หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

ไมโครโปรเซสเซอร์ได้มามีผลอย่างมากต่อการออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ ทำให้อาร์ดแวร์ที่เหมือนกันทำงานที่แตกต่างกันได้ การออกแบบอาร์ดแวร์ เช่นหน่วยความจำและพอร์ต จะกำหนดขอบเขตการทำงานของซอฟต์แวร์ขณะที่ซอฟต์แวร์จะกำหนดหน้าที่การทำงาน

ข้อดีของการออกแบบระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ คือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง การควบคุมด้วยซอฟต์แวร์ทำให้เปลี่ยนแปลงการทำงานได้ง่าย และสามารถทำงานที่ซับซ้อนได้ง่ายกว่าวิธีอื่น ความสามารถในการคำนวณทำให้การวิเคราะห์และแปลข้อมูลโดยเครื่องมือทำได้ ซึ่งแต่เดิมจะแสดงได้เฉพาะข้อมูลดิบ

โครงสร้างพื้นฐานของระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ พอร์ต ต่อกันด้วยบัสแอดเดรส บัสข้อมูล และบัสควบคุม ซึ่งปรกติจะเป็นวงจรที่ออกแบบง่ายและมีราคาถูก

การพัฒนาระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนประกอบอาจพอแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การพัฒนาอาร์ดแวร์ และการพัฒนาซอฟต์แวร์ เครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาระบบมีชื่อเรียกรวมๆว่า ระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor development system)

ในยุคเริ่มต้นการพัฒนาอาร์ดแวร์และการพัฒนาซอฟต์แวร์ต้องดำเนินการแยกกัน เมื่อต้องการทดสอบการทำงานร่วมกันจะใส่ซอฟต์แวร์ที่ใช้งานจริงไว้ในรอมแล้วทดสอบใช้งาน โดยไม่สามารถควบคุมหรือสังเกตการทำงานของโปรแกรม ซึ่งถ้าพบข้อบกพร่องของระบบ อาจจะเกิดจากปัญหาทั้งทางอาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในขั้นตอนนี้ถ้าระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ไม่มีอุปกรณ์ทดสอบที่เหมาะสม ต้องใช้เวลาดำเนินการมาก จึงต้องการอุปกรณ์สำหรับระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ที่สามารถทดสอบซอฟต์แวร์ที่ใช้งานจริงในอาร์ดแวร์ต้นแบบ โดยสามารถสังเกตและควบคุมการทำงานของโปรแกรมได้

ในปี 1975 บริษัท Intel ผู้ผลิตไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8080 ได้แนะนำอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8080 (Tseng, 1982) โดยใช้ชื่อ ICE-80 ดังแสดงในรูป 1.1 ซึ่งเป็นแนวความคิดใหม่ที่ช่วยในการออกแบบ โดยเน้นเครื่องมือออกแบบที่อนุญาตให้ทดสอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ร่วมกันได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ (Kline, Maerz and Rosenfeld, 1976) เครื่องนี้ใช้งานร่วมกับ Intellec microcomputer development system (Intel Corp., 1977) โดยอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์มีฮาร์ดแวร์เป็นแผงวงจร 2 แผ่นเสียบอยู่ในบัสภายในเครื่อง Intellec มีสายต่อมายังกล่องบัฟเฟอร์ข้างนอกก่อนที่จะมีขั้วต่อขนาด 40 ขา สำหรับต่อไปยังซ็อกเก็ตสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ที่อยู่บนระบบที่กำลังพัฒนา

