

การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้

| ผศ.ดร.อัญญา อภาววัชรุตม์ วีระประพันธ์

WiFi

THEORY & APPLICATIONS

| Anya Apavatjrut Weeraprapan

คำนำ

มนุษย์เป็นสัตว์สังคมที่ต้องการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูล การพัฒนาด้านคมนาคมที่ก้าวกระโดดเอื้ออำนวยให้มนุษย์ได้มีปฏิสัมพันธ์กับผู้คนในท้องถิ่นห่างไกลออกไป จึงเกิดความต้องการสื่อสารทางไกลหรือโทรคมนาคม (telecommunication) การถือกำเนิดของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนับว่าเป็นนวัตกรรมใหม่แห่งโลกโลกาภิวัตน์ (globalization) ซึ่งเชื่อมต่อประชากรทั้งโลกเข้าหากันได้อย่างไร้พรมแดน อินเทอร์เน็ตในยุคแรกอาศัยการแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งผ่านสายนำสัญญาณต่อมาเริ่มมีการพัฒนาสายอากาศที่ทำให้สามารถส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศแบบไร้สาย

การเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความสะดวกในการเชื่อมต่อและความสามารถในการคงสถานะการเชื่อมต่อภายใต้รัศมีการกระจายสัญญาณเป็นจุดเด่นที่ทำให้ความต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบไร้สายเป็นที่นิยมมากขึ้นตามลำดับ ปัจจุบันนอกจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อการสื่อสาร ยังมีอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายประเภทที่ต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบไร้สายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมหรือตั้งค่าจากระยะไกล ก่อให้เกิดความต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือที่เรียกว่า (IoT) ซึ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างทวีคูณในทุก ๆ ปี

หนังสือเล่มนี้ออกแบบมาเพื่ออธิบายหลักการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของอุปกรณ์สื่อสารภายในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการทำงานภายในเครือข่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบเครือข่ายไร้สายภายในอาคารได้ เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ครอบคลุมหัวข้อเกี่ยวกับคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการเลือกใช้ความถี่ การออกแบบสายอากาศ การตั้งค่าเครือข่ายด้วยการเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสาร ตลอดจนการพัฒนาซอฟต์แวร์มาใช้ในการบริหารจัดการเครือข่าย เนื้อหาบางส่วนในหนังสือเล่มนี้อธิบายหลักการหาตำแหน่งโดยอาศัยแบบแผนของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอาคาร หนังสือเล่มนี้เหมาะกับนักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่อยากศึกษาการทำงานของเครือข่าย

ไร้สายเพื่อให้สามารถใช้งานและแก้ไขปัญหาการใช้งานเบื้องต้น สามารถตั้งค่าอุปกรณ์เชื่อมต่อให้เหมาะสมกับลักษณะงาน นอกจากนี้หนังสือเล่มนี้ยังมีเนื้อหาที่อาจเป็นประโยชน์ในการปูพื้นฐานความรู้สำหรับผู้ดูแลเครือข่าย (network administrator) โดยนำเสนอแนวทางการออกแบบและติดตั้งเครือข่าย การหาการตั้งค่าที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่าย โดยนำเสนอแพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดและหลีกเลี่ยงปัญหาที่คาดการณ์ว่าอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน เพื่อให้คุณภาพการให้บริการเครือข่าย (quality of service) ตอบสนองตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน

ตัวอย่าง

สารบัญ

คำนิยาม	ii
คำนำ	iii
สารบัญ	xiv
สารบัญภาพ	xxii
สารบัญตาราง	xxiv

1 ระบบสื่อสาร	1
1.1 ประวัติของการสื่อสารโทรคมนาคม	1
1.1.1 การสื่อสารทางไกลในอดีต	2
1.1.2 การสื่อสารด้วยโทรเลข	2
1.1.3 การสื่อสารด้วยโทรศัพท์	3
1.1.4 การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต	4
1.2 ข่าวสารและข้อมูล	6
1.2.1 ข้อมูลแอนะล็อก	6
1.2.2 ข้อมูลดิจิทัล	7
1.3 ตัวกลางสื่อสาร	9

1.3.1	ตัวกลางสื่อสารที่อาศัยตัวนำสัญญาณทางกายภาพ	9
1.3.1.1	สายทองแดงคู่บิดเกลียว	9
1.3.1.2	สายโคแอกซ์	10
1.3.1.3	สายใยแก้วนำแสง	11
1.3.2	ตัวกลางสื่อสารที่ไม่อาศัยตัวกลางนำสัญญาณทางกายภาพ	12

2 สายอากาศ 13

2.1	แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	13
2.2	ลักษณะการกระจายสัญญาณ	16
2.2.1	ระยะใกล้สายอากาศแบบมีปฏิสัมพันธ์	16
2.2.2	ระยะใกล้สายอากาศแบบมีการแผ่รังสี	17
2.2.3	ระยะไกลจากสายอากาศ	18
2.3	ชนิดของสายอากาศ	18
2.3.1	สายอากาศแบบลวดตัวนำ	18
2.3.2	สายอากาศแบบช่องเปิด	20
2.3.3	สายอากาศแบบสะท้อนสัญญาณ	21
2.3.4	สายอากาศไมโครสตริป	21
2.3.5	สายอากาศแบบแถว	22
2.3.6	สายอากาศแบบเลนส์	23
2.4	ประเภทสัญญาณของสายอากาศ	23
2.4.1	สายอากาศในอุดมคติ	24
2.4.2	สายอากาศรอบทิศทาง	24
2.4.3	สายอากาศแบบมีทิศทางจำเพาะ	24
2.5	คุณลักษณะของสายอากาศ	26
2.5.1	ความกว้างแถบความถี่	26

2.5.2	ประสิทธิภาพของสายอากาศ	27
2.5.3	ความเข้มข้นของการแผ่กระจาย	27
2.5.4	สภาพเจาะจงทิศทาง	29
2.5.5	อัตราการขยายตัว	30
2.5.6	ความกว้างของลำคลื่นหลัก	31
2.6	การออกแบบสายอากาศ	31
2.6.1	แรงต้านทานรวมของวงจร	32
2.6.2	อัตราส่วนของแรงดันต่ำสุดและสูงสุดของคลื่นนิ่ง	32

3 สัญญาณคลื่นไร้สาย 34

3.1	คุณลักษณะของคลื่นสัญญาณสื่อสาร	35
3.1.1	สัญญาณแอนะล็อก และ สัญญาณดิจิทัล	35
3.1.2	สัญญาณแบบคาบ และ สัญญาณแบบไม่เป็นคาบ	35
3.2	องค์ประกอบของสัญญาณ	36
3.2.1	การแสดงคุณลักษณะของคลื่นในหน่วยเวลา	36
3.2.2	การแสดงองค์ประกอบทางความถี่ของคลื่นสัญญาณ	38
3.2.2.1	องค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณดิจิทัล	41
3.3	การรวมตัวของคลื่น	44
3.3.1	การรวมตัวของคลื่นหลายความถี่	45
3.3.2	การรวมตัวของคลื่นที่มีความถี่เดียวกัน	45
3.3.2.1	การรวมตัวในลักษณะที่มีการเสริมกัน	45
3.3.2.2	การรวมตัวในลักษณะที่มีการหักล้างกัน	46
3.3.3	ความสอดคล้องกันของสัญญาณ	48
3.4	ปรากฏการณ์ของคลื่น	49
3.5	การเดินทางของคลื่น	52
3.6	ความถี่สื่อสาร	53

