หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
หน่วยควบคุมระบบ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในหน่วยควบคุมระบบของตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ออกแบบขึ้น จะใช้โครงสร้างแบบ มัลติโปรเซสเซอร์ โดยมีหน่วยควบคุมหลักคอยดูแลสถานะของอุปกรณ์ทั้งหมดในความควบคุม และมีหน่วยควบคุมย่อยที่ใช้ควบคุมในรายละเอียดการปฏิบัติงานของวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ หน่วยควบคุมย่อยจะทำการควบคุมอุปกรณ์ในควบคุมจำนวนหนึ่ง ซึ่งในการออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ จะจัดหน่วยควบคุมย่อยอยู่ประจำทุกแผงวงจร ที่จะนำมาประกอบบนโครงรางของระบบ ในบทที่ 3 นี้จะได้กล่าวถึงรูปแบบการควบคุมที่ใช้ในโครงงานที่ออกแบบขึ้นมานี้

3.1 หน่วยควบคุมหลัก

หน่วยควบคุมหลัก เป็นส่วนที่ต้องมีความสามารถในการประมวลผลสูง และต้องมีโปรแกรมควบคุมที่ซับซ้อน ในการออกแบบตู้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัตินี้ขึ้นมา จึงยังไม่ได้ทำการออกแบบหน่วยควบคุมหลักเฉพาะขึ้นมา เนื่องจากยังไม่ทราบแน่นอนถึงความต้องการต่าง ๆ ที่ระบบต้องการ เช่น ความสามารถในการทำงานของ CPU ความยาวของโปรแกรม จำนวนของหน่วยความจำที่ต้องใช้ เป็นต้น

ดังนั้นในระบบของตู้ชุมสายโทรศัพท์ในขณะกำลังพัฒนาอยู่นี้ จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC ในการทำงานเป็นหน่วยควบคุมหลัก เนื่องจากกระบวนการควบคุมเป็นการรับส่งข่าวสารกันระหว่างหน่วยควบคุมซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อ วงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม การใช้ IBM PC แทนหน่วยควบคุมหลักซึ่งจะออกแบบขึ้นหลังจากได้ทราบถึงความต้องการแน่นอนของระบบแล้ว จะไม่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบนี้ คือ การออกแบบหน่วยควบคุมหลักจริง ไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ เหมือน IBM PC ก็ได้ เพียงแต่ให้มี อินพุท และ เอาท์พุท สำหรับวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม เหมือนกับต้นแบบที่สร้างเป็นแผงวงจรที่เสียบลงบนสล็อตของเครื่อง IBM PC เท่านั้น

การใช้เครื่อง IBM PC สำหรับการพัฒนาโปรแกรมควบคุมตู้ชุมสายโทรศัพท์ มีข้อดีที่สามารถทำการพัฒนาโปรแกรมควบคุมได้สะดวก เพราะมีโปรแกรมสนับสนุนเกี่ยวกับการ

เขียน และการดีบัก บนเครื่อง IBM อยู่มาก การพัฒนาโปรแกรมสำหรับตู้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติที่ออกแบบขึ้นมานี้ จะทำการพัฒนาด้วยการใช้ภาษา C ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการปรับเพื่อลงในฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ได้โดยสะดวก และมีความเร็วในการทำงานได้ใกล้เคียงกับการเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี้ แต่มีความสะดวก และยืดหยุ่นกว่ามาก

3.2 หน่วยควบคุมย่อย

หน่วยควบคุมย่อยจะมีประจำทุกแผงวงจรของระบบตู้ชุมสายโทรศัพท์ ทำหน้าที่ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่แผงวงจรเดียวกัน หน่วยควบคุมย่อยนี้จะมีการส่งข้อมูล และรับคำสั่งจากหน่วยควบคุมหลัก โดยผ่านวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป นอกจากนั้นยังมีหน้าที่คอยจัดช่องเวลาสำหรับการสื่อสาร และเลือกเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ และส่งให้กับวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารที่มันควบคุมอยู่ด้วย

ในส่วนของวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสาร บนแผงวงจรเดียวกับหน่วยควบคุมย่อยนั้นจะมีลักษณะต่าง ๆ กันไปตามชนิดของอุปกรณ์สื่อสารที่เชื่อมโยงอยู่ และมักจะมีจำนวนมากกว่า 1 ตัว ดังนี้

หน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน มีวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในจำนวน 8 วงจร
หน่วยเชื่อมโยงสายนอก มีวงจรเชื่อมโยงสายนอกจำนวน 8 วงจร
หน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์ถอดรหัส DTMF มีวงจรถอดรหัส DTMF จำนวน 8 วงจร
หน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารแบบอะซิงโครนัส มีวงจรเชื่อมโยงอยู่ 2 วงจร