<u>อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ คืออะไร</u>

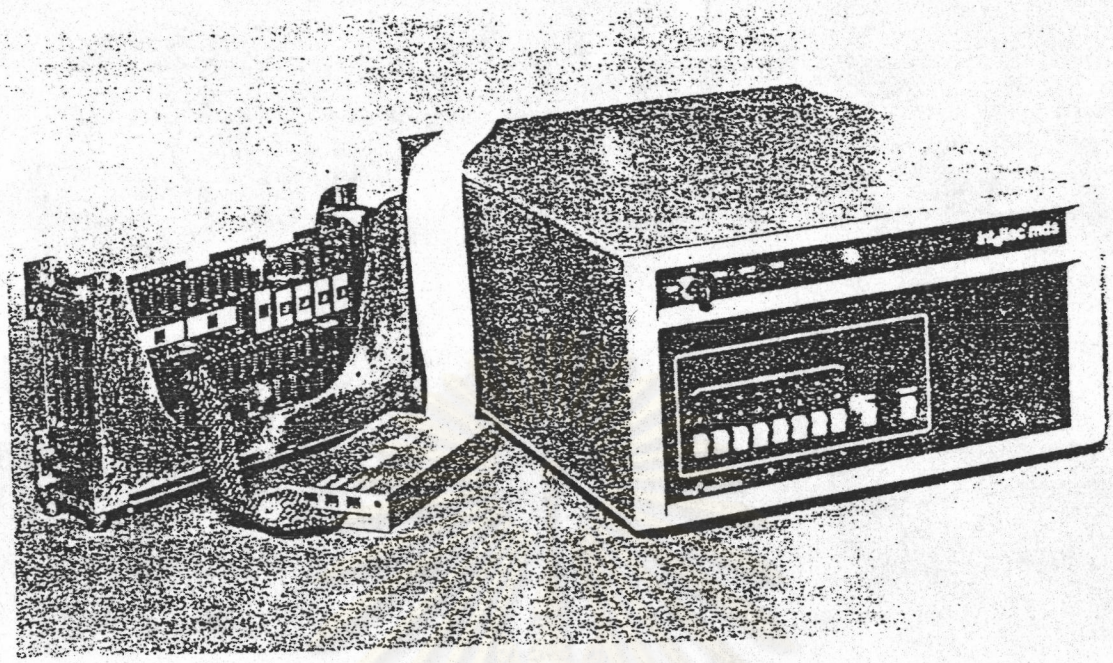
อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ คือเครื่องมือที่ประกอบด้วยวงจรและโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบ และตรวจหาข้อผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนของการพัฒนา วงจรของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จะมีซีพียูสำหรับอีมูเลชันที่ใช้แทนที่ซีพียูในระบบเป้าหมายที่กำลังพัฒนา

ก่อนที่ระบบเป้าหมายจะมีวงจรครบถ้วน เราสามารถใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ตามลำพังเพื่อพัฒนาโปรแกรม โดยหน่วยความจำที่มีอยู่ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สามารถใช้แทนหน่วยความจำในระบบเป้าหมาย เมื่อระบบเป้าหมายมีวงจรแล้วเราสามารถใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในการพัฒนาทั้งวงจรและโปรแกรมพร้อมกัน

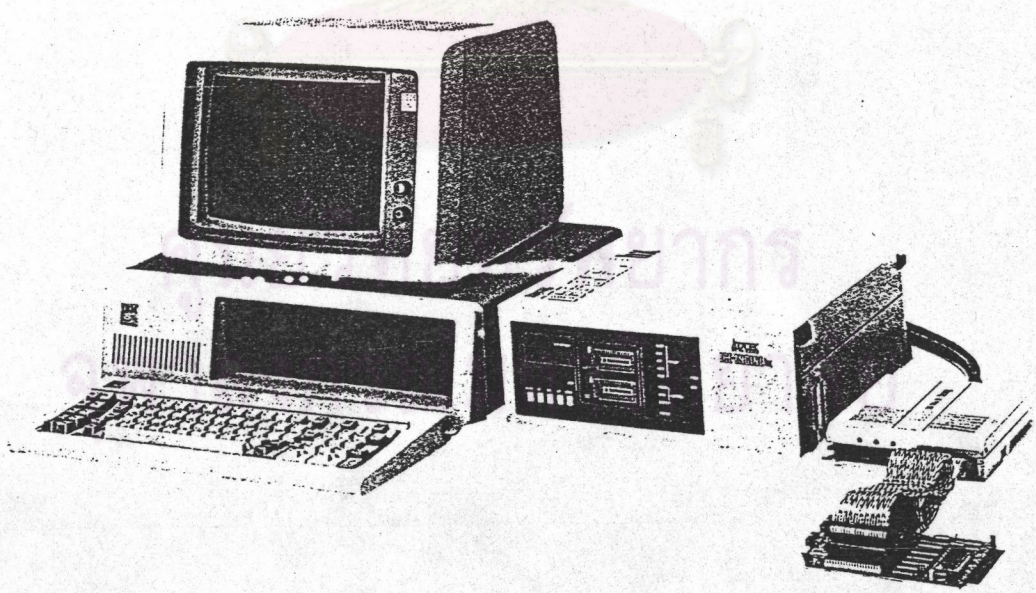
อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ทั่วไป มีความสามารถในการแก้จุดบกพร่องโดยการควบคุมและสังเกตการไหลของโปรแกรม ซึ่งรวมไปถึงการตรวจสอบตัวแปรต่างๆของโปรแกรม และอินพุตเอาต์พุตพอร์ต

