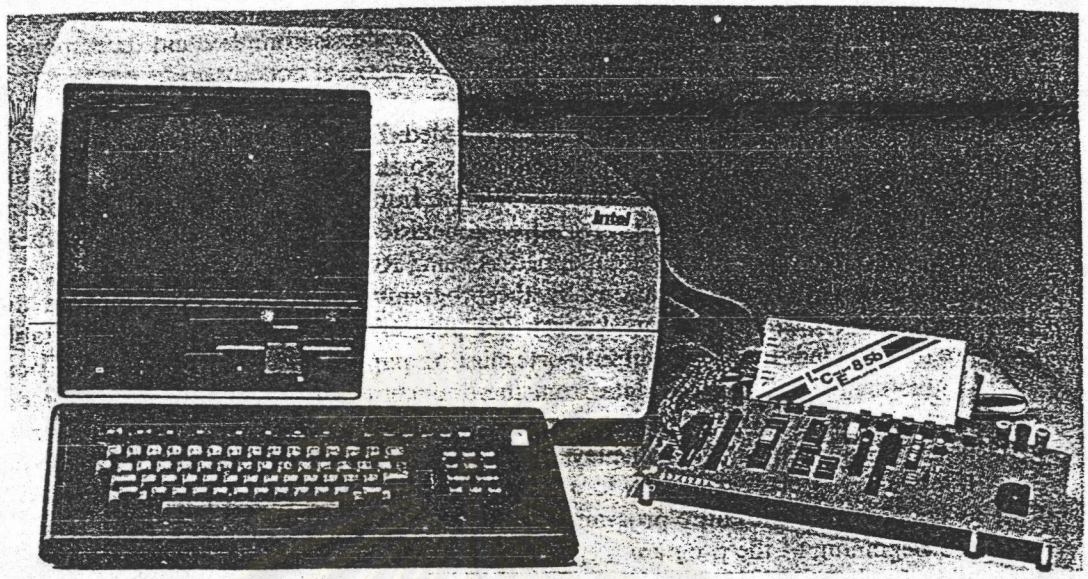
1. <u>การเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์ระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์</u>

อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ICE-80 เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของ Intellec การติดต่อกับผู้ใช้ทางฮาร์ดแวร์ต้องอาศัยแป้นพิมพ์ และจอภาพของเทอร์มินอลที่เชื่อมต่อกับ Intellec และ ICE-80 เป็นแผงวงจรที่ต่ออยู่กับระบบบัสของ Intellec ซึ่งไม่ใช่ระบบมาตรฐานการใช้งาน ICE-80 ผู้ใช้จึงต้องใช้ระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นนี้ด้วย อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ICE-85 ของบริษัท Intel เป็นอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 มีการปรับปรุงส่วนฮาร์ดแวร์ โดยอาศัยประสบการณ์จากการออกแบบ ICE-80 และการมีวงจรรวมแบบใหม่ที่มีความสามารถสูงขึ้นและใช้ร่วมกับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ Intellec รุ่นใหม่ ซึ่งมีแป้นพิมพ์และจอภาพเป็นของตัวเอง มีระบบบัสภายในเป็นแบบมัลติบัสสำหรับต่อกับแผงวงจร ICE-85 ทำให้ผู้ใช้ ICE-85 สามารถเลือกใช้ระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ได้หลายรุ่น ในรูป 2.1 แสดงระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ Intellec series IV ร่วมกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ICE-85b (Short, 1987)

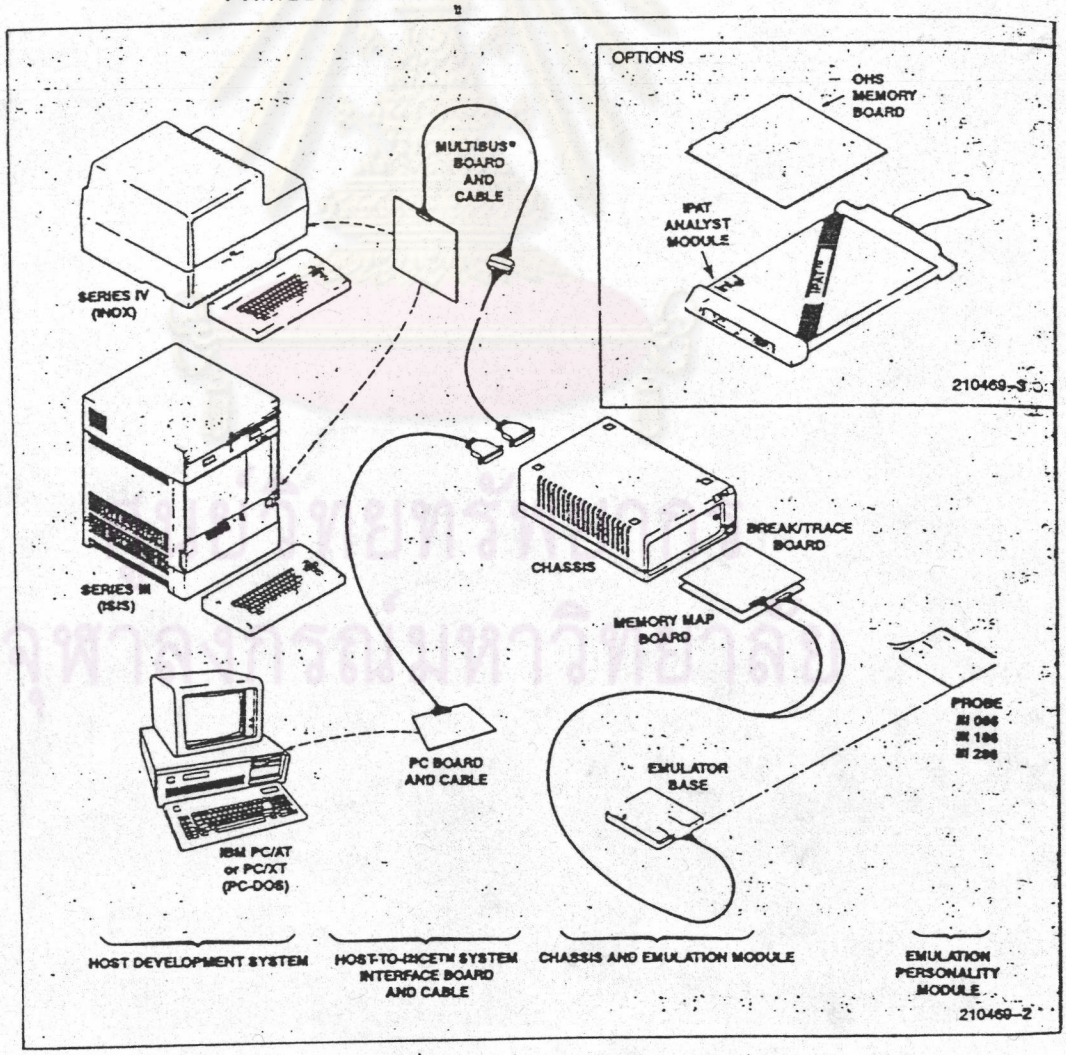
อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นต่อมาของบริษัท Intel ได้เปลี่ยนระบบการเชื่อมต่อกับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นแบบที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับบัสของระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ แต่ใช้อินเตอร์เฟสบอร์ดต่อกับระบบบัสและมีสายต่อมายังอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่อยู่ภายนอก จึงทำให้สามารถใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ของระบบอื่นที่ไม่ใช่ของ Intel ได้ด้วย เช่นการใช้งานร่วมกับ IBM PC ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่น I^2ICE แสดงในรูป 2.2 อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นนี้สามารถใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์ได้หลายเบอร์โดยเปลี่ยนมอดุล ซึ่งมีสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ 8086/8088, 80186/80188 หรือ 80286 (Intel Corp.,1988)

อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของบริษัท Intel สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ 80386 มีการติดต่อกับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ด้วยสายต่อ RS-232C จึงสามารถใช้กับระบบทั่วๆไปได้กว้างขวางขึ้น การติดต่อด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้แพร่หลาย เช่นอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่น ICD278 ของ ZAX Corporation แสดงในรูป 2.3 (ZAX Corp.,1985)

คอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวโดยทั่วไปจะมีแป้นพิมพ์และตัวแสดงผลเพื่อให้เราสามารถเขียนซอฟต์แวร์เป็นภาษาเครื่อง และใช้เป็นปุ่มควบคุมการทำงานได้ ทำให้เราสามารถใช้งานเป็นระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดเล็ก โดยใช้งานตามลำพังไม่ต้องอาศัยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเคลื่อนย้ายไม่สะดวก มีผู้ผลิตอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์บางรายได้



รูป 2.1 แสดงระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ Intellec series IV ร่วมกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ICE-85b



รูป 2.2 รูปแบบการเชื่อมต่ออินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่น I^2ICE

สร้างแป้นพิมพ์และตัวแสดงผลรวมไว้ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ด้วย ทำให้สามารถใช้ในการตรวจซ่อมระบบไมโครโปรเซสเซอร์นอกสถานที่ได้ง่าย และยังติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้เหมือนอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ทั่วไป เช่น อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ EM Series ของ Applied Microsystem แสดงในรูป 2.4 (Leonard, 1987)

จากที่กล่าวมาเราสามารถสรุปรูปแบบฮาร์ดแวร์ในการติดต่อระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับผู้ใช้ได้ดังนี้

