



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

โครงการศึกษาวิวัฒนาการและแนวโน้มของศาสตร์
ในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สาย

Study Project for Evolution and Trend of
Wireless Communication Engineering

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยราชภัฏบึงฉลวย

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏบึงฉลวย

2547

ISBN 974-9554-55-8

ชื่อเรื่อง : โครงการศึกษาพัฒนาการและแนวโน้มของศาสตร์ในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประเภทวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัย : ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2547

สถานที่พิมพ์ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวนหน้างานวิจัย : 123 หน้า

: ศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

คำสำคัญ

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

: วิศวกรรม, เทคโนโลยีโทรคมนาคม, วิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทวิทยานิพนธ์

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยเฉพาะประเภทวิทยานิพนธ์มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก ฉะนั้นบุคลากรทางด้านนี้จึงต้องติดตามเทคโนโลยีดังกล่าว และหน่วยงานด้านการศึกษาก็ต้องผลิตบุคลากรเพื่อรองรับเทคโนโลยีด้านนี้ด้วย เพื่อให้เข้าใจถึงที่มาและแนวคิด ตลอดจนวิธีแก้ปัญหาในอดีตของเทคโนโลยีสื่อสารวิทยานิพนธ์ ผู้ที่เกี่ยวข้องควรมีการศึกษาพัฒนาการทางด้านนี้ และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการศึกษา งานวิจัยตลอดจนการปรับปรุงและสร้างหลักสูตร ภาควิชาที่เกี่ยวข้องควรมีการศึกษาแนวโน้มของศาสตร์ในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจถึงที่มา ตลอดจนวิธีแก้ปัญหาในอดีตขององค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม เป็นแนวทางในการพัฒนา หลักสูตรงานวิจัย องค์ความรู้ ทางด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม สำหรับกรอบการศึกษา วิศวกรรมและแนวโน้มของศาสตร์โทรคมนาคมประเภทวิทยานิพนธ์ในเล่มนี้ ได้แบ่งออกเป็นบท ๆ โดยมีเนื้อหา ตั้งแต่ประวัติความเป็นมา วิศวกรรมและขอบเขตของศาสตร์ในสาขาวิชา ฐานทฤษฎี นักคิดที่สำคัญในศาสตร์ สถานการณ์ของศาสตร์ในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ การคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต และมีบทสรุปข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรของมหาวิทยาลัย

Title : Study Project for Evolution and Trend of Wireless Communication Engineering

Researcher : Telecommunication Engineering Institution : Dhurakijpundit University

Year of publication : B.D.2547 Publisher : Dhurakijpundit University press

Sources No. of page : 123 page

: Researcher centre Dhurakijpundit University

Keyword Copy right : Dhurakijpundit University

: evolution, telecommunication technology, wireless communication engineering

Abstract

At present, technologies of telecommunication engineering, especially wireless technologies have been developed very fast. Therefore, people who relates to these technologies have to follow them. Educational parts have also to create people for supporting the technologies. In order to understand the aims, the concepts, and the methods for solving problems in wireless technology related people should study its evolution. For the development of education, research, and curriculum, instructors should study trend of telecommunications aiming to understand the concepts and the methods of solving problems. This will lead to develop curriculum, research, and knowledge for telecommunications technology. The scope of study, evolution, and tread of telecommunications in aspect of wireless technology in the repost includes. History, evolution, and scope, School of thought, Present Situation, Trend in the future, and The conclusion of curricular development for university.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญรูปภาพ	(6)
บทที่ 1 ประวัติความเป็นมา วิทยาการและขอบเขตของศาสตร์ในสาขาวิชา	1
1.1 วิทยาการของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า	1
1.2 ความเป็นมาของโทรศัพท์ไร้สาย	3
1.3 ความเป็นมาของโทรศัพท์เคลื่อนที่	4
1.4 พัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่	5
1.5 ประวัติของการสื่อสารดาวเทียม	6
1.6 ความเป็นมาของการสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave)	9
1.7 ความเป็นมาของเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network, WLAN)	10
1.8 เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth Technology)	12
บทที่ 2 ฐานทฤษฎีนักคิดที่สำคัญในศาสตร์	15
2.1 กล่าวนำ	15
2.2 กระแสไฟฟ้าสามารถให้กำเนิดสนามแม่เหล็ก	18
2.2.1 กฎของแอมแปร์ (Ampere's law)	18
2.2.2 กฎของบิโอซาวาร์ต (Biot-savart Law)	19
2.3 การเคลื่อนที่ของแม่เหล็กใกล้กับตัวนำก่อให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ	20
2.3.1 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law)	20
2.4 ทำนายการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	22
2.4.1 บทสรุปสมการของแมกซ์เวลล์ (Summary of Maxwell's Equations)	22
2.4.2 การประยุกต์ทฤษฎีสถานะไฟฟ้า	23
2.5 ทดลองทฤษฎีของแมกซ์เวลล์	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	24
2.6 เทคนิคการส่งผ่านสัญญาณแบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล (Analog and Digital Transmission)	25
2.6.1 การมอดูเลตสัญญาณแบบแอนะล็อก	26
2.6.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล (Digital Modulation)	29
2.6.3 การมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อก (Analog Modulation)	31
2.6.4 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกกับแบบดิจิทัล	34
2.7 การเข้าถึงช่องสัญญาณ (Multiple Access)	34
2.7.1 FDMA (Frequency Division Multiple Access)	34
2.7.2 TDMA (Time Division Multiple Access)	35
2.7.3 CDMA (Code Division Multiple Access)	35
2.8 โทรศัพท์เคลื่อนที่	36
2.9 ระบบสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave Communication System)	40
2.9.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสารไมโครเวฟ	40
2.9.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไมโครเวฟที่สำคัญ	41
2.10 การสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication)	43
2.10.1 วงโคจรของดาวเทียม (Satellite Orbit)	44
2.10.2 วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit)	45
2.10.3 เทคนิคการเข้าถึงหลายทางของดาวเทียม (Multiple Access Techniques)	47
บทที่ 3 สถานการณ์ของศาสตร์ในปัจจุบัน	51
3.1 กล่าวนำ	51
3.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคปัจจุบัน	51
3.2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G	51
3.2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G	53
3.2.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ระบบแลนไร้สาย (Wireless LAN)	63
3.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11	63
3.3.2 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11	64
3.3.3 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN	66
3.4 บลูทูธ (Bluetooth)	68
3.4.1 การทำงานบลูทูธ Bluetooth	68
3.5 เทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม	70
3.5.1 IP STAR สรุยอดเทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม	70
3.5.2 รายละเอียดของโครงการดาวเทียม IP STAR	71
3.5.3 การประยุกต์ใช้งานและการให้บริการของดาวเทียม IP STAR	73
3.6 บทสรุป	75
บทที่ 4 การคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต	76
4.1 แนวโน้มของระบบสื่อสารไร้สายและการให้บริการต่าง ๆ ในอนาคต	76
4.2 เทคโนโลยีที่ถูกผนวก 3G & WLAN	78
4.3 ระบบสื่อสารไร้สายยุค 4G	81
4.4 แนวโน้มของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	82
4.4.1 เทคนิค MIMO (Multiple – Input Multiple – Output)	82
4.4.2 เทคนิค OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	85
4.4.3 IEEE 802.16 มาตรฐานสำหรับเทคโนโลยี Wireless MAN	86
4.4.4 โครงข่ายเคลื่อนที่ Ad hoc	88
4.4.5 SDR (Software Defined Radio)	89
4.4.6 Ultra-Wideband Radio Technology	91
4.5 การให้บริการยูบิควิตัส (Ubiquitous Service)	94
4.5.1 ยู-คอมเมิร์ซ	96
4.6 บทสรุป	97
บทที่ 5 บทสรุปเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรของมหาวิทยาลัย	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 กล่าวนำ	98
5.2 กลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี (Technology)	100
5.2.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์	100
5.2.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทใช้สาย	101
5.2.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สาย	101
5.2.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีสัญญาณ	101
5.3 กลุ่มวิชาด้านการจัดการเทคโนโลยี (Technology Management)	102
5.3.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการด้านเทคโนโลยี	102
5.3.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมาย และนโยบายด้านเทคโนโลยี	103
5.3.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการตลาดด้านเทคโนโลยี	103
5.3.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเศรษฐศาสตร์ด้านเทคโนโลยี	104
5.3.5 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบัญชีด้านเทคโนโลยี	104
5.3.6 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ (Knowledge Management)	104
5.4 แนวทางของคำอธิบายกลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี	104
5.4.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์	104
5.4.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทใช้สาย	107
5.4.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สาย	108
5.4.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีสัญญาณ	111
5.5 แนวทางของคำอธิบายกลุ่มวิชาด้านการจัดการเทคโนโลยี	112
5.5.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการด้านเทคโนโลยี	112
5.5.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมาย และนโยบายด้านเทคโนโลยี	117
5.5.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการตลาดด้านเทคโนโลยี	118
5.5.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเศรษฐศาสตร์ด้านเทคโนโลยี	119
5.5.5 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบัญชีด้านเทคโนโลยี	120
5.5.6 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ (Knowledge Management)	121
บรรณานุกรม	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 วิวัฒนาการของระบบไฟฟ้าสื่อสาร	2
1.2 การพัฒนาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
2.1 สมการของแมกซ์เวลล์	22
3.1 เปรียบเทียบความเร็ว	55
3.2 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของมาตรฐานต่างๆ	69
5.1 ข้อดีข้อเสียของการเรียนการสอนผ่านอินเทอร์เน็ต และการเรียนการสอนในห้องเรียน	99

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การส่งสัญญาณไมโครเวฟ	9
1.2 การทำงานของเครือข่ายไร้สาย WLAN	11
2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า	15
2.2 การส่งข้อมูลในทิศทางเดียว	17
2.3 การส่งข้อมูลแบบสลับการส่งและรับข้อมูล	17
2.4 การส่งข้อมูลแบบที่สามารถส่ง และรับข้อมูลได้พร้อมกัน	17
2.5 สนามแม่เหล็กตามเส้นทางปิด	18
2.6 ลวดตัวนำวงรอบปิด	20
2.7 ก) ลวดตัวนำวงรอบปิด, ข) ลวดตัวนำวงรอบเปิด	20
2.8 สายตัวนำคู่ขนาน	23
2.9 แสดงการทดลองของเฮิร์ตซ์	24
2.10 การมอดูเลตสัญญาณแบบ AM	27
2.11 การมอดูเลตสัญญาณแบบ FM	28
2.12 การมอดูเลตสัญญาณแบบ PM	29
2.13 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบ ASK	30
2.14 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบ FSK	30
2.15 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบ PSK	31
2.16 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (PAM)	32
2.17 ขั้นตอนการมอดูเลตด้วยวิธี PCM	32
2.18 ก. วิธีการแซมปิงสัญญาณ	33
2.18 ข. การควอนไทซ์สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล 3 บิต	33
2.18 ค. การกำหนดรหัส (Code) ให้แต่ละพัลส์สัญญาณ	33
2.19 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ FDMA	35
2.20 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ TDMA	35
2.21 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CDMA	36
2.22 การแบ่งพื้นที่รองรับบริการเป็นแบบเซลล์ลาร์	38
2.23 ตัวอย่างงานส่งสัญญาณไมโครเวฟ	40
2.24 วงโคจร Polar Orbit	44

