แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. ความหมายของการสื่อสารข้อมูล
2. องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล
3. ประวัติการสื่อสารข้อมูล
4. องค์กรบริหารคลื่นความถี่
5. หลักพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล
6. รหัสแทนข้อมูล

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากศึกษาจบบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของการสื่อสารข้อมูลได้
2. บอกองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูลได้
3. บอกประวัติการสื่อสารข้อมูลได้
4. อธิบายหน้าที่และผู้ที่ทำหน้าที่องค์กรบริหารคลื่นความถี่ได้
5. อธิบายและยกตัวอย่างหลักพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูลได้
6. อธิบายรหัสแทนข้อมูลได้ พร้อมแปลงรหัสจากรหัสหนึ่งไปเป็นอีกรหัสหนึ่งได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. วิธีสอน

1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย โดยยกตัวอย่างประกอบ

1.2 แบ่งกลุ่มอภิปรายตามหัวข้อที่ได้รับมอบหมายและอาจารย์สรุปตอนท้าย

1.3 ฝึกปฏิบัติจริงจากแบบฝึกหัดโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อประกอบ

2. กิจกรรมการเรียนการสอน

2.1 อาจารย์อธิบายความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล จากเอกสารประกอบการสอน

2.2 นักศึกษาร่วมกันสรุป ประวัติการสื่อสารข้อมูล

2.3 แบ่งกลุ่มให้อภิปรายและรายงานหน้าชั้นเรียนเรื่องรูปแบบของการส่งสัญญาณข้อมูล

2.4 อาจารย์อธิบายพร้อมเล่นเกมส์ตอบคำถามเกี่ยวกับองค์กรบริหารคลื่นความถี่ ซึ่งคำถามจะถามเกี่ยวกับหน้าที่ และชื่อองค์กรแต่ละแห่ง

2.5 ยกตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลและให้นักศึกษาสรุปถึงหลักการเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล

2.6 ยกตัวอย่างข้อมูลมาจำนวนหนึ่ง และให้แบบฝึกหัดนักศึกษาทำการแปลงข้อมูลดิบไปเป็นรหัสพร้อมสุ่มถามนักศึกษา

สื่อการเรียนการสอน

1. ชุดแผ่นใส เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล
2. รูปภาพ เรื่อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล
3. ชุดการเรียนการสอนเรื่องระบบการสื่อสารข้อมูล
4. ภาพนิ่งประกอบการบรรยายด้วย Powerpoint เรื่อง ระบบการสื่อสารข้อมูล
5. เครื่องคอมพิวเตอร์
6. แบบสอบถามความรู้พื้นฐานครั้งที่ 1 เรื่องไวรัสคอมพิวเตอร์
7. แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

การวัดผลและการประเมินผล

1. ตรวจแบบฝึกหัดท้ายบท
2. สังเกตความสนใจของนักศึกษาในการร่วมงานกลุ่ม และอภิปราย
3. สังเกตการตอบคำถามของนักศึกษา
4. สังเกตการสอบถามปัญหาของนักศึกษา

บทที่ 1
บทนำ

การสื่อสารข้อมูลได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการสื่อสารในรูปแบบต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่องยาวนานนับตั้งแต่มนุษย์ถ้ำได้คิดค้นวิธีการวาดภาพบนผนังถ้ำเพื่อถ่ายทอดเรื่องราวของเผ่าพันธุ์ตนเอง ชาวอินเดียนแดงในทวีปอเมริกาเหนือได้พัฒนาวิธีการส่งข่าวสารโดยการใช้สัญญาณควันเพื่อเตือนภัยร้ายแรงที่กำลังจะเกิดขึ้นแก่พวกพ้อง แม้วิธีการจะแตกต่างกันออกไปตามเผ่าพันธุ์และระยะเวลา แต่ก็มีสิ่งที่เหมือนกันคือ จะต้องใช้อุปกรณ์หรือวิธีการใด ๆ ทางกายภาพสำหรับส่งข่าวสาร และวิธีการแปลงรูปแบบของข่าวสารให้สามารถส่งผ่านอุปกรณ์ที่เลือกใช้ ได้ให้กลายเป็นกลุ่มควันในลักษณะต่าง ๆ กัน วิธีการต่าง ๆ เหล่านี้ถือว่าเป็นการเริ่มต้นของการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ในยุคใหม่ทำให้โลก ซึ่งเคยเป็นพื้นที่กว้างใหญ่มหาศาลดูเหมือนว่ามีขนาดเล็กลงเนื่องจากความรวดเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล แต่เดิมทีต้องรออ่านข่าวในหนังสือพิมพ์ฉบับวันรุ่งขึ้นเพื่อทราบข่าวการจลาจลที่เกิดขึ้นในวันที่ผ่านมา สมัยนี้สามารถทราบข่าวสารที่เกิดขึ้นทุกหนแห่งในโลกนี้ในทันทีที่ข่าวสารนั้นเกิดขึ้นผ่านทางสื่อโทรทัศน์ โทรสาร หรือจดหมายอิเล็กทรอนิกส์กลายเป็นความต้องการพื้นฐานในการติดต่อสื่อสารไม่มีผู้ใดจะปฏิเสธได้อีกต่อไป

1.1 ความหมายของการสื่อสารข้อมูล (Data Communication)

ก่อนที่จะศึกษาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารข้อมูล ควรจะทำความเข้าใจความหมายของคำว่า “การสื่อสารข้อมูล” ให้ชัดเจนเสียก่อน ซึ่งมีผู้ให้ความหมายไว้หลายท่าน ในที่นี้ขอยกตัวอย่างให้พิจารณาดังต่อไปนี้

สุริยัน ศรีสวัสดิ์กุล (2540 ,5) ได้กล่าวว่า การสื่อสารเป็นการส่งข้อความหรือข้อมูลใด ๆ จากจุด ๆ หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งเป้าหมายของการส่งนั้นไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารในรูปแบบใดก็ตามจะต้องประกอบด้วยแหล่งกำเนิดซึ่งเป็นแหล่งสร้างหรือให้ข้อมูลข่าวสาร จากนั้นจะต้องส่งผ่านเข้าไปยัง ตัวกลาง ซึ่งทำหน้าที่เป็นพาหนะนำเอาข้อมูลหรือข่าวสารนั้นไปยังผู้รับ

พิพัฒน์ หิรัณย์จณิชชากร (2542 ,7) ได้กล่าวว่า การสื่อสารข้อมูลเป็นแขนงหนึ่งของระบบการสื่อสาร ซึ่งการสื่อสารเป็นการส่งข้อมูล (Data) หรือข่าวสาร (Information) จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ข่าวสารที่ถูกส่งออกไปอาจจะเป็นเสียง ข้อความจะอยู่ในลักษณะของข้อมูลฐานสองที่ถูกเข้ารหัสเป็นรหัสแอสกี หรือรหัสที่เหมาะสมแก่การถ่ายทอด โดยผ่านวงจรสื่อสาร ซึ่งอาจจะเป็นระบบการส่งทางคลื่นไฟฟ้า หรือคลื่นแสงก็ได้

ฉัตรชัย สุมามาลย์ (2544 ,17) ได้กล่าวว่า การสื่อสารข้อมูล หมายถึง กระบวนการส่งข้อมูลโดยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์จากแห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งโดยการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งหรือการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับแหล่งข้อมูล ซึ่งสามารถส่งข้อมูลไปมาถึงกันได้ สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันและแก้ไขข้อมูลที่อยู่ในต่างท้องที่กันได้ปกติ การสื่อสารข้อมูลนั้นคอมพิวเตอร์มักจะอยู่ใกล้กัน เช่น อยู่ในห้องเดียวกัน ในอาคาร เดียวกัน หรือการติดต่อกันโดยใช้สายเคเบิล เป็นต้น

สัลยุทธ์ สว่างวรรณ (2544,15) ได้กล่าวว่า การสื่อสารข้อมูล หมายถึง กระบวนการถ่ายทอดหรือนำส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งผ่านสื่อชนิดใด ๆ ก็ได้ ข้อมูลอาจเป็นข้อความ รูปภาพหรือสัญลักษณ์ที่ต้องการถ่ายทอด และการสื่อสารเกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป

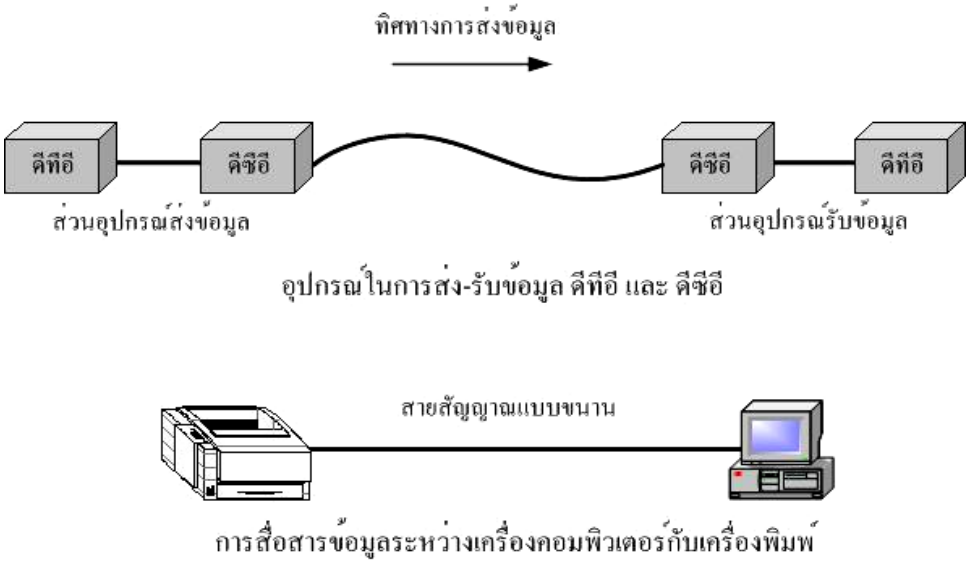
จากคำจำกัดความดังกล่าวมาแล้ว อาจสรุปได้ว่าการสื่อสารข้อมูลหมายถึงการถ่ายทอดข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งผ่านระบบเครือข่ายการสื่อสาร การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อข้อมูลนั้นถูกเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปแบบที่เหมาะแก่การถ่ายทอด ซึ่งจะเป็นลักษณะที่เหมาะสมแก่ผู้ส่งและผู้รับข้อมูล อุปกรณ์ที่ใช้ไม่จำเป็นจะต้องเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว การสื่อสารจึงเป็นการเจาะถึงการส่งข่าวสารที่ถูกเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปแบบดิจิทัล (Digital) ที่เครื่องคอมพิวเตอร์เข้าใจได้เพื่อจัดการนำส่งผ่านระบบเครือข่ายสื่อสารทั้งในรูปแบบดิจิทัลหรือแบบแอนะล็อก (Analog) ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูลจะต้องสามารถ ตรวจสอบและแก้ไขได้

ภาพที่ 1.1 แสดงการสื่อสารข้อมูลของระบบคอมพิวเตอร์
ที่มา : ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, หน้า 8

1.2 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล

ระบบการสื่อสารข้อมูลจะทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงบริการต่าง ๆ ซึ่งให้ข่าวสาร สารสนเทศ และข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการ โดยผ่านระบบการสื่อสารข้อมูลโดยตรง ซึ่งสามารถเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ของตนเข้ากับระบบการสื่อสารข้อมูล โดยอาศัยสื่อกลางในการนำข้อมูลจากต้นทางไปให้ยังปลายทาง ซึ่งจะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์และโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการไหลของข้อมูลและบุคลากรผู้ดำเนินงานจะช่วยส่งเสริมในการปฏิบัติการและจัดการในส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด องค์ประกอบพื้นฐานหลัก 4 องค์ประกอบในระบบการสื่อสาร ได้แก่ (ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, 22)

1.2.1 ผู้ส่ง (Sender) **และผู้รับ** (Receiver) ผู้ส่งหรืออุปกรณ์ส่งข้อมูลต้นทางของการสื่อสารข้อมูลเป็นแหล่งกำเนิดข่าวสารทำหน้าที่จัดส่งข่าวสารเข้าสู่ระบบ โดยที่ผู้ผลิตหรือสร้างข่าวสารที่แท้จริงอาจเป็นพนักงานที่พิมพ์ข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์หรือโปรแกรมอาจเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดข่าวสารต่อเนื่องมาจากคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นได้ ส่วนผู้รับหรืออุปกรณ์รับข้อมูลทำหน้าที่ในการรับข้อมูลที่ถูกถ่ายทอดมาจากผู้ส่งข้อมูลผ่านสื่อที่เชื่อมระหว่างกัน การสื่อสารจะสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อข่าวสารที่ผู้รับข้อมูลได้รับนั้นเป็นข่าวสารเดียวกันกับข่าวสารที่ผู้ส่งข้อมูลได้ถ่ายทอดผ่านสื่อมายังผู้รับข้อมูล อุปกรณ์รับข้อมูลมี 2 ชนิด คือ อุปกรณ์รับข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment; DTE) เป็นแหล่งกำเนิดและรับข้อมูล ซึ่งอาจเป็นเทอร์มินอลคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ หรือตัวควบคุม และ อุปกรณ์การสื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment; DCE) หมายถึง โมเด็ม (Modem) จานไมโครเวฟ หรือจานดาวเทียม เป็นต้น



ภาพที่ 1.2 แสดงตัวอย่างการสื่อสารด้วยอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูล
ที่มา : ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, หน้า 8

