

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. การแปลงสัญญาณแอนะล็อก
2. การแปลงสัญญาณดิจิทัล
3. ทิศทางการถ่ายทอดสัญญาณ
4. รูปแบบการถ่ายทอดสัญญาณ
5. การเทียบจังหวะสัญญาณ
6. ความผิดเพี้ยนข้อมูล
7. การถ่ายทอดสัญญาณดิจิทัล

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากศึกษาจบบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการของการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เช่น เอเอ็ม เอฟเอ็ม ได้
2. อธิบายหลักการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก และแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลได้
3. บอกทิศทางการถ่ายทอดสัญญาณ เช่น แบบทางเดียว ,สองทิศทาง ได้
4. อธิบายรูปแบบการถ่ายทอดสัญญาณแบบ อนุกรม และแบบขนานได้
5. อธิบายวิธีการเทียบจังหวะสัญญาณได้
6. บอกถึงความผิดเพี้ยนข้อมูล สาเหตุ และการแก้ไขได้
7. บอกหลักการถ่ายทอดสัญญาณดิจิทัลได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. วิธีสอน

- 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย โดยยกตัวอย่างประกอบ
- 1.2 แบ่งกลุ่มอภิปรายตามหัวข้อที่ได้รับมอบหมายและอาจารย์สรุปตอนท้าย
- 1.3 ฝึกปฏิบัติจริงจากแบบฝึกหัดโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อประกอบ

2. กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

- 2.1 อาจารย์อธิบายหลักการส่งสัญญาณแอนะล็อกพร้อมยกตัวอย่าง การส่งสัญญาณแบบ เอเอ็ม เอฟเอ็ม พีเอ็ม จากเอกสารประกอบการสอน
- 2.2 ให้นักศึกษาค้นคว้าทำรายงานเรื่อง หลักการส่งสัญญาณแบบเอเอ็ม เอฟเอ็ม พีเอ็ม พร้อมอธิบายและยกตัวอย่าง
- 2.3 แบ่งกลุ่มให้นักศึกษาอภิปรายโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม อภิปรายเรื่องหลักการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และอาจารย์สรุปเนื้อหา
- 2.4 อาจารย์ยกตัวอย่างพร้อมอธิบายทิศทางการถ่ายทอดสัญญาณ เช่น แบบทางเดียว สองทิศทาง และแบบกึ่งสองทิศทาง
- 2.5 ให้นักศึกษาค้นคว้าตัวอย่างการถ่ายทอดสัญญาณแบบ อนุกรม และแบบขนาน มาอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน พร้อมถามปัญหาให้นักศึกษาตอบ
- 2.6 นักศึกษาแบ่งกลุ่มอภิปรายวิธีการส่งสัญญาณแบบ synchronous และ Asynchronous อาจารย์จะสรุปเนื้อหาพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
- 2.7 นักศึกษาแบ่งกลุ่มอภิปรายเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูล และการแก้ไข
- 2.8 นักศึกษาค้นคว้าทำรายงานเรื่องหลักการถ่ายทอดสัญญาณดิจิทัล และแอนะล็อก และอาจารย์นำข้อมูลมาสรุปร่วมกัน

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชา ระบบการสื่อสารข้อมูล
2. แผ่นใส เรื่อง การถ่ายทอดสัญญาณข้อมูล
3. Power point ประกอบการสอน เรื่อง การถ่ายทอดสัญญาณข้อมูล
4. ภาพประกอบการสอนเกี่ยวกับหลักการส่งสัญญาณแบบต่าง ๆ
5. แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4

การวัดผลและประเมินผล

1. ตรวจแบบฝึกหัดท้ายบท
2. สังเกตความสนใจของนักศึกษาในการร่วมงานกลุ่ม และอภิปราย
3. สังเกตการยกตัวอย่างการถ่ายทอดสัญญาณแบบ อนุกรม และแบบขนาน ของนักศึกษา

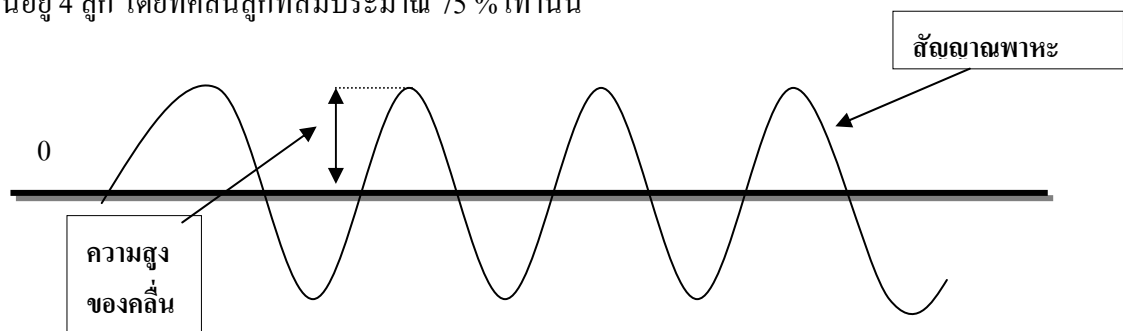
บทที่ 4

การถ่ายทอดสัญญาณข้อมูล

การแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายสื่อสารนอกจากจะต้องใช้อุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ แล้ว ยังจะต้องใช้โปรแกรมเข้ามาช่วยควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นด้วย ในการถ่ายทอดสัญญาณแบบต่าง ๆ จำเป็นต้องศึกษาเพื่อความเข้าใจถึงหลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในระบบการสื่อสารข้อมูลและถ่ายทอดสัญญาณข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งเข้าไปในระบบเครือข่ายในรูปแบบที่เหมาะสม เช่น รูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าผ่านสื่อประเภทสายลวดทองแดง สัญญาณไฟฟ้านี้จะต้องถูกสร้างขึ้นมาให้สอดคล้องกับข้อมูลของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปของกระแสบิต (Bit Stream) ระบบเครือข่ายจึงมีหน้าที่เป็นเพียงตัวนำส่งข้อมูลไปยังเป้าหมายที่ต้องการเท่านั้น อย่างไรก็ตามในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล อาจเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ทั้งจากภายในและภายนอกของระบบเครือข่ายที่ทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยนไปได้ โปรแกรมควบคุมการสื่อสารและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะต้องทำงานร่วมกันเพื่อตรวจสอบแก้ไข และป้องกันข้อมูลผิดเพี้ยน

4.1 การแปลงสัญญาณแอนะล็อก

ข้อมูลแอนะล็อกที่ถูกส่งผ่านสื่อในรูปสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่า สัญญาณพาหะ (Carrier Signal) สัญญาณนี้จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงสลับกันไป ผ่านเส้นแนวระนาบซึ่งใช้แทนแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 โวลต์ (Zero Voltage Line) พื้นที่ที่อยู่เหนือเส้นแนวระนาบเป็นพื้นที่ที่มีแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 0 โวลต์ (Positive Voltage) ส่วนพื้นที่ใต้เส้นแนวระนาบมีแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 0 โวลต์ (Negative Voltage) เส้นที่เริ่มต้นจากเส้นแนวระนาบขึ้นไปถึงจุดสูงสุด-ลดลงมาจนถึงเส้นแนวระนาบลดต่ำลงไปถึงจุดต่ำสุด แล้ววกกลับขึ้นไปจนถึงเส้นแนวระนาบอีกครั้งหนึ่ง ใช้แทนรูปคลื่น (Wave) หนึ่งลูก ดังภาพจึงมีคลื่นอยู่ 4 ลูก โดยที่คลื่นลูกที่สี่มีประมาณ 75 % เท่านั้น

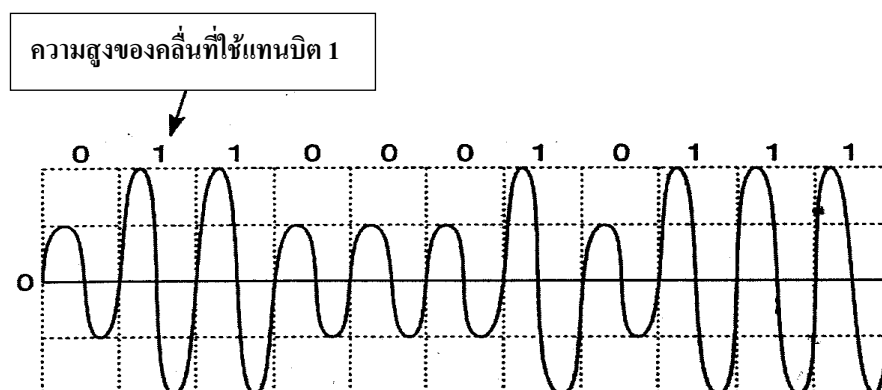


ภาพที่ 4.1 แสดงคลื่นสัญญาณพาหะ

สัญญาณคลื่นพาหะ (Carrier Wave or Sine Wave) เป็นสัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal) มีลักษณะเป็นสัญญาณต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจากสัญญาณดิจิทัลที่เป็นสัญญาณช่วง (Discrete Signal) การนำคลื่นชนิดนี้ไปใช้ส่งข้อมูลจะต้องทำการแปลงสัญญาณ (Modulation) เพื่อใช้แทนความหมายตามที่ต้องการ การส่งสัญญาณแอนะล็อกเมื่อสัญญาณเดินทางผ่านตัวกลางขนาดของสัญญาณจะลดลงและมีสัญญาณรบกวนเข้ามาปะปน ดังนั้นเมื่อสัญญาณผ่านไประยะหนึ่งขนาดของสัญญาณจะถูกขยาย เมื่อส่งไปไกล ๆ สัญญาณรบกวนจะถูกขยายโตมากขึ้นทำให้ทางฝั่งผู้รับมีสัญญาณผิดพลาดได้ง่ายจึงต้องทำการแปลงสัญญาณก่อน ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณได้แก่ โมเด็ม ส่วนวิธีการแปลงสัญญาณนั้นทำได้หลายแบบ คือ การแปลงสัญญาณแบบเอเอ็ม แบบเอฟเอ็ม และแบบพีเอ็ม เป็นต้น (พิพัฒน์ หิรัญชัยนิชชากร, 2542, 56)

4.1.1 การแปลงสัญญาณแบบเอเอ็ม

สัญญาณคลื่นปกติจะมีความสูงของคลื่น เรียกว่า Height หรือ Amplitude คงที่ ความสูงทั้งด้านบนและด้านล่างของเส้นแนวระนาบจะต้องมีค่าเท่ากันพอดี การแปลงสัญญาณแบบเอเอ็ม (Amplitude Modulation; AM) ใช้วิธีการเปลี่ยนขนาดความสูงของคลื่นให้แตกต่างไปจากเดิมเพื่อใช้แทนความหมายข้อมูลบิต 0 หรือ 1 ตามที่ต้องการเป็นสัญญาณคลื่นที่ใช้แทนการส่งข้อมูล (เรียงตามลำดับ) คือ 01100010111 จะเห็นว่าความสูงของคลื่นที่ใช้แทนข้อมูลบิต 1 นั้นสูงกว่าคลื่นที่ใช้แทนบิต 0 ถ้าใช้สัญญาณนี้เป็นสัญญาณเสียง คลื่นที่มีความสูงมากกว่าคือคลื่นที่ใช้แทนบิต 1 จะมีเสียงดังมากกว่าคลื่นที่ใช้แทนบิต 0 (สตัยทุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, 142)



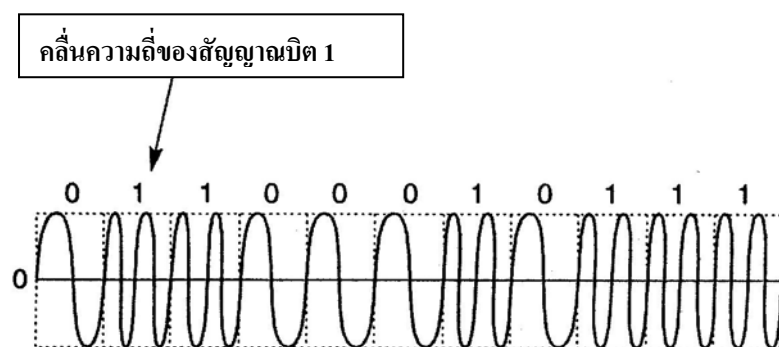
ภาพที่ 4.2 แสดงการแปลงสัญญาณแบบเอเอ็ม

ที่มา : สตัยทุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 142

จะเห็นได้ว่าการแปลงคลื่นวิธีนี้เป็นวิธีการเดียวกันกับที่ใช้ในการส่งสัญญาณวิทยุเอเอ็ม (AM Radio) จึงมีข้อดีข้อเสียในลักษณะเดียวกันคือ เป็นสัญญาณที่ถูกรบกวนได้ง่าย เช่น พายุฝนทั่วไปสามารถทำให้สัญญาณเอเอ็มเสียหายได้ คือผู้รับฟังวิทยุจะรับฟังเสียงได้ไม่ชัดเจนในช่วงนั้น โดยเฉพาะในขณะที่เกิดฟ้าผ่า สัญญาณเสียงในบริเวณใกล้เคียงจะขาดหายไปเลย ปัญหาดังกล่าวจะยิ่งสร้างความเสียหายมากขึ้นในการสื่อสารข้อมูลเนื่องจากสัญญาณรบกวนอาจทำให้สัญญาณที่ส่งออกมาเสียหาย คือ ไม่ทราบว่า เป็นบิต 0 เป็นบิต 1 หรืออาจทำให้ความหมายเปลี่ยนไปจากเดิมคือจากบิต 0 เป็นบิต 1 หรือกลับกัน จึงจำเป็นต้องมีวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมาด้วย

4.1.2 การแปลงสัญญาณแบบเอฟเอ็ม

การแปลงสัญญาณแบบเอฟเอ็ม (Frequency Modulation; FM) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่คลื่น ซึ่งก็คือจำนวนลูกคลื่นต่อหนึ่งหน่วยเวลา (Cycle) เพื่อใช้แทนข้อมูล เวลาที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแต่ละบิตเป็นหนึ่งหน่วย การส่งข้อมูลบิต 0 จะมีลูกคลื่นจำนวน 1 ลูกในหนึ่งหน่วยเวลา ส่วนการส่งบิต 1 จะมีลูกคลื่นจำนวน 2 ลูกในหนึ่งหน่วยเวลา การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงแล้วความถี่หรือจำนวนลูกคลื่นต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่มากขึ้นจะหมายถึงระดับเสียงที่สูงขึ้น ดังนั้นสัญญาณที่ใช้แทนบิต 1 จะมีระดับเสียงสูงกว่าสัญญาณที่ใช้แทนบิต 0 ในการแปลงสัญญาณแบบนี้เป็นวิธีการที่ใช้ส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม สัญญาณเสียงสนทนาที่เกิดขึ้นในระบบเซลลูลาร์แบบ AMPS ก็ใช้วิธีการแปลงสัญญาณนี้