3.6.1	คลื่นวิทยุ	55
3.6.2	คลื่นไมโครเวฟ	55
3.6.3	อินฟราเรด	55
3.7	การจัดสรรคลื่นความถี่	56

4 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ 58

4.1	การสูญเสียกำลังสัญญาณตามระยะทาง	59
4.2	การถูกรบกวนด้วยคลื่นสะท้อน	62
4.3	คลื่นพหุวิถี	66
4.3.1	ความหน่วงในการแพร่กระจายของคลื่นพหุวิถี	66
4.3.2	ช่วงความถี่ที่มีความสอดคล้อง	68
4.4	การจางหายของคลื่น	68
4.4.1	การจางหายของคลื่นในการสื่อสารระยะไกล	69
4.4.2	การจางหายของคลื่นในการสื่อสารระยะใกล้	69
4.4.2.1	การจางหายที่เกิดจากการหน่วงเวลา	69
4.4.2.2	การจางหายแบบดอปเพลอร์	70
4.5	การถูกรบกวนจากแหล่งกำเนิดอื่น	72
4.5.1	สัญญาณรบกวนที่มีแหล่งกำเนิดจากอุณหภูมิ	72
4.5.2	สัญญาณรบกวนจากคู่สาย	73
4.5.3	สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์	73
4.6	การออกแบบอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ	75

5 การกล้ำสัญญาณ 77

5.1	การกล้ำสัญญาณแบบแอนะล็อก	78
5.1.1	การกล้ำสัญญาณทางแอมพลิจูด	78
5.1.2	การกล้ำสัญญาณทางเฟส	80

5.1.3 การกล้ำสัญญาณทางความถี่	81
5.2 การกล้ำสัญญาณแบบดิจิทัล	85
5.2.1 การปรับระดับแอมพลิจูดตามบิตข้อมูล	85
5.2.2 การปรับระดับความถี่ตามบิตข้อมูล	86
5.2.3 การปรับระดับเฟสตามบิตข้อมูล	87
5.2.4 การปรับระดับแอมพลิจูดและเฟสตามบิตข้อมูล	90
5.3 การแสดงการกล้ำสัญญาณบนแผนภาพกลุ่มดาว	91
5.4 อัตราความผิดพลาดต่อบิตสำหรับการกล้ำสัญญาณแบบดิจิทัล	92
5.4.1 อัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน . .	93
5.4.2 สัญญาณรบกวนขาว	94
5.4.3 อัตราส่วนพลังงานต่อบิตต่อความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน	95
5.5 ลักษณะการถูกรบกวนหลังจากการกล้ำสัญญาณ	95
5.6 ประสิทธิภาพของการกล้ำสัญญาณเมื่อช่องสัญญาณถูกรบกวน	96

6 แถบความถี่และการใช้ความถี่ 100

6.1 ความกว้างของแถบความถี่	101
6.1.1 แถบความถี่ในช่วงที่มีความสอดคล้อง	101
6.1.2 แถบความถี่แบบแคบ	101
6.1.3 แถบความถี่แบบกว้าง	102
6.2 การกระจายสเปกตรัมความถี่	102
6.2.1 การกระโดดความถี่	103
6.2.2 การผสมข้อมูลด้วยรหัสแบบชิป	105
6.3 การแจกแจงแถบความถี่สำหรับอุปกรณ์ภาคส่งมากกว่าหนึ่ง	108
6.3.1 การแบ่งช่วงความถี่	108

6.3.2	การแบ่งช่วงเวลา	109
6.3.3	การแบ่งด้วยรหัสที่มีลักษณะตั้งฉาก	109
6.3.3.1	คุณสมบัติตั้งฉากของชุดรหัส	110
6.3.3.2	การผสมรหัสข้อมูลด้วยชุดรหัสที่มีลักษณะตั้งฉาก	110
6.3.3.3	การกู้คืนข้อมูลกลับจากการผสมด้วยรหัสที่มีลักษณะตั้งฉาก	115
6.4	การแบ่งความถี่ด้วยการนำรหัสที่มีลักษณะตั้งฉากมาช่วยในการพัฒนาประสิทธิภาพ	118

7 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ 125

7.1	ช่องสัญญาณ	125
7.2	ความจุของช่องสัญญาณ	126
7.3	การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	128
7.4	รหัสเพื่อตรวจจับความผิดพลาด	130
7.4.1	รหัสตรวจสอบด้วยบิตภาวะคู่หรือบิตภาวะคี่	132
7.4.2	รหัสตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อนแบบวน	133
7.4.2.1	การคำนวณหาบิตตรวจสอบในรูปของเลขฐานสอง	135
7.4.2.2	การคำนวณหาบิตตรวจสอบในรูปของพหุนาม	137
7.4.2.3	การคำนวณการตรวจสอบด้วยวงจรเลื่อนข้อมูล	140
7.5	รหัสเพื่อแก้ไขความผิดพลาด	141
7.5.1	รหัสแบบบล็อก	144
7.5.1.1	หลักการทำงานของรหัสแบบบล็อก	145
7.5.1.2	รหัสที่มีลักษณะการเรียงตัวของบิตตรวจสอบเป็นระบบและไม่เป็นระบบ	146
7.5.1.3	รหัสที่เกิดจากการส่งซ้ำ	146
7.5.1.4	ระยะห่างของแฮมมิง	148
7.5.1.5	ความสามารถในการตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาดของรหัสข้อความ	149

7.5.1.6	รหัสเชิงเส้น	152
7.5.1.7	รหัสแฮมมิง	152
7.5.1.8	รหัสรีดโซโลมอน	159
7.5.1.9	รหัสแอลดีพีซี	160
7.5.2	รหัสคอนวอลูชัน	162
7.5.2.1	แผนภาพต้นไม้	163
7.5.2.2	แผนภาพเทรลลิส	165
7.5.2.3	กระบวนการถอดรหัส	167
7.5.2.4	กระบวนการตัดสินใจ	168
7.5.2.5	กระบวนการถอดรหัสแบบวิเทอร์บี	172
7.5.2.6	รหัสเทอร์โบ	177
8	รหัสน้ำพุ	178
8.1	หลักการทำงานของรหัสน้ำพุ	178
8.2	การนำรหัสน้ำพุมาใช้ในเครือข่ายไร้สาย	180
8.2.1	รหัสแอลที	181
8.2.2	รหัสเรปเตอร์	185
8.2.3	ประสิทธิภาพของรหัสน้ำพุ	185
8.2.4	การจำลองการทำงานของรหัสน้ำพุบนเครือข่ายเสมือนจริง	187
9	มาตรฐาน IEEE 802.11	192
9.1	ประเภทของเครือข่ายไร้สาย	192
9.2	การใช้งานเครือข่ายในอาคาร	195
9.3	สถาปัตยกรรมเครือข่ายตามมาตรฐาน IEEE 802.11	195
9.4	ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ประมวลผล	197
9.4.1	ขั้นตอนการเชื่อมต่อเครือข่าย	198

9.5	สถาปัตยกรรมเครือข่ายไร้สายในอาคาร	201
9.5.1	ระดับชั้นควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง	202
9.5.1.1	ลักษณะของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.11	203
9.5.1.2	กระบวนการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนส่ง	205
9.5.1.3	การหลีกเลี่ยงการชนกันของเฟรมข้อมูล	207
9.5.1.4	การเว้นระยะห่างในการส่งข้อมูล	209
9.5.2	ระดับชั้นกายภาพ	212
9.5.2.1	การขยายแถบความถี่ในการส่งข้อมูล	212
9.5.2.2	การใช้สายอากาศภาคส่งและภาครับหลายเสา	213
9.6	วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11	215
9.6.1	การเชื่อมต่อเครือข่ายยุคสี่และห้า: IEEE 802.11n และ IEEE 802.11ac .	215
9.6.2	การเชื่อมต่อเครือข่ายยุคที่หก: IEEE 802.11ax	217