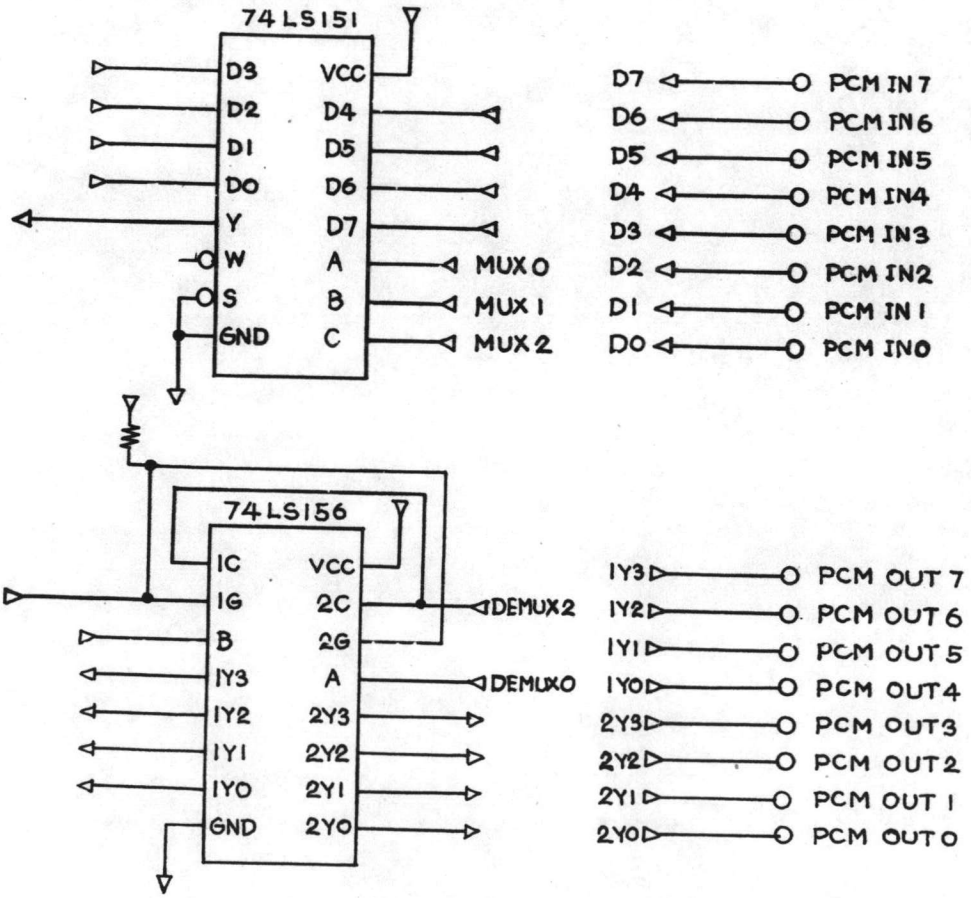
สำหรับหน่วยควบคุมย่อยนั้น จะประกอบไปด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ Z80 พร้อมด้วยหน่วยความจำ EPROM และหน่วยความจำ RAM อย่างละ 8 kByte เป็นหัวใจของการทำงาน โดยจะมีหน่วย I/O พอร์ตที่แตกต่างกันบ้างตามชนิดของอุปกรณ์ที่ควบคุมอยู่ อย่างไรก็ตามหน่วยควบคุมย่อยจะมี I/O พอร์ตบางตัวที่มีลักษณะเหมือนกันอยู่ ได้แก่

I/O พอร์ตที่ทำหน้าที่โปรแกรมการใช้ช่องเวลา และเส้นสัญญาณร่วมของอุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งส่วนนี้จะได้กล่าวถึงต่อไปในบทที่ 5 ในหัวข้อ Time Slot Assigner Circuit รวมทั้งลักษณะการใช้ช่องเวลาด้วย แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการเลือกใช้เส้นสัญญาณร่วมทั้งสำหรับส่ง และเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ ดังต่อไปนี้

การเลือกใช้เส้นสัญญาณร่วมสำหรับส่งนั้น จะใช้วงจรดีมัลติเพล็กเซอร์สำหรับเลือก

ส่งสัญญาณข้อมูลข่าวสารเข้าสู่เส้นสัญญาณร่วมที่ต้องการ กรณีที่ยังไม่ใช่ช่องเวลาของตัวเองนั้น ข้อมูลที่ส่งออกไปจะมีค่าเป็น "1" และลักษณะของวงจรดีมัลติเพล็กเซอร์ นี้จะเป็นแบบ Open Collector ดังนั้นเอาท์พุทของเส้นสัญญาณร่วมสำหรับส่งทุกตัวจึงสามารถต่อเข้าคอนเนกเตอร์บนแผงวงจรด้านหลังได้โดยตรง สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมวงจรดีมัลติเพล็กเซอร์ในการเลือกเส้นสัญญาณร่วมสำหรับส่งนี้ ก็ได้มาจาก I/O พอร์ตส่วนที่ทำหน้าที่นี้ ซึ่งมีลักษณะและหมายเลขพอร์ตเหมือนกันทุกหน่วยควบคุมย่อย

สำหรับส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่เลือกเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับนั้น ก็เป็นวงจรมัลติเพล็กเซอร์ที่ใช้เลือกข้อมูลจากเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ ที่มาจากหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาเข้าสู่วงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสาร เพื่อให้วงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารทำการรับสัญญาณในช่องเวลาที่กำหนดไว้ของแต่ละวงจรต่อไป และสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมวงจรมัลติเพล็กเซอร์ ในการเลือกรับสัญญาณจากเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับนี้ ก็จะมีลักษณะเดียวกับของสัญญาณควบคุมวงจรดีมัลติเพล็กเซอร์ คือมาจาก I/O พอร์ตของหน่วยควบคุมย่อย ซึ่งมีลักษณะ และหมายเลขพอร์ตเหมือนกันทุกหน่วยควบคุมย่อย



