หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ลักษณะทั่วไปของระบบ

2.1 เป้าหมายการออกแบบระบบ

การออกแบบข่ายวงจรท้องถิ่นนี้ จะต้องให้ใช้ช่องสัญญาณแสงซึ่งมีความกว้างแถบความถี่สูงให้ได้ประโยชน์เต็มที่ โดยที่อุปกรณ์ทุกตัวในระบบสามารถติดต่อกันเองได้หมด และติดต่อพร้อมๆ กันให้ได้มากที่สุด สามารถต่อเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาเข้าเป็นอุปกรณ์ในระบบได้ รวมทั้งสามารถใช้กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูล เช่น คอมพิวเตอร์ เทอร์มินอล เครื่องพิมพ์ และอื่นๆ ได้เช่นกัน คือเป็นลักษณะข่ายวงจรแบบ IDN (Integrated Digital Network)

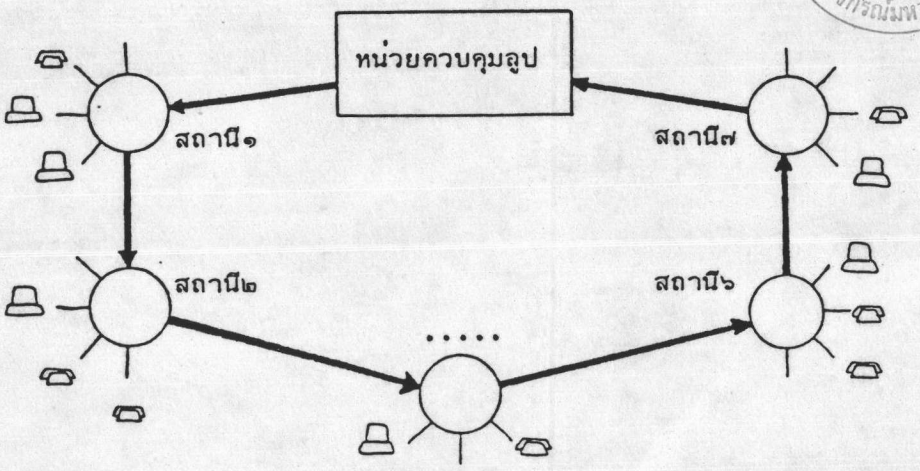
ช่องสัญญาณแสงที่ใช้เป็นชนิดผ่านบรรยากาศซึ่งกำลังทดลองสร้างขึ้นโดยห้องปฏิบัติการสื่อสาร เพื่อใช้ในการติดต่อกันภายในมหาวิทยาลัย โดยมีความกว้างแถบความถี่ประมาณ 2 เมกกะบิทต่อวินาที แต่อาจใช้ช่องสัญญาณแสงชนิดผ่านเส้นใยแสงหรือผ่านบรรยากาศ หรือใช้สายทองแดงซึ่งมีขีดความสามารถดังกล่าวแทนได้

2.2 โครงสร้างของระบบ

เนื่องจากคุณสมบัติของช่องสัญญาณแสงทั้งชนิดที่ผ่านบรรยากาศและผ่านเส้นใยแสง จะไม่เหมาะกับการต่อสัญญาณออกในลักษณะบัส ทำให้มีจุดต่อสัญญาณเข้าและออก ที่จุดที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณแสงเท่านั้น ดังนั้นระบบจะประกอบด้วยสถานีหลายๆ สถานี โดยแต่ละสถานีทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณแสงกับสถานีอื่น และเป็นจุดต่อของข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆ เข้าไปหรือออกมาจากช่องสัญญาณแสง

เพื่อให้ระบบไม่ซับซ้อนมาก จึงให้แต่ละสถานีมีช่องสัญญาณแสงเข้าทางเดียวและออกทางเดียว ซึ่งทำให้สถานีต่างๆ จะมีลักษณะการต่อกันเป็นเส้นและมีการไหลของข้อมูลในทิศทางเดียว ดังนั้นจึงต้องต่อเป็นวงปิดเพื่อให้ข้อมูลจากสถานีท้ายส่งมายังสถานีแรกได้ เรียกว่า โครงสร้างแบบลูปซึ่งมีการไหลของข้อมูลในทิศทางเดียว (Unidirectional Loop)

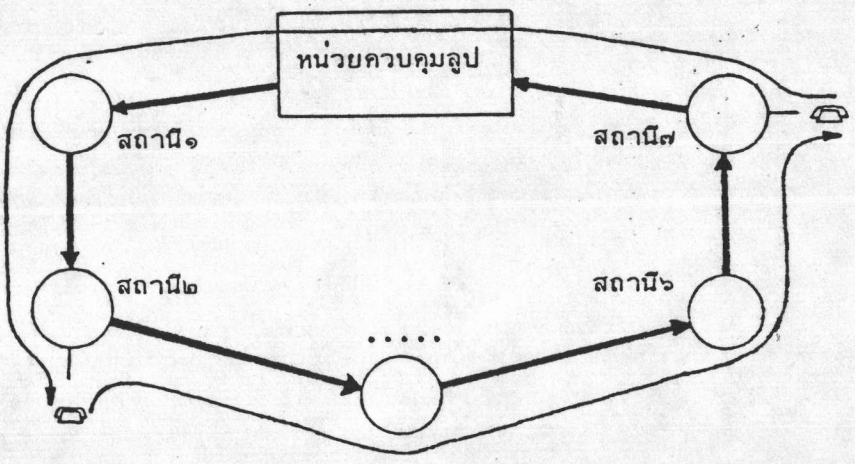
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.1 โครงสร้างของระบบเป็นแบบลูปซึ่งมีการไหลของข้อมูลในทิศทางเดียว

จากรูป 2.1 จะเห็นว่าในระบบมีหน่วยควบคุมลูปเพิ่มขึ้นมา เนื่องจากระบบใช้การส่งข้อมูลเป็นเฟรมและซิงโครนัสกันทั้งระบบดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ทำให้ข้อมูลที่เดินทางออกจากสถานีสุดท้ายต้องรอจังหวะเวลาที่ถูกต้องจึงจะผ่านเข้าสถานีแรกได้ หน่วยควบคุมลูปจะรับข้อมูลจากสถานีสุดท้ายเข้าไปเก็บไว้ตลอดเวลา และทยอยส่งข้อมูลออกมาตามจังหวะเวลาที่ถูกต้องให้สถานีแรกตลอดเวลาเช่นกัน นอกจากนี้หน่วยควบคุมลูปยังทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาหลักและสัญญาณซิงค์ให้ระบบ และเป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับการขยายระบบเพื่อต่อเข้ากับข่ายวงจรอื่นๆ ในอนาคต เราอาจมองหน่วยควบคุมลูปเป็นเสมือนอุปกรณ์หน่วงเวลาสัญญาณซึ่งสามารถปรับค่าได้เองเพื่อทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางครบรอบ 1 ลูป เท่ากับ 1 เฟรมของข้อมูลพอดี

แม้ว่าการไหลของข้อมูลจะมีทิศทางเดียว แต่ระบบสามารถใช้งานในลักษณะฟูลดูเพลกซ์ได้ โดยอุปกรณ์ในสถานีจะดึงข้อมูลเฉพาะที่ต้องการออกจากสัญญาณที่เข้าสู่สถานีและเติมข้อมูลใหม่ลงไปแทนที่ข้อมูลที่ดึงออกมา เพื่อเดินทางเวียนกลับไปหาสถานีที่ติดต่อด้วยดังรูป 2.2 โดยไม่รบกวนข้อมูลที่ไม่ได้เกี่ยวข้องด้วย



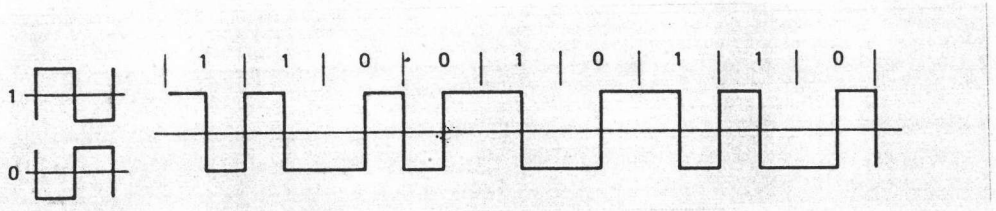
รูป 2.2 การรับส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพลกซ์สำหรับโครงสร้างแบบลูปดังกล่าว

เนื่องจากการรับส่งสัญญาณเป็นแบบซิงโครนัสจึงจำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเดียวกันทุกสถานี ดังนั้นแต่ละสถานีจะต้องแยกองค์ประกอบส่วนที่เป็นสัญญาณนาฬิกาออกจากข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อนำมาใช้ควบคุมการทำงานของวงจรต่างๆ วิธีการหนึ่งคือใช้สัญญาณแบบ NRZ (Non Return to Zero) ซึ่ง สัญญาณเป็น 1 หรือ 0 ตลอดช่วงเวลาหนึ่งบิท โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกลางของบิทซึ่งจะมีองค์ประกอบของสัญญาณนาฬิกาผสมอยู่มากพอควร ได้แก่ ขอบของสัญญาณที่เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 หรือ 0 เป็น 1 ซึ่งสามารถนำมาควบคุมวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้สอดคล้องกับขอบของสัญญาณดังกล่าวได้ โดยมีข้อแม้ว่า ข้อมูลที่ส่งจะต้องแรนดอม เพื่อให้ขอบของสัญญาณปรากฏอยู่เสมอแม้ในช่วงที่ไม่ได้ส่งข้อมูล เราสามารถทำให้ข้อมูลแรนดอมโดยนำข้อมูลที่จะส่งไปผ่านวงจรสแครมเบลอร์ ซึ่งเป็นวงจรใส่รหัสชนิดหนึ่งทำหน้าที่บดข้อมูลให้ละเอียด แล้วจึงนำไปส่งออก ส่วนทางด้านรับจะนำข้อมูลที่ได้รับไปผ่านวงจรดีสแครมเบลอร์ที่เข้าคู่กับภาคส่งเพื่อทำหน้าที่ถอดรหัสรวมข้อมูลกลับมาเป็นข้อมูลเดิม

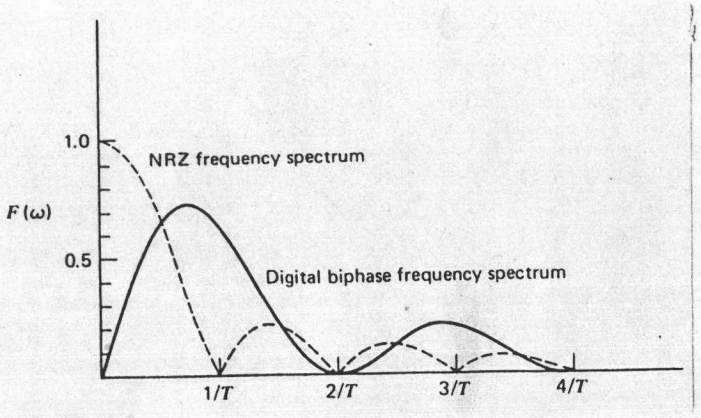
การส่งข้อมูลแบบ NRZ ร่วมกับวงจรสแครมเบลอร์และดีสแครมเบลอร์ เพื่อให้มีขอบของสัญญาณปรากฏอย่างสม่ำเสมอนั้น มีข้อดี คือ ไม่ต้องใช้ความกว้างแถบความถี่ของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียที่สำคัญ 2 ประการ คือ ข้อแรก เมื่อข้อมูลที่ถูกสแครมเบลอร์เกิดผิดพลาดขึ้นระหว่างทางเพียงบิทเดียว จะทำให้เกิดการแผ่กระจายความผิดพลาดออกไปยังบิทต่างๆ มาเท่ากับอันดับของวงจรสแครมเบลอร์ ดังนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นตามอันดับของวงจรและทำให้วงจรตรวจจับและตรวจแก้ความผิดพลาด (ถ้ามี) ไม่สามารถทำงานได้ แต่ถ้าใช้อันดับต่ำๆ

จะได้ข้อมูลไม่แรนดอมพอ ผลคือ ทางด้านรับจะไม่สามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีคุณภาพดีเพียงพอได้ ข้อสอง ถึงแม้ว่าเราจะสามารถส่งข้อมูลแบบ NRZ ซึ่งแรนดอมตามต้องการ องค์ประกอบของสัญญาณนาฬิกาอันได้แก่ขอบของสัญญาณจะปรากฏแบบแรนดอมด้วย คือ บางไซเคิลมีขอบ บางไซเคิลไม่มี แต่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของแต่ละสถานีจะต้องให้สัญญาณนาฬิกาออกมาอย่างสม่ำเสมอทุกๆ ไซเคิล ในไซเคิลใดที่ไม่มีขอบจะกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วยความถี่ประมาณเท่าเดิมออกมาแทน จึงทำให้การสั่นของขอบเพิ่มมากขึ้น และต้องใช้วงจรยุ่งยากขึ้น

เพื่อให้การแยกเอาสัญญาณนาฬิกาออกมาจากสัญญาณที่แต่ละสถานีได้รับทำได้ง่ายขึ้น การส่งสัญญาณระหว่างสถานีจะใช้การใส่รหัสแบบไบเฟส (ไดเฟส, สปลิทเฟสหรือแมนเชสเตอร์) ก่อนส่งออก รหัสดังกล่าวจะทำให้เกิดขอบของสัญญาณที่กึ่งกลางบิททุกบิท (ทุกไซเคิล) แต่จะใช้ความกว้างแถบความถี่เพิ่มขึ้นเท่าตัวเมื่อเทียบกับ NRZ การใส่รหัสแบบไบเฟสอาจมองได้ว่าเป็นการนำสัญญาณ NRZ มามอดูเลทกับสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการส่งข้อมูลนั่นๆ โดยนำสัญญาณทั้งสองมา XOR กันซึ่งเทียบได้กับการคูณกันทางอนาล็อก ดังรูป 2.3 และสเปคตรัมของสัญญาณในรูป 2.4



รูป 2.3 การใส่รหัสไบเฟสเพื่อให้มีขอบสัญญาณเกิดขึ้นทุกบิท



รูป 2.4 สัญญาณไบเฟสจะใช้สเปคตรัมเพิ่มขึ้นจาก NRZ เท่าตัว

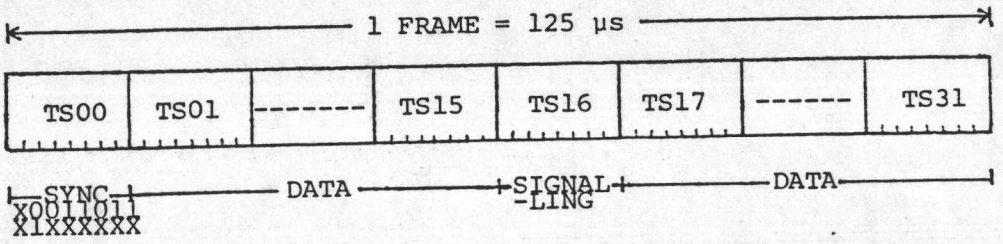
นอกจากนี้รหัสไบเฟสยังเหมาะกับระบบที่ใช้แสง เนื่องจากมีองค์ประกอบความถี่ต่ำน้อยกว่า NRZ ทำให้กำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณมีค่าคงที่ตลอดเวลาโดยไม่ขึ้นกับรูปแบบของข้อมูล ตามปกติการรับสัญญาณแสงจะต้องตั้งระดับการตัดสินใจให้แปรตามกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณเพื่อชดเชยการสูญเสียที่อาจเปลี่ยนแปลงไป กำลังงานเฉลี่ยของแสงซึ่งใช้การมอดูเลททางความเข้มขึ้นกับองค์ประกอบไฟตรงและความถี่ต่ำของสัญญาณ และเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยซึ่งแปรผกผันกับความกว้างแถบความถี่ของวงจรเฉลี่ย แต่ในการใช้งานทั่วไปเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยจะไม่นานมากนัก เพื่อให้ระดับการตัดสินใจเปลี่ยนแปลงได้เร็วพอ ความกว้างแถบความถี่จึงไม่ต่ำนัก ดังนั้นหากองค์ประกอบความถี่ต่ำมีมากระดับการตัดสินใจจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และขึ้นกับรูปแบบของข้อมูลด้วย ทำให้การรับข้อมูลผิดพลาดได้ เช่น ในกรณี NRZ ซึ่งข้อมูลเป็น 0 หรือ 1 ติดต่อกันนานเกินไปจนกระทั่งระดับการตัดสินใจเลื่อนไปจากระดับที่เหมาะสม จะทำให้โอกาสที่จะตัดสินใจผิดพลาดมีมากขึ้น และเกิดการมอดูเลททางเฟส คือ ทำให้ขอบของสัญญาณคลาดเคลื่อนไปจากที่ควร สัญญาณนาฬิกาที่ได้จึงมีการสั่นมากขึ้นโดยขึ้นกับรูปแบบของข้อมูล กรณีดังกล่าวจะไม่เกิดกับสัญญาณไบเฟส เนื่องจากสัญญาณแต่ละบิทจะมีค่าครึ่งแรกและครึ่งหลังตรงข้ามกันเสมอ กำลังงานเฉลี่ยจึงคงที่เสมอโดยไม่ขึ้นกับรูปแบบข้อมูล และกำลังงานสูญเสียในตัวกำเนิดแสงมีค่าคงที่ทำให้มีเสถียรภาพในการทำงานดีขึ้นอีกด้วย

2.3 วิธีการรับส่งข้อมูล

การรับส่งข้อมูลระหว่างสถานี ใช้การมัลติเพลกซ์เชิงเวลาแบบซิงโครนัส โดยใช้โครงสร้างของเฟรม, สัญญาณซิงค์ และอัตราการส่งข้อมูล เช่นเดียวกับระบบ PCM-30 (CCITT - Recommendation G.732) แต่สัญญาณซิกแนลลิงแตกต่างออกไป