1.2.2 โพรโทคอล (Protocol) **และ ซอฟต์แวร์** (Software) โพรโทคอล คือวิธีการหรือกฎระเบียบต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของระบบสื่อสารข้อมูลทั้งผู้ส่งและผู้รับเพื่อให้ผู้รับและผู้ส่งสามารถเข้าใจกันหรือคุยกันรู้เรื่องเป็นไปด้วยความเรียบร้อย เช่น คนไทยคนหนึ่งอยู่ในประเทศไทยหมุนโทรศัพท์ติดต่อไปยังอีกคนหนึ่งที่อยู่ในประเทศจีนได้สำเร็จ ซึ่งเป็นเพียงการสร้างวงจรสื่อสารขึ้นมาเท่านั้นแต่ทั้งสองคนอาจจะไม่สามารถสื่อสารถึงกันเข้าใจได้ เนื่องจากพูดกันคนละภาษาโพรโทคอลจึงเปรียบเสมือนการบังคับให้ทั้งสองคนนั้นใช้ภาษากลาง ซึ่งอาจจะเป็นภาษาอะไรก็ได้ที่ทั้งสองคน เข้าใจได้ ดังนั้นคนทั้งสองคนนี้จึงจะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ ภาษาที่ใช้ในการสื่อสารคอมพิวเตอร์ได้แก่ X.25, BSC, SDLC, HDLC เป็นต้น ส่วนซอฟต์แวร์มีหน้าที่ทำให้การดำเนินงานในการสื่อสารข้อมูลเป็นไปตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ ได้แก่ Novell Netware ของระบบ LAN, UNIX, MS-DOS, OS/2, LINUX เป็นต้น

1.2.3 ข่าวสาร (Message) สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผ่านไปในระบบสื่อสารข้อมูลเรียกว่าข่าวสาร หรือสารสนเทศ (Information) รูปแบบของข่าวสารที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลมี 4 รูปแบบด้วยกัน คือ

1.2.3.1 เสียง (Voice) อาจจะเป็นเสียงที่เกิดจากมนุษย์หรือเสียงที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ข้อมูลจะกระจัดกระจายคาดการณ์ล่วงหน้าไม่ได้ การส่งข้อมูลจะส่งด้วยความเร็วต่ำ

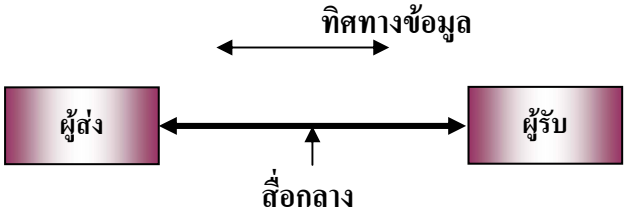
1.2.3.2 ข้อมูล (Data) ข้อมูลถูกสร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์มีรูปแบบแน่นอนเป็นรหัสบิต การส่งข้อมูลจะส่งด้วยความเร็วสูง

1.2.3.3 ข้อความ (Text) ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนส่วนใหญ่เป็นรูปแบบของอักขระหรือเอกสาร การส่งข่าวสารที่เป็นข้อความจะส่งด้วยความเร็วปานกลาง

1.2.3.4 ภาพ (Image) อยู่ในรูปของกราฟิกแบบต่าง ๆ เช่น รูปภาพ ภาพวิดีโอ ใช้ปริมาณหรือหน่วยความจำมาก การส่งข้อมูลจะส่งด้วยความเร็วสูง

ในการสื่อสารแต่ละวิธี รูปแบบของข่าวสารที่ส่งออกไปอาจจะแตกต่างกันหรือเหมือนกัน เช่น การสื่อสารในระบบโทรศัพท์สาธารณะสามารถส่งผ่านข้อมูลเข้าไปได้ทั้งที่เป็นไฟล์ข้อมูล ข้อความ เสียงและภาพ ในปัจจุบันเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ก็สามารถส่งรับข้อมูลได้ทั้งเสียง ข้อมูล ข้อความ และภาพ ส่วนรูปแบบข้อมูลในระบบวิดีโอเท็กซ์จะเป็นข้อมูล ข้อความและภาพเท่านั้น เป็นต้น

1.2.4 สื่อกลาง (Medium) สื่อกลางเป็นเส้นทางการสื่อสาร เพื่อนำข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง สื่อกลางการสื่อสารอาจเป็นเส้นลวดทองแดง สายไฟ สายเคเบิ้ล สายไฟเบอร์ออปติกหรือคลื่นที่ส่งผ่านทางอากาศ เช่น คลื่นไมโครเวฟ สัญญาณวิทยุ หรือแสงก็ได้



ภาพที่ 1.3 แสดงองค์ประกอบการสื่อสารข้อมูล
ที่มา : ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, หน้า 7

ระบบการสื่อสารทุกชนิดจะต้องมีองค์ประกอบครบตามรูปแบบถ้าขาดส่วนใดส่วนหนึ่งแล้วการสื่อสารจะไม่เกิดขึ้นอย่างแน่นอน เช่น การโทรศัพท์ไปหาเพื่อนแต่ไม่มีผู้รับสายหรือเป็นเสียงตอบรับจากเครื่องตอบรับโทรศัพท์แบบอัตโนมัติก็จะไม่มีการสื่อสารเกิดขึ้น ในกรณีนี้สิ่งที่ขาดหายไปคือผู้รับข้อมูล แต่ถ้าเพื่อนผู้นี้สามารถตอบรับโทรศัพท์ก็แสดงว่าการสื่อสารได้เริ่มต้นขึ้นแล้วลักษณะเช่นนี้เรียกว่าวงจรสื่อสารได้รับการจัดตั้งขึ้นเรียบร้อยแล้ว

1.3 ประวัติการสื่อสารข้อมูล

เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวถึงต่อไปนี้เป็นเหตุการณ์สำคัญตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่มีผลโดยตรงต่อระบบโทรศัพท์และการสื่อสารข้อมูล ซึ่งเหตุการณ์เกือบทั้งหมดเกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา (สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 27)

ตารางที่ 1.1 แสดงประวัติการสื่อสารข้อมูล

ปี พ.ศ.	เทคโนโลยี	รายละเอียด
2380	โทรเลข	อุปกรณ์การสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์แบบแรก ประดิษฐ์ขึ้นโดย Samuel Morse ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการส่งข่าวสารซึ่งมาคู่ขนานไปกับทางรถไฟ
2417	Emil Baudot	สร้างรหัสแทนข้อมูลชนิดที่มีความยาวคงที่ โดยใช้การส่งสัญญาณ 5 จังหวะ เพื่อใช้แทนตัวอักษร 1 ตัว นับว่าเป็นรหัสแทนข้อมูลที่ใช้งานได้จริงแบบแรก
2439	Marconi	Guglielmo Marconi เป็นผู้ประดิษฐ์อุปกรณ์การส่งโทรเลขแบบไร้สาย ซึ่งนับว่าเป็นเทคโนโลยีที่แปลกอย่างยิ่งในสมัยนั้นสำหรับการสื่อสารข้อมูล

ตารางที่ 1.1 แสดงประวัติการสื่อสารข้อมูล (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เทคโนโลยี	รายละเอียด
2453	เครื่องโทรพิมพ์ (Teleprinter)	เป็นอุปกรณ์แบบเดียวกับโทรเลขแต่สามารถพิมพ์ข้อความที่ได้รับลงบนกระดาษได้โดยอัตโนมัติ รู้จักกันทั่วไปในชื่อ TWX และ TELEX
2487	Mark-I Computer	เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องแรกของโลกที่สามารถใช้งานได้จริง ถูกสร้างขึ้นโดย Harvard University ประเทศสหรัฐอเมริกา
2489	ENIAC Computer	เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องแรกของโลกที่สามารถสั่งงานโดยโปรแกรมได้
2490	Transistor	ทรานซิสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่นำมาใช้ในการสร้างคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลถูกสร้างขึ้นที่ห้องปฏิบัติการ Bell Laboratories
2494	UNIVAC-I	เป็นคอมพิวเตอร์ในเชิงพาณิชย์เครื่องแรกของโลกที่ถูกขายให้กับสำนักงานสำมะโนประชากรของประเทศสหรัฐอเมริกา
2496	UNIVAC-I	เป็นคอมพิวเตอร์ในเชิงพาณิชย์เครื่องแรกของโลกที่ถูกขายให้กับบริษัทเอกชนคือบริษัท General Electric Research Park. U.S.A.
2501	First U.S. Satellite	ดาวเทียมดวงแรกที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเพื่อนำมาใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา
2505	COMSAT	บริษัทเอกชนแห่งแรกที่ดำเนินกิจการทางด้านการสื่อสารดาวเทียม
2506	SYNCOM-II	ดาวเทียมดวงแรกที่อยู่ในวงโคจรสถิตย์ (จะลอยอยู่นิ่งอยู่กับที่เมื่อมองจากพื้นโลก)
2507	SABRE Network	บริษัทไอบีเอ็ม ร่วมกับสายการบิน American Airline ร่วมกันพัฒนาระบบเครือข่ายการจองตั๋วโดยสารเครื่องบิน
2512	ARPANET	Advanced Research Project Agency Network ได้รับการจัดตั้งขึ้นใช้งาน ซึ่งได้ทำให้เกิดระบบเครือข่ายอื่น ๆ ตามมาทั้งในภาคการศึกษาและการวิจัย
2513	First Laser	เป็นครั้งแรกที่ได้มีการพัฒนาลำแสงเลเซอร์ให้สามารถใช้งานได้ทั่วไป
2514	E-mail	จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย Ray Tomlinson

ตารางที่ 1.1 แสดงประวัติการสื่อสารข้อมูล (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เทคโนโลยี	รายละเอียด
2515	Ethernet	บริษัท Xerox ได้สร้างมาตรฐานสำหรับการสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายเฉพาะบริเวณ (LAN) ขึ้นเป็นครั้งแรก
2519	Personal Computer	ครั้งแรกที่มีการสร้างเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลขึ้นใช้งาน
2524	IBM PC	บริษัทไอบีเอ็มได้สร้างเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2526	Internet	ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้เริ่มก่อตั้งขึ้น ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายของนานาชาติเข้าด้วยกัน
2527	Cellular	ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบเซลลูลาร์ได้เข้ามาแทนที่ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบใช้คลื่นวิทยุ
2533	ARPANET Reorganization	เครือข่าย ARPANET ถูกยกเลิกและแทนที่ด้วยระบบเครือข่ายไร้สายในระดับชาติ
2535	ISDN Standard	ได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับการสื่อสารแบบ ISDN(Integrated Services Digital Network)
2535	World Wide Web	ระบบบริการแบบ WWW ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้งานบนอินเทอร์เน็ต
2537	Internet	มีคอมพิวเตอร์มากกว่า 2 ล้านเครื่องเชื่อมต่อเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต
2540	Internet	มีผู้ใช้ระบบ Internet มากกว่า 50 ล้านคนทั่วโลก องค์กร NFS เริ่มโครงการ Internet2
2540	56 kbps	บริษัท US Robotics เริ่มจำหน่ายโมเด็มความเร็ว 56 kbps
2541	HDTV	ในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มจำหน่ายโทรทัศน์แบบ HDTV(High-Definition Television)
2542	ISDN	เครือข่ายสื่อสารดิจิทัลแบบรวมการ เริ่มมีให้บริการแก่สาธารณชนในหลายพื้นที่ทั่วโลก
2543	Wireless Technology	ระบบสื่อสารแบบไร้สายเริ่มเข้ามามีส่วนแบ่งทางการตลาดมากขึ้น
2545	Broadband Access	ระบบการสื่อสารแบบ Broadband ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายสื่อสารความเร็วสูงมาก เริ่มเข้ามาใช้งาน

ที่มา : สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 27

จะเห็นได้ว่าความเป็นมาของการสื่อสารข้อมูล จะเริ่มการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์โทรเลข ซึ่งเป็นการส่งข้อความต่อมาก็มีการพัฒนาเป็นโทรศัพท์และโทรพิมพ์จนกระทั่งเป็นระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายไร้สายที่มีความเร็วสูงในปัจจุบัน

1.4 องค์กรบริหารคลื่นความถี่

รัฐมีหน้าที่หลักในการให้บริการและปกป้องประชาชนของประเทศนั้น ๆ องค์กรบริหารคลื่นความถี่ที่กำลังได้รับการจัดตั้งขึ้นในประเทศไทยก็มีภารกิจหลักในการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์คลื่นความถี่สำหรับการสื่อสารข้อมูลให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชนชาวไทยอย่างดีที่สุดและป้องกันไม่ให้ผู้ใดหรือบริษัทใดกระทำการเอาเปรียบประชาชนไทย เช่น กำหนดวิธีการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุโทรศัพท์และอื่น ๆ อย่างเป็นธรรม ควบคุมวิธีการคิดและกำหนดอัตราการใช้บริการอย่างเหมาะสม ในที่นี้ขอยกตัวอย่างองค์กรบริหารคลื่นความถี่ของต่างประเทศที่พบบ่อย ๆ ซึ่งมีการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของหน่วยงานต่าง ๆ ไว้อย่างชัดเจนควรที่จะศึกษาเพื่อเป็นตัวอย่างในการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย จากประสบการณ์จะเห็นว่าอุปกรณ์ ครุภัณฑ์คอมพิวเตอร์ที่มาจากต่างประเทศจะมีการระบุในรายละเอียดให้ผ่านการตรวจสอบจากองค์กรคลื่นความถี่ต่าง ๆ มีดังนี้

1.4.1 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา

คณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติ (Federal Communications Commission; FCC) ได้รับการจัดตั้งขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2477 ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยก่อนหน้านี้มีองค์กรชื่อ Interstate Commerce Commission (ICC) เป็นผู้รับผิดชอบซึ่งมีหน้าที่หลักในการควบคุมและบริหารเส้นทางเดินรถบรรทุกสำหรับขนถ่ายสินค้า

FCC มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับด้านโทรคมนาคมโดยตรง คือ การควบคุมระบบโทรคมนาคมระหว่างรัฐ และการควบคุมกิจการบินพาณิชย์ในส่วนหอบังคับการบิน ดังนั้นบริษัทที่ให้บริการโทรคมนาคมระหว่างรัฐจะต้องได้รับอนุญาตการดำเนินงานจาก FCC ก่อนที่จะเปิดให้บริการแก่ประชาชนได้ การกำหนดแนวทางเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ เช่น ข้อกำหนดของสายสื่อสาร ชนิดของสายใยแก้วนำแสง ชนิดคลื่นสัญญาณดาวเทียม รวมถึงวิธีการคำนวณและอัตราการคิดค่าบริการก็อยู่ในอำนาจของ FCC นอกจากนี้ยังทำงานร่วมกับสำนักประธานาธิบดี และ กระทรวงพาณิชย์ ในการติดต่อด้านโทรคมนาคมระหว่างประเทศด้วย