1.1 ใช้อาร์ดแวร์ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ต่อโดยตรงกับระบบบัสของระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์

รูปแบบฮาร์ดแวร์แบบนี้ มีข้อจำกัด คือ อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จะใช้ได้กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์เฉพาะแบบเท่านั้น แต่เนื่องจากปัจจุบันระบบบัสของเครื่อง IBM PC มีผู้นิยมใช้มากจนเป็นมาตรฐาน จึงมีอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ซึ่งออกแบบเป็นแผ่นวงจรสำหรับเสียบในเครื่อง IBM PC หรือเครื่องอื่นที่ใช้ระบบบัสและระบบปฏิบัติการเหมือนกัน โดยมีข้อดี คืออินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟต่างหาก และการส่งข้อมูลกระทำได้ด้วยความเร็วสูง แต่ระบบเป้าหมายที่กำลังพัฒนาจะต้องวางไว้ใกล้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพราะสายต่อจากแผ่นวงจรอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ไปยังระบบเป้าหมายมีขนาดจำกัด

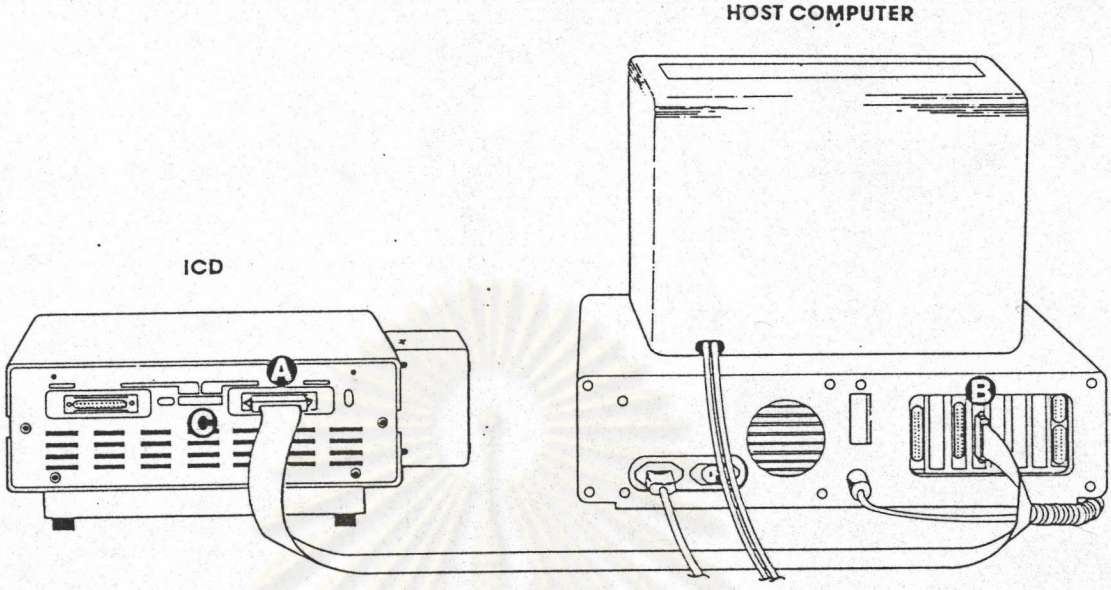
1.2 มีแผงวงจรเชื่อมต่อกับระบบบัสของระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์แล้วต่อสายมายังอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ เป็นการสื่อสารแบบขนาน

รูปแบบฮาร์ดแวร์แบบนี้ ทำให้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สามารถใช้งานกับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ได้หลายระบบขึ้น และยังมีข้อดีในด้านความเร็วในการส่งข้อมูลเหมือนแบบที่ 1 แต่จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำหรับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์แยกอีกต่างหาก

1.3 อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ต่อผ่านช่องสื่อสารแบบอนุกรมกับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งโดยมากจะใช้ RS-232C

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการติดต่อระหว่างระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์กับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์เป็นฮาร์ดแวร์มาตรฐาน ทำให้สามารถใช้กับระบบทั่วไปได้ง่ายขึ้น ไม่ต้องมีแผงวงจรในการติดต่อกับระบบบัสของระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ แต่ความเร็วในการส่งข้อมูลจะช้ากว่าการติดต่อแบบขนาน

1.4 อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์มีแป้นพิมพ์และจอแสดงผล อยู่ในตัว แต่ยังสามารถต่อกับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ได้ด้วย



รูป 2.3 อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ICD 278 (ZAX Corp.;1985)

รูป 2.4 อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่น EM Series ของบริษัท Applied Microsystem

การมีแป้นพิมพ์และจอแสดงผล ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สูงขึ้น ราคาจะแพงกว่าอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์แบบเดียวกันที่ไม่มีแป้นพิมพ์และจอแสดงผล ความสะดวกที่ได้จากขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย ไม่จำเป็นต้องต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้เหมาะสมกับการใช้งานนอกสถานที่แต่ปัจจุบันไมโครคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนย้ายได้สะดวกใช้งานนอกสถานที่ได้ มีราคาถูกลงมาก เมื่อต่อกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์แบบทั่วไปก็สามารถใช้งานนอกสถานที่ได้เช่นกัน รูปแบบนี้จึงไม่เป็นที่นิยม มีผู้ผลิตออกมาน้อยกว่าแบบอื่นๆ

2. <u>การส่งข้อมูลระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์</u>

จากลักษณะฮาร์ดแวร์ของ ICE-80 โปรแกรมที่ทำงานติดต่อกับผู้ใช้จะทำงานด้วยซีพียูของเครื่อง Intellec เมื่อแปลคำสั่งจากผู้ใช้ได้จะจัดข้อมูลที่เหมาะสมส่งไปควบคุมการทำงานของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่อยู่ในระบบบัสภายใน Intellec อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จะนำข้อมูลที่ได้จากการทำงานส่งกลับมาแสดง โดยจัดข้อมูลเป็นบล็อกเก็บไว้ในหน่วยความจำร่วมของซีพียู ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ไม่ต้องจัดการข้อมูลสำหรับผู้ใช้โดยตรง ข้อมูลดิบ เช่นข้อมูลจากบัฟเฟอร์, การกำหนดจุดหยุด, ค่าในหน่วยความจำบนระบบเป้าหมาย จะถูกซีพียูในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์อ่านและจัดการได้ง่าย แต่ผู้ใช้สามารถเห็นผลที่แตกต่างกันหลายแบบได้ตามความต้องการโดยโปรแกรมที่ Intellec โหลดมาทำงานรวมทั้งสามารถทำงานในลักษณะใช้สัญลักษณ์ที่ได้จากโปรแกรมในภาษาระดับสูงหรือภาษาแอสเซมบลีได้ด้วย

อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นต่อมาของ Intel ยังคงใช้หลักการนี้มาจนถึงปัจจุบันและมีรูปแบบการส่งข้อมูลแบบหนึ่งที่มีผู้นำมาใช้อย่างแพร่หลาย คือการส่งแฟ้มข้อมูลแบบ Intel-hex (Short,1987) สำหรับเก็บข้อมูลสำหรับหน่วยความจำที่แอดเดรสต่างๆ มีใช้ในรอมอีมูเลเตอร์, เครื่องโปรแกรมรอม และอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของผู้ผลิตหลายรายใช้หลักการเดียวกับของ Intel ในการส่งรับข้อมูลแต่มีรูปแบบเฉพาะตัวแตกต่างกันไป การใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างแบบออกไปจึงต้องเขียนโปรแกรมสำหรับเครื่องนั้นโดยเฉพาะ จึงมีผู้ผลิตอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์บางรายใช้รูปแบบติดต่อกับแป้นพิมพ์และจอภาพของเทอร์มินอล โดยรับข้อมูลทั้งหมดที่ผู้ใช้พิมพ์มาวิเคราะห์เป็นคำสั่ง และส่งข้อมูลในรูปแบบที่ต้องการแสดงผลจริงๆ ไปยังจอภาพ ทำให้รูปแบบของข้อมูลในการส่งรับมีความแตกต่างกันได้มาก โปรแกรมควบคุมการติดต่อที่ใช้ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จึงต้องมีหน้าที่มาก และไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ แต่มีข้อดีคือสามารถใช้กับเทอร์มินอลทั่วไป และคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่มีโปรแกรม

018484

เลียนแบบเทอร์มินอลโดยไม่ต้องมีซอฟแวร์เฉพาะให้ และผู้ผลิตบางรายมีรูปแบบการทำงานให้เลือกทั้ง 2 แบบ หรือมีสายต่ออุปกรณ์ภายนอก 2 ทาง สำหรับคอมพิวเตอร์และเทอร์มินอล

3. รูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้

3.1 ตัวอย่างการใช้งาน ICE-80

การใช้งานอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นแรกของบริษัท Intel หลังจากติดตั้งแผงวงจรของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในบัสของเครื่อง Intellec แล้ว จะต้องโหลดโปรแกรม ICE80SD ลงไปในหน่วยความจำของเครื่อง Intellec จากนั้นเครื่องจะรับคำสั่งจากผู้ใช้และแสดงผลบนจอ

โปรแกรม ICE80SD มีคำสั่งในการใช้งานแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

3.1.1 คำสั่งในการอีมูเลชัน เป็นคำสั่งโดยตรงให้เครื่อง ICE-80 ทำงานในระบบของผู้ใช้มี 5 คำสั่งคือ