การมัลติเพลกซ์เชิงเวลาทำโดยการส่งข้อมูลเป็นเฟรม แต่ละเฟรมแบ่งเป็นช่องเวลา 32 ช่อง โดยใช้ช่องเวลา 0 สำหรับสัญญาณซิงค์ และช่องเวลา 16 สำหรับสัญญาณซิกแนลลิง ที่เหลือ 30 ช่อง ใช้สำหรับส่งข้อมูล แต่ละช่องเวลาจะมีข้อมูลอยู่ 8 บิท อัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 8000 เฟรมต่อวินาที หรือ 2.048 เมกกะบิทต่อวินาที ดังนั้นแต่ละช่องเวลาจะสามารถใช้ส่งข้อมูลได้โดยตรง 64 กิโลบิทต่อวินาที หรือใช้กับข้อมูล PCM (Pulse Code Modulation) ของสัญญาณเสียง ซึ่งถูกสุ่มตัวอย่าง8000 ครั้งต่อวินาที ตัวอย่างละ 8 บิทได้พอดี การมัลติเพลกซ์ดังกล่าวจึงสามารถส่งสัญญาณเสียงได้พร้อมกัน 30 เสียง

การซิงโครนัสมี 2 ระดับ คือ ซิงโครนัสบิท และซิงโครนัสเฟรม การซิงโครนัสบิททำได้ด้วยการแยกสัญญาณนาฬิกาออกมา เพื่อใช้ในการอ่านข้อมูลแต่ละบิทให้ถูกต้อง ส่วนการซิงโครนัสเฟรมใช้การส่งสัญญาณซิงค์ เพื่อบอกตำแหน่งของช่องเวลา 0 ในทุกๆ เฟรม สัญญาณซิงค์มีอยู่ 2 ค่า สำหรับส่งในเฟรมคู่และเฟรมคี่สลับกัน เพื่อป้องกันการเข้าใจผิดที่เกิดจากข้อมูลในช่องเวลาอื่นอาจมีรูปแบบเหมือนสัญญาณซิงค์และถูกส่งออกมาตลอดเวลาได้ สัญญาณซิงค์ในเฟรมคู่มีขนาด 7 บิท และเฟรมคี่ขนาด 1 บิท โดยสงวนบิทที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้สำหรับบอกสถานะผิดปกติของลูป ส่วนบิทที่ไม่ได้ใช้อีก 6 บิท ในเฟรมคี่อาจใช้แสดงสถานะอื่นๆ ของลูปได้ในอนาคต รูป 2.5 แสดงถึงโครงสร้างการมัลติเพลกซ์ดังกล่าวข้างต้น



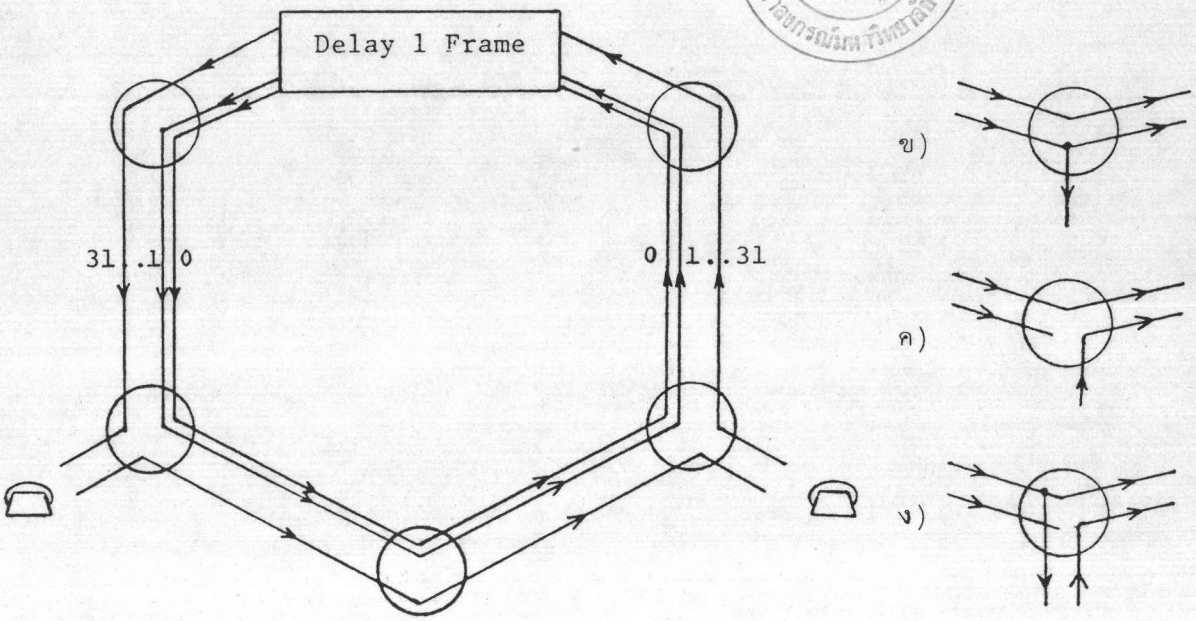
รูป 2.5 เฟรมการส่งข้อมูลแบบ PCM-30

ตามปกติสัญญาณซิกแนลลิง หมายถึง สัญญาณซึ่งอุปกรณ์ในระบบโทรศัพท์ใช้รับส่งกันเพื่อควบคุมการติดต่อของโทรศัพท์ต่างๆ แต่ในระบบสื่อสารข้อมูล ชุดของคำสั่งและวิธีการที่ใช้ติดต่อกันเพื่อควบคุมการรับส่งข้อมูล เรามักเรียกว่า โปรโตคอล ในที่นี้จะใช้คำว่า ซิกแนลลิง เป็นคำรวมเพื่อหมายถึงข่าวสารที่ส่งเพื่อทำหน้าที่ดังกล่าวทั้งหมด ซึ่งมีวิธีการส่ง 2 ชนิด คือ ซิกแนลลิงระหว่างอุปกรณ์กับสถานีที่อุปกรณ์นั้นต่ออยู่จะส่งผ่านทางอินเตอร์เฟสบัสภายในสถานี ส่วนซิกแนลลิงซึ่งส่งระหว่างสถานีจะใช้ช่องเวลา 16 ดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งช่องเวลา 16 นี้จะใช้ร่วมกันทุกสถานี ดังนั้นจะต้องมีโปรโตคอลอีกระดับหนึ่งเพื่อควบคุมการใช้ช่องเวลาดังกล่าวในการรับส่งซิกแนลลิงให้เป็นไปอย่างถูกต้อง ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.6.1

การมัลติเพลกซ์ดังกล่าวทำให้ระบบเสมือนกับมีสายสัญญาณ 32 คู่สายขนานกัน และอิสระกัน เชื่อมระหว่างสถานีทุกสถานีจนครบลูป แต่ละคู่สายสามารถส่งผ่านสัญญาณเสียงในระบบ PCM ได้ 1 สัญญาณ หรือข้อมูลในอัตรา 64 กิโลบิทต่อวินาที โดยใช้ 1 คู่สายสำหรับสัญญาณซิงค์ และอีก 1 คู่สายสำหรับส่งซิกแนลลิงเพื่อควบคุมการใช้คู่สายที่เหลืออีก 30 คู่สาย เมื่อต้องการใช้ติดต่อจะแทรกอุปกรณ์ที่ต้องการรับส่งกันเข้าไปในคู่สายสมมติดังกล่าว คู่สายที่ไม่ใช้จะถูกสัดผ่านสถานีไป

ดังรูป 2.6 ก) จะเห็นว่าการสวิทช์คู่สายจะเกิดขึ้นที่สถานีที่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่ออยู่เท่านั้น ในบางกรณีอุปกรณ์บางชนิดอาจต้องการสวิทช์คู่สายมากกว่าหนึ่งคู่สายหรือทั้งหมด (ถ้าว่าง) เพื่อใช้ส่งข้อมูลจำนวนมากได้ นอกจากนี้การสวิทช์คู่สายอาจเป็นการรับอย่างเดียว (โดยปล่อยข้อมูลเดิมผ่านออกไป) หรือส่งอย่างเดียว หรือรับสายหนึ่งและส่งอีกสายหนึ่งก็เป็นได้ ดังรูป 2.6 ข), ค) และ ง) ตามลำดับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก)

รูป 2.6 ก) การมัลติเพลกซ์เชิงเวลาทำให้เสมือนมีสายสัญญาณ 32 คู่สายขนานกันอยู่
ข) การรับอย่างเดียว ค) การส่งอย่างเดียว ง) การรับส่งคนละคู่สาย

ผลของหน่วยควบคุมลูปต่อการรับส่งข้อมูลรวมทั้งซิกแนลลิง คือ ข้อมูลหรือซิกแนลลิงที่ผ่านเข้าหน่วยควบคุมลูปจะถูกส่งออกมาในช่องเวลาเดิมของเฟรมถัดไป หรือเทียบได้กับการหน่วงเวลาสัญญาณบนคู่สายสมมติในรูป 2.6 ก) เป็นเวลา 1 เฟรมพอดี

การติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในสถานีเดียวกันจะไม่ต้องใช้ช่องสัญญาณของลูปเลย โดยให้ข้อมูลจากอุปกรณ์วิ่งเข้าสถานีแล้วกลับออกไปยังอุปกรณ์อีกตัวโดยตรง การติดต่อภายในใช้การมัลติเพลกซ์เชิงเวลาเช่นเดียวกัน แต่มีวิธีการแตกต่างออกไปดังนี้ ตามปกติแล้วในการติดต่อระหว่างสถานีในช่องเวลาหนึ่งๆ จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและ/หรือส่งเพียงตัวเดียวในสถานีเท่านั้น โดยมีหน่วยควบคุมสถานีคอยส่งสัญญาณสั่งให้อุปกรณ์นั้นๆ ทำงานในช่องเวลาที่ถูกต้องทุกๆ เฟรม

ส่วนการติดต่อภายในจะต้องมีอุปกรณ์สองตัวในสถานีเดียวกันรับหรือส่งพร้อมกัน แต่หน่วยควบคุมสถานีจะสั่งให้อุปกรณ์ทำงานได้ทีละตัวเท่านั้น จึงใช้หน่วยความจำชั่วคราวเก็บข้อมูลสุดท้ายที่อุปกรณ์ส่งออกมา (เฉพาะที่กำลังติดต่อภายในอยู่) และให้ส่งออกมาใหม่ในช่องเวลาถัดไป เพื่อให้อุปกรณ์อื่นมารับไป ดังนั้นการติดต่อภายในจะต้องใช้ช่องเวลา 3 ช่องสำหรับการติดต่อแบบฟูลดูเพลกซ์ คือ ช่องเวลาแรก อุปกรณ์ A ส่งข้อมูลออกมา ช่องเวลาที่สอง อุปกรณ์ B รับข้อมูลจากอุปกรณ์ A ซึ่งถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว ขณะเดียวกันอุปกรณ์ B จะส่งข้อมูลออกไปแทนที่ข้อมูลเดิมของอุปกรณ์ A และช่องเวลาที่สาม อุปกรณ์ A ค่อยมารับข้อมูลจากอุปกรณ์ B ที่ถูกเก็บไว้ไป ในระหว่างการติดต่อภายในนี้ข้อมูลจากภายนอกจะถูกลัดผ่านออกจากสถานีไปโดยตรง จึงไม่กระทบกระเทือนถึงช่องเวลาที่สถานีอื่นๆ ใช้ติดต่อกันอยู่ ดังนั้นการติดต่อภายในจะทำได้พร้อมกัน 10 คู่สายสำหรับแต่ละสถานี โดยที่การติดต่อระหว่างสถานียังทำได้พร้อมกัน 30 คู่สายคงเดิม

2.4 องค์ประกอบของแต่ละสถานี

2.4.1 อินเตอร์เฟสบัส หน่วยต่างๆ ในสถานีจะทำงานร่วมกันโดยผ่านอินเตอร์เฟสบัส ซึ่งรวมสัญญาณทุกชนิดที่ใช้ในการติดต่อกันระหว่างหน่วย รวมทั้งสายไฟเลี้ยงวงจรแรงดันต่ำด้วย สายสัญญาณที่ไม่รวมอยู่ในอินเตอร์เฟสบัส คือ สายที่ต่อออกไปยังอุปกรณ์ภายนอก และสายไฟเลี้ยงวงจรแรงดันสูงสำหรับอุปกรณ์บางชนิด เช่น โทรศัพท์ เป็นต้น

อินเตอร์เฟสบัสมีจำนวน 50 เส้น โดยใช้ขั้วต่อขนาดเดียวกับบัสแบบ S-100 ซึ่งมีขั้วต่ออยู่สองแถว แถวละ 50 เส้น แต่จะใช้เพียงแถวเดียว คือ ใช้ด้านเดียวกับลายทองแดงของบอร์ด ซึ่งมีหมายเลข 51-100 บัสที่เป็นสัญญาณเข้าหน่วยควบคุมสถานีจะเป็นชนิดคอลเลคเตอร์เปิดเพื่อให้ทุกหน่วยสามารถส่งสัญญาณผ่านบัสเดียวกันได้ บัสที่เป็นสัญญาณออกจะส่งออกมาจากหน่วยควบคุมสถานีเป็นสัญญาณ TTL ชื่อและหน้าที่ของบัสทั้ง 50 เส้น ดังแสดงในตาราง 2.1 สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามหน้าที่ได้ดังนี้

ก) สัญญาณเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ $\overline{DV0}$-$\overline{DV9}$, $\overline{DVA}$-$\overline{DVF}$ และ D/$\overline{T}$ สัญญาณ D/$\overline{T}$ จะเลือกชนิดของอุปกรณ์ คือ เลือกอุปกรณ์โทรศัพท์ถ้าเป็น 0 และอุปกรณ์รับส่งข้อมูลถ้าเป็น 1 ส่วนสัญญาณ $\overline{DV\#}$ จะเลือกอุปกรณ์หมายเลขใดหมายเลขหนึ่งใน 16 หมายเลขของแต่ละชนิด โดยมีสัญญาณเป็น 0 เพื่อเลือกเพียงเส้นเดียวเท่านั้น อุปกรณ์ที่ถูกเลือกจะต้องทำตามคำสั่งจากสัญญาณควบคุมในขณะนั้น สัญญาณเลือกอุปกรณ์จะมีความกว้างเท่ากับ 1 ช่องเวลาพอดี

ตาราง 2.1 ชื่อและหน้าที่ของอินเตอร์เฟสบัส

Bus No.	Name	Description	Type	Function
51	+8V	Unregulated Power Supply (Digital)		
52	+12V	Unregulated Power Supply (Analog)		
53	-12V	Unregulated Power Supply (Analog)		
54	$\overline{POR}$	Power on Reset	Output	Control
55	SET	Set Poll Status	Output	Control
56	CLR	Clear Poll Status	Output	Control
57	TC	Transmit Control	Output	Control
58	RC	Receive Control	Output	Control
59	D/$\overline{T}$	Data/Telephone Device Select	Output	Device Sel
60-68	$\overline{C0}$-$\overline{C8}$	Clock	Output	Timing
69	TD	Transmitted Data	Input	Data
70	RD	Received Data	Output	Data
71-74	$\overline{S01}$-$\overline{S04}$	Signalling Out	Output	Signalling
75	$\overline{SST}$	Signalling Strobe	Output	Signalling
76	SSL	Signalling Select	Output	Signalling
77	$\overline{TIM}$	Timer	Output	Timing
78	$\overline{FER}$	Frame Error	Output	Control
79	$\overline{ACK}$	Acknowledge	Input	Control
80-95	$\overline{DV0}$-$\overline{DVF}$	Device Select	Output	Device Sel
96-99	$\overline{SI1}$-$\overline{SI4}$	Signalling In	Input	Signalling
100	GND	Ground		

008892

ข) <u>สัญญาณควบคุม</u> ได้แก่ RC, TC, SET, CLR, $\overline{\text{ACK}}$, $\overline{\text{POR}}$ และ $\overline{\text{FER}}$ สัญญาณ RC และ TC จะสั่งอุปกรณ์ที่ถูกเลือกในข้อ ก) ให้รับและส่งข้อมูลทันทีเมื่อสัญญาณเป็น 1 ตามลำดับ สัญญาณทั้งสองอาจเป็น 1 พร้อมกันหรืออันใดอันหนึ่งเท่านั้นก็ได้ สัญญาณทั้งสองจะเกิดขึ้นได้ในทุกช่องเวลา ยกเว้นช่องเวลา 0 และ 16 ซึ่งจะไม่มีการรับส่งข้อมูล แต่จะมีการโพลแทน ความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 1 ช่องเวลาหรือสัญญาณนาฬิกา 8 ไซเคิล เพื่อให้อุปกรณ์รับหรือส่งข้อมูลในลักษณะอนุกรมได้ 8 บิทพอดี สัญญาณ SET และ CLR เมื่อเป็น 1 จะสั่งโพลและเลิกโพลอุปกรณ์ที่ถูกเลือกในข้อ ก) ตามลำดับ เมื่ออุปกรณ์ใดถูกโพลจะสามารถรับส่งซิกแนลลิงกับไมโครโปรเซสเซอร์ของหน่วยควบคุมสถานีนั้นๆ ได้ผ่านทางสัญญาณในข้อ ค) สัญญาณ SET และ CLR จะเกิดขึ้นในช่องเวลา 16 และ 0 เท่านั้น ตามลำดับ โดยมีสัญญาณตอบรับกลับมาทาง $\overline{\text{ACK}}$ ซึ่งเป็นบัสแบบคอลเลคเตอร์เปิด เพื่อให้ใช้ร่วมกันได้โดยต้องตอบกลับมาเป็นพัลซ์ 0 ทุกครั้งที่ SET หรือ CLR เป็น 1 เพื่อแสดงว่าได้รับสัญญาณดังกล่าวแล้ว ถ้าไม่ตอบแสดงว่าไม่มีอุปกรณ์หมายเลขดังกล่าวในสถานี $\overline{\text{POR}}$ ใช้ในการรีเซ็ทตอนเริ่มจ่ายไฟให้ระบบทำงาน โดยมีค่าเป็น 0 ชั่วคราวในตอนเริ่มต้น หลังจากนั้นจะเป็น 1 ตลอด และ $\overline{\text{FER}}$ ใช้แสดงว่าสถานีไม่ได้รับสัญญาณซิงค์ที่ถูกต้อง ทำให้การนับช่องเวลาไม่อาจทำได้ ดังนั้นสัญญาณเวลาจะหยุดหมด ยกเว้น $\overline{\text{CO}}$ เท่านั้นที่ยังทำงานถ้าได้รับสัญญาณอยู่