1.4.2 คณะกรรมการบริหารโทรคมนาคมและข่าวสารแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

คณะกรรมการบริหารโทรคมนาคมและข่าวสารแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (National Telecommunications and Information Administration; NTIA) เป็นองค์กรที่อยู่ภายใต้การควบคุมของกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันขึ้นระหว่างองค์กรและบริษัทที่มีธุรกิจเกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลเพื่อให้ผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้นและคุณภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีส่วนในการกระตุ้นให้เกิดนวัตกรรมใหม่ ๆ รวมทั้งการสร้างงานให้แก่ประชาชน ในส่วนการค้นคว้าวิจัยได้จัดตั้งเป็นสถาบันขึ้นมาเรียกว่า Institute for Telecommunication Sciences (ITS)

1.4.3 องค์กรควบคุมมาตรฐาน

อุตสาหกรรมสื่อสารก็มีลักษณะโดยรวมคล้ายกับอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ คือ มีการแข่งขันกันอย่างรุนแรงทั้งทางด้านการตลาดและด้านเทคโนโลยี การแข่งขันด้านการตลาดทำให้เกิดประโยชน์ต่อผู้บริโภคเพราะจะมีทางเลือกมากมาย แต่ถ้าปราศจากการควบคุมแล้วการแข่งขันด้านเทคโนโลยีอาจทำให้เกิดปัญหาความหลากหลายที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวในที่สุด ตัวอย่างที่เกิดขึ้นแล้วในอดีต เช่น การที่เครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรมของบริษัทไอบีเอ็ม (IBM) ไม่สามารถสื่อสารร่วมกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์แมคอินทอชของบริษัทแอปเปิล (Apple) ได้โดยตรง ทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสาร ซึ่งจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ตัวกลางในการแปลงระบบสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องนี้

เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำขึ้นมาอีกในอนาคตจึงได้มีการจัดตั้งองค์กรกลางขึ้นมาเพื่อกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องกังวลว่าเครื่องที่ตนกำลังติดต่อด้วยนั้นผลิตโดยบริษัทใดอีกต่อไป

1.4.4 องค์กร America National Standards Institute

องค์กร (ANSI) ได้ถูกตั้งขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นตัวกลางในการประสานงานระหว่างองค์กรกำหนดมาตรฐานอื่น ๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาองค์กร ANSI ประกอบด้วยสมาชิกมากกว่า 900 องค์กรทั้งที่มาจากภาคอุตสาหกรรม องค์กรการกุศล องค์กรการศึกษา องค์กรการวิจัย องค์กรคุ้มครองผู้บริโภค และองค์กรรัฐ สมาชิกจะเป็นผู้เสนอข้อกำหนดของอุปกรณ์หรือวิธีการใหม่ที่ต้องการ โดย ANSI จะทำหน้าที่ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปและกำหนดให้เป็นมาตรฐานใหม่แจ้งให้สมาชิกทราบและนำไปใช้งานต่อไป

ตัวอย่างผลงาน ANSI ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์โดยตรง ได้แก่ การกำหนดมาตรฐาน ANSI-COBOL และ ANSI-C ส่วนมาตรฐานใหม่ที่กำลังจะเกิดขึ้นได้แก่ การกำหนดมาตรฐานสำหรับการสื่อสารแบบ Fiber Distributed Data Interface (FDDI) ซึ่งจะนำมาใช้ในการสื่อสารผ่านสายใยแก้วนำแสงภายในเครือข่ายเฉพาะบริเวณระยะใกล้ (LAN)

1.4.5 องค์กร International Standards Organization (ISO)

องค์กร ISO ได้ถือกำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 2490 โดยมีวัตถุประสงค์ในการกำหนดมาตรฐานระหว่างชาติ องค์กร ISO ทำงานคล้ายกับ ANSI คือตนเองไม่ได้เป็นผู้ริเริ่มในการกำหนดมาตรฐานใหม่ ๆ แต่ให้ชาติสมาชิกเป็นผู้เสนอแล้วจึงทำหน้าที่ในการหาข้อสรุปให้เป็นสากล ดังนั้นสมาชิกของ ISO จึงเป็นองค์กรที่ควบคุมเรื่องมาตรฐานต่าง ๆ ของชาติสมาชิก เช่น ANSI เป็นตัวแทนของประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศไทยมีสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) เป็นตัวแทน

ทางด้านอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ ISO เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางในฐานะผู้กำหนดมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบเปิด (Open System Interconnect; OSI) ซึ่งประกอบด้วยชั้นสื่อสารข้อมูล 7 ชั้นที่ทำงานร่วมกันในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์โดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับรุ่นหรือบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น ๆ ในด้านอื่น ISO เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับมาตรฐาน ISO-9001, ISO-9002 และ ISO-14000 เป็นต้น

1.4.6 องค์กร Corporation for Open System (COS)

เพื่อทำให้มาตรฐานสากล ISO เป็นที่รู้จักและยอมรับมากขึ้น องค์กร COS จึงได้ถูกก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2529 สมาชิกขององค์กรเป็นตัวแทนจากบริษัทและองค์กรที่มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม มีหน้าที่ในการแนะนำให้คนทั่วไปรู้จักและนำมาตรฐาน ISO ไปใช้งาน ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ที่ผลิตมาจากทุกบริษัทสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานของ COS จึงรวมไปถึงการกำหนดขั้นตอนในการทดสอบ การวัดค่าจากการทดสอบ และการรับรองมาตรฐานการทดสอบที่ทุกโรงงานผลิตจะต้องนำไปใช้

1.4.7 องค์กร Consultative Committee on International Telegraph and Telephone (CCITT)

องค์กร ISO เป็นสมาชิกขององค์กร CCITT ซึ่งมีหน้าที่โดยตรงในการให้คำปรึกษาทางเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยีโทรศัพท์ โทรเลข และอุปกรณ์สำหรับการสื่อสารข้อมูลทั่วโลกเป้าหมายที่สำคัญที่สุดขององค์กรนี้คือการกำหนดมาตรฐานเพื่อทำให้การสื่อสารระหว่างผู้ส่งข้อมูลและผู้รับ

ข้อมูลผ่านเครือข่ายสากล (เรียกว่า End-to-End Internetwork Communication) ได้สำเร็จ องค์กรนี้ประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นองค์กรตัวแทนของชาติต่าง ๆ มากกว่า 150 องค์กรจากทั่วโลก

1.4.8 องค์กร International Telecommunication Union (ITU)

องค์กร ITU ได้รับการก่อตั้งขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2408 เพื่อทำหน้าที่เป็นองค์กรที่กำหนดมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลสำหรับประเทศในทวีปยุโรปจำนวน 20 ประเทศ แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนกำหนดมาตรฐาน ส่วนพัฒนา และส่วนวิทยุสื่อสาร งานล่าสุดขององค์กรนี้คือการจัดตั้ง Telecommunication Development Bureau ขึ้นในปี พ.ศ. 2532 เพื่อสนับสนุนความสามารถทางด้านเทคนิคให้แก่การพัฒนาระบบโทรคมนาคมของประเทศในโลกที่สามหรือประเทศกำลังพัฒนา ปัจจุบันมีชาติสมาชิกจำนวน 270 ประเทศทั่วโลก

1.4.9 องค์กร Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

องค์กร IEEE (อ่านว่า I-triple-E) มีหน้าที่ในการกำหนดมาตรฐานการสื่อสารสำหรับระบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณระยะใกล้ (Local Area Network : LAN) มาตรฐานที่กำหนดโดย IEEE นำมาใช้โดยตรงสำหรับซอฟต์แวร์และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในชั้นสื่อสารกายภาพ (Physical layer) และชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) ตามมาตรฐานชั้นสื่อสารของ ISO ตัวอย่างเช่น มาตรฐาน IEEE-802.3 (Ethernet standard) IEEE-802.4 (Token Bus Standard) IEEE-802.5 (Token Ring Standard) และ IEEE-1003.1 (Portable Operating System Standard) เป็นต้น

1.4.10 องค์กร Electronics Industries Association (EIA)

องค์กร EIA รับผิดชอบในด้านการกำหนดมาตรฐานสำหรับวงจรไฟฟ้า เช่น การกำหนดขนาดแรงดันไฟฟ้า ความหมายและตำแหน่งของการเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเช่น มาตรฐาน RS-232 (25 ขา) และ RS-449 (9 ขา) มาตรฐานของพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป มาตรฐานที่ EIA กำหนดขึ้นมานั้นจะเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์สื่อสารที่ทำงานในชั้นสื่อสารกายภาพ

1.4.11 องค์กรด้านกิจการโทรคมนาคมในประเทศไทย(กทช)

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช) มีหน้าที่บริหารจัดการคลื่นความถี่และกิจการโทรคมนาคมการสื่อสารในประเทศไทย ตามตามกฎหมายว่าด้วยการ ประกอบกิจการโทรคมนาคม มาตรา 51 ให้ กทช. มีอำนาจหน้าที่ดังต่อไปนี้

1.4.11.1 กำหนดนโยบายและจัดทำแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคมและแผนความถี่วิทยุ ให้สอดคล้องกับบทบัญญัติของรัฐธรรมนูญ แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ และตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ

1.4.11.2 กำหนดลักษณะและประเภทของกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.3 พิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่เพื่อกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.4 พิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการประกอบกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.5 กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการอนุญาต เงื่อนไข ค่าตอบแทนหรือค่าธรรมเนียมการอนุญาตตาม (3) และ (4) รวมทั้งการกำกับดูแลการประกอบกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.6 กำหนดมาตรฐานและลักษณะพึงประสงค์ทางด้านเทคนิคในกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.7 กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรคมนาคม

1.4.11.8 กำหนดโครงสร้างอัตราค่าธรรมเนียมและค่าบริการในกิจการโทรคมนาคม รวมทั้งอัตราค่าเชื่อมต่อโครงข่ายโทรคมนาคมให้เป็นธรรมต่อผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ โทรคมนาคมหรือระหว่างผู้ให้บริการกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.9 จัดทำแผนเลขหมายโทรคมนาคมและอนุญาตให้ผู้ประกอบการใช้เลขหมายโทรคมนาคม

1.4.11.10 กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการคุ้มครองผู้บริโภคและกระบวนการ รับคำร้องเรียนของผู้บริโภค

1.4.11.11 กำหนดมาตรการเพื่อคุ้มครองสิทธิในความเป็นส่วนตัวและเสรีภาพของบุคคลในการสื่อสารถึงกันโดยทางโทรคมนาคม

1.4.11.12 กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการในการคุ้มครองและการกำหนดสิทธิในการประกอบกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.13 กำหนดมาตรการเพื่อป้องกันมิให้มีการกระทำอันเป็นการผูกขาดหรือก่อให้เกิดความไม่เป็นธรรมในการแข่งขันในกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.14 กำหนดมาตรการให้มีการแข่งขันโดยเสรีอย่างเป็นธรรมระหว่างผู้ประกอบการในกิจการโทรคมนาคมและกิจการที่เกี่ยวเนื่อง และการกระจายบริการด้าน โทรคมนาคมให้ทั่วถึงและเท่าเทียมกันทั่วประเทศ

1.4.11.15 ส่งเสริมให้มีการฝึกอบรมและการพัฒนาบุคลากรด้านโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ

1.4.11.16 ส่งเสริมสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านโทรคมนาคม เทคโนโลยีสารสนเทศ อุตสาหกรรมโทรคมนาคม และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

1.4.11.17 ออกระเบียบเกี่ยวกับการจัดตั้งองค์กร การบริหารงานบุคคล การงบประมาณ การเงินและทรัพย์สิน และการดำเนินงานอื่นของสำนักงาน กทช.

1.4.11.18 อนุมัติงบประมาณรายจ่ายของสำนักงาน กทช. รวมทั้งเงินที่จะจัดสรร เข้ากองทุนตามมาตรา 52

1.4.11.19 จัดทำรายงานผลการดำเนินงานของ กทช. เสนอต่อคณะรัฐมนตรี สภาผู้แทนราษฎร และวุฒิสภา อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้งและให้เผยแพร่ต่อสาธารณชนด้วย

1.4.11.20 เสนอความเห็นหรือให้คำแนะนำต่อคณะรัฐมนตรีเกี่ยวกับกิจการโทรคมนาคมทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ รวมทั้งการให้มีกฎหมาย หรือแก้ไข ปรับปรุงหรือยกเลิกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับกิจการโทรคมนาคม

1.4.11.21 ปฏิบัติการอื่นใดตามที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัตินี้หรือกฎหมายอื่น ซึ่งกำหนดให้เป็นอำนาจหน้าที่ของ กทช.