GO ทำงานตามโปรแกรมของผู้ใช้ตามจำนวนคำสั่งที่กำหนดหรือสามารถกำหนดแอดเดรสของโปรแกรมที่จะให้หยุดทำงานได้ การทำงานไม่เป็นเวลาจริงเพราะต้องการได้รายละเอียดของการทำงานของโปรแกรมมากๆ

STEP ทำงาน 1 คำสั่งแล้วแสดงรีจิสเตอร์

RANGE กำหนดช่วงของหน่วยความจำที่จะมีการแสดงผลการทำงานโดยอัตโนมัติ

CONTINUE ทำงานแบบเวลาจริง

CALL ทำงานกับโปรแกรมตอบรับอินเตอร์รัพท์

3.1.2 คำสั่งสอบถามสถานะของระบบ

BASE กำหนดโหมดของข้อมูลที่แสดงผลเป็นตัวเลข ฐานสิบ ฐานแปด ฐานสิบหก

DISPLAY สั่งแสดงผลได้ทั้งข้อมูลในหน่วยความจำ, รีจิสเตอร์, แฟลก, พอร์ตอินพุต สถานะของขาของ 8080 ที่เลือกไว้ และแสดง 44 แมชชีนไซเคิลสุดท้ายที่ทำงาน ทั้งแอดเดรส, ข้อมูลและสถานะ

CHANGE ใช้แก้ไขค่าในหน่วยความจำ, พอร์ตเอาท์พุต, รีจิสเตอร์และตารางสัญลักษณ์

XFORM ใช้กำหนดการใช้หน่วยความจำและพอร์ต

SEARCH ใช้ค้นหาข้อมูลจากหน่วยความจำในช่วงแอดเดรสที่กำหนด

3.1.3 คำสั่งช่วยเหลือการทำงาน

LOAD อ่านแฟ้มข้อมูล ตารางสัญลักษณ์ และคำสั่งภาษาเครื่องที่ได้จากโปรแกรมแปลภาษาใส่ในหน่วยความจำที่ผู้ใช้กำหนดสำหรับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

SAVE อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำในช่วงที่กำหนด สร้างเป็นแฟ้มข้อมูลในรูปแบบ Intel hex

TIMEOUT กำหนดว่าจะให้ ICE-80 หยุดการทำงานหรือไม่เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ไม่ทำงานเกินกว่า 0.25 วินาที

LIST ใช้ตั้งชื่ออุปกรณ์ที่ต่อกับ ICE-80

EXIT ให้ออกจากโปรแกรม ICE80SD ไปยังโปรแกรมระบบปฏิบัติการ

จุดเด่นที่มีความสำคัญอีกอย่าง คือการแก้จุดบกพร่องแบบสัญลักษณ์ โดยใช้ชื่อตัวแปรในโปรแกรมสำหรับการติดตามสถานะและข้อมูลในหน่วยความจำ ซึ่งจะทำให้การทำงานกับโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาระดับสูงสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น

3.2 ตัวอย่างการใช้งาน ICE-85

เมื่อบริษัท Intel ผลิต ICE-85 ได้มีการปรับปรุงแบบคำสั่งใหม่โดยจัดมาตรฐานไวยากรณ์ให้กับคำสั่งที่ใช้ และใช้เป็นมาตรฐานสำหรับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นต่อไปของ Intel ด้วยเพื่อให้ผู้ใช้เกิดความคุ้นเคย และสามารถเปลี่ยนไปทำงานบนอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นต่อๆไปได้อย่างสะดวก ไม่ว่าจะเป็นอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับ 8086 หรือ 8049 และยังคงมีการแก้จุดบกพร่องแบบสัญลักษณ์เช่นเดียวกับที่มีใน ICE-80 และปรับปรุงให้ใช้งานกับซอฟต์แวร์ที่เขียนด้วยภาษาระดับสูงได้ง่ายขึ้น โดยใช้หมายเลขบรรทัดของโปรแกรมที่เขียนแทนแอดเดรสจริงๆของโปรแกรมที่แปลเป็นภาษาเครื่องได้

ในปัจจุบันอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของ Intel ยังคงรักษารูปแบบการใช้คำสั่งแบบเดิมแต่มีคำสั่งเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับซีพียูใหม่ที่ออกมา เพิ่มการใช้งานแบบเมนูและปุ่มฟังก์ชันสำหรับเรียกใช้คำสั่งต่างๆได้ มีบัฟเฟอร์เก็บคำสั่งในบรรทัดเดิมให้เรียกใช้ใหม่ได้ง่าย และสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาระดับสูง โดยการแก้จุดบกพร่องได้ในระดับภาษาระดับสูง นอกจากนี้รูปแบบของจอภาพยังแบ่งเป็นช่องหน้าต่างหลายๆช่องแสดงโปรแกรมต้นฉบับ, ช่องคำสั่งที่พิมพ์เข้าไป, ช่องแสดงหน่วยความจำ และรีจิสเตอร์

3.3 รูปแบบการใช้งานของผู้ผลิตอื่นๆ

สำหรับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของผู้ผลิตอื่นๆ ส่วนใหญ่มีข้อแตกต่างในคำสั่งการใช้งานกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของ Intel โดยอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของ Intel ใช้คำสั่งเป็นตัวอักษรสามารถอ่านเข้าใจความหมายได้ง่าย แต่ไม่สะดวกในการพิมพ์ โดยเฉพาะคำสั่งที่ใช้งานบ่อยๆ และยังมีคำสั่งที่ใช้งานมากทำให้เสียเวลาในการเรียนรู้ ผู้ผลิตอื่นๆจึงไม่มีใครเลียนแบบคำสั่งของ Intel กับการใช้งานในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของตนโดยอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของผู้ผลิตรายอื่น นิยมใช้คำสั่งเป็นตัวอักษรย่อเพียงตัวเดียว เช่น L ใช้แทน Load และมีคำสั่งจำนวนน้อยกว่าคำสั่งของ Intel รูป 2.5 แสดงคำสั่งของ ICE-5100 ของ Intel เทียบกับ MICE-II ของ Microtek

ที่มาของรูปแบบคำสั่งที่ใช้ตัวย่อ เริ่มจากการใช้งานไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ ซีพีเอ็ม-80 ในการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของ 8080 และ Z-80 โดยมีซอฟแวร์แก้จุดบกพร่องที่มีการใช้คำสั่งเป็นตัวย่อ ผู้ที่ใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับ Z-80 ในยุคนั้นจึงคุ้นเคยกับการใช้คำสั่งเหล่านี้ ผู้ผลิตจึงออกแบบการใช้คำสั่งคล้ายคลึงกับโปรแกรมแก้จุดบกพร่องที่มีในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบการปฏิบัติการ PC DOS/MS DOS ได้รับความนิยมทำให้มีผู้คุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมแก้จุดบกพร่อง debug.com ที่มีให้มากับระบบปฏิบัติการซึ่งมีคำสั่งคล้ายกับที่มีในเครื่อง ซีพีเอ็ม-80 ผู้ผลิตอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในปัจจุบันจึงนิยมใช้คำสั่งเป็นตัวย่อที่เหมือนกับที่ใช้ในโปรแกรมแก้จุดบกพร่องที่กล่าวถึงมาแล้ว

ในกรณีที่การติดต่อกับผู้ใช้เป็นแบบช่องหน้าต่างและเมนู ในรายการที่ให้เลือกนอกจากการเลื่อนตัวชี้ไปยังเมนูแล้วยังสามารถกดตัวอักษรย่อของชื่อรายการในเมนูได้ ชื่อย่อเหล่านี้ก็พยายามใช้ที่เหมือนกับในโปรแกรมแก้จุดบกพร่องที่ผู้ใช้คุ้นเคยเพื่อให้ผู้ใช้ที่ชำนาญสามารถใช้งานได้เร็วกว่าการเลื่อนตัวชี้เมนู

3.4 การแก้จุดบกพร่องแบบสัญลักษณ์

ความสามารถในด้านการแก้จุดบกพร่องแบบสัญลักษณ์ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ถูกจำกัดด้วยการแปลภาษาคอมพิวเตอร์จากภาษาระดับสูงหรือภาษาแอสแซมบลีเป็นรหัสภาษาเครื่อง ในยุคแรกๆไม่มีรูปแบบในการเก็บสัญญลักษณ์ที่เป็นมาตรฐาน ผู้ผลิตอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่ต้องการให้มีการแก้จุดบกพร่องแบบสัญลักษณ์จึงต้องติดต่อร่วมงานกับผู้ผลิตตัวแปลภาษา เมื่อมีตัวแปลภาษาจากผู้ผลิตอื่นจะได้ผลที่ไม่สามารถใช้สัญลักษณ์ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

```
hlt>HELP

HELP is available for:

ADDRESS     APPEND      ASM         BASE        BIT         BOOLEAN
BRKREG      BYTE        CHAR        CI          CNTL_C      COMMENTS
CONSTRUCTS  COUNT       CPU         CURHOME     CURX        CURY
DCI         DEBUG       DEFINE      DIR         DISPLAY     DO
DYNASCOPE   EDIT        ERROR       EVAL        EXIT        EXPRESSION
GO          HELP        IF          INCLUDE     INVOCATION  ISTEP
KEYS        LABEL       LINES       LIST        LITERALLY   LOAD
LSTEP       MAP         MENU        MODIFY      MODULE      MSPACE
MTYPE       NAMESCOPE   OPERATOR    PAGING      PARTITION   PRINT
PROC        PSEUDO_VAR  PUT         REFERENCE   REGS        REMOVE
REPEAT      RESET       RETURN      SAVE        STRING      SYMBOLIC
SYNCSTART   TEMPCHECK   TRCREG      TYPES       VARIABLE    VERIFY
VERSION     WAIT        WORD        WRITE
hlt>
```