10 การระบุตำแหน่ง 220

10.1	ลักษณะของตำแหน่ง	221
10.2	จุดมุ่งหมายในการระบุตำแหน่ง	221
10.3	การหาระยะทางจากจุดปล่อยสัญญาณคลื่นไร้สาย	222
10.3.1	การคำนวณหาระยะทางโดยการคำนวณเวลาในการเดินทางของ คลื่นสัญญาณ	222
10.3.1.1	การคำนวณจากเวลาที่สัญญาณคลื่นใช้ในการเดินทาง	222
10.3.1.2	การคำนวณหาระยะทางโดยอาศัยความแตกต่างของเวลา	224
10.3.2	การคำนวณหาระยะทางโดยการวัดมุมตกกระทบของคลื่นสัญญาณ . .	224
10.3.3	การคำนวณหาระยะทางโดยอาศัยแบบแผนจำลองการเดินทางของ คลื่น	225
10.3.3.1	อัตราการลดทอนจากระยะทาง	226
10.3.3.2	อัตราการลดทอนในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง	227

10.3.3.3 อัตราการลดทอนในอาคาร	228
10.3.3.4 อัตราการลดทอนที่คำนวณขึ้นจากแบบจำลองทางสถิติ	229
10.4 การระบุตำแหน่งโดยอาศัยระยะห่างจากจุดปล่อยสัญญาณ	232
10.4.1 การระบุตำแหน่งด้วยการคำนวณมุมตกกระทบของสัญญาณ	232
10.4.2 การระบุตำแหน่งด้วยการคำนวณจุดตัดของวงกลม	232
10.5 การระบุตำแหน่งด้วยฐานข้อมูลบันทึกกำลังสัญญาณ	236
10.6 การใช้ประโยชน์จากการระบุตำแหน่งในอาคาร	238
10.7 การเพิ่มความแม่นยำในการหาตำแหน่งด้วยบลูทูธบีคอน	239

11 การออกแบบเครือข่ายไร้สาย 242

11.1 ขั้นตอนการออกแบบเครือข่าย	242
11.2 ขั้นตอนการสำรวจ	244
11.2.1 ปัจจัยทางด้านพื้นที่	244
11.2.2 ปัจจัยด้านความต้องการใช้เครือข่ายจากผู้ใช้งาน	246
11.3 จุดมุ่งหมายและประสิทธิภาพในการสื่อสาร	246
11.4 การออกแบบเครือข่าย	248
11.4.1 พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ	248
11.4.2 ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร	249
11.4.3 อัตราการขยายตัวของสายอากาศ	250
11.4.4 การเลือกใช้ช่องสัญญาณ	251
11.4.5 กำลังส่งสัญญาณ	253
11.4.6 ความหนาแน่นของอุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่ายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่	254
11.4.7 การใช้แบบจำลองในการออกแบบเครือข่าย	256
11.5 ขั้นตอนการปรับการตั้งค่าเครือข่ายหลังการติดตั้ง	261

เอกสารอ้างอิง	268
-------------------------	-----

อักษรย่อ	274
--------------------	-----

ดัชนี	279
ประวัติผู้เขียน	282

ตัวอย่าง

สารบัญภาพ

1.1	แผนผังแสดงระบบสื่อสารเบื้องต้น	2
1.2	วิธีการเข้ารหัสแบบมอร์ส	3
1.3	ตัวอย่างรหัสข้อความแบบมอร์ส	3
1.4	การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า	4
1.5	วิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย	5
1.6	ประเภทของข้อมูลตามลักษณะความต่อเนื่องของข้อมูล	6
1.7	การแปลงข้อมูลจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	7
1.8	ลักษณะทางกายภาพของสายทองแดงคู่บิดเกลียว	10
1.9	ลักษณะทางกายภาพของสายโคแอกซ์	11
1.10	ลักษณะทางกายภาพของสายใยแก้วนำแสง	11
2.1	องค์ประกอบของสายอากาศ	14
2.2	กำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการแกว่งตัวของประจุอิเล็กตรอน	15
2.3	การแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยสายอากาศ	15
2.4	การแผ่รังสีของคลื่นในแต่ละระยะจากสายอากาศ	16
2.5	สายอากาศแบบลวดตัวนำ	19

2.6	ทิศทางการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบลวดตัวนำสองแฉก . . .	19
2.7	ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบลวดตัวนำสองแฉก . .	20
2.8	สายอากาศแบบช่องเปิด	20
2.9	สายอากาศแบบสะท้อนสัญญาณ	21
2.10	สายอากาศไมโครสตริป	22
2.11	สายอากาศแบบแถว	23
2.12	สายอากาศแบบเลนส์	23
2.13	ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบรอบทิศทาง	25
2.14	ลักษณะการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบมีทิศทางจำเพาะ . . .	25
2.15	ความเข้มข้นของการแผ่กระจายคลื่น	27
2.16	ความเข้มของการกระจายคลื่น	28
2.17	อัตราการขยายตัวของสายอากาศ	30
2.18	การกำหนดความกว้างของลำคลื่นหลักจากสายอากาศ	31
2.19	ลักษณะของคลื่นนิ่ง	33
3.1	ลักษณะสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล	35
3.2	คุณลักษณะของคลื่น	37
3.3	ตัวอย่างการแสดงลักษณะทางเวลาของคลื่นสัญญาณที่มีค่าความเข้ม ความถี่ และเฟสแตกต่างกัน	38
3.4	การแสดงคุณลักษณะทางเวลาและองค์ประกอบทางความถี่ของคลื่น สัญญาณ	39
3.5	ตัวอย่างการแสดงองค์ประกอบของคลื่นสัญญาณที่มีค่าความเข้ม ความ- ถี่ และเฟสแตกต่างกัน	40
3.6	ตัวอย่างองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณแต่ละประเภท	43
3.7	การรวมตัวกันของคลื่นสองความถี่	44
3.8	การรวมตัวกันของคลื่นที่มีเฟสตรงกัน	46

3.9	การหักล้างกันของคลื่นที่มีเฟสตรงข้ามกัน	47
3.10	ค่าความสอดคล้องของสัญญาณสองคลื่นที่มีลักษณะเหมือนกัน	48
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบกับทิศทางของคลื่น	49
3.12	ปรากฏการณ์ของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง	52
3.13	ลักษณะการเดินทางของคลื่นรูปแบบต่าง ๆ	53
3.14	ประเภทของคลื่นจำแนกตามแถบความถี่	54
3.15	ความถี่ที่นิยมใช้ในการสื่อสาร	54
4.1	การส่งสัญญาณในแนวเส้นตรง	59
4.2	การกระจายสัญญาณของสายอากาศภาคส่ง	60
4.3	การรวมตัวของคลื่นจากสองเส้นทาง	62
4.4	การเปรียบเทียบการลดทอนของกำลังสัญญาณของคลื่นที่เดินทางเป็น แนวเส้นตรงและคลื่นที่เดินทางจากสองเส้นทาง	64
4.5	การเดินทางพหุวิธีของคลื่นสัญญาณ	66
4.6	ลักษณะของคลื่นสำเนาที่มาถึงยังปลายทางโดยมีความหน่วงของเวลา และแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน	67
4.7	ความหน่วงในการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณพหุวิธี	67
4.8	จำลองการเกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	71
4.9	แถบความถี่ที่กว้างขึ้นจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	72
4.10	การรบกวนโดยสัญญาณรบกวนขาว	74
5.1	การกล้ำสัญญาณทางแอมพลิจูด	79
5.2	การกล้ำสัญญาณทางเฟส	81
5.3	การกล้ำสัญญาณทางความถี่	84
5.4	การปรับระดับแอมพลิจูดสองสถานะตามบิตข้อมูล	86
5.5	การปรับระดับความถี่ของคลื่นพาห้ตามบิตข้อมูล	87
5.6	การปรับระดับเฟสตามบิตข้อมูล	89