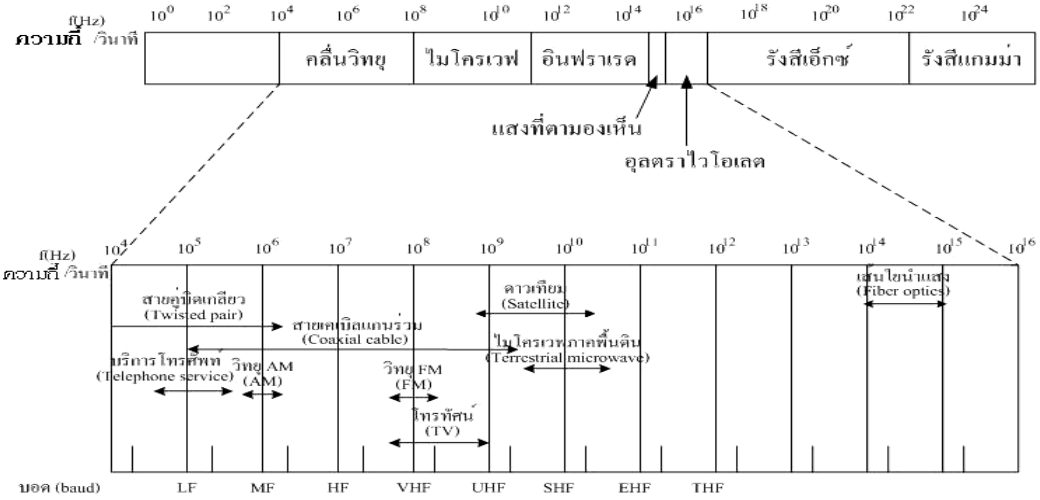
1.5 หลักพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูล

ในปัจจุบันได้ชื่อว่าเป็นยุคแห่งการสื่อสารข้อมูล หรือ ยุคแห่งการสื่อสารสารสนเทศ และการสื่อสารข้อมูลดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือสำคัญ องค์การทางธุรกิจมากมาย เช่น ธนาคารและบริษัทการเงิน เป็นต้น อาศัยการสื่อสารข้อมูลในการดำเนินกิจการ ถ้าหากขาดการสื่อสารข้อมูล จะทำให้ธุรกิจด้านนี้เกิดความขัดข้องเป็นอย่างมาก ในทางธุรกิจโดยทั่วไปสำนักงานใหญ่ก็ใช้การสื่อสารข้อมูลติดต่อกับหน่วยงานย่อย และติดต่อกับบุคคลต่าง ๆ เช่น การติดต่อกันระหว่างพนักงานแผนกต่าง ๆ ภายในสำนักงาน ตลอดจนใช้การสื่อสารข้อมูลภายนอกสำนักงาน เช่น การติดต่อสื่อสารกับธนาคาร บริการทางการเงิน ลูกค้า องค์การหรือหน่วยงานของรัฐบาล การโฆษณา เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ถูกถ่ายทอดผ่านระบบเครือข่ายไม่ว่าจะเป็นเสียงสนทนาหรือรูปภาพกราฟิกจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ (Signal) ข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณนั้นรวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องนำมาใช้ในการควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล เช่น ข้อมูลบอกปริมาณข่าวสาร ข้อมูลบอกชนิดหรือวิธีการส่ง หรือข้อมูลบอกวิธีการตรวจสอบความถูกต้องเพื่อให้การรับ-ส่งนั้นประสบความสำเร็จ เพื่อความเข้าใจในรูปแบบของการสื่อสารจำเป็นต้องศึกษา อัตราการส่งบิต อัตราการส่งบอด ความถี่ของสัญญาณ ความกว้างช่องสัญญาณ สัญญาณดิจิทัล และสัญญาณแอนะล็อก ดังนี้

1.5.1 อัตราการส่งบิต คำว่า บิต (Bit) หมายถึง หน่วยนับข้อมูลที่เล็กที่สุดที่มีการใช้งานทางคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เป็นคำย่อมาจากคำว่า “Binary Digit” หรือตัวเลขฐานสอง ดังนั้นบิตจึงมีความหมายได้เพียงสองอย่างคือ “0” หรือ “1” เท่านั้น เมื่อบิตมีค่าเป็น “1” มีความหมายว่า เปิด (On) ซึ่งหมายถึง สถานะที่ได้รับสัญญาณ และ “0” ความหมายว่า ปิด (Off) หรือสถานะที่ไม่มีการส่งสัญญาณ การทำงานของคอมพิวเตอร์จึงเป็นการทำงานกับข้อมูลที่ประกอบด้วย “0” และ “1” จำนวนมากที่ถูกนำมาเรียงต่อกันอย่างมีความหมาย

เนื่องจากข้อมูลหนึ่งบิตมีความหมายได้เพียงสองอย่าง ดังนั้นการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์จึงจำเป็นต้องนำข้อมูลหลายบิตมาประกอบกันเพื่อสร้างเป็นความหมายใหม่คือ นำมาใช้แทน “สัญลักษณ์ตัวอักษร (Character)” เรียกสั้น ๆ ว่า ตัวอักษร ซึ่งอาจเป็นตัวหนังสือภาษาไทย ตัวหนังสือภาษาอังกฤษ ตัวเลข หรือสัญลักษณ์ใด ๆ ที่ต้องการ การนำข้อมูลมาสร้างเป็นสัญลักษณ์นั้นทำได้หลายแบบซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าเป็น “รหัสแทนข้อมูล (Data Code)” ตัวอักษรหนึ่งตัวอาจประกอบด้วยข้อมูล 5, 6, 7 หรือ 8 บิต หรืออาจมากกว่านี้ก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรหัสแทนข้อมูลที่นำมาใช้ เนื่องจากข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคอมพิวเตอร์ทั่วไปทั้งในหน่วยความจำหลักหรือหน่วยบันทึกข้อมูลอย่างฮาร์ดดิสนั้นมีหน่วยเป็น “ไบต์ (Byte)” ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8 บิต ดังนั้นรหัส ข้อมูลที่นิยมใช้ในปัจจุบันจึงมีข้อมูลขนาด 1 ไบต์หรือหลายไบต์เพื่อแทนตัวอักษรหนึ่งตัว

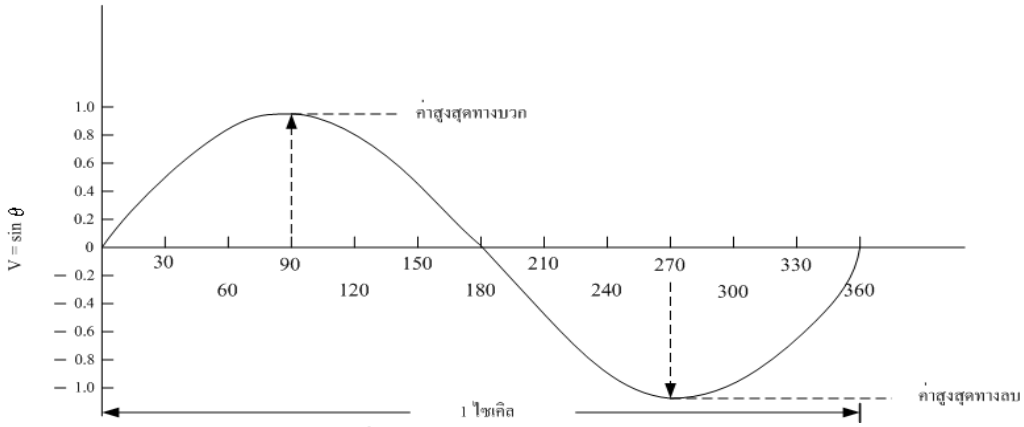
อัตราการส่งบิต (Bit rate) หมายถึงอัตราเร็วในการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายซึ่งเป็นการนับจำนวนบิตที่ส่งออกต่อหน่วยเวลา เช่น 1,000 บิตต่อวินาที (kilo bits per second; kbps) ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีอัตราการส่งบิตเป็น 1,000 bps จึงสามารถส่งข้อมูลจำนวน 1,000 บิตได้โดยใช้เวลา 1 วินาที ใน ปัจจุบันนี้อัตราการส่งบิตที่ความเร็วระดับสูงมีหน่วยนับเป็นล้านบิตต่อวินาที (Millions bits per second; Mbps) และพันล้านบิตต่อวินาที (Billions bits per second; Gbps) ในการส่งสัญญาณคลื่นผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศหรืออวกาศ แต่เมื่อถ้าให้คลื่นเดินทางผ่านสายทองแดงหรือสายใยแก้วนำแสง จะมีความเร็วลดลงเหลือประมาณ 2 ใน 3 เท่านั้น และคลื่นที่มีความถี่ต่างกันก็จะเดินทางด้วยความเร็วต่างกันด้วย ดังภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 แสดงย่านความถี่ของอัตราการส่งบิตกับงานที่ใช้

ที่มา : วาทิต เบญจพลกุล, 2543, หน้า 38

1.5.2 อัตราการส่งบอด คำว่า “บอด (baud)” มีความหมายว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้น อัตราการส่งบอด (baud rate) จึงหมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา เช่น จำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสัญญาณ ซึ่งโดยปกติเปรียบเทียบหน่วยเป็นวินาที ดังภาพที่ 1.5 แสดงรูปทรงของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า Sine Wave การวัดในที่นี้หมายถึงการนับจำนวนลูกคลื่นใน 1 cycle ที่เกิดขึ้นในหนึ่งวินาที



ภาพที่ 1.5 แสดงรูปทรงของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Sine Wave)

ที่มา : บรรจง จันทมาศ, 2538, หน้า 7

จากภาพที่ 1.5 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของสัญญาณนั้นทางไฟฟ้าเรียกว่า กระแส (Current) ซึ่งในที่นี้เป็นกระแสชนิดหนึ่งเรียกว่า กระแสสลับ (Alternating Current; AC) การเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนกระแสไฟฟ้าสลับที่เหนี่ยวนำออกมา จะเปลี่ยนไปตามค่าของมุมไซน์

(Sine) ซึ่งใน 360 องศา เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจาก 0 แล้วเพิ่มสูงสุดในทิศทางบวก แล้วลดต่ำสุดที่ 0 จากนั้นจะเพิ่มค่าสูงสุดในทิศทางลบ แล้วกลับขึ้นมาที่ 0 อีกครั้ง จึงครบ 360 องศาพอดี ก็ถือว่าเป็นรูปทรงลูกคลื่นที่สมบูรณ์หนึ่งลูก จากนั้นจะสลับกันไปตลอดเวลา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ครบหนึ่งรอบเรียกว่า วงรอบ (Cycle) ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนและสถานที่ต่าง ๆ ทั่วไปก็เป็นลักษณะสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ทั้งสิ้น กระแสอีกแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เรียกว่า กระแสตรง (Direct Current; DC) เช่น กระแสไฟฟ้าที่มาจากถ่านไฟฉาย กระแสไฟฟ้าแบบนี้จะเดินทางเพียงทิศทางเดียวคือ เริ่มจากค่าสูงสุดทางบวกที่จุดเริ่มต้นไปยังจุดต่ำสุดทางลบที่ปลายทางลักษณะคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการถ่ายทอดข้อมูลแบบต่าง ๆ

คำว่า อัตราการส่งบิต และอัตราการส่งบอด ถูกนำมาใช้สลับกันอยู่เสมอในการอธิบายความเร็วการถ่ายทอดข้อมูล อย่างไรก็ตามแม้ว่าคำสองคำนี้อาจมีความคล้ายคลึงกัน แต่ก็อาจมีความหมายแตกต่างกันก็ได้ เช่น ความเร็วสำหรับการถ่ายทอดข้อมูลขนาด 9,600 bps, 28,800 bps หรือ 56,000 bps หมายถึง การส่งข้อมูลจำนวน 9,600, 28,800 และ 56,000 บิตต่อวินาที ตามลำดับ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้งใช้แทนความหมายข้อมูล 1 บิตแสดงว่าอัตราการส่งบิต 28,800 bps จะมีอัตราการส่งบอดเท่ากับ 28,800 ครั้งหรือวงรอบต่อวินาที

อย่างไรก็ตาม ถ้าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในขณะส่งข้อมูลนั้น ถูกนำมาใช้แทนความหมายของข้อมูลมากกว่าหนึ่งบิต เช่น การเปลี่ยนแปลงหนึ่งวงรอบแทนความหมายของข้อมูลจำนวน 2 บิต (เรียกว่า ไดบิต-Dibit) แล้ว อัตราการส่งบอดขนาด 9,600 จะเท่ากับการส่งข้อมูลที่อัตรา 28,800 bps ในทำนองเดียวกัน ถ้าการเปลี่ยนแปลงหนึ่งวงรอบแทนความหมายของข้อมูลจำนวน 3 บิต (เรียกว่า ไตรบิต-Tribit) แล้วอัตราการส่งบอดขนาด 9,600 จะเท่ากับการส่งข้อมูลที่อัตรา 28,800 bps จะเห็นได้ว่าการใช้ไดบิตหรือไตรบิตนั้นจะช่วยให้สามารถส่งข้อมูลได้ในอัตราที่สูงขึ้นโดยการสร้างสัญญาณที่ความเร็วเท่าเดิม

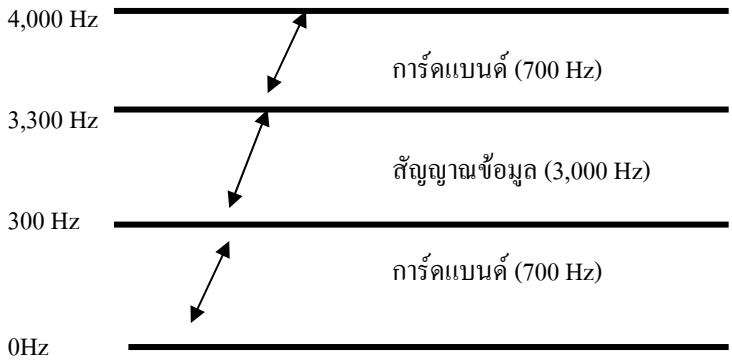
1.5.3 ความถี่ของสัญญาณ การสื่อสารข้อมูลให้นิยามคำว่า ความถี่ของสัญญาณ (Frequency) ไว้ว่าเป็นจำนวนครั้งหรือจำนวนวงรอบของสัญญาณ ซึ่งเป็นความหมายเดียวกันกับอัตราการส่งบอด แต่ความถี่ของสัญญาณเป็นคำที่มีความหมายกว้างกว่ามากเพราะไม่ได้จำกัดอยู่แค่เพียงการส่งข้อมูลแต่หมายถึงการส่งสัญญาณใด ๆ ก็ได้ หน่วยนับที่ใช้วัดความถี่ของสัญญาณเรียกว่า เฮิรตซ์ (Hertz; Hz) ซึ่งความถี่ 1 Hz คือมีสัญญาณเกิดขึ้น 1 ครั้งต่อวินาที หน่วยนับที่นำมาใช้ผสมด้วยคือ กิโล (Kilo; k) คือหนึ่งพันหน่วย เมกะ (Mega; M) คือหนึ่งล้านหน่วย และ กิกะ (Giga; G) คือ หนึ่งพันล้านหน่วย เช่น ความถี่ขนาด 6,000,000,000 Hz (หกพันล้านเฮิรตซ์) อาจเขียนในรูปต่าง ๆ ที่มีความหมายเดียวกันคือ 6,000,000 kHz (หกล้านกิโลเฮิรตซ์) 6,000 MHz (หกพันเมกะเฮิรตซ์) และ 6 GHz (หกกิกะเฮิรตซ์)