ค) <u>สัญญาณซิกแนลลิง</u> ได้แก่ $\overline{\text{SI1}}$-$\overline{\text{SI4}}$, $\overline{\text{SO1}}$-$\overline{\text{SO4}}$, $\overline{\text{SST}}$ และ SSL สัญญาณ $\overline{\text{SI1}}$-$\overline{\text{SI4}}$ ต่อกับพอร์ทเข้าของโปรเซสเซอร์โดยตรง และเป็นบัสแบบคอลเลคเตอร์เปิดเพื่อให้ใช้ร่วมกันได้ ใช้รับซิกแนลลิงได้พร้อมกัน 4 สัญญาณ อุปกรณ์ที่ถูกโพลเท่านั้นที่สามารถใช้บัสทั้ง 4 เส้นนี้ ถ้ามีอุปกรณ์หลายตัวอยู่ในสถานะโพลพร้อมกัน สัญญาณบนบัสจะเกิดจากทุกตัวร่วมกัน ซึ่งมีประโยชน์ในการโพลเป็นกลุ่มเพื่อประหยัดเวลาของโปรเซสเซอร์ $\overline{\text{SO1}}$-$\overline{\text{SO4}}$ ต่อออกจากพอร์ทของโปรเซสเซอร์ เพื่อส่งซิกแนลลิงออกได้พร้อมกัน 4 สัญญาณ โดยมี $\overline{\text{SST}}$ เป็นสัญญาณสโตรบข้อมูลออก เพื่อให้อุปกรณ์ที่ถูกโพลรับซิกแนลลิงจาก $\overline{\text{SO1}}$-$\overline{\text{SO4}}$ เมื่อ $\overline{\text{SST}}$ เป็น 0 ส่วน SSL ใช้เลือกชุดของซิกแนลลิงซึ่งมีอยู่สองชุด จึงทำให้สามารถรับส่งซิกแนลลิงกับอุปกรณ์หนึ่งๆ ได้ 8 สัญญาณ สัญญาณซิกแนลลิงทั้งหมดข้างต้นเป็นสัญญาณชนิดเดียวเท่านั้นในอินเตอร์เฟสบัสที่ทำงานเป็นอิสระจากสัญญาณนาฬิกาหรือเฟรมของระบบ

ง) <u>สัญญาณเวลา</u> ได้แก่ $\overline{\text{C0}}$-$\overline{\text{C8}}$ และ $\overline{\text{TIM}}$ C0 เป็นสัญญาณนาฬิกาของระบบที่ความถี่ 2.048 เมกกะเฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่กำหนดเวลาของแต่ละบิทของข้อมูล โดยเริ่มจากขอบ

ขาลงของ C0 ถึงขอบขาลงถัดไปเป็น 1 บิท C1-C8 เป็นสัญญาณซึ่งเกิดจากการหาร C0 ด้วย 2 ต่อเนื่องกันตามลำดับ เพื่อใช้ในการกำหนดเวลาของช่องเวลาและเฟรม แต่ละช่องเวลาเริ่มจากขอบขาลงของ C3 ถึงขอบขาลงถัดไป และแต่ละเฟรมเริ่มจากขอบขาลงของ C8 ถึงขอบขาลงถัดไป นอกจากนี้ค่าของสัญญาณ C1-C8 ที่เวลาใดๆ เมื่อประกอบกันเป็นเลขฐาน 2 โดยให้ C8 เป็นบิทที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะแสดงถึงตำแหน่งของข้อมูลในขณะนั้น คือ (C3)(C2)(C1) เป็นหมายเลขบิทจาก 0-7 ในแต่ละช่องเวลา และ (C8)(C7)(C6)(C5)(C4) เป็นหมายเลขช่องเวลาจาก 0-31 ในแต่ละเฟรม สัญญาณ C0-C8 จะถูกกลับค่าเป็น $\overline{C0}$-$\overline{C8}$ ก่อนส่งเข้าอินเตอร์เฟสบัส $\overline{TIM}$ เป็นสัญญาณจากวงจรตั้งเวลาซึ่งจะให้พัลซ์เป็น 0 ออกมา 1 ลูกเมื่อหมดเวลาที่ตั้งไว้โดยโปรเซสเซอร์ของหน่วยควบคุมสถานี

จ) <u>สัญญาณข้อมูล</u> ได้แก่ TD และ RD TD เป็นบัสแบบคอลเลคเตอร์เปิดเพื่อให้อุปกรณ์ใช้ส่งข้อมูลร่วมกัน ข้อมูลที่ผ่านบัสนี้จะถูกส่งออกไปยังช่องสัญญาณแสงถ้าเป็นการติดต่อกับอุปกรณ์ในสถานีอื่น หรือส่งเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราวถ้าเป็นการติดต่อภายในสถานีเดียวกัน RD เป็นบัสสำหรับให้ข้อมูลจากช่องสัญญาณแสงผ่านเข้ามายังอุปกรณ์ที่จะรับข้อมูลนั้น หรือถ้าเป็นการติดต่อภายในข้อมูลจะมาจากหน่วยความจำชั่วคราวแทน อุปกรณ์ที่จะรับหรือส่งข้อมูลผ่าน RD และ TD จะต้องถูกเลือกด้วยสัญญาณในข้อ ก) พร้อมกับสัญญาณ RC หรือ TC ในข้อ ข) เท่านั้น

ฉ) <u>ไฟเลี้ยงวงจร</u> ได้แก่ +8V, +12V, -12V และ GND ทั้งหมดจะผ่านวงจรควบคุมแรงดันบนบอร์ดแต่ละบอร์ดก่อนนำไปใช้งาน คือ +8V เหลือ +5V สำหรับวงจรดิจิตอล ส่วน +12V และ -12V จะเหลือ +7.5V และ -7.5V เพื่อใช้กับวงจรอนาล็อก นอกจากนี้ +12V และ -12V ยังใช้กับวงจรอินเตอร์เฟสชนิด CCITT V.28 หรือ RS-232 C ในหน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลด้วย GND เป็นสายร่วมสำหรับไฟเลี้ยงวงจรและสัญญาณทั้งหมดบนบัส

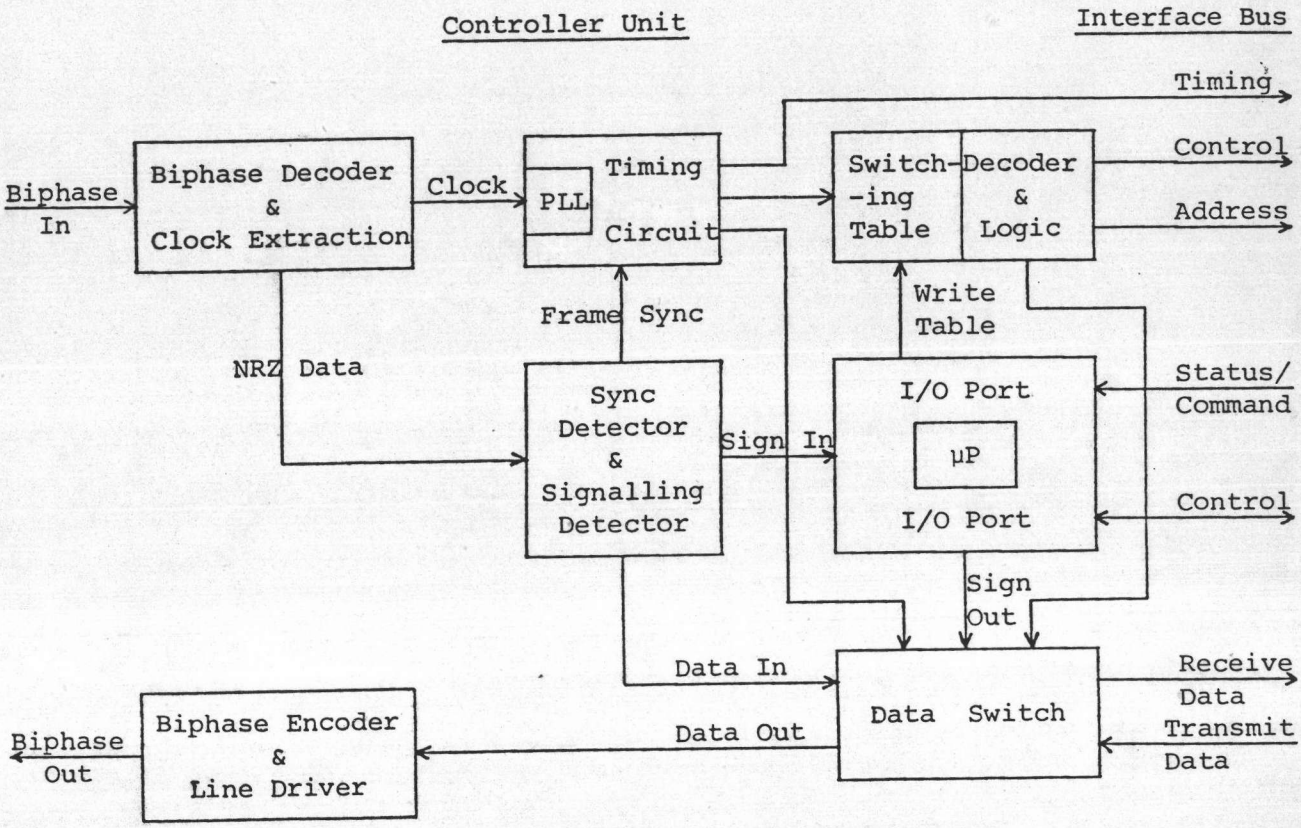
2.4.2 <u>หน่วยควบคุมสถานี</u> หน่วยควบคุมสถานีเป็นส่วนสำคัญที่สุดของสถานีมีทางเข้าออกอยู่ 2 ด้าน คือ ด้านหนึ่งติดต่อกับอินเตอร์เฟสบัส และอีกด้านหนึ่งติดต่อกับช่องสัญญาณแสงโดยตรง หน้าที่ของหน่วยควบคุมแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

ก) สร้างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณควบคุมทางเวลาต่างๆ จากข้อมูลที่ได้รับจากช่องสัญญาณแสง

ข) ควบคุมให้อุปกรณ์ในสถานีรับส่งข้อมูลในช่องเวลาที่เหมาะสม รวมทั้งการสวิทช์ข้อมูลเข้าออกจากช่องสัญญาณแสงให้ถูกต้อง

ค) รับส่งสัญญาณซิกแนลลิงกับอุปกรณ์ในสถานี

ง) รับส่งสัญญาณซิกแนลลิงกับหน่วยควบคุมสถานีอื่นๆ



รูป 2.7 องค์ประกอบที่สำคัญของหน่วยควบคุมสถานีและความสัมพันธ์ระหว่างกัน

รูป 2.7 แสดงถึงองค์ประกอบที่สำคัญของหน่วยควบคุมสถานี วงจรถอดรหัสไบเฟสและแยกสัญญาณนาฬิกา ทำหน้าที่แยกข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาออกมาจากสัญญาณไบเฟส สัญญาณนาฬิกาจะผ่านวงจรเฟสล็อคลูป (PLL) เพื่อลดการสั่นของเฟสลง จากนั้นจึงนำไปใช้กำเนิดสัญญาณทางเวลาต่างๆ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของวงจรอื่นและส่งเข้าอินเตอร์เฟสบัส ส่วนข้อมูลที่แยกออกมาจะถูกตรวจจับสัญญาณซิงค์ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณทางเวลาให้ถูกต้อง และแยกสัญญาณซิกแนลลิงในช่องเวลา 16 ออกมา เพื่อป้อนเข้าไมโครโปรเซสเซอร์โดยตรง ที่เหลือเป็นข้อมูลจะถูกส่งเข้าวงจรสวิทช์ข้อมูลซึ่งจะสวิทช์เข้าอินเตอร์เฟสบัส เพื่อส่งต่อให้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง หรือสวิทช์กลับออกจากสถานีถ้าไม่มีอุปกรณ์ใดเกี่ยวข้อง ในขณะเดียวกัน

ข้อมูลที่อุปกรณ์ส่งออกมาผ่านอินเตอร์เฟสบัสจะผ่านวงจรสวิทช์ข้อมูลเช่นกัน และถูกสวิทช์ออกจากสถานีเพื่อแทนที่ข้อมูลที่เข้ามา หรือสวิทช์กลับเข้าอินเตอร์เฟสบัสใหม่โดยผ่านหน่วยความจำชั่วคราวเพื่อส่งต่อให้อุปกรณ์อื่นในสถานีเดียวกัน นอกจากนี้ในช่องเวลา 16 ซึ่งใช้รับส่งซิกแนลลิง สัญญาณซิกแนลลิงที่ส่งออกจากสถานีอาจเป็นสัญญาณเดิมที่เข้ามาหรือสัญญาณที่ส่งออกมาจากไมโครโปรเซส-เซอร์ก็ได้ การทำงานของวงจรสวิทช์ข้อมูลในแต่ละช่องเวลาถูกควบคุมจากตารางการสวิทช์ ซึ่งควบคุมการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ด้วย

ตารางการสวิทช์เป็นหน่วยความจำซึ่งเก็บหมายเลขอุปกรณ์และหน้าที่ที่ต้องทำรวมทั้งคำสั่งสำหรับวงจรสวิทช์ข้อมูลประจำช่องเวลาต่างๆ ทุกช่อง ส่วนในช่องเวลา 16 และ 0 ซึ่งไม่มีการรับส่งข้อมูลจะเก็บหมายเลขอุปกรณ์ที่ต้องการโพล หรือยกเลิกการโพลแทน ข้อมูลทั้งหมดจะถูกอ่านออกมาตลอดเวลาตามลำดับช่องเวลาโดยผ่านการถอดรหัสออกมาเป็นสัญญาณควบคุมและสัญญาณเลือกอุปกรณ์เข้าอินเตอร์เฟสบัส และใช้ควบคุมวงจรสวิทช์ข้อมูล ข้อมูลในตารางการสวิทช์ทั้งหมดถูกเขียนโดยไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านทางพอร์ทแบบแฮนด์เชคโดยตรง

วงจรไมโครโฟรเซสเซอร์นอกจากจะรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงในช่องเวลา 16 และเขียนตารางการสวิทช์ดังกล่าวแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์ยังทำหน้าที่รับส่งซิกแนลลิงกับอุปกรณ์ในสถานีโดยใช้การโพลทีละหมายเลขช่วย ในการแยกซิกแนลลิงออกจากกันโดยสามารถรับส่งซิกแนลลิงกับอุปกรณ์หนึ่งๆ ได้ทีละ 4 สัญญาณพร้อมกัน นอกจากนี้ยังสามารถที่จะต่อออกมาใช้โปรแกรมภายนอกได้เพื่อใช้ในการทดสอบและซ่อมบำรุง ปกติโปรแกรมภายในจะเป็นชนิดที่เขียนไว้ตายตัว แต่โปรแกรมภายนอกอาจเป็นชนิดเขียนใหม่ได้ โดยใช้วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดแผ่นพิมพ์เดี่ยวอื่นๆ ซึ่งมีหน่วยความจำส่วนหนึ่งสำหรับเก็บโปรแกรมที่จะทดสอบมาต่อเข้ากับวงจรเดิม ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมหรือถ่ายจากเทปเข้ามาได้ แต่ต้องใช้สวิทช์เลือกว่าจะให้ไมโครโปรเซส-เซอร์ตัวใดทำงาน เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ภายนอกทำงานจะทำหน้าที่เพียงแต่อำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรมที่จะทดสอบดังกล่าว และเมื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ภายในทำงานจะทำงานตามโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใหม่แทนโปรแกรมภายในที่ใช้อยู่เดิม

2.4.3 <u>หน่วยอินเตอร์เฟส</u> หน่วยอินเตอร์เฟสทำหน้าที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เข้ากับอินเตอร์เฟสบัส เพื่อให้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ สามารถต่อกับระบบได้ หน้าที่ของหน่วยอินเตอร์เฟสแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