รูปที่ 3.1 วงจรเลือกเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ และส่ง

ในรูปที่ 3.1 แสดงถึงรายละเอียดวงจรสำหรับเลือกเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับและสำหรับส่ง โดยได้รับการเลือกจากสายสัญญาณ MUX0-MUX2 และ DEMUX0-DEMUX2 ซึ่งเป็นข้อมูลจากเอาท์พุทพอร์ตสำหรับควบคุมการเลือกเส้นสัญญาณร่วมตามลำดับ

การใช้วงจรมัลติเพล็กเซอร์ และวงจรดีมัลติเพล็กเซอร์สำหรับการเลือกเส้นสัญญาณร่วมในลักษณะนี้ จะทำให้วงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารที่อยู่บนแผงวงจรเดียวกัน จำเป็นต้องส่ง หรือรับสัญญาณ บนเส้นสัญญาณร่วมเดียวกัน จึงอาจทำให้ความยืดหยุ่นของระบบลดลงไปบ้าง แต่เนื่องจากผู้ออกแบบเข้าใจว่าไม่มีความจำเป็นต้องให้วงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารแต่ละตัวสามารถกำหนดเส้นสัญญาณร่วมที่ใช้ได้ อย่างไรก็ตาม การจะเพิ่มคุณสมบัติดังกล่าวก็จะทำได้โดยให้มีวงจรมัลติเพล็กเซอร์ และดีมัลติเพล็กเซอร์ สำหรับวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารทุกตัว ซึ่งอาจทำให้ขนาดของหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารมีขนาดใหญ่ขึ้น และเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็นนัก

วงจรมัลติเพล็กเซอร์ และวงจรดีมัลติเพล็กเซอร์นี้ บางหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารอาจมีเพียงวงจรเดียวก็ได้ เช่น ในหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์ถอดรหัสสัญญาณ DTMF ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรับสัญญาณอย่างเดียว ก็จะมีเฉพาะวงจรมัลติเพล็กเซอร์ และในหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์กำเนิดโทนเสียง ซึ่งอยู่บนแผงวงจรเดียวกับ หน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาก็จะมีเฉพาะวงจรดีมัลติเพล็กเซอร์เพียงอย่างเดียว

I/O พอร์ตอีกส่วนหนึ่งที่จะต้องมีลักษณะเดียวกัน ทุกหน่วยควบคุมย่อย คือ I/O พอร์ตในส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อกับ หน่วยควบคุมหลัก ซึ่งก็คือ I/O พอร์ตที่อยู่ในส่วนของวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม ซึ่งกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

3.3 วงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม

เมื่อระบบมีหน่วยควบคุมมากกว่า 1 ตัวทำงานพร้อม ๆ กัน จึงมีความจำเป็นต้องมีการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมเหล่านั้น การสื่อสารจะเป็นไปในลักษณะที่หน่วยควบคุมหลักจะติดต่อกับหน่วยควบคุมย่อย มากกว่าที่จะให้มีการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมย่อยด้วยกัน เนื่องจากหน่วยควบคุมหลักจำเป็นต้องเป็นศูนย์กลาง และเก็บสภาวะของอุปกรณ์ในระบบทุกตัวไว้อยู่แล้ว ดังนั้นแม้ว่าจะมีความต้องการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมย่อยด้วยกันเองแล้ว ก็จะกระทำโดยให้หน่วยควบคุมหลักเป็นตัวกลาง

การสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยนั้น อาจจะจัดรูปแบบ

ของการสื่อสารได้ 3 รูปแบบด้วยกัน ซึ่งจะอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

1. ใช้บัฟเฟอร์ I/O สำหรับการรับส่งข่าวสารกันระหว่างหน่วยควบคุม ลักษณะโครงสร้างของวงจรเชื่อมโยงประเภทนี้ คือ ทั้งหน่วยควบคุมย่อย และหน่วยควบคุมหลัก จะมีอินพุท และเอาท์พุท พอร์ต อย่างละ 1 พอร์ตเป็นอย่างน้อย โดยที่อินพุทของหน่วยควบคุมย่อยจะต่ออยู่กับ เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมหลัก และในทำนองกลับกัน อินพุทของหน่วยควบคุมหลัก ก็จะต่ออยู่กับ เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อย แต่พอร์ตของทางหน่วยควบคุมย่อยนั้น จะมีสายอีนาเบิ้ลไว้ เพื่อให้หน่วยควบคุมหลักสามารถเลือกที่จะติดต่อกับหน่วยควบคุมย่อยตัวใดก็ได้ รวมทั้งอาจมีพอร์ตที่ทำหน้าที่เป็น แฮนด์เชค สำหรับบอกสภาวะการพร้อมของข้อมูลของหน่วยควบคุมทั้งสองด้วย สายอีนาเบิ้ลพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อยอาจได้รับการถอดรหัสมาเป็นเส้นเดี่ยว หรืออาจส่งมาให้ลักษณะแอดเดรสพอร์ตที่ถูกส่งมาจากหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งจะถูกถอดรหัสภายในหน่วยควบคุมย่อยแต่ละตัวก็ได้ ซึ่งกรณีหลังจะต้องระวังมิให้แอดเดรสของการถอดรหัสของหน่วยควบคุมย่อยตรงกัน ซึ่งจะทำให้การติดต่อไม่สามารถทำได้ และอาจจะทำความเสียหายให้กับฮาร์ดแวร์ก็ได้

2. วงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมโดยใช้หน่วยความจำร่วมระหว่าง หน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อย หลักการของวงจรเชื่อมโยงแบบนี้คือ จะมีหน่วยความจำจำนวนหนึ่งอยู่บนหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งหน่วยควบคุมหลักสามารถเขียน อ่านเอง หรือโอนให้หน่วยควบคุมย่อยตัวที่ได้รับเลือก เข้ามาเขียน อ่านก็ได้ ข้อมูลที่ถูกเขียนลงในหน่วยความจำดังกล่าวก็จะคือข้อมูลที่ต้องการส่งไปให้อีกฝ่ายหนึ่งทราบถึงความต้องการนั่นเอง ในส่วนของหน่วยควบคุมย่อยก็ต้องมีบัฟเฟอร์สำหรับ รับ และส่งข่าวสารเพื่อ อ่าน และเขียนหน่วยความจำนี้ ซึ่งบัฟเฟอร์นี้จะต้องอยู่ในความควบคุมของสัญญาณจากหน่วยควบคุมหลัก และวงจรถอดรหัสแอดเดรสที่ใช้เลือกหน่วยควบคุมย่อยตัวที่สามารถจะติดต่อกับหน่วยควบคุมหลักได้ และเช่นเดียวกับวิธีแรก คือต้องมีพอร์ตที่ทำหน้าที่ แฮนด์เชค กันระหว่างหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยตัวนั้นด้วย

3. ทำการส่งผ่านสัญญาณข่าวสารสำหรับการควบคุมผ่านทางช่องสื่อสาร เช่นเดียวกับที่อุปกรณ์สื่อสารจากผู้ใช้บริการใช้ วิธีนี้จะทำให้บัสต่าง ๆ มีขนาดเล็กลง เพราะไม่ต้องมีบัสควบคุมเพิ่มขึ้นมาจากบัสข่าวสารซึ่งต้องมีแน่ ๆ สำหรับตู้ชุมสายโทรศัพท์ วิธีการคือทำการกำหนดช่องเวลาบางช่องสำหรับส่งสัญญาณควบคุมระหว่างหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยโดยเฉพาะ และสำหรับการระบุตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยควบคุมย่อยที่ได้รับการเลือกนั้นก็อาจส่งไปในช่องการสื่อสารนี้ไปเลย โดยใช้รหัสเฉพาะตัวเป็นการบอกทางหน่วยควบคุมย่อย

ว่า สัญญาณข้อมูลต่อไปจะเป็นสัญญาณการเลือกแอดเดรส ซึ่งตัวที่มีแอดเดรสตรงกับสิ่งที่ส่งมาก็จะได้รับบริการในการติดต่อกับหน่วยควบคุมหลัก ก็จะเริ่มกระบวนการติดต่อ และทำหน้าที่ตามที่ได้รับการบอกกล่าวจากหน่วยควบคุมหลัก ในขณะเดียวกันหน่วยควบคุมย่อยตัวอื่น ๆ ก็จะต้องทำการรับข้อมูลจากหน่วยควบคุมหลัก ว่ามีรหัสควบคุมสำหรับการเลือกแอดเดรสใหม่หรือไม่อยู่ตลอดเวลา