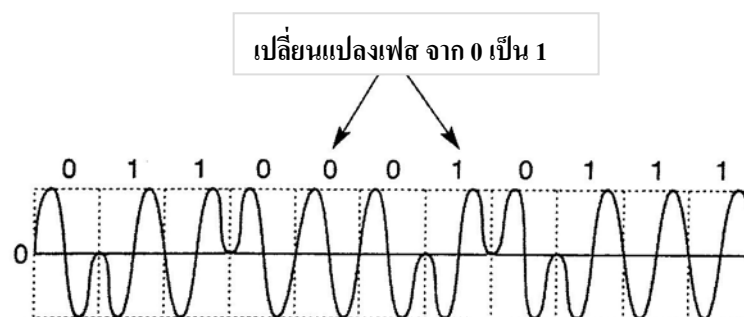
ภาพที่ 4.3 แสดงการแปลงสัญญาณแบบเอฟเอ็ม

ที่มา : สัตยฤทธิ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 143

จะเห็นได้ว่าการส่งสัญญาณระบบเอฟเอ็มมีความทนทานต่อการรบกวนจากภายนอกได้ดีกว่าระบบเอเอ็ม เช่น ในระหว่างที่เกิดพายุฝนสัญญาณแบบเอฟเอ็มจะถูกรบกวนน้อยมากหรือไม่ถูกรบกวนเลย ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ส่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ก็ทำให้โอกาสที่จะเกิดข้อผิดพลาดลดลงไปด้วย วิธีการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลจึงไม่จำเป็นต้องมีความซับซ้อนมากนักเมื่อเทียบกับการใช้สัญญาณเอเอ็ม

4.1.3 การแปลงสัญญาณแบบพีเอ็ม

การแปลงสัญญาณแบบพีเอ็ม (Phase Modulation; PM) เป็นวิธีการที่ซับซ้อนมากที่สุด วิธีการนี้อาศัยการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase Shift) เป็นตัวบอกการสลับความหมายของข้อมูล นั่นคือ สมมุติว่ากำลังส่งบิต 0 อยู่ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสก็จะหมายถึงบิตต่อไปเป็นบิต 1 (หรือกลับกัน) ลักษณะของสัญญาณสำหรับทั้งบิต 0 และบิต 1 จึงไม่มีรูปแบบที่คงที่เหมือนกับสองวิธีแรก คำว่าการเปลี่ยนแปลงเฟส หมายความว่า สัญญาณของลูกคลื่นปกติจะเริ่มจากเส้นแนวระนาบขึ้นไป คือจะเริ่มจาก 0 องศาไปเป็น ค่าบวก 90 องศา ย้อนกลับมาที่ 180 องศาและเปลี่ยนไปเป็น ค่าลบ 270 องศาและวนกลับมาที่ 0 องศาอย่างเดิม ถ้าบิตต่อไปเป็นแบบบิตเดิม เช่น บิต 0 ตามด้วยบิต 0 หรือบิต 1 ตามด้วยบิต 1 คลื่นลูกต่อไปก็จะเกิดขึ้นต่อเนื่องจากคลื่นลูกแรกตามปกติ แต่ถ้าบิตต่อไปไม่ใช่บิตเดิม คือ บิต 0 ตามด้วยบิต 1 หรือบิต 1 ตามด้วย บิต 0 คลื่นลูกต่อไปแทนที่จะขึ้นไปเป็นค่าบวก ก็จะกลับลดลงเป็นค่าลบก่อน จากนั้นกลับไปเป็นค่า 0 เพิ่มเป็นค่าบวก และกลับมาที่ 0 เป็นการครบวงจร ในกรณีนี้ทั้งบิต 0 และบิต 1 อาจเป็นลูกคลื่นที่เริ่มจาก 0 แล้วเพิ่มไปเป็นค่าบวกก่อน หรือลดลงมาเป็นค่าลบก่อนก็ได้ ความสูงและความถี่ของคลื่นนั้นจะคงที่เสมอ การเปลี่ยนแปลงเฟสทำให้สามารถส่งข้อมูลแบบไดบิต (Dibit or 2 bits) ได้ จึงส่งข้อมูลได้ไปสองเท่า เช่น สายขนาด 2,400 บอดจะสามารถส่งข้อมูลได้ที่ 4,800 บิตต่อวินาที



ภาพที่ 4.4 แสดงการแปลงสัญญาณแบบพีเอ็ม

ที่มา : สัตยยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 144

การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณลูกคลื่นกับจำนวนองศารอบจุดจุดหนึ่ง (360 องศา) สามารถอธิบายได้ดังนี้ ลูกคลื่นปกติเริ่มต้นจากแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 โวลต์ หรือเริ่มจากองศาที่ 0 จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มแรงดันขึ้นไปทางค่าบวกจนถึงจุดสูงสุด (ค่าบวกมากที่สุด) ก็คือการเพิ่มจำนวนองศาขึ้นไปจนถึงตำแหน่ง 90 องศา ค่าแรงดันไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลงในขณะที่จำนวนองศาจะยังคงเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ากลับมาที่ 0 โวลต์ ก็จะตรงกับตำแหน่ง 180 องศา ต่อมาแรงดันไฟฟ้าจะเริ่มลดลงน้อยกว่า 0 ลงไปจนถึงจุดต่ำสุด (ค่าลบที่มากที่สุด) ตรงกับตำแหน่ง 270 องศา และในขั้นตอนสุดท้าย แรงดันไฟฟ้าจะค่อย ๆ เพิ่มกลับขึ้นมาที่ 0 โวลต์อย่างเดิมซึ่งเป็นตำแหน่งที่ 360 องศา (เป็นตำแหน่ง 0 องศาของลูกคลื่นลูกต่อไป) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงองศาที่เกิดขึ้นก็ออกจาก 0 องศาไป 90 องศา ไป 180 องศา ไป 270 องศา ไป 360 องศา ตามลำดับ

4.1.4 การแปลงสัญญาณแบบ QAM

การแปลงสัญญาณแบบ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) เป็นการปรับปรุงวิธีการส่งสัญญาณโดยการเปลี่ยนแปลงทั้งเฟสและความสูงของคลื่น ทำให้สามารถส่งข้อมูลออกไปได้ครั้งละ 4 บิตพร้อมกันต่อบอด ดังนั้นสายขนาด 2,400 บอดจะสามารถส่งข้อมูลได้ 9,600 บิตต่อวินาที เคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) ที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณผ่านสายโคแอกเซียลใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบนี้ บริษัทผู้ให้บริการสามารถส่งสัญญาณมายังผู้ใช้ (Downstream Data) ด้วยความเร็ว 30 ถึง 40 ล้านบิตต่อวินาที หรือเร็วกว่าการใช้โมเด็มผ่านสายโทรศัพท์ประมาณ 500 เท่า ส่วนข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งกลับไปยังผู้ให้บริการ (Upstream Data) มีความเร็ว 0.32 ถึง 10 ล้านบิตต่อวินาที แม้ว่าจะช้าลงไปมาก แต่ก็ยังคงเร็วกว่าโมเด็มปกติประมาณ 5 ถึง 170 เท่า เคเบิลโมเด็มยังมีความสามารถในการแยกสัญญาณโทรทัศน์และสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาด้วยกันออกจากกันได้

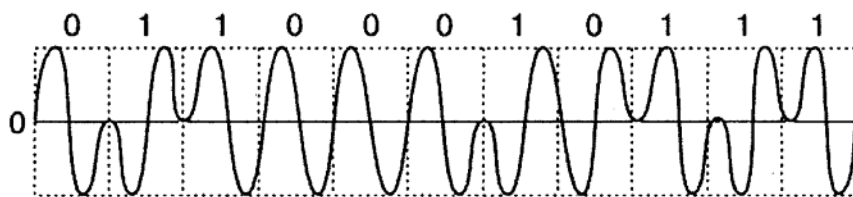
4.2 การแปลงสัญญาณดิจิทัล

ระบบการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลเป็นระบบที่ผู้ใช้ติดต่อส่ง-รับข้อมูลหรือสัญญาณที่เป็นดิจิทัล เช่น ระบบเครือข่ายท้องถิ่น เป็นต้น ไม่ว่าระบบสื่อสารข้อมูลจะเป็นแบบแอนะล็อกหรือแบบดิจิทัลก็สามารถใช้ส่ง-รับข้อมูลที่เป็นแอนะล็อกและดิจิทัลได้ทั้งนั้น เพียงแต่จะต้องมีการแปลงรูปแบบของสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะส่งเข้าไปในระบบการสื่อสาร (สัลยุทธิ์ สว่างวรรณ, 2544, 145)

4.2.1 การแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นแอนะล็อก

ข้อมูลดิจิทัลจะต้องถูกแปลงเป็นรูปแบบแอนะล็อกก่อนที่จะถูกส่งออกไปทางสื่อกลางแบบแอนะล็อก เช่น สายโทรศัพท์ เทคนิคการแปลงสัญญาณนี้ทำได้โดยใช้วิธีแปลงสัญญาณแบบแอนะล็อกมาดัดแปลงเพียงเล็กน้อย คือการแปลงสัญญาณแบบเอเอ็ม แบบเอฟเอ็ม และแบบพีเอ็ม กลายเป็นการแปลงสัญญาณแบบเอเอสเค (Amplitude Shift Keying; ASK) แบบเอฟเอสเค (Frequency Shift Keying; FSK) และแบบพีเอสเค (Phase Shift Keying; PSK) ตามลำดับ

การแปลงสัญญาณแบบพีเอ็มยังมีการทำงานอีกแบบหนึ่งโดยเพิ่มการเปลี่ยนเฟส (Differential Phase Shift Keying; DPSK) ซึ่งมีแนวความคิดเดียวกันกับการแปลงสัญญาณแบบพีเอ็ม แต่ได้เพิ่มข้อกำหนดให้การเปลี่ยนเฟส 180 องศาจะเกิดขึ้นเมื่อส่งข้อมูลบิต 1 เท่านั้น ถ้าข้อมูลเป็นบิต 0 จะไม่มีการเปลี่ยนเฟสไม่ว่าบิตข้างหน้าจะเป็นบิต 0 หรือบิต 1 ก็ตาม ในทางกลับกันแม้ว่าบิตข้างหน้าเป็นบิต 1 อยู่แล้ว แต่ถ้าบิตที่ตามหลังเป็นบิต 1 ก็จะต้องเปลี่ยนเฟสเสมอ



ภาพที่ 4.5 แสดงการแปลงสัญญาณพีเอ็มแบบ DPSK

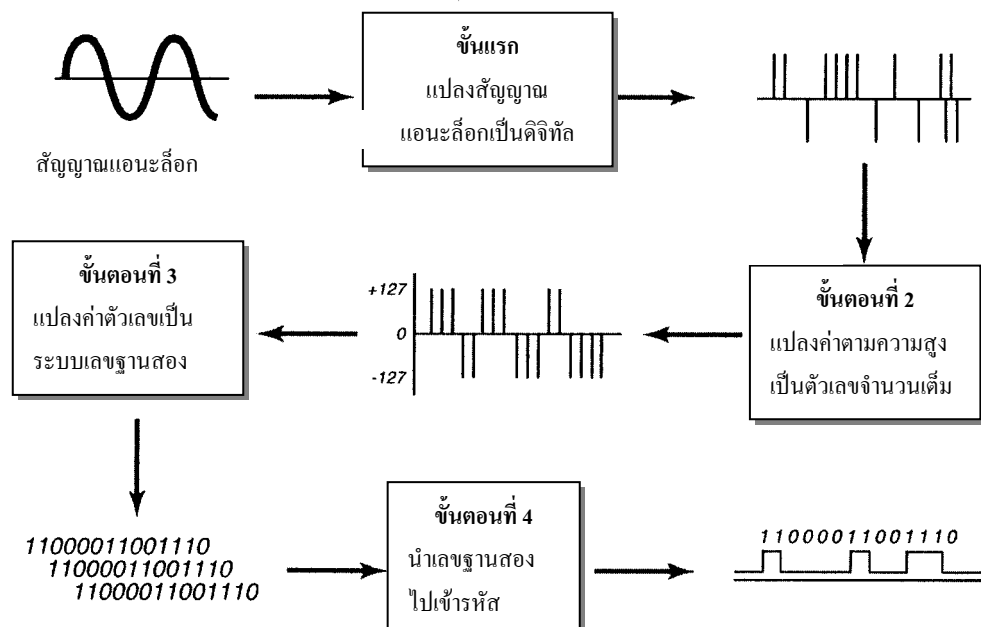
ที่มา : สัตยฤทธิ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 145

4.2.2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

ข้อมูลในรูปแบบสัญญาณแอนะล็อกที่จะส่งออกไปทางสื่อกลางแบบดิจิทัลนั้นไม่สามารถทำได้โดยตรง นั่นคือจะต้องแปลงข้อมูลแอนะล็อกให้ไปอยู่ในรูปแบบดิจิทัลก่อนที่จะส่งออกไป วิธีการแปลงสัญญาณที่นิยมใช้ได้แก่ วิธี PAM (Pulse Amplitude Modulation) จะใช้รูปคลื่นของสัญญาณแอนะล็อกมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัล โดยการวัดความสูงของลูกคลื่นจากหลายตำแหน่ง ซึ่งเป็นวิธีการที่เรียกว่า วิธีแซมปลิง (Sampling) แล้วจึงสร้างสัญญาณดิจิทัลจากความสูงที่วัดได้ วิธีการนี้เป็นเทคนิคแบบแรกที่ใช้ในการแปลงเสียงสนทนาให้เป็นข้อมูลดิจิทัล (Voice Digitization) วิธีการอีกแบบหนึ่งเรียกว่า วิธี PDM (Pulse Duration Modulation) หรือ PWM (Pulse Width Modulation) ใช้การวัด

ระยะเวลาหรือความกว้างของคลื่นแต่ละลูกคลื่น วิธีสุดท้ายเรียกว่า วิธี PPM (Pulse Position Modulation) เป็นการวัดระยะระหว่างลูกคลื่น

ในปัจจุบันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลใช้วิธีเรียกว่า Pulse Code Modulation; PCM ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกนำเทคนิค PAM มาใช้ทำแซมปลิงสัญญาณ จากนั้นจัดการแปลงค่าสัญญาณตามความสูงที่ได้ให้เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม ตั้งแต่ 0-255 เป็นขั้นตอนที่สอง ในขั้นตอนที่สามจะแปลงค่าตัวเลขเหล่านี้เป็นเลขฐานสอง (Binary Number) และขั้นตอนสุดท้ายก็นำเลขฐานสองแต่ละตัวไปเข้ารหัสที่เหมาะสมกับสื่อที่เลือกใช้



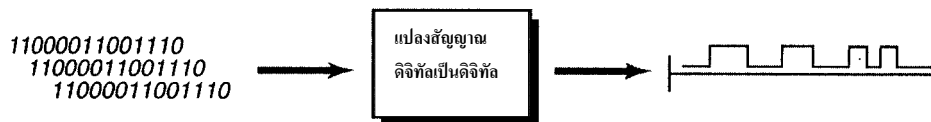
ภาพที่ 4.6 แสดงการแปลงสัญญาณแบบ Pulse Code Modulation