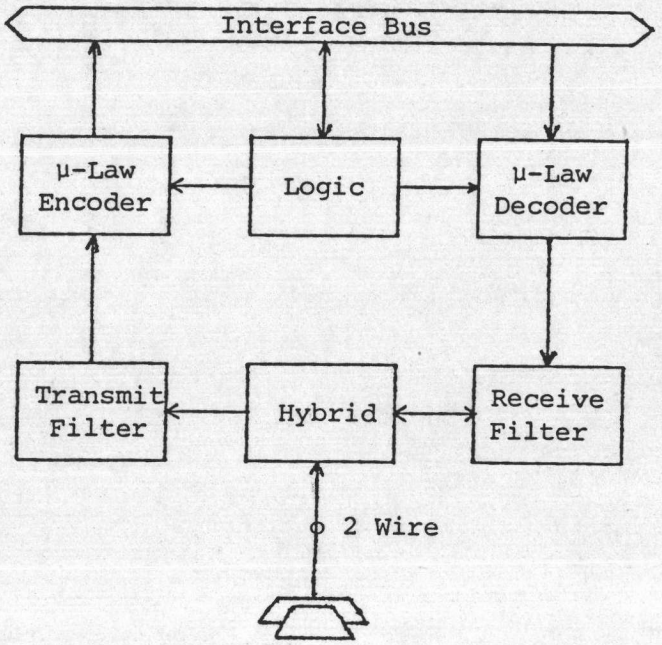
ก) แปลงรูปสัญญาณให้เหมาะสมกับการรับส่งในช่องเวลาของเฟรม

ข) แปลงรูปสัญญาณซิกแนลลิงของอุปกรณ์ให้รับส่งผ่านอินเตอร์เฟสบัสได้โดยตรง

ค) กำเนิดสัญญาณซิกแนลลิงหรือสัญญาณอื่นๆ ที่จำเป็นให้กับหน่วยควบคุมหรืออุปกรณ์

หน่วยอินเตอร์เฟสที่ออกแบบไว้ในขั้นต้นมีเพียง 2 ชนิด คือ หน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์และหน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลแบบโปร่งใส หน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ใช้ต่อกับเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาโดยตรงด้วยสาย 2 เส้น ส่วนหน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลแบบโปร่งใสใช้ต่อกับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรมใดๆ ที่ใช้สัญญาณควบคุมตาม CCITT Recommendation V.24หรือ EIA RS-232-C ซึ่งใช้กับโมเด็มทั่วไปอยู่ในปัจจุบัน โดยไม่ขึ้นกับวิธีการส่งข้อมูลที่ใช้ เช่น อัตราการส่งข้อมูล, ซิงโครนัสหรืออะซิงโครนัส, วิธีการตรวจจับความผิดพลาด เป็นต้น ดังนั้นหน่วยอินเตอร์เฟสจึงทำหน้าที่เสมือนกับเป็นโมเด็มธรรมดานั่นเอง

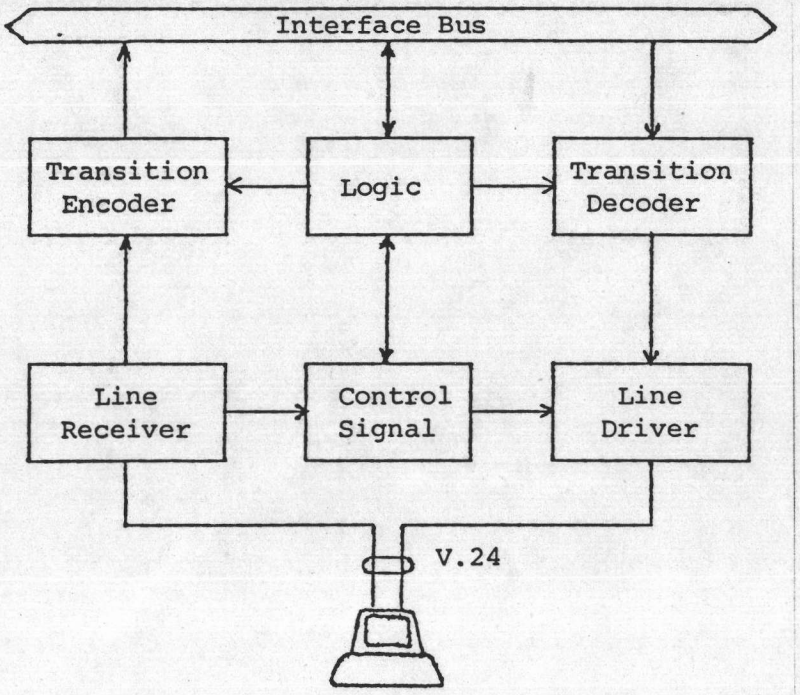
หน้าที่ของหน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์รวมเรียกว่า BORSCHT ซึ่งใช้ในระบบโทรศัพท์ทั่วไป ย่อมาจาก Battery feed, Overvoltage protection, Ringing, Supervision, Coding, Hybrid และ Test access สำหรับ Coding จะใช้เฉพาะในระบบโทรศัพท์แบบ PCM เท่านั้น ซึ่งรวมตั้งแต่วงจรกรองภาคส่ง วงจรใส่รหัส วงจรถอดรหัส และวงจรกรองภาครับ เมื่อแปลงสัญญาณเสียงส่งเป็นข้อมูล 1 ช่องเวลาทุกๆ เฟรมและแปลงกลับทางด้านรับ การแปลงสัญญาณใช้รหัสแบบลอการิทึม μ-Law เพื่อเพิ่มไดนามิคเรนจ์ และทำให้เป็นรหัสแบบเชิงเส้นได้ง่าย Hybrid แปลงการรับส่งด้วยสาย 1 คู่จากเครื่องโทรศัพท์เป็นรับส่งแยกกันด้วยสาย 2 คู่ Supervision คือ การตรวจสอบสถานะการยกหูของโทรศัพท์แปลงเป็นซิกแนลลิงส่งเข้าอินเตอร์เฟสบัส ซึ่งสามารถใช้ตรวจจับหมายเลขปลายทางจากโทรศัพท์แบบหมุนได้ด้วย Ringing จะป้อนสัญญาณความถี่ต่ำขนาดใหญ่เพื่อขับกระดิ่งของเครื่องโทรศัพท์และตัดสัญญาณออกทันทีที่ยกหู Battery feed เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้โทรศัพท์ ส่วน Overvoltage protection ซึ่งจำเป็นในกรณีที่วางสายภายนอกอาคารเพื่อป้องกันการลัดวงจรเข้ากับสายไฟฟ้าหรือการเหนี่ยวนำจากฟ้าผ่า และ Test access สำหรับใช้ในการทดสอบคู่สายนั้น ในขั้นต้นจะยังไม่คำนึงถึง รูป 2.8 แสดงองค์ประกอบของหน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์



รูป 2.8 องค์ประกอบของหน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์

การส่งข้อมูลของหน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลแบบโปร่งใสสามารถทำได้โดยการใส่รหัสบอกตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 ในช่วงเวลาแต่ละเฟรม ดังนั้นข้อมูลจากอุปกรณ์จึงมีวิธีการส่งแบบใดก็ได้ แต่ต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าหนึ่งครั้งในระยะเวลาเท่ากับหนึ่งเฟรม รหัสดังกล่าวเรียกว่า รหัสแบบทรานซิชัน หน้าที่ที่เหลือเป็นการส่งต่อสัญญาณซิกแนลลิงจากอุปกรณ์ไปยังอินเตอร์เฟสบัสและในทางกลับกันด้วย และกำเนิดซิกแนลลิงบางอย่างที่จำเป็น เช่น ถ้าอุปกรณ์ไม่สามารถส่งซิกแนลลิงเลือกหมายเลขปลายทางได้เอง หน่วยอินเตอร์เฟสจะส่งหมายเลขปลายทางที่ตั้งไว้ล่วงหน้าไปเข้าอินเตอร์เฟสบัสแทน หรือส่งสัญญาณแสดงสถานะพร้อมที่จะทำงานของหน่วยอินเตอร์เฟสให้อุปกรณ์รู้ เป็นต้น รูป 2.9 แสดงองค์ประกอบของหน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลแบบโปร่งใส

ตัวอย่างหน่วยอินเตอร์เฟสชนิดอื่นๆ เช่น หน่วยอินเตอร์เฟสอนาล็อก ซึ่งมีความละเอียดหรืออาจมีความถี่สูงกว่าเสียงโทรศัพท์ หน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลแบบซิงโครนัส ซึ่งส่งข้อมูลได้เร็วกว่าและมากกว่า เป็นต้น หน่วยอินเตอร์เฟสทุกหน่วยในระบบจะมีหมายเลขแตกต่างกันเพื่อใช้ในการอ้างถึง ดังจะกล่าวในหัวข้อ 2.5.1

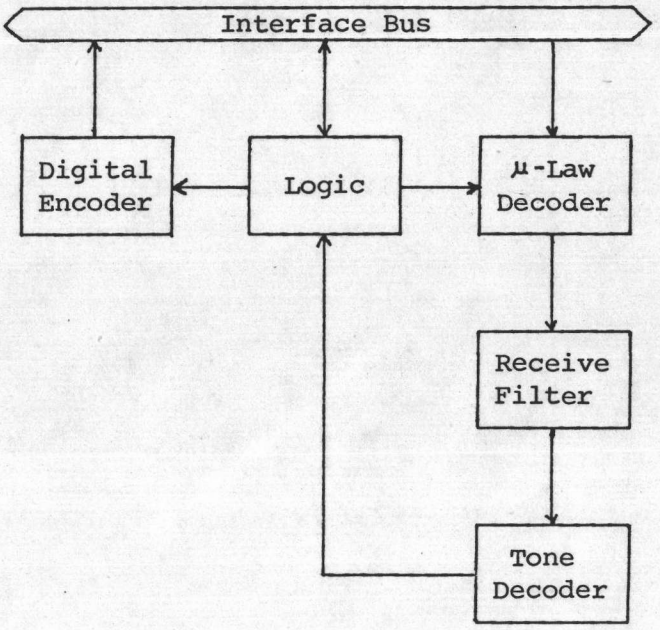


รูป 2.9 องค์ประกอบของหน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลแบบโปร่งใส

2.4.4 <u>หน่วยอุปกรณ์ช่วย</u> หน่วยอุปกรณ์ช่วยมีหน้าที่พิเศษหลายประการเพื่อช่วยการทำงานของระบบให้สมบูรณ์ขึ้น ในขั้นต้นนี้ ได้ออกแบบไว้เฉพาะที่จำเป็นสำหรับการทำงานของโทรศัพท์เท่านั้น คือ อุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณ เพื่อใช้กำเนิดเสียงสัญญาณบอกให้หมุนหมายเลขได้, แจ้งสายไม่ว่างและเสียงกระดิ่งดังกลับ โดยกำเนิดเสียงออกมาเป็นข้อมูล PCM โดยตรง และใช้ถอดรหัสเสียงสัญญาณเลือกหมายเลขปลายทางแบบ DTMF (Dual Tone Multi Frequency) โดยรับเสียงสัญญาณเข้าเป็นข้อมูล PCM เช่นกัน และส่งรหัสของเสียงที่ตรวจจับได้กลับเข้าอินเตอร์เฟสบัสเพื่อส่งให้หน่วยควบคุมสถานี ดังรูป 2.10

หน่วยอุปกรณ์ช่วยจะทำงานในลักษณะเดียวกับหน่วยอินเตอร์เฟสอื่นๆ ต่างกันเพียงแต่อุปกรณ์ช่วยไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ภายนอก แต่สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยตัวเองตามหน้าที่ที่กำหนด ดังนั้นหน่วยอุปกรณ์ช่วยจะมีหมายเลขประจำอุปกรณ์เช่นเดียวกับหน่วยอินเตอร์เฟสอื่นๆ และมีหมายเลขแตกต่างกันตามหน้าที่ ดังนั้นในขั้นต้นนี้จึงมีเพียงหมายเลขเดียวเท่านั้นในแต่ละสถานี คือ ให้มีหมายเลข C ในระบบเลขฐานสิบหก เพื่อหมายถึงอุปกรณ์ถอดรหัสและกำเนิดเสียงสัญญาณ

ตัวอย่างอุปกรณ์ช่วยอื่นๆ ได้แก่ อุปกรณ์จัดการประชุมทางโทรศัพท์ ซึ่งทำหน้าที่บวกลบข้อมูลเสียงแบบ PCM โดยตรง เพื่อให้ใช้โทรศัพท์ติดต่อกันทีเดียวหลายๆ เครื่องได้ เป็นต้น

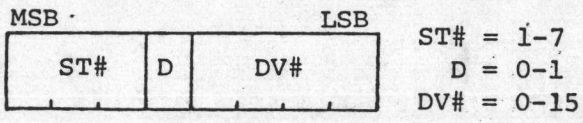


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 2.10 องค์ประกอบของอุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณ

2.5 การทำงานของสถานี

2.5.1 ระบบหมายเลข อุปกรณ์ในสถานีหนึ่งๆ มีได้ไม่เกิน 32 หมายเลข คือ เป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูล 16 หมายเลข และโทรศัพท์ 16 หมายเลข แต่ใช้เป็นหมายเลขโทรศัพท์ได้จาก 0-9 เท่านั้น โดยให้ A-F เป็นหมายเลขอุปกรณ์ช่วย ดังนั้นในสถานีหนึ่งๆ จะต้องใช้ 5 บิทในการอ้างหมายเลขอุปกรณ์ โดยให้บิทที่มีนัยสำคัญสูงสุด คือ D เป็น 0 หรือ 1 เพื่อหมายถึงโทรศัพท์หรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูล และอีก 4 บิท คือ DV# เป็นหมายเลขอุปกรณ์ แต่เนื่องจากมีสถานีหลายแห่งในลูปและเพื่อให้การอ้างหมายเลขทำได้ด้วย 8 บิท จึงให้หมายเลขสถานีหรือ ST# มีขนาด 3 บิท ทำให้มีจำนวนสถานีได้ 7 สถานี โดยสงวนหมายเลข 0 เอาไว้ ดังนั้นหมายเลขของอุปกรณ์ทั้ง 8 บิทจะมีลักษณะดังรูป 2.11 คือ มีหมายเลขสถานี ชนิด และหมายเลขอุปกรณ์เรียงต่อกัน



รูป 2.11 การอ้างหมายเลขอุปกรณ์ในลูป

ในการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ จะให้หมายเลขแรกเป็นหมายเลขสถานีจาก 1-7 และตัวหลัง เป็นหมายเลขโทรศัพท์ในสถานีจาก 0-9 ส่วนการส่งหมายเลขปลายทางสำหรับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะต้องส่งทั้ง 8 บิทตามรูป 2.11 แต่ในการเขียนถึงหมายเลขอุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะใช้เลข 2 หลักเช่นเดียวกับโทรศัพท์ โดยมีจุดทศนิยมคั่นกลาง เช่น 3.9 หมายถึง อุปกรณ์รับส่งข้อมูลตัวที่ 9 ของสถานที่ 3 และต่างจาก 39 ซึ่งเป็นหมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น

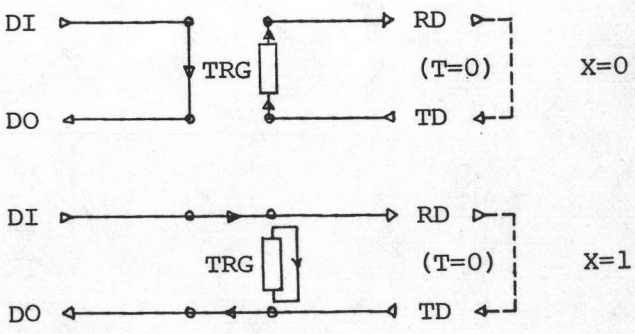
ข้อสังเกตเกี่ยวกับจำนวนสถานีในลูปซึ่งมีได้เพียง 7 สถานี คือ จำนวนดังกล่าวเกิดจากข้อจำกัดในการอ้างหมายเลข ซึ่งสามารถขยายออกไปอีกได้ถ้าต้องการ ไม่ใช่เป็นขีดความสามารถของระบบหรือข้อจำกัดของวงจรแต่อย่างใด เราสามารถแสดงได้ว่า เมื่อขยายระบบจนเต็มระบบหมายเลขดังกล่าวแล้ว อัตราส่วนระหว่างช่องเวลาที่มีอยู่ต่อความต้องการช่องเวลาสูงสุดเมื่ออุปกรณ์ทุกตัวในระบบถูกใช้งานพร้อมกัน จะมีค่าเพียงประมาณ 1 ต่อ 3 เท่านั้น โดยคิดจากจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดใน 7 สถานี สถานีละ 32 หมายเลข ติดต่อกันเองหมดเป็นคู่ๆ ต้องใช้ 112 คู่สาย แต่ในจำนวนนี้จะเป็นการติดต่อกับอุปกรณ์ในสถานีเดียวกันประมาณ 1 ใน 7 ซึ่งจะไม่ใช้ช่องสัญญาณของระบบ ดังนั้นจะต้องการช่องสัญญาณเพียง 96 ช่องเวลา เทียบกับจำนวนช่องเวลา 30 ช่องที่มีอยู่ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนยังไม่สูงมากนักจึงสามารถขยายระบบออกไปอีกได้ แต่การอ้างหมายเลขอุปกรณ์ในส่วนที่ขยายต้องใช้มากกว่า 1 ไบท์ โดยให้ไบท์แรกมี 3 บิทแรกเป็น 0 เพื่อแสดงว่ามีไบท์ที่สองตามมาอีก จำนวนและความหมายของไบท์ที่เหลือขึ้นกับขนาดและวิธีการที่ใช้ขยาย เช่น ขยายโดยเพิ่มสถานีในลูป หรือขยายโดยต่อลูปเดิมเข้ากับข่ายวงจรอื่น เป็นต้น

2.5.2 <u>ตารางการสวิทช์</u> หน่วยควบคุมสถานีจะใช้ตารางการสวิทช์ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในสถานีรวมทั้งการสวิทช์ข้อมูลเข้าออกจากสถานีนั้นๆ โดยตารางการสวิทช์จะเก็บคำสั่งประจำช่องเวลาต่างๆ ทั้ง 32 ช่อง ช่องละ 8 บิท ดังรูป 2.12 และถูกอ่านออกมาตามลำดับช่องเวลานั้นๆ ตลอดเวลา ในช่องเวลา 1-15 และ 17-31 บิทต่างๆ จะมีความหมาย