5.7	การปรับระดับแอมพลิจูดและเฟสตามบิตข้อมูล	91
5.8	แผนภาพกลุ่มดาวของการกล้ำสัญญาณโดยการปรับระดับเฟส	93
5.9	การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเกาส์เซียน	94
5.10	ลักษณะการถูกรบกวนของสัญญาณ 16-QAM	96
5.11	แผนภาพกลุ่มดาวก่อนส่งผ่านช่องสัญญาณ	97
5.12	แผนภาพกลุ่มดาวเมื่อเดินทางผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน	97
5.13	การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดต่อบิตสำหรับการกล้ำสัญญาณ รูปแบบต่าง ๆ	99
6.1	อัตราการจางหายของคลื่นในช่วงที่มีความสอดคล้องเมื่อเปรียบเทียบกับ ความถี่อื่น	102
6.2	ลักษณะการกระโดดความถี่ 8 ระดับ	104
6.3	การกระจายสเปกตรัมความถี่ด้วยการกระโดดความถี่	105
6.4	กระบวนการกระจายสเปกตรัมความถี่ด้วยการผสมสัญญาณด้วยรหัส แบบชิป	106
6.5	การกระจายสเปกตรัมความถี่ด้วยการเข้ารหัสแบบชิป	107
6.6	ลักษณะของชุดรหัสที่มีลักษณะตั้งฉากกัน	112
6.7	การเข้ารหัสข้อมูลด้วยชุดรหัสที่มีลักษณะตั้งฉากกัน	114
6.8	รหัสข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณโดยใช้วิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณโดย การแบ่งรหัส	115
6.9	กระบวนการแยกข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์โดยใช้รหัสที่มีลักษณะตั้ง ฉากกัน	117
6.10	ข้อมูลที่แยกออกมาจากช่องสัญญาณด้วยการถอดรหัสโดยอาศัยรหัส แบบชิป	118
6.11	การแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากการเดินทางผ่านหลายเส้นทางของสัญญาณ ดิจิทัลที่มีอัตราข้อมูลต่ำ	119

6.12	การแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากการเดินทางผ่านหลายเส้นทางของสัญญาณดิจิทัลที่มีอัตราข้อมูลสูง	120
6.13	ลักษณะการกล้ำสัญญาณข้อมูลบนหลายความถี่พาห้	121
6.14	คุณสมบัติและองค์ประกอบทางความถี่ของคลื่นที่ส่งผ่านหลายความถี่พาห้	122
6.15	การกระจายสเปกตรัมความแบบโอเอฟดีเอ็ม	123
6.16	การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับอุปกรณ์สื่อสารหลายอุปกรณ์	124
7.1	ลักษณะการใช้ช่องสัญญาณไวไฟตามมาตรฐาน IEEE802.11 บนความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์	126
7.2	การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	129
7.3	การเข้ารหัสเพื่อตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูล	131
7.4	การตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลด้วยบิตภาวะคู่หรือบิตภาวะคี่	132
7.5	รหัสข้อความที่ประกอบไปด้วยบิตตรวจสอบของส่วนซ้ำซ้อนแบบวน	134
7.6	การแสดงข้อมูลบิตฐานสองในรูปของพหุนาม	137
7.7	ตัวอย่างวงจรเรจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลเพื่อคำนวณบิตตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อนแบบวน	140
7.8	การเข้ารหัสเพื่อแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล	143
7.9	การเข้ารหัสเพื่อเพิ่มความซับซ้อนของข้อมูล	144
7.10	แบบแผนการเพิ่มบิตตรวจสอบจากบล็อกข้อมูล	146
7.11	กระบวนการตัดสินใจในการถอดรหัสของรหัสที่เกิดจากการส่งบิตซ้ำ	147
7.12	ความสามารถในการตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดของรหัสแฮมมิง	151
7.13	การเพิ่มบิตตรวจสอบในรหัสแฮมมิง	153
7.14	การคำนวณหาบิตภาวะคู่ของรหัสแฮมมิง	154
7.15	ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด	158
7.16	แผนภาพเทนเนอร์	161

7.17	วงจรเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน	163
7.18	แผนภาพต้นไม้	164
7.19	แผนภาพเทรลลิส	166
7.20	กระบวนการตัดสินใจ	170
7.21	กระบวนการถอดรหัสบนแผนภาพเทรลลิส	172
7.22	การคำนวณค่าของกิ่ง	174
7.23	การคำนวณค่าของเส้นทาง	175
7.24	การเลือกเส้นทางที่มีระยะห่างของแฮมมิงต่ำที่สุด	175
7.25	การถอดรหัสแบบวิเทอร์บี	176
7.26	วงจรเข้ารหัสแบบเทอร์โบ	177
8.1	แผนภาพสองฝั่งแสดงการเข้ารหัสน้ำพุ	180
8.2	ขั้นตอนการถอดรหัสแบบปีลีฟรอปพาเกชัน	182
8.3	การกระจายความน่าจะเป็นของดีกรีแบบโซลิตันเมื่อ $N = 20$	184
8.4	จำนวนรหัสของกลุ่มข้อมูลที่ต้องใช้ในการถอดรหัส	186
8.5	เวลาที่ใช้ในการถอดรหัส	186
8.6	ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลได้สำเร็จ	189
8.7	จำนวนกลุ่มข้อความที่ต้องการเพื่อให้การถอดรหัสสมบูรณ์	189
8.8	ความน่าจะเป็นในการกู้คืนข้อมูล	190
8.9	ความน่าจะเป็นในการกู้คืนข้อมูล	191
9.1	ประเภทของเครือข่ายไร้สาย	193
9.2	สถาปัตยกรรมเครือข่ายตามมาตรฐาน IEEE 802.11	196
9.3	ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์สื่อสารกับอุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่าย	198
9.4	ขั้นตอนการเชื่อมต่อแบบไร้สายกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	200
9.5	สถาปัตยกรรมเครือข่ายตามมาตรฐาน IEEE 802.11	201
9.6	เฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.11	203

9.7	ปัญหาการหลบซ่อนของอุปกรณ์สื่อสาร	207
9.8	การส่งคำร้อง CTS และ RTS เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเฟรมข้อมูล . .	209
9.9	การเว้นระยะห่างการส่งเฟรมข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการแทรกสอดระหว่างสัญญาณ	210
9.10	การทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11	211
9.11	การขยายความกว้างของแถบความถี่	213
9.12	จุดประสงค์ในการใช้สายอากาศหลายเสา	214
9.13	เทคนิคการเพิ่มอัตราข้อมูลของการสื่อสารตามมาตรฐาน IEEE 802.11 . .	218
10.1	การคำนวณหาระยะทางโดยใช้เวลา	223
10.2	อัตราการลดทอนในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง	228
10.3	การเปรียบเทียบแบบแผนการลดทอนกับระดับสัญญาณที่วัดได้จริง . . .	231
10.4	การระบุตำแหน่งโดยการวัดมุมตกกระทบของคลื่นสัญญาณซึ่งระบุทิศทางของอุปกรณ์กระจายสัญญาณ	233
10.5	การระบุตำแหน่งโดยอาศัยการคำนวณจุดตัดของรัศมีกระจายสัญญาณของอุปกรณ์กระจายสัญญาณสามอุปกรณ์	234
10.6	เปรียบเทียบวิธีการหาตำแหน่ง	238
10.7	ภาพแสดงแอปพลิเคชันการระบุตำแหน่งที่ติดตั้งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ . . .	239
10.8	ระดับสัญญาณบลูทูธบีคอน	240
10.9	การเพิ่มบลูทูธบีคอนเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในอาคาร	241
11.1	ระดับกำลังสัญญาณเมื่อไม่คำนึงถึงโครงสร้างอาคาร	245
11.2	ระดับกำลังสัญญาณเมื่อคำนึงถึงโครงสร้างอาคาร	245
11.3	พื้นที่การกระจายสัญญาณสื่อสารไร้สาย	249
11.4	ความแตกต่างของการใช้ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 5 กิกะเฮิรตซ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11n	250