ที่มา : กวนา เผ่าน้อย, 2547, หน้า 133

เทคนิค PCM จะทำการแซมปลิงสัญญาณ 8,000 ครั้งต่อวินาที ตัวเลขนี้มาจาก Nyquist's theorem ซึ่งกล่าวไว้ว่าจำนวนครั้งการทำแซมปลิงควรเป็นสองเท่าของค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ใช้ เนื่องจากสัญญาณเสียงสนทนา (Voice) มีความถี่สูงสุด 4,000 Hz ดังนั้นค่าความถี่ของการแซมปลิงจึงเท่ากับ 8,000 ครั้งต่อวินาที (สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, 146)

4.2.3 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นดิจิทัล

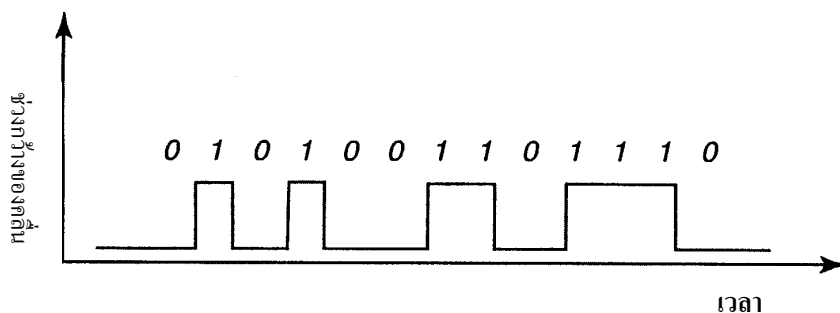
การส่งข้อมูล แม้ว่าจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลระบบเลขฐานสองแล้วก็ตาม ข้อมูลนั้นก็ยังจะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนที่จะส่งออกไปอยู่ดี วิธีการแปลงสัญญาณที่นิยมใช้มี 3 วิธี คือ Unipolar, Polar และ Bipolar



ภาพที่ 4.7 แสดงการแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล

ที่มา : ภวนา แผ่นน้อย, 2547, หน้า 134

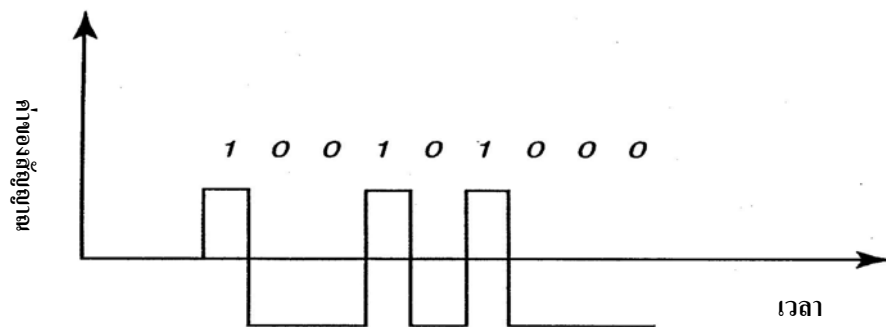
การแปลงสัญญาณแบบ Unipolar Encoding เป็นวิธีการที่ง่ายแต่ไม่แพร่หลายในปัจจุบัน คำว่า Polar หมายถึงขั้วบวกหรือขั้วลบ (Polarity) ของพัลส์ (Pulse) หรือลูกคลื่นในสายสัญญาณ ระดับความสูงของพัลส์หรือลูกคลื่นจะถูกกำหนดเป็นสองระดับที่แตกต่างกันเพื่อใช้แทนเลข 0 และเลข 1 ในระบบนี้จะกำหนดระดับไว้เพียงระดับเดียวเพื่อใช้แทนเลข 1 ส่วนเลข 0 จะแทนด้วยสัญญาณระนาบ (ไม่มีสัญญาณหรือความสูงของสัญญาณเป็น 0)



ภาพที่ 4.8 แสดงการแปลงข้อมูลแบบ Unipolar Encoding

ที่มา : ภวนา แผ่นน้อย, 2547, หน้า 135

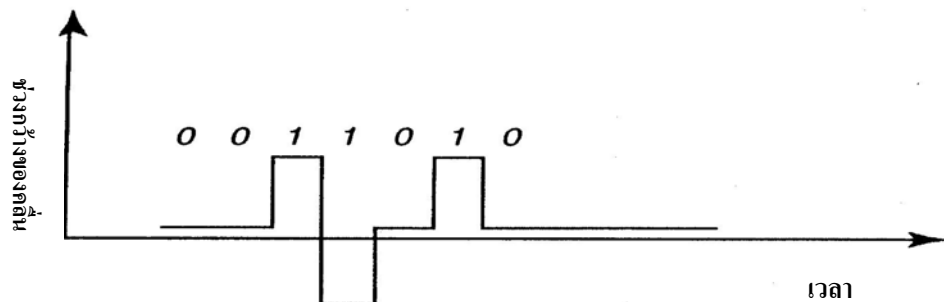
วิธีการแบบที่สองเรียกว่า Polar Encoding ซึ่งได้แก่วิธีการสร้างสัญญาณขั้วเดียวหรือสัญญาณกระแสตรง (Direct Current) โดยการใช้สัญญาณทั้งสองขั้วคือขั้วบวกและลบ วิธีการแบบนี้มีรายละเอียดมากและมีอยู่หลายแบบ เช่น วิธี Non-Return to Zero Encoding (NRZ) สัญญาณที่มีค่าเป็นบวกจะใช้แทนเลข 1 และค่าลบใช้แทนเลข 0



ภาพที่ 4.9 แสดงการแปลงข้อมูลแบบ Polar Encoding

ที่มา : ภวนา แผ่นน้อย, 2547, หน้า 135

วิธีการแบบที่สามซึ่งมีความซับซ้อนมากที่สุดเรียกว่า Bipolar Encoding วิธีนี้ใช้ระดับความสูงสามระดับคือค่าบวก ค่าลบและค่า 0 ข้อมูลที่เป็นเลข 0 จะใช้สัญญาณค่า 0 ส่วนข้อมูลเลขที่ 1 จะใช้สัญญาณสลับระหว่างค่าบวกและค่าลบ



ภาพที่ 4.10 แสดงการแปลงข้อมูลแบบ Bipolar Encoding

ที่มา : ภวนา แผ่นน้อย, 2547, หน้า 136

4.3 ทิศทางการถ่ายทอดสัญญาณ

อุปกรณ์สื่อสารที่นำมาใช้งานร่วมกับสายสัญญาณจะเป็นตัวบังคับให้ข้อมูลถูกถ่ายทอดออกไปยังเป้าหมายที่ต้องการ การถ่ายทอดหรือการที่ข้อมูลถูกส่งออกไปทางสายสื่อสารจะต้องได้รับการกำหนดขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อที่ผู้ส่งจะได้ทราบว่าเมื่อใดจึงจะส่งข้อมูลออกไป และส่งออกไปอย่างไร ส่วนทางผู้รับก็จะได้ทราบว่าข้อมูลจะมาถึงเมื่อใดและจะนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างไร การกำหนดขั้นตอนเหล่านี้สามารถควบคุมได้ในหลายระดับ ในระดับล่างสุดที่ติดต่อกับอุปกรณ์โดยตรงมีวิธีการควบคุมทิศทางการส่งข้อมูล (Transmission Direction) สามวิธีคือแบบทิศทางเดียว แบบกึ่งสองทิศทาง และแบบสองทางสมบูรณ์

4.3.1 การถ่ายทอดสัญญาณแบบทิศทางเดียว

การควบคุมทิศทางการส่งข้อมูลแบบทิศทางเดียว (Simplex Transmission) ยอมให้มีการส่งข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับเท่านั้น ทางฝั่งผู้รับไม่สามารถส่งข้อมูลย้อนกลับมายังผู้ส่งได้ การไหลของน้ำออกทางท่อประปาเป็นตัวอย่างที่ชัดเจน ท่อประปาเปรียบเสมือนสายสื่อสารโดยมีก๊อกเป็นอุปกรณ์สื่อสาร และน้ำคือข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากโรงงานผลิตน้ำประปา จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้ใช้น้ำประปาเปิดก๊อก น้ำก็จะไหลออกมาซึ่งจะหยุดก็ต่อเมื่อปิดก๊อกหรือโรงผลิตน้ำประปาหยุดส่งน้ำ ส่วนผู้ใช้น้ำประปาเองก็ไม่สามารถที่จะส่งน้ำกลับไปยังโรงผลิตน้ำประปาได้ การส่งข้อมูลแบบทิศทางเดียวก็มีวิธีการทำงานเช่นเดียวกัน อุปกรณ์บางชนิด เช่น จอภาพ CRT เชื่อมต่อเข้ากับโฮสต์แบบทิศทางเดียว ข้อมูลจากโฮสต์จะถูกส่งมาแสดงบนจอภาพได้ แต่ตัวจอภาพเองไม่สามารถส่งข้อมูลใด ๆ กลับไปยังโฮสต์ได้

ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบทิศทางเดียวกันได้แก่ การถ่ายทอดข้อมูลราคาซื้อ-ขายหุ้นจากตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยไปยังสมาชิกซึ่งมักจะใช้เครื่องพีซีติดต่อเข้ามาจากที่บ้านหรือที่ทำงาน ข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูลที่เครื่องพีซีของผู้ใช้ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเลือกดูราคาหุ้นทั้งหมดหรือหุ้นบางตัวที่สนใจได้โดยไม่ต้องส่งข้อมูลใด ๆ กลับมาที่ตลาดหลักทรัพย์ฯ และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตลาดหลักทรัพย์ฯ เพียงแค่ส่งข้อมูลส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงมายังสมาชิกเท่านั้น

4.3.2 การถ่ายทอดสัญญาณแบบกึ่งสองทิศทาง

การถ่ายทอดสัญญาณแบบกึ่งสองทิศทาง (Half-duplex Transmission) ยินยอมให้ผู้ส่งสามารถส่งข้อมูลไปยังผู้รับได้และผู้รับก็สามารถส่งข้อมูลกลับมายังผู้ส่งข้อมูลได้เช่นกัน แต่มีเงื่อนไขว่าทั้งผู้ส่งและผู้รับจะส่งข้อมูลพร้อมกันไม่ได้ ตัวอย่างได้แก่ การใช้วิทยุสื่อสารของตำรวจ หรือวิทยุสื่อสารใช้งานทั่วไป (CB Radio) ผู้พูดสามารถพูดไปอีกฝ่ายหนึ่งได้ แต่จะพูดพร้อมกันไม่ได้ คือในขณะที่ฝ่ายหนึ่งเป็นผู้พูด อีกฝ่ายหนึ่งจะต้องเป็นผู้ฟัง ในระบบนี้ไม่มีการบังคับอย่างชัดเจนว่าฝ่ายใดจะพูด ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ใช้งานเป็นสำคัญมิฉะนั้นก็อาจจะมีแต่ผู้พูด ไม่มีใครยอมเป็นผู้ฟัง ในการสื่อสารข้อมูล จะไม่เกิดการแย่งกันส่งข้อมูลเด็ดขาดเนื่องจากการสื่อสารจะต้องมีโปรโตคอลหรือกฎการสื่อสารข้อมูลเป็นตัวบังคับ

การสื่อสารแบบกึ่งสองทางซึ่งเป็นที่นิยมในการนำมาใช้งานมากกว่าแบบแรกเพราะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าแต่ใช้งานได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งเครื่องพีซีเครื่องหนึ่งสามารถส่งข้อมูลไปยังพีซีอีกเครื่องหนึ่งได้ ส่วนพีซีที่เป็นฝ่ายรับข้อมูลจะต้องรอจนกว่าพีซีผู้ส่งหยุดส่งข้อมูลและปล่อยให้สายสื่อสารเป็นอิสระเสียก่อน จึงจะสามารถส่งข้อมูลกลับไปได้

การใช้งานโมเด็มนั้นจะเกิดปัญหาค้างขึ้นเล็กน้อย คือในระหว่างที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลอยู่นั้นผู้ใช้ระบบจะต้องเสียเวลาไปส่วนหนึ่งเรียกว่าเวลาการปรับตัวของโมเด็ม (Modem Turnaround Time) ในทุกครั้งที่มีการผลัดเปลี่ยนทิศทางการส่งข้อมูล “จากผู้ส่งไปยังผู้รับ” กลับมาเป็น “จากผู้รับไปยังผู้ส่ง” หรือกลับกัน เวลาการปรับตัวของโมเด็มคือเวลาที่โมเด็มแต่ละเครื่องปรับสภาพการทำงานจากการทำหน้าที่ส่งข้อมูล (Transmission Mode) ไปเป็นการทำหน้าที่รับข้อมูล (Receiving Mode) หรือกลับกัน ปกติช่วงเวลานี้จะกินเวลาประมาณ 20 ถึง 100 มิลลิวินาที การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่องผ่านโมเด็มจะเกิดกระบวนการเรียกว่า กระบวนการประสานมือ (Handshaking) เพื่อให้โมเด็มทั้งสองเครื่องนั้นรู้จักกันและสามารถเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้

ตารางที่ 4.1 แสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่องผ่านโมเด็ม

เหตุการณ์	กระบวนการที่เกิดขึ้น
มีผู้เรียกผ่านโมเด็มเข้ามา (ทำหน้าที่รับข้อมูล)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ สัญญาณเสียงกริ่งดังขึ้น และโมเด็มเริ่มทำงาน ▪ ส่งสัญญาณพร้อมที่จะรับข้อมูล ▪ ส่งสัญญาณข้อมูล ▪ ส่งสัญญาณรับเรียบร้อยแล้ว
ใช้โมเด็มติดต่อเครื่องอื่น (ทำหน้าที่ส่งข้อมูล)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ส่งสัญญาณเตรียมความพร้อมสายว่าง ▪ ส่งข้อมูลออกไป ▪ เมื่อส่งข้อมูลหมดแล้วจึงหยุดส่งสัญญาณ ▪ โมเด็มหยุดส่งสัญญาณข้อมูล

ระบบสื่อสารข้อมูลหลายระบบรวมทั้งระบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณส่วนใหญ่ใช้วิธีการถ่ายทอดข้อมูลแบบกึ่งสองทาง อย่างไรก็ตาม กระบวนการสลับทิศทางการรับ-ส่งข้อมูลรวมทั้งกระบวนการประมวลผลในส่วนอื่น ๆ นั้นรวดเร็วมากจนผู้ใช้ไม่สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้

4.3.3 การถ่ายทอดสัญญาณแบบสองทิศทางสมบูรณ์

การถ่ายทอดสัญญาณแบบสองทิศทางสมบูรณ์ (Full-Duplex Transmission) ยินยอมให้ทั้งฝ่ายผู้ส่งและผู้รับข้อมูลสามารถส่งข้อมูลไปยังอีกฝ่ายหนึ่งได้ตลอดเวลา วิธีการนี้จึงใช้ประโยชน์จากการสื่อสารข้อมูลอย่างเต็มที่ แต่มีข้อจำกัดคือเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีความสามารถในการรับและส่งข้อมูลได้อย่างเต็มที่ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้สื่อที่เลือกใช้ก็จะต้องมีช่องสื่อสารสองช่อง ช่องหนึ่ง