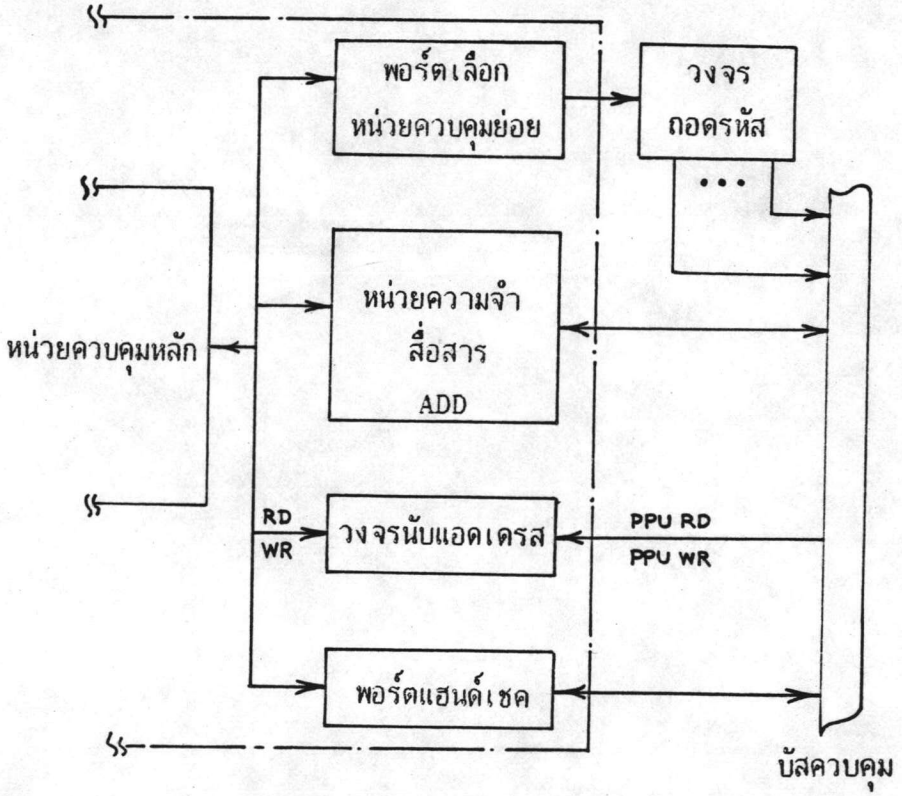
สำหรับในระบบตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ออกแบบขึ้นมานี้ ได้เลือกใช้วิธีของการใช้หน่วยความจำร่วมในการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุม ซึ่งแม้ว่าจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า แบบที่ใช้ I/O พอร์ตสำหรับการรับส่งรหัสควบคุม แต่ก็มีข้อดีที่โครงสร้างนี้สามารถรับ หรือส่งรหัสต่าง ๆ ได้ทีละหลาย ๆ ไบท์ในการส่งเที่ยวเดียว ซึ่งทำให้ลดเวลาที่เปลืองเปล่าไปในขณะรับส่งสัญญาณแฮนด์เชคลงได้ และสำหรับการสื่อสารรูปแบบที่ต้องอาศัย ช่องสัญญาณสื่อสารของอุปกรณ์สื่อสารของผู้ใช้บริการนั้น จะมีข้อเสียที่ทำให้ความสามารถในการเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารของระบบมีจำนวนน้อยลง เพราะต้องแบ่งไปใช้สำหรับงานควบคุมดังกล่าว อีกทั้งการส่งรหัสโดยวิธีดังกล่าวนี้ จำเป็นต้องเป็นไปตามจังหวะการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณในช่องเวลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดความล่าช้าในการติดต่อ และก่อให้เกิดความสูญเสียในด้านประสิทธิภาพการให้บริการโดยรวมของระบบ จึงเป็นเหตุให้ไม่เลือกวิธีนี้

วงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมที่ออกแบบขึ้นมานี้ ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่บนหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งจะมีอยู่เพียงวงจรเดียว และส่วนที่อยู่บนหน่วยควบคุมย่อยซึ่งจะมีอยู่ทุกแผงวงจรของหน่วยควบคุมย่อย ดังจะได้อธิบายวงจรเชื่อมโยงในแต่ละส่วนดังนี้

1. วงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมบนหน่วยควบคุมหลัก การออกแบบและสร้างส่วนนี้ในการพัฒนาตู้ชุมสาย ได้อิงกับหน่วยควบคุมหลักที่ใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC จึงได้ประกอบส่วนของวงจรนี้ขึ้นบนแผงวงจรอเนกประสงค์สำหรับเสียบลงในสล็อตของ IBM PC และต่อสายสัญญาณต่าง ๆ มายังแผงวงจรบนโครงรางของระบบโดยสายแพ

โครงสร้างของส่วนนี้แสดงได้ดังในรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยความจำขนาด 2 KBYTE ซึ่งมีบัฟเฟอร์ที่สามารถควบคุมทิศทางของข่าวสารได้ สายแอดเดรสของหน่วยความจำนี้ จะมาจากวงจรนับแอดเดรส ซึ่งจะนับขึ้นทีละ 1 เมื่อมีการอ่าน หรือเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำนี้ และจะถูกรีเซ็ตได้ทั้งจากหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยตัวที่ได้รับเลือก การชี้แอดเดรสของหน่วยความจำด้วยวิธีนี้ จะทำให้การเขียนข้อมูลเพื่อที่จะส่ง

และการอ่านข้อมูลในการรับ ของทั้งสองหน่วยควบคุม สามารถทำได้โดยการเขียน หรืออ่านพอร์ตที่หมายเลขเดียวซ้ำ ๆ ได้ โดยไม่ต้องคำนึงถึงแอดเดรสจริงของหน่วยความจำเลย กระบวนการส่งข้อมูลจากฝ่ายหนึ่งไปยังอีกฝ่ายหนึ่ง ทำได้โดยการเขียนข้อมูลที่ทำหน้าที่บอกจำนวนไบท์ของข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการส่งหลังจาก การสั่งรีเซ็ตวงจรนับแอดเดรส จากนั้นก็เขียนพอร์ตเดิมด้วยข้อมูลทีละไบท์จนครบตามจำนวน จากนั้นก็ส่งสัญญาณบอกอีกฝ่ายให้รับรู้ ซึ่งเมื่ออีกฝ่ายรับรู้แล้ว ก็จะทำการรีเซ็ตวงจรนับแอดเดรส แล้วอ่านจำนวนไบต์ของข้อมูลเข้ามาเพื่อเป็นพารามิเตอร์สำหรับการอ่านข้อมูลจากพอร์ตเดิมเข้ามา เป็นจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนไบต์ที่อ่านเข้ามาได้ในไบต์แรก