สถานีวิทยุกระจายเสียงและสถานีโทรทัศน์ถ่ายทอดสัญญาณเสียงและภาพออกอากาศโดยใช้คลื่นความถี่เฉพาะของตนเอง ซึ่งอยู่ในความควบคุมของคณะกรรมการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุโทรทัศน์ ไมโครเวฟและวิทยุคลื่นสั้น ก็มีการใช้คลื่นความถี่เฉพาะในช่วงความถี่ของตนเองเช่นกัน ช่วงความถี่ระดับต่ำคือความถี่ในช่วงระหว่าง 15 Hz ถึง 30 kHz เรียกว่า Audio Frequency ซึ่งความถี่คลื่นเสียง (Human Voice) ที่คนปกติใช้กันอยู่ในช่วงนี้ วิทยุและโทรทัศน์ใช้ความถี่ช่วง 500 kHz ถึง 300 MHz ไมโครเวฟใช้ความถี่สูงถึง 30 GHz เป็นต้น เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถบริหารความถี่ได้สูงมากกว่า 300 GHz แต่ที่ย่านความถี่สูงมากนั้นใช้สำหรับการค้นคว้าทดลองเท่านั้น

1.5.4 ความกว้างช่องสัญญาณ ความกว้างช่องสัญญาณ (Bandwidth) หมายถึงระยะห่างระหว่างคลื่นความถี่สองคลื่นมีหน่วยนับเป็นเฮิรตซ์ ความกว้างของช่องสัญญาณถูกนำมาใช้ในการอธิบายช่วงความถี่คลื่นสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารผ่านสื่อตัวกลางใด ๆ ถ้าสมมุติให้สื่อตัวกลางที่ใช้ เช่น สายโทรศัพท์เปรียบเทียบเป็นถนนแล้ว ความกว้างของช่องสัญญาณก็คือ ความกว้างของถนนสายนั้น ซึ่งถ้าเป็นถนนที่กว้างมากรถยนต์ก็จะสามารถสัญจรไป-มาได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้าเป็นถนนแคบรถยนต์ที่สัญจรไป-มาก็ต้องมีจำนวนน้อย มิฉะนั้นจะเกิดปัญหารถติดได้ การคำนวณหาค่าทำได้ดังนี้

ความกว้างช่องสัญญาณ = ความถี่คลื่น (สูง) – ความถี่คลื่น (ต่ำ)

ถ้ากำหนดให้ความถี่คลื่นสองความถี่ คือ 120 Hz และ 3.5 kHz จะมีค่าความกว้างช่องสัญญาณเป็น 3,380 Hz (3,500-120 = 3,380)



ภาพที่ 1.6 แสดงโครงสร้างของช่องสัญญาณในสายโทรศัพท์
ที่มา : บรรจง จันทมาศ, 2538, หน้า 17

จากรูปแสดงตัวอย่างความกว้างช่องสัญญาณของสายสัญญาณโทรศัพท์ ความถี่ของสัญญาณที่ส่งผ่านสายโทรศัพท์นี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 Hz ถึง 4,000 Hz (มีความกว้างของช่องสัญญาณเป็น 4,000 Hz) ข้อมูลซึ่งในที่นี้คือเสียงสนทนาของคน จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่มีความถี่ภายในช่วงความถี่ที่กำหนดเพื่อส่งผ่านสายเส้นนี้ โดยธรรมชาติของสัญญาณที่ใช้ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความไม่เที่ยงตรงหรืออาจเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่าย ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันไม่ให้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณมารบกวน ทำให้ผู้ฟังไม่ได้ยินเสียงผู้พูดหรือได้ยินเสียงผิดเพี้ยนไป โดยการกำหนดช่วงความถี่ใช้งานให้แคบกว่าช่วงความถี่ที่สามารถใช้ได้จริง ในกรณีของสายโทรศัพท์จะกำหนดให้ส่งสัญญาณที่ความถี่ 300 Hz ถึง 3,300 Hz ดังนั้นความกว้างช่องสัญญาณจึงเหลือเพียง 3,000 Hz (3,300-300=3,000) ความถี่ในช่วง 0 Hz ถึง 299 Hz และ 3,301 Hz ถึง 4,000 Hz เรียกว่า การ์ดแบนด์ (Guardband) ทำหน้าที่เสมือนเป็นการป้องกันไม่ให้สัญญาณที่อาจผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยต้องสูญหายไปเช่นเดียวกันถนนที่ต้องสร้างให้มีความกว้างมากกว่าขนาดของความกว้างของรถยนต์ทั่วไป เพื่อป้องกันไม่ให้รถยนต์ที่ผู้ขับอาจบังคับรถเฉไปเล็กน้อยไปกระแทกกับรถยนต์คันที่อยู่ข้าง ๆ

ความกว้างของสัญญาณมีความสำคัญต่อการสื่อสารมาก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดความเร็วในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ (Channel) ใด ๆ ช่องสัญญาณที่มีความกว้างมากหมายถึงความสามารถในการส่งข้อมูลได้มากกว่าช่องสัญญาณแคบ ๆ ในเวลาเท่ากัน เช่น เปรียบเทียบกับระบบน้ำประปา ท่อน้ำประปาที่ต่อเข้ามาใช้ภายในบ้านมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว เมื่อเปิดก๊อกเต็มที่จะสามารถปล่อยน้ำออกประมาณ 0.8 ลูกบาศก์นิ้วต่อวินาที ในขณะที่ท่อส่งน้ำเข้าชุมชนขนาดเล็กจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ฟุต จะสามารถส่งน้ำได้ประมาณ 113 ลูกบาศก์นิ้วต่อวินาที (สมมุติให้แรงดันน้ำมีค่าเท่ากัน) ในทำนองเดียวกัน ช่องสัญญาณแคบ ๆ (50 kHz) ก็สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณน้อย และช่องสัญญาณกว้าง (50 MHz) จะสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าภายในระยะเวลาที่เท่ากัน

ในภาพที่ 1.6 นั้นความกว้างของสัญญาณถูกกำหนดให้อยู่ในขนาด 3,000 Hz เนื่องจากเป็นสายสัญญาณที่ถูกออกแบบมาสำหรับถ่ายทอดสัญญาณที่เป็นเสียงสนทนาของคน ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 30 Hz ถึง 3,000 Hz ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานและยังมีราคาถูกมากด้วย ถ้าเปลี่ยนไปใช้สายสัญญาณที่มีความกว้างช่องสัญญาณมากกว่านี้ก็จะไม่เกิดประโยชน์ใด ๆ เพราะเสียงคนก็จะมีความถี่ในช่วงเดิมเสมอ เมื่อนำสายโทรศัพท์มาใช้ในการสื่อสารข้อมูลด้วยความกว้างของช่องสัญญาณนี้ถือว่าแคบมาก แต่ก็เพียงพอสำหรับผู้ใช้งานตามบ้านทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้งานในระดับองค์กรจำเป็นต้องใช้สื่อชนิดอื่นที่มีความกว้างของสัญญาณสูงกว่านี้มาก

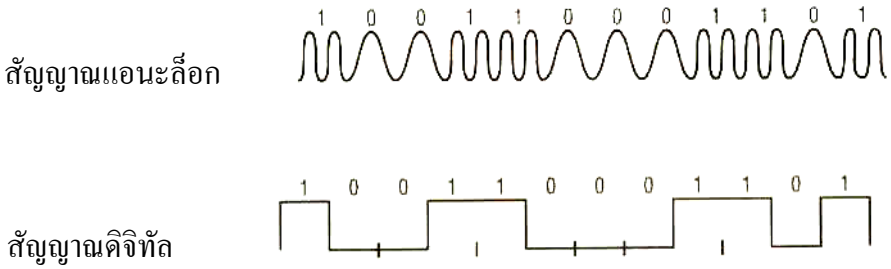
เนื่องจากขีดจำกัดของสัญญาณในสายโทรศัพท์ ทำให้มีการพัฒนาสื่อชนิดอื่นที่มีความกว้างช่องสัญญาณกว้างมากขึ้นมาใช้งาน เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียมมีช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่ขนาดตั้งแต่ 12 GHz ถึง 14 GHz หรือมีความกว้างช่องสัญญาณ 2 GHz ถ้านำสายโทรศัพท์มาใช้งานให้เต็ม

ประสิทธิภาพจะมีความกว้างช่องสัญญาณ 4,000 Hz นั่นคือจะต้องใช้สายโทรศัพท์ 500,000 เส้นจึงมีความสามารถในการส่งข้อมูลเทียบเท่ากับการใช้ช่องสื่อสารผ่านดาวเทียมเพียงช่องเดียว ในปัจจุบันมีการนำสายใยแก้วนำแสงมาใช้ในการสื่อสารข้อมูล ซึ่งทำให้ความสามารถในการส่งข้อมูลทางสายเทียบเท่าได้กับการใช้ช่องสื่อสารผ่านดาวเทียม เนื่องจากสายใยแก้วนำแสงแม้ว่าจะมีขนาดโตกว่าเส้นผมเพียงเล็กน้อยแต่ก็มีความกว้างของสัญญาณในระดับใกล้เคียงกัน

การใช้เทคนิคผสมสัญญาณแบบ ไดบิต (Dibit) หรือไตรบิต (Tribit) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการส่งสัญญาณได้เป็นสองเท่าหรือสามเท่าจากความกว้างของสัญญาณปกติ การใช้เทคนิคแบบไดบิตและไตรบิตจึงช่วยให้อัตราการส่งบอดอยู่ในระดับต่ำอย่างเช่น สายโทรศัพท์ทั่วไปมีช่องสัญญาณขนาด 3,000 Hz จึงทำให้มีอัตราการส่งบอดอยู่ที่ 2,400 ถ้าส่งข้อมูล 1 บิตต่อ 1 บอด ก็จะส่ง ข้อมูลได้ 2,400 บิตต่อวินาที ถ้านำเทคนิคไดบิตหรือไตรบิตมาใช้ก็จะได้อัตราการส่งข้อมูลเป็น 4,800 และ 7,200 บิตต่อวินาทีตามลำดับ

1.5.5 สัญญาณดิจิทัลและสัญญาณแอนะล็อก ข้อมูลที่เป็นแบบดิจิทัลจะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนคือสามารถแยกข้อมูลตัวที่อยู่ติดกันออกจากกันได้โดยง่าย คุณสมบัติข้อนี้เรียกว่าการแยกจากกัน (Discrete) เช่น ข้อมูลที่เป็นข้อความ จำนวนเลข หรือข้อความที่เขียนด้วยรหัสแทนข้อมูลแบบมอร์ส (Morse Code) ข้อมูลแต่ละตัว (ตัวหนังสือ ตัวเลข หรือรหัส) จะแยกจากกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ เลขจำนวน 123 (หนึ่งร้อยยี่สิบสาม) ประกอบด้วยตัวเลขสามตัว คือ เลข 1 เลข 2 และเลข 3 เป็นต้น ข้อมูลที่มีคุณสมบัตินี้สามารถแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัล (คือกลุ่มข้อมูลที่ประกอบขึ้นจากเลข 0 และ 1 เท่านั้น) และนำไปประมวลผลในเครื่องดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้โดยง่าย ข้อมูลบางอย่างมีความต่อเนื่องที่ไม่สามารถแยกส่วนประกอบของข้อมูลนั้นออกจากกันได้โดยง่าย เช่น ข้อมูลที่เป็นเสียงสนทนาหรือภาพวีดิทัศน์ จะไม่มีคุณสมบัติการแยกจากกัน ดังนั้นเมื่อข้อมูลประเภทนี้ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องดิจิทัลคอมพิวเตอร์ก็จะถูกแปลงให้อยู่ในสภาพดิจิทัลเหมือนกัน

ข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติการแยกจากกันหรืออาจกล่าวว่าเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง (Continuous) เช่น กระแสลม กระแสน้ำ และ กระแสไฟฟ้า เรียกว่าเป็นข้อมูลแอนะล็อก (Analog Data) สิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ทั่วไปไม่ว่าจะเป็น เวลา การดำรงชีวิตของคน พืช และสัตว์ สัญญาณเสียงและแสงล้วนแล้วแต่เป็นลักษณะแอนะล็อกทั้งสิ้น



ภาพที่ 1.7 แสดงสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล
ที่มา : จตุชัย แพงจันทร์ และ อนุโชต วุฒิพรพงษ์, 2546, หน้า 147

จากรูปแสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล สัญญาณดิจิทัลมีรูปทรงเป็นเหลี่ยม การเปลี่ยนแปลงสถานะจะเกิดขึ้นทันทีทันใดก็ต่อเมื่อขนาดหรือความกว้างของสัญญาณที่ใช้แทนข้อมูลแต่ละบิตจะมีขนาดเท่ากันทั้งหมดและการเกิดขึ้นของสัญญาณหนึ่งครั้งจะใช้แทนข้อมูลเท่ากับหนึ่งบิตพอดี สัญญาณแอนะล็อกมีรูปทรงและความถี่ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่นำมาใช้ จากรูปเป็นวิธีที่เรียกว่าการปรับเปลี่ยนความถี่ (Frequency modulation; FM) หมายความว่าข้อมูลที่เป็นบิต “1” จะมีจำนวนลูกคลื่นมากกว่า ข้อมูลที่เป็นบิต “0” (ภายในระยะเวลาที่เท่ากัน)

ภาพที่ 1.8 แสดงนาฬิกาแบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล
ที่มา : สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 39

ตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัลที่ชัดเจนอย่างหนึ่งคือนาฬิกาแบบรุ่นเก่าที่มีหน้าปัดรูปวงกลมเปรียบเทียบได้กับลักษณะสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งมีเข็มยาวและเข็มสั้นที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นนาฬิกาแบบใหม่ที่เป็นแบบดิจิทัล การแสดงเวลาจะใช้ตัวเลขที่บอกชั่วโมง และนาที ซึ่งแม้ว่าจะเปลี่ยนไปอยู่ตลอดเวลาเช่นกันแต่ก็สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน คือตัวเลขที่บอกเวลาต่างกันจะเป็นตัวเลขที่ไม่เหมือนกันอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ โทรศัพท์ทำการเปลี่ยนเสียงสนทนาให้กลายเป็นสัญญาณแอนะล็อก คอมพิวเตอร์ประมวลผลและสร้างผลลัพธ์เป็นดิจิทัล แม้ว่าคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบดิจิทัล แต่ก็มีคอมพิวเตอร์อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางแต่ทำงานกับสัญญาณแอนะล็อก โดยทั่วไปจะนำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ เรียกว่า Process Control Computer เช่นเครื่องที่นำมาใช้ควบคุมการผลิตสินค้าตามโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป หรือระบบแอนะล็อกคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ควบคุมเครื่องถ่วงล้อรถยนต์ เป็นต้น