สำหรับส่งข้อมูลและอีกช่องหนึ่งสำหรับรับข้อมูล ช่องสื่อสารแบบ RS-232 สามารถรองรับการทำงานแบบนี้ได้เพราะมีขาเชื่อมต่อสำหรับการสื่อสารอยู่สองชุดที่แยกจากกัน โมเด็มที่ทำงานแบบสองทิศทางสมบูรณ์จะต้องได้รับมาตรฐาน CCITT V.32 และ CCITT V.34 เช่นระบบโทรศัพท์เป็นตัวอย่างหนึ่งของการสื่อสารที่เกิดขึ้นทั้งแบบกึ่งสองทิศทางและแบบสองทิศทางสมบูรณ์ ในกรณีที่ใช้โทรศัพท์ภายในเขตเมืองเดียวกัน (รหัสเมืองเหมือนกัน) จะเป็นแบบสองทิศทางสมบูรณ์ ดังนั้นผู้ใช้โทรศัพท์ทั้งสองฝ่ายสามารถที่จะพูดออกมาพร้อม ๆ กัน เสียงพูดของแต่ละฝ่ายจะไปดังที่โทรศัพท์ของอีกฝ่ายหนึ่ง แม้ว่าในทางปฏิบัติอาจจะไม่มีใครทำอย่างนี้แต่ก็สามารถทำได้อย่างแน่นอน

การส่งสัญญาณในระบบโทรศัพท์ทางไกลแม้ว่าตัวระบบเองจะเป็นแบบสองทิศทางสมบูรณ์แต่จะทำงานเป็นแบบกึ่งสองทิศทาง ระบบโทรศัพท์ทั่วไปจะมีสัญญาณสะท้อนกลับ (Echo) เกิดขึ้นเสมอเนื่องจากเสียงผู้พูดฝ่ายหนึ่งจะไปถึงอีกฝ่ายหนึ่งจะทำให้เกิดการส่งสัญญาณสะท้อนกลับมาโดยไม่ได้ตั้งใจ ถ้าเป็นโทรศัพท์ภายในเขตจังหวัดเดียวกันหรือทางไกลภายในประเทศ สัญญาณสะท้อนกลับจะเกิดขึ้นเร็วมาก เนื่องจากระยะทางสั้น และซ้อนทับกับเสียงของผู้พูด จนกระทั่งไม่สามารถแยกเสียงจริงและเสียงสะท้อนออกจากกันได้ แต่ถ้าเป็นโทรศัพท์ทางไกลระหว่างประเทศ สัญญาณสะท้อนกลับจะเกิดขึ้นช้ากว่า เพราะระยะทางไกลมาก ทำให้สามารถแยกความแตกต่างออกจากกันได้ คือผู้พูดจะได้ยินเสียงตัวเองภายหลังจากตัวเองที่หยุดพูด เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ระบบโทรศัพท์ต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องตัดเสียงสะท้อน (Echo Suppressor) อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่คอยเปิด-ปิดช่องสัญญาณในระหว่างการสนทนาเพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณสะท้อน ย้อนกลับไปยังผู้พูด เนื่องจากอุปกรณ์นี้ทำงานโดยใช้เสียงผู้พูดเป็นตัวกระตุ้นเพื่อปิดช่องสื่อสารของผู้ฟัง จึงทำให้ผู้ฟังไม่สามารถพูดสวนกลับไปได้ในเวลาเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นจึงทำให้ระบบการสื่อสารนี้กลายเป็นแบบกึ่งสองทิศทาง

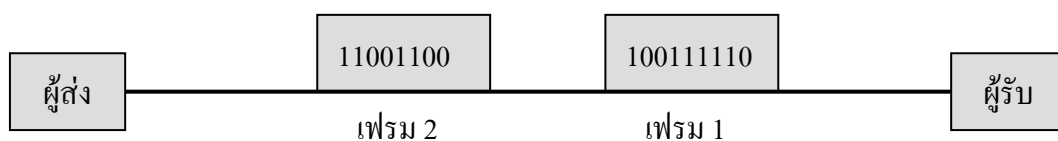
4.4 รูปแบบการถ่ายทอดสัญญาณ

การถ่ายทอดข้อมูลออกไปนั้นถูกส่งไปครั้งละตัวอักษร (หมายถึงหนึ่งไบต์) หรือครั้งละบิตก็ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการถ่ายทอดสัญญาณ (Transmission Mode) ซึ่งมีอยู่สองแบบ คือ แบบอนุกรมและแบบขนานมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 การถ่ายทอดสัญญาณแบบอนุกรม

การถ่ายทอดสัญญาณแบบอนุกรม (Serial Transmission) มองเห็นข้อมูลในลักษณะของกระแสบิต (Bit Stream) คือไม่มีการแบ่งข้อมูลเป็นไบต์หรือหน่วยอื่นใด การถ่ายทอดข้อมูลจึงเกิดขึ้นทีละบิตต่อเนื่องกันไปผ่านทางสัญญาณเพียงเส้นเดียวจนกว่าจะหมด คือทางฝั่งผู้ส่งจะต้องทำให้ข้อมูลที่ส่งรวมทั้งข้อมูลสำหรับการควบคุมทั้งหมดรวมเป็นกระแสบิตชุดเดียวกันแล้วส่งออกมาทีละบิต

จนครบทุกบิต ทางฝั่งผู้รับก็จะรับข้อมูลเข้ามาทีละบิตซึ่งจะต้องมีโปรแกรมหรืออุปกรณ์ส่วนอื่นนำข้อมูลที่ได้รับเข้ามาไปรวมเป็นไบต์เพื่อแปลความหมายอีกต่อหนึ่ง วิธีการนี้เป็นการถ่ายทอดสัญญาณพื้นฐานที่สำคัญแบบหนึ่ง ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลแบบอนุกรม ได้แก่ โมเด็ม ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านสายอนุกรม (Serial Cable) เข้าทางพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบ RS-232 ที่ได้รับการออกแบบมาให้ส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยเฉพาะ

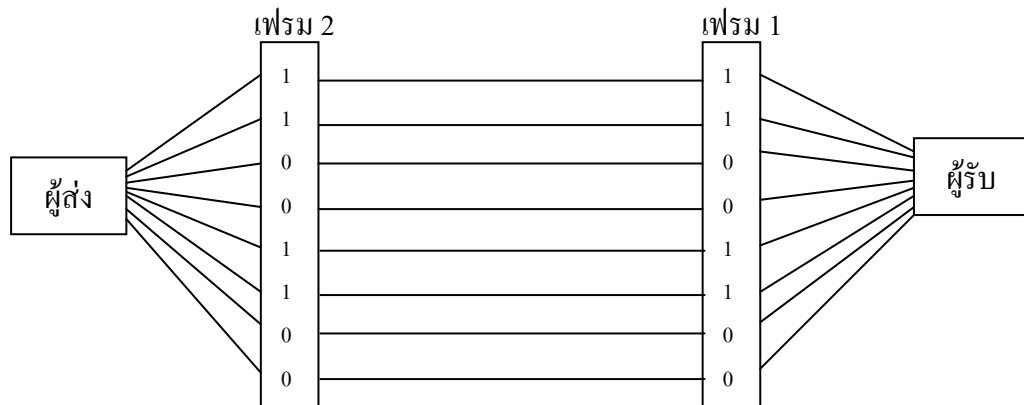


ภาพที่ 4.11 แสดงการถ่ายทอดสัญญาณแบบอนุกรม

การสื่อสารระบบอินเทอร์เน็ตเป็นแบบอนุกรม โดยใช้โปรโตคอลควบคุมการทำงานแบบ TCP/IP โปรโตคอลส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณมีสองแบบ แบบแรกเรียกว่า “Serial Line Internet Protocol (SLIP)” เป็นโปรโตคอลรุ่นเก่าที่ออกแบบไว้สำหรับทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการ UNIX โปรโตคอลนี้ทำงานโดยส่งตัวอักษรควบคุมสองตัวคือ “END” และ “ESC” เพื่อใช้บอกขอบเขตของข้อมูลที่ส่งมา ปัญหาที่สำคัญคือโปรโตคอลนี้ไม่มีการรับรองมาตรฐาน เครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะสื่อสารถึงกันจึงต้องใช้ข้อกำหนดร่วมกันโปรโตคอลแบบใหม่นี้เรียกว่า “Point-to-Point Protocol (PPP)” ซึ่งได้รับการรับรองมาตรฐานจึงสามารถใช้สื่อสารได้ทั้งแบบชิงโครนัสและอะซิงโครนัสผ่านสายสื่อสารทั้งทางตรงและผ่านโมเด็ม นอกจากนี้ยังสามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ที่ใช้มาตรฐานเดียวกันได้

4.4.2 การถ่ายทอดสัญญาณแบบขนาน

การถ่ายทอดสัญญาณแบบขนาน (Parallel Transmission) จะทำการจัดการส่งข้อมูลออกไปครั้งละหนึ่งตัวอักษรหรือหนึ่ง ดังนั้นถ้าหนึ่งไบต์มี 8 บิตก็ต้องใช้สายสัญญาณจำนวน 8 เส้น (ไม่รวมสายสัญญาณข้อมูลสำหรับการควบคุมอื่น ๆ) เพื่อส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตออกไปในคราวเดียวกัน การถ่ายทอดข้อมูลด้วยวิธีการนี้จึงมีความรวดเร็วกว่าแบบอนุกรมเป็นอย่างมาก ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้วิธีการนี้ได้แก่ เครื่องพิมพ์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านสายขนาน (Parallel Cable) เข้าทางพอร์ตขนาน (Parallel Port) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบมาให้ส่งข้อมูลแบบขนานโดยเฉพาะ



ภาพที่ 4.12 แสดงการถ่ายทอดสัญญาณแบบขนาน

เนื่องจากต้องใช้สายสัญญาณเป็นจำนวนมากในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เพียงคู่เดียว การถ่ายทอดข้อมูลวิธีการนี้จึงไม่ได้รับความนิยมนำไปใช้งานมากนัก ยกเว้นสำหรับอุปกรณ์บางอย่าง เช่น เครื่องพิมพ์ ซึ่งการใช้สายหลายเส้น (ปกติจะมัดรวมเป็นสายเส้นใหญ่และมีฉนวนหุ้มภายนอก) ไม่เป็นปัญหามากนักและมีราคาไม่แพงจนเกินไป ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ อัตราการเกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลจะสูงกว่าแบบอนุกรมมากจึงทำให้สายชนิดนี้มักจะใช้ในระยะทางสั้น ๆ เท่านั้น

ภายในเครื่องพีซี มีการส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาผ่านสายสื่อสารภายในเรียกว่า บัส (Bus) การถ่ายทอดข้อมูลนี้จำเป็นต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุด จึงต้องใช้วิธีการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนาน ถ้าหากต้องรับหรือส่งข้อมูลออกทางโมเด็มก็ต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบการถ่ายทอดข้อมูลไปเป็นแบบอนุกรม โดยใช้วงจรรวม (IC) เรียกว่า “Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)”

4.5 การเทียบจังหวะสัญญาณ

ข้อมูลที่กำลังได้รับการถ่ายทอดผ่านสายสื่อสารนั้นไม่ว่าจะเป็นการส่งในรูปแบบใด ก็จะเป็นสัญญาณที่แทนความหมายบิต 0 หรือ บิต 1 นอกจากจะต้องมีการกำหนดรูปแบบของข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ ขึ้นตอนที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งคือ การที่ผู้รับข้อมูลจะต้องทราบว่าข้อมูลจะถูกส่งออกมาในจังหวะใด และมีการจัดกลุ่มอย่างไร ผู้รับจึงจะสามารถแปลสัญญาณที่รับเข้ามาได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ขึ้นตอนนี้เรียกว่า การเทียบจังหวะสัญญาณ (Synchronization) ซึ่งแบ่งวิธีการถ่ายทอดสัญญาณออกเป็นสองประเภทคือ แบบอะซิงโครนัส และแบบซิงโครนัส

4.5.1 การถ่ายทอดสัญญาณแบบอะซิงโครนัส

การถ่ายทอดสัญญาณแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission) จะส่งข้อมูลออกมาทีละตัวอักษร โดยจะเพิ่มบิตนำหน้า (Start Bit or Space) และบิตสิ้นสุด (Stop Bit or Mark) เพื่อบอกขอบเขตของตัวอักษร ในกรณีที่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก็จะเพิ่มบิตเพริดี (Parity Bit) เข้ามาด้วย เนื่องจากการส่งข้อมูลเป็นไปทีละตัวอักษรหรือทีละไบต์ ซึ่งเป็นการส่งที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นช่วงต่อระหว่างตัวอักษรที่ส่งออกไปจึงไม่มีความสำคัญมากนัก นั่นคือตัวอักษรจำนวนหลายตัวอาจถูกส่งติดต่อกันไปโดยไม่เว้นช่วงเลย หรืออาจมีการเว้นช่วงว่าง (Idle) ระหว่างการส่งตัวอักษรแต่ละตัวก็ได้ และช่วงว่างแต่ละช่วงก็ไม่มีความจำเป็นจะต้องเท่ากัน ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจะส่ง แทนที่จะปล่อยให้ไม่มีสัญญาณเลยก็มักจะส่งบิตสิ้นสุดคือบิต 1 ติดต่อกันไปตลอดเวลาจนกว่าจะมีข้อมูลพร้อมส่ง หรือทำการยกเลิกการสื่อสารระหว่างกัน

บิตนำหน้า	ข้อมูล	บิตเพริดี	บิตสิ้นสุด	ช่วงว่าง	บิตนำหน้า	ข้อมูล	บิตเพริดี	บิตสิ้นสุด
-----------	--------	-----------	------------	----------	-----------	--------	-----------	------------

ภาพที่ 4.13 แสดงการถ่ายทอดสัญญาณแบบอะซิงโครนัส

การถ่ายทอดสัญญาณแบบอะซิงโครนัสเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ สมมุติว่าข้อมูลที่ต้องการส่งมีเพียงตัวอักษรเดียว หรือ 8 บิต แต่ข้อมูลที่ส่งออกไปจริงจะต้องเพิ่มบิตเริ่มต้นและบิตสิ้นสุดเข้าไปด้วย กลายเป็นข้อมูลขนาด 10 บิต ดังนั้นประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจึงอยู่ที่ 80% เท่านั้น ($8 \text{หาร} 10 = 0.8$) และถ้าเพิ่มบิตเพริดีเข้าไปด้วยก็จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงไปเหลือ 73% ($8 \text{หาร} 11 = 0.73$) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นวิธีการสื่อสารแบบที่ง่ายที่สุดแบบหนึ่งซึ่งยังคงมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

4.5.2 การถ่ายทอดสัญญาณแบบซิงโครนัส

การถ่ายทอดสัญญาณแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission) จะส่งข้อมูลแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งข้อมูลกลุ่มหนึ่งจะประกอบกันเป็นบล็อก (Block) ประกอบด้วยข้อมูล 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งตัวอักษรซิงค์ (Synchronous Character; SYN) จำนวน 3 ตัว ส่วนที่สองข้อมูลที่ส่งจำนวนหนึ่ง ส่วนที่สามชุดข้อมูลควบคุม (Block Control Character) และส่วนสุดท้ายตัวอักษรสิ้นสุดบล็อก (End of Block Character) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอะซิงโครนัส ในที่นี้ตัวอักษรซิงค์มีหน้าที่หลักในขณะส่งข้อมูลสองประการคือเป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของบล็อกข้อมูลและเป็นข้อมูลที่ทาง

ฝั่งผู้รับใช้ในการเปรียบเทียบจึงห้ห้การรับข้อมูลของตนเองให้สอดคล้องกับจังหวะการส่งข้อมูลของผู้ส่ง นอกจากนี้ ในกรณีที่ไม่มีกรส่งข้อมูล ผู้ส่งและผู้รับจะแลกเปลี่ยนตัวอักษรซึ่งกันและกันเพื่อประโยชน์คือ ทำให้ทั้งคู่ทราบว่าอีกฝ่ายหนึ่งยังคงทำงานอยู่ตามปกติ และทั้งคู่สามารถเปรียบเทียบจังหวะการทำงานให้ตรงกันเพื่อให้มีความพร้อมในการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

อักขรซิงค์	อักขรซิงค์	อักขรซิงค์	ข้อมูลที่เป็นกลุ่ม	ข้อมูลควบคุม	อักขรสิ้นสุดบล็อก
------------	------------	------------	--------------------	--------------	-------------------

ภาพที่ 4.14 แสดงการถ่ายทอดสัญญาณแบบซิงโครไนส์

การส่งข้อมูลในระบบนี้ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งมาในบล็อกเดียวกัน สมมุติว่ามีข้อมูลจริงจำนวน 100 ตัวอักษร ในบล็อกนี้จะต้องมีตัวอักษรซิงค์นำหน้า 3 ตัว และตามหลังอีก 3 ตัว (ใช้แทนส่วนที่ 3 และ 4) จึงมีข้อมูลส่งออกไปทั้งหมด 106 ตัวอักษร ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึง 94% ($100/106=0.94$) จึงเห็นได้ว่าถ้ามีข้อมูลปริมาณมาก การถ่ายทอดแบบซิงโครไนส์จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบอะซิงโครไนส์ จึงนิยมนำไปใช้บนเครื่องเมนเฟรมคอมพิวเตอร์หรือระบบเครือข่ายวงกว้างที่มีช่องสัญญาณขนาดใหญ่ เช่น สาย T1 อย่างไรก็ตามถ้ามีข้อมูลน้อย การถ่ายทอดแบบอะซิงโครไนส์อาจมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก

4.6 ความผิดพลาดข้อมูล

ความผิดพลาดข้อมูลเป็นความซับซ้อนยุ่งยากของการสื่อสารข้อมูลส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากผู้รับข้อมูลไม่ทราบว่าสิ่งที่ตนเองได้รับมานั้นเป็นข้อมูลที่ถูกต้องหรือไม่ ในขณะเดียวกันผู้ส่งก็ไม่แน่ใจว่าผู้รับข้อมูลจะได้รับข้อมูลตามที่ตนเองต้องการ นั่นคือข้อมูลที่ผู้รับกับข้อมูลที่ผู้ส่งนั้นไม่เหมือนกัน ข้อมูลของผู้รับจึงกลายเป็นข้อมูลผิดพลาด (Error) ดังนั้นทั้งผู้ส่งและผู้รับจึงต้องร่วมมือกันในการตรวจสอบความถูกต้อง การป้องกัน และการแก้ไขข้อมูลที่อาจทำให้เกิดผิดพลาดไปเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูลสามารถพิจารณาได้ดังนี้

4.6.1 สาเหตุที่ทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยน

สาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยนเกิดขึ้นเนื่องจากการรบกวนจากสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ภายนอกกระบวนการเครือข่าย ซึ่งเป็นสิ่งที่อาจหลีกเลี่ยงได้แต่ไม่สามารถแก้ไขได้ ในขณะที่สาเหตุอีกส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากปัญหาภายในระบบเครือข่ายเอง ซึ่งสามารถแก้ไขหรือหลีกเลี่ยงได้ สาเหตุหลักที่เกิดขึ้นอยู่เสมอและทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยนไปจากเดิมได้แก่

4.6.1.1 สัญญาณอิมพัลส์

สัญญาณอิมพัลส์ (Impulse Noise) เป็นการรบกวนที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงภายนอกกระบวนการเครือข่าย ตัวอย่างเช่น กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่า สายสื่อสารประเภทลวดทองแดงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงจะทำปฏิกิริยากับกระแสไฟฟ้าที่รุนแรงมากนั้นทำให้กระแสไฟฟ้าภายในสายสื่อสารเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม บางครั้งการใช้โทรศัพท์ขณะที่มีพายุฝน เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้นใกล้สายโทรศัพท์ ผู้ใช้จะได้ยินเสียงรบกวนแทรกเข้ามา ซึ่งเป็นผลมาจากสัญญาณอิมพัลส์เช่นกัน ถ้าเป็นสายสื่อสาร สัญญาณรบกวนนี้จะทำให้ทางฝ่ายผู้รับไม่สามารถแปลความหมายของข้อมูลที่มีความผิดเพี้ยนนี้ได้ หรืออาจทำให้การแปลความหมายผิดไปจากที่ผู้ส่งต้องการ (จากบิต 1 กลายเป็นบิต 0 หรือกลับกัน) สัญญาณประเภทนี้อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้หรือสร้างไฟฟ้าแรงดันสูง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ได้

4.6.1.2 สัญญาณกัสเซียน

สัญญาณกัสเซียน (Gaussian Noise or White Noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของลวดทองแดง เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการใช้งาน จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สัญญาณความร้อน (Thermal Noise) การส่งข้อมูลเกิดขึ้นได้ด้วยการส่งกระแสอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้า) ไปตามสายสื่อสาร เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น และถ้าความร้อนนี้อยู่ในระดับที่สูงพอ ก็จะเปลี่ยนตัวเองกลายเป็นสัญญาณรบกวนนั้นคือกลายเป็นสัญญาณที่ผู้รับไม่อาจแปลความหมายหรือแปลความหมายผิดไปจากเดิม เนื่องจากเป็นปัญหาภายในสายสื่อสารเองซึ่งแก้ไขไม่ได้ แต่สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการทำให้สายสื่อสารนั้นมีอุณหภูมิต่ำหรืออยู่ในระดับปกติอยู่ตลอดเวลา สัญญาณรบกวนประเภทนี้จะเกิดขึ้นรุนแรงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น

4.6.1.3 สัญญาณอ่อนกำลัง

การส่งสัญญาณออกไปทางสื่อกลางไม่ว่าจะทำจากวัสดุอะไร (ลวดทองแดง หรือใยแก้วนำแสง) หรือส่งออกไปด้วยสัญญาณชนิดใด (ไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุ) สัญญาณนั้นจะอ่อนกำลังลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น (Attenuation) โดยทั่วไป สัญญาณที่มีกำลังแรงตามปกติจะมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนประเภทต่าง ๆ ได้ดี แต่สัญญาณที่อ่อนกำลังลงอาจจะถูกรบกวนได้โดยง่าย วิธีการแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการใช้อุปกรณ์ เรียกว่า แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) ใช้ในระบบสัญญาณแบบแอนะล็อก หรือ รีพีตเตอร์ (Repeater) ใช้ในระบบสัญญาณแบบดิจิทัล อุปกรณ์นี้จะช่วยเพิ่มกำลังสัญญาณให้กลายเป็นสัญญาณที่มีความแรงตามปกติ ในระบบเครือข่ายที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดี จะไม่มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มกำลังสัญญาณเลย เพราะการส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งมักจะกำหนดให้ใช้ระยะทางที่เหมาะสมกับชนิดของสื่อที่เลือก สัญญาณจึงมีความแรงเพียงพอที่ปลายทาง แต่เนื่องจากสถานะแวดล้อมบางอย่างบังคับให้ต้องเลือกใช้สื่อที่ไม่สามารถส่งสัญญาณไปถึงปลายทางได้โดยตรง จึงต้องเพิ่มอุปกรณ์นี้เข้าไปเพื่อเป็นการต่อระยะการส่งสัญญาณให้ไกลมากขึ้นกว่าเดิม

4.6.1.4 Crosstalk

การวางสายสื่อสาร (โดยปกติหมายถึงสายลวดทองแดง) หลายเส้นไว้ด้วยกัน จะสร้างปัญหา เรียกว่า Crosstalk คือสัญญาณจากสายสื่อสารต่าง ๆ จะเกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน โดยปกติสายสื่อสารทุกชนิดจะมีฉนวนหุ้มอยู่ ซึ่งจะป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก และป้องกันไม่ให้สัญญาณภายในสายกระจายออกไปภายนอก แต่ในกรณีที่ฉนวนเกิดการชำรุดก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นทั้งสองทางได้ การใช้สายสื่อสารขนาดเล็กเกินไปหรือใช้สัญญาณที่มีระดับความแรงมากเกินไปก็จะทำให้เกิดปัญหาได้เหมือนกันการใช้โทรศัพท์ระบบเก่าขององค์การโทรศัพท์ ซึ่งเป็นแบบแอนะล็อกจะเกิดปัญหานี้บ่อยมากคือคู่สนทนาจะได้ยินเสียงสนทนาที่มาจากสายคู่อื่น

สายสื่อสารที่ส่งสัญญาณที่เกิดจากการผสมสัญญาณตามความถี่คลื่นจะมีโอกาสเกิดปัญหาคrosstalk มาก เนื่องจากความถี่คลื่นแต่ละคลื่นที่นำมาผสมกันนั้นอาจใกล้เคียงกันเกินไปจนรบกวนกันเอง การใช้สัญญาณไมโครเวฟก็มีโอกาสเกิดขึ้นมาก ถ้าเสาสัญญาณอยู่ใกล้กันและความถี่ที่ใช้นั้นใกล้เคียงกันหรือทับซ้อนกัน โดยทั่วไปแล้วปัญหาคrosstalk ไม่ใช่ปัญหาใหญ่สามารถหลีกเลี่ยงและแก้ไขได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การรบกวนกันเองนี้จะไม่รุนแรงจนเกิดผลเสียร้ายแรงต่อการสื่อสารข้อมูล

ปัญหาการรบกวนที่รุนแรงเกิดขึ้นเมื่อมีการแปลงสัญญาณระหว่างกัน (Intermodulation Noise) นั่นคือความถี่ของสัญญาณสองสัญญาณมารวมตัวกันเป็นสัญญาณความถี่ใหม่ที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการใช้งาน เช่น สมมติว่าสัญญาณสองความถี่ขนาด 1,500 Hz และ 2,000 Hz ถูกส่งออกมาทางสายโทรศัพท์ (Voice-grade Line) ซึ่งสามารถส่งสัญญาณความถี่ที่อยู่ระหว่าง 300 ถึง 3,400 Hz ถ้าสัญญาณทั้งสองที่ส่งออกมานั้นเกิดการแปลงสัญญาณระหว่างกันเกิดเป็นสัญญาณความถี่ 3,500 Hz ($1,500+2,000=3,500$) แล้ว สัญญาณนี้จะไม่สามารถส่งไปทางสายโทรศัพท์ได้ ทำให้ผู้รับจะไม่ได้รับสัญญาณใด ๆ เลย

4.6.1.5 การบิดเบี้ยวสัญญาณเนื่องจากดีเลย์

ด้วยคุณสมบัติตามธรรมชาติของคลื่นสัญญาณที่ส่งออกมาทางสายสื่อสาร สัญญาณที่ใช้ความถี่คลื่นไม่เท่ากันแม้ว่าจะถูกส่งออกมาจากผู้ส่งพร้อมกัน แต่จะเดินทางมาถึงผู้รับไม่พร้อมกัน คุณลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การบิดเบี้ยวของสัญญาณเนื่องจากดีเลย์ (Delay Distortion) ความเร็วของคลื่นสัญญาณที่อยู่ตรงกลาง (ภายในช่วงคลื่นที่ส่งออกมา) จะมีความเร็วสูงสุดในขณะที่คลื่นความถี่ใกล้เคียงจะมีความเร็วลดลงและคลื่นที่อยู่ด้านขอบบนและขอบล่างจะมีความเร็วต่ำที่สุด ดังนั้นข้อมูลที่จะไปถึงทางฝั่งผู้รับจึงไปถึงไม่พร้อมกันและอาจทำให้การแปลความหมายผิดไปได้ การแก้ปัญหานี้จะต้องใช้อุปกรณ์เรียกว่า อีควอลไลเซอร์ (Equalizer) ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับความเร็วของคลื่นสัญญาณทั้งหมดให้เท่ากันเพื่อให้เดินทางไปถึงผู้รับพร้อมกัน

4.6.1.6 ปัญหาของสายสื่อสาร

ปัญหาสุดท้ายที่มักจะเกิดขึ้นอยู่เสมอในการสื่อสารข้อมูลคือ ปัญหาในเรื่องของสายสื่อสาร นั่นคือสายสื่อสารอาจชำรุดหรือขาดออกจากกัน เรียกว่า Line Failure ในกรณีนี้ระบบการสื่อสารจะหยุดชะงัก ไม่สามารถใช้งานได้จนกว่าสายสื่อสารที่ชำรุดหรือขาดจะได้รับการซ่อมแซมให้เหมือนเดิมต่อไป

4.6.2 การตรวจหาความผิดเพี้ยนข้อมูล

สาเหตุที่ทำให้ข้อมูลเกิดการผิดเพี้ยนในระหว่างการถ่ายทอดนั้นมีมากมาย ทำให้ในการถ่ายทอดข้อมูลทุกครั้งไม่ว่าจะใช้วิธีการใดในสื่อชนิดใด มีโอกาสที่ข้อมูลจะเกิดผิดเพี้ยนได้เสมอ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องได้รับการแก้ไขให้ถูกต้องก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป การตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล จำเป็นจะต้องแบ่งข้อมูลออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อช่วยให้การทำงานง่ายขึ้น เรียกว่าแพ็คเกจ (Packet) หรือ เฟรม (Frame) หมายถึงหน่วยที่เล็กที่สุดของข้อมูลที่ถูกจัดเตรียมสำหรับการนำส่ง (ไม่มี

ความสัมพันธ์โดยตรงกับหน่วยข้อมูลอื่น ๆ เช่น บิตหรือไบต์) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจริงและข้อมูลสำหรับการควบคุมต่าง ๆ

4.6.2.1 การตรวจสอบแพริตี้

วิธีการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลแบบที่เก่าแก่ที่สุดและเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การตรวจสอบแพริตี้ (Parity Checking) หรือเรียกว่า การตรวจสอบซ้ำซ้อนตามแนวดิ่ง (Vertical Redundancy Check; CRV) วิธีการนี้ได้รับการออกแบบมาสำหรับการตรวจข้อมูลแต่ละตัวอักษรหรือไบต์ ที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการนำส่งโดยการเพิ่มข้อมูลพิเศษ เรียกว่า แพริตี้บิต เข้าไปกับข้อมูลจริงสำหรับทุก ๆ ตัวอักษร

การถ่ายทอดข้อมูลโดยใช้การตรวจสอบแพริตี้มีอยู่สองแบบ คือการตรวจสอบแพริตี้คู่ (Even Parity) และการตรวจสอบแพริตี้คี่ (Odd Parity) แบบแพริตี้คู่ จะนับจำนวนบิต 1 ที่มีอยู่ในตัวอักษรที่ต้องการตรวจสอบรวมทั้งแพริตี้บิต ซึ่งจะต้องมีจำนวนเป็นเลขคู่ (2,4,6,8) ส่วนแพริตี้คี่ จะมีจำนวนบิต 1 เป็นจำนวนเลขคี่ (1,3,5,7) ขอยกตัวอย่างอธิบายในรูปของตารางดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้รหัสแอสกีมาตรฐาน (7 บิตต่อหนึ่งตัวอักษร) แทนตัวอักษร A-K

ตัวอักษร	รหัสแอสกี 7 บิต	แพริตี้บิต	ตัวอักษรที่ส่ง
A	1000001	0	10000010
B	1000010	0	10000100
C	1000011	1	10000111
D	1000100	0	10001000
E	1000101	1	10001011
F	1000110	1	10001101
G	1000111	0	10001110
SPACE	0100000	1	01000001
H	1001000	0	10010000
I	1001001	1	10010011
J	1001010	1	10010101
K	1001011	0	10010110

จากตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เข้ารหัสแอสกีมาตรฐาน (7 บิตหนึ่งตัวอักษร) แทนตัวอักษร A,B,C,...และ K ตามลำดับ ผู้ส่งข้อมูลต้องคำนวณหาเพรดีบิตสำหรับแต่ละตัวอักษรและเติมเข้าไปเป็นบิตที่แปดสำหรับตัวอักษรนั้น ๆ เช่น ตัว A มีจำนวนบิต 1 เท่ากับ 2 บิต ซึ่งเป็นเลขคู่อยู่แล้ว จึงให้เพรดีบิตของ A มีค่าเป็น 0 ส่วนตัวอักษร C มีจำนวนบิต 1 เท่ากับ 3 บิต ซึ่งเป็นเลขคี่ จึงให้เพรดีบิตของ C มีค่าเป็น 1 เพื่อให้จำนวนบิต 1 กลายเป็น 4 บิตซึ่งเป็นเลขคู่

ทางฝ่ายผู้รับจะต้องตรวจสอบข้อมูลที่รับเข้ามาทีละตัวอักษรโดยการนับจำนวนบิต 1 (รวมเพรดีบิตของตัวอักษรนั้น ๆ ด้วย) ที่มีอยู่ ถ้ามีจำนวนเป็นเลขคู่ แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกต้อง แต่ถ้ามีจำนวนเป็นเลขคี่ แสดงว่าตัวอักษรนั้นได้ผิดเพี้ยนไปจากเดิมแล้ว ซึ่งจะต้องถูกส่งมาใหม่ วิธีนี้ทำงานได้ผลดีก็ต่อเมื่อการผิดเพี้ยนเกิดขึ้นเพียงบิตเดียว หรือจำนวนบิตที่ผิดเพี้ยนเกิดขึ้นเป็นจำนวนเลขคี่ (1, 3, 5 และ 7) เพราะผลการคำนวณเพรดีจะออกมาเป็นเลขคี่ซึ่งไม่ถูกต้อง จึงสามารถตรวจพบความผิดเพี้ยนนี้ได้ แต่ถ้าจำนวนบิตที่ผิดเพี้ยนเป็นจำนวนเลขคู่ (2, 4, 6 และ 8) แล้วจะไม่สามารถตรวจพบความผิดเพี้ยนนี้ได้ เพราะผลการคำนวณเพรดีจะออกมาเป็นเลขคู่ซึ่งน่าจะถูกต้องแต่จริงแล้วไม่ถูกต้อง

ตารางที่ 4.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เพรดีคู่ผิดเพี้ยน 2 หรือ 4 บิต

ตัวอักษร	ข้อมูลที่ส่ง	ข้อมูลที่ได้รับ
A	1 <u>0</u> 00010 Bits Changed	1 <u>1</u> 00010
B	10000100	10000100
C	10000111	10000111
D	10001000	10001000
E	10001011	10001011
F	10001101	10001101
G	1000 <u>111</u> 0 บิตที่ถูกเปลี่ยน	1000 <u>000</u> 1
SPACE	01000001	01000001
H	10010000	10010000
I	10010011	10010011
J	10010101	10010101
K	10010110	10010110

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าตัวอักษร A มีบิตที่สองและบิตที่สามผิด ส่วนตัวอักษร G มีบิตที่ห้าถึงบิตที่แปดผิดไปจากเดิม ในทั้งสองกรณี การตรวจสอบแบบพริตซ์จะไม่สามารถตรวจพบความ ผิดเพี้ยนนี้ได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของการตรวจพริตซ์จึงมีความถูกต้องแค่ 50% เท่านั้น

การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการตรวจพริตซ์สามารถทำได้โดยใช้วิธีเรียกว่า การตรวจซ้ำซ้อนตามแนวนอน (Longitudinal Redundancy Checking; LRC) ซึ่งจะเพิ่มตัวอักษรพิเศษเข้าไปที่ตอนท้ายสุดของบล็อก ตัวอักษรนี้เรียกว่า ตัวอักษรควบคุมบล็อก (Block Control Character; BCC) ซึ่งนำมาใช้สำหรับการตรวจพริตซ์ของข้อมูลทั้งบล็อก ข้อมูลชุดเดียวกันกับตัวอย่างในตารางที่ 4.3 แต่ได้เพิ่มตัวอักษรควบคุมบล็อกเข้าไป ข้อมูลสำหรับแต่ละบิตของตัวอักษรนี้ได้มาจากการคำนวณหาพริตซ์บิต (ในตัวอย่างนี้เป็นพริตซ์คู่) ของตัวอักษรทั้งหมดทีละบิต เช่น เมื่อพิจารณาบิตแรกของ ตัวอักษร A, B,... ไปจนถึง K จะพบว่า มีจำนวนบิต 1 เท่ากับ 11 ตัว ซึ่งเป็นตัวคี่ ดังนั้นบิตแรกของ ตัวอักษรควบคุมบล็อกจึงต้องเป็นบิต 1 เพื่อให้บิตรวมทั้งหมดกลายเป็น 12 ตัว ซึ่งเป็นตัวคู่ ในทำนองเดียวกันบิตต่อ ๆ มาของตัวอักษรควบคุมบล็อกจะต้องเป็น 1, 0, 0, 0, 0 และ 0 ตามลำดับ รวมทั้งบิตที่แปดก็ต้องใช้วิธีการเดียวกันจึงได้บิต 0 เป็นตัวสุดท้าย ทางด้านผู้รับก็จะใช้วิธีการตรวจสอบ ข้อมูลทั้งแบบพริตซ์และการตรวจสอบตัวอักษรควบคุมบล็อกที่รับเข้ามาเพื่อทำให้มีประสิทธิภาพขึ้น

ตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างข้อมูลพริตซ์คู่ที่มีตัวอักษรควบคุมบล็อก

ตัวอักษร	รหัสแอสกี 7 บิต	พริตซ์บิต	ตัวอักษรที่ส่ง
A	1000001	0	11100010
B	1000010	0	10000100
C	1000011	1	10000111
D	1000100	0	10001000
E	1000101	1	10001011
F	1000110	1	10001101
G	1000111	0	10000001
SPACE	0100000	1	01000001
H	1001000	0	10010000
I	1001001	1	10010011
J	1001010	1	10010101
K	1001011	0	10010110

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงตัวอย่างข้อมูลแพริตี้คู่ที่มีตัวอักษรควบคุมบล็อก

ตัวอักษร	รหัสแอสกี 7 บิต	แพริตี้บิต	ตัวอักษรที่ส่ง
BCC	1100000	0	11000000

จากตารางที่ 4.4 ถึงแม้ว่าการเพิ่มการตรวจสอบตัวอักษรควบคุมบล็อกจะเพิ่มความถูกต้องมากขึ้น แต่ก็ไม่สามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ทั้งหมด ข้อมูลที่เกิดการผิดพลาดขึ้น 4 แห่ง แต่่วาวิธีการนี้จะไม่สามารถ ตรวจพบความผิดพลาดนี้ได้เลย อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดที่แสดงใน ตารางที่ 4.5 เป็นสิ่งที่ผิดปกติและมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นจริงน้อยมาก เพราะจะต้องเกิดการผิดพลาดที่สอดคล้องกันทั้งที่ตัวอักษรต่าง ๆ และที่ตัวอักษรควบคุมบล็อกพร้อม ๆ กัน

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลผิดพลาดกับตัวอักษรควบคุมบล็อก

ตัวอักษร	ข้อมูลที่ส่ง	ข้อมูลที่ได้รับ
A	1 <u>0</u> 000010 Bits Changed	1 <u>1</u> 000010
B	10000100	10000100
C	10000111	10000111
D	10001000	10001000
E	10001011	10001011
F	10001101	10001101
G	100011 <u>10</u> Bits Changed	100000 <u>01</u>
SPACE	01000001	01000001
H	10010000	10010000
I	10010011	10010011
J	10010101	10010101
K	10010110	10010110
BCC	1 <u>1</u> 0000 <u>00</u> Bits Changed	1 <u>0</u> 1000 <u>11</u>

4.6.2.2 การตรวจสอบแบบซีอาร์ซี

การตรวจสอบแบบซีอาร์ซีหรือการซ้ำซ้อนแบบวนซ้ำ (Cyclic Redundancy Checking; CRC) ใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ทฤษฎีที่

นำมาใช้คือ ทฤษฎีสมการโพลิโนเมียล (Polynomial Equation) ซึ่งนำมาใช้คำนวณหาตัวเลขที่เหมาะสมกับข้อมูล โดยปกติความผิดพลาดของข้อมูลจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน และไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นตัวเลขที่เกิดขึ้นจากการคำนวณจึงเป็นตัวเลขที่ไม่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นตามธรรมชาติเลย วิธีการนี้จะกำหนดตัวเลขโพลิโนเมียลสำหรับใช้งานขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลจริงที่จะส่งมาไปหารด้วย ตัวเลขนี้ ข้อมูลจริงจะถูกส่งไปพร้อมกับเศษที่เหลือจากการหารเรียกว่า X ทางด้านผู้รับก็จะใช้วิธีการเดียวกันในการคำนวณหาเศษที่เหลือจากการหารเรียกว่า Y แล้วเปรียบเทียบกับเศษการหารที่ส่งไปพร้อมกับข้อมูล ถ้าเป็นตัวเลขเดียวกันคือ $X=Y$ แสดงว่าข้อมูลจริงที่มานั้นถูกต้องแล้ว

การนำวิธีการนี้ไปใช้งานจริงก็จะทำให้การตรวจสอบหาข้อมูลผิดพลาดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการตรวจแพริตี้ ซึ่งสามารถให้ความถูกต้องได้ 100% การใช้โพลิโนเมียลที่มีจำนวนบิตมากขึ้นก็ยิ่งให้ความมั่นใจได้สูงขึ้นและนิยมนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

4.6.3 การแก้ไขความผิดพลาดข้อมูล

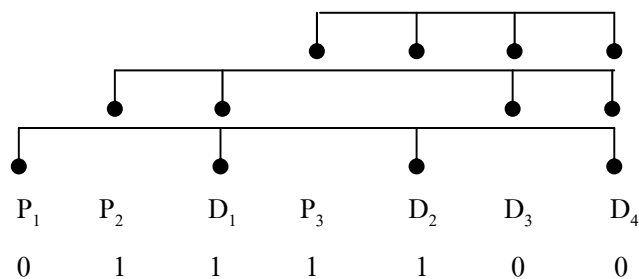
ข้อมูลผิดพลาดที่ถูกตรวจพบได้รับการแก้ไขในสองแนวทางคือ การแก้ไขแบบไม่ส่งข้อมูลซ้ำ และแบบส่งข้อมูลซ้ำ ซึ่งการแก้ไขแบบไม่ส่งข้อมูลซ้ำนั้น ผู้รับข้อมูลสามารถแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดได้เอง ส่วนการแก้ไขแบบส่งข้อมูลซ้ำจะต้องให้ผู้ส่งจัดการส่งข้อมูลที่ผิดพลาดนั้นมาใหม่ การเลือกใช้วิธีการแก้ไขนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายสื่อสารและวิธีการที่ใช้

4.6.3.1 การแก้ไขแบบไม่ส่งข้อมูลซ้ำ

การแก้ไขแบบไม่ส่งข้อมูลซ้ำเรียกว่า Forward Error Correction ถูกออกแบบมาสำหรับการผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพียงบิตเดียว (Single-bit Error) ต่อข้อมูลหนึ่งบล็อก (Block) ข้อมูลสำหรับการแก้ไขจะถูกส่งไปพร้อมกับข้อมูลจริงทำให้ปริมาณข้อมูลโดยรวมสูงมาก ถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลผิดพลาดที่เกิดขึ้นมากกว่าหนึ่งบิต (Multiple-bit Error) แล้ว ยังจะทำให้ปริมาณข้อมูลโดยรวมสูงขึ้นไปอีกจนทำให้ไม่เหมาะสมแก่การนำมาใช้งานจริง เช่น บางวิธีกำหนดให้ส่งข้อมูลเป็นปริมาณสองเท่าของข้อมูลจริง (Total Redundancy)

ตัวอย่างของวิธีการแก้ไขแบบไม่ส่งซ้ำที่ได้รับความนิยมอย่างสูงได้แก่ การแก้ไขข้อมูลแบบแฮมมิง (Hamming Code) ซึ่งนำวิธีการแบบแพริตี้มาประยุกต์ให้มีความเที่ยงตรงสูงขึ้นโดยการเพิ่มบิตข้อมูลสำหรับควบคุมเข้าไปด้วย การแก้ไขข้อมูลแบบแฮมมิงใช้แพริตี้แบบคู่ (Even Parity) จำนวนหลายบิตในการตรวจสอบข้อมูล เช่น ข้อมูลขนาด 4 บิต คือ 1100 ที่เขียนกำกับด้วย D1, D2, D3

และ D4 ตามลำดับ โดยมีข้อมูลควบคุมแพริตี้แบบคู่จำนวน 3 บิต คือ 011 ที่เขียนกำกับด้วย P1, P2 และ P3 ตามลำดับ ต่อจากนั้นข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาผสมกันและจัดลำดับใหม่กลายเป็นข้อมูลขนาด 7 บิต ซึ่งข้อมูลควบคุมแต่ละตัวใช้สำหรับการตรวจสอบข้อมูลจริงจำนวน 3 บิต (กลายเป็น 4 บิต) ข้อมูลควบคุมบิต P1 ใช้กับข้อมูลจริงตัวที่ D1, D2, D3 และ D4 (กลายเป็น 0110) ในทำนองเดียวกันบิต P2 ใช้กับข้อมูลตัวที่ D1, D3, และ D4 (กลายเป็น 1100) จะเห็นได้ว่าข้อมูลทุกกลุ่มจะมีคุณสมบัติแพริตี้คู่เหมือนกันหมด วิธีการนี้ยืมนำไปใช้ในการส่งข้อมูลที่ผู้รับไม่สามารถแจ้งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้แก่ผู้ส่งได้ เช่น การส่งข้อมูลแบบทิศทางเดียว หรือในบางกรณีที่การส่งข้อมูลมีปัญหาด้านอื่นมาบังคับ เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียมที่มีค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูลสูงมาก (ถ้าต้องส่งข้อมูลชุดเดิมซ้ำ) เมื่อนำไปเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มบิตข้อมูลควบคุมเข้าไปกับข้อมูลจริง



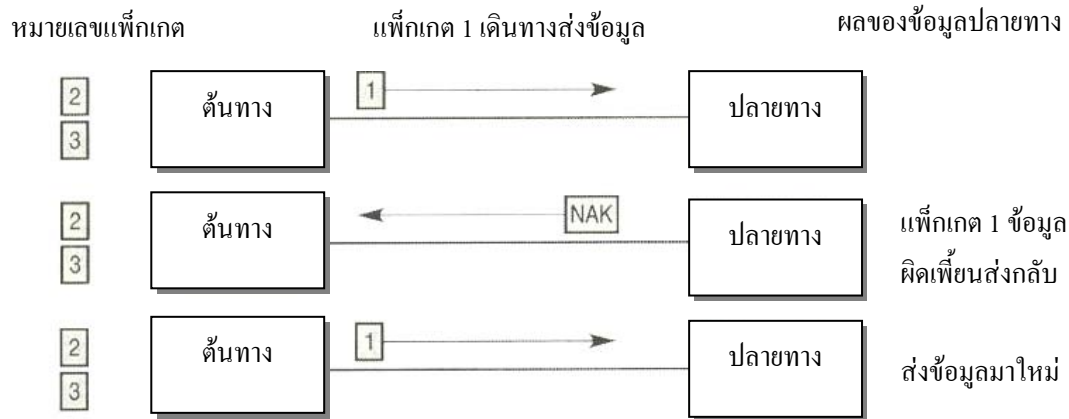
ภาพที่ 4.15 แสดงแฮมมิงโค้ด

4.6.3.2 การแก้ไขแบบส่งข้อมูลซ้ำ

การแก้ไขแบบส่งข้อมูลซ้ำ (Error Detection With Retransmission) กำหนดให้ผู้ส่งจัดการส่งข้อมูลที่เกิดผิดพลาดขึ้นมาใหม่ วิธีการที่นิยมกันโดยทั่วไปเรียกว่า การขอส่งข้อมูลซ้ำโดยอัตโนมัติ (Automatic Repeat Request; ARQ) ซึ่งมีอยู่สามแบบคือ แบบหยุดคอย แบบส่งย้อนกลับ และแบบต่อเนื่อง มีรายละเอียดดังนี้

(1) การขอส่งข้อมูลซ้ำอัตโนมัติแบบหยุดคอย (Stop-and-wait ARQ) จะกำหนดให้ข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตมีหมายเลขเฉพาะของตนเองและส่งออกทางช่องสื่อสารแล้วจึงหยุดคอย ข้อมูลที่ไปถึงผู้รับจะถูกตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าพบว่าถูกต้องผู้รับจะส่งข่าวสารเรียกว่า การตอบรับ (Acknowledgement; ACK) กลับมา ผู้ส่งจึงจะส่งแพ็กเก็ตในลำดับต่อไป แต่ถ้าพบว่าข้อมูลผิดพลาด ผู้รับจะส่งข่าวสารการตอบปฏิเสธ (Negative Acknowledgement; NAK) กลับมาแทน ซึ่งผู้ส่งจะต้องส่งแพ็กเก็ตเดิมไปยังผู้รับอีกครั้งหนึ่งหรือจนกว่าจะได้รับการตอบรับกลับมา จะเห็นได้ว่าวิธีการนี้มี ประสิทธิภาพในระดับต่ำมาก ช่องสื่อสารส่วนใหญ่จะว่างเปล่าคือ ไม่มีการส่งข้อมูลเนื่องจากเวลา ส่วนใหญ่ในการรอคอยระหว่างผู้รับและผู้ส่ง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ได้รับความนิยมในการใช้

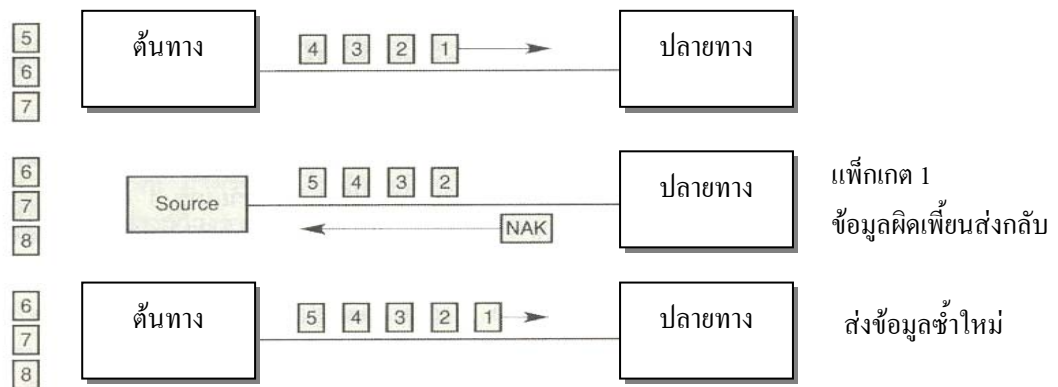
งานทั้งบนเครื่องเมนเฟรมและในระบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายแก่การนำไปใช้
ง่ายต่อการควบคุม และสามารถไว้วางใจได้ดี



ภาพที่ 4.16 แสดงการขอส่งข้อมูลซ้ำอัตโนมัติแบบหยุดคอย

ที่มา : ภาวนา ผ่าน้อย, 2547, หน้า 140

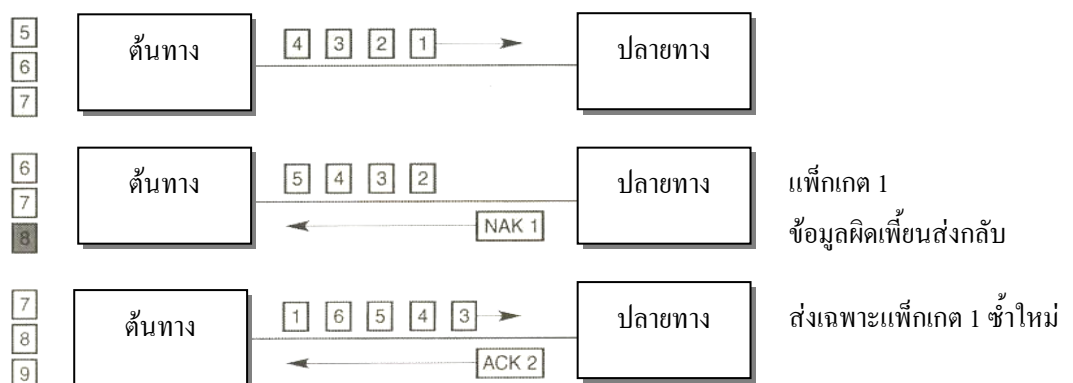
(2) การขอส่งข้อมูลซ้ำอัตโนมัติแบบส่งย้อนกลับ (Go-back-N ARQ) ปรับปรุงวิธีการแรกโดยยอมให้ผู้ส่งสามารถส่งแฟ้มเกิดข้อมูล (ที่มีการกำหนดหมายเลขเฉพาะ) ได้อย่างต่อเนื่องทางฝ่ายผู้รับยังคงตรวจสอบข้อมูลที่แต่ละแฟ้มเกิดแล้วจึงส่งการตอบรับสำหรับแฟ้มเกิดที่ถูกต้องหรือตอบปฏิเสธกลับไปสำหรับแฟ้มเกิดที่มีข้อมูลผิดเพี้ยน เช่น สมมุติว่าแฟ้มเกิดหมายเลข 1 มีข้อมูลผิดเพี้ยน ดังนั้นผู้รับจะส่งการตอบปฏิเสธแฟ้มเกิดหมายเลข 1 กลับไปยังผู้ส่ง ทางด้านผู้ส่ง (ซึ่งได้ส่งแฟ้มเกิดหมายเลข 2 ถึง 5 ไปแล้ว) จะต้องย้อนกลับไปส่งแฟ้มเกิดหมายเลข 1 รวมทั้งแฟ้มเกิดที่ส่งตามหลังหมายเลข 1 (คือแฟ้มเกิดหมายเลข 2 ถึง 5) กลับมาใหม่ทั้งหมดในกรณีที่แฟ้มเกิดหมายเลข 1 ถูกต้อง ทั้งผู้รับและผู้ส่งก็จะไม่ต้องเสียเวลาในการรอคอย เพราะผู้รับก็จะได้รับแฟ้มเกิดหมายเลข 2 ในทันที ถ้าไม่มีข้อมูลผิดเพี้ยนเกิดขึ้นเลย ก็จะทำให้การส่งข้อมูลวิธีนี้เสียเวลาในการรอคอยน้อยมาก แต่ถ้ามีข้อมูลผิดเพี้ยนเกิดขึ้นมาก ประสิทธิภาพของวิธีนี้จะไม่แตกต่างจากวิธีการแรกเลย อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อมูลถูกส่งเข้าสู่ระบบเครือข่ายตลอดเวลา และข้อมูลแฟ้มเกิดหนึ่งอาจถูกส่งซ้ำแล้วซ้ำอีกได้หลายครั้ง เช่น แฟ้มเกิดหมายเลข 2 ถึง 5 จะถูกส่งซ้ำจนกว่าแฟ้มเกิดหมายเลข 1 จะไปถึงผู้รับอย่างถูกต้อง



ภาพที่ 4.17 แสดงการขนส่งข้อมูลซ้ำอัตโนมัติแบบส่งย้อนกลับ

ที่มา : ภาวนา ผ่าน้อย, 2547, หน้า 141

(3) การขนส่งข้อมูลซ้ำอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง (Continuous ARQ) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและได้รับการนำไปใช้ในการส่งข้อมูลความเร็วสูงบนเครื่องเมนเฟรมและโปรโทคอลการสำเนาเพิ่มข้อมูลความเร็วสูงต่าง ๆ มากมาย วิธีนี้ทำงานเหมือนกับการส่งข้อมูลแบบย้อนกลับแต่ได้ปรับปรุงการตอบสนองเมื่อข้อมูลผิดพลาดโดยการส่งเฉพาะแพ็กเก็ตที่เสียหายเท่านั้น เมื่อผู้รับส่งการตอบปฏิเสธแพ็กเก็ตหมายเลข 1 มา ผู้ส่งก็จะส่งเฉพาะแพ็กเก็ตหมายเลข 1 กลับไปใหม่เท่านั้น (แพ็กเก็ตหมายเลข 6 แสดงให้เห็นว่าผู้ส่งยังคงจัดการส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุด) อย่างไรก็ตามแพ็กเก็ตที่ไปถึงผู้รับอาจอยู่ในลำดับที่ไม่ถูกต้อง เช่น แพ็กเก็ตทางด้านผู้รับจะเป็นหมายเลข 2, 3, 4, 5, 6 และ 1 จึงเป็นหน้าที่ของฝ่ายผู้รับที่จะต้องจัดการเรียงลำดับแพ็กเก็ตข้อมูลให้ถูกต้องก่อนที่จะนำข้อมูลนั้นไปใช้งานต่อไป ประสิทธิภาพของวิธีการนี้จึงเกิดขึ้นจากการที่ผู้ส่งสามารถส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องครบเท่าที่มีข้อมูลจะต้องส่งออกไปและข้อมูลที่จะต้องถูกส่งซ้ำเป็นข้อมูลที่เกิดการผิดพลาดเท่านั้น



ภาพที่ 4.18 แสดงการขนส่งข้อมูลซ้ำอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง

ที่มา : ภาวนา ผ่าน้อย, 2547, หน้า 142

การส่งข้อมูลแบบต่อเนื่องอีกแบบหนึ่งเรียกว่า การส่งข้อมูลแบบหน้าต่างเลื่อนไหล (Sliding Window) ซึ่งจะกำหนดช่วงหมายเลข (Window) ที่ถูกต้องระหว่างผู้ส่งและผู้รับข้อมูล ผู้ส่งจะต้องหยุดส่งข้อมูล ในเวลาเดียวกัน ผู้รับก็จะรับข้อมูลที่มีหมายเลขในช่วงที่กำหนดเท่านั้น ช่วงหมายเลขที่ใช้จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ เมื่อผู้ส่งได้ส่งข้อมูลออกไป และผู้รับได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและส่งการตอบรับกลับไปยังผู้ส่ง กระบวนการนี้เป็นการป้องกันการส่งข้อมูลที่ไปไม่ถึงผู้รับ เช่น สายสื่อสารขาด หรือเครื่องผู้รับหยุดทำงาน) และป้องกันการส่งข้อมูลซ้ำ

4.6.4 มาตรฐานการควบคุมความผิดพลาดข้อมูล

โมเด็มโดยทั่วไปจะมีวิธีการควบคุมความผิดพลาดข้อมูลที่กำหนดขึ้นโดยมาตรฐานหลายชนิดรวมเรียกว่า Microcom Networking Protocols (MNP) มาตรฐานนี้ไม่มีการกำหนดไว้อย่างเป็นทางการ แต่ก็ได้รับการยอมรับและนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง การกำหนดมาตรฐาน MNP มี 3 ระดับ เฉพาะส่วนที่นำมาใช้กับโมเด็มจากทั้งสิบ 10 ระดับ มาตรฐานระดับ 4 ซึ่งเป็นระดับสูงสุดในกลุ่มนี้จะรวมข้อกำหนดของระดับ 2 และระดับ 3 ไว้ด้วย มาตรฐานอื่น เช่น V.24 จะใช้วิธีการควบคุมความผิดพลาดข้อมูลตาม MNP ระดับชั้น 4 โดยมี Link Protocol for Modem (LAP-M) เป็นโพรโทคอลสำรอง

4.6.5 การป้องกันความผิดพลาดข้อมูล

การป้องกันไม่ว่าจะนำไปใช้ในเรื่องใด ย่อมเป็นวิธีการทำงานที่ดีที่สุดในที่นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้การสื่อสารข้อมูลมีความเชื่อถือได้ เนื่องจากการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากช่องสื่อสารให้หมดสิ้นไปนั้นเป็นสิ่งที่ไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการลดปริมาณของสัญญาณรบกวนให้น้อยลง ซึ่งอาจทำได้โดยผู้สื่อสารเองและผู้ให้บริการสื่อสารต่าง ๆ

วิธีการป้องกันสัญญาณรบกวนแบบที่ง่ายที่สุดคือ การใส่หรือเพิ่มฉนวนให้แก่สายสื่อสาร ซึ่งจะช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดภายนอกสายสื่อสาร และช่วยลดหรือขจัดปัญหาสัญญาณรบกวนระหว่างสายสื่อสาร เช่น ครอสทอล์ก หรือสัญญาณอิมพัลส์ได้

ความเร็วในการส่งข้อมูล เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่ออัตราการเกิดข้อผิดพลาดข้อมูล นั่นคือ การส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงมีโอกาสจะเกิดข้อผิดพลาดข้อมูลได้มาก ดังนั้นการลดความเร็วในการส่งข้อมูลลงจะช่วยให้อัตราการเกิดข้อผิดพลาดข้อมูลต่ำลง

4.7 การถ่ายทอดสัญญาณดิจิทัล

การถ่ายทอดสัญญาณดิจิทัล หมายถึง การถ่ายทอดข้อมูลโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณให้เป็นแบบแอนะล็อกด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งจะต้องถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นแบบดิจิทัลในภายหลัง โดยปกติข้อมูลซึ่งถูกเก็บอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นอยู่ในรูปแบบดิจิทัลอยู่แล้ว การถ่ายทอดสัญญาณแบบดิจิทัลจึงอาศัยการปรับรูปแบบเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของสื่อที่ใช้ก็สามารถถ่ายทอดข้อมูลนั้นออกไปได้ ระบบเครือข่ายสมัยใหม่แบบหนึ่งที่ออกแบบมาสำหรับการถ่ายทอดข้อมูลดิจิทัลโดยเฉพาะเรียกว่า ระบบเครือข่ายดิจิทัลแบบรวมการ (Integrated Services Digital Network ISDN) ระบบเครือข่ายนี้มีข้อดีเหนือกว่าระบบอื่น ๆ คือ มีอัตราการเกิดข้อผิดพลาดที่ต่ำ สามารถจัดขั้นตอนในการแปลงสัญญาณเป็นแบบแอนะล็อกและแปลงสัญญาณกลับมาเป็นดิจิทัล และมีความสามารถในการส่งข้อมูลสูง นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการส่งสัญญาณจากข้อมูลหลายประเภท คือ เสียงสนทนา ข้อมูลคอมพิวเตอร์ ภาพวิดีโอ ภาพกราฟิกและข้อมูลควบคุมต่าง ๆ ผ่านสายสื่อสารเส้นเดียวกัน

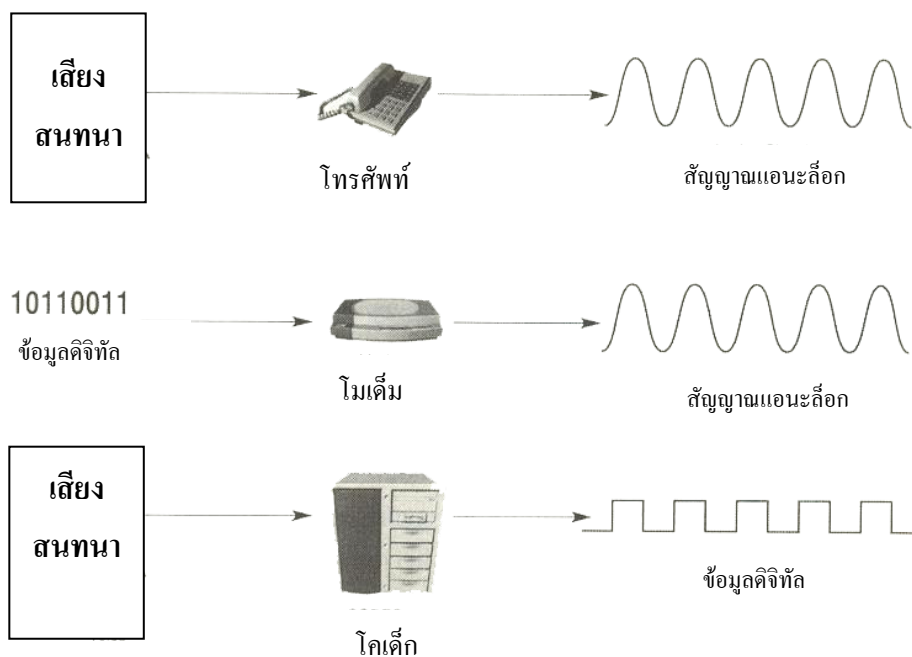
ระบบเครือข่ายดิจิทัลแบบรวมการ ประกอบด้วยสายสื่อสารแบบดิจิทัลความเร็ว 64,000 bps จำนวนสองเส้นสำหรับการส่งข้อมูล (มีความเร็วรวมเท่ากับ 128,000 bps) และสายสื่อสารสำหรับการควบคุม ความเร็ว 16,000 bps เส้นหนึ่ง สายสื่อสารในระบบเครือข่ายนี้จึงต้องแยกออกจากสายโทรศัพท์ทั่วไป ซึ่งมีความเร็วต่ำกว่าและเป็นระบบแอนะล็อก

ในปัจจุบัน บริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ เช่น องค์กรโทรศัพท์แห่งประเทศไทย บริษัททีเอช หรือบริษัท ทีทีแอนทีฯ จะมีบริการระบบเครือข่ายดิจิทัลแบบรวมการให้แก่ผู้ใช้ในบางพื้นที่ ดังนั้น องค์กรต่าง ๆ และผู้ใช้โทรศัพท์ตามบ้านพักสามารถติดตั้งระบบนี้เพื่อติดต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะช่วยให้ความเร็วในการสื่อสารให้เร็วขึ้น

สายสื่อสารระบบดิจิทัลอีกแบบหนึ่งเรียกว่า ระบบดีเอสแอล (Digital Subscriber Line; DSL) โดยใช้คำย่อสำหรับการอ้างอิงทั่วไปว่า xDSL เช่น ADSL ระบบนี้ยังคงใช้สายโทรศัพท์แอนะล็อกแบบเดิมในขณะที่ผู้ใช้สามารถสนทนาและรับ-ส่งข้อมูลดิจิทัลไปพร้อม ๆ กัน ความเร็วในการรับข้อมูลจากโฮสต์ (Download Speed) อยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 8.0 Mbps และความเร็วในการส่งข้อมูลไปยังโฮสต์ (Upload Speed) อยู่ระหว่าง 16 ถึง 640 Kbps เป็นที่คาดหวังว่าระบบนี้จะสามารถนำมาให้บริการได้ในอนาคตอันใกล้

ในการสื่อสารแบบไร้สายแบบดิจิทัล มีวิธีการแบบใหม่เรียกว่า Local Multipoint Distribution Service (LMDS) ซึ่งทำงานที่ย่านความถี่สูงกว่า 20 GHz สามารถรับ-ส่งข้อมูลดิจิทัลแบบสองทาง สำหรับข้อมูลเสียง ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ อินเทอร์เน็ต และวิดีโอ มีระยะรับ-ส่งไกลถึง 5 ไมล์และส่งสัญญาณแบบจุด-ต่อ-หลายจุด คือส่งสัญญาณออกไปแบบกระจายเสียง แต่ในการตอบรับเป็นแบบจุด-ต่อ-จุด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สัญญาณดิจิทัลที่จะส่งผ่านสายสื่อสารแบบแอนะล็อกจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกเสียก่อน เมื่อถึงเป้าหมายก็จะต้องเปลี่ยนสัญญาณกลับมาเป็นแบบดิจิทัล ในทางกลับกันการส่งสัญญาณแอนะล็อก เช่น เสียงสนทนา ผ่านสายสื่อสารระบบดิจิทัลนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์เรียกว่า โคเด็ค (Coder/Decoder; CODEC) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ส่งผ่านสายสื่อสาร และใช้โคเด็คที่ปลายทางเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณแอนะล็อกอีกครั้งหนึ่ง

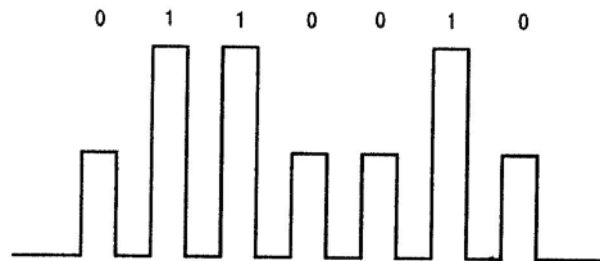


ภาพที่ 4.19 แสดงโคเด็คและการส่งสัญญาณ

ที่มา : ภวนา ผ่าน้อย, 2547, หน้า 143

จากภาพที่ 4.19 แสดงลักษณะของสัญญาณแบบต่าง ๆ และอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นดิจิทัลสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์เรียกว่า พัลส์โค้ดมอดูเลชัน (Pulse Code Modulation; PCM) สัญญาณแอนะล็อกจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นกระแสบิตโดยใช้เทคนิคการสุ่มสัญญาณ (Sampling) เพื่อส่งออกไปทางสายสื่อสาร ทางด้านผู้รับก็จะแปลงกระแสบิตให้กลับเป็นรูป

คลื่นสัญญาณแอนะล็อก สัญญาณพัลส์ (Pulse) แต่ละลูกจะใช้แทนความหมายบิตหนึ่งบิตโดยที่ความสูงของพัลส์จะใช้แทนความหมายบิต 0 หรือ 1



ภาพที่ 4.20 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลแบบ PCM

ที่มา : สัตยยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544

การสื่อสารในระบบดิจิทัลช่วยแก้ปัญหาหลายอย่างที่เกิดขึ้นในการสื่อสารระบบแอนะล็อก สัญญาณดิจิทัลที่ถูกส่งเข้าสู่สายสื่อสารสามารถถูกสร้างขึ้นใหม่ได้หลายครั้งจนกว่าจะถึงเป้าหมาย โดยที่ไม่ทำให้ความหมายเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมและไม่ทำให้อัตราการผิดเพี้ยนข้อมูลเพิ่มขึ้นด้วย

สายสื่อสารชนิด T-carrier เป็นตัวอย่างสายสื่อสารระบบดิจิทัลที่มีให้บริการแก่องค์กรและผู้ใช้ทั่วไป ซึ่งมีความเร็วในการส่งข้อมูลได้สูงถึง 1.544 Mbps และความเร็วในการส่งสัญญาณเสียงในรูปแบบดิจิทัล 64,000 bps โดยใช้สายทองแดงแบบสายคู่บิดเกลียวที่มีใช้อยู่ทั่วไป

4.8 บทสรุป

การถ่ายทอดข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายจำเป็นต้องอาศัยทั้งอุปกรณ์และโปรแกรมมาทำงานร่วมกัน ข้อมูลจะถูกส่งออกไปผ่านทางคลื่นพาหะ ซึ่งวิธีการปรับเปลี่ยนคลื่นพาหะจะเป็นตัวบอกวิธีที่ข้อมูลถูกส่งออกไป การปรับเปลี่ยนคลื่นพาหะหรือการผสมคลื่นแบบเอเอ็ม ใช้ความสูงของคลื่นพาหะแทนความหมายข้อมูลบิต 0 และบิต 1 การผสมคลื่นแบบเอฟเอ็ม ใช้ความถี่หรือจำนวนลูกคลื่นต่อหน่วยเวลา แทนความหมายข้อมูลบิต 0 และบิต 1 ส่วนการผสมคลื่นแบบพีเอ็ม ใช้การเปลี่ยนทิศทางของเส้นคลื่นแทนความหมายข้อมูลบิต 0 และบิต 1

ปัญหาที่สำคัญที่สุดเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลคือ การตรวจหา การแก้ไข และการป้องกันข้อมูลผิดเพี้ยนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการส่งข้อมูล การผิดเพี้ยนของข้อมูลอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณรบกวนภายนอกหรือเกิดจากปัญหาภายในระบบเอง วิธีการตรวจหาข้อมูลผิดเพี้ยนสองวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ การตรวจพริตตี้ ซึ่งมีระดับความเชื่อถือได้ประมาณ 50% เท่านั้น อีกวิธีหนึ่งคือ

การตรวจสอบซ้ำซ้อนแบบวนซ้ำ ซึ่งมีระดับความเชื่อถือได้ถึง 100% ในบางกรณี การแก้ไขข้อมูล ผิดเพี้ยนที่ถูกรวบรวมมักจะใช้วิธีการส่งข้อมูลชุดเดิมซ้ำมากกว่าปล่อยให้ผู้รับข้อมูลแก้ไขเอง เนื่องจาก ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลลดลงและต้องใช้ทรัพยากรของระบบมากเกินไป การป้องกันอาจทำได้ง่าย ๆ ด้วยการใส่สายที่มีฉนวนหุ้ม การวางสายและการเรียกเข้ามาใหม่ (สำหรับโมเด็ม) และการลดความเร็วในการส่งข้อมูล

4.9 คำถามทบทวน

- 4.9.1 จงอธิบายหลักการแปลงสัญญาณแบบเอเอ็มพร้อมแสดงภาพประกอบมาให้เข้าใจ
- 4.9.2 จงอธิบายหลักการแปลงสัญญาณแบบเอฟเอ็มพร้อมแสดงภาพประกอบมาให้เข้าใจ
- 4.9.3 ปัจจุบันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลใช้วิธีใดพร้อมอธิบาย
- 4.9.4 จงอธิบายลักษณะการถ่ายทอดสัญญาณแบบทิศทางเดียวพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
- 4.9.5 จงอธิบายลักษณะการถ่ายทอดสัญญาณแบบทิศทางสมบูรณ์พร้อมยกตัวอย่างประกอบ
- 4.9.6 จงอธิบายลักษณะของสัญญาณกึ่งเส้นมีลักษณะเป็นอย่างไร
- 4.9.7 จงอธิบายลักษณะการถ่ายทอดสัญญาณแบบอนุกรมมาให้เข้าใจ
- 4.9.8 จงอธิบายลักษณะการถ่ายทอดสัญญาณแบบขนานมาให้เข้าใจ
- 4.9.9 จงอธิบายลักษณะการถ่ายทอดสัญญาณแบบอะซิงโครนัสมาให้เข้าใจ
- 4.9.10 จงอธิบายลักษณะของสัญญาณอิมพัลส์มีลักษณะเป็นอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

นิตรชัย สุมาลย์. (2544). การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย (ปรับปรุงใหม่).

กรุงเทพมหานคร : หจก. ไทยเจริญการพิมพ์.

_____. (2527). การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย. กรุงเทพมหานคร :

บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และ ทินกร คึก. (มปป.). การสื่อสารข้อมูล. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
การพิมพ์.

พิพัฒน์ หิรัณย์วิชชากร. (2542). ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์. กรุงเทพมหานคร :

บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด.

ไพศาล สงวนหมู่และยืน ภู่วรรณ. (ม.ป.ป.). การสื่อสารและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค.

กรุงเทพมหานคร : หจก. เอช-เอ็น การพิมพ์.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2543). ศัพท์คอมพิวเตอร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน แก้ไขเพิ่มเติม.

กรุงเทพมหานคร : หจก.อรุณการพิมพ์.

วาทีต เบญจพลกุล. (2543). การสื่อสารข้อมูล. กรุงเทพมหานคร : ไฮ-เทค การพิมพ์.

วาสนา สุขกระสานดี. (2540). โลกของคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สัลยุทธ์ สว่างวรรณ. (2544). การสื่อสารข้อมูลระดับพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ UNIVERSAL
GRAPHIC&TRADING.

สุรสิทธิ์ ราษฎร์. (2545). การสื่อสารข้อมูล. กรุงเทพมหานคร : งานตำราและเอกสารการพิมพ์ คณะ

ครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุริยัน ศรีสวัสดิ์กุล. (2540). ระบบสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

การพิมพ์.

Douglas E. Comer. (2001). **Computer Networks and Internets**, 3rd ed. New Jersey, USA :

Prentice Hall.

Goldman, J. (2000). **Applied Data Communications**. John Wiley & Sons, Inc.