การควบคุมการไหลของโปรแกรมประกอบไปด้วยการกำหนดจุดหยุด การสังเกตการไหลของโปรแกรม จะมีการทำงานทีละคำสั่งและการติดตามสถานะของบัสด้วยฮาร์ดแวร์ (real time trace) โดยใช้หน่วยความจำบัฟเฟอร์ การตรวจสอบตัวแปรของโปรแกรมและข้อมูลสถานะของโปรแกรม ทำโดยการแสดงค่าในหน่วยความจำและพอร์ต

แต่เดิมอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ จะมีในระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นระบบค่อนข้างใหญ่ทำให้มีราคาแพง ต่อมาได้มีการนำไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีราคาถูกมาประยุกต์ใช้งานเป็นระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ และมีอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่ใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้แสดงในรูป 1.2



รูป 1.1 ICE-80 และ Intellec microcomputer development system



รูป 1.2 อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์แบบที่ใช้ร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการออกแบบระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

การออกแบบระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์มีขั้นตอนแสดงในรูป 1.3

1. ให้ข้อกำหนดรายละเอียดของระบบ ขั้นแรกของการออกแบบระบบทั่วไป คือ การให้ข้อกำหนดรายละเอียดของระบบ ข้อกำหนดนี้จะเป็นการบอกว่าระบบจะต้องทำงานอะไรได้บ้าง แต่ยังไม่ครอบคลุมถึงวิธีการที่ใช้ในการทำงานเช่นนั้น

2. การออกแบบระบบเป็นระดับบล็อก รวมถึงการเลือกชนิดของไมโครโปรเซสเซอร์ กำหนดอินพุต,เอาต์พุต และหน่วยความจำที่ต้องใช้ และแบ่งว่างานใดจะเป็นหน้าที่ของฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์

เมื่อออกแบบระดับบล็อกเสร็จแล้วการออกแบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการออกแบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งโดยมากจะทำขนานกันไป