1.6 รหัสแทนข้อมูล (Data Code)

คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลในลักษณะตัวเลข “0” และ “1” ที่ได้รับการจัดกลุ่มอย่างมีความหมายเรียกว่า รหัสแทนข้อมูล (Data Code) รหัสเหล่านี้ถูกนำมาใช้ทั้งในการแปลงรูปแบบข้อมูลที่นำเข้ามาเพื่อการจัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพและการนำกลับมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง นอกจากนั้นยังอาจนำไปใช้งานด้านอื่น เช่น การแปลงรหัสแทนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกันเอง

รหัสสากลรูปแบบแรกที่เกิดขึ้นในโลกการสื่อสารคือ รหัสมอส (Morse Code) ซึ่งในการส่งข่าวสารทางโทรเลข สำหรับปัจจุบันรูปแบบและเทคนิคการส่งข่าวสารได้เปลี่ยนไปตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งข่าวสารที่ติดต่อสื่อสารสามารถเป็นได้ทั้งตัวอักษร ตัวเลข สัญลักษณ์ รวมเรียกว่า อักขระ เพื่อความเหมาะสมในการสื่อสารข้อมูล จึงมีการแปลงอักขระดังกล่าวให้เป็นสัญญาณพัลส์ไฟฟ้าหรือบิตแทนรหัส รหัสที่ถือว่าเป็นสากลในวงการสื่อสารข้อมูล ได้แก่ รหัสแอสกี (ASCII) รหัสโบดอต (BAUDOT) รหัสเอ็บซีดิก (EBCDIC) และรหัสยูนิโค้ด (UNICODE)

รหัสแต่ละชนิดที่ใช้สำหรับการแทนข่าวสารเป็นจำนวนมากจะแทนข้อมูลในลักษณะที่เรียกว่าข้อมูลจุดภาพ (Image Pixel Data) ส่วนข้อมูลที่เป็นสัญลักษณ์ (Symbol) มักแทนด้วยรหัส Alphanumeric ซึ่งเป็นพยัญชนะ ตัวเลข เครื่องหมายวรรคตอน และสัญลักษณ์ควบคุมพิเศษ (Special Control Symbols) จำนวนของสัญลักษณ์ที่กำหนดของรหัสแบบต่าง ๆ สามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังนี้ (วาทิต เบญจพลกุล, 2543, 59)

$$N = 2^n$$

โดยที่ N คือ จำนวนของสัญลักษณ์
n คือ จำนวนบิตที่ใช้

ผลตามมาของหลักการนี้คือ จำนวนบิตที่ต้องการสำหรับการแทนสัญลักษณ์จำนวน N ตัว ก็คือ $\text{Log}_2 N$ โดยปัดจุดทศนิยมขึ้นเป็นเลขจำนวนเต็มเสมอดังรหัสแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.6.1 รหัสแอสกี (ASCII Code)

รหัสแทนด้วยตัวอักษรแบบแอสกี (American Standard Code for Information Interchange; ASCII) เป็นรหัสแทนข้อมูลที่มีการใช้แพร่หลายกันมากที่สุด เช่น ในไมโครคอมพิวเตอร์ IBM และ IBM คอมแพทิเบิล รหัสแอสกีเป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกา (American National Standards Institute; ANSI) ประกอบด้วยรหัส 7 บิตและเพิ่มอีก 1 บิต เรียกว่า แพริตี้บิต รวมเท่ากับ 8 บิต ต่อหนึ่งอักขระ ซึ่งแต่ละบิตจะแทนด้วยเลข “0” และ “1”

จำนวนอักขระหรือสัญลักษณ์ทั้งหมดที่แทนด้วยรหัสแอสกีคำนวณได้จาก 7 บิตแรกที่เป็น “0 ” หรือ “1” คือ 2^7 หรือ 128 ตัว ในอักขระ 128 ตัวนี้แบ่งเป็นตัวอักขระที่พิมพ์ได้ 96 อักขระ ซึ่งได้แก่ ตัวอักษร ตัวเลข และสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนคีย์บอด และอักขระควบคุม (Control Characters) อีก 32 อักขระ รหัสการสื่อสารถูกรวมเข้าไปในส่วนนี้ด้วย ถึงแม้ว่ารหัสแอสกีใช้แค่ 7 บิต ส่วนมากไมโครคอมพิวเตอร์จะใช้ 8 บิต ในการเข้ารหัสอักขระ รหัสที่เป็นมาตรฐานของแอสกี จะมีบิตที่ 8 เป็น 0 นั่นคือ 128 ตัวแรกในตารางแอสกีรุ่นดั้งเดิม ส่วนในรุ่นใหม่ที่ปรับปรุงเพิ่มเป็นภาษาไทยมีอักขระทั้งหมด 256 ตัว โดยเพิ่มตั้งแต่บิตที่ 128 ถึง 255 มีบิตที่ 8 จะเป็น 1 ซึ่งในบิตที่ 8 ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งผ่านมาตามสายสัญญาณ

ตำแหน่งบิต 7					**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**1**
					0	**0**	**1**	**1**	**0**	**0**	**1**	**1**
					0	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**
4	**3**	**2**	**1**									
					0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0		NUL	DLE	SP	0	@	P	‘	P
0	0	0	1		SOH	DC1	!	1	A	Q	a	Q
0	0	1	0		STX	DC2	“	2	B	R	b	R
0	0	1	1		ETX	DC3	#	3	C	S	c	S
0	1	0	0		EOT	DC4	$	4	D	T	d	T
0	1	0	1		ENQ	NAK	%	5	E	U	e	U
0	1	1	0		ACK	SYN	&	6	F	V	f	V
0	1	1	1		BEL	ETB	`	7	G	W	g	w
1	0	0	0		BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1		HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0		LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1		VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0		FF	FS	,	<	L	\	l	|
1	1	0	1		CR	GS	”	=	M	]	m	}
1	1	1	0		SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1		SI	US	/	?	O	_	o	DEL
				A	=	1	0	0	0	0	0	1
				C	=	1	0	0	0	0	1	1
				)	=	0	1	0	1	0	0	1

ภาพที่ 1.9 แสดงรหัสแอสกี (รุ่นดั้งเดิม)

ที่มา : ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, หน้า 15

จากรูปจะเห็นว่ามีสัญลักษณ์ตัวอักษรของรหัสแอสกี สามารถแทนอักขระหนึ่งตัวให้เป็นรหัสเลขฐานสองโดยเรียงตามตำแหน่ง Bit Positions ตัวอย่างเช่น ต้องการดู A มีรหัสแอสกีมีค่าเป็นเท่าไร จะต้องค้นหาตัว A ในตารางก่อนแล้วจึงดูที่ช่อง Bit Positions จากบิตที่ 1-4 จะเห็นว่าประกอบด้วย 1000 จากนั้นดูค่าบิตที่ 5 ถึง 7 จากส่วนบนประกอบด้วย 001 ดังนั้น A จะมีรหัสแอสกีเป็น 1000001 เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีอักขระควบคุมการทำงานการสื่อสารของรหัสแอสกี ซึ่งแต่ละตัวมีความหมายดังนี้ (ไพศาล สงวนหมู่ และคณะ, ม.ป.ป.)

NUL หมายถึง อักษระว่างอักขระนี้มีประโยชน์สำหรับอุปกรณ์เครื่องพิมพ์ ซึ่งต้องการเวลาที่แน่นอน

SOH หมายถึง Start of Heading จุดเริ่มต้นของเฮดเดอร์หรือส่วนหัวของข่าวสารและจะทำการตรวจสอบอักขระที่ตามหลัง SOH

STX หมายถึง Start of Text สิ้นสุดของเฮดเดอร์และเริ่มต้นข้อความที่ต้องการจะส่งให้

ETX หมายถึง End of Text สิ้นสุดข้อความที่จะส่งให้

EOT หมายถึง End of Transmission สิ้นสุดการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่บ่งบอกแล้ว

ENQ หมายถึง Enquiry เรียกการตอบสนองจากผู้รับข้อมูลหรือใช้ในการบอกสถานภาพของการสื่อสาร

ACK หมายถึง Acknowledge ผู้รับตอบรับว่าได้รับข้อมูลถูกต้อง

BEL หมายถึง Bell เสียงกระดิ่ง

BS หมายถึง Backspace เลื่อนเคอร์เซอร์หรือหัวเครื่องพิมพ์ไปทางซ้าย 1 ตำแหน่ง

HT หมายถึง Horizontal Tabulation เลื่อนเคอร์เซอร์หรือหัวเครื่องพิมพ์ไปตำแหน่งที่ตั้งค่าไว้

LF หมายถึง Line Feed เลื่อนตำแหน่งพิมพ์ไป 1 บรรทัด

VT หมายถึง Vertical Tabulation เลื่อนตำแหน่งพิมพ์ไป 1 บรรทัดไปบรรทัดที่ตั้งค่าไว้

FF หมายถึง Form Feed ขึ้นหน้าใหม่ของเครื่องพิมพ์

CR หมายถึง Carriage Return ขึ้นหน้าใหม่ของเครื่องพิมพ์ไปตำแหน่งที่ 1 ของบรรทัด

SO หมายถึง Shift Out ขยายขนาดตัวอักษร

SI หมายถึง Shift In กลับมาขนาดมาตรฐาน

DLE หมายถึง Data Link Escape ดัดแปลงแก้ไขความหมายของอักขระที่ตามหลังมา

DC1 หมายถึง Device Control 1 เริ่มส่งข้อมูลใหม่หลังจากหยุดการทำงานของ DC3

DC2 หมายถึง Device Control 2 เหมือน DC1 ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตจะนำไปใช้

DC3 หมายถึง Device Control 3 หยุดการส่งข้อมูลชั่วคราว

DC4 หมายถึง Device Control 4 เหมือน DC2 ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตจะนำไปใช้

NAK หมายถึง Negative Acknowledge ผู้รับตอบว่ามีความผิดพลาดในข้อมูลหรือในการส่ง

SYN หมายถึง Synchronous Idle อักขระ SYN ใช้ปรับสัญญาณนาฬิกาของผู้รับและผู้ส่งให้ตรงกัน

ETB หมายถึง End of Transmission Block สิ้นสุดกลุ่มข้อมูล

CAN หมายถึง Cancel เกิดมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลให้ยกเลิกได้

EM หมายถึง End of Medium สิ้นสุดของตัวกลางทางหน่วยบันทึกข้อมูล

SUB หมายถึง Substitute แทนอักขระที่ผิดพลาด

ESC หมายถึง Escape อักขระควบคุม

FS หมายถึง File Separator ขอบเขตในทางลอจิกของกลุ่มข้อมูลที่โอนถ่าย

GS หมายถึง Group Separator อักขระคั่นกลางแสดงขอบเขตของกลุ่มข้อมูลที่ส่งออกไป

RS หมายถึง Record Separator อักขระคั่นกลางใช้แสดงการคั่นระหว่างเรคคอร์ดที่ส่งไป

US หมายถึง Unit Separator อักขระคั่นกลางใช้แสดงการคั่นข้อมูลที่แตกต่างกัน

DEL หมายถึง Delete สำหรับเครื่องพิมพ์ใช้ในการลบอักขระที่ได้รับตัวท้ายสุด ถ้าเป็นหน่วยแสดงผลก็เป็นการลบอักขระใต้เคอร์เซอร์ออก

จะเห็นได้ว่ารหัสที่ใช้แทนสัญลักษณ์ทั้งหมดที่ใช้ในภาษาอังกฤษจำนวนอักษร 128 หรือ 2^7 ต่อมาได้ปรับปรุงกลายเป็นรหัสแอสกีที่ใช้ภาษาไทยมีจำนวนตัวอักษร 256 หรือ 2^8 เป็นรุ่นที่ใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 1.10