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.25 วงโคจร Inclined Orbit	45
2.26 วงโคจร Equatorial Orbit	45
2.27 แนวความคิดของ Athur C. Clark	46
2.28 วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit)	46
2.29 Frequency Division Multiple Access	48
2.30 Time Division Multiple Access	49
2.31 Code Division Multiple Access	50
3.1 แนวทางในการพัฒนาเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G ไปสู่มาตรฐานยุค 3G	56
3.2 ส่วนประกอบด้าน Radio Network ของมาตรฐาน IMT-2000	58
3.3 Spectrum ของ IMT-2000	58
3.4 แสดง BSS และ ESS	67
3.5 แสดงการทำงานในโหมด Ad-hoc หรือ Peer-to-Peer Mode	68
3.6 IP STAR System Configuration	72
3.7 IP STAR System Air Interface	72
3.8 การให้บริการบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียมของ IP STAR	73
4.1 ตัวอย่างสถานีฐานที่ใช้ Smart Antenna (สายอากาศหลายต้น) และรูปแบบของการแพร่ของคลื่น	83
4.2 ตัวอย่างสถานีฐานที่ใช้สายอากาศแบบเดิมและรูปแบบของการแพร่ของคลื่น	83
4.3 บล็อกไดอะแกรมระบบสื่อสารไร้สายแบบ MIMO	84
4.4 สเปกตรัม FDMA และ OFDM	85
4.5 บล็อกไดอะแกรมของการรับส่งแบบ OFDM	86
4.6 ตัวอย่างของเครือข่ายไร้สายในเมือง (Wireless MAN)	88
4.7 การเชื่อมโยงระหว่างโหนดในโครงข่าย MANET	89
4.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบ SDR (Software Defined Radio)	90
4.9 แถบความถี่ของ UWB-RT เปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายแบบอื่น ๆ	92
4.10 แอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำ UWS มาประยุกต์ใช้	93
4.11 แนวทางการขยายบริการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	94

บทที่ 1

ประวัติความเป็นมาวิวัฒนาการและขอบเขตของศาสตร์ในสาขาวิชา

1.1 วิวัฒนาการของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า

ระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้านั้นโดยพื้นฐานแล้วจะตั้งอยู่บนรากฐานของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีสาขาหลัก ๆ ดังนี้คือ [1]

- 1 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2 เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์
- 3 ทฤษฎีไฟฟ้าสื่อสาร

ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้มีการเริ่มต้นศึกษามาตั้งแต่ปีค.ศ.1797 โดยนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงหลายคน เช่น แอมแปร์ (Andre Marie Ampere) ฟาราเดย์ (Michael Faraday) และเฮนรี (Joseph Henry) เป็นต้น และในปี ค.ศ.1864 แมกซ์เวลล์ (James C. Maxwell) ได้รวบรวมทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในรูปที่สมบูรณ์และเป็นฐานของการใช้ประโยชน์ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจนถึงปัจจุบันนี้

เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ นั้นหมายถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการคิดค้นและสร้างชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และรวมถึงการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์นี้ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมากในระบะตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา และปัจจุบันนี้ก็ได้เข้ามามีบทบาทในทุกวงการจนอาจกล่าวได้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของสังคมมนุษย์ไป

สำหรับทฤษฎีไฟฟ้าสื่อสารซึ่งหมายถึงความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้าที่สามารถใช้ประโยชน์ตามต้องการได้ทฤษฎีไฟฟ้าสื่อสารได้มีการพัฒนาให้กว้างและลึกมากขึ้นตามลำดับเนื้อหาหลัก ๆ ของทฤษฎีไฟฟ้าสื่อสาร

ในช่วงเวลาเกือบ 2 ศตวรรษที่ผ่านมาวิวัฒนาการพื้นฐานทางด้านไฟฟ้าสื่อสารและการใช้ประโยชน์ไฟฟ้าสื่อสารได้มีการพัฒนาไปมาก เพื่อให้เห็นภาพของวิวัฒนาการของไฟฟ้าสื่อสารโดยสังเขปได้ดียิ่งขึ้น จะแสดงช่วงเวลาและเหตุการณ์ที่สำคัญเกี่ยวกับไฟฟ้าสื่อสารจากอดีตจนถึงปัจจุบันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 วิวัฒนาการของระบบไฟฟ้าสื่อสาร

ค.ศ	เหตุการณ์
1797-1837	เป็นช่วงของการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กและไฟฟ้า โดย แอมแปร์ (Andre Marie Ampere), ฟาราเดย์ (Michael Faraday) และเฮนรี (Joseph Henry) เป็นต้น
1848	มอร์ส (Samuel Morse) เริ่มส่งโทรเลขด้วยสัญญาณไฟฟ้า
1854	เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James C. Maxwell) ประกาศทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า
1864	แมกซ์เวลล์รวบรวมทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในรูปชุดสมการแมกซ์เวลล์
1876	เบลล์ (Alexander Graham Bell) ประดิษฐ์ระบบโทรศัพท์สำเร็จ และเป็นจุดเริ่มต้นของระบบโทรคมนาคม
1879	เฮิร์ตซ์ (Heinrich Hertz) ทำการทดลองพิสูจน์ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประกาศโดยแมกซ์เวลล์ ว่าเป็นจริงเป็นผลสำเร็จ
1897	มาร์โกนี (Guglielmo Marconi) ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งโทรเลข
1920	เริ่มตั้งสถานีวิทยุกระจายเสียง (Amplitude Modulation, AM) ในสหรัฐอเมริกา การแพร่สัญญาณ AM โดยเอ็ดวิน อาร์มสตรอง (Edwin Armstrong)
1925	เริ่มใช้วิทยุคลื่นสั้นในการสื่อสารระหว่างประเทศ (ยุโรป – อเมริกา)
1920-1928	เริ่มศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน
1936	อาร์มสตรองเสนอระบบ (Frequency Modulation, FM) มีการพัฒนาจนสามารถใช้งานได้จริงในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2
1941	เริ่มตั้งสถานีวิทยุโทรทัศน์ในอเมริกา
1947	เริ่มใช้คลื่นย่านไมโครเวฟในการสื่อสารบนภาคพื้นดิน
1948	แซนนอนประกาศทฤษฎีข่าวสาร
1957	เริ่มใช้ระบบ PCM (Pulse Code Modulation) ในโทรศัพท์
1962	เริ่มใช้ดาวเทียมสื่อสาร
1965	เริ่มใช้คลื่นย่านไมโครเวฟในงานสื่อสารดาวเทียม
1978	เริ่มใช้ความถี่ย่านอินฟราเรดในการสื่อสาร
1988	เริ่มให้บริการระบบ ISDN (Integrated Services Digital Network) ในหลาย ๆ ประเทศ

1990	QUALCOMM, Inc., of San Diego เป็นผู้ริเริ่มเสนอแนวคิดของระบบ CDMA ทำให้เกิดการนำระบบ CDMA มาใช้งานจริงในทางปฏิบัติ
1994	ระบบ CDMA ถูกจัดตั้งเป็นมาตรฐาน IS-95 (TIA/EIA/IS-95)
1995	ผู้นำทางด้านเทคโนโลยีที่สนใจในระบบ CDMA ได้รวมตัวกันขึ้นในนามของ CDG (CDMA Development Group) โดยขณะนี้ กำลังอยู่ในขั้นตอนพัฒนา CDMAOne™ ไปสู่ CDMA2000
1998	บลูทูธ ได้รับการพัฒนาโดย บริษัท IBM, Intel, Nokia และ Toshiba

1.2 ความเป็นมาการสื่อสารไร้สาย

กุกลิโอ มาร์โคนี (Guglielmo Marconi) นักประดิษฐ์ชาวอิตาลี ผู้ได้รับสิทธิบัตรในการค้นคว้า การส่งโทรเลขไร้สายเป็นคนแรกเมื่ออายุเพียง 22 ปี และเป็นเจ้าของรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี 1909 และได้รับการยกย่องอย่างสูงจากคนทั่วโลกในสิ่งประดิษฐ์อันมีประโยชน์ของเขา [27]

กุกลิโอ มาร์โคนี เกิดเมื่อปีค.ศ.1874 ที่โบโลนา ในประเทศอิตาลี มีบิดาเป็นชาวอิตาลีและ มารดาเป็นชาวไอร์แลนด์ เขาได้รับแรงคลไจจากการค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของคลาร์ก แมกซ์เวลล์ และการทดลองการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดของ ไฮริช เฮิร์ตซ์ นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน

หลังจากการค้นพบของเฮิร์ตซ์ไม่นาน เด็กหนุ่มชาวอิตาลีชื่อ กุกลิโอ มาร์โคนี ซึ่งศึกษาอยู่ใน มหาวิทยาลัยโบโลนา ในประเทศอิตาลี ได้พบปะกับนักวิทยาศาสตร์คนหนึ่งซึ่งเคยทำงานกับเฮิร์ตซ์ ในประเทศเยอรมัน งานของเฮิร์ตซ์ทำให้มาร์โคนี เกิดจินตนาการ เขาได้สร้างเครื่องรับส่งวิทยุอย่าง ง่าย ๆ ไว้ในห้อง 2 ห้องที่บ้านของบิดา และในไม่ช้าเขาก็สามารถส่งสัญญาณข้ามห้องจากห้องหนึ่ง ไปยังอีกห้องหนึ่งได้ เขาพบว่า ถ้าเขาสร้างเสาอากาศให้สูงขึ้น เขาจะสามารถส่งสัญญาณของเขาไป ได้ไกลขึ้นในปีค.ศ.1895 เมื่อเขาอายุได้ 21 ปี เขาส่งสัญญาณไปไกลถึง 1.5 กิโลเมตร เขาเห็น ความสำคัญของการค้นพบนี้ การทดลองต้องการทุนทรัพย์ แต่ไม่มีใครสนใจในเรื่องนี้นัก เมื่อ เขาไม่ได้รับการสนับสนุนในอิตาลีจึงเดินทางไปลอนดอนในปีค.ศ.1896 และการไปรษณีย์ของ อังกฤษ ให้ความช่วยเหลือและด้วยการปรับปรุงวิธีการของเฮิร์ตซ์ในหลาย ๆ ด้าน เขาเริ่มสามารถ ส่งสัญญาณไปไกล ๆ ขึ้น ในปีค.ศ. 1899 เขาส่งสัญญาณจากสถานีหนึ่งบนฝั่งด้านใต้ไปยังสถานีใน ฝรั่งเศสซึ่งไกลออกไป 50 กิโลเมตร และที่ระยะ 120 กิโลเมตร ได้สำเร็จ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญใน ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.3 ความเป็นมาของโทรศัพท์เคลื่อนที่

วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radio Telephone) เป็นวิทยุโทรศัพท์แบบหนึ่งที่ใช้คลื่นวิทยุช่วยนำข่าวสารข้อมูลจากต้นทางไปยังที่ไกล ๆ ปลายทางพร้อมกับสามารถพกพาเครื่องวิทยุโทรศัพท์นำติดตัวไปด้วย ในขอบเขตพื้นที่ทำการที่คลื่นวิทยุเดินทางไปได้ถึง

การทดลองวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อปีค.ศ.1940 มีการทดลองเรื่อยมาจนถึงปีค.ศ.1946 บริษัท AT&T ได้เปิดให้บริการวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นรายแรกในเวลานั้นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งใช้งานได้เฉพาะกลุ่มบางกลุ่มเท่านั้น ในขณะนั้นจะมีช่องสัญญาณให้ใช้งานเพียง 6 ช่องสัญญาณเท่านั้น การรับส่งข่าวสารข้อมูลใช้การผสมคลื่นแบบ AM เครือข่ายของการสื่อสารถูกจำกัดอย่างมากเพราะช่องสัญญาณแต่ละช่องอนุญาตให้ผู้ให้บริการใช้ได้เพียงคนเดียว และการติดต่อเลขหมายปลายทางต้องเรียกผ่านศูนย์ควบคุมให้พนักงานเป็นผู้เชื่อมต่อสัญญาณให้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบนี้มีข้อเสียหลายประการประการสำคัญคือมีข้อจำกัดในเรื่องของความจุของช่องสัญญาณต่ำทำให้ระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ต้องหยุดทำการไป

เนื่องจากมีความต้องการใช้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่มากขึ้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบเพื่อให้ระบบมีความจุของสัญญาณสูงขึ้น โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผสมคลื่นแบบ FM ใหม่ให้มีแถบกว้างของช่องสัญญาณสื่อสารลดลงจากเดิม 120 kHz เหลือเพียง 25 kHz ช่วยให้จำนวนช่องสัญญาณใช้ในการติดต่อสื่อสารเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นในพื้นที่ให้บริการยังได้แบ่งช่องว่างความถี่ใช้งานออกเป็นหลายช่องความถี่ และได้มีการนำเอาความถี่ที่ใช้งานแล้วในพื้นที่หนึ่งกลับมาใช้งานใหม่ในอีกพื้นที่หนึ่งสามารถใช้ช่องสัญญาณเพื่อติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่สมัยแรก ๆ

ในปีค.ศ.1960 ห้องทดลองเบลล์ได้จดสิทธิบัตร และได้พัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่กลายมาเป็นระบบโทรศัพท์แบบรวงผึ้ง (Cellular Mobile Telephone System) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า โทรศัพท์เซลลูลาร์ (Cellular Telephone) โครงสร้างของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ทวนสัญญาณจำนวนมากประกอบกันเป็นเครือข่าย แต่ระบบยังไม่สามารถนำมาใช้งานในทางธุรกิจได้ จนกระทั่งถึงปีค.ศ.1983 ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ได้ถูกคิดตั้งขึ้นและเปิดให้บริการ โดยพื้นที่ให้บริการทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่า เซลล์ (Cell) แต่ละเซลล์จะมีรัศมีและจัดสรรความถี่ใช้งานเฉพาะเซลล์ แต่ละเซลล์จะมีขนาดเล็กพ่วงต่อกันเป็นแบบรวงผึ้ง เนื่องจากพื้นที่ให้บริการมีขนาดเล็กจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่กำลังส่งสูง ๆ สามารถนำความถี่ซ้ำ ๆ ไปใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

1.4 พัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่

การพัฒนาของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์แบ่งออกเป็นยุคตามรูปแบบของการพัฒนาเทคโนโลยีดังนี้ [6]

ยุคที่ 1 (1G) เป็นยุคแรกของการพัฒนาระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ การรับส่งสัญญาณใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อกเข้าช่องสื่อสารโดยใช้การแบ่งความถี่ออกมาเป็นช่องเล็ก ๆ ด้วยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนช่องสัญญาณ และการใช้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงคิดขัดเรื่องการขยายจำนวนเลขหมาย และการขยายแถบความถี่ ประจวบกับระบบเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุกำหนดขนาดของเซลล์และความแรงของสัญญาณเพื่อให้เข้าถึงสถานีฐานได้ ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังมีขนาดใหญ่ ใช้กำลังงานไฟฟ้ามาก ในภายหลังจึงเปลี่ยนมาเป็นระบบดิจิทัล และการเข้าช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบยุคที่ 1 จึงใช้เฉพาะในยุคแรกเท่านั้น

ยุคที่ 2 (2G) เป็นยุคที่พัฒนาต่อมาโดยการเข้ารหัสสัญญาณเสียง โดยบีบอัดสัญญาณเสียงในรูปแบบดิจิทัล ให้มีขนาดจำนวนข้อมูลน้อยลงเหลือเพียงประมาณ 9 kbps ต่อช่องสัญญาณ การติดต่อจากสถานีลูก หรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานใช้วิธีการ 2 แบบคือ TDMA คือการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่องเล็ก ๆ และแบ่งกันใช้ ทำให้ใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอีกมาก กับอีกแบบหนึ่งเป็นการแบ่งการเข้าถึงด้วยการเข้ารหัส และการถอดรหัส เราเรียกวิธีการนี้ว่า CDMA (Code Division Multiple Access) ในยุคที่ 2 จึงเป็นการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์แบบดิจิทัลหมดแล้ว

ยุคที่ 3 (3G) เป็นยุคแห่งอนาคตอันใกล้ โดยสร้างระบบใหม่ให้รองรับระบบเก่าได้และเรียกว่า UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) โดยมุ่งหวังว่าการเข้าถึงเครือข่ายแบบไร้สายสามารถกระทำได้ด้วยอุปกรณ์หลากหลาย เช่น จากคอมพิวเตอร์ จากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ระบบยังคงใช้การเข้าช่องสัญญาณเป็นแบบ CDMA ซึ่งสามารถบรรจุช่องสัญญาณเสียงได้มากกว่า แต่ใช้แบบแถบกว้าง (Wideband) ในระบบนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มบริษัทบางบริษัทแยกการพัฒนาในรุ่น ยุคที่ 3 เป็นแบบ CDMA เช่นกัน แต่เรียกว่า CDMA2000 กลุ่มบริษัทนี้พัฒนารากฐานมาจาก IS-95 ซึ่งใช้ในสหรัฐอเมริกา และยังขยายรูปแบบเป็นการรับส่งในช่องสัญญาณที่ได้อัตราการรับส่งสูง (High Data Rate, HDR)

การพัฒนาในยุคที่สามนี้ยังต้องการความเชื่อมโยงกับการใช้งานร่วมในเทคโนโลยีเก่าอีกด้วย โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาที่ยังคงให้ใช้งานได้ทั้งแบบ 1G และ 2G โดยเรียกรูปแบบใหม่เพื่อการส่งเป็นแพ็คเกจว่า GPRS (General Packet Radio Service) ซึ่งส่งด้วยอัตราความเร็วตั้งแต่ 9.06,

13.4, 15.6 และ 21.4 kbps โดยในการพัฒนาต่อจาก GPRS ให้เป็นระบบ 3G เรียกระบบใหม่ว่า EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)

ในยุค 3G นี้ เน้นการรับส่งแบบแพ็คเกจ และต้องขยายความเร็วของการรับส่งให้สูงขึ้น โดยสามารถส่งรับด้วยความเร็วข้อมูล 384 kbps ขณะผู้ใช้งานกำลังเคลื่อนที่ และอัตราความเร็วถึง 2 Mbps ขณะผู้ใช้อยู่กับที่

ตารางที่ 1.2 การพัฒนาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปีที่เริ่ม	ระบบ	โพรโทคอลการเข้าใช้ ช่องสัญญาณ	ความถี่(MHz)	การบริการ
1983	AMPS	FDMA	824-894	เสียง, ข้อมูลผ่านโมเด็ม
1990	GSM	TDMA/FDMA	890-960	เสียง, ข้อมูล, เฟจจิง
1991	IS54	TDMA/FDMA	824-894	เสียง, ข้อมูล, เฟจจิง
1993	IS95	CDMA	824-894 1850-1980	เสียง, ข้อมูล, เฟจจิง
1994	DCS1900	TDMA/FDMA	1840-1990	เสียง, ข้อมูล, เฟจจิง
หลังปี 2000	WCMA (CDMA2000) IMT2000	WCDMA	1885-2025 2100-2200	มัลติมีเดีย, วิดีโอ, เสียง, ข้อมูล

1.5 ประวัติการสื่อสารผ่านดาวเทียม

วันที่ 4 ตุลาคม ค.ศ.1957 รัสเซียเป็นประเทศแรกที่สามารถส่งดาวเทียมดวงแรกของโลกขึ้นโคจรอยู่ในอวกาศนับเป็นอีกขั้นหนึ่งของการพัฒนาทางเทคโนโลยีของโลก ดาวเทียมดวงแรกใช้ชื่อว่า Sputnik หลังจากประสบความสำเร็จในการส่งดาวเทียมดวงนี้แล้ว ก็มีดาวเทียมอีกจำนวนนับร้อยถูกส่งขึ้นไปโคจรในอวกาศเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน มีผลทำให้การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอวกาศในสาขาต่าง ๆ เช่น การสื่อสารผ่านอวกาศ อุตุนิยมวิทยา สภาพวะของโลก ฯลฯ เป็นไปอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น การพัฒนาของดาวเทียมนั้นมิได้เริ่มต้นเมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงแรกขึ้นสู่วงโคจร แต่เริ่มจากการวิวัฒนาการของเทคโนโลยีหลายสาขา เช่น การพัฒนาของจรวด และอุปกรณ์การสื่อสาร รวมถึงความรู้อื่น ๆ อีกมากมาย