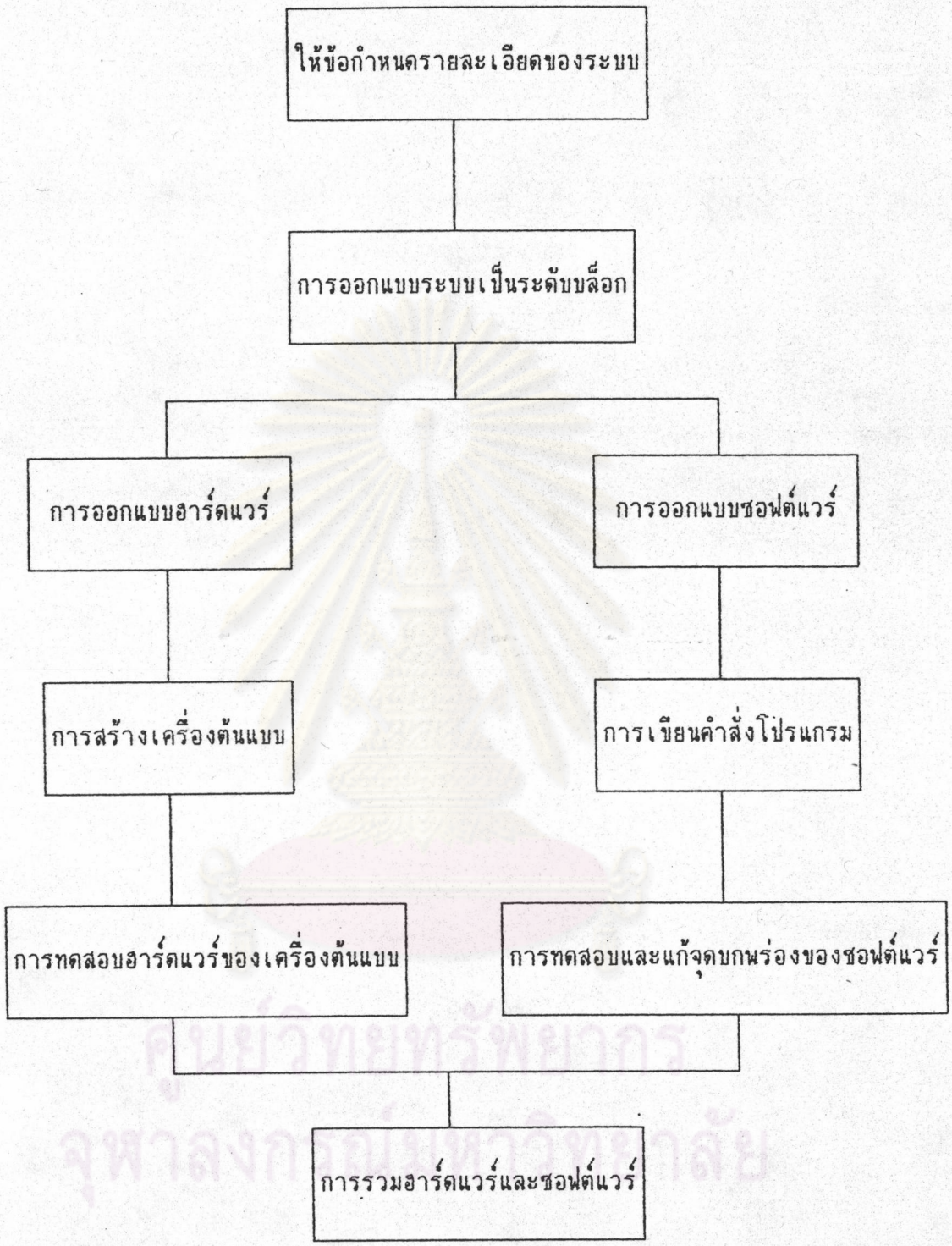
3. การออกแบบฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วยการเลือกไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ อุปกรณ์รอบนอก และออกแบบวงจรว่าจะต่อกันอย่างไรให้เป็นระบบที่ต้องการ

4. การสร้างเครื่องต้นแบบ เราสามารถสร้างได้จากการใช้ไอซีมาต่อกันบนแผ่นวงจรเอนกประสงค์ ซึ่งเราเรียกว่าการสร้างเครื่องต้นแบบในระดับไอซี หรือระดับอุปกรณ์

ระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถประกอบได้จากแผ่นวงจรพิมพ์มาตรฐาน เช่น บอร์ดซีพียู บอร์ดหน่วยความจำ บอร์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งต่อถึงกันด้วยบัสของระบบ การพัฒนาระบบไมโครโปรเซสเซอร์ด้วยวิธีนี้ จะทำให้ออกแบบได้ง่ายขึ้นแต่อาจเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าวิธีปรกติ เหมาะที่จะใช้กับระบบที่ผลิตจำนวนน้อยและไม่ต้องการอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เราเรียกอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบวิธีนี้ว่า ระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ระดับบอร์ด (สุภนันท์ หิรัญยพิสุทธิกุล, 2534)

คอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว (single-board computer) ประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ พอร์ตอินพุตเอาต์พุต ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฮาร์ดแวร์ต้นแบบได้โดยการต่ออุปกรณ์เพิ่มเติม (Multitech Industrial Corp., 1981)

5. การทดสอบฮาร์ดแวร์ของเครื่องต้นแบบ การแก้จุดบกพร่องของฮาร์ดแวร์มักจะเริ่มโดยการทดสอบระบบกับโปรแกรมสั้นๆ โดยโปรแกรมนี้อาจใส่อยู่ในรอมที่เสียบลงไปในระบบหรืออาจใช้รอมอีมูเลเตอร์เพื่อให้สามารถแก้ไขได้ง่ายกรณีที่ใช้ระบบพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ระดับบอร์ด หรือคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวเป็นเครื่องต้นแบบ เครื่องเหล่านี้มักจะมีวงจรและโปรแกรมควบคุมระบบ (monitor program) มาด้วย ซึ่งเราสามารถใช้ในการแก้จุดบกพร่องของฮาร์ดแวร์ที่ต่อเพิ่มเติมได้ ในกรณีที่ฮาร์ดแวร์ยังไม่สมบูรณ์ไม่มีที่สำหรับรอม



รูป 1.3 ขั้นตอนการออกแบบระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบสามารถทำได้ด้วยวิธี static stimulus testing (Coffron, 1983) หรือเครื่องตรวจสอบการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ (บริษัท เมเซอร์โทรนิกซ์ จำกัด, 2530) หรืออินเซอร์กิตอิมูเลเตอร์ ซึ่งเครื่องมือทั้ง 3 แบบนี้ ใช้เสียบแทนที่ไมโครโปรเซสเซอร์ในระบบ และทำการควบคุมฮาร์ดแวร์ส่วนที่ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ จึงสามารถทดสอบหน่วยความจำ พอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้

6. <u>การออกแบบซอฟต์แวร์</u> เมื่อออกแบบระดับบล็อกเสร็จและแบ่งว่างานใดจะเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์แล้ว จะกำหนดข้อกำหนดรายละเอียดของซอฟต์แวร์ ออกแบบโครงสร้างของซอฟต์แวร์โดยแบ่งงานเป็นส่วนย่อยระดับต่างๆ จนสามารถเขียนคำสั่งโปรแกรมได้

7. <u>การเขียนคำสั่งโปรแกรม</u> ซอฟต์แวร์อาจเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี ภาษาระดับสูง หรือใช้ร่วมกันขึ้นอยู่กับชนิดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งจะมีโปรแกรมช่วยในการเขียนแฟ้มข้อมูลภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ (editor) หลังจากนั้นซอฟต์แวร์ที่เขียนจะถูกแปลเป็นรหัสภาษาเครื่องด้วยแอสเซมเบลอร์สำหรับซอฟต์แวร์ที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี และคอมไพเลอร์สำหรับซอฟต์แวร์ที่เขียนด้วยภาษาระดับสูง ในการเขียนโปรแกรมสั้นๆ เราอาจใช้การแปลภาษาแอสเซมบลีเป็นรหัสภาษาเครื่องด้วยตนเองแล้วป้อนให้เครื่องโปรแกรมรอม หรือคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวได้โดยตรง

8. <u>การทดสอบและแก้จุดบกพร่องของซอฟต์แวร์</u> อาจจะเป็นไปได้ที่จะแก้จุดบกพร่องของซอฟต์แวร์โดยไม่ต้องมีฮาร์ดแวร์ต้นแบบ โดยการใช้ debugger ที่จะนำซอฟต์แวร์มาทดลองทำงานในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์เดียวกันกับที่ใช้ในฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบ โดยสามารถควบคุมและติดตามการทำงานของโปรแกรมได้ เช่นระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 สามารถทดสอบซอฟต์แวร์โดยให้ทำงานในเครื่องที่ใช้ระบบปฏิบัติการ ซีพีเอ็ม-80 (พรชัย จิตต์พานิชย์, 2531) หรือระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8088 สามารถทดสอบได้ในเครื่อง IBM PC โดยใช้โปรแกรม debug.com (วศิน เพิ่มทรัพย์, 2532) โดยทั่วไปเราสามารถทดสอบซอฟต์แวร์ได้เฉพาะส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์