280200-5

(1) คำสั่งของ ICE 5100

```
>?
ASSEMBLY                A [loc]
BACKWARD TRACE          B [R]addx[ c[ q]]
CYCLE STEP              C [c]
DISABLE                 D [I|H|T]
ENABLE                  E [I|H|T]
FORWARD TRACE           F [R]addx[ c[ q]]
EXECUTION               G [address]
BREAKPOINT              H [0[1|2]|1 [addx[ c[ q]]]|2 [addr]]
INPUT                   I port[ c[ time]]
JUMP                    J address
LIST TRACE              L [step[ a1[ a2[ q.]]]|S[step]|Z[step]|N]
MEMORY                  M [a1[ a2[ d1 [d2[..d8]][ S]]]]
OUTPUT                  O port d1[ d2[..d8]]
REGISTER                R [A|B|C|D|E|H|L|M|P|S]
INSTRUCTION STEP        S [S|R][c]|[Z]
TRANSFER/TEST           T a1 a2 {S|M|a3[ V]}
UPLOAD                  U a1 a2 [T|I]
RESET                   X
DISASSEMBLY             Z [a1 [a2]]
DOWNLOAD                : (INT),/ (TEK)
HELP                    ? [B]
ATTENTION               !
>
```

(2) คำสั่งของ MICE II

รูป 2.5 คำสั่งของ ICE 5100 เทียบกับ MICE II

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้ แต่ปัจจุบันผู้ผลิตตัวแปลภาษาสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นใหม่ใช้รูปแบบ OMF ของ Intel เป็นมาตรฐาน แต่กับไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นเก่าก็ยังต้องพบปัญหาเดิมต่อไป

3.5 การติดต่อกับผู้ใช้ของคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว

ในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวได้พัฒนารูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้จากเดิมที่ต้องใช้แป้นพิมพ์จำนวนน้อยและแสดงผลเป็นตัวเลข 7 ส่วน เปลี่ยนมาเป็นการต่อกับ RS-232C ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เทอร์มินอลมีลักษณะการใช้งานเหมือนกับที่ใช้ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ โดยบางแบบจะทำเป็นช่องหน้าต่างและเมนู แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบการใช้คำสั่งธรรมดา ที่เป็นตัวย่อโดยทำให้เหมือนกับโปรแกรม debug.com ของ DOS

ระบบการติดต่อกับผู้ใช้ในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยครั้งนี้ จะเลือกระบบการติดต่อกับผู้ใช้ดังนี้

การเชื่อมต่อของฮาร์ดแวร์ระหว่างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ กับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ จะใช้ RS-232C เพราะมีมาตรฐานทางฮาร์ดแวร์สามารถใช้งานได้ทั่วไป ไม่ต้องออกแบบเฉพาะสำหรับแต่ละระบบ การเคลื่อนย้ายสะดวก ไม่ต้องเปิดเข้าไปในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อต่อหรือถอดระบบ ตัวเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สามารถอยู่ห่างจากอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ได้มากกว่าการเชื่อมต่อโดยวิธีอื่น ทำให้ทำงานได้สะดวก

ข้อเสียในด้านความเร็ว ของการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่าวิธีอื่น แต่ยังเป็นส่วนที่ยอมรับได้ เพราะการใช้งานส่วนใหญ่เป็นการโต้ตอบกับผู้ใช้ทางแป้นพิมพ์และจอภาพ ซึ่งส่งรับข้อมูลด้วยความเร็วต่ำอยู่แล้ว จะเสียเวลารอเฉพาะช่วงที่มีการส่งถ่ายแฟ้มข้อมูลซึ่งเป็นสิ่งที่ทำเฉพาะช่วงเริ่มต้นเท่านั้น

ในด้านการส่งรับข้อมูล วิธีที่ดีที่สุดคือ จัดรูปแบบการส่งข้อมูลที่มีการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่ดีและมีโปรแกรมจัดการข้อมูลอยู่ทั้งด้านอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์และด้านเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบต่างๆกันได้ตามความต้องการ และทางด้านอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ก็จะมีงานในการแปลคำสั่งและจัดการข้อมูลน้อยลง แต่วิธีการนี้ต้องมีงานการออกแบบซอฟแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์อีกมาก และควรออกแบบให้ใช้งานได้กว้างกว่าการใช้กับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์รุ่นนี้เท่านั้น ในงานวิจัยนี้จะเสนอเฉพาะรูปแบบข้อมูลและโปรแกรมทางด้านอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์เท่านั้นซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้งานในการส่งข้อมูลแบบนี้ได้

การส่งข้อมูลแบบติดต่อกับเทอร์มินอลสามารถใช้งานได้กับคอมพิวเตอร์ทุกแบบที่เลียนแบบเป็นเทอร์มินอลได้ และโปรแกรมเลียนแบบเทอร์มินอลของคอมพิวเตอร์ยังมีการรับส่งแฟ้มข้อมูลได้ด้วยทำให้การใช้งานในแบบนี้สามารถใช้งานได้สมบูรณ์ โดยไม่ต้องสร้างโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยตนเอง และยังทำให้ใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์กับเทอร์มินอลได้ด้วย ในงานวิจัยนี้จึงจะเน้นการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรมเลียนแบบเทอร์มินอล และออกแบบให้รับส่งแฟ้มข้อมูลได้ด้วย

ในด้านรูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้ถ้าโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์พัฒนาเสร็จจะได้การใช้งานแบบเป็นช่องหน้าต่างและมีเมนูเลือกคำสั่งซึ่งสัมพันธ์กับรูปแบบข้อมูลที่เตรียมไว้ในโปรแกรมบนอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์แล้ว แต่สำหรับการส่งข้อมูลแบบที่ส่งให้เทอร์มินอลถ้าต้องการทำช่องหน้าต่างหรือใช้เมนูจะต้องมีอัตราการส่งข้อมูลสูงมากซึ่งเป็นไปไม่ได้ ในที่นี้จึงเลือกแบบใช้คำสั่งโดยรูปแบบคำสั่งและการแสดงผลคล้ายกับโปรแกรม DEBUG.COM ของ PC DOS ซึ่งผู้ใช้ส่วนใหญ่คุ้นเคยกว่าการใช้แบบคำสั่งของ Intel

การควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์

เนื่องจากอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ทำหน้าที่แทนซีพียูของฮาร์ดแวร์ต้นแบบ ดังนั้นฮาร์ดแวร์ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จึงต้องมีซีพียูที่ทำหน้าที่แทนซีพียูของผู้ใช้ได้ ซึ่งปกติจะใช้ซีพียูเบอร์เดียวกันซีพียูที่อยู่ในฮาร์ดแวร์ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในเวลาหนึ่งๆจะทำตัวอยู่ในโมดหนึ่งในสองโมดที่เรียกว่าโมดอีมูเลชัน และโมดอินเทอร์โรเกชัน (interrogation mode) โมดอีมูเลชันคือช่วงเวลาที่ซีพียูทำงานตามโปรแกรมของผู้ใช้ เวลาอื่นๆถือเป็นโมดอินเทอร์โรเกชัน ที่ซีพียูจะทำงานกับโปรแกรมที่ใช้ควบคุมและติดตามการทำงาน ซึ่งเป็นโปรแกรมขั้นต้น เช่นการแสดงค่ารีจิสเตอร์

จุดมุ่งหมายของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ อยู่ที่การสามารถทำงานในระบบฮาร์ดแวร์ของผู้ใช้ได้เหมือนซีพียูจริงๆได้มากที่สุด การเปลี่ยนโมดการทำงานระหว่างทำตามโปรแกรมของผู้ใช้กับการทำตามโปรแกรมควบคุม หรือสลับกันจะต้องมีการเก็บค่ารีจิสเตอร์ทั้งหมดของซีพียูไว้และไม่ควรแก้ไขหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมของผู้ใช้เลย

ถ้าเราพิจารณาถึงการทำงานของซีพียูของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จะพบว่ามีหน้าที่ตามลำดับดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ตั้งค่าในรีจิสเตอร์เป็นค่าที่ผู้ใช้กำหนด

2. เริ่มทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียน

3. ทำงานไปจนพบเงื่อนไขที่จะหยุด

4. หยุดทำตามโปรแกรมของผู้ใช้

5. แสดงค่ารีจิสเตอร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ที่เกิดจากโปรแกรมของผู้ใช้

ขั้นตอนเหล่านี้จะพบได้ในการทำงานแก้จุดบกพร่องของซอฟต์แวร์ทั่วไปรวมทั้งการทำงานของคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวด้วย จึงขอนำวิธีการที่ใช้มาอธิบายด้วยเพื่อให้เห็นหลักการที่นำมาใช้ทุกวิธี โดยถือว่าเป็นวิธีการของระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์