การพัฒนาของการสื่อสารทางอวกาศนับตั้งแต่ก่อนการส่งดาวเทียมดวงแรกจนกระทั่งหลังจาก
ส่งดาวเทียม อาจสรุปได้โดยย่อ ดังนี้ [2]

- 1932. สหรัฐฯ ได้ทำการทดลองวัดสัญญาณรบกวน (Noise) จากกาแล็กซี่โดยอาศัยวิทยุดาราศาสตร์
- 1938. ญี่ปุ่นได้ทำการทดลองวัดสัญญาณรบกวน (Noise) จากแสงอาทิตย์โดยอาศัยวิทยุดาราศาสตร์
- 1945. ชาวอังกฤษ ชื่อ Arthur C. Clark แนะนำโครงสร้างของโครงการสื่อสารดาวเทียมลอยอยู่กับที่ (Stationary Satellite)
- 1946. สหรัฐฯ ใช้เรดาร์ตรวจจับ Lunar Echo
- 1957. Trexler แห่งสหรัฐฯ ใช้ดวงจันทร์เป็นสถานีทบทวนสัญญาณแบบ Passive (ไม่มีการขยายของสัญญาณซ้ำที่สถานีทบทวนสัญญาณ) เป็นการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างจุด 2 จุดบนโลก โดยอาศัยการสะท้อนกลับของเสียงเมื่อกระทบพื้นผิวดวงจันทร์
- 1957. รัสเซียทดลองระบบวิทยุ โดยผ่านดาวเทียม Sputnik
- 1958. กองทัพอากาศสหรัฐฯ ทำการส่งบันทึกเสียงผ่านดาวเทียม
- 1960. องค์การนาซาของสหรัฐฯ ทำการสำรวจคุณสมบัติผ่านดาวเทียม Tairos I
- 1960. กองทัพอากาศสหรัฐฯ ส่ง Passive Relay ของโทรศัพท์และ TV ผ่านดาวเทียม Echo I
- 1960. กองทัพบกสหรัฐฯ ทำการทดสอบการ Delayed Relay ผ่านดาวเทียม Courier IB
- 1962. สหรัฐฯ อังกฤษ ฝรั่งเศส ได้ร่วมมือกันในการสื่อสารผ่านดาวเทียม Telstar I แบบ Active Relay (มีการขยายของสัญญาณซ้ำที่สถานีทบทวนสัญญาณ) ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก
- 1962. รัสเซียใช้ดาวเทียมในการส่งทีวี และติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม Vostok 3, 4
- 1963. สหรัฐฯ ใช้การติดต่อสื่อสารแบบ Passive Relay ผ่านดาวเทียมจำนวนมากในลักษณะ Scatter Needle
- 1963. สหรัฐฯ และญี่ปุ่น ได้ติดต่อสื่อสารกันโดยระบบ Active Relay ข้ามมหาสมุทรแปซิฟิก ผ่านดาวเทียม Relay I
- 1964. ญี่ปุ่นและสหรัฐฯ ได้ร่วมกันถ่ายทอด TV ในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกผ่านดาวเทียม Syncom 3 ซึ่งลอยอยู่กับที่

ต่อมาเมื่อ วันที่ 6 เมษายน ค.ศ.1965 องค์การ Intelsat ส่งดาวเทียมโทรคมนาคมเพื่อการพาณิชย์ดวงแรกคือ Early Bird หรือ Intelsat I เหนือมหาสมุทรแอตแลนติกเพื่อติดต่อระหว่างยุโรปกับสหรัฐอเมริกา โดยฝรั่งเศส อิตาลี อังกฤษ ผลักดันทำงานติดต่อกับสหรัฐอเมริกา

ในช่วงนั้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม ค.ศ.1964 ได้มีการประชุมชั่วคราวของประเทศต่าง ๆ เพื่อก่อตั้งองค์การสื่อสารดาวเทียมเพื่อการพาณิชย์โลก โดยไม่มีกีดกันเชื้อชาติ ภาษา หรือลัทธิของประเทศผู้ให้บริการ ในขั้นต้นที่ประชุมเห็นสมควรตั้งชื่อหน่วยงานนี้ว่า Global Interim Commercial Communication แต่ต่อมาในเดือนพฤศจิกายน ค.ศ.1965 ได้เปลี่ยนชื่อใหม่ว่า องค์การดาวเทียมเพื่อกิจการโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Satellite Organization) มีชื่อย่อว่า Intelsat ตามการประชุมของหน่วยงาน ICSC (Interim Communication Intelsat) มีมติให้แต่งตั้งคณะกรรมการบริหารขององค์การ Intelsat โดยประกอบด้วยตัวแทนของผู้ถือหุ้นและกลุ่มผู้ถือหุ้นไม่น้อยกว่า 1.5% ในช่วยแรก Intelsat มีเงินจดทะเบียน 200 ล้านดอลลาร์ มีกรรมการ 18 คน มีผู้ถือหุ้นรายใหญ่คือ สหรัฐฯ 61%, อังกฤษ 8.4%, ฝรั่งเศส 6.1%, ต่อมาในปีค.ศ.1973 เงินจดทะเบียนมีถึง 500 ล้านดอลลาร์ มีผู้ถือหุ้นรายใหญ่ เช่น สหรัฐฯ 39.2%, อังกฤษ 10.6%, ญี่ปุ่น 4.5% สำหรับประเทศที่ถือหุ้นน้อยกว่า 1.5% นั้น จะต้องรวมกลุ่มจะหมุนเวียนกันประเทศละ 1 ปีเพื่อเข้าร่วมประชุมกับคณะกรรมการขององค์การ Intelsat ส่วนประเทศไทยเป็นสมาชิกขององค์การ Intelsat ในอันดับที่ 49 โดยเข้าร่วมในปีค.ศ.1966

วันที่ 26 ตุลาคม ค.ศ.1966 องค์การ Intelsat ส่งดาวเทียม Intelsat II ขึ้นสู่วงโคจร และประเทศไทยเปิดการติดต่อสื่อสารดาวเทียมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกกับสหรัฐอเมริกาทางด้านฮาวาย เมื่อวันที่ 1 เมษายน ค.ศ.1967

วันที่ 11 ธันวาคม ค.ศ.1968 องค์การ Intelsat ส่งดาวเทียม Intelsat III ขึ้นสู่วงโคจร ประเทศไทยติดต่อดาวเทียม Intelsat III F-4 ทางด้านมหาสมุทรแปซิฟิก และดาวเทียม Intelsat III F-3 เหนือมหาสมุทรอินเดีย เมื่อวันที่ 1 เมษายน ค.ศ.1970

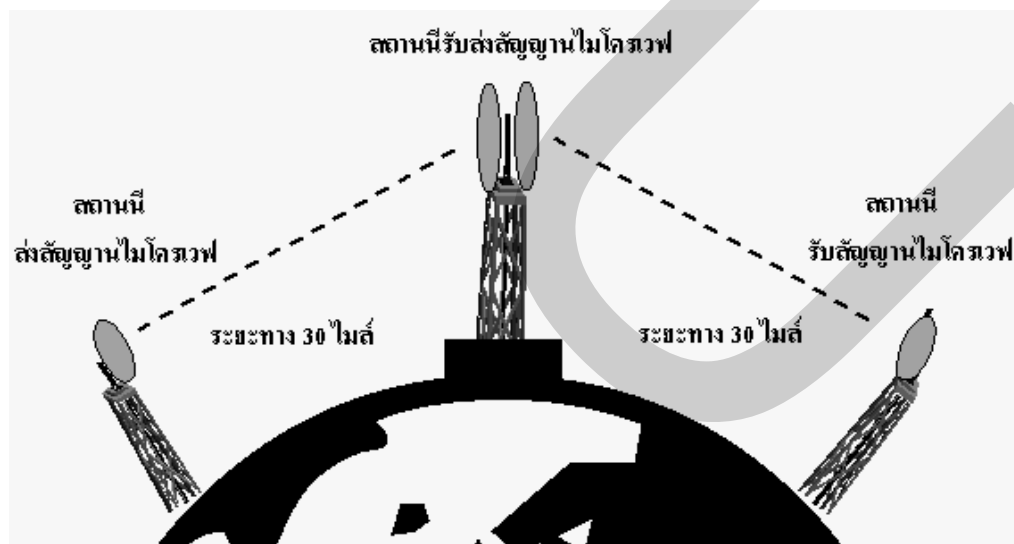
หลังจากนั้นประเทศไทยก็ใช้ดาวเทียมของ Intelsat มาตลอด ในปัจจุบันประเทศไทยยังใช้ดาวเทียมอื่น ๆ อีก เช่น ดาวเทียม Palapa ของประเทศอินโดนีเซีย ดาวเทียม Asiasat ของประเทศฮ่องกง และตั้งแต่ปีค.ศ.1993 เป็นต้นไปประเทศไทยจะมีดาวเทียมเป็นของตนเองชื่อว่า ไทยคม (Thaicom) ซึ่งบริษัทชินวัตรคอมพิวเตอร์แอนด์คอมมูนิเคชั่นเป็นผู้ได้รับสัมปทาน รายละเอียดต่าง ๆ ในการใช้ดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน

1.6 ความเป็นมาของการสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave)

การส่งสัญญาณไมโครเวฟ เป็นการส่งข้อมูลผ่านที่ว่างเปล่า สัญญาณไมโครเวฟจะถูกส่งจากสายอากาศ (Antenna) กระจายผ่านอากาศ ไมโครเวฟเป็นคลื่นวิทยุที่มีความถี่ระหว่าง 1 GHz- 10 GHz สัญญาณไมโครเวฟจะถูกส่งผ่านท่อนำคลื่น (Waveguide) ไปยังสายอากาศ ท่อนำคลื่นเป็นตัวนำพิเศษมีลักษณะเป็นท่อกลวง สัญญาณไมโครเวฟจะแพร่กระจายผ่านท่อนำคลื่นด้วยความสูญเสียกำลังต่ำมาก การส่งสัญญาณไมโครเวฟ จะวิ่งเป็นลักษณะลำคลื่นแคบ (Narrow Beams) และมีทิศทางเป็นแนวตรงโดยสายอากาศ หรือจานไมโครเวฟ (Microwave Antenna) จะติดตั้งห่างกันตามที่ได้ออกแบบไว้โดยสัญญาณจากหลายแหล่งสามารถมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) แล้วส่งร่วมกันผ่านไมโครเวฟที่มีแบนด์วิดท์สูงได้