ในกรณีที่เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ต่างชนิดกับที่ใช้ในระบบที่ออกแบบจะต้องใช้โปรแกรม simulator ซึ่งจะจำลองการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในระบบให้ทำงานตามโปรแกรมที่ทดสอบ ซึ่งนอกจากจะทดสอบการทำงานเฉพาะส่วนโปรแกรมบางครั้งจะสามารถจำลองการทำงานของฮาร์ดแวร์บางส่วนได้ เช่นโปรแกรมจำลองการทำงานของ IBM PC ให้เป็นเครื่องที่ใช้ระบบปฏิบัติการซีพีเอ็ม-80 (Riff, 1986) ในกรณีที่ฮาร์ดแวร์ไม่ใช่อุปกรณ์มาตรฐานโปรแกรมที่ใช้จำลองการทำงานโดยทั่วๆไปจะทดสอบไม่

ได้ นอกจากนี้การออกแบบที่ใช้โปรแกรม simulator จะไม่สามารถทดสอบโปรแกรมแบบ real-time ได้ เนื่องจากโปรแกรมจำลองจะทำงานด้วยความเร็วต่ำกว่าการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์จริงๆมาก

นอกจากนี้สามารถใช้โปรแกรมตรวจสอบและแก้จุดบกพร่อง ที่มีในคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์เดียวกับที่ใช้ในฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบในการทดสอบซอฟต์แวร์ได้โดยการถ่ายข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแปลซอฟต์แวร์เป็นภาษาเครื่องไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวได้ (บริษัท อีทีที จำกัด, 2532) หรืออาจเขียนซอฟต์แวร์เป็นภาษาเครื่องโดยใช้แป้นพิมพ์และตัวแสดงผลที่มีในคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว

เราสามารถใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ตามลำพังเพื่อพัฒนาโปรแกรม หน่วยความจำที่มีอยู่ในอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ สามารถใช้แทนหน่วยความจำในระบบเป้าหมาย

9. <u>การรวมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์</u> หลังจากฮาร์ดแวร์สามารถทำงานตามโปรแกรมทดสอบได้ ก็จะเริ่มขั้นตอนการรวมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ด้วยกัน โปรแกรมทดสอบจะถูกแทนที่ด้วยซอฟต์แวร์ที่ใช้งานจริง และเริ่มการแก้จุดบกพร่องของระบบซึ่งมักจะพบปัญหาทั้งทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในขั้นตอนนี้มีอุปกรณ์ทดสอบหลายอย่าง แต่ที่นิยมใช้คือ อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่เสียบเข้าไปในซ็อกเก็ตไมโครโปรเซสเซอร์ แล้วสามารถควบคุมและตรวจสอบการทำงานของระบบได้ อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์มักจะมีหน่วยความจำที่ใช้แทนหน่วยความจำของเครื่องต้นแบบ เครื่องทดสอบอีกชนิดที่มีประโยชน์ คือ ลอจิกอะนาไลเซอร์ (Harding, 1989) ที่จะแสดงลำดับการทำงานของบัส อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ส่วนใหญ่จะรวมหน้าที่นี้ไว้ด้วยซึ่งมีคุณค่าในการแก้จุดบกพร่องได้ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

กรณีที่ใช้คอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่ต่อฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมเป็นเครื่องต้นแบบ เราสามารถใช้โปรแกรมควบคุมระบบช่วยให้เราควบคุมติดตามการทำงานของโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่ใช้งานในระบบฮาร์ดแวร์ในระบบได้ แต่ความสามารถในการตรวจสอบการทำงานของระบบจะด้อยกว่าอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