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมบนหน่วยควบคุมหลัก

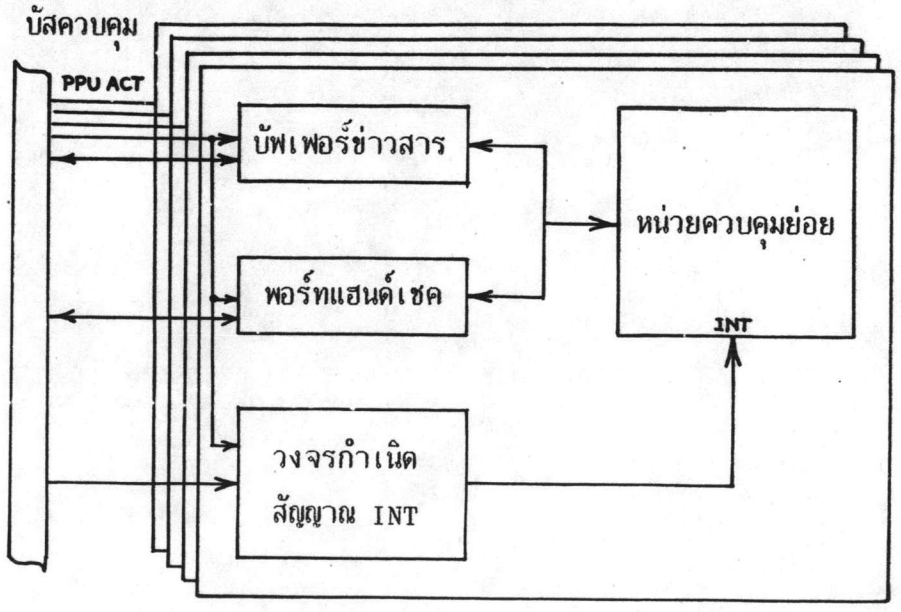
นอกจากหน่วยความจำซึ่งถูกชี้แอดเดรสโดยวงจรนับแล้ว ส่วนของวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมบนหน่วยควบคุมหลัก ยังต้องประกอบด้วย อินพุทพอร์ตสำหรับอ่านสัญญาณแฮนด์เชคที่มาจากหน่วยควบคุมย่อยที่กำลังทำการติดต่ออยู่ และเอาท์พุทพอร์ตสำหรับเขียนสัญญาณแฮนด์เชคไปยังหน่วยควบคุมย่อยตัวนั้น

ส่วนประกอบสุดท้ายในวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมบนหน่วยควบคุมหลักนี้ คือ เอาท์พุทพอร์ตสำหรับเขียนเพื่อเลือก หน่วยควบคุมย่อยที่ต้องการติดต่อด้วย ซึ่งข้อมูลจากเอาท์พุทพอร์ตนี้จะถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสที่อยู่บนแผงวงจรด้านหลัง เพื่อส่งสัญญาณที่แอคตีฟเพียงเส้นเดียว ไปยังทุกคอนเนกเตอร์สำหรับหน่วยควบคุมย่อย

รายละเอียดวงจรเชื่อมโยงบนหน่วยควบคุมหลัก มีในภาคผนวก ก

2. วงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมในส่วนที่อยู่บนหน่วยควบคุมย่อย แสดงได้ดังในรูปที่ 3.3 สำหรับในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย บัฟเฟอร์สำหรับข้อมูล 8 บิตจำนวน 1 ตัว ซึ่งจะถูกอีนาเบิ้ลได้โดยสายสัญญาณ ที่ถูกถอดรหัสมาจาก สายเลือกแอดเดรสที่มาจากวงจรในส่วนที่อยู่บนหน่วยควบคุมหลัก บัฟเฟอร์นี้มีหน้าที่ใช้เป็นส่วนสำหรับเขียน หรืออ่านข้อมูลในหน่วยความจำ ซึ่งทำโดยการเขียน หรืออ่านพอร์ตในทำนองเดียวกับของหน่วยควบคุมหลัก

นอกจากบัฟเฟอร์ข้อมูลแล้ว ยังประกอบไปด้วย อินพุท และเอาท์พุทพอร์ต ที่ใช้ทำหน้าที่เป็นแฮนด์เชคพอร์ต สำหรับรับส่งสัญญาณระหว่างตัวมัน กับหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งในส่วนนี้ก็จะถูกอีนาเบิ้ลโดยสายสัญญาณเดียวกับ ที่ใช้อีนาเบิ้ล บัฟเฟอร์ ซึ่งจะทำให้หน่วยควบคุมหลักสามารถเลือกที่จะติดต่อกับหน่วยควบคุมย่อยได้ทีละตัว



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมบนหน่วยควบคุมย่อย

เนื่องจากการติดต่อกับหน่วยควบคุมหลักนั้น กระทำโดยผ่านโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ ดังนั้นจึงต้องมีส่วนของวงจรสำหรับกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ขึ้นมา เพื่อใช้อินเตอร์รัพท์ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยควบคุมย่อยอยู่

รายละเอียดของวงจรเชื่อมโยงบนหน่วยควบคุมย่อย มีในภาคผนวก ข

3.4 กระบวนการสำหรับการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุม

สายสัญญาณ บนคอนเนกเตอร์ด้านหลัง ที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมมีดังนี้

A0-A5: สายสัญญาณนี้ จะถูกใช้เป็น OUTPUT ของหน่วยควบคุมหลัก ใช้สำหรับระบุแอดเดรสของหน่วยควบคุมย่อยที่ต้องการจะติดต่อด้วย หน่วยควบคุมหลักจะต้องถูกเสียบอยู่บนคอนเนกเตอร์ตัวที่ 8 เท่านั้น ในระบบที่ออกแบบขึ้นมานี้ ส่วนสำหรับคอนเนกเตอร์ตัวอื่น ๆ จะใช้ขา A2 และ A3 เป็นสายสัญญาณที่ถูกถอดรหัสสำหรับกระตุ้นหน่วยควบคุมย่อยในแต่ละคอนเนกเตอร์ (PPU_ACT)

D0-D7: เป็นสายสัญญาณข้อมูลที่ใช้เป็นช่องทางการสื่อสารระหว่าง หน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยที่ถูกเลือกแล้ว สัญญาณกลุ่มนี้คือ บัสข้อมูลที่ใช้สำหรับเขียน หรืออ่านหน่วยความจำสื่อสารนั่นเอง

PPU_WR: เป็นสัญญาณการเขียนข่าวสาร ที่หน่วยควบคุมย่อยต้องการส่งให้หน่วยควบคุมหลัก หน่วยควบคุมย่อยจะสร้างสัญญาณนี้เมื่อมีการทำคำสั่งเขียนพอร์ตหมายเลข P09

PPU_RD: เป็นสัญญาณการอ่านข่าวสาร ที่หน่วยควบคุมย่อยจะอ่านเข้ามาจากหน่วยความจำสื่อสารซึ่งถูกเขียนโดยหน่วยควบคุมหลัก โดยใช้วิธีการอ่านพอร์ตหมายเลข P09

PPU_RST_CNT: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อย บิต 3 ใช้สำหรับรีเซ็ต วงจรนับแอดเดรสของหน่วยความจำสื่อสาร

REQ: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อยบิต 2 ใช้สำหรับเป็นสัญญาณขอการติดต่อจาก หน่วยควบคุมหลัก เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ที่อยู่ในความควบคุมของมัน

DAT_RDY: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อยบิต 1 ใช้เป็นสัญญาณในการแจ้งให้หน่วยควบคุมหลักทราบว่า ได้จัดการกับข้อมูลในหน่วยความจำสื่อสารเรียบร้อยแล้ว ไม่ว่าจะเป็นการเขียน หรืออ่าน

NAK: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อยบิต 0 ใช้เพื่อเป็นสัญญาณในการแจ้งหน่วยควบคุมหลักว่า ไม่เข้าใจในคำสั่งของหน่วยควบคุมหลักที่ส่งมาในหน่วยความจำสื่อสาร

RST_PPU: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมหลักบิต 3 ใช้สำหรับการรีเซ็ตหน่วยควบคุมย่อย สัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกควบคุมโดย สายสัญญาณถอดรหัสที่ใช้เลือกหน่วยควบคุมย่อยอีกทีหนึ่ง ทำให้หน่วยควบคุมหลักสามารถเลือกรีเซ็ต หน่วยควบคุมย่อยตัวใดก็ได้

REQ_ACK: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมหลักบิต 2 ซึ่งหน่วยควบคุมหลักใช้ในการแจ้งหน่วยควบคุมย่อยว่า ได้รับรู้การขอติดต่อแล้ว สัญญาณนี้หน่วยควบคุมย่อยจะใช้ในการตัดสินใจว่า จะต้องทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลบนหน่วยความจำสื่อสาร หลังจากเข้ามาในโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์แล้ว

PPU_EN: เป็นสัญญาณจากแฮนด์เชค เอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมหลักบิต 1 สัญญาณ PPU_EN นี้ใช้ในการอนุญาตให้หน่วยควบคุมย่อยตัวที่ถูกเลือก ทำการเขียน หรืออ่านหน่วยความจำสื่อสารได้

กระบวนการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยเป็นไปได้ใน 2 ลักษณะ ได้แก่

1. หน่วยควบคุมหลักเข้าตอบสนองความต้องการติดต่อ ตามปกติแล้ว หน่วยควบคุมหลักจะทำหน้าที่กวาดหาความต้องการติดต่อจาก หน่วยควบคุมย่อย โดยการอ่านจากสัญญาณ REQ ของหน่วยควบคุมย่อยแต่ละตัว เมื่อหาพบจะทำเข้าทำการติดต่อกับหน่วยควบคุมย่อยนั้น โดยกระบวนการต่อไปนี้

- ส่งสัญญาณ REQ_ACK ไปเพื่อให้หน่วยควบคุมย่อยรับรู้ถึงทิศทางการติดต่อ ว่าเป็นในลักษณะที่ หน่วยควบคุมหลักตอบสนองความต้องการ
- ส่งสัญญาณ PPU_EN เพื่อสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์ไปยังหน่วยควบคุมย่อยตัวนั้น
- รอหน่วยควบคุมย่อยเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำสื่อสาร เมื่อเสร็จแล้วหน่วยควบคุมย่อยจะส่งสัญญาณ DAT_RDY กลับมา
- หน่วยควบคุมหลักจะยกเลิกสัญญาณ PPU_EN จากนั้นก็จะประมวลผลและทำงานตามข่าวสารที่ได้รับมา ซึ่งในข่าวสารซึ่งหน่วยควบคุมย่อย

ขอรับบริการจากหน่วยควบคุมหลัก อาจจะต้องมีการขอติดต่อกับหน่วยควบคุมย่อยอื่น อันเป็นการขอติดต่อในลักษณะที่ 2