1. ผู้ใช้อาจจะตั้งค่าเริ่มต้นสำหรับรีจิสเตอร์ เพื่อเริ่มการทำงานตามโปรแกรมช่วงนี้เรียกว่าการคืนค่ารีจิสเตอร์ ในหน่วยความจำภายในระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์จะมีเนื้อที่สำหรับเก็บรีจิสเตอร์สำหรับโปรแกรมของผู้ใช้ เราสามารถใช้คำสั่งแก้ไขข้อมูลที่เก็บไว้ได้ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนค่ารีจิสเตอร์ขณะเริ่มทำงานให้ได้ตามต้องการก่อนที่จะเริ่มการทำงานในโปรแกรมของผู้ใช้ ช่วงนี้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานตามคำสั่งที่อ่านจากหน่วยความจำภายในระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ไม่ใช่จากหน่วยความจำของผู้ใช้

โปรแกรมคืนค่ารีจิสเตอร์จะต้องมีวิธีการให้ไมโครโปรเซสเซอร์เปลี่ยนไปใช้หน่วยความจำของผู้ใช้ได้ โดยไมโครโปรเซสเซอร์จะอ่านค่ารีจิสเตอร์จากหน่วยความจำที่เก็บค่าไว้

2. เริ่มการทำงาน

การเริ่มการทำงานสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์มีได้ 2 แบบคือ

จากแอดเดรสที่ผู้ใช้กำหนด หรือ

จากแอดเดรสเดิมที่หยุดไว้ก่อนเข้าสู่โมดอินเทอร์โรเกชัน

การเริ่มต้นทั้งสองแบบในที่นี้ใช้วิธีเดียวกันคือการอ่านค่าแอดเดรสเริ่มต้นจากหน่วยความจำที่เก็บรีจิสเตอร์ทั่วไป ซึ่งเรามักเรียกค่านี้ว่ารีจิสเตอร์ PC หรือ IP การแก้ไขให้เริ่มจากแอดเดรสที่ผู้ใช้กำหนดใช้วิธีเดียวกับการแก้ไขค่ารีจิสเตอร์

เมื่อจะเริ่มทำงานจริงๆไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องอ่านคำสั่งที่จะเปลี่ยนแอดเดรสไปเป็นค่าที่กำหนดไว้โดยมีคำสั่งที่ใช้ได้ 2 รูปแบบคือ คำสั่ง JUMP กับคำสั่ง RETURN

การใช้คำสั่ง JUMP จะต้องมีการจัดรหัสของคำสั่ง JUMP และค่าแอดเดรสมาให้ไมโครโปรเซสเซอร์อ่าน หลังจากอ่านจบ ไมโครโปรเซสเซอร์จะเริ่มอ่านคำสั่งใหม่ จากแอดเดรสที่กำหนด เราจะมีวงจรเปลี่ยนการใช้หน่วยความจำจากเดิม ไปเป็นหน่วยความจำที่ผู้ใช้กำหนด

การใช้คำสั่ง RETURN เป็นคำสั่งให้ไมโครโปรเซสเซอร์เลิกทำงานตามโปรแกรมย่อย กลับไปทำงานต่อโดยดูแอดเดรสของคำสั่งที่จะทำต่อไปจากสแตก ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ในการคืนค่ารีจิสเตอร์ได้ด้วย โดยให้ไมโครโปรเซสเซอร์อ่านค่ารีจิสเตอร์จากสแตก ด้วยคำสั่ง POP ในโมดอินเทอร์โรเกชันเป็นคำสั่ง RETURN แล้วรอจนจบคำสั่งจึงเปลี่ยนไปใช้หน่วยความจำของผู้ใช้ในโมดอีมูเลชัน

3. การทำงานจนพบเงื่อนไขที่จะหยุด ในช่วงนี้ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำหน้าที่ควบคุมระบบที่ผู้ใช้พัฒนาขึ้น รอการทำงานของวงจรที่จะทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์กลับไปยังโมดอินเทอร์โรเกชัน

4. หยุดการทำงาน

สาเหตุที่ทำให้หยุดการทำงานขึ้นอยู่กับการตั้งของผู้ใช้และความสามารถของระบบ เช่น การกำหนดจุดหยุด การทำงานผิดพลาด การที่ผู้ใช้กำหนด , การติดตามการทำงานแบบเวลาจริงได้ค่าเต็มบัฟเฟอร์ หรืออาจเป็นการทำงานทีละคำสั่งก็จะทำให้เกิดการหยุดในขั้นต้นนี้เช่นกัน

หลังจากหยุดการทำงานของผู้ใช้ระบบจะเปลี่ยนกลับไปทำงานตามโปรแกรมควบคุม ที่จะกล่าวถึงในข้อ 5 ซึ่งจะเลิกการติดต่อหน่วยความจำของผู้ใช้ ปัญหาของขั้นตอนนี้คือ เราต้องรอให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานในโปรแกรมของผู้ใช้จนจบคำสั่งเสียก่อนจึงเปลี่ยนกลับไปโมดอินเทอร์โรเกชันได้ซึ่งมีวิธีการที่นิยมใช้ดังนี้

4.1 การอินเตอร์รัพต์ด้วยซอฟต์แวร์

นิยมใช้ในคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว และโปรแกรมแก้จุดบกพร่องที่มีสำหรับระบบปฏิบัติการในไมโครคอมพิวเตอร์ ทั้งรุ่น 8 บิต และ DOS

ซอฟต์แวร์อินเตอร์รัพต์ ที่ใช้ในที่นี้เป็นคำสั่งของไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้รหัสไบต์เดียว เมื่อโปรแกรมทำงานถึงคำสั่งนี้จะเก็บค่าแอดเดรสถัดไปไว้ในสแตก แล้วกระโดดไปทำงานในตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งโปรแกรมแก้จุดบกพร่องจะให้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการทำงานเก็บค่ารีจิสเตอร์อาจจะเรียกได้ว่าเป็นการกลับไปยังโมดอินเทอร์โรเกชันได้

วิธีนี้ใช้ได้ดีกับระบบที่ไม่ต้องการแยกหน่วยความจำสำหรับผู้ใช้กับหน่วยความจำของโปรแกรมควบคุม เพราะไม่เกิดสัญญาณใดๆบอกให้อาร์ดแวร์ทำการเปลี่ยนแปลงไปใช้หน่วยความจำของหน่วยพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ประโยชน์ของวิธีนี้สำหรับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์คือเป็นการกำหนดจุดหยุดก่อนโปรแกรมจะทำงานในแอดเดรสนั้น โดยรับประกันว่าได้ทำงานในโปรแกรมก่อนหน้านั้นจนจบคำสั่งแล้ว การนำมาใช้ต้องเพิ่มวงจรตรวจสอบรหัสภาษาเครื่องของ

คำสั่งนี้ที่ไมโครโปรเซสเซอร์อ่านถ้าพบว่ามีการทำงานตามคำสั่งนี้ฮาร์ดแวร์จะเปลี่ยนให้ไมโครโปรเซสเซอร์เข้าสู่โมดอินเทอร์โรเกชันทันที การกำหนดจุดหยุดด้วยวิธีการนี้ ทำได้กับโปรแกรมที่อยู่ในแรมเท่านั้น สามารถกำหนดได้หลายจุดพร้อมๆกันโดยไม่ต้องเพิ่มฮาร์ดแวร์ แต่ต้องแก้ไขค่าในหน่วยความจำของผู้ใช้ชั่วคราว ถ้าหน่วยความจำนั้นไม่ใช่ตำแหน่งต้นของรหัสคำสั่ง โปรแกรมจะไม่หยุดตามที่ต้องการและเกิดการทำงานผิดพลาดได้

4.2 การอินเตอร์รัพต์ด้วยฮาร์ดแวร์

เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ในขณะทำคำสั่งใดๆจะรอจนการทำงานในคำสั่งนั้นเสร็จสิ้นจึงตอบรับการอินเตอร์รัพต์ด้วยการใส่ค่าแอดเดรสที่โปรแกรมจะทำงานต่อในสแตก แล้วจึงไปทำงานในโปรแกรมตอบรับอินเตอร์รัพต์ ซึ่งอยู่ในโมดอินเทอร์โรเกชัน

วิธีนี้นิยมใช้ในการทำงานทีละคำสั่งสำหรับคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวโดยให้สัญญาณอินเตอร์รัพต์พร้อมกับการเริ่มทำงานในโปรแกรมของผู้ใช้

การใช้ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สามารถสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากการเปรียบเทียบจุดหยุดที่กำหนด, จากข้อผิดพลาด หรืออื่นๆได้ หลังจากพบสัญญาณก็จัดเตรียมการเปลี่ยนเข้าโมดอินเทอร์โรเกชันเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์เริ่มอ่านแอดเดรสเริ่มต้นของโปรแกรมตอบรับอินเตอร์รัพต์ ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะมีการใช้สแตกที่เป็นหน่วยความจำของผู้ใช้สำหรับเก็บแอดเดรสถัดไปซึ่งปกติโปรแกรมของผู้ใช้ยอมให้มีการใช้สแตกได้อยู่แล้ว

ข้อสังเกตสำหรับการกำหนดจุดหยุดด้วยวิธีอินเตอร์รัพต์ทั้ง 2 วิธีคือ ในการใช้ซอฟต์แวร์ โปรแกรมจะกลับไปทำงานต่อที่แอดเดรสซึ่งกำหนดให้เป็นจุดหยุด (เพราะยังไม่ถูกทำงานแต่ถูกแทนที่ด้วยรหัสคำสั่งอินเตอร์รัพต์) แต่การใช้ฮาร์ดแวร์โปรแกรมจะทำตามคำสั่งในแอดเดรสที่กำหนดให้เป็นจุดหยุดแล้ว