ดังนี้ บิท 3- บิท 0 คือ DV# เป็นหมายเลขอุปกรณ์ซึ่งจะถูกถอดรหัสส่งเข้าอินเตอร์เฟสบัส $\overline{DV0}$-$\overline{DVF}$ บิท 4 คือ D เลือกชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานในช่องเวลานั้นๆ โดยส่งเข้าอินเตอร์เฟสบัส D/$\overline{T}$ โดยตรง บิท 5 คือ T ควบคุมการส่ง และบิท 6 คือ R ควบคุมการรับในช่องเวลานั้นๆ โดยต่อเข้าอินเตอร์เฟสบัส TC และ RC โดยตรง ยกเว้นในช่องเวลา 0 และ 16 ซึ่ง TC และ RC จะเป็น 0 เสมอไม่ขึ้นกับค่าในตารางการสวิทช์ ส่วนบิท 7 คือ X มีค่า 0 หรือ 1 หมายถึงการติดต่อภายในหรือภายนอกตามลำดับ โดยไปควบคุมวงจรสวิทช์ข้อมูลให้เลือกต่อสัญญาณ DI, DO, RD และ TD เข้าด้วยกันให้ถูกต้อง ดังรูป 2.13 สัญญาณทั้ง 4 คือ สัญญาณเข้าและออกจากสถานีและสัญญาณเข้าและออกจากอุปกรณ์ผ่านทางอินเตอร์เฟสบัสตามลำดับ TRG คือ หน่วยความจำชั่วคราวสำหรับการติดต่อภายใน ซึ่งจะเก็บข้อมูลไว้เพื่อส่งออกในช่องเวลาถัดไป จะเห็นว่าเมื่อไรที่ T = 0 คือ ไม่มีการส่งข้อมูลจะทำให้วงจรสวิทช์ข้อมูลต่อ RD เข้ากับ TD เพื่อส่งข้อมูลที่ได้รับกลับไปใหม่ ดังนั้นถ้า X = 0 และ T = 0 จะทำให้หน่วยความจำชั่วคราวมีค่าคงเดิมอยู่หลังจากส่งข้อมูลเข้า RD แล้ว และถ้า X = 1 และ T = 0 จะทำให้ข้อมูลจากภายนอกที่เข้าสถานีมาจะถูกส่งออกจากสถานีไปเหมือนเดิมพร้อมกับส่งเข้า RD ด้วย ส่วนหน่วยความจำชั่วคราวยังคงเก็บค่าเดิมอยู่เสมอถ้า X = 1

Bit	7	6	5	4	3 2 1 0
TS00	X*	C	T*	D	DV#
TS01	X	R	T	D	DV#
:	:	:	:	:	:
TS15	X	R	T	D	DV#
TS16	X*	S	T*	D	DV#
TS17	X	R	T	D	DV#
:	:	:	:	:	:
TS31	X	R	T	D	DV#

รูป 2.12 ตารางการสวิทช์



รูป 2.13 การสวิทช์ข้อมูลถูกควบคุมด้วย X และ T

สำหรับช่องเวลา 0 และ 16 ซึ่งใช้ในการรับส่งสัญญาณซิงค์และซิกแนลลิงและไม่มีการรับส่งข้อมูล จึงใช้ตารางการสวิทช์ควบคุมการโพลดังนี้ ให้บิท 6 ของคำสั่งในตารางการสวิทช์ประจำช่องเวลา 16 คือ S ใช้ควบคุมการโพล และบิท 6 ประจำช่องเวลา 0 คือ C ใช้ควบคุมการเลิกโพลอุปกรณ์ที่ถูกเลือกโดย D และ DV# ในช่องเวลาดังกล่าว โดย S และ C จะถูกส่งออกทางอินเตอร์เฟสบัส SET และ CLR ในช่องเวลา 16 และ 0 ตามลำดับพร้อมกับสัญญาณเลือกอุปกรณ์ในช่องเวลานั้นๆ ดังนั้นคำสั่งในการโพลทั้ง 2 ชนิดจะถูกส่งออกมาได้เร็วสุดเพียงเฟรมละครั้ง ส่วนบิท 7 และบิท 5 ของช่องเวลาทั้งสอง คือ X^* และ T^* จะควบคุมวงจรสวิทช์ข้อมูลเช่นเดียวกับ X และ T ในช่องเวลาอื่นๆ แต่ข้อมูลที่ควบคุม คือ ซิงค์และซิกแนลลิง ดังนั้นในการทำงานปกติในช่องเวลา 0 ควรมี $T^* = 0$ ส่วน X^* จะเป็น 1 หรือ 0 ก็ได้ เพื่อให้สัญญาณซิงค์ที่เข้าสถานีมาสามารถผ่านออกไปยังสถานีต่อไปได้ และข้อมูลในหน่วยความจำชั่วคราวยังคงเก็บค่าเดิมอยู่ ส่วนช่องเวลา 16 ควรมี $X^* = 1$ เพื่อไม่ให้รบกวนหน่วยความจำชั่วคราว โดยใช้ T^* ควบคุมการส่งสัญญาณซิกแนลลิง ถ้า $T^* = 0$ จะให้ซิกแนลลิงผ่านออกจากสถานีไปเหมือนเดิม และถ้า $T^* = 1$ จะให้สัญญาณบน TD ในช่องเวลาดังกล่าวส่งออกไปแทนซึ่งปกติจะเป็น 1 หมด คือ FF ยกเว้นเมื่อใช้ส่งซิกแนลลิงเท่านั้น FF เป็นค่าของซิกแนลลิงในภาวะปกติที่ไม่ได้ส่งอะไรออกไป คือ ว่างหรือ Idle

โดยสรุปแล้ว ผลของคำสั่งควบคุมเฉพาะ 3 บิทบน ต่อการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์, สถานะโพลของอุปกรณ์สัญญาณซิงค์หรือซิกแนลลิง และหน่วยความจำชั่วคราวสำหรับการติดต่อภายในจะแสดงอยู่ในตาราง 2.2-2.5 ตามลำดับ

การเขียนตารางการสวิทช์โดยไมโครโปรเซสเซอร์ ทำได้โดยส่งหมายเลขช่องเวลาที่ต้องการเขียนออกมาทางพอร์ทออกที่ใช้เป็นแอดเดรส และส่งข้อมูลที่ต้องการเขียนออกมาทางพอร์ทออกแบบแฮนด์เชค เมื่อถึงช่องเวลาถัดไปจะเกิดการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำที่ใช้เป็นตารางการสวิทช์ตามต้องการเพียงครั้งเดียว พร้อมกับแจ้งให้ไมโครโปรเซสเซอร์รู้ว่าเขียนเสร็จแล้ว การเขียนตารางการสวิทช์จะไม่รบกวนการอ่านค่าจากตารางในขณะนั้นแต่ประการใด

ตาราง 2.2 การรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในช่องเวลา 0-15 และ 17-31

X	R	T	Function of Selected Device in TS 01-15 and TS 17 -31
0	0	0	Idle
0	0	1	Transmit to Temporary Register
0	1	0	Receive from Temporary Register
0	1	1	Transmit to and Receive from Temporary Register
1	0	0	Idle
1	0	1	Transmit to Loop
1	1	0	Receive from Loop
1	1	1	Transmit to and Receive from Loop

ตาราง 2.3 สถานะโพลของอุปกรณ์ที่ถูกเลือกในช่องเวลา 0 และ 16

C	S	Poll Status of Selected Device
0	0	Unaffected
0	1	Poll Set
1	0	Poll Clear
1	1	Both Set and Clear

ตาราง 2.4 สัญญาณซิงค์หรือซิกแนลลิงที่เข้าสู่สถานี

X^*	T^*	Sync or Signalling into Station
0	0	Bypass from Input to Output
0	1	Bypass from Input to Output
1	0	Bypass from Input to Output
1	1	Replaced by data on TD at that time

พิพิธภัณฑ์กลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.5 ผลต่อหน่วยความจำชั่วคราวที่ใช้สำหรับการติดต่อภายใน

X or X^*	T or T^*	Temporary Register
0	0	Unaffected
0	1	Affected
1	0	Unaffected
1	1	Unaffected

2.5.3 <u>การโพลอุปกรณ์</u> เนื่องจากมีอุปกรณ์จำนวนมากต่ออยู่กับสถานี และอุปกรณ์แต่ละตัวมีซิกแนลลิงที่ต้องรับส่งผ่านหน่วยอินเตอร์เฟสเข้าสู่หน่วยควบคุมสถานีโดยใช้อินเตอร์เฟสบัสร่วมกัน ดังนั้นจึงต้องใช้การโพลเพื่อแยกซิกแนลลิงของอุปกรณ์แต่ละตัวออกจากกันได้ แต่เพื่อให้สามารถโพลอุปกรณ์พร้อมกันหลายๆ ตัวได้รวมทั้งเพื่อให้ประหยัดสายสัญญาณ จึงไม่ใช้การโพลซึ่งต้องส่งคำสั่งโพลค้างไว้ตลอดเวลา แต่จะใช้การโพลซึ่งหน่วยอินเตอร์เฟสของอุปกรณ์จำสถานะโพลของตัวเองเอาไว้แทน คือ หน่วยควบคุมจะส่งคำสั่งเพื่อทำให้หน่วยอินเตอร์เฟสบัส SET เป็น 1 และให้ D/$\overline{T}$ และ $\overline{DV0}$-$\overline{DVF}$ เป็นสัญญาณเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการ เมื่อหน่วยอินเตอร์เฟสใดได้รับคำสั่งจะตอบสนองกลับโดยส่งพัลซ์ 0 มาทาง $\overline{ACK}$ ทุกครั้ง ไม่ว่าจะเป็นการสั่งโพลหรือเลิกโพล

หลังจากนั้นหน่วยควบคุมอาจสั่งให้หน่วยอินเตอร์เฟสอื่นๆ เข้าสู่สถานะโพลอีกได้พร้อมๆ กัน เมื่อหน่วยอินเตอร์เฟสใดอยู่ในสถานะโพล อุปกรณ์ที่ต่ออยู่จะสามารถรับส่งซิกแนลลิงเข้าออกจากอินเตอร์เฟสบัส $\overline{SI1}$-$\overline{SI4}$ และ $\overline{SO1}$-$\overline{SO4}$ ได้ และจะมีซิกแนลลิงได้ 2 ชุด โดยใช้ SSL เป็นสัญญาณเลือกชุด $\overline{SI1}$-$\overline{SI4}$ เป็นบัสเข้าแบบคอลเลคเตอร์เปิด ดังนั้นถ้ามีหน่วยอินเตอร์เฟสถูกโพลพร้อมกันหลายหน่วย จะทำให้สัญญาณบนบัสดังกล่าวเกิดจากซิกแนลลิงของแต่ละตัวซึ่งเป็นแอคตีฟโลว์มา OR กันหมด จึงใช้ในการตรวจว่ามีอุปกรณ์ในกลุ่มที่ถูกโพลกำลังส่งซิกแนลลิงอยู่หรือไม่ ส่วน $\overline{SO1}$-$\overline{SO4}$ เป็นบัสออกใช้ส่งซิกแนลลิงจากหน่วยควบคุมไปยังอุปกรณ์ โดยใช้ $\overline{SST}$ ช่วยในการสโตรบข้อมูลออกเมื่อซิกแนลลิงบนบัสดังกล่าวพร้อมที่จะส่งออก และมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ $\overline{SST}$ ลงเป็น 0 หน่วยอินเตอร์เฟสที่ถูกโพลเท่านั้นที่จะรับซิกแนลลิงไปเก็บไว้เพื่อส่งต่อให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ การสั่งเลิกโพลทำในลักษณะเดียวกันเพียงแต่ใช้ CLR แทน SET เท่านั้น อุปกรณ์ที่ถูกสั่งเลิกโพลจะไม่สามารถรับส่งซิกแนลลิงได้อีกจนกว่าจะถูกโพลใหม่

หน่วยควบคุมสถานีใช้การส่งคำสั่งที่เกี่ยวกับการโพลเข้าสู่อินเตอร์เฟสบัสโดยทางอ้อม คือ สั่งผ่านทางตารางการสวิทช์ประจำช่องเวลา 0 และ 16 ที่บิทที่ 6 พร้อมหมายเลขอุปกรณ์ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.5.2 คำสั่งที่เขียนลงไปจะถูกส่งออกมาในช่องเวลา 0 และ 16 ตามลำดับ ดังนั้นการสั่งโพลหรือเลิกโพลจะทำได้เฟรมละครั้งเท่านั้น ในขณะที่คำสั่งที่เขียนลงในช่องเวลา 16 หรือ 0 ถูกอ่านออกมา S หรือ C จะถูกส่งเข้าอินเตอร์เฟสบัส SET หรือ CLR โดยตรง และ D เข้า $D/\overline{T}$ โดยตรง ส่วน DV# จะถูกถอดรหัสส่งเข้า $\overline{DV0}$-$\overline{DVF}$ และหน่วยอินเตอร์เฟสจะตอบกลับมาทาง $\overline{ACK}$ เพื่อบอกให้หน่วยควบคุมเขียนคำสั่งใหม่ได้ แต่ถ้าไม่เขียนคำสั่งใหม่ลงไปจะทำให้คำสั่งเก่าถูกอ่านออกมาทุกเฟรม และ $\overline{ACK}$ จะเกิดขึ้นทุกเฟรมเช่นกัน ถ้า S หรือ C ยังคงเป็น 1 อยู่ ดังนั้นจึงควรลบคำสั่งออกจากตารางการสวิทช์หลังจากคำสั่งนั้นถูกส่งออกไปแล้ว โดยเขียนคำสั่งให้ S และ C กลับเป็น 0 ตามเดิม หรือเขียนหมายเลขใหม่

การโพลนอกจากจะใช้กับหน่วยอินเตอร์เฟสเพื่อรับส่งซิกแนลลิงกับอุปกรณ์แล้ว ยังใช้กับหน่วยอุปกรณ์ช่วยในลักษณะเดียวกันด้วย เนื่องจากหน่วยอุปกรณ์ช่วยต้องการรับส่งสัญญาณควบคุมและข้อมูลบางอย่างกับหน่วยควบคุมสถานีเช่นกัน

2.5.4 <u>การรับส่งซิกแนลลิงกับอุปกรณ์</u> หน้าที่และความหมายของซิกแนลลิงบนอินเตอร์เฟสบัสขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่รับส่งซิกแนลลิงนั้นๆ ซึ่งในขั้นแรกนี้มีเพียง 3 ชนิด คือ โทรศัพท์, อุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณ และอุปกรณ์รับส่งข้อมูลซึ่งใช้การอินเตอร์เฟส

แบบ CCITT V.24 ตาราง 2.6 แสดงถึงสัญญาณซิกแนลลิงต่างๆ บนอินเตอร์เฟสบัสสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด สัญญาณทั้งหมดเป็นแอคตีฟโลว์ ดังนั้นจึงมีหน้าที่หรือสถานะตามชื่อที่เรียกต่อเมื่อเป็น 0 และตรงกันข้ามเมื่อเป็น 1 รวมทั้ง $\overline{D4}$-$\overline{D1}$ ซึ่งเป็นเลขฐาน 2 จะถูกกลับเป็นค่าประกอบด้วยสัญญาณในวงเล็บ คือ สัญญาณที่ยังไม่ได้ใช้ในขั้นต้นนี้ แต่สามารถเพิ่มเติมขึ้นได้ภายหลัง เมื่อต้องการขีดความสามารถเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณเป็นอุปกรณ์ช่วยที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณซิกแนลลิงบางอย่างซึ่งหน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ทำไม่ได้ จึงจะกล่าวถึงในรายละเอียดพร้อมกันกับโทรศัพท์ ส่วนอุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะแยกกล่าวต่างหาก

ก) ซิกแนลลิงโทรศัพท์ ในระบบโทรศัพท์ทั่วไปจะมีซิกแนลลิงเหล่านี้ คือ การยกหูโทรศัพท์เพื่อขอติดต่อ เสียงสัญญาณให้หมุนหมายเลขได้เป็นการตอบรับคำขอ การหมุนหรือกดหมายเลขปลายทาง เสียงกระดิ่งปลายทางเพื่อแจ้งผู้รับ เสียงกระดิ่งดังกลับต้นทางให้ผู้ส่งรอ เสียงสัญญาณสายไม่ว่างเพื่อให้ผู้ส่งเลิกรอ การยกหูตอบรับสายและการวางหูเลิกติดต่อ ซิกแนลลิงเหล่านี้ใช้สื่อสารระหว่างผู้ใช้และระบบซึ่งเป็นซิกแนลลิงที่ผ่านไปมาระหว่างอินเตอร์เฟสบัส หน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ เครื่องโทรศัพท์และผู้ใช้ ยังมีซิกแนลลิงอีกประเภทหนึ่งซึ่งใช้สื่อสารกันเองภายในระบบ เพื่อส่งข้อมูลหรือข่าวสารที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบโดยไม่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้โดยตรง ซิกแนลลิงประเภทหลังนี้จึงมีลักษณะและวิธีการแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละชนิด ในระบบนี้ได้แก่ ซิกแนลลิงที่รับส่งระหว่างสถานีในช่องเวลา 16 นั่นเอง ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 2.6.1