ข้อดีของระบบส่งสัญญาณไมโครเวฟ คือให้แบนด์วิดท์ที่รองรับข้อมูลสูงกว่าการส่งผ่านข้อมูลผ่านสายสัญญาณและ ลดงานการเดินสายสัญญาณ ดังนั้นนิยมใช้ระบบส่งสัญญาณไมโครเวฟในพื้นที่ที่ไม่สะดวกสำหรับการเดินสาย ระบบไมโครเวฟ เหมาะกับการส่งสัญญาณระยะใกล้และไกล ระบบสื่อสารที่ใช้การส่งสัญญาณไมโครเวฟ เช่น ระบบโทรศัพท์วิทยุเคลื่อนที่ระบบเพจเจอร์

ข้อเสียของระบบไมโครเวฟ คือ คุณภาพสัญญาณอาจถูกระทบโดย สภาพภาวะอากาศ และไม่สามารถส่งหรือเส้นทางแพร่คลื่น ออกนอกขอบเขตแนวสายตา ดังนั้นจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องทวนสัญญาณไมโครเวฟ เป็นระยะ ๆ เมื่อส่งสัญญาณระยะไกล



รูปที่ 1.1 การส่งสัญญาณไมโครเวฟ

1.7 ความเป็นมาของเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network, WLAN)

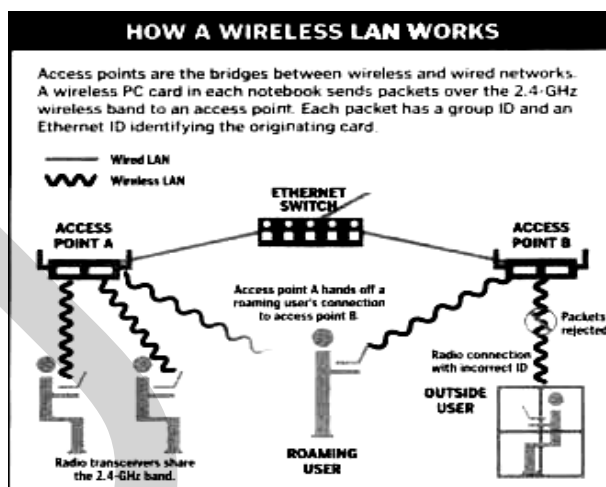
แนวความคิดเกี่ยวกับการสื่อสารไร้สายนี้ได้เกิดขึ้นเมื่อค.ศ. 1901 นักฟิสิกส์ชาวอิตาลีได้ทำการสาธิตการสื่อสารระหว่างเรือกับฝั่งโดยใช้คอมไฟ เปิด-ปิด เป็นสัญญาณแทนความหมายต่าง ๆ ในรหัสที่เรียกว่า Morse code ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่ามีความพื้นฐานแนวความคิดเช่นเดียวกันกับข้อมูลแบบดิจิทัลที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนั่นเอง [28]

เครือข่ายไร้สาย WLAN เกิดขึ้นครั้งแรก ในปีค.ศ.1971 บนเกาะฮาวาย โดยโครงการ ของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย ที่ชื่อว่า “ALOHNET” ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ Bi-Directional ส่งไป-กลับง่าย ๆ ผ่านคลื่นวิทยุ สื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะโดยรอบ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะ ๑ แห่ง ที่ชื่อว่า Oahu

เครือข่ายไร้สาย WLAN คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ซึ่งอาจจะนำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ (Radio Frequency, RF) และคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สาย ที่สำคัญก็คือ การที่มันไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการทำงานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันนี้ โลกของเราเป็นยุคแห่งการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่นโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจและการใช้ชีวิตประจำวันความต้องการข้อมูลและการบริการต่าง ๆ มีความจำเป็นสำหรับนักธุรกิจ เทคโนโลยีที่สนองต่อความต้องการเหล่านั้น มีมากมาย เช่นโทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (NoteBook) เครื่องปาล์ม ได้ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมาก และ ผู้ที่น่าจะได้ประโยชน์จากการใช้ระบบเครือข่ายไร้สาย มีมากมาย

เครือข่ายไร้สาย WLAN เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์คลื่นความถี่วิทยุคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สัญญาณไมโครเวฟ (Microwave) และคลื่นอินฟราเรด ในการส่งและรับข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ เครือข่ายไร้สายสามารถใช้งานได้เหมือนเครือข่ายแบบมีสาย แต่ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาอย่างอิสระได้ในระหว่างที่ใช้คอมพิวเตอร์ และยังช่วยทำให้การติดตั้งเครือข่ายทำได้ง่ายขึ้นเนื่องจากไม่มีสายเคเบิลที่จะต้องนำมาต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยตัวอย่างการทำงานของเครือข่าย WLAN แสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.2 การทำงานของเครือข่ายไร้สาย WLAN

เทคโนโลยีแลนไร้สาย (Wireless LAN Technology)

โดยทั่วไปแล้วระบบเครือข่ายไร้สายจะใช้เทคโนโลยีในการส่งสัญญาณอยู่ 2 ประเภท คือ การส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ และ การส่งสัญญาณโดยใช้แสงอินฟราเรด

การส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency, RF) มีคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ เป็นช่วงคลื่นที่สามารถสร้างขึ้นใช้งานได้ง่าย ส่งไปได้ระยะทางไกล สามารถเดินทางผ่านวัตถุีดขวางต่าง ๆ ได้อย่างดี และยังคงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดไปทุกทิศทาง

การรับส่งสัญญาณของเครือข่ายไร้สายโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ สัญญาณวิทยุแบบ ความถี่แถบแคบ (Narrowband) และแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum)

คลื่นความถี่แถบแคบ (Narrowband) จะรับ - ส่งข้อมูลโดยใช้สเปกตรัมบางส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อของแถบความถี่ ISM (Industrial / Scientific / Medical) ที่มีความถี่แบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 902 - 928 MHz, 214 - 2.484 MHz และ 5.725 - 5.850 MHz

คลื่นความถี่วิทยุแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum) คือ วิธีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณข้อมูลเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ความถี่วิทยุมากขึ้นความจำเป็น การกระจายของข้อมูลแบบนี้ป้องกันสัญญาณจากการดักฟังและคลื่นรบกวนได้ สเปกตรัมแผ่จะส่งสัญญาณโดยใช้แถบความถี่ ISM ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 902-928 MHz และ 2.4 - 2.484 MHz ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้รับอนุญาตจาก FCC เทคนิคสำหรับการส่งข้อมูลวิทยุแบบ สเปกตรัมแผ่ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในระบบเครือข่ายไร้สายมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ [7]

- แบบ สเปกตรัมแผ่กระโดดความถี่ (Frequency Hopping Spread-Spectrum, FHSS)
- แบบ สเปกตรัมแผ่ลำดับตรง (Direct Sequence Spread-Spectrum, DSSS)

การส่งสัญญาณโดยใช้ลำแสงอินฟราเรด (Infrared, IR) ได้ถูกนำมาใช้เป็นสื่อสารในการให้สัญญาณมานานนับทศวรรษแล้ว แสงอินฟราเรดถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการสื่อสารระยะใกล้ เช่น รีโมท (Remote) สำหรับควบคุมวิทยุ โทรทัศน์ และ วีดีโอ เป็นต้น คุณสมบัติเด่นของคลื่นอินฟราเรดและคลื่นสั้น คือ เดินทางเป็นแนวตรง ราคาถูก และง่ายต่อการผลิตใช้งาน แต่คลื่นประเภทนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งเป็นข้อดีที่สามารถนำอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นอินฟราเรดมาใช้ในห้องทำงานที่อยู่ติดกันได้แม้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองชิ้นนั้นจะใช้ความถี่เดียวกัน ยิ่งกว่านั้นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นอินฟราเรดยังปลอดภัยต่อการถูกลักลอบดักสัญญาณด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้คลื่นอินฟราเรดสามารถนำมาใช้ในการสื่อสารในระบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณได้เป็นอย่างดี

การพัฒนาการของการสื่อสารไร้สายและระบบติดตามตัวยังไปได้ไม่ทันใจ ทั้งนี้เพราะมีอุปสรรคและปัญหาที่สำคัญ ซึ่งเป็นปัญหาหลัก 4 ประการคือ [6]

- 1.ระบบไร้สายใช้อัตราการรับส่งข้อมูลได้ต่ำ
 - 2.ค่าบริการค่อนข้างแพง
 - 3.โมเด็มรับส่งแบบคลื่นวิทยุ ใช้กำลังงานไฟฟ้าสูง
 - 4.ระบบการเชื่อมต่อผู้ใช้ ที่ใช้กับระบบติดตามตัวยังไม่ดี ไม่เหมาะกับการใช้งานขณะเคลื่อนที่
- ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาที่ระบบไร้สายในยุค 3G ต้องแก้ไขให้ได้ทั้งหมด โดยเฉพาะระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องเพิ่มอัตราการรับส่งข้อมูลให้ได้มาก เพื่อจะส่งรูปภาพหรือภาพเคลื่อนไหวได้ ต้องมีอัตราค่าใช้บริการที่ถูกกลง และเครื่องที่ใช้ต้องใช้กำลังงานต่ำเพื่อจะใช้ได้นาน ส่วนระบบการเชื่อมต่อในปัจจุบันก็ก้าวมาในรูปแบบ WAP (Wireless Application Protocol)

1.8 เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth Technology)

เริ่มแรกจะขอกล่าวถึงประวัติความเป็นมาของคำว่า Bluetooth คร่าว ๆ ดังนี้ Harald Blatand เป็นกษัตริย์ของประเทศเดนมาร์ก ครองราชย์ประมาณปีค.ศ.940 ถึง 985 ในรัชกาลของกษัตริย์ Harald ได้มีการบันทึกไว้ว่ามีการนำศาสนาคริสต์เข้ามายังแถบสแกนดิเนเวีย ประกอบด้วยประเทศเดนมาร์กและนอร์เวย์ และชื่อ Blatand ก็ได้กลายมาเป็น Bluetooth ซึ่งจุดกำเนิดของชื่อนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัด ในบางประวัติบอกว่าชื่อนี้มาจากผิวที่ดำของกษัตริย์เอง ในบางประวัติบอกว่าชื่อนี้มาจากกษัตริย์ที่ชอบกินบลูเบอรี่จึงทำให้ฟันเป็นสีน้ำเงินอ่อน ซึ่งชื่อจากประวัตินี้มีความเป็นไปได้สูงสำหรับเทคโนโลยีนี้จุดกำเนิดอยู่ที่สแกนดิเนเวีย และ SIG (Bluetooth Special Interest Group) ก็เกิดจากการรวมตัวกันของหลายๆ บริษัทเหมือนกับที่กษัตริย์ Harald เป็นผู้รวบรวมประเทศต่าง ๆ เข้า