รอมอีมูเลเตอร์ เดิมมีความสามารถเพียงรับโปรแกรมภาษาเครื่องมาเก็บไว้ให้ฮาร์ดแวร์ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์โดยตรวจสอบ หรือควบคุมไม่ได้ แต่ก็มีการพัฒนาเครื่องมือนี้ขึ้นมาให้มีความสามารถในการทดสอบ และควบคุมการทำงานของโปรแกรมได้มากขึ้น (Small, 1990) คาดว่ารอมอีมูเลเตอร์จะได้รับความนิยมในการพัฒนาระบบไมโครโปรเซสเซอร์มากขึ้น เพราะสามารถใช้กับการพัฒนาระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้หลายเบอร์

จะเห็นว่า อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการพัฒนาระบบที่

ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถใช้งานได้ในหลายๆ ขั้นตอนของการพัฒนา แต่ความนิยมใช้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในประเทศไทยยังมีน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องมืออื่นๆ เพราะราคาที่แพงกว่าประกอบกับเครื่องมืออื่นๆได้เพิ่มความสะดวกในการติดต่อกับผู้ใช้มากขึ้นจนเหมาะสมกับผู้ใช้ทั่วไปที่ต้องการเรียนรู้และทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ แต่สำหรับผู้ที่ต้องการใช้งานในการออกแบบระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์อย่างจริงจังยังถือว่าอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ออกแบบสร้างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 และ 8085 ที่ใช้ร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC หรือเทอร์มินอลที่มีพอร์ต RS-232C โดยจะเน้นความสามารถในการกำหนดการใช้หน่วยความจำอีมูเลชัน, การกำหนดจุดหยุด (breakpoint) และการติดตามสถานะของบัส (real time trace)

ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบสร้างอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่มีข้อกำหนดดังนี้

1.1 ใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ Z-80 และ 8085

1.2 ใช้ร่วมกับ IBM PC หรือเทอร์มินอลที่มีพอร์ตสื่อสาร RS-232C

1.3 หน่วยความจำอีมูเลชัน มีขนาดสูงสุด 64 กิโลไบต์ ผู้ใช้สามารถกำหนดการใช้หน่วยตวามจำนี้ด้วยคำสั่งได้ช่วงละ 2 กิโลไบต์

1.4 มีการบันทึกสถานะของบัสขณะซีพียูทำงานตามเวลาจริง ไว้ในหน่วยความจำบัฟเฟอร์ได้ 2048 แมชชีนไซเคิล

1.5 กรณีที่มีการกำหนดจุดหยุด (breakpoint) ซีพียูยังสามารถทำงานด้วยความเร็วปกติ (real time)

1.6 กรณีที่โปรแกรมทำงานผิดพลาดจากการใช้หน่วยความจำที่กำหนดไว้ ระบบจะหยุดการทำงานและบอกความผิดพลาดให้ผู้ใช้ทราบบนจอภาพ

2. พัฒนาโปรแกรมติดต่อระหว่าง IBM PC กับอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์

3. ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

วิธีวิจัยโดยย่อ

1. สำรวจหาข้อมูลของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ที่มีในท้องตลาด
2. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์จากเอกสาร
3. กำหนดข้อกำหนด (specification) และออกแบบระบบอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์
4. ออกแบบและทดสอบวงจรและโปรแกรมเป็นส่วนๆ
5. เขียนโปรแกรมควบคุมระบบและทดสอบการทำงานของระบบ
6. ทดสอบเครื่องต้นแบบและแก้ไข (ถ้ามีข้อผิดพลาด)
7. เขียนวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 และ 8085 ที่เป็นเครื่องต้นแบบ สามารถนำไปสร้างใช้งานจริง โดยมีราคาถูกกว่าที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ และได้ความรู้ที่เป็นแนวทางในการออกแบบ อินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์อื่นๆ นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอินเซอร์กิตอีมูเลเตอร์ในประเทศทำให้สามารถซ่อมบำรุงได้เอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย