

การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัล (Digital Transmission)

Line coding is the process of arranging symbols that represent binary data in a particular pattern for transmission.

การส่งผ่านข้อมูล-ข่าวสาร ระหว่างอุปกรณ์สองชุด ภายในเครือข่าย สามารถทำได้ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับประเภทของช่องสัญญาณ ได้แก่ 1) ส่งข่าวสารผ่านตัวกลางไปในรูปของ สัญญาณดิจิทัล เหมาะสำหรับการส่งผ่านตัวกลางแบบ Low-Pass หรือตัวกลางที่มีการแบ่งปันช่องสัญญาณแบบ Temporal (Time) และ 2) แปลงข่าวสารเป็น สัญญาณอนาล็อก ก่อนส่งผ่านตัวกลาง เหมาะสำหรับการส่งผ่านตัวกลางแบบ Band-Pass หรือตัวกลางที่มีการแบ่งปันช่องสัญญาณแบบ Frequency

การเข้ารหัสสัญญาณ

การเข้ารหัสสัญญาณ (Line Coding) คือกระบวนการในการแปลงข้อมูลเลขฐานสอง (อนุกรมของบิต) ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

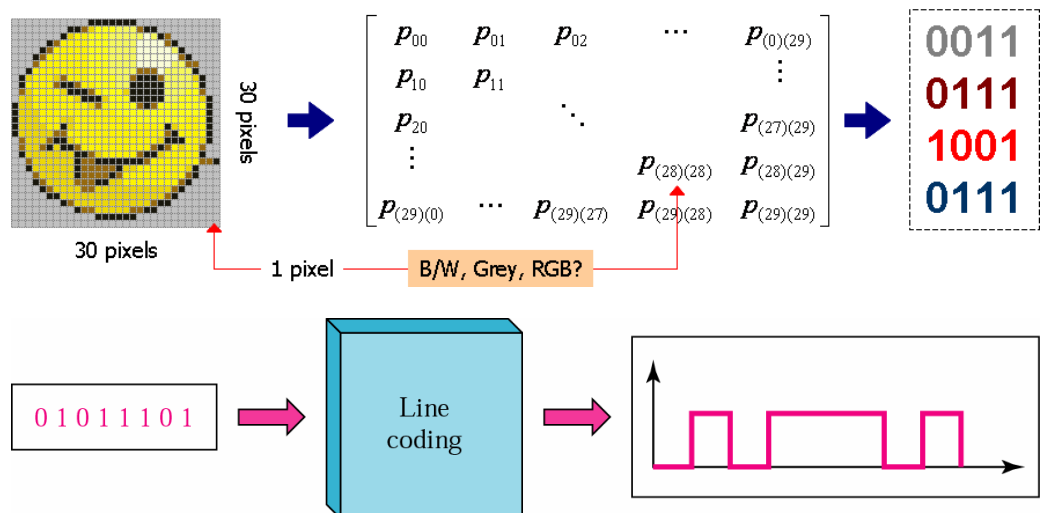


FIGURE 4.1 กระบวนการแปลงข้อมูล Binary จากภาพ Bitmap (บน) ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมี 2 ระดับ (ล่าง)

คุณลักษณะของการเข้ารหัสสัญญาณ (Signal Characteristics)

คุณลักษณะของ Line Coding มีหลายประการ ซึ่งมีความสำคัญต่อการพิจารณา และดำเนินการ Line Coding ด้วยวิธีต่างๆ ดังมีต่อไปนี้

Signal Levels versus Data Levels สัญญาณดิจิทัล คือสัญญาณที่มี **จำนวน** ของระดับสัญญาณที่เป็นไปได้จำกัด ซึ่งบางระดับ (บางค่า) อาจใช้สำหรับจุดประสงค์อื่นอีกด้วย นอกเหนือจากการนำเสนอข้อมูล ดังนั้นจึงเรียก จำนวนของระดับสัญญาณที่เป็นไปได้ทั้งหมดว่า **Signal Levels** และระดับสัญญาณเฉพาะส่วนที่ใช้นำเสนอข้อมูลว่า **Data Levels** ดังตัวอย่าง

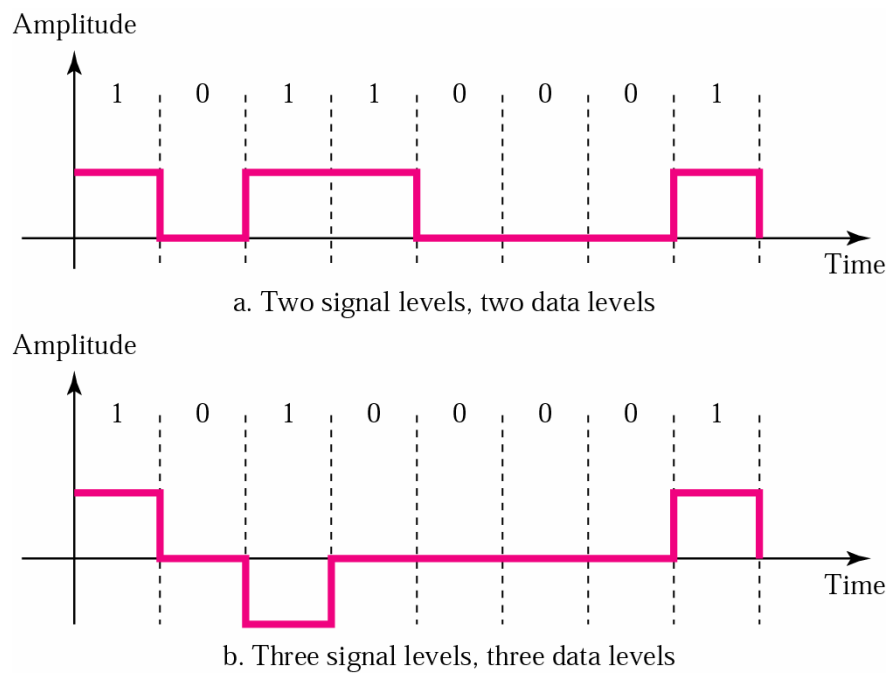


FIGURE 4.2 Timing Diagram ของสัญญาณที่มี Signal Level และ Data Level 2 ระดับ (บน) และสัญญาณที่มี Signal Level และ Data Level 3 ระดับ (ล่าง)

Pulse Rate versus Bit Rate ในบริบทของสัญญาณดิจิทัล นิยาม Pulse Rate ว่าเป็นช่วงหนึ่งของสัญญาณที่ใช้สำหรับส่งข้อมูล 1 สัญลักษณ์ (Symbol) ในขณะที่ Bit คือหน่วยที่เล็กที่สุดของข้อมูล ย่อมาจาก Binary Digit ดังนั้น Pulse Rate และ Bit Rate คือจำนวนของ สัญลักษณ์ และจำนวนของ Bit ที่สัญญาณดิจิทัล สามารถส่งได้ภายใน 1 วินาที ตามลำดับ



ถ้า 1 Pulse บรรจุข้อมูล N Bits จะได้ว่า $\text{Bit Rate} = \text{Pulse Rate} \times N$

เนื่องจาก N Bits สามารถใช้แทนระดับสัญญาณได้ $L = 2^N$ ระดับ

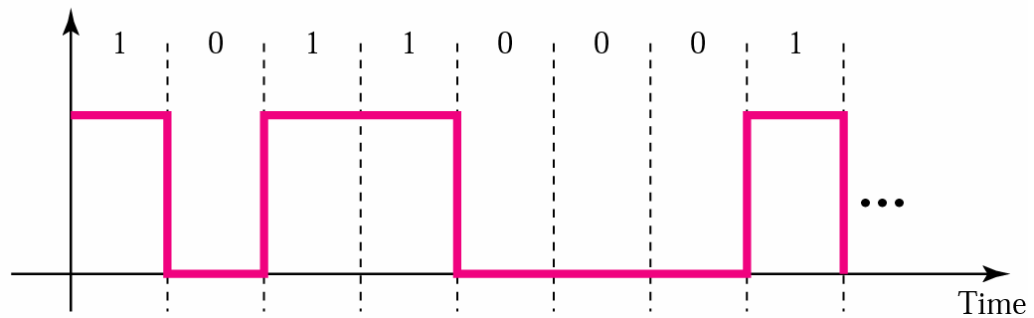
จะได้ความสัมพันธ์

$$\text{Bit Rate} = \text{Pulse Rate} \times \log_2 L$$

DC Components คือองค์ประกอบกระแสตรง (Direct Current) ซึ่งปรากฏใน Spectrum ของสัญญาณในรูปของ องค์ประกอบที่มีความถี่เป็นศูนย์ **ข้อดี** ของสัญญาณดิจิทัล ที่มีองค์ประกอบ

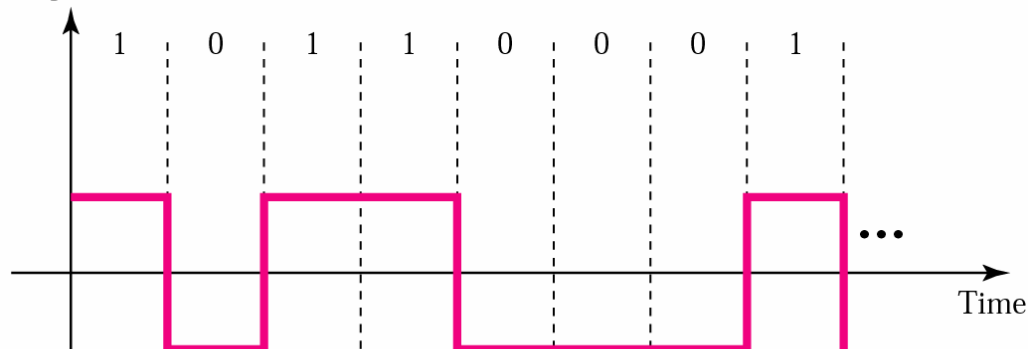
กระแสดรคือ ทำให้ออกแบบเครื่องรับ – ส่งได้ง่าย ในขณะที่ **ข้อเสีย** ของ DC Component คือ ไม่สามารถผ่านระบบเชื่อมต่อของช่องสัญญาณ ซึ่งการทำงานต้องอาศัยการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Alternating Current: AC) เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ได้ ซึ่งอาจทำให้เกิด Distortion ในสัญญาณฝั่งด้านรับ และยิ่งไปกว่านั้นกำลังงานบางส่วนอาจสูญเสียไปในตัวกลางในรูปของความร้อนอีกด้วย ทำให้ประสิทธิภาพกำลังงานไม่ดีเท่าที่ควร ตัวอย่างของสัญญาณดิจิทัลที่มี DC Component และ ไม่มี DC Component แสดงดังรูปที่ 4.3 a) และ b) ตามลำดับ

Amplitude



a. A signal with dc component

Amplitude



b. A signal without dc component

FIGURE 4.3 สัญญาณดิจิทัล ที่มี DC Component s (a) และสัญญาณที่ไม่มี DC Components (b)

Self Synchronization เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลมีความถูกต้อง Bit Interval ของฝั่งด้านรับ และด้านส่งจะต้องตรงกันทุกประการ โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาในการเข้าจังหวะ หากมีความเหลื่อมล้ำกัน แม้เพียงเล็กน้อยจะทำให้การตีความหมายข้อมูลผิดพลาด กระบวนการ Self Synchronization คือการปรับสัญญาณนาฬิกาแบบอัตโนมัติ (ที่ฝั่งด้านรับ) โดยอาศัยการเพิ่มส่วนบ่งชี้ (Indicator) แฝงไว้ใน Pulse ที่ส่งออกไปจากฝั่งด้านส่ง เมื่อสัญญาณนาฬิกาเกิดการเบี่ยงเบน อุปกรณ์ ณ ฝั่งด้านรับจะทำการปรับแต่งแก้ไข เพื่อให้ Bit Interval ตรงกันอีกครั้งโดยอาศัยส่วนบ่งชี้ดังกล่าว

กระบวนการเข้ารหัสสัญญาณ (Line Coding)

กระบวนการ Line Coding สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของระดับสัญญาณ ได้แก่ Unipolar, Polar และ Bipolar ทั้งนี้ คำว่า Polar ในที่นี้ยืมมาจากการเรียกตำแหน่งของจุดจ่าย

พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง (Ground) ซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีการทำ Line Coding แต่ละประเภท โดยละเอียดต่อไป

Unipolar เป็นการส่งสัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบที่สามารถทำได้ง่ายที่สุด เนื่องจาก Polar หรือ ขั้ว หมายถึงความเป็น $\pm$ ของระดับสัญญาณ Unipolar ได้แก่สัญญาณที่มีระดับสัญญาณ เพียงขั้วเดียว (+ หรือ - อย่างใดอย่างหนึ่ง) เทียบกับ Ground จากตัวอย่างในรูปที่ 4.4 ระดับสัญญาณที่เป็นบวก และ Ground แทนเลข 1 และ 0 ตามลำดับ

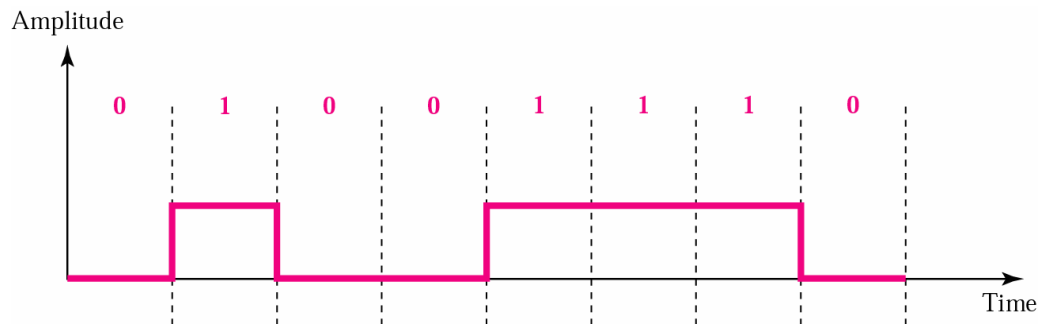


FIGURE 4.4 สัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบ Unipolar เมื่อขั้วสัญญาณเป็น +

เมื่อสังเกต Bit Interval ของสัญญาณจะพบว่าไม่มีองค์ประกอบที่สามารถระบุตำแหน่งของการทำ Self Synchronization ได้ ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณตลอดกรอบที่กำหนดแล้วจะพบว่าสัญญาณ Unipolar จะมีองค์ประกอบ DC อยู่ ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ดังกล่าว จึงทำให้การส่งสัญญาณด้วยวิธีนี้ ไม่เหมาะกับการสื่อสารในรูปแบบปกติ หากแต่ยังมีที่ใช้ในระบบควบคุม Electronics อัดโนมัติพื้นฐานบางระบบ

Polar เป็นการส่งสัญญาณดิจิทัล ที่ใช้ระดับสัญญาณ 2 ขั้ว (ทั้ง + และ -) ในการนำเสนอข้อมูล เนื่องจากข้อมูลปกติ จะถูกแทนที่ด้วยระดับสัญญาณแต่ละขั้วเป็นส่วนๆ กัน ดังนั้นระดับแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณจึงมีค่าเข้าใกล้ 0 หรืออีกนัยหนึ่งมี DC Component แฝงอยู่น้อยใน Spectrum การส่งสัญญาณ แบบ Polar ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 4 วิธี ได้แก่ Non-Return-to-Zero (NRZ), Return to Zero (RZ), Manchester และ Differential Manchester

Non-Return-to-Zero (NRZ) เป็นวิธีการส่งสัญญาณดิจิทัล ที่ระดับสัญญาณเป็นไปได้ 2 กรณีเท่านั้นคือมีขั้วเป็น + หรือเป็น - (ไม่มีระดับสัญญาณ Ground หรือ 0) แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

NRZ – L (Level) สัญญาณขึ้นอยู่กับ สถานะ ของบิตเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ระดับสัญญาณจะมีค่า เป็นบวก (+) และลบ (-) เมื่อบิตข้อมูล เป็น 0 และ 1 ตามลำดับ

NRZ – I (Invert) สัญญาณจะเปลี่ยนขั้ว (จาก + เป็น - หรือกลับกัน) เมื่อพบบิตข้อมูล 1 อนึ่งพบบิตข้อมูล 0 ติดกัน (โอกาสเกิดน้อย) จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจสูญเสียความสามารถในการทำ Self Synchronization ได้

รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างการส่งสัญญาณดิจิทัล ด้วยรูปแบบ NRZ – L และ NRZ – I

Return-to-Zero (RZ) เป็นวิธีการส่งสัญญาณดิจิทัล ที่คล้ายกับกรณี NRZ ทว่ามีการเพิ่มตัวบ่งชี้ (Indicator) ภายใน Pulse กล่าวคือ สัญญาณจะกลับไปสู่ระดับ Ground (0) ทุกครึ่งกลางบิต ทั้งนี้เพื่อสร้าง Self Synchronization เมื่อมีบิต 0 (หรือ 1) ติดกัน

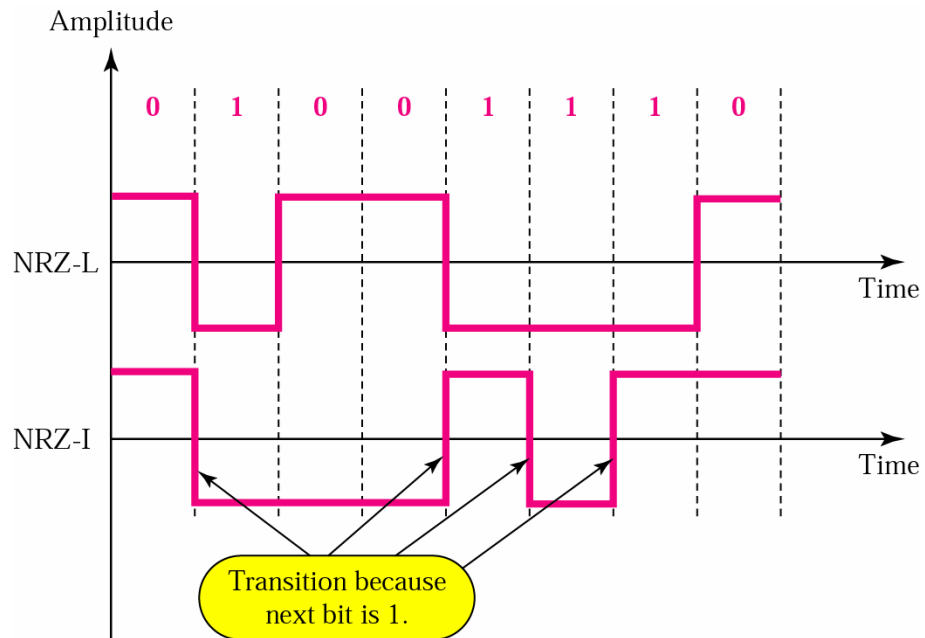


FIGURE 4.5 สัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบ Polar ซึ่งใช้การเข้ารหัสแบบ Non-Return-to-Zero แบบ L (บน) และแบบ I (ล่าง)

รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังการส่งสัญญาณดิจิทัล ด้วยวิธี Return-to-Zero (RZ) สังเกตว่า ข้อต่อของการส่งสัญญาณด้วยวิธีนี้ ได้แก่ เนื่องจากการเปลี่ยนระดับสัญญาณ 2 ครั้งต่อการ นำเสนอข้อมูล 1 บิต ทำให้ **Pulse Rate** มีค่าสูงกว่า **Bit Rate**

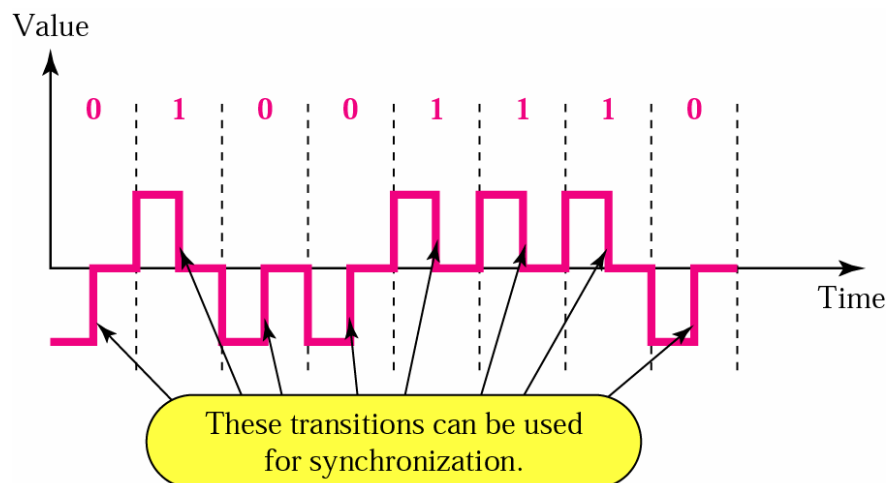


FIGURE 4.6 สัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบ Polar ซึ่งใช้การเข้ารหัสแบบ Return-to-Zero (RZ)

Manchester เป็นวิธีการส่งสัญญาณดิจิทัล ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลง (Transition) ณ กึ่งกลางบิต เพื่อจุดประสงค์สองประการ

- นำเสนอข้อมูล 0 และ 1 ด้วยรูปแบบ Transition ที่แตกต่างกัน (จากรูป บวกไปลบ และ ลบไปบวก ตามลำดับ)
- ใช้ขอบของ Transition เป็นตัวบ่งชี้ในการทำ Self Synchronization

ข้อดีของการส่งสัญญาณด้วยวิธีนี้ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณ 2 ครั้ง ต่อการแสดงผลข้อมูล 1 บิต แต่ใช้ระดับสัญญาณเพียงสองค่า (ไม่มี Ground) ซึ่งทำให้ต้องการ Bandwidth ต่ำกว่าการส่งสัญญาณด้วยวิธี Return-to-Zero

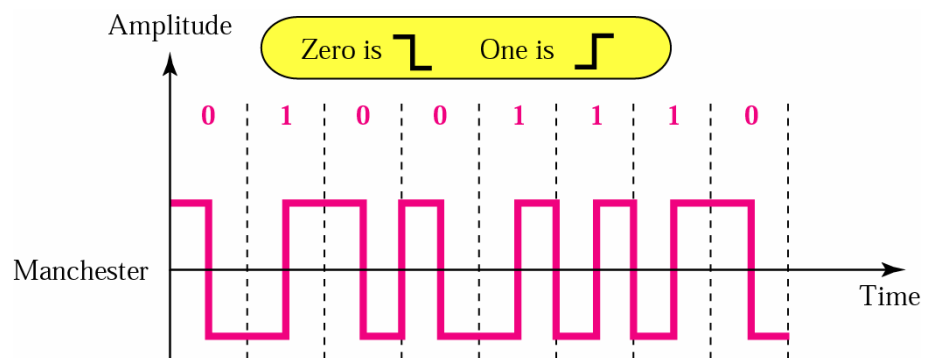


FIGURE 4.7 สัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบ Polar ซึ่งใช้การเข้ารหัสแบบ Manchester

Differential Manchester ใช้หลักการ Transition คล้ายกับวิธี Manchester ทว่าในกรณีนี้ Transition กึ่งกลางบิต ใช้สำหรับในการทำ Self Synchronization เท่านั้น ส่วนการนำเสนอข้อมูลจะใช้ Transition ณ จุดเริ่มต้นของบิต กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าเป็นการนำเสนอข้อมูล 0 มิฉะนั้นจะเป็นการนำเสนอข้อมูล 1 ดังรูปที่ 4.8

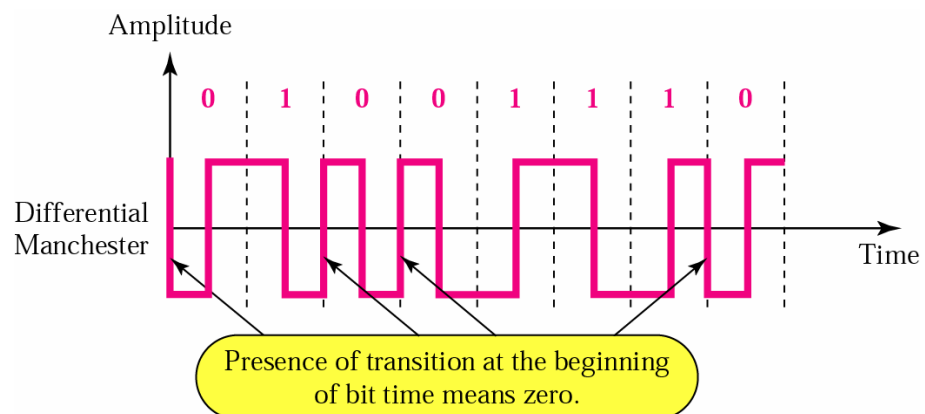


FIGURE 4.8 สัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบ Polar ซึ่งใช้การเข้ารหัสแบบ Differential Manchester

ข้อดีของวิธีนี้คือถ้ามีข้อมูล 1 ติดกันเป็นจำนวนมาก ค่า Bandwidth โดยเฉลี่ยจะลดลง

Bipolar เป็นการส่งสัญญาณดิจิทัล ที่ใช้ระดับสัญญาณ 2 ขั้ว (ทั้ง + และ -) และ Ground ในการนำเสนอสัญญาณ

Alternate Mark Inversion (AMI) ส่งสัญญาณดิจิทัล โดยแทนข้อมูล 0 ด้วยระดับ Ground โดยแทนข้อมูล 1 ด้วย + และ - สลับกัน ดังรูปที่ 4.9

เพื่อป้องกันตัวกลางมีระดับสัญญาณ Ground เป็นเวลานาน กรณีมีเลข 0 ที่ติดกันหลายบิต จะใช้วิธีการ **BnZS** จะแทนเลข 0 ตัวที่ n ด้วย + หรือ - ให้ขัดแย้งกับกฎปกติของ AMI เพื่อให้ตัวรับสามารถแยกแยะได้ว่าเป็น Inversion ของข้อมูล 1 หรือ ข้อมูล 0 (ที่ติดกัน)

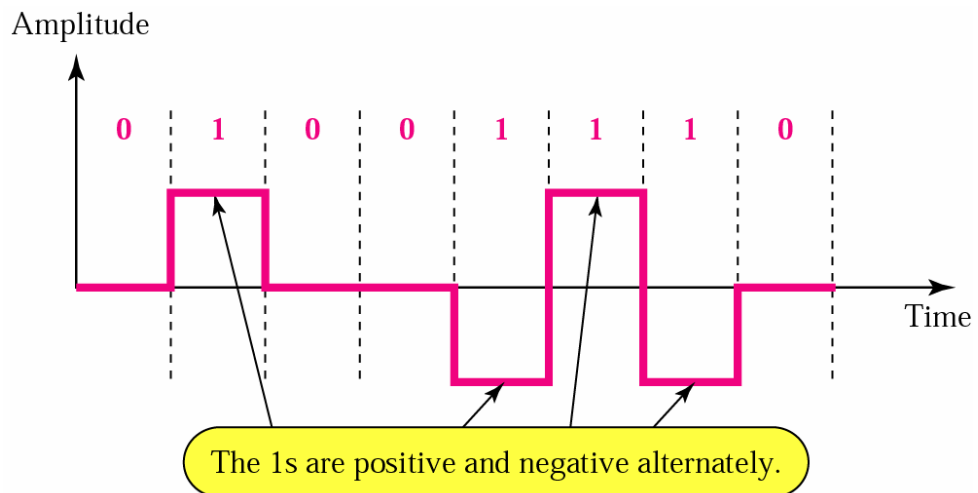


FIGURE 4.9 สัญญาณดิจิทัล ในรูปแบบ Bipolar ซึ่งใช้การเข้ารหัสแบบ Alternate Mark Inversion

นอกจากนี้ยังมีการทำ Line Coding วิธีอื่นๆ ที่น่าสนใจอีกเช่น Multiline Transmission 3 Levels (MLT – 3) และ 2 – Binary 1 – Quaternary (2B1Q) เป็นต้น

การเข้ารหัสแบบกลุ่ม

การเข้ารหัสแบบกลุ่ม (Block Coding) คือการแปลง กลุ่มของ ข้อมูลเลขฐานสองให้เป็นรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ ในการทำ Self Synchronization และการตรวจจับข้อผิดพลาด

ขั้นตอนของการทำ Block Coding มีดังต่อไปนี้

1. Division ได้แก่ การจัดบิตข้อมูลออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ m บิต
2. Substitution ได้แก่ การแทนที่ข้อมูล m บิต ที่ได้จากการ Division ด้วยข้อมูล n บิต ($n > m$) ทั้งนี้จะบางส่วนของข้อมูลขนาด n บิต ไม่ได้ถูกใช้ในการแทนที่
3. Line Coding ได้แก่ การเข้ารหัสข้อมูลของเลขฐานสองแต่ละบิตที่ได้จากการ Substitution ให้เป็นรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล (มักใช้วิธีที่ง่ายที่สุด)

แผนผังการทำงานของ Block Coding สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10

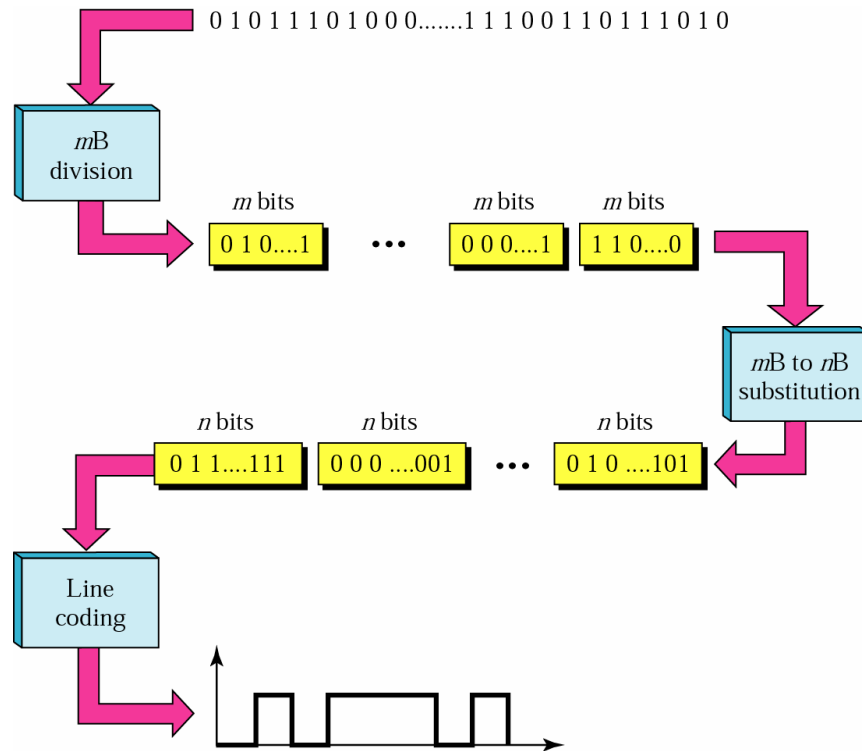


FIGURE 4.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ Block Coding ประกอบด้วย Division Substitution และ Line Coding

ตัวอย่างของการทำ Block Coding ได้แก่ วิธี 4B/5B ซึ่งจะแทนที่กลุ่มข้อมูล 4 บิต (16 รูปแบบ) ด้วยข้อมูล 5 บิต (32 รูปแบบ) โดยมีเงื่อนไขไม่เลือกแทนที่ด้วยข้อมูลที่มีเลข 0 ติดกันเกิน 2 บิต (Self Synchronization) นอกจากนี้ หากข้อมูลที่ฝั่งด้านรับ เป็นข้อมูลซึ่งอยู่ในกลุ่มที่ไม่ได้เลือกใช้แทนที่ จะสามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้ (Error Detection) ดังตาราง

Data	Code	Data	Code	Data (Control)	Code
0000	11110	1000	10010	Q (Quiet)	00000
0001	01001	1001	10011	I (Idle)	11111
0010	10100	1010	10110	H (Halt)	00100
0011	10101	1011	10111	J (Start Delimiter)	11000
0100	01010	1100	11010	K (Start Delimiter)	10001
0101	01011	1101	11011	T (End Delimiter)	01101
0110	01110	1110	11100	S (Set)	11001
0111	01111	1111	11101	R (Reset)	00111

* รหัสควบคุม (Control) จะไม่เป็นไปตามกฎของรหัสข้อมูล

การทำ Block Coding ได้แก่ วิธี 8B/10B คล้ายกับ 4B/5B แต่เพิ่มความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาดได้ดีกว่า เนื่องจากมีจำนวนของรหัสที่ไม่ได้ถูกเลือกมากกว่า

ส่วนวิธี 8B/6T จะทำการแทนกลุ่มตัวเลข 8 บิต ด้วยระดับสัญญาณฐานสาม (+, -, 0) จำนวน 6 หลัก

การสุ่มสัญญาณ

กระบวนการทำ Line Coding และ Block Coding ใช้สำหรับแปลงข้อมูลเชิงเลข (เช่นเลขฐานสอง) ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล อย่างไรก็ตาม ข่าวสารทั่วไปเช่น สัญญาณภาพวิดีโอ และเสียง อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งหากต้องการส่งผ่านด้วยการสื่อสารคอมพิวเตอร์ หรือจัดเก็บในสื่อรูปแบบดิจิทัล จะต้องทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อน ขั้นตอนที่สำคัญอันหนึ่งในกระบวนการนี้ได้แก่ การสุ่มสัญญาณ (Sampling)

หลักการและเหตุผลของเทคนิคการแปลงสัญญาณแอนะล็อก ให้เป็นดิจิทัล มาจากความต้องการในการส่งสัญญาณระยะทางไกล ในยุคเริ่มต้นจะส่งสัญญาณแอนะล็อก ไปตามสายนำสัญญาณ ซึ่งเมื่อเกิดการลดทอนในตัวกลางอันเนื่องมาจากการสูญเสียพลังงาน จะต้องมียาระบบขยายสัญญาณ (Amplifier) แต่ผลข้างเคียงจะทำให้สัญญาณมีความผิดเพี้ยน (Distortion) หรือปลอมปนด้วยสัญญาณรบกวน (Noise) ไปด้วย ด้วยเหตุนี้ระบบสื่อสารในปัจจุบัน จึงแก้ปัญหานี้โดยทำการสุ่มสัญญาณแอนะล็อก แล้วแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนทำการส่ง ข้อดีของสัญญาณประเภทนี้ได้แก่ การมีภูมิคุ้มกันต่อ Noise และ Distortion สูง การสุ่มสัญญาณประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆ ดังต่อไปนี้

การผสมสัญญาณพัลส์เชิงความสูง

การผสมสัญญาณพัลส์เชิงความสูง หรือ Pulse Amplitude Modulation (PAM) คือเทคนิคในการแปลงสัญญาณแอนะล็อก ให้เป็นสัญญาณประเภทไม่ต่อเนื่องเชิงเวลา (Discrete Time Signal) โดยการสุ่มสัญญาณแอนะล็อก เป็นช่วงที่มีระยะห่างเท่าๆ กัน (Sample and Hold) ค่าที่สุ่มได้ (Sample) จะมาจากฟังก์ชัน Delta เทียบกับสัญญาณ ณ เวลานั้น และจะคงค่า (Hold) ไว้เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังรูป

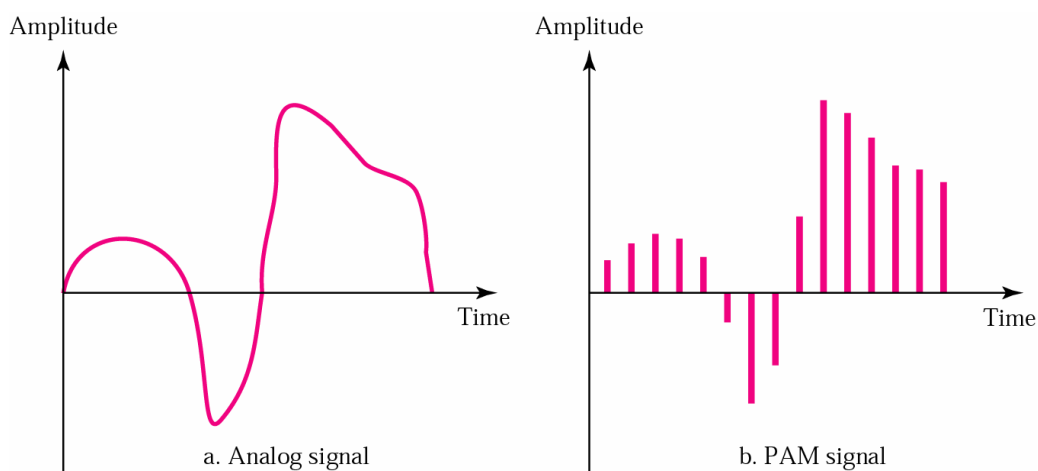


FIGURE 4.11 สัญญาณ Analog (ซ้าย) เมื่อผ่านกระบวนการ Pulse Amplitude Modulation จะได้สัญญาณ PAM (ขวา)

การผสมสัญญาณพัลส์เชิงรหัส

เนื่องจากสัญญาณ PAM เป็นสัญญาณแบบ Discrete Time ซึ่งถึงแม้ว่าจะไม่ต่อเนื่องเชิงเวลา แต่ระดับสัญญาณที่เป็นไปได้ยังมีจำนวนไม่จำกัด จึงไม่เหมาะสมสำหรับส่งผ่านในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ดังนั้น กระบวนการผสมสัญญาณพัลส์เชิงรหัส หรือ Pulse Code Modulation (PCM) จึงทำการกำหนด (เข้ารหัส) ค่า ตัวเลขจำนวนเต็ม ให้กับค่าของระดับสัญญาณที่สุ่มได้ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยได้แก่ การจัดค่าระดับสัญญาณ PAM ออกเป็นช่วง (Range) จำนวนนับได้ (Quantization) และการกำหนดค่าตัวเลขฐานสองให้กับค่าในแต่ละกลุ่ม (Digitization)

Quantization คือการแบ่งระดับสัญญาณที่เป็นไปได้ ออกเป็นช่วง ซึ่งอาจจะเท่ากัน (Linear) หรือไม่เท่ากัน (Nonlinear) ก็ได้ โดยที่แต่ละช่วงจะมีค่าที่เป็นตัวแทนของช่วงนั้น (มักจะเลือกเป็นค่ากึ่งกลางของช่วง) ค่าระดับสัญญาณที่สุ่มได้จากกระบวนการ PAM จะถูกจัดให้ไปอยู่ในช่วงที่มีค่าประจำช่วง **ใกล้เคียง** กับค่าที่สุ่มได้มากที่สุด แล้วแทนค่าระดับสัญญาณที่สุ่มได้นั้น ด้วยค่าประจำช่วงดังกล่าว ดังรูปที่ 4.12 ความแตกต่างระหว่าง ค่าสัญญาณที่สุ่มได้ กับค่าประจำช่วง เรียกว่า *Quantization Error*

Digitization หรือ Binary Coding คือการแปลงค่าของระดับสัญญาณที่ได้จากขั้นตอน Quantization ให้เป็นอนุกรมของเลขฐานสอง อนึ่งหากค่าของระดับสัญญาณเป็นได้ทั้งจำนวนบวก และลบ อาจใช้วิธี 2's Complement หรือการระบุทิศทางเครื่องหมาย เพื่อใช้แทนจำนวนลบได้

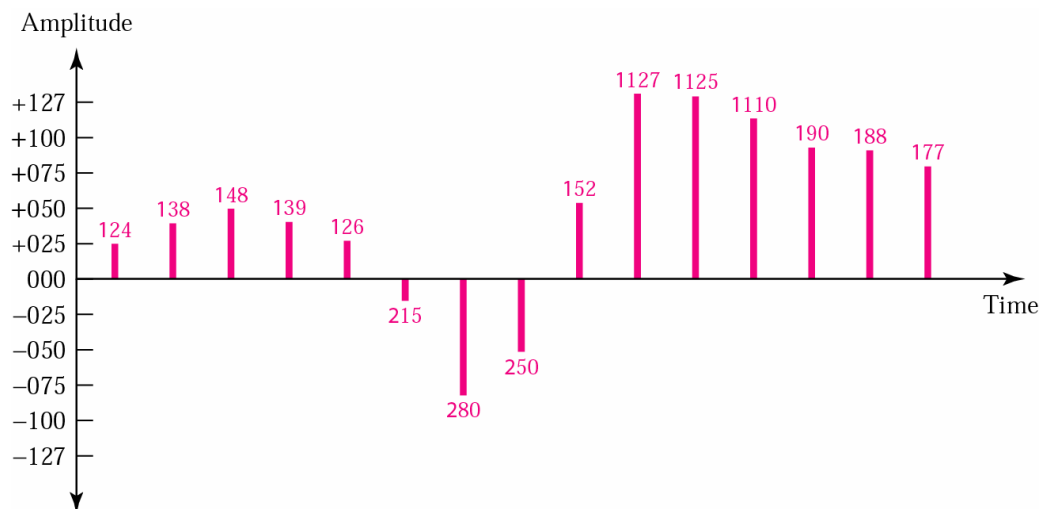


FIGURE 4.12 สัญญาณ Pulse Amplitude Modulation หลังจากการทำ Quantization โดยระดับสัญญาณที่เป็นไปได้ ถูกแบ่งออกเป็นช่วงเท่าๆ กัน 10 ช่วง และค่าระดับสัญญาณที่สุ่มได้ จะถูกปรับให้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าเดิมมากที่สุด

ตัวอย่างของผลลัพธ์ของขั้นตอน PCM ได้เป็นเลขฐานสองของสัญญาณ PAM ที่มีระดับเป็น +024 +038 และ +048 เมื่อทำการเข้ารหัส Line Coding ด้วยวิธี Unipolar แล้วส่งผ่านตัวกลางไปตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.13

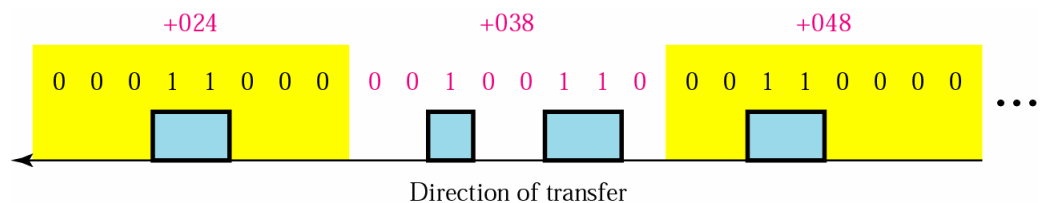


FIGURE 4.13 Line Coding ด้วยวิธี Unipolar ของ สัญญาณ Pulse Code Modulation (PCM) บางส่วน

อัตราการสุ่มตัวอย่าง

เราอาจใช้การวิเคราะห์ฟูเรียร์ (Fourier Analysis) พิสูจน์อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) ที่ **น้อยที่สุด** สำหรับสัญญาณที่มี Spectrum กว้างตามที่กำหนดได้ตามทฤษฎีของ Nyquist (Nyquist Theorem) ซึ่งกล่าวว่า PAM/PCM สามารถเข้ารหัสสัญญาณอนาล็อกได้สมบูรณ์แบบใด (สามารถถูก

คืนสัญญาณต้นฉบับได้เหมือนเดิม ไม่ผิดเพี้ยน) ก็ต่อเมื่อ อัตราการสุ่ม (Sampling Rate) มีค่าอย่างน้อย 2 เท่า ของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้น ตัวอย่างเช่น หากสัญญาณมีความถี่สูงสุด 5 Hz จำเป็นต้องใช้อัตราสุ่มตัวอย่างของ PAM อย่างน้อย $2 \times 5 = 10$ ตัวอย่าง/วินาที

รูปแบบการส่งผ่านข้อมูล

ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่ง ของการส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ได้แก่ รูปแบบในการส่งผ่านข้อมูล (Transmission Modes) ระหว่างจุด (Point – to – Point) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก ได้แก่ Parallel Mode และ Serial Mode ตามลักษณะของการเรียงลำดับของบิตข้อมูลในการส่ง ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดดังนี้

การส่งผ่านแบบขนาน

ในการส่งผ่านแบบขนาน (Parallel Transmission) ข้อมูลดิจิทัล (Binary Data) จะถูกแบ่งเป็นกลุ่มกลุ่มละเท่าๆ กัน (จำนวน n bits) ซึ่งจะถูกส่งไปตามตัวสัญญาณจำนวน n เส้นทาง เส้นทางละ 1 บิต พร้อมๆ กัน ตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา ดังรูปที่ 4.14

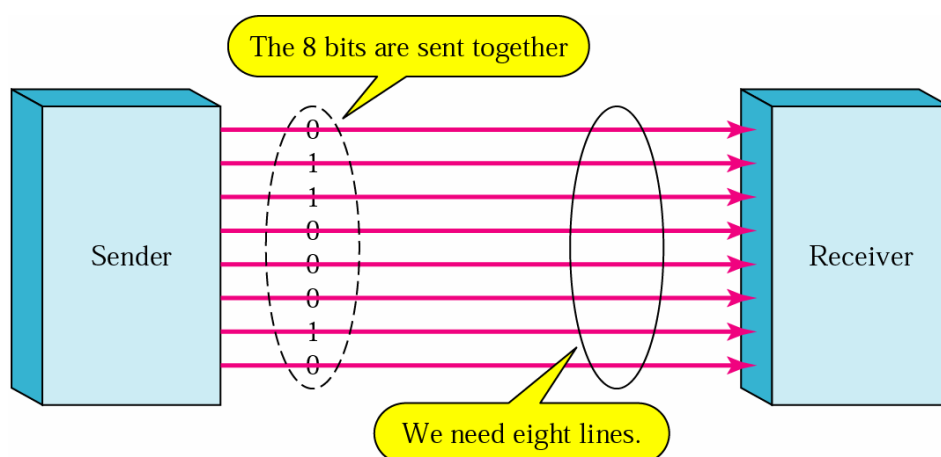


FIGURE 4.14 แผนผังแสดงการส่งข้อมูลในรูปแบบ Parallel Transmission

ข้อดีของการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้คือ การส่งข้อมูลเป็นกลุ่มไปพร้อมๆ กันทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง แต่ข้อด้อยคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมตัวนำสัญญาณจำนวนมาก

การส่งผ่านแบบอนุกรม

ในการส่งผ่านแบบอนุกรม (Serial Transmission) ข้อมูลดิจิทัลจะถูกทยอยส่งไปตามตัวนำสัญญาณ 1 เส้นทาง เรียงกันไปครั้งละ 1 บิต โดยที่ทั้งฝั่งด้านส่ง และรับจำเป็นต้องมีระบบแปลงข้อมูล Parallel เป็น Serial และกลับกัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.15 ข้อดีของการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้คือ ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมตัวนำสัญญาณต่ำ แต่ข้อเสียคือการส่งข้อมูลเรียงกันไปทีละบิตทำให้ส่งข้อมูลได้ช้า ยิ่งไปกว่านั้นในรูปแบบ Serial Transmission ยังแบ่งออกเป็นรูปแบบย่อย 2 รูปแบบได้แก่

Asynchronous Mode ในรูปแบบนี้ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม (เช่นกลุ่มละ 8 บิต) แล้วข้อมูลจะถูกส่งออกไปทีละกลุ่ม โดยที่ในแต่ละกลุ่มมี Start Bit และ Stop Bit เพื่อระบุจุดเริ่มต้น และสิ้นสุดของข้อมูลในกลุ่มนั้นตามลำดับ ทั้งนี้อาจมีการเว้นระยะในการส่งข้อมูลระหว่างกลุ่มได้ (Time Gap) ไม่จำกัด ดังรูป ข้อดีของการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้ คือ ราคาประหยัด เหมาะสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ และอุปกรณ์ควบคุม