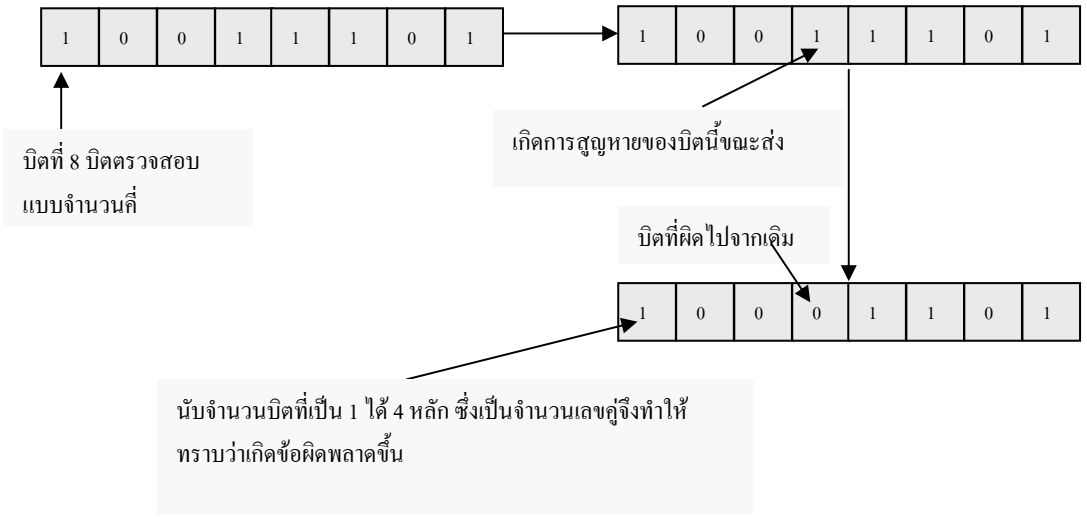
รหัสฐานสิบ	อักขระ	รหัสฐานสิบ	อักขระ	รหัสฐานสิบ	อักขระ	รหัสฐานสิบ	อักขระ	รหัสฐานสิบ	อักขระ
000	(null)	052	4	104	h	156	£	208	ш
001	☺	053	5	105	i	157	¥	209	╤
002	☻	054	6	106	j	158	₨	210	т
003	♥	055	7	107	k	159	ƒ	211	ш
004	♦	056	8	108	l	160	á	212	Ł
005	♣	057	9	109	m	161	í	213	F
006	♠	058	:	110	n	162	ó	214	п
007	(beep)	059	;	111	o	163	ú	215	╫
008	◘	060	<	112	p	164	ñ	216	╪
009	(tap)	061	=	113	q	165	Ñ	217	┘
010	(line feed)	062	>	114	r	166	ª	218	┌
011	(home)	063	?	115	s	167	º	219	■
012	(form feed)	064	@	116	t	168	¿	220	▄
013	(carriage return)	065	A	117	u	169	⌐	221	▌
014	♫	066	B	118	v	170	¬	222	▐
015	☼	067	C	119	w	171	½	223	▀
016	►	068	D	120	x	172	¼	224	α
017	◄	069	E	121	y	173	¡	225	ß
018	↕	070	F	122	z	174	«	226	Γ
019	!!	071	G	123	{	175	»	227	π
020	¶	072	H	124	|	176	▒	228	Σ
021	§	073	I	125	}	177	▓	229	σ
022	▬	074	J	126	~	178	▓	230	µ
023	↨	075	K	127	⌂	179	│	231	τ
024	↑	076	L	128	Ç	180	┤	232	Φ
025	↓	077	M	129	ü	181	╡	233	Θ
026	→	078	N	130	é	182	╢	234	Ω
027	←	079	O	131	â	183	╖	235	δ
028	(cursor right)	080	P	132	ä	184	╕	236	∞
029	(cursor left)	081	Q	133	à	185	╣	237	ø
030	(cursor up)	082	R	134	å	186	║	238	∈
031	(cursor down)	083	S	135	ç	187	╗	239	∩
032	(space)	084	T	136	ê	188	╝	240	≡
033	!	085	U	137	ë	189	╜	241	±
034	"	086	V	138	è	190	╛	242	≥
035	#	087	W	139	ï	191	┐	243	≤
036	$	088	X	140	î	192	└	244	⌠
037	%	089	Y	141	ì	193	┴	245	⌡
038	&	090	Z	142	Ä	194	┬	246	÷
039	'	091	[	143	Å	195	├	247	≈
040	(	092	\	144	É	196	─	248	°
041	)	093	]	145	æ	197	┼	249	∙
042	*	094	^	146	Æ	198	╞	250	·
043	+	095	_	147	ô	199	╟	251	√
044	,	096	`	148	ö	200	╚	252	ⁿ
045	-	097	a	149	ò	201	╔	253	²
046	.	098	b	150	û	202	╩	254	■
047	/	099	c	151	ù	203	╦	255	(blank)
048	0	100	d	152	ÿ	204	╠		
049	1	101	e	153	Ö	205	═		
050	2	102	f	154	Ü	206	╬		
051	3	103	g	155	¢	207	╧		

ภาพที่ 1.10 แสดงรหัสแอสกีที่ใช้ในปัจจุบัน

ที่มา : สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, 2544, หน้า 48

ตามรูปแบบของรหัสแอสกี ซึ่งประกอบด้วยบิตที่ 1 ถึง 7 นั้น เมื่อมีการส่งผ่านข้อมูลไปตามระบบสื่อสารจะเพิ่มบิตที่ 8 เข้าไปอีก 1 บิต เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งผ่านมาตามสายส่งสัญญาณ ซึ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ การตรวจจำนวนคี่ (Odd Parity) และการตรวจสอบจำนวนคู่ (Even Parity) สำหรับการตรวจสอบจำนวนคี่ หมายถึง การส่งข้อมูลไป 1 ตัวอักษรที่ถูกเข้ารหัสเป็นรหัสแอสกี 7 บิตเพิ่มอีก 1 บิตเป็นบิตที่ 8 ซึ่งเป็นบิตตรวจสอบจะต้องนับบิตที่มีค่าของ “1” อยู่เป็นจำนวนคี่ เช่น ถ้านับบิตที่เป็น 1 ของรหัสแอสกีเป็นจำนวนคู่แล้วบิตตรวจสอบที่เพิ่มเข้าไปเป็นบิตที่ 8 จะต้องมีค่าเป็น 1 เพื่อให้นับรวมได้จำนวนคี่ แต่ถ้าข้อมูลตัวที่ส่งไปนั้นมีรหัสแอสกีนับบิตที่เป็น 1 ได้เป็นจำนวนคี่อยู่แล้ว บิตตรวจสอบที่เพิ่มเข้าไปเป็นบิตที่ 8 จะต้องมีค่าเป็น 0 ส่วนการ

ตรวจสอบจำนวนคู่จะมีหลักการเดียวกัน เพียงแต่ว่านับจำนวนบิตที่มีค่าเป็น 1 รวมทั้ง 8 บิต คือรวมทั้ง Parity Bit ด้วย จะต้องเป็นจำนวนคู่ เช่น รหัสแอสกีคือ 0110111 ถ้าเพิ่มบิตที่ 8 เข้าไปด้วยแบบการตรวจสอบจำนวนคี่ ค่าของบิตที่ 8 จะมีค่าเป็น 0 ดังนั้นข้อมูลทั้ง 8 บิตที่ส่งไปคือ 00110111 แต่ในทางกลับกัน ถ้าใช้การตรวจสอบจำนวนคู่ค่าของบิตที่ 8 จะต้องมีค่าเป็น 1 ซึ่งในรูปแบบข้อมูลทั้ง 8 บิตที่ส่งไปคือ 10110111 เป็นต้น



ภาพที่ 1.11 แสดงการส่งผ่านข้อมูลของรหัสแอสกีโดยใช้การตรวจสอบแบบจำนวนคี่
ที่มา : ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, หน้า 16

รหัสภาษาไทย สืบเนื่องจากปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลได้มีบทบาทและสำคัญเพิ่มมากขึ้น ผู้ใช้คอมพิวเตอร์มีจำนวนมากขึ้น การใช้งานภาษาไทยเป็นไปอย่างกว้างขวาง มีการใช้โปรแกรมประมวลผลคำในการพิมพ์เอกสาร จัดรูปแบบการพิมพ์ในงานต่าง ๆ ในช่วงแรกมีปัญหาของการใช้ภาษาไทยเกิดขึ้น โดยเฉพาะการพัฒนาด้านการใช้ภาษาไทยที่ใช้รหัสแตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถทำการโอนย้ายข้อมูลหรือส่งผ่านข้อมูลมาใช้ร่วมกันได้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จึงได้ตั้งคณะกรรมการขึ้นเพื่อทำการศึกษาและนำรหัสมาตรฐานภาษาไทยของแต่ละรหัสเชื่อมโยงกันและใช้ข้อมูลร่วมกันได้ (สุรสิทธิ์ ราตรี, 2545, 48)

1.6.2 รหัสโบดอต (Baudot Code)

รหัสโบดอตเป็นมาตรฐานของ CCITT ซึ่งเป็นระบบโทรเลขและเทเล็กซ์ทั่วโลก ประกอบด้วยรหัส 5 บิต ดังนั้นจึงใช้แทนตัวอักขระได้ 2^5 หรือ 32 ตัว และเพิ่มอักขระพิเศษขึ้นอีก 2 ตัว คือ 11111 หรือ LS (Letter Shift Character) เพื่อเลือกเปลี่ยนเป็นอักขระกลุ่มตัวอักษร (Lowercase) และ 11011 หรือ FS (Figure Shift Character) เพื่อเลือกเปลี่ยนเป็นอักขระกลุ่มเครื่องหมาย (Uppercase) ซึ่งทำให้มีรหัสแทนตัวอักขระเพิ่มอีก 32 ตัว โดยมีอักขระซ้ำกับกลุ่มตัวอักขระเดิม 6 ตัว ดังนั้นรหัสโบ

ดอตจึงสามารถใช้แทนอักขระได้ทั้งหมด 58 ตัว สำหรับรหัสโบดอตที่การสื่อสารแห่งประเทศไทยใช้จะเป็นขนาด 5 บิต

กลุ่มตัวอักษร	กลุ่มเครื่องหมาย	รหัส	กลุ่มตัวอักษร	กลุ่มเครื่องหมาย	รหัส
A	--	11000			
B	?	10011	S	bell	10100
C	:	01110	T	5	00001
D	$	10010	U	7	11100
E	3	10000	V	;	01111
F	!	10110	W	2	11001
			X	/	10111
G	&	01011	Y	6	10101
H	pound	00101	Z	"	10001
I	8	01100	LS เปลี่ยนเป็นตัวอักษร		11111
J	'	11010	FS เปลี่ยนเป็นเครื่องหมาย		11011
K	(	11110	ว่าง	(space)	00100
L	)	01001	เลื่อนไปที่ตำแหน่งที่ 1 ของบรรทัด		00010
M	.	00111	เลื่อนไป 1 บรรทัด		01000
N	,	00110	ช่องว่าง	(blank)	00000
O	9	00011			
P	0	01101			
Q	1	11101			
R	4	01010			

ภาพที่ 1.12 แสดงรหัสโบดอต
ที่มา : ฉัตรชัย สุมามาลย์, 2544, หน้า 17

1.6.3 รหัสเอ็บซีดิก (EBCIDIC)

รหัสเอ็บซีดิก (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code; EBCDIC) เป็นรหัสแทนข้อมูลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้งานสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัทไอบีเอ็มโดยเฉพาะ รหัสเอ็บซีดิกนี้มีขนาด 8 บิต เพื่อแทนสัญลักษณ์หนึ่งตัว ดังนั้นจึงสามารถใช้แทนอักขระได้ 2^8 หรือ 256 ตัว หรือสองเท่าของรหัสแอสกี รหัสเอ็บซีดิกถือว่าเป็นรหัสมาตรฐานในการใช้แทนอักขระของเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบัน

ตำแหน่งบิต				8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
				7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
				6	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
				5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
4	3	2	1																	
0	0	0	0		Nul	Dle	Ds		Spc	&	-						{	}	\	0
0	0	0	1		Soh	Dc1	Sds				/		a	j	~		A	J		1
0	0	1	0		Stx	Dc2	Fs	syn					b	k	s		B	K	S	2
0	0	1	1		Etx	Dc3							c	l	f		C	L	T	3
0	1	0	0		Pt	Res	Byp	Pn					d	m	u		D	M	U	4
0	1	0	1		Ht	Nl	Lf	Rs					e	n	v		E	N	V	5
0	1	1	0		lc	Bs	Etb	Uc					f	o	w		F	O	W	6
0	1	1	1		Del	Il	Esc	Eot					g	p	x		G	P	X	7
1	0	0	0			Can							h	q	x		H	Q	Y	8
1	0	0	1		Rif	Em						\	i	r	y		I	R	Z	9
1	0	1	0		Smn	Cc	Sm		(	!	|	:								)
1	0	1	1		Vt	Cu1	Cu2	Cu3	.	$	'	#								
1	1	0	0		Ff	Ifs		Dc4	<	*	%	@								
1	1	0	1		Cr	Igs	Enq	Nak	(	)	-	'								
1	1	1	0		So	Irs	Ack		+	;	>	=								
1	1	1	1		Si	Ius	Bel	Sub	1	>	?	"								
A = 11000001							C = 11000011						) = 01011101							

ภาพที่ 1.13 แสดงรหัสเอ็บซีดิก
ที่มา : ภวนา เผ่าน้อย, 2547, หน้า 211

ในรูปจะเห็นว่ารหัสเอ็บซีดิกมีตารางที่ว่างปนอยู่ด้วย ตารางว่าง ๆ เหล่านี้ได้สร้างปัญหาให้กับการนำรหัสแบบนี้มาใช้ในตอนต้น ๆ พอสมควร อย่างไรก็ตามเมื่อรหัสนี้ถูกนำออกมาใช้ในประเทศต่าง ๆ ตารางในส่วนที่ว่างก็ถูกเติมด้วยสัญลักษณ์อื่น ๆ ซึ่งโดยปกติจะเป็นตัวอักษรพยัญชนะของภาษาอื่น เช่น อาจเป็นตัวอักษรภาษาไทย ภาษาฝรั่งเศสหรือภาษาสเปน เป็นต้น ทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป

1.6.4 รหัสยูนิโค้ด (UNICODE)

รหัสแทนข้อมูลแบบใหม่ล่าสุด เรียกว่า ยูนิโค้ด (UNICODE) ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเมื่อ พ.ศ. 2536 เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับรหัสแบบแรกโดยการกำหนดให้หนึ่งตัวอักษรมีขนาด 16 บิตแทน 8 บิตตามแบบเก่าจึงสามารถใช้แทนตัวอักษรได้มากถึง 65,536 แบบ ตัวอักษร 128 ตัวแรกจะเหมือนกันกับตัวอักษรในรหัสแอสกีรุ่นเก่า นอกจากนี้มีตัวอักษรจีน 2,000 ตัว ตัวอักษรญี่ปุ่น เกาหลี รัสเซีย ฮิบรู กรีก สันสกฤต และอื่น ๆ รวมทั้งสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สัญลักษณ์พิเศษอีกมากมาย โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดยใช้รหัสนี้จำเป็นจะต้องทำงานควบคู่กับระบบปฏิบัติการที่รู้จักรหัสนี้ เช่น วินโดวส์ เอ็นที (Windows NT) เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าปัจจุบันรหัสแทนข้อมูลแบบที่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ รหัสโบดอต รหัสแอสกี รหัสแอสกีรุ่นปรับปรุงใหม่ และรหัสเอ็บซีดิก รหัสโบดอตใช้ข้อมูลจำนวน 5 บิตเพื่อใช้แทนตัวอักษรหนึ่งตัวและใช้สัญลักษณ์กลุ่มรหัส 2 แบบทำให้แทนความหมายตัวอักษรได้ 64 ตัว รหัสแอสกีนิยมนำมาใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปประกอบขึ้นจากข้อมูลจำนวน 7 บิตต่อตัวอักษร ซึ่งแทนความหมายได้ 128 ตัว รหัสเอ็บซีดิกสามารถแทนตัวอักษรได้ 256 ตัว แต่ละตัวนำมาจากข้อมูลจำนวน 8 บิต นิยมใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่