ดังนั้นซิกแนลลิงที่หน่วยอินเตอร์เฟสโทรศัพท์สามารถรับส่งได้เอง คือ สถานะยกหูโทรศัพท์ $\overline{OFH}$ และสัญญาณควบคุมเสียงกระดิ่ง $\overline{RE}$ เท่านั้น $\overline{OFH}$ สามารถใช้ตรวจจับการหมุนหมายเลขปลายทางได้ด้วย แต่ถ้าใช้โทรศัพท์แบบกดปุ่ม การถอดรหัสเสียงสัญญาณหมายเลขปลายทางจะทำโดยอุปกรณ์ช่วย โดยให้อุปกรณ์ช่วยรับเสียงสัญญาณหมายเลขจากโทรศัพท์เข้าไปในรูปของ PCM เพื่อแปลงกลับเป็นเสียงและถอดรหัสส่งออกมาเป็นสัญญาณ $\overline{RW1}$-$\overline{RW4}$ ซึ่งบอกแถวแนวนอนของปุ่มที่ถูกกด และ $\overline{CL1}$-$\overline{CL3}$ เพื่อบอกแถวแนวตั้ง ปกติเครื่องโทรศัพท์แบบกดปุ่มทั่วไปจะมีเพียง 12 ปุ่ม คือ 0-9, * และ # แต่บางชนิดมี 16 ปุ่ม คือ เพิ่มปุ่ม A, B, C และ D ขึ้นมาอีก จึงต้องมี $\overline{CL4}$ ใช้บอกแถวแนวตั้งเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งสัญญาณ แต่ไม่มีความจำเป็นเท่าไรนัก จึงจะใช้เพียง 3 แถว เพื่อเว้นตำแหน่ง $\overline{SI1}$ เอาไว้ ทำให้สามารถโพลโทรศัพท์และอุปกรณ์ช่วยได้พร้อมกันโดยไม่รบกวนกัน

ตาราง 2.6 สัญญาณชิกแนลลิงบนอินเตอร์เฟสบัสสำหรับอุปกรณ์ชนิดต่างๆ

	TELEPHONE		TONE GEN&DEC		V.24, V.25	
SSL	1	0	1	0	1	0
SI4	-	-	$\overline{CL3}$	$\overline{RW4}$	($\overline{DPR}$)	$\overline{D4}$
SI3	-	-	$\overline{CL2}$	$\overline{RW3}$	($\overline{CRQ}$)	$\overline{D3}$
SI2	-	-	$\overline{CL1}$	$\overline{RW2}$	$\overline{DTR}$	$\overline{D2}$
SI1	$\overline{OFH}$	-	-	$\overline{RW1}$	$\overline{RTS}$	$\overline{D1}$
SO4	-	-	-	-	SEL	($\overline{PND}$)
SO3	-	-	-	-	$\overline{RLSD}$	($\overline{AC}$)
SO2	-	-	-	-	$\overline{DSR}$	($\overline{DLO}$)
SO1	$\overline{RE}$	-	-	-	$\overline{RFS}$	($\overline{DSC}$)

$\overline{OFH}$: off Hook

$\overline{RE}$: Ring Enable

$\overline{CL3}$-$\overline{CL1}$: Column 3-1

$\overline{RW4}$-$\overline{RW1}$: Row 4-1

$\overline{DPR}$: Digit Present

$\overline{CRQ}$: Call Request

$\overline{DTR}$: Data Terminal Ready

$\overline{RTS}$: Request to Send

$\overline{D4}$-$\overline{D1}$: Binary Digit, $\overline{D4}$ is MSB

SEL : Select Digit or Data Rate

$\overline{RLSD}$: Received Line Signal Detector

$\overline{DSR}$: Data Set Ready

$\overline{RFS}$: Ready for Sending

$\overline{PND}$: Present Next Digit

$\overline{AC}$: Abandon Call

$\overline{DLO}$: Data Line Occupied

$\overline{DSC}$: Distant Station Connected

ส่วนซิกแนลลิงออกที่เป็นเสียงสัญญาณ จะส่งมาจากอุปกรณ์ช่วยเข้าสู่อินเตอร์เฟสบัสในรูปของข้อมูล PCM โดยตรง ผ่าน RD เข้าสู่หน่วยอินเตอร์เฟสและหูฟังโทรศัพท์ในลักษณะเดียวกับการรับส่งเสียงพูด เพื่อความสะดวกจึงให้เสียงสัญญาณทุกชนิดมีความถี่เดียวกันหมด แต่มีระยะเวลาการดังและเงียบต่างกัน คือ เสียงสัญญาณให้หมุนหมายเลขจะดังต่อเนื่องตลอดเวลาจนกว่าจะหมุนหรือกดหมายเลขแรก เสียงสัญญาณสายไม่ว่างจะดังครึ่งวินาทีและเงียบครึ่งวินาทีสลับกันไปจนกว่าจะวางหู และเสียงสัญญาณกระดิ่งดังกลับต้นทางจะดังอยู่ 2 วินาทีและเงียบ 4 วินาทีสลับกัน ซึ่งตรงกับจังหวะการควบคุมเสียงกระดิ่งด้วย $\overline{RE}$ เฉพาะเสียงสัญญาณนี้จะส่งกลับไปยังโทรศัพท์ที่เป็นผู้เริ่มติดต่อซึ่งอาจอยู่คนละสถานีกันได้ ส่วนเสียงสัญญาณอีก 2 ชนิดข้างต้นจะส่งให้โทรศัพท์ในสถานีเดียวกันเท่านั้น จะเห็นว่าการรับส่งซิกแนลลิงซึ่งเป็นเสียงสัญญาณทั้งเข้าและออกจากอุปกรณ์ช่วยจะอยู่ในรูป PCM ทั้งสิ้น จึงใช้ตารางการสวิทช์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ช่วยในลักษณะเดียวกับโทรศัพท์เครื่องหนึ่งเท่านั้น

การทำงานเริ่มต้นจากการโพลอุปกรณ์ทุกตัวในสถานีที่ไม่ได้ใช้งานอยู่ เมื่อพบอุปกรณ์ใดต้องการติดต่อ คือ ในกรณีของโทรศัพท์ $\overline{OFH}$ จะเป็น 0 หน่วยควบคุมสถานีจะส่งให้โทรศัพท์หมายเลขนั้นติดต่อกับโทรศัพท์หมายเลข C ในสถานีเดียวกัน ซึ่งเป็นหมายเลขของอุปกรณ์ช่วยหรืออุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณนั่นเอง โดยเป็นการติดต่อ 2 ทาง คือ ทั้งรับและส่ง โทรศัพท์จะส่งเสียงเข้าไปยังอุปกรณ์ช่วยและรับเสียงสัญญาณให้หมุนหมายเลขกลับมา จากนั้นเมื่อผู้ใช้หมุนหรือกดหมายเลขแรก เสียงสัญญาณให้หมุนหมายเลขจะถูกตัดออก แต่ยังรับหมายเลขต่อไปอยู่ ในกรณีของโทรศัพท์แบบหมุนหน่วยควบคุมสถานีจะรับหมายเลขได้จากการตรวจ $\overline{OFH}$ ดูว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นพัลซ์หรือไม่ ถ้ามีจะนับพัลซ์ 1 ที่เกิดจากการหมุนหมายเลขซึ่งปกติจะมีอัตราประมาณ 10 หรือ 20 พัลซ์ต่อวินาที และมีดิวตีไซเคิลประมาณ 60-67 % คือ พัลซ์กว้างประมาณ 60-67 หรือ 30-33 มิลลิวินาที ตามลำดับ พัลซ์ที่แคบกว่านี้มากจะไม่นำมานับจำนวนด้วย แต่ถ้ากว้างเกินไปจะถือว่าเป็นการวางหูแล้วยกหูใหม่ เพราะการวางหูจะทำให้ $\overline{OFH}$ เป็น 1 เช่นกัน ถ้าช่วงเวลาระหว่างพัลซ์นานกว่า 100 มิลลิวินาที จะถือว่าสิ้นสุดการส่งพัลซ์ชุดนั้น จำนวนพัลซ์ที่นับได้ คือ หมายเลขที่หมุน จากนั้นจะเริ่มรอนับพัลซ์ชุดใหม่สำหรับหมายเลขถัดไปจนกว่าจะครบ

ในกรณีที่ใช้โทรศัพท์กดปุ่ม จะต้องตรวจดูว่า $\overline{CL1}$-$\overline{CL3}$ มีตัวใดตัวหนึ่งเป็น 0 หรือไม่ ถ้ามีจะต้องตรวจว่า $\overline{RW1}$-$\overline{RW4}$ ตัวใดเป็น 0 บ้าง โดยใช้ SSL เลือกดังในตาราง 2.6 ถ้าไม่มีการกดปุ่มหมายเลขบนโทรศัพท์ จะไม่มีเสียงสัญญาณออกมาทำให้ไม่มีตัวใดเป็น 0 เลย

แต่ถ้ามีการกดปุ่มจะมีเสียงสัญญาณบอกแถวนอนและแถวตั้งออกมาพร้อมกัน จะทำให้ $\overline{RW1}$-$\overline{RW4}$ เป็น 0 เพียง 1 ตัว และ $\overline{CL1}$-$\overline{CL3}$ เป็น 0 อีกเพียง 1 ตัวเท่านั้น ถ้าไม่เป็นตามนี้แสดงว่าไม่ถูกต้อง หมายเลขปุ่มที่กดหาได้จากตาราง 2.7 ซึ่งมีลักษณะเหมือนการวางตำแหน่งปุ่มบนเครื่องโทรศัพท์ซึ่งใช้เสียงสัญญาณแบบ DTMF ทั่วไป

ตาราง 2.7 รหัสเสียงสัญญาณแจ้งหมายเลขแบบ DTMF

	$\overline{CL1}$	$\overline{CL2}$	$\overline{CL3}$	
$\overline{RW1}$	1	2	3	(697 Hz)
$\overline{RW2}$	4	5	6	(770 Hz)
$\overline{RW3}$	7	8	9	(852 Hz)
$\overline{RW4}$	*	0	#	(941 Hz)
	(1209 Hz)	(1336 Hz)	(1477 Hz)	

เราสามารถตรวจจับหมายเลขจากโทรศัพท์ไม่ว่าจะเป็นชนิดหมุนหรือกดปุ่มได้ทั้ง 2 แบบ โดยการโพลโทรศัพท์ที่ต้องการพร้อมกับโพลอุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณ ซึ่งรับเสียงจากเครื่องดังกล่าว ดังนั้น SI4-SI2 จะมีค่าเท่ากับ $\overline{CL3}$-$\overline{CL1}$ และ SI1 เท่ากับ $\overline{OFH}$ เนื่องจากสัญญาณทั้งสี่ไม่ซ้อนกันและถูกโพลพร้อมกัน จึงสะดวกในการรับหมายเลขทั้ง 2 แบบ ถ้าหากตรวจสอบสัญญาณทั้งสี่เป็นเวลา 8 วินาที โดยไม่พบการหมุนหรือกดหมายเลขเลย คือ $\overline{OFH}$ เป็น 0 ตลอดเวลา และ $\overline{CL1}$-$\overline{CL3}$ เป็น 1 หมด หน่วยควบคุมจะตัดโทรศัพท์ดังกล่าวออกจากสถานะรอรับหมายเลข พร้อมกับเปลี่ยนเสียงสัญญาณให้หมุนหมายเลขซึ่งเดิมส่งมาต่อเนื่องให้กลายเป็นเสียงสัญญาณสายไม่ว่างแทน โดยส่งเสียงดังครึ่งวินาทีและหยุดส่งครึ่งวินาทีสลับกันตลอดเวลาจนกว่าจะวางหู การวางหูทำให้ $\overline{OHF}$ เป็น 1 โดยต้องวางหูเป็นเวลานานกว่า 200 มิลลิวินาที จึงถือว่าวางหูจริง เพื่อทำให้แยกระหว่างพัลซ์และการวางหูออกจากกันได้ เมื่อวางหูจะทำให้โทรศัพท์ถูกตัดออกจากการรับส่งโดยสิ้นเชิง ถ้ายกหูใหม่จะเท่ากับกลับไปเริ่มต้นใหม่หมด

สาเหตุที่ต้องตั้งเวลา 8 วินาที สำหรับการหมุนหรือกดหมายเลขตัวแรก และระหว่างหมายเลขแต่ละตัวนั้น เพื่อจำกัดเวลาซึ่งโทรศัพท์เครื่องหนึ่งๆ ใช้อุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณในการถอดรหัสหมายเลข เนื่องจากมีเพียงชุดเดียวในแต่ละสถานี และสามารถรับเสียงสัญญาณจากโทรศัพท์เข้าไปถอดรหัสได้ทีละเครื่องเท่านั้น แต่สามารถส่งเสียงสัญญาณออกให้โทรศัพท์หลายเครื่องพร้อมกันได้ไม่จำกัดจำนวน ในกรณีที่ใช้โทรศัพท์แบบหมุนแม้ว่าหน่วยควบคุมสามารถรับพัลซ์ได้พร้อมกันหลายเครื่องโดยโพลตรวจสอบ $\overline{OFH}$ ของแต่ละเครื่องสลับกัน แต่การจับเวลาก็ยังจำเป็นเพื่อป้องกันการยกหูโทรศัพท์ค้างไว้โดยไม่หมุนหมายเลข ซึ่งจะทำให้หน่วยควบคุมต้องเสียเวลาคอยตรวจสอบการหมุนหมายเลขตลอดเวลาโดยเปล่าประโยชน์

หลังจากหน่วยควบคุมสถานีได้รับหมายเลขปลายทางครบแล้ว ถ้าเป็นการติดต่อในสถานีเดียวกันจะจัดการต่อให้ได้ทันทีดังจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.5.5 แต่ถ้าเป็นการติดต่อกับโทรศัพท์ในสถานีอื่น จะต้องส่งซิกแนลลิงทางช่องเวลา 16 เพื่อติดต่อกับสถานีอื่นก่อน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.6.3 จากนั้นจึงต่อโทรศัพท์ดังกล่าวเข้ากับช่องเวลาที่จัดไว้ให้ ซึ่งโทรศัพท์ทางปลายทางจะต่อเข้าช่องเวลาเดียวกันนี้เช่นกัน ในกรณีซึ่งไม่สามารถติดต่อได้ไม่ว่าจะเนื่องจากไม่มีช่องเวลาว่างหรือโทรศัพท์ปลายทางไม่ว่างก็ตาม รวมทั้งในกรณีติดต่อภายในสถานีเดียวกันด้วย โทรศัพท์ต้นทางจะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์ช่วยแทน ซึ่งจะส่งเสียงสัญญาณสายไม่ว่างออกมาเพื่อให้ผู้ใช้ทราบ

โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้และกำลังใช้อยู่จะต้องถูกโพลตรวจสอบสถานะตลอดเวลาเช่นเดียวกับโทรศัพท์ที่ไม่ได้ใช้ แต่เป็นการตรวจดูว่าได้วางหูเลิกใช้หรือยัง ถ้าเลิกใช้แล้วจะได้ตัดออกจากช่องเวลาที่ใช้อยู่เดิม เพื่อให้อุปกรณ์อื่นๆ สามารถใช้ช่องเวลาดังกล่าวได้

ข) <u>ซิกแนลลิงของอุปกรณ์รับส่งข้อมูล</u> ได้แก่ สัญญาณต่างๆ ใน CCITT V.24 ซึ่งใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลผ่านโมเด็ม และใช้กันแพร่หลายในไมโครคอมพิวเตอร์ทั่วไปแม้ว่าส่วนมากจะใช้ต่อโดยตรงในระยะทางใกล้ๆ โดยไม่ผ่านโมเด็มก็ตาม สัญญาณควบคุมทั้งหมดมีจำนวนมาก แต่คอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินอลทั่วไปมักจะใช้เฉพาะเท่าที่จำเป็นเพียงไม่กี่เส้นเท่านั้น และในบางเครื่องอาจจะไม่ใช้สัญญาณควบคุมเลย คือ มีแต่สายข้อมูลเข้าและออกเท่านั้น ดังนั้นจึงใช้สัญญาณซิกแนลลิงเป็นสัญญาณควบคุมเท่าที่จำเป็นเท่านั้น ได้แก่ $\overline{DTR}$, $\overline{RTS}$, $\overline{RLSD}$, $\overline{DSR}$ และ $\overline{RFS}$ ดังในตาราง 2.6 และในกรณีที่อุปกรณ์สามารถเลือกหมายเลขปลายทางได้โดยอัตโนมัติตาม CCITT V.25 จะต้องเพิ่มซิกแนลลิง $\overline{DPR}$, $\overline{CRQ}$, $\overline{PND}$, $\overline{AC}$, $\overline{DLO}$ และ $\overline{DSC}$ เพื่อควบคุมการเลือกหมายเลขปลายทาง ถ้าอุปกรณ์ไม่สามารถเลือกหมายเลขปลายทางได้ หน่วยอินเตอร์เฟสจะเลือกให้ตาม

ค่าที่ตั้งไว้ หมายเลขแต่ละหลักจะถูกส่งผ่านทาง $\overline{D4}$-$\overline{D1}$ ขนานกัน 4 บิท นอกจากนี้ยังมีสัญญาณ SEL ใช้ในการเลือกอัตราการส่งข้อมูล และใช้เลือกหลักของหมายเลขด้วย

หน่วยอินเตอร์เฟสข้อมูลที่ออกแบบในขั้นแรกจะใช้กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูล ซึ่งเลือกหมายเลขปลายทางเองไม่ได้ ต้องให้ผู้ใช้เลือกหมายเลขปลายทางให้ จะมีรายละเอียดและการทำงานของซิกแนลลิงดังต่อไปนี้

- ซิกแนลลิงจากอุปกรณ์ผ่านหน่วยอินเตอร์เฟสเข้าสู่หน่วยควบคุมสถานี ได้แก่

$\overline{DTR}$ (Data Terminal Ready) : เป็น 0 แสดงว่า อุปกรณ์พร้อมที่จะรับหรือส่งข้อมูล