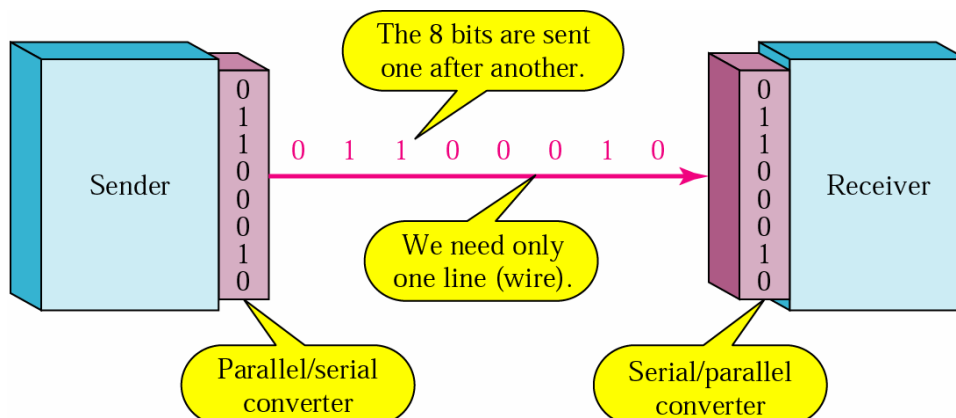


FIGURE 4.15 แผนผังแสดงการส่งข้อมูลในรูปแบบ Serial Transmission

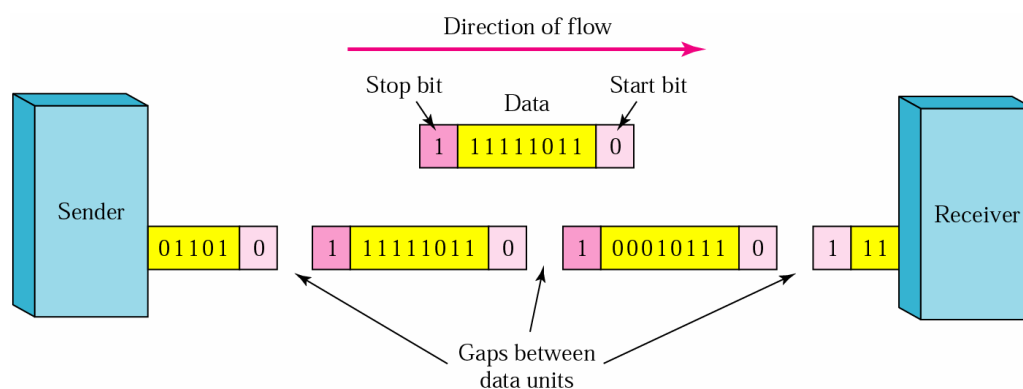


FIGURE 4.16 แผนผังแสดงการส่งข้อมูลในรูปแบบ Serial Transmission ใน Asynchronous Mode ส่งแต่ละข้อมูลแต่ละกลุ่มประกอบด้วย Start Bit (0) และ Stop Bit (1) คร่อมข้อมูลจริงที่ต้องการส่ง

Synchronous Mode ในรูปแบบนี้ข้อมูลจะถูกส่งออกไปครั้งละ 1 บิตเรียงกันไป (โดยไม่มีการจัดแบ่งกลุ่ม) และไม่มี Bit ควบคุมที่ทำหน้าที่จัดแบ่งกลุ่ม ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ด้านรับที่ต้อง จัดกลุ่มข้อมูลที่สามารถอ่านมาได้ ให้ถูกต้องเหมาะสม หากจำเป็นต้องมีการเว้นระยะในการส่ง อุปกรณ์ด้านส่ง จะต้องส่ง Bit Pattern ที่ตกลงกับด้านรับ ว่าบ่งชี้สถานะ Idle (เช่น 0011 0011) ดังรูป ข้อดีของการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้คือความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก (ตามความเร็วของสัญญาณนาฬิกา) แต่ข้อด้อยคือระบบของสัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง ออกแบบยาก และมีราคาแพง

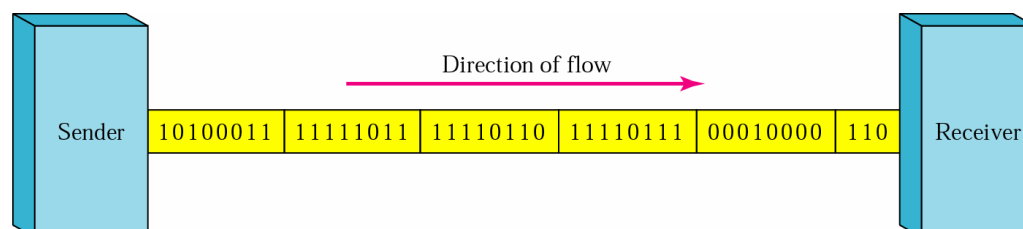


FIGURE 4.17 แผนผังแสดงการส่งข้อมูลในรูปแบบ Serial Transmission ใน Synchronous Mode

แบบฝึกหัด

1. อธิบายความแตกต่างระหว่าง Signal Levels และ Data Levels ในสัญญาณดิจิตอลมาพอสังเขป
2. หากส่งข้อมูลซึ่งมี 16 ระดับสัญญาณด้วยอัตราเร็ว 64 000 บิตต่อวินาที คำนวณหา Pulse Rate
3. ในการส่งผ่านสัญญาณดิจิตอล ถ้าเครื่องรับมีอัตราเร็วของสัญญาณนาฬิกาสูงกว่าด้านส่งอยู่ 0.1% คำนวณหาว่าด้านรับจะ ได้รับข้อมูลเกินมากี่บิตต่อวินาทีถ้าหากว่า ข้อมูลถูกส่งมาด้วยอัตราเร็ว 1 Kbps และ 1 Mbps ตามลำดับ
4. คำนวณหา DC Component ในช่วงเวลา 4 Bit Intervals ของข้อมูล 1010 ที่ผ่านการทำ Line Coding ด้วยวิธี Unipolar
5. เขียน Timing Diagram ของการทำ Line Coding ด้วยวิธี NRZ – L และ NRZ – I ของข้อมูล 1110 0101
6. เขียน Timing Diagram ของการทำ Line Coding ด้วยวิธี Manchester และ Differential Manchester ของข้อมูลเดียวกันกับข้อ 5
7. อธิบายข้อดีของการทำ Line Coding ด้วยวิธี Differential Manchester เทียบกับ RZ ในแง่ของ Bandwidth ของตัวกลางที่ต้องการ
8. เขียน Timing Diagram ของการทำ Line Coding ข้อมูล 1000 0010 1000 0001 ด้วยวิธี Alternate Mark Inversion ในรูปแบบ B4ZS
9. เขียนอนุกรมบิตของรหัส Block Coding ในรูปแบบ 4B/5B จากข้อมูลเดียวกันกับข้อ 8
10. ถ้าต้องการทำ PCM ของสัญญาณเสียงพูดซึ่งมีความถี่สูงสุดเท่ากับ 4 000 Hz ด้วยความละเอียด 8 บิตต่อตัวอย่าง (Bits per Sample) คำนวณหา Bit Rate