ด้วยกันในแถบสแกนดิเนเวีย ซึ่งจากเดิมชื่อ Bluetooth เป็นชื่อที่เรียกกันในโปรเจกต์ แต่วันนี้กลายเป็นชื่อเครื่องหมายการค้าของเทคโนโลยีและของ SIG [13]

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ นั่นคือไม่จำเป็นต้องมีสายก็สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ เช่น คอมพิวเตอร์ของเราอยู่อีกห้องหนึ่ง สามารถจะส่งข้อมูลไปพิมพ์ที่ เครื่องพิมพ์ (Printer) อีกฝากห้องหนึ่งได้ หรือเราอาจจะใช้โทรศัพท์มือถือสั่งงานระบบควบคุมไฟฟ้าภายในบ้านก็ได้ ปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธได้กลายเป็นมาตรฐานที่ทุกอุปกรณ์จำเป็นต้องมี เช่น คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook) โทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ นอกจากนี้ในการใช้งานเราสามารถใช้งานได้อิสระเต็มที่ เช่น อาจแชร์ (Share) ไฟล์ข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือนำไปรวมเข้ากับเครือข่าย LAN หรือนำไปใช้ในการเปิดประตูรถยนต์โดยโทรศัพท์มือถือก็ได้

ข้อกำหนดเปิด (Open Specification) เป็นข้อกำหนดสำหรับการติดต่อสื่อสารไร้สาย นั้นหมายความว่าใครก็ได้ในโลกนี้สามารถใช้งานได้ ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการนำไปใช้ โดยข้อกำหนดเปิดนี้ถูกกำหนดโดย Bluetooth Special Interest Group (SIG) ประกอบด้วย บริษัท Ericsson บริษัท Intel Corporation บริษัท IBM บริษัท Nokia Corporation และบริษัท Toshiba Corporation เพื่อสร้างข้อกำหนดเปิดสำหรับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อสนับสนุนการทำงาน และการสร้างอุปกรณ์ทุกชนิดให้ทำงานข้ามแพลตฟอร์ม (Platform) กันได้

การสื่อสารแบบระยะสั้น (Short Range Wireless) การติดต่อสื่อสารในปัจจุบันนี้จะติดต่อสื่อสารผ่านสายเคเบิล (Cable) ซึ่งสายเหล่านี้จะเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์จำนวนมาก และอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อก็มีขนาดและจำนวนมากโดยสายเคเบิลจำนวนมากนี้กลายเป็นภาระให้แก่ผู้ใช้ ดังนั้นเทคโนโลยีบลูทูธสามารถทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องมีสายเคเบิล ซึ่งการติดต่อสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ (Radio Frequency, RF) ในการรับส่งข้อมูล และเทคโนโลยีบลูทูธนี้ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการสื่อสารแบบระยะสั้น (Short Range) ประมาณ 10 เมตร ผลของการออกแบบลักษณะนี้ทำให้อุปกรณ์ใช้พลังงานน้อย และเหมาะสำหรับอุปกรณ์มีขนาดเล็กถือไปมาได้ และพลังงานที่ใช้อยู่จากแบตเตอรี่ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ PDA เป็นต้น

เสียงและข้อมูล (Voice and Data) การสื่อสารด้วยบลูทูธสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ทั้งเสียง (Voice) และ ข้อมูล (Data) ดังนั้นจึงเป็นเทคโนโลยีในทางอุดมคติสำหรับให้อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารกันได้สะดวกยิ่งขึ้น ติดต่อสื่อสารได้ทุกที่ในโลก ด้วยบลูทูธจะเลือกย่านความถี่ที่ไม่ได้สงวนไว้ที่ ย่านความถี่ 2.4 GHz ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารด้วยเทคโนโลยีบลูทูธจึงสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกที่ในโลก โดยไม่ต้องมีใบอนุญาต

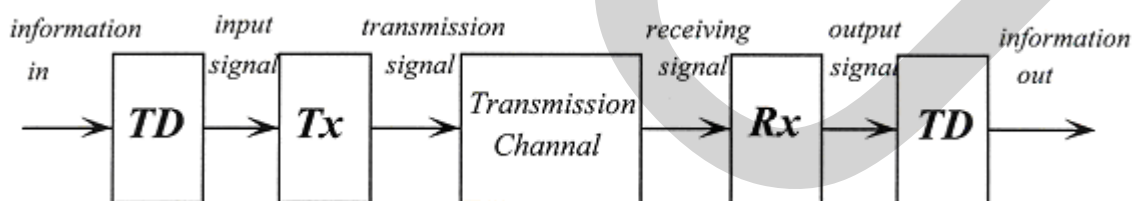
เทคโนโลยีบลูทูธ เหมาะสำหรับนำมาแทนอุปกรณ์ที่มีสายเคเบิลจำนวนมาก เช่น ใช้แทนสายสื่อสารแบบอนุกรม เช่น ใช้กับโมเด็ม (Modem) กล้องดิจิทัลและอุปกรณ์ส่วนบุคคลที่เป็น ดิจิทัล หรือใช้กับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เช่น Printer Scanner Keyboard และ Mouse ยิ่งกว่านั้น ยังเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่กับที่กับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้ ฉะนั้นถ้าเทคโนโลยีบลูทูธประสบความสำเร็จในด้านการตลาดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตผู้คนในด้านการคำนวณและการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย

บทที่ 2

ฐานทฤษฎีนักคิดที่สำคัญในศาสตร์

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบัน (ค.ศ. 2004) วิทยาการการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาขึ้นมากเมื่อเทียบกับในอดีตแต่อย่างไรก็ตามทฤษฎีของนักคิดในอดีตนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งทำให้เกิดวิวัฒนาการมาจนถึงปัจจุบันก่อนที่จะศึกษาทฤษฎีของนักคิดที่สำคัญนั้นควรจะเข้าใจถึงระบบการสื่อสารด้วยไฟฟ้าและรูปแบบของการส่งสัญญาณก่อน ซึ่งเป็นพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคมประเภทไร้สาย ในระบบการสื่อสารด้วยไฟฟ้านั้นข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าจะต้องถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก่อน ด้วยตัวเปลี่ยนสัญญาณ (Transducer) แล้วจึงถูกส่งไปยังผู้รับโดยผ่านช่องสัญญาณเมื่อไปถึงปลายทางจึงจะถูกแปลงเป็นข่าวสารในรูปแบบที่ผู้รับเข้าใจได้ ณ จุดนี้มีคำที่ใช้กันที่อาจทำให้เกิดการสับสนได้จึงต้องทำความเข้าใจถึงข้อแตกต่างเสียก่อน คือ ข่าวสาร (Information) ข้อความ (Message) และสัญญาณ (Signal) สำหรับข่าวสารนั้นเป็นสิ่งที่ต้องการสื่อสารให้ผู้รับเข้าใจความหมายตามที่ต้องการเป็นลักษณะนามธรรมในขณะที่ข้อความเป็นรูปธรรมของข่าวสารนั้น ส่วนสัญญาณเป็นการแทนข้อความด้วยรูปแบบต่าง ๆ ของสัญญาณทางไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่า ในระบบหม้อต้มน้ำใบหนึ่งถ้าข่าวสารที่ต้องการส่งให้รับทราบคือ “น้ำเดือด” ข้อความ (Message) จะเป็น “อุณหภูมิของน้ำ” ซึ่งอาจแทนด้วย “แรงดันไฟฟ้า” ที่เปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ (Signal) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.1 มีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ [29]

- **ตัวแปลงสัญญาณ (Transducer, TD)** เป็นตัวจัดการเปลี่ยนข่าวสารที่ไม่ได้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อจะส่งไปในระบบการสื่อสารด้วยไฟฟ้าได้ ตัวอย่างเช่น ข่าวสารอยู่ในรูปสัญญาณเสียงตัวแปลงสัญญาณอาจจะเป็นไมโครโฟนถ้าข่าวสารเป็นรูปภาพตัวแปลงสัญญาณอาจเป็นกล้องโทรทัศน์เป็นต้น นั่นคือตัวแปลงสัญญาณจะเปลี่ยนปริมาณต่าง ๆ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้ากลับเป็นปริมาณต่าง ๆ ในด้านรับ
- **ตัวส่ง (Transmitter, TX)** จะทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณที่ของข้อความ หรือข่าวสารให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับตัวกลางหรือช่องส่งสัญญาณ (Transmission Channel) วิธีการอาจเป็นการมอดูเลตในรูปแบบต่างๆและรวมถึงการเข้ารหัสสัญญาณด้วย
- **ช่องสัญญาณ (Transmission Channel)** เป็นตัวกลางที่จะเชื่อมโยงระหว่างต้นทางกับปลายทางเพื่อให้สัญญาณไฟฟ้าจากตัวส่งผ่านไปถึงตัวรับได้ อาจเป็นสายตัวนำแบบสายคู่ตีเกลียว สายโคแอกเชียลแกนรวม (Coaxial) ท่อนำคลื่น (Wave Guide) หรือเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) หรืออาจเป็นบรรยากาศที่จะต้องส่งสัญญาณในรูปของคลื่นวิทยุ ลักษณะที่สำคัญของช่องสัญญาณคือ มีการสูญเสียสัญญาณ ถูกลดทอน ทำให้มีขนาดเล็กลงเมื่อระยะทางไกลออกไป ช่องสัญญาณต่าง ๆ ก็มีการสูญเสียที่ต่างกันนอกจากนี้ ในช่องสัญญาณจะมีสัญญาณรบกวนผสมเข้ากับสัญญาณที่ส่งไปเสมออาจทำให้สัญญาณที่ส่งไปเกิดการผิดพลาดได้
- **ตัวรับ (Receiver, RX)** ทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณออกมาคือการขยายขนาดสัญญาณการดีมอดูเลตและการถอดรหัสเพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมือนเดิมออกมา จากนั้นส่งผ่านให้กับ TD สัญญาณก็จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นข้อความข่าวสารเหมือนตอนส่งแต่บางที TD ด้านขาออกอาจไม่เปลี่ยนเป็นข้อความกลับเหมือนกับตอนส่งก็ได้เช่น TD ขาเข้าอาจเป็นตัวเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นแรงดันในขณะที่ TD ขาออกอาจเปลี่ยนแรงดันเป็นตัวเลขหรือเป็นไฟสัญญาณหรืออาจเป็นสัญญาณเสียงก็ได้

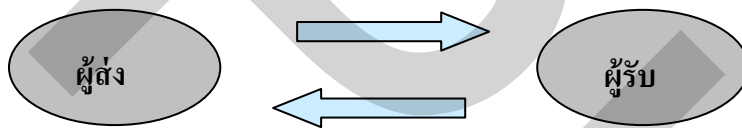
รูปแบบของการส่งสัญญาณ [30]

- **แบบทิศทางเดียวหรือซิมเพล็กซ์ (One Way หรือ Simplex)** เป็นการส่งข้อมูลในทิศทางเดียว คือข้อมูลถูกส่งไปในทางเดียว เช่น สถานีวิทยุกระจายเสียง การแพร่ภาพทางโทรทัศน์



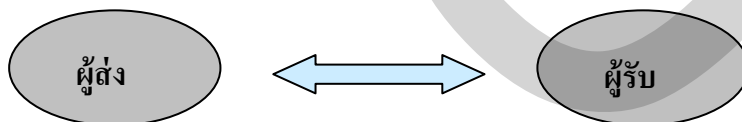
รูปที่ 2.2 การส่งข้อมูลในทิศทางเดียว

- **แบบกึ่งทางคู่หรือครึ่งดูพล็กซ์ (Half Duplex)** เป็นการส่งข้อมูลแบบสลับการส่งและรับข้อมูลไปมา จะทำในเวลาเดียวกันไม่ได้ เช่น การใช้วิทยุสื่อสาร ก็จะต้องสลับกันพูด เพราะจะต้องกดปุ่มก่อนแล้วจึงจะสามารถพูดได้



รูปที่ 2.3 การส่งข้อมูลแบบสลับการส่งและรับข้อมูล

- **แบบทางคู่หรือดูพล็กซ์เต็ม (Full Duplex)** เป็นการส่งข้อมูลแบบที่สามารถส่ง และรับข้อมูลได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้ทำให้การทำงานเร็วขึ้นมาก เช่น การพูดโทรศัพท์



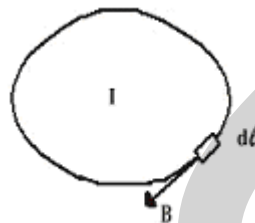
รูปที่ 2.4 การส่งข้อมูลแบบที่สามารถส่ง และรับข้อมูลได้พร้อมกัน

ทฤษฎีของนักคิดที่สำคัญจากอดีตถึงปัจจุบันตามวิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1.1 มีรายละเอียดทฤษฎีต่าง ๆ ของนักคิดที่สำคัญ ดังนี้

2.2 กระแสไฟฟ้าสามารถให้กำเนิดสนามแม่เหล็ก

การค้นพบอำนาจแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งเริ่มมาจากการที่เออร์สเตด (Hans Christian Oersted ค.ศ. 1777- 1851) ในปี ค.ศ. 1820 สังเกตพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดส่งแรงแม่เหล็กไปกระทำต่อแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ ๆ คล้ายกับว่าขดลวดเป็นแม่เหล็กเอง ต่อมา แอมแปร์ (Ampere ค.ศ. 1775-1836) ได้เขียนสมการคณิตศาสตร์อธิบายผลของการสังเกตนี้ โดยแสดงว่าแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดนำไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้ว่า เป็นผลรวมของแรงแม่เหล็กที่มาจากแต่ละส่วนย่อยของขดลวดโดยที่ขนาดของแรงย่อยนี้แปรผกผันกับกำลังสองของ ระยะทางจากจุดที่พิจารณาแรงถึงขดลวดส่วนนั้น กฎนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อของกฎบิโธซาวาร์ต (Biot - Savart's Law) กฎต่าง ๆ ในรูปของ “การกระทำจากระยะ” (Action at A Distance) นี้ชี้ให้เห็นว่า ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าคงจะมีแนวโน้มที่จะพัฒนาไปใน รูปแบบเดียวกับทฤษฎีแรงโน้มถ่วง

2.2.1 กฎของแอมแปร์ (Ampere's law) [31] เป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำซึ่งกล่าวว่า



รูปที่ 2.5 สนามแม่เหล็กตามเส้นทางปิด

ค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กคูณระยะทางในทิศเดียวกับสนามตามเส้นทางปิดใด ๆ (รูปที่ 2.5) จะมีค่าเท่ากับ μ_0 คูณกับกระแสทั้งหมดภายในวงนั้น หรือเขียนได้ว่า

$$\oint B \cos \theta dl = \mu_0 I \quad (1)$$

เมื่อ θ คือมุมระหว่าง B กับระยะทางสั้น ๆ (dl)

μ_0 คือค่าความซึมได้ของสุญญากาศ

ปริมาณ $\oint Bdl$ เรียกว่า การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Circulation) ตามทางปิด ฏของแอมแปร์จึงกล่าวเป็นใจความได้ว่า การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กตามทางปิดใด ๆ ที่ล้อม กระแสไฟฟ้า (I) จะมีค่าเท่ากับ $\mu_0 I$

2.2.2 กฎของบิโอซาวาร์ต (Biot-savart Law) [3] เป็นกฎที่กล่าวถึงสนามแม่เหล็กสถิตที่เกิด จากกระแสไหลเข้าไปในตัวนำและทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น โดยการคำนวณหาจาก Biot-Savart's Law

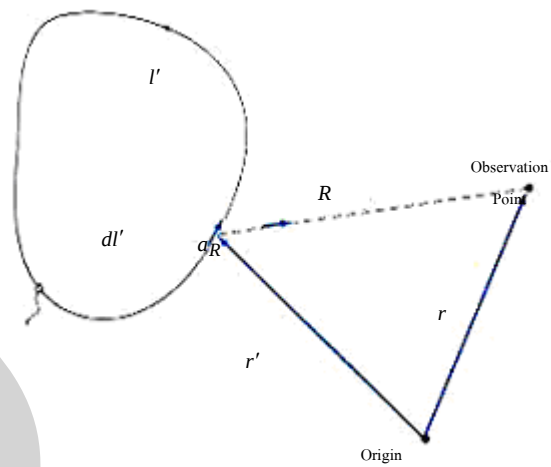
การคำนวณสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีพื้นฐานมาจากการคำนวณแรง โดยที่ $d\vec{B}$ แสดงโดย สมการที่ (2)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{a}_{12}}{R^2} \quad \text{T} \quad (2)$$

เมื่อ $d\vec{B}$ คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้น ณ กระแสย่อย 1 โดยกระแสย่อย 2 หน่วยของ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก คือ เวเบอร์ต่อตารางเมตรหรือเทสลา ข้อสังเกตจากสมการ (2) ณ จุด- ๆ หนึ่งในบริเวณที่ว่างความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่จุด ๆ นี้จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดกระแสน้อย (I_2) แต่ไม่ขึ้นกับกระแสน้อย (I_1)

กระแสน้อย 2 เป็นส่วนหนึ่งของกระแสที่ไหลในวงรอบปิด ดังนั้นความหนาแน่นฟลักซ์ แม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดจากวงรอบปิดนี้ ณ ตำแหน่ง $\vec{r}$ หาจากหลักการทับซ้อนของ $d\vec{B}$ จากทุก กระแสน้อยในวงรอบปิด

$$\vec{B}(r) = \oint_C \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{a}_{12}}{R^2} \quad (3)$$



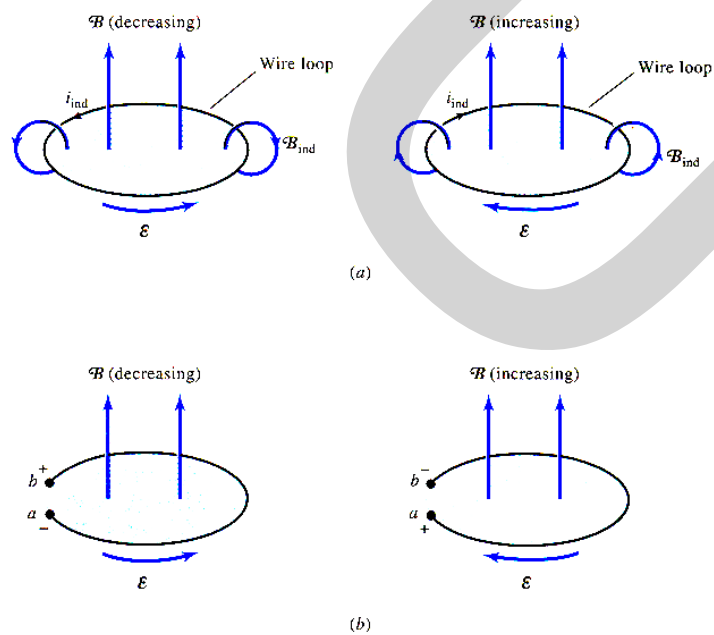
รูปที่ 2.6 ลวดตัวนำวงรอบปิด

เมื่อ $\vec{a}_R = \vec{r} - \vec{r}'$ ดังในรูปที่ 2.6 สมการนี้เรียกว่า Biot-Savart's Law และเป็นสมการพื้นฐานในการคำนวณความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ณ จุดใด ๆ ในอวกาศว่าง ที่เกิดมาจากกระแสย่อย

2.3 การเคลื่อนที่ของแม่เหล็กใกล้กับตัวนำก่อให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ

ในปี ค.ศ. 1831 ฟาราเดย์ (Michael Faraday) สังเกตว่า “สนามแม่เหล็กแปรตามเวลา ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดวงรอบปิด”

2.3.1 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) [3]



รูปที่ 2.7 ก) ลวดตัวนำวงรอบปิด, ข) ลวดตัวนำวงรอบเปิด

พิจารณารูปที่ 2.7(ก) ประกอบด้วยลวดตัวนำวงรอบปิดและสนามแม่เหล็กแปรตามเวลา $\vec{B}$ ที่ไหลเข้าไปในวงรอบปิด การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดกระแส i_{ind} ในเส้นลวดวงรอบปิด และกระแสนี้มีทิศทางที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกชนิดหนึ่งแทนด้วย $\vec{B}_{ind}$ โดยสนามแม่เหล็กนี้จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ถ้าการย้อนกลับของปรากฏการณ์เป็นจริง กระแส i_{ind} เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $\vec{B}_{ind}$ ซึ่งจะเพิ่มหรือเสริมสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ซึ่งสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแส i_{ind} และกระแสนี้จะเสริมสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$