11.5	พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณสื่อสารไร้สาย	252
11.6	การปรับระดับกำลังส่งเพื่อให้รองรับปริมาณการใช้งานที่เหมาะสม	254
11.7	การนำอัตราข้อมูลต่ำสุดตามความต้องการของผู้ใช้งานมากำหนด ขอบเขตการกระจายสัญญาณคลื่นไร้สาย	255
11.8	การอัปโหลดแผนผังอาคารเข้าไปในโปรแกรม	258
11.9	การกำหนดมาตราส่วนของแผนที่อาคาร	258
11.10	การตั้งค่าอัตราการลดทอนจากโครงสร้างในอาคาร	259
11.11	การวางและตั้งค่าตำแหน่งอุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่าย	260
11.12	ภาพแสดงแผนผังความร้อนจากการใช้โปรแกรมจำลองระดับสัญญาณ ไร้สายในอาคาร	261
11.13	ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่ใช้ตั้งค่าเครือข่ายอัตโนมัติด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม . . .	263
11.14	ระดับสัญญาณก่อนการตั้งค่าด้วยวิธีทางพันธุกรรม	265
11.15	ระดับสัญญาณหลังการตั้งค่าด้วยวิธีทางพันธุกรรม	266
11.16	ระดับความแรงของช่องสัญญาณแยกตามความถี่	266

สารบัญตาราง

1.1	ตารางแสดงการเข้ารหัสด้วยการแปลงตัวอักษรเป็นเลขฐานสอง	8
1.2	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวกลางสื่อสารแต่ละชนิด	12
3.1	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวกลางสื่อสารแต่ละชนิด	50
3.2	ลักษณะการใช้งานในแต่ละแถบความถี่	56
5.1	อัตราความผิดพลาดต่อบิตสำหรับการกล้ำสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ . .	98
6.1	การผสมข้อมูลด้วยรหัสแบบชิป	107
6.2	ตัวอย่างรหัสที่มีลักษณะตั้งฉากกัน	111
6.3	ผลคูณเชิงสเกลาร์ของรหัสที่มีลักษณะตั้งฉากกันจะมีค่าเท่ากับศูนย์ . . .	111
7.1	การแบ่งช่องสัญญาณบนแถบความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์	126
7.2	ค่าทางตรรกศาสตร์จากการคำนวณด้วยฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีฟออร์	137
7.3	รูปแบบพหุนามก่อกำเนิดและลักษณะการใช้งาน	140
7.4	วงจรคำนวณหาบิตตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อนแบบวน	141
7.5	รหัสที่เกิดจากการส่งบิตซ้ำ	146
7.6	รหัสข้อความในการเข้ารหัสเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูล	149

7.7	การคำนวณระยะห่างของแฮมมิงเพื่อตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาด ของข้อมูลกรณีที่เกิดข้อผิดพลาด 1 บิต	149
7.8	การคำนวณระยะห่างของแฮมมิงเพื่อตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาด ของข้อมูลกรณีที่เกิดข้อผิดพลาด 2 บิต	150
7.9	การคำนวณระยะห่างของแฮมมิงเพื่อตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาด ของข้อมูลกรณีที่เกิดข้อผิดพลาด 3 บิต	151
7.10	ตารางมาตรฐานสำหรับการถอดรหัสแฮมมิง	159
7.11	การตัดสินใจแบบซอฟต์แวร์	171
9.1	ไวไฟตามมาตรฐาน IEEE 802.11	215
9.2	เปรียบเทียบการตั้งค่าตัวแปรในระดับชั้นกายภาพตามมาตรฐานย่อย IEEE 802.11n และ IEEE 802.11ac	216
10.1	ตัวอย่างค่ายกกำลังของการลดทอน	227
10.2	ตัวอย่างอัตราการลดทอนจากสิ่งกีดขวาง	229



หนังสือเล่มนี้เหมาะแก่นักเรียน นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปที่สนใจอยากศึกษาการทำงาน of เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยมีเนื้อหาครอบคลุมหัวข้อเกี่ยวกับคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเลือกใช้ความถี่ การออกแบบสายอากาศ การเข้ารหัสช่องสัญญาณ โพรโทคอลควบคุมการใช้ช่องสัญญาณ เทคนิคในการพัฒนาประสิทธิภาพสัญญาณสื่อสาร นอกจากนี้หนังสือเล่มนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ดูแลเครื่องใช้ที่ต้องการนำเทคนิคต่าง ๆ ที่กล่าวถึงไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานภายในเครื่องใช้ โดยนำเสนอแนวทางการออกแบบเครื่องใช้และการตั้งค่าที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์เชื่อมต่อเครื่องใช้ รวมถึงการใช้แพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการคาดการณ์ หลีกเลี่ยงและแก้ไขปัญหาการใช้งานเครื่องใช้ เพื่อการให้บริการ

ISBN 9786163987051

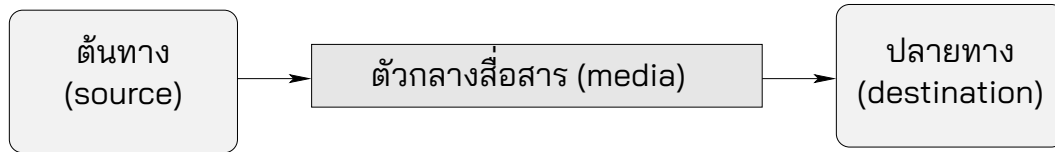


1. ระบบสื่อสาร

มนุษย์เป็นสัตว์สังคมที่มีความจำเป็นต้องมีการสื่อสาร เมื่อรวมตัวอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน การสื่อสารเป็นไปตามธรรมชาติด้วยสัมผัสทั้งห้า อย่างไรก็ตามเมื่อต้องอยู่ห่างไกลกัน มนุษย์ได้มีความพยายามพัฒนาระบบสื่อสารทางไกล มาตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์ เนื้อหาในบทนี้จะเริ่มด้วยการกล่าวถึงวิวัฒนาการการสื่อสารของมนุษย์ที่ออกแบบขึ้นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อธิบายการทำงานของระบบสื่อสาร ลักษณะข้อมูลและสัญญาณ รวมถึงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของตัวกลางแต่ละประเภทเพื่อให้สามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะงานที่แตกต่างกันออกไป

1.1 ประวัติของการสื่อสารโทรคมนาคม

การสื่อสาร (communication) คือ การแลกเปลี่ยนข่าวสารระหว่างผู้ที่ต้องการส่งข่าวสารเรียกว่าต้นทาง (source) ไปยังผู้ที่ได้รับสารหรือปลายทาง (destination) ของการสื่อสารผ่านตัวกลางสื่อสาร (transmission media) ดังภาพประกอบที่ 1.1 ในกรณีที่ต้นทางและปลายทางอยู่ห่างกัน การสื่อสารที่มีระยะทางไกลเรียกว่าการสื่อสารโทรคมนาคม (telecommunication)