$\overline{RTS}$ (Request To Send) : เป็น 0 แสดงว่า อุปกรณ์ต้องการส่งข้อมูล

- ซิกแนลลิงจากหน่วยควบคุมสถานีผ่านหน่วยอินเตอร์เฟสเข้าสู่อุปกรณ์ ได้แก่

$\overline{RLSD}$ (Received Line Signalling Detect) : เป็น 0 แสดงว่ามีอุปกรณ์อื่นขอติดต่อมา

$\overline{DSR}$ (Data Set Ready) : เป็น 0 แสดงว่า สถานีพร้อมจะส่งข้อมูลไปปลายทางให้ได้ถ้าอุปกรณ์ขอส่ง

$\overline{RFS}$ (Ready For Sending) : เป็น 0 แสดงว่า ให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลได้ เกิดจาก $\overline{DSR}$ และ $\overline{RTS}$ เป็น 0 พร้อมกัน

- ซิกแนลลิงจากหน่วยอินเตอร์เฟสเข้าสู่หน่วยควบคุมสถานี ได้แก่

$\overline{D4}$-$\overline{D1}$ (Digit Signal) : เป็นเลขประกอบของหมายเลขปลายทางที่ตั้งไว้ให้ $\overline{D4}$ เป็น MSB

- ซิกแนลลิงจากหน่วยควบคุมสถานีเข้าสู่หน่วนอินเตอร์เฟส ได้แก่

SEL (Select) : ในขณะที่กำลังอ่านหมายเลขปลายทาง จะใช้เลือกหลักของหมายเลข คือ 1 หมายถึงหลักแรก และ 0 หมายถึงหลักที่สอง หลังจากนั้นเมื่ออยู่ในช่วงรับส่งข้อมูล จะใช้เลือกอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่สามารถส่งได้ คือ 1 จะส่งได้ไม่เกิน 8 กิโลบิทต่อวินาที และ 0 ไม่เกิน 16 กิโลบิท-ต่อวินาที

i 18101367

การทำงานเริ่มจากอุปกรณ์ส่ง $\overline{DTR}$ เป็น 0 เข้ามา ทำให้สถานีเริ่มอ่านหมายเลขปลายทางที่ตั้งเอาไว้ในหน่วยอินเตอร์เฟสนั้นๆ ทีละหลักเข้ามาทาง $\overline{D4}$-$\overline{D1}$ โดยใช้ SEL ช่วยเลือกหลักจนครบ 2 หลัก หรือ 8 บิทมาเก็บเอาไว้ จากนั้นสถานีจะส่ง $\overline{DSR}$ เป็น 0 ออกไป เมื่ออุปกรณ์ต้องการส่งข้อมูลจะส่ง $\overline{RTS}$ เป็น 0 เข้ามา สถานีจะจองช่องเวลาและติดต่อปลายทางให้ตามหมายเลขที่เก็บเอาไว้ เมื่อติดต่อได้จะส่ง $\overline{RFS}$ เป็น 0 ออกไป อุปกรณ์จึงจะเริ่มส่งข้อมูลได้ เมื่อต้องการหยุดส่งให้ส่ง $\overline{RTS}$ เป็น 1 จะทำให้ $\overline{RFS}$ กลับเป็น 1 และการส่งจะสิ้นสุดลง ช่องเวลาที่ใช้จะว่างลงและถูกยกเลิก ถ้า $\overline{DTR}$ ขึ้นเป็น 1 จะทำให้ $\overline{DSR}$ และ $\overline{RFS}$ ขึ้นเป็น 1 และการส่งจะสิ้นสุดลงเช่นกัน ถ้าจะเริ่มส่งใหม่จะต้องเริ่มต้นการทำงานข้างต้นใหม่หมด อุปกรณ์ปลายทางที่ถูกเรียก ต้องพร้อมที่จะรับ คือ มี $\overline{DTR}$ เป็น 0 อยู่เท่านั้น และไม่ได้ใช้รับส่งอยู่ จึงจะได้รับ $\overline{RLSD}$ เป็น 0 เพื่อให้รับข้อมูลที่ได้รับ ถ้า $\overline{DTR}$ ของอุปกรณ์ปลายทางเป็น 1 หรือใช้งานอยู่หรือช่องเวลาไม่ว่างจะทำให้ไม่สามารถรับส่งกันได้ ดังนั้น $\overline{RFS}$ ที่สถานีต้นทางจะไม่ลงเป็น 0 ด้วย

หมายเลขปลายทางจะถูกตั้งไว้ด้วยสวิทช์ 8 อัน เป็นเลขฐาน 2 ตามระบบหมายเลขในหัวข้อ 2.5.1 ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว คือ 3 บิทแรกบอกสถานีปลายทาง บิทถัดมาบอกประเภทของอุปกรณ์ และอีก 4 บิทที่เหลือบอกหมายเลขอุปกรณ์ จะเห็นว่าบิทที่ใช้บอกประเภทไม่จำเป็นต้องใช้ก็ได้ เพราะจะต้องเป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลด้วยกันเท่านั้น ดังนั้นจึงใช้สวิทช์ดังกล่าวในการเลือกอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด โดยตั้งเป็น 1 หมายถึงอัตราการส่งไม่เกิน 8 กิโลบิทต่อวินาที และตั้งเป็น 0 หมายถึง 16 กิโลบิทต่อวินาที หมายเลขที่ตั้งไว้จะถูกอ่านเข้าทาง $\overline{D4}$-$\overline{D1}$ ทีละ 4 บิท (แต่เป็นค่าประกอบของหมายเลขที่ตั้งไว้ดังกล่าวมาแล้ว)

ในกรณีซึ่งหน่วยอินเตอร์เฟสสามารถเลือกหมายเลขปลายทางเองได้จะต้องเพิ่มซิกแนลลิงต่อไปนี้ คือ

- ซิกแนลลิงจากอุปกรณ์ผ่านหน่วยอินเตอร์เฟสเข้าสู่หน่วยควบคุมสถานี

$\overline{CRQ}$ (Call Reguest) : เพื่อแสดงว่า อุปกรณ์ต้องการส่งหมายเลขปลายทาง

$\overline{DPR}$ (Digit Present) : เพื่อแสดงว่า กำลังส่งหมายเลขปลายทางเข้าที่ $\overline{D4}$-$\overline{D1}$ อยู่

$\overline{D4}$-$\overline{D1}$ (Digit Signal) : เป็นเลขประกอบของหมายเลขปลายทางที่อุปกรณ์ส่งเข้ามา

- ซิกแนลลิงจากหน่วยควบคุมสถานีผ่านหน่วยอินเตอร์เฟสเข้าสู่อุปกรณ์

$\overline{\text{PND}}$ (Present Next Digit) : เพื่อบอกให้อุปกรณ์ส่งหมายเลขถัดไปเข้ามา

$\overline{\text{AC}}$ (Abandon Call) : เพื่อบอกยกเลิกการขอติดต่อครั้งนั้น เนื่องจากปลายทางไม่ว่าง ช่องเวลาไม่ว่าง หรือการส่งหมายเลขไม่ถูกต้อง

$\overline{\text{DLO}}$ (Data Line Occupied) : เพื่อแสดงว่าช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานอยู่

$\overline{\text{DSC}}$ (Distant Station Connected) : เพื่อแสดงว่าปลายทางพร้อมจะติดต่อด้วย

การทำงานจะต่างจากเดิมเฉพาะในช่วงต้นเท่านั้น คือ อุปกรณ์จะส่ง $\overline{\text{CRQ}}$ เป็น 0 เข้ามา สถานีจะส่ง $\overline{\text{DLO}}$ เป็น 0 ออกไป และเริ่มรับหมายเลขเข้ามาโดยส่ง $\overline{\text{PND}}$ เป็น 0 ออกไป อุปกรณ์จะส่งหมายเลขเข้ามาทาง $\overline{\text{D4}}$-$\overline{\text{D1}}$ และส่ง $\overline{\text{DPR}}$ เป็น 0 เข้ามาเพื่อให้สถานีอ่านหมายเลขหลักดังกล่าวเข้าไป เมื่ออ่านเสร็จสถานีจะให้ $\overline{\text{PND}}$ กลับเป็น 1 ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์เปลี่ยน $\overline{\text{DPR}}$ กลับเป็น 1 ตามเดิมบ้าง จากนั้นถ้าต้องการอ่านหมายเลขหลักต่อไปอีก สถานีจะให้ $\overline{\text{PND}}$ เป็น 0 ใหม่ ทำดังเดิมจนกว่าจะครบจำนวนที่ต้องการ

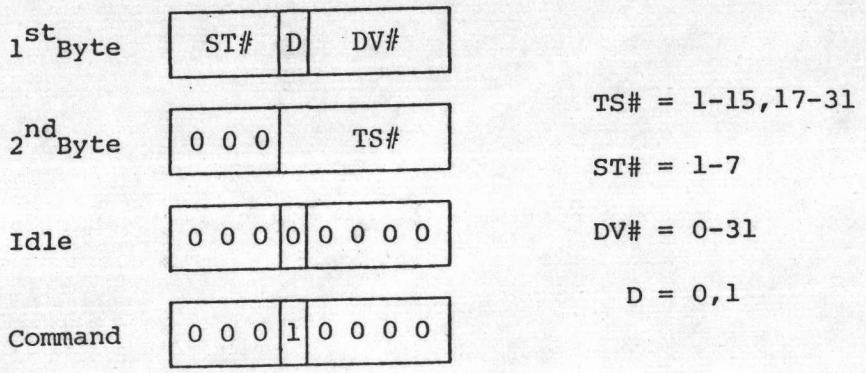
เมื่อได้หมายเลขครบแล้ว สถานีจะติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง ถ้าอุปกรณ์ปลายทางพร้อมที่จะติดต่อด้วยจะให้ $\overline{\text{DSC}}$ เป็น 0 ถ้าไม่พร้อมจะให้ $\overline{\text{AC}}$ เป็น 0 แทน เพื่อยกเลิกการติดต่อ นอกนั้นจะเหมือนเดิมหมด การรับส่งจะสิ้นสุดลงเมื่อ $\overline{\text{DTR}}$ และ $\overline{\text{CRQ}}$ กลับเป็น 1 ทั้งคู่

การทำงานของซิกแนลลิงดังกล่าวข้างต้นทั้งหมดดัดแปลงจาก CCITT V.24 และ V.25 เนื่องจากระบบดังกล่าวออกแบบมาใช้กับโมเด็มผ่านคู่สายโทรศัพท์ จึงต้องดัดแปลงให้ใช้กับระบบนี้ได้ มาตรฐานดังกล่าวตรงกับมาตรฐานของ EIA คือ RS-232C และ RS-366A ตามลำดับ แต่มาตรฐานของ EIA รวมข้อกำหนดทางไฟฟ้าเอาไว้ด้วย ส่วนมาตรฐานของ CCITT ได้แยกข้อกำหนดทางไฟฟ้าเอาไว้ต่างหาก เช่น V.28 ตรงกับข้อกำหนดทางไฟฟ้าของ RS-232C เป็นต้น

2.6 การทำงานของระบบ

2.6.1 การรับส่งซิกแนลลิงระหว่างสถานี สัญญาณซิกแนลลิงจะถูกส่งออกจากสถานีในช่องเวลา 16 และผ่านสถานีต่างๆ และหน่วยควบคุมลูป จนกลับมายังสถานีเดิมในช่องเวลา 16 ของเฟรมถัดไป สถานีเดิมจะรับกลับมาตรวจสอบดูว่าซิกแนลลิงผิดไปจากเดิมหรือไม่ เพื่อจะได้แก้ไขซิกแนลลิงเดิมให้ถูกต้องก่อนจึงจะส่งซิกแนลลิงใหม่ต่อไป สถานีทุกสถานีจะต้องรับซิกแนลลิง

ทุกอันที่ส่งอยู่ในระบบ นำไปตีความและปฏิบัติตามความเกี่ยวข้องของสถานีนั้นๆ ข่าวสารพื้นฐานที่ส่งผ่านซิกแนลลิง ได้แก่ การสั่งให้อุปกรณ์ในสถานีอื่นต่อเข้ากับช่องเวลาที่ต้องการ ดังนั้นซิกแนลลิงจะต้องมี หมายเลขอุปกรณ์, หมายเลขสถานี และหมายเลขช่องเวลา จึงต้องใช้ซิกแนลลิงอย่างน้อย 2 ไบท์ เพื่อส่งข่าวสารดังกล่าว ในระบบนี้จะใช้ซิกแนลลิงดังรูป 2.14 ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ สามารถบอกความแตกต่างระหว่างซิกแนลลิงไบท์แรกและไบท์ที่สองได้ เนื่องจากไบท์แรกจะมี 3 บิทแรกเป็นหมายเลขสถานี ซึ่งจะไม่เป็น 0 แต่ไบท์ที่สองจะมี 3 บิทแรกเป็น 0 เสมอ นอกจากนี้ไบท์ที่สองจะมี 5 บิทหลังเป็นหมายเลขช่องเวลาซึ่งไม่ใช่ช่องเวลา 0 และ 16 ดังนั้นจะเหลือรหัสสำหรับ Idle และ Command ซึ่งแตกต่างจากไบท์แรกและไบท์ที่สองดังกล่าวข้างต้น



รูป 2.14 โครงสร้างของซิกแนลลิงพื้นฐาน

เมื่อสถานีได้รับซิกแนลลิงไบท์แรกและไบท์ที่สอง สถานีที่ถูกระบุในไบท์ แรกจะต้องตอบสนองต่อซิกแนลลิงดังกล่าว แต่สถานีอื่นๆ เพียงแต่รับรู้ว่าช่องเวลาที่ถูกระบุในไบท์ที่สองจะถูกใช้งานเท่านั้น ถ้าอุปกรณ์ในสถานีปลายทางพร้อมที่จะติดต่อด้วย อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกต่อเข้ากับช่องเวลาที่ต้องการทันที พร้อมกับส่งซิกแนลลิงเดิมกลับมาเป็นการตอบรับ แต่ถ้าไม่พร้อมที่จะติดต่อด้วย สถานีดังกล่าวจะส่งซิกแนลลิงบอกเลิกการใช้ช่องเวลาดังกล่าวเป็นการตอบปฏิเสธ แต่เนื่องจากซิกแนลลิงพื้นฐานดังกล่าวใช้ในการสั่งอุปกรณ์ให้ต่อเข้ากับช่องเวลาเท่านั้น ดังนั้นการบอกเลิกการใช้ช่องเวลาจะต้องมีคำสั่งพิเศษต่างหาก แต่เพื่อความสะดวกจะยังคงใช้ซิกแนลลิงพื้นฐานดังนี้ จากการที่หมายเลขโทรศัพท์จะใช้เพียง 0-9 เท่านั้น ส่วนหมายเลข A-F จะใช้กับอุปกรณ์ช่วย เช่น C หมายถึง อุปกรณ์กำเนิดและถอดรหัสเสียงสัญญาณ เป็นต้น จึงให้โทรศัพท์หมายเลข F เป็นอุปกรณ์เทียมเพื่อใช้ในการยกเลิกการใช้ช่องเวลาโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อยู่จริงๆ เพียงแต่เป็นข้อตกลงระหว่างสถานีเท่านั้นว่า ถ้าได้รับซิกแนลลิงสั่งให้โทรศัพท์หมายเลข F ต่อเข้ากับช่องเวลาใด

หมายถึง ช่องเวลาดังกล่าวถูกบอกเลิกการใช้งาน และอุปกรณ์อื่นสามารถเอาไปใช้ได้

ปกติในช่องเวลา 16 จะมี Idle ส่งอยู่ตลอดเวลาจนกว่าจะมีการส่งซิกแนลลิงเกิดขึ้น จากนั้นจะกลับเป็น Idle ตามเดิม เมื่อสถานีส่งซิกแนลลิงไบท์แรกออกไปจะรอรับซิกแนลลิงดังกล่าวเดินทางกลับมา และตรวจสอบดูว่าเหมือนเดิมหรือไม่ เพื่อป้องกันการผิดพลาดของซิกแนลลิงระหว่างทาง ถ้าผิดพลาดไปจากเดิมจะส่งซิกแนลลิงไบท์เดิมออกไปใหม่และรอรับกลับมาตรวจเช่นเดิม เมื่อถูกต้องจึงจะส่งไบท์ที่สองได้ และต้องรอรับกลับมาตรวจจนถูกต้องเช่นกันจึงจะส่งไบท์แรกของซิกแนลลิงคู่ต่อไปได้ ดังนั้นซิกแนลลิงจะถูกส่งออกมาเฟรมเว้นเฟรม คือ ส่งในช่องเวลา 16 ของเฟรมหนึ่ง และรอรับกลับในช่องเวลาเดิมของเฟรมถัดไป และในเฟรมดังกล่าวจะมี Idle ส่งออกไปแทน

ส่วนการรับซิกแนลลิง สถานีทุกสถานีจะรับซิกแนลลิงทุกอันที่ไม่ใช่ Idle มาเก็บไว้เพื่อตีความในภายหลัง แต่มีข้อแม้ว่าจะเก็บแต่ซิกแนลลิงที่ส่งมาถูกต้องเท่านั้น ดังนั้นถ้าได้รับซิกแนลลิงไบท์แรกสองอันติดต่อกันจะถือว่า ซิกแนลลิงอันหลังเป็นไบท์แรกที่ถูกต้อง เพราะการที่ต้องส่งไบท์แรกอีกครั้งโดยยังไม่ได้ส่งไบท์ที่สอง แสดงว่าการส่งครั้งแรกไม่ถูกต้อง การรับซิกแนลลิงไบท์แรกจะสมบูรณ์ต่อเมื่อได้รับซิกแนลลิงไบท์ที่สองแล้วเท่านั้น ในทำนองเดียวกันการรับซิกแนลลิงไบท์ที่สองจะถือว่าสมบูรณ์ต่อเมื่อได้รับซิกแนลลิงไบท์แรกเท่านั้นเช่นกัน สถานีจะนำซิกแนลลิงไปตีความต่อเมื่อได้รับซิกแนลลิงทั้งคู่อย่างสมบูรณ์แล้วเท่านั้น

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งในการรับส่งซิกแนลลิง คือ การแบ่งกันใช้ช่องเวลา 16 ในการส่งซิกแนลลิงระหว่างสถานีต่างๆ ช่องเวลา 16 จะถูกใช้งานในลักษณะของบัส คือ สถานีทุกสถานีต่ออยู่ตลอดเวลา แต่จะมีเพียงสถานีเดียวเท่านั้นที่จะส่งได้ นอกนั้นจะต้องรับฟังหมด ดังนั้นจึงต้องใช้โปรโตคอลในการเข้าใช้งาน (Access Protocol) เพื่อจัดสรรการใช้ช่องเวลา 16 ให้ถูกต้อง ในระบบนี้จะใช้โปรโตคอลในการเข้าใช้งานซึ่งดัดแปลงจากโปรโตคอลแบบ CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect) เนื่องจากซิกแนลลิงที่จะส่งมีขนาดสั้นมาก คือ อาจมีเพียง 2 ไบท์ และปริมาณซิกแนลลิงที่ส่งน้อยมาก คือ จะมีการส่งซิกแนลลิงเฉพาะในช่วงเริ่มและเลิกการติดต่อของแต่ละช่องเวลาเท่านั้น จึงไม่เหมาะที่จะใช้การโพลหรือโปรโตคอลแบบ Token Passing ซึ่งเหมาะกับกรณีที่มีปริมาณการรับส่งสูง นอกจากนี้การใช้ CSMA/CD ในระบบนี้ค่อนข้างจะง่ายมากดังนี้

ลักษณะพิเศษ เช่น รับหรือส่งอย่างเดียว รับและส่งคนละช่องเวลา เป็นต้น เราสามารถส่งคำสั่งพิเศษหรือข่าวสารอื่นๆ ได้โดยใช้ command ตามหลังคำสั่งพิเศษเหล่านั้น โดยที่คำสั่งพิเศษดังกล่าวจะต้องมี 3 บิทแรกไม่เป็น 0 หมด เพื่อให้มีลักษณะเหมือนไบท์แรก ส่วน command มี 3 บิทแรกเป็น 0 หมดเหมือนไบท์ที่สองอยู่แล้ว

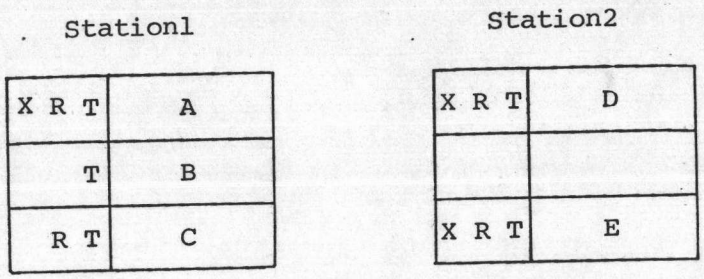
เมื่อสถานีใดได้รับซิกแนลลิงไบท์แรกซึ่งตามด้วย command จะทำให้ซิกแนลลิงไบท์แรกดังกล่าวมีความหมายแตกต่างออกไปจากเดิม คือ ไม่ได้หมายถึง หมายเลขอุปกรณ์และหมายเลขสถานีดังเดิม แต่จะเป็นคำสั่งหรือข่าวสารพิเศษแทน ในขั้นนี้จะยังไม่มีการกำหนดรายละเอียดของคำสั่งหรือข่าวสารพิเศษเหล่านี้แต่อย่างใด เพียงเป็นการเปิดช่องสำหรับการเพิ่มเติมขีดความสามารถได้ในอนาคตเท่านั้น

2.6.2 <u>การติดต่อแบบต่างๆ</u> ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงติดต่อกันในลักษณะต่างๆ การติดต่อของอุปกรณ์ทั้งหมดขึ้นอยู่กับตารางการสวิทช์เท่านั้น ดังนั้น การติดต่อในลักษณะต่างๆ คือ ความสัมพันธ์ของตารางนั่นเอง ข้อมูลในตารางการสวิทช์ 3 บิทแรกที่มีนัยสำคัญสูงสุด คือ X, R และ T จะใช้ควบคุมการติดต่อภายนอก, การรับและการส่ง ตามลำดับ และอีก 5 บิทที่เหลือ คือ D และ DV# ใช้เลือกอุปกรณ์ ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.5.2 ในที่นี้จะแสดงสถานะของตารางการสวิทช์ โดยแบ่งตารางการสวิทช์เป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ 3 บิทแรกจะแสดงชื่อบิทเฉพาะบิทซึ่งมีค่าเป็น 1 เท่านั้น และส่วนหลังจะใส่ตัวอักษรเพื่อแทนหมายเลขอุปกรณ์ทั้ง 5 บิทที่เหลือ ในกรณีที่แสดงหลายช่องซ้อนกัน ช่องตอนบนจะเป็นช่องเวลาซึ่งมาก่อนตอนล่าง และช่องในระดับเดียวกันหมายถึง ช่องเวลาเดียวกันในสถานีอื่น เช่น รูป 2.15 ในตารางการสวิทช์ประจำสถานีแรกช่องบนหมายถึง A รับและส่งกันภายนอกสถานี ส่วนในช่องเวลาถัดไป B จะส่งภายในสถานี และในช่องเวลาถัดไป C จะรับและส่งภายในสถานี ในขณะเดียวกันสถานีที่สองจะให้ D รับและส่งกับภายนอกสถานีในช่องเวลาเดียวกับ A ช่องเวลาถัดไปจะว่าง และ E จะรับและส่งกับภายนอกสถานีในช่องเวลาเดียวกับ C เป็นต้น

เริ่มต้น สถานีจะรอรับซิกแนลลิง ถ้าหากไม่มีการส่งซิกแนลลิงเป็นเวลาเกินกว่า 2 เฟรมต่อเนื่องกัน แสดงว่าช่องเวลา 16 ว่างอยู่ ให้ส่งซิกแนลลิงไบท์ทดลองออกไปและรอรับซิกแนลลิงดังกล่าวกลับมาเช่นเดียวกับการส่งซิกแนลลิงปกติ แต่ถ้าหากข้อมูลกลับมาไม่เหมือนเดิม อาจเนื่องจากสถานีอื่นส่งซิกแนลลิงออกมาในช่องเวลา 16 ของเฟรมเดียวกันก็ได้ จึงต้องหยุดรอชั่วคราวด้วยเวลาซึ่งแรนดอม จากนั้นให้รอรับซิกแนลลิงเช่นเดิมอีก และถ้าไม่มีการส่งติดต่อกัน 2 เฟรมอีก ให้ลองส่งไบท์ทดลองใหม่อีก ทำเช่นเดิมจนกว่าจะไม่เกิดการชนกันจึงจะเริ่มส่งซิกแนลลิงได้ตามปกติ โดยต้องส่งทุกเฟรมเว้นเฟรมต่อเนื่องกันจนครบตามต้องการจึงหยุด โดยการปิดท้ายด้วยไบท์ทดลองอีกหนึ่งไบท์ ระหว่างที่ส่งอยู่จะไม่มีสถานีใดสามารถส่งซิกแนลลิงส่งแทรกเข้ามาได้ เนื่องจากไม่มีช่วงใดซึ่งหยุดส่งเป็นเวลาเกิน 1 เฟรม

ไบท์ทดลองที่ส่งจะเป็นซิกแนลลิงชนิดไบท์แรก คือ มี 3 บิทแรกเป็นหมายเลขสถานีของสถานีที่ส่งไบท์ทดลองนั้นๆ ส่วนอีก 5 บิทเป็นอะไรก็ได้ ดังนั้นแต่ละสถานีจะมีไบท์ทดลองแตกต่างกัน เมื่อมีสถานี 2 แห่งเริ่มส่งไบท์ทดลองในเฟรมเดียวกัน แต่ละสถานีจะได้รับไบท์ทดลองของอีกสถานีหนึ่งแทน และสถานีซึ่งอยู่ระหว่างสถานีทั้งสองในลูปจะได้รับไบท์ทดลองแตกต่างกัน แต่หลังจากนั้นเมื่อมีสถานีส่งไบท์ทดลองใหม่ได้ก่อนเพียงสถานีเดียว สถานีอื่นๆ จะได้รับไบท์ทดลองเหมือนกันหมด แต่เนื่องจากเป็นชนิดไบท์แรกเหมือนเดิม ดังนั้นไบท์ทดลองอันใหม่จะแทนที่ไบท์ทดลองอันเก่าไปเรื่อยๆ เมื่อสถานีดังกล่าวเริ่มส่งซิกแนลลิงไบท์แรกออกมา สถานีอื่นๆ จะรับซิกแนลลิงดังกล่าวแทนที่ไบท์ทดลองอีกที เนื่องจากยังคงเป็นไบท์แรกเช่นเดิม ดังนั้นสถานีอื่นๆ จะไม่นำซิกแนลลิงไบท์ทดลองไปตีความแต่จะรับเฉพาะซิกแนลลิงจริงๆ เท่านั้นไป ส่วนการส่งไบท์ทดลองปิดท้ายเพื่อให้การส่งซิกแนลลิงไบท์ที่สองของซิกแนลลิงคู่สุดท้ายเสร็จสิ้นสมบูรณ์ โดยทำให้สถานีอื่นได้รับซิกแนลลิงไบท์แรก (คือ ไบท์ทดลองดังกล่าว) เพื่อยืนยันว่าไบท์ที่สองดังกล่าวถูกต้องแล้ว ไบท์ทดลองดังกล่าวจะไม่กระทบกระเทือนถึงการส่งซิกแนลลิงของสถานีอื่นหลังจากนั้น เนื่องจากจะถูกแทนที่โดยไบท์ทดลองของสถานีอื่นอีกทีอยู่ดี

การรับส่งซิกแนลลิงดังกล่าว สามารถทำงานพื้นฐานได้ดี คือ สามารถสั่งให้อุปกรณ์ในสถานีอื่นติดต่อหรือเลิกติดต่อกับอุปกรณ์ใดๆ ได้ โดยที่การติดต่อจะเป็นแบบธรรมดา คือ อุปกรณ์จะรับและส่งข้อมูลกับช่องเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถตอบรับหรือตอบปฏิเสธให้ต้นทางทราบได้ด้วย แต่ในกรณีซิกแนลลิงพื้นฐานดังกล่าวอาจไม่เพียงพอในการส่งข่าวสารที่จำเป็นบางอย่าง เช่น เมื่อต้องการทราบหมายเลขของอุปกรณ์ต้นทางที่ติดต่อด้วย หรือต้องการให้ทำงานใน

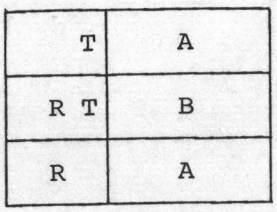


รูป 2.15 ตัวอย่างการแสดงความสัมพันธ์ของตารางการสวิทช์

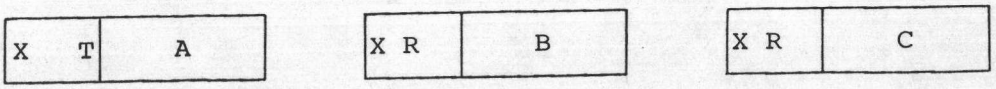
มีข้อน่าสังเกตบางประการ คือ ในการรับส่งภายในสถานีจะต้องจัดลำดับการทำงานของช่องเวลาก่อนหลังกันให้ถูกต้อง ถ้าสลับลำดับกันจะให้ผลต่างกัน แต่ไม่จำเป็นต้องให้ช่องเวลาติดกันก็ได้ อาจมีการรับส่งภายนอกแทรกอยู่ หรือช่องว่างก็ได้ โดยยังให้ผลเหมือนกัน แต่ถ้ามีการส่งภายในแทรกอยู่จะให้ผลต่างออกไป ส่วนการรับส่งภายนอกจะสลับลำดับหรือแทรกการทำงานอะไรระหว่างกลางก็ได้ โดยไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกัน แต่ต้องสลับเหมือนกันทุกสถานี การติดต่อแบบต่างๆ ได้แก่

ก) <u>การรับส่งธรรมดาระหว่างสองสถานี</u>

ข) <u>การรับส่งธรรมดาภายในสถานีเดียวกัน</u>



ค) <u>การกระจายเสียงระหว่างสถานี</u>



ง) การกระจายเสียงภายในสถานี

T	A
R	B
R	C

จ) การรับและส่งคนละช่องเวลา

X T	A
X R	A

X R	B
X T	B

X R	C

A รับส่งกับ B แต่ C และอุปกรณ์อื่นๆ สามารถรับฟัง A หรือ B ได้ด้วย

ฉ) การประชุมทางโทรศัพท์

T	A
R T	*
R	A
X R T	*
X R T	*

X R T	B

X R T	C

* เป็นอุปกรณ์ช่วยซึ่งทำหน้าที่ส่งผลรวมของสัญญาณเสียงของทุกคน ไปให้แต่ละคนโดยไม่รวมเสียงของคนนั้นๆ

2.6.3 ความผิดปกติในระบบ ในแต่ละสถานีจะมีสัญญาณเตือนการผิดปกติอยู่ 2 ชนิด คือ FER (Frame Error) และ LER (Loop Error) FER เกิดจากการที่สถานีไม่พบซิงค์ที่ถูกต้องในจังหวะเวลาที่ถูกต้อง จะทำให้การนับช่องเวลาหยุดลง และการรับส่งข้อมูลจะหยุดหมด การรับส่งซิกแนลลิงหรือการเขียนตารางการสวิทช์ไม่สามารถทำได้ ดังนั้นสถานีนั้นจะต้องรอจนกว่า FER จะหมดไป

จากนั้นจะต้องมีการตรวจสอบข้อมูลการใช้ช่องเวลาของสถานีที่เกิด FER ขึ้น ว่าสอดคล้องกับสถานีอื่นหรือไม่ และแก้ไขให้ถูกต้อง เนื่องจากอาจมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ส่วน LER เกิดจากการที่สถานีสุดท้ายของลูปเกิด FER ขึ้น โดยส่งสัญญาณเตือนมาทางบิทแรกของสัญญาณซิงค์ในทุกเฟรม

เมื่อสถานีหนึ่งเกิด FER ขึ้น ข้อมูลที่ส่งออกจะเป็น 0 หมด จึงไม่มีสัญญาณซิงค์ทำให้สถานีถัดไปเกิด FER ขึ้นตามเรื่อยไปจนถึงสถานีสุดท้าย ดังนั้นสถานีต้นๆ ซึ่งอยู่ก่อนสถานีแรกที่เกิด FER จะได้รับ LER เพื่อเตือนว่ามีสถานีบางแห่งในลูปเกิด FER ขึ้น จึงต้องหยุดส่งซิกแนลลิงและการทำงานต่างๆ ไว้ชั่วคราวจนกว่า LER จะหมดไป ขณะเกิด LER สถานียังสามารถทำงานได้เหมือนปกติทุกประการ แต่ที่ต้องหยุดทำงานบางอย่าง เนื่องจากสถานีอื่นไม่พร้อมที่จะทำงานด้วย หลังจาก LER หมดไป สถานีซึ่งไม่เกิด FER จะต้องช่วยในการส่งข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ช่องเวลาให้สถานีซึ่งเกิด FER

ในกรณีซึ่งไฟฟ้าดับจะทำให้เกิด FER ขึ้นในสถานีถัดไปเช่นกัน แต่หลังจากเป็นปกติแล้วสถานีที่เกิดไฟดับขึ้นจะต้องเริ่มต้นใหม่หมด เนื่องจากข้อมูลทุกอย่างถูกลบทิ้งหมด ดังนั้นการติดต่อเดิมจะขาดหมด ดังนั้นการกลับเข้าทำงานใหม่จะต่างจากการเกิด FER ธรรมดาเล็กน้อย ถ้าไฟฟ้าดับทุกสถานี หรือระบบเพิ่งเริ่มทำงานจะไม่มีสถานีใดให้ข้อมูลแก่สถานีใดได้ ทุกสถานีจะเคลียร์ตารางการสวิทช์และข้อมูลอื่นๆ ก่อนเริ่มทำงานตามปกติ

ยังมีสัญญาณแสดงความผิดปกติอีกชนิดหนึ่ง คือ BER (Bit Error) ใช้แสดงว่าสัญญาณที่ได้รับไม่ใช่สัญญาณไบเฟสที่ถูกต้อง ซึ่งจะต้องมีครึ่งแรกและครึ่งหลังของบิทตรงข้ามกันเสมอ แต่ BER ไม่ได้ทำให้การทำงานของสถานีต่างออกไปโดยตรง เนื่องจากว่าถ้าเป็นการผิดพลาดเพียงเล็กน้อยไม่กี่บิท ก็ไม่จำเป็นต้องจัดการเป็นพิเศษแต่อย่างใด แต่ถ้าผิดมากหรือตลอดเวลาจะทำให้เกิด FER ขึ้นอยู่ดี ดังนั้น BER จะใช้แสดงให้ผู้ใช้ทราบว่าสัญญาณเข้าสถานีเป็นไบเฟสหรือไม่เท่านั้น ถ้าเกิด BER พร้อมกับ FER แสดงว่าอาจเกิดจากสัญญาณขาดหายไป แต่ถ้าเกิด FER อย่างเดียวแสดงว่า อาจเกิดจากสถานีก่อนหน้านั้นเกิด FER ขึ้น จึงทำให้ไม่มีซิงค์ส่งมาให้ แต่สัญญาณยังคงเป็นไบเฟสอยู่