4.3 การใช้สัญญาณ WAIT สำหรับหยุดไมโครโปรเซสเซอร์

การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับอุปกรณ์ภายนอกมีหลักการทั่วไปคือ ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งสัญญาณแอดเดรสออกมา จากนั้นส่งสัญญาณที่ใช้ในการอ่านหรือเขียนออกมาเป็นช่วงเวลาหนึ่ง ช่วงเวลานี้จะมีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลเพราะขึ้นอยู่กับความเร็วในการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วย ไมโครโปรเซสเซอร์จึงมีวิธีกำหนดช่วงเวลานี้ตามลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ (Slatoer,1989)

4.3.1 Synchronous Buses

ช่วงเวลาที่ส่งสัญญาณอ่านเขียนออกมาจะคงที่เมื่อเทียบกับสัญญาณนาฬิกา ในสมัยก่อนจะเกิดปัญหามากในการใช้งานกับหน่วยความจำที่มีความเร็วต่ำ จนต้องใช้วิธีการแก้ไขโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณนาฬิกาให้เหมาะสมกับความเร็วของหน่วยความจำ มีการใช้วงจรยืดสัญญาณนาฬิกา เฉพาะช่วงเวลาที่ติดต่อกับอุปกรณ์ความเร็วต่ำ ตัวอย่างไมโครโปรเซสเซอร์แบบนี้คือ 6800 ของ Motorola และ 8051 ของ Intel

จุดอ่อนของวงจรยืดสัญญาณนาฬิกาคือ ไมโครโปรเซสเซอร์จะไม่ทำงานอีกถ้าสัญญาณนาฬิกาถูกยืดออกมากไปเพราะการทำงานบางส่วนในตัวไมโครโปรเซสเซอร์ใช้อุปกรณ์แบบไดนามิก แต่ในไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นที่เป็นซีมอสจะไม่เกิดปัญหานี้

4.3.2 Semisynchronous Buses

ช่วงเวลาในการอ่านเขียนจะคงที่เมื่อเทียบกับสัญญาณนาฬิกาแต่มีสัญญาณเข้าพิเศษเพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ยืดเวลาในการอ่านเขียนได้ คือสัญญาณ WAIT ทำให้การใช้อุปกรณ์ความเร็วต่ำได้สะดวกขึ้น และการยืดสัญญาณอ่านเขียนนี้ไม่ได้หยุดสัญญาณนาฬิกาจึงสามารถให้สัญญาณ WAIT ได้นานเท่าที่ต้องการ ตัวอย่างไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในระบบนี้ เช่น Z-80, 8085 และ 8086

4.3.3 Asynchronous Buses

ต้องการสัญญาณตอบรับจากอุปกรณ์ที่ติดต่อด้วยในทุกครั้งที่อ่านเขียนอุปกรณ์ที่มีความเร็วสูงจะตอบรับทันทีที่ได้รับแอดเดรส อุปกรณ์ที่มีความเร็วต่ำจะออกแบบวงจรตอบรับให้ช้าลง ซึ่งส่งผลเช่นเดียวกับการใช้สัญญาณ WAIT ของแบบ simisynchronous แต่อุปกรณ์ที่ต่อด้วยทุกตัวต้องมีการตอบรับ ดังนั้นถ้าเกิดการทำงานผิดพลาดคือส่งแอดเดรสให้กับส่วนที่ไม่มีอุปกรณ์ต่ออยู่ ระบบจะหยุดทำงาน จะมีการจับเวลามาแก้ไขข้อผิดพลาดได้ เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้ระบบ ตัวอย่างเช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 68000 ของ Motorola

จะเห็นว่าเรามีวิธีการให้ไมโครโปรเซสเซอร์หยุดการทำงานชั่วคราวในระหว่างอ่านเขียนข้อมูลได้ จึงสามารถตรวจสอบด้วยเครื่องมืออื่นๆได้ว่าไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานอะไรอยู่ และในระหว่างที่ไมโครโปรเซสเซอร์หยุดรอ สามารถเปลี่ยนแปลงการต่อกับหน่วยความจำของผู้ใช้มาเป็นหน่วยความจำในระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ได้ง่าย สามารถใช้ควบคุมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานตามคำสั่งที่ต้องการได้โดยไม่ต้องให้ต่อกับหน่วยความจำจริงๆ และสั่งหยุดการทำงานหรือทำงานทีละคำสั่งได้

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ ต้องมีฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมเพื่ออ่านเขียนข้อมูลบนบัสของไมโครโปรเซสเซอร์ระหว่างที่หยุดรอ จึงต้องมีการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เพิ่มเพื่อทำหน้าที่เหล่านี้

4.4 การตรวจสอบการเริ่มต้นคำสั่ง

ปรกติสัญญาณออกจากไมโครโปรเซสเซอร์มักจะมีสัญญาณบอกสถานะด้วยว่าอยู่ในระหว่างอ่านข้อมูลหรืออ่านรหัสคำสั่ง การใช้วงจรวัดสัญญาณนี้ไปควบคุมการเปลี่ยนให้ไปทำงานในโมดอินเทอร์โรเกชันสามารถทำได้เช่นกัน โดยเมื่อต้องการหยุดจะต้องรอจนเริ่มต้นคำสั่งใหม่จึงเปลี่ยนโมด ตัวอย่างของสัญญาณนี้ คือ M1 ใน Z-80 และ S0, S1, IO/M ใน 8085

การทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์หยุดการทำงานในโปรแกรมของผู้ใช้ทั้ง 4 วิธีที่กล่าวมาสามารถใช้ได้กับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป แต่ในไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นใหม่ๆได้พัฒนาให้มีวงจรภายในตัวสำหรับช่วยในการแก้จุดบกพร่องของโปรแกรมได้โดยไม่ต้องใช้วงจรภายนอก เช่น การทำงานทีละคำสั่งในโปรแกรมของผู้ใช้ แล้วเปลี่ยนไปทำงานในโปรแกรมที่เขียนขึ้นสำหรับตรวจสอบการทำงานใน 8086 มีการกำหนดแฟลกสำหรับให้ซีพียูทำหน้าที่ได้เอง นอกจากนี้ใน 80386 ยังมีรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดจุดที่จะหยุดได้โดยบอกว่าจะหยุดเมื่อมีการอ่านเขียนหน่วยความจำหรืออ่านคำสั่งที่แอดเดรสใด การนำมาใช้ในการแก้จุดบกพร่องของโปรแกรมจึงทำได้ง่าย รวมไปถึงเทคนิคที่ใช้ในการทำงานส่วนนี้ของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ด้วย

5. การเก็บค่ารีจิสเตอร์

ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่อยู่ในโมดอินเทอร์โรเกชันเก็บค่ารีจิสเตอร์ที่ได้จากการทำงานของผู้ใช้ไว้ในหน่วยความจำที่เดียวกับที่ใช้ในข้อ 1

ตัวอย่างวิธีที่นำมาใช้ สำหรับ ICE-80 ซีพียูอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ขณะอยู่ในโมดอินเทอร์โรเกชันจะทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่อง Intellec จนมีคำสั่งให้เปลี่ยนไปอยู่ในโมดอีมูเลชัน การหยุดการทำงานตามโปรแกรมของผู้ใช้จะเกิดจากวงจรที่ใช้เปรียบเทียบแอดเดรสส่งสัญญาณให้เปลี่ยนจากการใช้หน่วยความจำของผู้ใช้ไปใช้หน่วยความจำของระบบควบคุมที่อยู่ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ ประกอบด้วยรอม 1 กิโลไบต์ และสามารถใช้แรมที่อยู่ในเครื่อง Intellec สำหรับส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ได้ด้วย โปรแกรมในรอมขนาด 1 กิโลไบต์นี้ ทำให้ซีพียู 8080 ในโมดอินเทอร์โรเกชันทำการอ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ติดตามการทำงานในเวลาจริง ข้อมูลในรีจิสเตอร์

ที่กำหนดจุดหยุด และสถานะข้อผิดพลาดต่างๆ ส่งไปยังหน่วยความจำที่ต่อร่วมกับ Intellec ได้ในลักษณะข้อมูลดิบ และรับคำสั่งจาก Intellec ผ่านทางหน่วยความจำนี้ได้เช่นกัน

ใน ICE-85 ซึ่งพัฒนาการทางฮาร์ดแวร์สูงขึ้นมาก มีการใช้ซีพียู 2 ตัวในการทำงานในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ นอกเหนือจากซีพียูที่อยู่ใน Intellec โดยซีพียูตัวหนึ่ง คือ 8085 ทำงานในโปรแกรมของผู้ใช้ตามปรกติ และในโมดอินเทอร์โรเกชันจะทำงานน้อยมาก โดยทำเฉพาะคำสั่งที่จำเป็นในการคืนค่ารีจิสเตอร์ หรือเก็บค่ารีจิสเตอร์เท่านั้น เราเรียกซีพียูนี้ว่า อีมูเลชันซีพียู และซีพียูอีกตัวใช้ 8080 ทำงานในด้านการควบคุมวงจรทั่วไป และติดต่อกับระบบบัสของ Intellec เราเรียกว่า คอนโทรลซีพียู แยกกันตามหน้าที่ทำให้การออกแบบฮาร์ดแวร์ มีลักษณะเป็นมอดูล และออกแบบซอฟต์แวร์ได้ง่ายขึ้น ได้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่มีความสามารถเพิ่มขึ้น สามารถรับคำสั่งได้มากขึ้น ซึ่งรูปแบบการใช้ซีพียู 2 ตัวนี้ ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน

อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของ Intel ทั้ง 2 รุ่นนี้ไม่ได้บอกวิธีการที่ใช้ในการหยุดการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ แต่กล่าวถึงการเปลี่ยนโมดอีมูเลชันและอินเทอร์โรเกชันว่าไม่กระทบการใช้งานหน่วยความจำของผู้ใช้เลย ประกอบกับไมโครโปรเซสเซอร์ทั้ง 2 เบอร์นี้มีการบ่งบอกสถานที่ชัดเจนว่า เริ่มการอ่านคำสั่งจึงใช้เปลี่ยนการติดต่อหน่วยความจำได้อย่างไม่ยุ่งยาก

ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 มีการเพิ่มคำสั่งจากรหัสภาษาเครื่องของ 8080 อีกเป็นจำนวนมาก และมีคำสั่งที่มีรหัสคำสั่ง 2 ไบต์ โดยแสดงสถานะ M1 ทั้ง 2 ไบต์ การเปลี่ยนโมดโดยดูจุดเริ่มต้นของคำสั่งทำได้ยากขึ้น ผู้ออกแบบอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ Z-80 จึงนิยมใช้วิธีอินเตอร์รัพท์ด้วยฮาร์ดแวร์แทน

อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ของบริษัท Microtek รุ่น MICE-I และ MICE-II มีการใช้สัญญาณ WAIT ในการควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ โดยเฉพาะ MICE-I สามารถกำหนดจุดหยุด, ติดตามการทำงาน และทำงานทีละคำสั่งได้โดยใช้ฮาร์ดแวร์น้อยมาก ทำให้ขายได้ในราคาถูก แต่การทำงานแบบมีจุดหยุด และการติดตามการทำงานไม่เป็นเวลาจริง

การสร้างสัญญาณในการกำหนดจุดหยุดมีลักษณะคล้ายๆกันเกือบทุกรุ่น โดยการใช้ค่าแอดเดรส และสถานะที่ต้องการหยุดเก็บในฮาร์ดแวร์ แล้วค่อยเปรียบเทียบกับแอดเดรส และสถานะของไมโครโปรเซสเซอร์ ส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุมต่อไป ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ กำหนดได้น้อยจุด ถ้าต้องการกำหนดมากต้องเพิ่มฮาร์ดแวร์มาก

การใช้ซอฟต์แวร์ในการกำหนดจุดหยุด ยังเป็นที่นิยมในเครื่องที่ต้องการให้มีจุดหยุดหลายๆจุด โดยไม่ต้องเพิ่มฮาร์ดแวร์ แต่มีการใช้ฮาร์ดแวร์มาตรฐานอยู่ด้วย กรณีที่โปรแกรมของผู้ใช้ไม่สามารถใช้แบบซอฟต์แวร์ได้

การใช้ฮาร์ดแวร์กำหนดจุดหยุดได้หลายจุดโดยไม่ต้องเพิ่มฮาร์ดแวร์ จะใช้การต่อหน่วยความจำให้รับแอดเดรสจากซีพียู และข้อมูลเข้าวงจรกำหนดจุด ทำให้สามารถใส่ข้อมูลที่เป็นจุดหยุดในตำแหน่งแอดเดรสใดๆ ได้หลายจุด ตามขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ กรณีใช้หน่วยความจำขนาดเล็ก จะต้องเลือกช่วงของแอดเดรสที่จะกำหนดเพียงช่วงเดียว แต่สำหรับซีพียู 8 บิต ที่อ้างแอดเดรสได้ 64 กิโลไบต์ วิธีนี้จะใช้งานได้ครบทุกแอดเดรส

วงจรอีกส่วนที่ไม่ได้ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ แต่ใช้ติดตามการทำงานในเวลาจริง (real time trace) มีหลักการทำงานที่คล้ายๆกันในทุกเครื่อง คือ ประกอบด้วยวงจรหน่วยความจำที่มีขนาดกว้าง (จำนวนบิตที่สามารถอ่านเขียนได้พร้อมกัน) 32 บิต หรือมากกว่าเพื่อให้สามารถบันทึกค่าแอดเดรส และข้อมูลสถานะของซีพียูได้ทั้งหมดที่เกินมาจะใช้บันทึกสัญญาณภายนอกเหมือนกับลอจิกอะนาไลเซอร์ ความลึก คือ จำนวนแมชชีนไซเคิลที่จะบันทึกได้มีขนาด 2 กิโล หรือมากกว่า แอดเดรสของหน่วยความจำจะต่อกับวงจรนับที่เปลี่ยนค่าทุกแมชชีนไซเคิล การควบคุมการเริ่มบันทึก หรือหยุดบันทึกใช้สัญญาณการกำหนดจุดหยุดแบบฮาร์ดแวร์

ยังมีไมโครโปรเซสเซอร์ลักษณะพิเศษอีกกลุ่มหนึ่ง คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ปรกติจะมีระบบบัสซ่อนอยู่ภายใน ขาสัญญาณภายนอกจะทำหน้าที่ อินพุตเอาต์พุตแบบผู้ใช้กำหนด เราสามารถใช้หลักการทั้งหมดที่กล่าวมาร่วมกันในการทำอินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำภายนอก ผู้ผลิตจึงต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลเดียวกันแต่เป็นรุ่นใหญ่กว่าให้ติดต่อหน่วยความจำภายนอก (เพื่อใช้บัสในการทำงานควบคุมที่กล่าวมาแล้ว) และมีขาพอร์ตเพิ่มเติมจากเดิม ให้ผู้ใช้ใช้งานแทนขาที่ถูกใช้เป็นแอดเดรสและข้อมูล ผู้ใช้จะต้องดัดแปลงโปรแกรมให้ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่นี้ได้ในขณะทดลอง

อินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตจากผู้ผลิตชิปโดยตรง จะมีข้อได้เปรียบ คือ อิมูเลชันซีพียู จะใช้ชิปพิเศษที่มีขาสัญญาณภายนอกครบตามที่ผู้ใช้มีในชิปของจริง และยังมีสัญญาณเกินมาให้สำหรับผลิตอินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์ได้อย่างสะดวก และผู้ใช้ไม่ต้องดัดแปลงโปรแกรมขณะทดลองด้วย

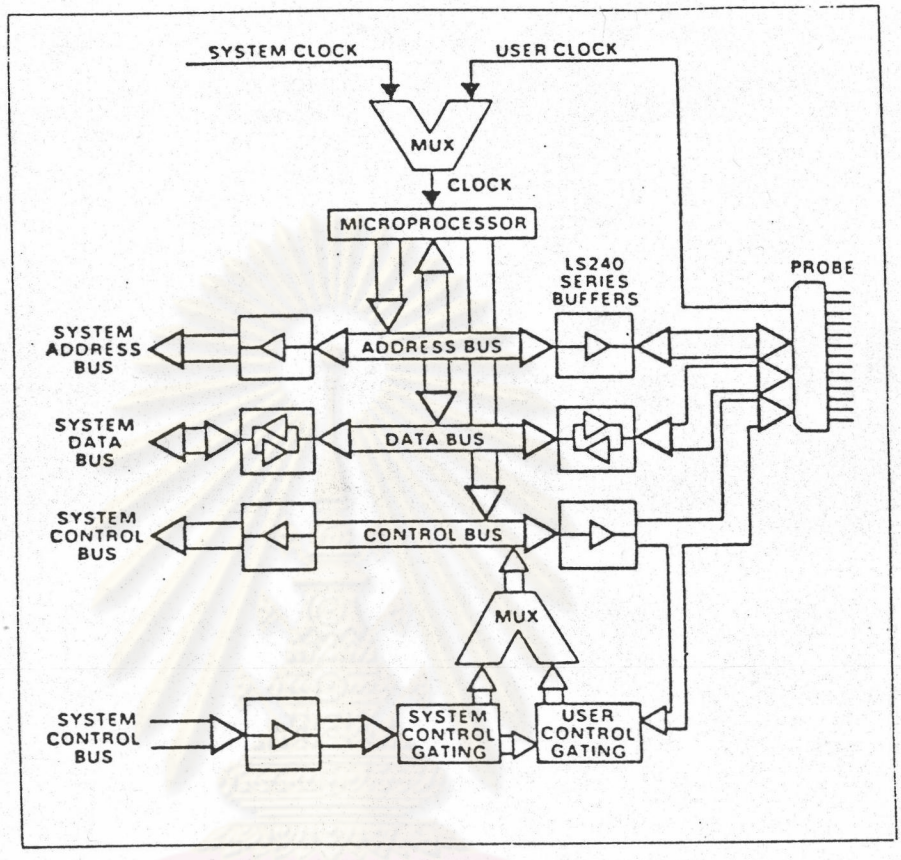
ในงานวิจัยนี้จะพยายามนำหลักการที่มีประโยชน์และใช้งานได้จริง โดยหาอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในประเทศ จึงจำกัดการเลือกอยู่ในกลุ่มไมโครโปรเซสเซอร์ที่นิยมใช้งานในการออกแบบระบบทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ พบว่าส่วนใหญ่นิยมใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8 บิต เบอร์ Z-80 และไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์มีปัญหาในการผลิตและขาดอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ จึงเลือกออกแบบสำหรับใช้กับ Z-80 และนำหลักการเดียวกันออกแบบ 8085 เพื่อให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำวิธีการออกแบบไปใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์อื่นๆ

หลักการควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์เลือกใช้วิธีให้สัญญาณ WAIT ร่วมกับการตรวจสอบการเริ่มต้นคำสั่ง เพื่อให้ได้วงจรที่ง่ายและมีปัญหาในการนำไปใช้งานจริงน้อยที่สุด มีการสร้างสัญญาณกำหนดจุดหยุดด้วยวงจรเปรียบเทียบ และมีการติดตามการทำงานในเวลาจริงด้วย

<u>การติดต่อกับฮาร์ดแวร์ของระบบเป้าหมาย</u>

อินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์ มีอิมูเลชันซีพียูเป็นส่วนประกอบสำคัญโดยมีฮาร์ดแวร์ที่เชื่อมต่อไปยังซ็อกเก็ตซีพียูของผู้ใช้ในระบบเป้าหมาย รูปแบบของวงจรทั่วไปแสดงในรูป 2.6 สัญญาณแอดเดรส และข้อมูลจะต่อผ่านบัฟเฟอร์ไปยังขั้วต่อสาย แต่สัญญาณควบคุมจากระบบเป้าหมายจะต้องมารวมกับสัญญาณจากระบบควบคุมการทำงานไมโครโปรเซสเซอร์ตามที่กล่าวมาแล้ว เช่น สัญญาณอินเตอร์รัพท์ หรือ WAIT นอกจากนี้ยังมีสัญญาณควบคุมบางสัญญาณ เช่น สัญญาณรีเซตที่ต้องควบคุมการใช้ หรือไม่ใช้ได้ก่อนจะยอมให้ต่อจากระบบเป้าหมายมายังซีพียู และสัญญาณควบคุมที่ออกจากซีพียูบางสัญญาณจะถูกป้องกันไม่ให้เกิดที่ระบบเป้าหมายในโมดอินเทอร์โรเกชัน เพราะอาจทำให้เกิดความผิดพลาดกับอุปกรณ์ในระบบเป้าหมายได้

อุปกรณ์สำคัญในอินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์ที่ยังไม่ได้กล่าวถึง คือหน่วยความจำอิมูเลชันที่ใช้แทนหน่วยความจำบนระบบเป้าหมาย ปรกติต่ออยู่ในอินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์ โดยไม่ส่งสัญญาณออกไปที่ระบบเป้าหมายเพื่อไม่ให้เกิด bus contention กับข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกที่อาจทำงานในช่วงเดียวกัน แต่สำหรับระบบที่ใช้ซีพียู Z-80 อุปกรณ์ร่วมทำงานด้วยมีความต้องการอ่านคำสั่งที่ซีพียูทำงานไปพร้อมกันด้วย จึงต้องมีขั้วต่อพิเศษสำหรับนำสัญญาณจากอิมูเลชันซีพียูออกไปต่อกับอุปกรณ์ภายนอก มีใช้ในเครื่อง ICD278 for Z-80 (ZAX Corp.,



รูป 2.6 โครงสร้างทั่วไปของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1985) การเลือกใช้หน่วยความจำภายในระบบ หรือใช้หน่วยความจำจากระบบเป้าหมายจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ผู้ใช้กำหนดได้โดยมีวิธีที่นิยม 2 วิธี คือ

1. ใช้สวิทช์เลือก มีข้อดีคือราคาถูก ไม่ต้องตั้งใหม่เมื่อเริ่มใช้ แต่ไม่สามารถแบ่งช่วงการเลือกใช้ได้ละเอียดนัก

2. ใช้วงจรถอดรหัสเลือกหน่วยความจำที่โปรแกรมได้ด้วยคำสั่งจากผู้ใช้ จำเป็นต้องโปรแกรมใหม่เมื่อเริ่มใช้งาน แต่สามารถแบ่งช่วงการเลือกใช้ได้ละเอียดกว่าและมีความสามารถอื่นๆเพิ่มเติม เช่น การกำหนดว่าไม่มีหน่วยความจำหรือให้อ่านอย่างเดียวในโมดอีมูเลชัน ถ้าซีพียูทำงานผิดพลาดจากที่กำหนดไว้จะหยุดการทำงาน ทำให้สะดวกในการแก้ข้อบกพร่องมากกว่าการใช้สวิทช์เลือก

ในด้านตำแหน่งของซีพียูและหน่วยความจำอีมูเลชันจะมีผลอย่างมากต่อความเร็วในการทำงานจนบางครั้งไม่สามารถทำงานได้ด้วยความเร็วปกติต้องเพิ่มสัญญาณ WAIT ให้กับระบบ เช่น ใน ICE-85 หน่วยความจำอีมูเลชันใช้จากแรมในระบบ Intellec ผ่านทางระบบมัลติบัส แต่อีมูเลชันซีพียูอยู่ในกล่องขนาดเล็กใกล้กับระบบเป้าหมายมาก เพื่อให้สามารถทำงานกับหน่วยความจำบนระบบเป้าหมายได้ด้วยความเร็วสูงสุด แต่ต้องใช้ WAIT ในช่วงที่ติดต่อกับหน่วยความจำอีมูเลชัน ในปัจจุบันหน่วยความจำมีความจุสูง และขนาดเล็กลง การต่อหน่วยความจำไว้ใกล้กับซีพียูในกล่องขนาดเล็กใกล้กับระบบเป้าหมายทำได้ง่ายขึ้น

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หน่วยความจำอีมูเลชันและซีพียูอยู่ในกล่องเดียวกัน และมีสายต่อไปยังระบบเป้าหมาย โดยต้องการใช้สายขนาดสั้นที่สุด เพื่อให้ทำงานกับระบบเป้าหมายได้ดี การเลือกหน่วยความจำจะใช้คำสั่ง และมีความสามารถในการตรวจสอบความผิดพลาดครบถ้วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การวิจัยเกี่ยวกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในประเทศไทย</u>

การใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ยังไม่มีการทำอย่างจริงจัง เครื่องมือพัฒนาที่ได้รับความนิยมมากเป็นเครื่องมือราคาถูกและความสามารถในการแก้จุดบกพร่องไม่มากนัก งานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่มีการติดต่อกับผู้ใช้ไม่สะดวก จนในการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 10 นาย วิริยะ กองรัตน์ และ นาย วิชัย ตันติจริยางกูล (2530) เสนอผลงาน ชื่อ ระบบช่วยพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ มีการออกแบบคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวสำหรับ Z-80 ที่มีความสามารถในการทำงานทีละคำสั่งได้โดยวิธีการใช้สัญญาณอินเตอร์รัพต์ ซึ่งเป็นงานที่มีผู้เสนอในก่อนหน้านั้นจน

สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์จำหน่ายได้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงเน้นที่ความสะดวกในการใช้งาน สามารถใช้ร่วมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้ในการใช้รูปแบบคำสั่งเหมือนกับโปรแกรม debug.com ในเครื่องที่ใช้ MS-DOS การติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้สาย RS-232C การส่งข้อมูลมองเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเทอร์มินอล ต่อมาได้มีเครื่องคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่มีรูปแบบการใช้งานเดียวกันนี้ออกมาจำหน่าย (บริษัท อีทีที จำกัด, 2532)

อุปกรณ์อื่นที่ช่วยในการพัฒนาระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีผู้เสนอในการประชุมทางวิชาการการวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 11 สินชัย กมลภิวงศ์, เดชา สุรัจกุลวัฒนา และสิทธิชัย กาญจนาธำรงค์กุล (2531) เรื่อง การพัฒนาลอจิกอะนาไลเซอร์ ขนาด 40 ช่อง สัญญาณราคาถูก ลักษณะของงานเป็นแผงวงจรเสียบในเครื่อง IBM PC สามารถรับสัญญาณเข้าได้ 40 ช่อง ซึ่งเพียงพอสำหรับการวัดสัญญาณในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ การแสดงผลให้ผู้ใช้ดูนอกจากเป็นระดับสัญญาณบนจอภาพแล้ว เมื่อใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์จะมีซอฟต์แวร์ให้เลือกสำหรับแปลงข้อมูลที่วัดได้เป็นภาษาแอสเซมบลี ซึ่งมีให้เลือกได้หลายเบอร์

สุภนันท์ หิรัญยนิสุทธิกุล (2534) จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ระดับบอร์ด เป็นระบบที่ออกแบบฮาร์ดแวร์มาตรฐานสำหรับทำเครื่องต้นแบบ และยังมีเครื่องมือช่วยแก้ไขจุดบกพร่องเป็นแผ่นวงจรประกบกับแผ่นซีพียู แล้วต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์มีคำสั่งในการแก้จุดบกพร่องครบถ้วน การทำงานเหมือนกับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ เพียงแต่ไม่มีการต่อสัญญาณเข้ากับซ็อกเก็ตซีพียูเท่านั้น เครื่องมือนี้มีสำหรับซีพียู Z-80 และ 8085 การควบคุมการทำงานของซีพียูใช้สัญญาณอินเตอร์รัพท์ และมีการเปลี่ยนโมดอีมูเลชัน และอินเทอร์โรเกชันเหมือนอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

งานวิจัยที่เป็นเรื่องอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จริงๆ เป็นผลงานของนิสิตระดับปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2 รุ่น คือ ทวี โชคนิพัฒน์ (2531) และเศรษฐา พันธุ์เพ็ง (2532) โดยการสร้างเครื่องอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่ใช้วิธีการควบคุมแบบสัญญาณ WAIT มีจุดเด่นที่ใช้ฮาร์ดแวร์น้อย แต่การใช้งานในการตั้งจุดหยุด และติดตามการทำงานจะทำงานตามเวลาจริงไม่ได้