ภาพประกอบที่ 1.1: แผนผังแสดงระบบสื่อสารเบื้องต้น

1.1.1 การสื่อสารทางไกลในอดีต

ในยุคดึกดำบรรพ์การสื่อสารทางไกลถูกออกแบบให้อยู่ในลักษณะของการส่งภาพหรือสัญญาณเสียง ยกตัวอย่างเช่นการตีระฆังเสียงดังหรือการก่อกองไฟเพื่อให้เกิดลักษณะควันไฟแบบต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การตีระฆังเพื่อสื่อสารจากผู้ใหญ่บ้านกับคนในหมู่บ้าน หากต้องการสื่อสารเหตุการณ์ต่าง ๆ ในหมู่บ้านเช่นมีการเรียกประชุม มีคนบุกรุก หรือมีการแจ้งเตือนภัย ก็จะมีการนำข่าวสารมาเข้ารหัส (encode) เชิงสัญลักษณ์ (symbol) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- การตีระฆัง 1 ครั้ง = มีการเรียกประชุม
- การตีระฆัง 2 ครั้ง = มีคนบุกรุก
- การตีระฆัง 3 ครั้ง = แจ้งเตือนภัย

1.1.2 การสื่อสารด้วยโทรเลข

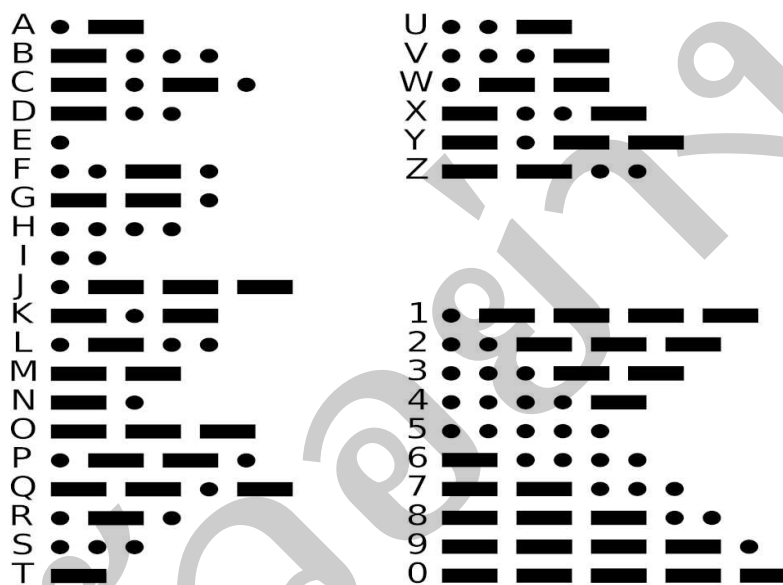
ในปี ค.ศ. 1838 ได้มีการนำไฟฟ้ามาใช้ในการสื่อสารเป็นครั้งแรกโดยซามูเอล เอฟ. บี. มอร์ส (Samuel F. B. Morse) และอัลเฟรต เวล (Alfred Vail) โดยใช้กระแสไฟฟ้าควบคุมสนามแม่เหล็กของเครื่องรับปลายทางผ่านทางสายส่งสัญญาณ เรียกว่าการส่งโทรเลข (Electrical telegraph)

ในการสื่อสารแบบโทรเลข ข้อความที่ส่งจะถูกเข้ารหัสดังภาพประกอบที่ 1.2 ให้อยู่ในลักษณะของรหัสสัญญาณมอร์ส ให้เป็นลักษณะการเปิดปิดวงจรกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายทองแดงนำไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งข้อความผ่านสายไฟฟ้าได้ในระยะ 3 ไมล์ และในปี ค.ศ. 1844 ได้ทำการส่งข้อความ “What hath God Wrought?” โดยใช้รหัส

มอร์สตามภาพประกอบที่ 1.3 จากเมืองวอชิงตันดีซีไปถึงเมืองบาติมอร์ได้สำเร็จเป็นครั้งแรกนับว่าเป็นก้าวแรกของการสื่อสารโทรคมนาคม

หลักการส่งรหัสมอร์ส

1. ความยาวแต่ละจุดเท่ากับหนึ่งหน่วยเวลา
2. ความยาวของแต่ละขีดเท่ากับสามหน่วยเวลา
3. การเว้นระยะภายในตัวอักษรใช้หนึ่งหน่วยเวลา
4. การเว้นระยะระหว่างตัวอักษรใช้สามหน่วยเวลา
5. การเว้นระยะระหว่างประโยคใช้เจ็ดหน่วยเวลา



ภาพประกอบที่ 1.2: วิธีการเข้ารหัสแบบมอร์ส

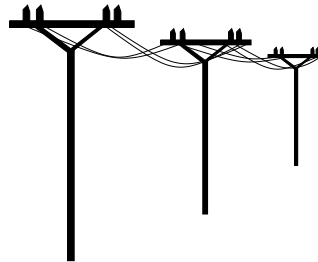
W H A T H A T H G O D W R O U G H T

ภาพประกอบที่ 1.3: ตัวอย่างรหัสข้อความแบบมอร์ส [ITU09]

1.1.3 การสื่อสารด้วยโทรศัพท์

ในปี ค.ศ. 1876 อเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ (Alexander Graham Bell) ได้คิดค้นระบบสื่อสารโทรศัพท์ (telephone) ที่ทำให้สามารถส่งข้อความเสียงผ่านสาย

ไฟฟ้าดังภาพประกอบที่ 1.4 โดยทำการแปลงเสียงให้เป็นกระแสไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์วิ่งผ่านสายทองแดงนำไฟฟ้า ระดับสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสัญญาณเสียง



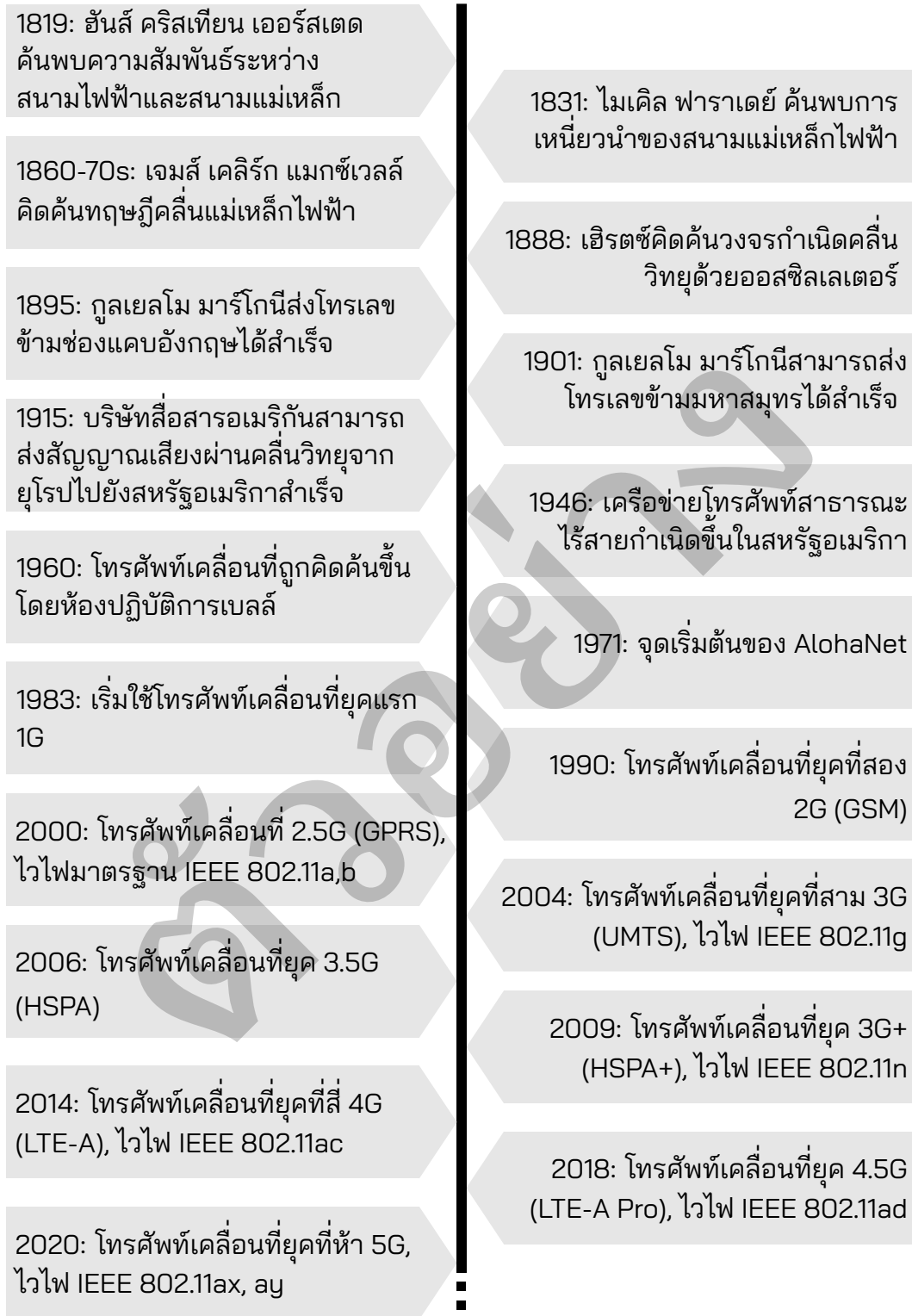
ภาพประกอบที่ 1.4: การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

1.1.4 การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ในปี ค.ศ. 1895 กุสเยลโม มาร์โกนี (Guglielmo Marconi) ได้ส่งโทรเลขโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศโดยไม่อาศัยตัวกลางทางกายภาพในการนำสัญญาณได้สำเร็จเป็นครั้งแรกโดยอาศัยวิธีการกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการเหนี่ยวนำตามการทดลองของไฮน์ริช รูตือล์ฟ แฮทซ์ (Heinrich Rudolf Hertz) ซึ่งพิสูจน์ถึงการมีอยู่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามทฤษฎีของเจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell)

ในปี ค.ศ. 1946 มีการคิดค้นโทรศัพท์ไร้สาย ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์แบบใช้สาย (Public Switch Telephone Network หรือ PSTN) นับเป็นก้าวแรกของการพัฒนาเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อมีการพัฒนาเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงคนทั้งโลกเข้าด้วยกันอย่างไร้พรมแดนตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบไร้สายได้มีการพัฒนาต่อเนื่อง โดยมีอัตราข้อมูลสูงขึ้นตามลำดับ เครือข่ายเชื่อมต่อที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่ายเชื่อมต่ออุปกรณ์ในอาคารแบบไวไฟ การพัฒนาในแต่ละยุคมีการเพิ่มเทคนิคใหม่ ๆ เข้ามาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่าย วิวัฒนาการของเทคนิคการสื่อสารตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้สรุปไว้ในแผนภาพที่ 1.5



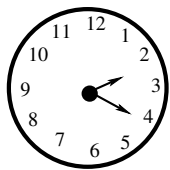
ภาพประกอบที่ 1.5: วิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย

1.2 ข่าวสารและข้อมูล

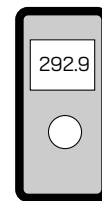
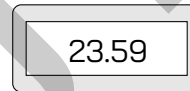
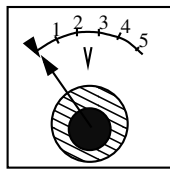
ในศาสตร์ของการสื่อสารโทรคมนาคมได้นิยามคำจำกัดความของข่าวสาร (information) ว่าเป็นสารที่ผู้ส่ง ณ ต้นทางต้องการสื่อไปยังผู้รับที่ปลายทาง ในขณะที่ข้อมูล (data) คือตัวนำข่าวสาร หรือ ข่าวสารที่ถูกแปลงให้อยู่ในสถานะพร้อมที่จะส่งผ่านตัวกลางสื่อสาร ข้อมูลแบ่งตามลักษณะได้สองประเภทได้แก่

1.2.1 ข้อมูลแอนะล็อก

ข้อมูลแอนะล็อก (analog data) คือ ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างต่อเนื่อง (continuous) เช่น นาฬิกาไขลาน ค่าความต่างศักย์



(ก) ข้อมูลแอนะล็อก



(ข) ข้อมูลดิจิทัล

ภาพประกอบที่ 1.6: ประเภทของข้อมูลตามลักษณะความต่อเนื่องของข้อมูล

ภาพประกอบที่ 1.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลเวลาและความต่างศักย์แบบแอนะล็อกและดิจิทัล โดยทั่วไปข้อมูลที่วัดได้ในธรรมชาติจะมีลักษณะทางกายภาพเป็นข้อมูลแบบแอนะล็อก อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลรวมถึงการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลในปัจจุบันอาศัยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำงานโดยอาศัยคำสั่งเปิดหรือปิดวงจร ข้อมูลที่ส่งผ่านระบบสื่อสารในปัจจุบันส่วนใหญ่ที่เป็นแอนะล็อกจึงถูกแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลที่มีสองสถานะ คือ ปิด (0) หรือ เปิด (1) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของเลขฐานสอง (binary bit)

ขั้นตอนการแปลงข้อมูลแอนะล็อกให้เป็นข้อมูลดิจิทัลจะมีขั้นตอนดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 1.7 เริ่มต้นสัญญาณที่วัดได้มีลักษณะเป็นคลื่นที่มีความต่อเนื่องแบบแอนะล็อกตามภาพประกอบ 1.7 (ก) จากนั้นจะมีการชักตัวอย่าง (sampling) ค่าออก

มาในแต่ละช่วงเวลาตามภาพประกอบ 1.7 (ข) เมื่อได้ค่าที่ชักตัวอย่างออกมาแล้วจะทำการแทนระดับค่าแอนะล็อกด้วยเลขที่แสดงระดับข้อมูล (quantization) ดังภาพประกอบที่ 1.7 (ค)



ภาพประกอบที่ 1.7: การแปลงข้อมูลจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

1.2.2 ข้อมูลดิจิทัล

ข้อมูลดิจิทัล (digital data) คือข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างไม่ต่อเนื่อง (discrete) โดยแสดงระดับด้วยค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น การนำเลขฐานสองมาใช้ในการแทนค่าของตัวอักษรหรือตัวเลข เพื่อให้สามารถสื่อสารผ่านระบบสื่อสารที่อาศัยการเปิดปิดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการสื่อสารข้อมูล ตารางที่ 1.1 แสดงแบบแผนความสัมพันธ์ระหว่างตัวอักษรภาษาอังกฤษกับชุดรหัสที่อยู่ในลักษณะของตัวเลขฐานสองของการเข้ารหัสแบบแอสกี (ASCII) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวหากต้องการส่งคำว่า "hello" ผ่านระบบสื่อสาร ชุดของเลขฐานสองที่จะส่งผ่านระบบสื่อสารจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