1.7 ระบบการเก็บข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบเก็บข้อมูล

นอกจากรหัสต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อตกลงในการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับแล้ว ในบางครั้งเราจำเป็นจะต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราว เนื่องจากการสื่อสารที่มีระยะทางยาวไกล หรือมีการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย

1.7.1 ฮาร์ดดิสค์ (Harddisk)

เรียกอีกอย่างว่า Fix Disk เป็นสื่อบันทึกข้อมูลประเภทหนึ่ง (Storage Device) เป็นอุปกรณ์ ที่จำเป็น และ เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ติดตั้งมาพร้อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ใช้ในการติดตั้งระบบปฏิบัติการ ติดตั้งโปรแกรมประยุกต์และ เก็บข้อมูลของผู้ใช้ เนื่องจากโปรแกรม หรือข้อมูลในปัจจุบันมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถที่จะเก็บ ลงในแผ่นดิสเก็ต ได้หมด ฮาร์ดดิสค์ จะบรรจุอยู่ในกล่องโลหะปิดสนิท เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกหลุดเข้าไปภายใน ซึ่งถ้าต้องการเปิดออก จะต้องเปิดในปลอดฝุ่น (Clean Room) ที่มีการกรองฝุ่นละอองจากอากาศเข้าไปในห้องออกแล้ว ฮาร์ดดิสค์ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นแบบติดภายในเครื่องไม่เคลื่อนย้ายเหมือนแผ่นดิสเก็ต ฮาร์ดดิสค์ประเภทนี้อาจเรียกว่าดิสค์วินเชสเตอร์ (Winchester Disk)

1.7.2 ดาต้าเซนเตอร์ (Data Center)

คือ สถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือที่ทำหน้าที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ที่สำคัญ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะรวมถึงระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์เช่น ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning) ระบบป้องกันอัคคีภัย (Fire Suppression) เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงระบบไฟฟ้าสำรอง ระบบเชื่อมต่อเครือข่ายสำรอง และระบบป้องกันภัยระดับสูง หน่วยงานที่มีดาต้าเซ็นเตอร์คือหน่วยงานที่ต้องอาศัยข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญขององค์กร จะต้องมีดาต้าเซ็นเตอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ตัวอย่างองค์กร เช่น ธนาคารจะมีหน่วยงานดาต้าเซ็นเตอร์เป็นของตนเอง ข้อมูลที่เก็บรักษาจะประกอบด้วยบัญชีลูกค้า รายการเกี่ยวกับธุรกรรมด้านการเงิน ในเมืองใหญ่หลายแห่งได้สร้างดาต้า

เซ็นเตอร์ไว้ในที่ปลอดภัย ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งให้บริการการสื่อสาร รวมถึงระบบสื่อสารอินเตอร์เน็ต รวมอยู่ในดาต้าเซนเตอร์นี้ด้วย

1.7.2.1 ด้านกายภาพ (Physical layout)

ดาต้าเซนเตอร์ สามารถอยู่ในห้องเพียงห้องเดียว พื้นที่ 1 ชั้น หรือหลายชั้น ของตึก ๆหนึ่ง หรือ อาจมีขนาดใหญ่เท่ากับตึก 1 ตึกก็ได้ โดยมากอุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ในรูปของแร็ค เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งมีความสูง 19 นิ้ว เซิร์ฟเวอร์จะมีขนาดแตกต่างกันจาก 1 U จนถึงขนาดยักษ์ กินเนื้อที่มหาศาล โดย 1 U จะแทนด้วยแร็ค 1 ยูนิต โดย 1 ยูนิตมีขนาดสูง 1.75 นิ้ว (44.49 mm) ซึ่งขนาดดังกล่าวเชื่อว่าได้รับอิทธิพลมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 สิ่งแวดล้อมของดาต้าเซ็นเตอร์จะต้องมีดังต่อไปนี้

- แอร์คอนดิชั่น (Air conditioning) ติดตั้งไว้เพื่อให้ห้องดังกล่าวมีความเย็น ใช้ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 20 – 22 องศาเซลเซียส
- ระบบสำรองไฟฟ้า (Backup Power) เพื่อสำรองระบบไฟฟ้าไม่ให้กระแสไฟฟ้าหยุดชะงักลง โดยจะต้องมีเครื่องปั่นไฟ (Power Diesel generators) ทำหน้าที่ปั่นไฟด้วย
- การป้องกันปัญหา Single Points Failure ซึ่งปัญหานี้อาจจะเกิดขึ้นได้หากมีอุปกรณ์หลักเพียงอันเดียว เช่น มีเซิร์ฟเวอร์เพียงเครื่องเดียว หรือสวิตซ์(Switch) หลักเพียงเครื่องเดียว อุปกรณ์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าทั้งหมด ควรจะมี 2 ชุด เป็นระบบสำรองแบบ Fully Duplicated มีการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าเป็น 2 สาย คือ A-side และ B-side
- ห้องดาต้าเซ็นเตอร์ จะต้องมีพื้นยกสูงจากพื้นระดับปกติ 60 เซนติเมตร (2 ฟุต) เพื่อระบบระบายอากาศให้เครื่องปรับอากาศเป่าลมจากด้านล่างของพื้นขึ้นสู่ด้านบน เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับเดินสายไฟลอดใต้พื้น ดาต้าเซ็นเตอร์บางแห่งที่มีทุนน้อยหรือมีขนาดเล็ก อาจใช้พื้นชนิดป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิต เป็นวัสดุสำหรับปูพื้นแทนได้
- ดาต้าเซ็นเตอร์ จะต้องมีระบบป้องกันอัคคีภัย ซึ่งสามารถแจ้งเตือนได้หากเกิดความร้อน หรืออัคคีภัยขึ้น สารที่ใช้ดับไฟ ไม่ควรเป็นน้ำเพราะจะสร้างความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ควรเป็นก๊าซเช่น ก๊าซฮาลอน(Halon) ซึ่งไม่สร้างความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่เนื่องจากก๊าซดังกล่าวได้ทำลายบรรยากาศ ดังนั้นปัจจุบันจึงได้ใช้ก๊าซชนิดอื่นแทน เช่น Argonite และ FM-200 เป็นต้น
- ความปลอดภัยทางด้านกายภาพอื่น ๆ เช่น กล้องวีดีโอและระบบจัดเก็บภาพ ใช้เพื่อจับภาพผู้บุกรุกเข้าสู่ห้องดาต้าเซ็นเตอร์โดยไม่ได้รับอนุญาต

1.7.2.2 ด้านเครือข่าย

การสื่อสารในปัจจุบันภายในดาต้าเซ็นเตอร์จะเป็นลักษณะของโพรโทคอลไอพี (IP protocol) ภายในดาต้าเซ็นเตอร์ประกอบด้วยเราเตอร์(Routers) และ สวิตซ์(Switch) จำนวนหนึ่ง ในการนำข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ออกสู่ภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีการระวังด้านความปลอดภัยของระบบเครือข่ายด้วย ซึ่งในดาต้าเซ็นเตอร์จะประกอบไปด้วย ไฟร์วอลล์(Firewalls) วีพีเอ็น(VPN) ไอดีเอส(Intrusion detection systems) เพื่อทำหน้าที่ระวังป้องกันการบุกรุกและโจรกรรมจากภายในและภายนอกองค์กร

1.7.2.3 ด้านแอพลิเคชั่น (Applications)

วัตถุประสงค์หลักของดาต้าเซ็นเตอร์คือ ใช้ปฏิบัติงานแอพลิเคชั่นด้านต่าง ๆ ขององค์กร โปรแกรมที่ใช้งานจะแตกต่างกันไปตามองค์กรแต่ละแห่ง บางแห่งมีทีมพัฒนาเอง บางแห่งอาจซื้อจากผู้ผลิตซอฟต์แวร์ขนาดใหญ่ โดยทั่วไปแอพลิเคชั่นจะประกอบด้วย ระบบที่เรียกว่า ERP และ CRM ซึ่งประกอบด้วยหลาย ๆ เซิร์ฟเวอร์โฮสต์ แต่ละโฮสต์จะทำงานโปรแกรมใดโปรแกรมหนึ่ง เช่น ด้านฐานข้อมูล(Data Base) ด้านไฟล์เซิร์ฟเวอร์(File Server) แอพลิเคชั่นเซิร์ฟเวอร์ มิดเดิลแวร์ (Middleware) เป็นต้น

1.8 บทสรุป

สัญญาณสื่อสารเป็นสิ่งที่ใช้ในการถ่ายทอดข่าวสารผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณที่มีความแตกต่างไปจากสัญญาณ ซึ่งปกติใช้สำหรับถ่ายทอดเสียงพูดของผู้ใช้ผ่านสายโทรศัพท์ ดังนั้นจึงมีการพัฒนารหัสแทนข้อมูลขึ้นมาสำหรับการส่งสัญญาณของคอมพิวเตอร์ผ่านระบบโทรศัพท์ ซึ่งช่วยให้เกิดการทำงานในรูปแบบอัตโนมัติ

ข้อมูลถูกถ่ายทอดผ่านระบบเครือข่ายด้วยความเร็วที่วัดเป็นจำนวนบิตต่อวินาที ซึ่งคำว่าบิตหมายถึงหน่วยข้อมูลขนาดเล็กที่สุดที่คอมพิวเตอร์รู้จักและนำมารวมกันเป็นกลุ่มเพื่อใช้แทนความหมายตัวอักษรต่าง ๆ ในการสื่อสาร การวัดอัตราความเร็วในการสื่อสารสามารถทำได้ในหน่วยอัตราบอด ซึ่งเป็นการวัดจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เกิดขึ้นต่อวินาที อัตราบอดและอัตราบิตอาจมีค่าเท่ากันหรือแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีแปลความหมายของสัญญาณที่เกิดขึ้น

การคำนวณขนาดความจุของช่องสื่อสารนั้นนำมาจากช่วงความถี่ของช่องสื่อสารเนื่องจากการถ่ายทอดสัญญาณแต่ละความถี่มีความเร็วเท่ากันเสมอ ดังนั้นอัตราความเร็วจึงขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องสื่อสาร คือช่องสื่อสารที่มีความกว้างมากกว่าจะสามารถถ่ายทอดข้อมูลได้เร็วกว่าช่องสื่อสารที่มีความกว้างน้อยกว่าเสมอ

คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณแบบดิจิทัลในขณะที่ระบบเครือข่ายโทรศัพท์สร้างขึ้นมาสำหรับการถ่ายทอดสัญญาณแบบแอนะล็อก โมเด็มจึงเป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้แปลงสัญญาณคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปยังผู้รับผ่านทางสายโทรศัพท์โมเด็มมีทั้งแบบที่เป็นโมเด็มติดตั้งภายในโมเด็มติดตั้งภายนอกและแฟกซ์โมเด็ม เป็นต้น

1.9 คำถามทบทวน

1.9.1 จงบอกความหมายของการสื่อสารข้อมูลพร้อมทั้งยกตัวอย่างมาให้เข้าใจ

1.9.2 องค์ประกอบของการสื่อสารมีอะไรบ้าง พร้อมทั้งอธิบาย

1.9.3 จงบอกหน้าที่ขององค์กรควบคุมมาตรฐาน IEEE มาให้เข้าใจ

1.9.4 จงอธิบายคำว่า อัตราการส่งบอด (Baud) และอัตราการส่งบิตมาให้เข้าใจ

1.9.5 จงอธิบายความแตกต่างของสัญญาณดิจิทัลและสัญญาณแอนะล็อก มาให้เข้าใจ

1.9.6 จงบอกความหมายของคำว่า ความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) พร้อมอธิบายมาให้เข้าใจ

1.9.7 ทำไมจึงต้องใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบไดบิต หรือไตรบิต เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูล

1.9.8 จงยกตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล มาให้เข้าใจ

1.9.9 ทำไมคอมพิวเตอร์ถึงต้องใช้รหัสแทนข้อมูลในการทำงานและการสื่อสาร

1.9.10 รหัสแอสกีรุ่นปัจจุบันมีลักษณะเป็นอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

จตุชัย แพงจันทร์ และอนุโชต วุฒิพรพงษ์. (2546). **เจาะระบบ Network**. กรุงเทพมหานคร : บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

เจษฎา ศริยันต์ และ เอกชัย อรุณสกุล. (2540). **การออกแบบและจัดการระบบเครือข่าย.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

ฉัตรชัย สุมามาลย์. (2544). **การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย (ปรับปรุงใหม่).** กรุงเทพมหานคร : หจก. ไทยเจริญการพิมพ์.

_____. (2527). **การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย.** กรุงเทพมหานคร : บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และ ทินกร ดุ๊ก. (มปป.). **การสื่อสารข้อมูล**. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.

บรรจง จันทมาศ. (2538). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ** กรุงเทพมหานคร : บริษัทประชาชน จำกัด.

บุรีรัมย์, สถาบันราชภัฏ คณาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ . (2545). **เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิต.** บุรีรัมย์ : โรงพิมพ์เรวัฒน์การพิมพ์.

พิพัฒน์ หิรัณย์วณิชชากร. (2542). **ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด.

ไพศาล สงวนหมู่และยืน ภู่วรวรรณ. (ม.ป.ป.). **การสื่อสารและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวร์ด**. กรุงเทพมหานคร : หจก. เอช-เอน การพิมพ์.

ภวนา เผ่าน้อย. (2547). **เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิต**. บุรีรัมย์ : ร้านถ่ายเอกสาร ซีพี.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2543). **ศัพท์คอมพิวเตอร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน แก้ไขเพิ่มเติม**. กรุงเทพมหานคร : หจก.อรุณการพิมพ์.

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

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

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

สุรสิทธิ์ ราตรี. (2545). **การสื่อสารข้อมูล**. กรุงเทพมหานคร : งานตำราและเอกสารการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

By Behrouz A. Forouzan. (2000). **Data Communication and Networking,(2 nd ed).** Singapore : McGraw-Hill.

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

James F. Kurose, Keith W. Ross. (2001). **Computer Networking**. London, England : Addidon Wesley Longman, Inc.