2. หน่วยควบคุมหลักขอสั่งงานแก่หน่วยควบคุมย่อย กรณีนี้จะเกิดขึ้นในเวลาที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้บริการตู้ชุมสายโทรศัพท์ การขอติดต่อในลักษณะนี้มีกระบวนการดังนี้

- หน่วยควบคุมหลักจะรีเซ็ต วงจรนับที่ใช้ชี้แอดเดรสของหน่วยความจำสื่อสาร
- หน่วยควบคุมหลักทำการเขียนข่าวสาร ถึงหน่วยควบคุมย่อยตัวที่ต้องการติดต่อด้วย
- หน่วยควบคุมหลักเขียนแอดเดรสของหน่วยควบคุมย่อยที่ต้องการติดต่อด้วย และส่งสัญญาณ PPU_EN โดยที่จะต้องไม่มีสัญญาณ REQ_ACK
- หน่วยควบคุมหลักจะคอยรับสัญญาณ DAT_RDY อันเกิดจากการที่หน่วยควบคุมย่อยอ่านข่าวสารนั้นจบลงแล้ว
- หน่วยควบคุมหลักยกเลิกสัญญาณ PPU_EN เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการติดต่อ

โปรแกรมควบคุมในส่วนของการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ควบคุมนี้ แบ่งไปเป็นสองส่วน คือส่วนที่อยู่บน หน่วยควบคุมหลัก และส่วนที่อยู่บน หน่วยควบคุมย่อย

โปรแกรมการติดต่อที่อยู่บนหน่วยควบคุมหลัก จะปฏิบัติตามขั้นตอนดังที่กล่าวไว้ โดยได้ทดลองเขียนโปรแกรมย่อยสำหรับการติดต่อนี้ เป็นภาษา C ขึ้นบน IBM PC ที่ใช้เป็นหน่วยควบคุมหลักสำหรับงานพัฒนา และได้ใช้ส่วนของโปรแกรมนี้ในการทดสอบการทำงานต่าง ๆ ของหน่วยควบคุมย่อยที่ได้ออกแบบขึ้นมาในโครงงานนี้

ส่วนโปรแกรมการติดต่อที่อยู่บนหน่วยควบคุมย่อยนั้นได้เขียนขึ้นด้วยภาษาแอสเซมบลี้ของ Z80 ซึ่งใช้เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ประจำหน่วยควบคุมย่อยทุกตัว โดยโปรแกรมการติดต่อนี้ จะเป็นโปรแกรมสำหรับบริการอินเตอร์รัพท์ อันเกิดจากสัญญาณที่มาจากหน่วยควบคุมหลักขอติดต่อเข้ามา ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบใดก็ตาม

โปรแกรมจะเริ่มหลังจากมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้น โดยหน่วยควบคุมย่อยจะทำการตรวจสอบสัญญาณ REQ_ACK จากพอร์ตแฮนด์เชค เพื่อจำแนกลักษณะการขอติดต่อ กรณีที่หน่วยควบคุมย่อยส่งสัญญาณ REQ ไว้ หากเป็นไปในกรณีที่มี REQ_ACK หมายความว่าหน่วย

ควบคุมหลักรับทราบถึงความต้องการที่จะส่งข้อมูล และจะเปิดโอกาสให้หน่วยควบคุมย่อยตัวนี้ทำการเขียนข่าวสารต่าง ๆ ที่ต้องการจะส่งให้แก่ หน่วยควบคุมหลัก ซึ่งเมื่อหน่วยควบคุมย่อยได้ทำการเขียนข่าวสารทั้งหมดแล้วก็จะส่งสัญญาณ DAT_RDY กลับไปแจ้งให้หน่วยควบคุมหลักทราบ หลังจากนั้นหน่วยควบคุมหลักก็จะประมวลผลข่าวสารดังกล่าว และอาจจะแจ้งผลกลับมาอีกทีหนึ่งก็ได้

ส่วนในกรณีที่สัญญาณอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้นโดยไม่มีสัญญาณ REQ_ACK หมายความว่าหน่วยควบคุมหลักมีคำสั่ง ต้องการจะส่งให้หน่วยควบคุมย่อยตัวนั้น กรณีนี้ถึงแม้ว่าหน่วยควบคุมย่อยเคยส่ง REQ เพื่อขอส่งข่าวสารก็ตาม หน่วยควบคุมย่อยจะยังไม่ได้รับอนุญาตให้ทำการส่งข่าวสารนั้น แต่จะต้องปฏิบัติตามคำสั่งของหน่วยควบคุมหลัก ให้ลุล่วงไปก่อน ซึ่งเมื่อหน่วยควบคุมย่อยได้อ่านคำสั่งดังกล่าวจนเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะส่งสัญญาณ DAT_RDY ออกไปแจ้งยังหน่วยควบคุมหลัก

สำหรับทางด้านหน่วยควบคุมหลักนั้น เมื่อได้รับสัญญาณ DAT_RDY จะต้องทำการยกเลิกสัญญาณ PPU_EN ทันที เพื่อป้องกันการอินเตอร์รัพท์ซ้อนเกิดขึ้นบน หน่วยควบคุมย่อย ดังนั้นในส่วนของการยกเลิกสัญญาณ PPU_EN นี้ ได้ใช้วงจรทางฮาร์ดแวร์สำหรับการยกเลิก

i17332753