"hello" = 1101000 11001011 1011001 1011001 101111

ข้อมูลที่ส่งอาจจะอยู่รูปแบบสื่อที่หลากหลาย (multimedia) แตกต่างกันไป อาจจะอยู่ในรูปแบบของตัวอักษร (text) ภาพ (image) วิดีทัศน์ (video) หรือเสียง (audio) จุดแข็งของการส่งข้อมูลดิจิทัลคือ สามารถนำการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 1.1: ตาราง แสดง การ เข้ารหัส ด้วยการ แปลง ตัว อักษร เป็น เลข ฐาน สอง [Con22]

ตัวอักษร	เลขฐานสอง	ตัวอักษร	เลขฐานสอง	ตัวอักษร	เลขฐานสอง
A	1000001	a	1100001	{	1111011
B	1000010	b	1100010		1111100
C	1000011	c	1100011	}	1111101
D	1000100	d	1100100		1111110
E	1000101	e	1100101	\$	1001000
F	1000110	f	1100110	%	1001010
G	1000111	g	1100111	&	1001100
H	1001000	h	1101000	'	1001110
I	1001001	i	1101001	(	1010000
J	1001010	j	1101010	)	1010010
K	1001011	k	1101011	*	1010100
L	1001100	l	1101100	+	1010110
M	1001101	m	1101101	,	1011000
N	1001110	n	1101110	-	1011010
O	1001111	o	1101111	.	1011100
P	1010000	p	1110000	/	1011110
Q	1010001	q	1110001	0	1100000
R	1010010	r	1110010	1	1100010
S	1010011	s	1110011	2	1100100
T	1010100	t	1110100	3	1100110
U	1010101	u	1110101	4	1101000
V	1010110	v	1110110	5	1101010
W	1010111	w	1110111	6	1101100
X	1011000	x	1111000	7	1101110
Y	1011001	y	1111001	8	1110000
Z	1011010	z	1111010	9	1110010

มาช่วยปรับปรุงข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร ยกตัวอย่างเช่น การบีบอัดข้อมูล (compression) เพื่อทำข้อมูลให้มีปริมาณข้อมูลที่เหมาะสมต่อตัวกลางสื่อสาร การป้องกันและแก้ไขความผิดพลาดระหว่างการสื่อสาร (error detection and correction) การเข้ารหัสเพื่อรักษาความปลอดภัย (encryption) เป็นต้น

1.3 ตัวกลางสื่อสาร

ตัวกลางสื่อสาร (transmission media) คือตัวกลางนำสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทาง ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารกับอุปกรณ์สื่อสาร หรืออุปกรณ์สื่อสารกับอุปกรณ์เครือข่าย โดยแบ่งออกเป็นสองชนิดตามลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง ได้แก่

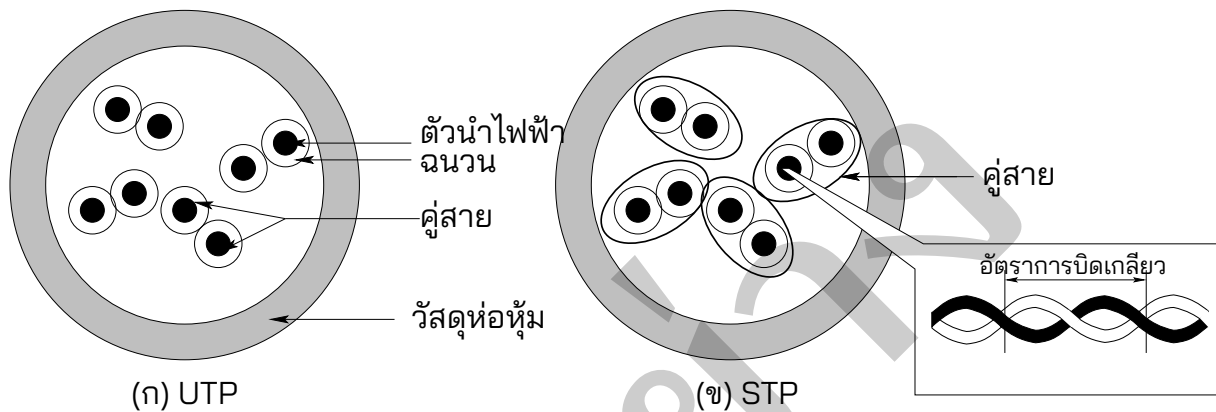
1.3.1 ตัวกลางสื่อสารที่อาศัยตัวนำสัญญาณทางกายภาพ

ตัวกลางสื่อสารที่อาศัยตัวนำสัญญาณทางกายภาพ (guided transmission media) หรือ ตัวกลางสื่อสารแบบใช้สาย (wired transmission) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่สายทองแดงคู่บิดเกลียว (twisted pair cable) สายโคแอกซ์ (coaxial cable) และ สายใยแก้วนำแสง (optical fiber)

1.3.1.1 สายทองแดงคู่บิดเกลียว

สายทองแดงคู่บิดเกลียว (twisted pair) ตามภาพประกอบที่ 1.8 เป็นตัวกลางสื่อสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ภายในสายประกอบไปด้วยสายทองแดงหลายเส้นเป็นตัวนำไฟฟ้าถูกนำมาบิดเกลียวกันเป็นคู่ ๆ เพื่อลดการแทรกสอดของสัญญาณระหว่างคู่สาย (crosstalk) สายทองแดงคู่บิดเกลียวใช้ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าพบบ่อยในสายโทรศัพท์หรือสายอินเทอร์เน็ตแบบเอดีเอสแอล (Asymmetric Digital Subscriber Line หรือ ADSL) หรืออาจเรียกว่าเป็นสายแลน (LAN) สายอีเธอร์เน็ต (Ethernet) หรือสายยูทีพี (Unshielded Twisted Pair หรือ UTP) สายทองแดงคู่บิดเกลียวเป็นตัว-

กลางสื่อสารที่มีราคาถูกและมีความเร็วที่เพียงพอต่อการใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร และอุปกรณ์เครือข่ายสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน สายทองแดงแต่ละคู่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลในช่วง 2-3 เมตร หากต้องการส่งไกลกว่านั้นจะต้องอาศัยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (repeater) เพื่อแก้ปัญหาการลดทอนของสัญญาณตามระยะทาง (attenuation)



ภาพประกอบที่ 1.8: ลักษณะทางกายภาพของสายทองแดงคู่บิดเกลียว

1.3.1.2 สายโคแอกซ์

สายโคแอกซ์ (coaxial cable) เป็นตัวกลางสื่อสารที่มีแกนกลางเป็นตัวนำไฟฟ้า (inner conductor) ส่วนมากทำด้วยทองแดง หุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า (insulator) และตัวนำไฟฟ้าชั้นนอก (outer conductor) และมีเปลือกหุ้มพลาสติก (plastic jacket) ป้องกันสายจากการถูกรบกวนโดยปัจจัยภายนอก สายโคแอกซ์มีราคาสูงกว่าสายทองแดงคู่บิดเกลียวเล็กน้อย และเนื่องจากสามารถส่งคลื่นในช่วงความถี่ที่ใกล้เคียงและมีอัตราการลดทอนของสัญญาณตามระยะทางน้อยกว่าสายโคแอกซ์ จึงนิยมนำมาใช้ในการส่งข้อมูลปริมาณเช่นการส่งข้อมูลประเภทวิดีโอ สายโคแอกซ์ต้องการการขยายสัญญาณทุก ๆ 2-3 กิโลเมตร