ฟลักซ์แม่เหล็กแปรตามเวลาไหลผ่านเข้าไปในวงรอบปิดทำให้เกิด *electromotive force* (*emf*) ในวงรอบปิดและ *emf* นี้จะขับให้เกิดกระแสไฟฟ้า ถ้าเราเปิด (open) วงจรของวงรอบปิดดังรูปที่ 2.7(ข) *emf* นี้จะปรากฏเป็นประจุที่แยกจากกันที่ตำแหน่งปลายทั้งสอง ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของ *emf* ที่ถูกเหนี่ยวนำและทิศทางของกระแส i_{ind} จะเป็นไปตามกฎของเลนซ์ (Lenz's law) นั่นคือ *emf* เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในวงรอบปิด ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสจะต่อต้านสนามแม่เหล็กที่ไหลผ่านเข้าไปในวงรอบปิด

กฎของฟาราเดย์ สัมพันธ์กับ *emf* ด้วยความสัมพันธ์ที่ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก ψ_m ที่ไหลผ่านเข้าไปในวงรอบปิด ทำให้เกิด *emf*

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (4)$$

กฎของฟาราเดย์ แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กแปรตามเวลาที่ไหลผ่านพื้นผิว S ทำให้เกิด (เหนี่ยวนำ) สนามไฟฟ้าตามวงรอบปิด C ทิศทางของ *emf* หรือสนามไฟฟ้า สามารถหาได้ดังนี้ ถ้าฟลักซ์ ψ_m เพิ่มขึ้นตามเวลา (รูปที่ 2.7(ก)) ทำให้สนามไฟฟ้ามีทิศทางตรงข้ามกับวงรอบ C (สมการที่ 4) และมีทิศทางตรงข้ามกับกฎมือขวาที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวงรอบ C และพื้นผิว S ในกรณี ถ้าฟลักซ์ ψ_m ลดลงตามเวลา (รูปที่ 2.7(ข)) ทำให้สนามไฟฟ้ามีทิศทางตามวงรอบ C และมีทิศทางตามกฎมือขวา

สมการที่ (4) เป็นรูปแบบอินทิกรัลตามกฎของฟาราเดย์ เราสามารถเขียนในรูป Point Form ได้ดังนี้

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (5)$$

2.4 ทำนายการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) (1831-1879) นักคณิตศาสตร์ชาวสก็อต ได้เผยแพร่ผลงานเขียนเกี่ยวกับไฟฟ้าและอำนาจแม่เหล็กในปี 1873 ในชื่อ Electricity and Magnetism ในงานเขียนนี้ เขาได้รวบรวมไฟฟ้าและอำนาจแม่เหล็กเข้าเป็นเรื่องเดียวกัน และเป็นรูปแบบนำไปสู่พื้นฐานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสมัยใหม่ แมกซ์เวลล์นำกฎของฟาราเดย์ แอมแปร์และเกาส์ โดยกฎเหล่านี้มาจากการทดลอง เขียนสมการคณิตศาสตร์ของการทดลองในอีกรูปแบบ และที่สำคัญเขาได้ทำให้กฎของแอมแปร์เป็นความจริงกับการคำนวณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเพิ่มพจน์คณิตศาสตร์เข้าไปในกฎของแอมแปร์

2.4.1 บทสรุปสมการของแมกซ์เวลล์ (Summary of Maxwell's Equations) [3]

แมกเวลล์ได้รวบรวมสมการที่มาจากผลของ แอมแปร์ ฟาราเดย์ เกาส์ คูโลมบ์ และบุคคลอื่น ๆ นอกจากนี้เขาได้ทำให้กฎของแอมแปร์เป็นจริงกับการคำนวณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการเพิ่ม เทอมในกฎของแอมแปร์ ซึ่งสมการของแมกซ์เวลล์ มี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมการของแมกซ์เวลล์

Integral form	Point form
$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (6)
$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s} + \frac{d}{dt} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{s}$	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ (7)
$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int_V \rho dv$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$ (8)
$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$ (9)

เมื่อ $\vec{E}$ เป็นความเข้มของสนามไฟฟ้า

$\vec{J}$ เป็นกระแสไฟฟ้า

$\vec{B}$ เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

สมการที่ (6) นั้นเป็นสมการที่ได้มาจากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) อธิบายถึงสนามแม่เหล็กแปรตามเวลา ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดวงรอบปิด

$\vec{H}$ เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก

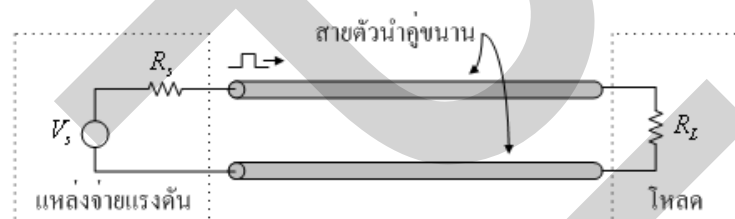
$\vec{D}$ เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า

ρ เป็นประจุไฟฟ้า

สมการที่ (7) เป็นสมการที่ได้มาจากกฎของแอมแปร์ (Ampere's Law) กับความคิดเกี่ยวกับกระแสดิสเพลซเมนต์ (Displacement Current) ของแมกซ์เวลล์ สำหรับสมการที่ (8) และ (9) ได้มาจากไดเวอร์เจนซ์ (Divergence) ของสมการที่ (6) และ (7)

2.4.2 การประยุกต์ทฤษฎีสถานะไฟฟ้า

การประยุกต์สมการของแมกซ์เวลล์เกิดขึ้นในด้านอุปกรณ์ไมโครเวฟ สายอากาศ และสายส่งสัญญาณ เช่น สายตัวนำคู่ขนาน 1 คู่ ดังในรูปที่ 2.8 แหล่งจ่ายแรงดันที่เป็นพัลส์ถูกส่งผ่านเข้าไปยังคู่ตัวนำนี้ สัญญาณพัลส์จะไม่ปรากฏทันทีที่ตำแหน่งโหลด แต่จำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเดินทางจากปลายด้านหนึ่งของสายไปยังอีกด้านของสาย เช่น เวลาการเดินทางบนสายตัวนำความยาว 30 เซนติเมตร วางในอวกาศว่าง (Free Space) มีเวลาเท่ากับ 1 ns แม้ว่าจะดูเหมือนไม่มีความสำคัญที่ค่าเวลานี้ แต่จะมีความสำคัญมากในโมเด็ม (Modem) คอมพิวเตอร์ชนิดความเร็วสูง โดยที่มีอัตราการส่งข้อมูลกว่า 100 ล้านบิตต่อวินาที การคำนวณมีความจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีสถานะไฟฟ้า



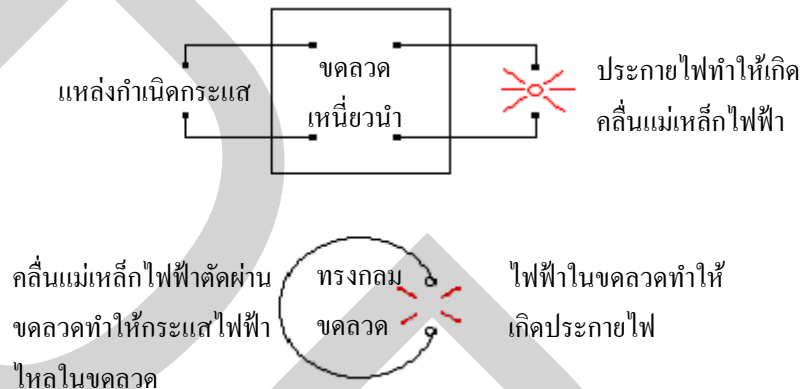
รูปที่ 2.8 สายตัวนำคู่ขนาน

ในความเป็นจริง ทุกปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Phenomena) อาจจะไม่สามารถใช้ทฤษฎีสถานะไฟฟ้าในการแก้ปัญหาได้ หลาย ๆ ปัญหาที่มีความเพียงพอแล้วที่จะใช้ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

2.5 ทดลองทฤษฎีของแมกซ์เวลล์

กิจการวิทยุได้อุบัติขึ้นในโลกเมื่อปี ค.ศ.1887 เมื่อศาสตราจารย์ชาวเยอรมัน ชื่อ Dr. Heinrich Rudolf Hertz เป็นบุคคลแรกที่ได้นำเอาทฤษฎีการแผ่กระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของศาสตราจารย์แมกซ์เวลล์มาทำการทดลองโดยการสร้างเครื่องกำเนิด (Generator) ที่เรียกว่า Spark Gap Generator พิสูจน์ว่า ทฤษฎีดังกล่าวมีความเป็นจริง กล่าวคือ มนุษยชาติสามารถทำให้มี

การแผ่กระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปในอากาศมีลักษณะเป็นคลื่นที่เรียกว่า “Radio Wave” ได้ในอัตราความเร็วแสง คือ ประมาณ สามร้อยล้านเมตรต่อวินาที (300,000,000 เมตร/วินาที) หรือ เท่ากับความเร็วแสง และสามารถรับพลังงานนั้นคืนมาได้ ทั้งยังพิสูจน์ให้เห็นว่า พลังงานดังกล่าว สามารถสะท้อนและหักเหได้เช่นเดียวกับแสง



รูปที่ 2.9 แสดงการทดลองของเฮิร์ตซ์ [8]

2.5.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) [32]

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปแบบหนึ่งการถ่ายเทพลังงาน จากแหล่งที่มีพลังงานสูงแผ่รังสีออกไปรอบ ๆ โดยมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ความยาวคลื่น (λ) โดยอาจวัดเป็น นาโนเมตร (nm) หรือ ไมโครเมตร (μm) และ ความถี่คลื่น (f) ซึ่งจะวัดเป็น เฮิร์ตซ์ (Hz) โดยคุณสมบัติทั้งสองมีความสัมพันธ์ผ่านค่าความเร็วแสง (c) ในรูป

$$c = f\lambda \quad (10)$$

พลังงานของคลื่น พิจารณาเป็นความเข้มของกำลังงานหรือฟลักซ์ของการแผ่รังสี (มีหน่วยเป็นพลังงานต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ = $\text{joule s}^{-1} \text{m}^{-2} = \text{watt m}^{-2}$) ซึ่งอาจวัดจากความเข้มที่เปล่งออกมา (Radiance) หรือความเข้มที่ตกกระทบ (Irradiance)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถูกจำแนกออกตามย่านความยาวคลื่นต่างๆ จากคลื่นสั้นไปคลื่นยาว ดังนี้คือ

- ช่วงรังสีแกมมา (Gamma ray : $\lambda < 0.1 \text{ nm}$) และช่วงรังสีเอ็กซ์ (X-ray : $0.1 \text{ nm} < \lambda < 300 \text{ nm}$) เป็นช่วงที่มีพลังงานสูง แพร่รังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ หรือจากสารกัมมันตรังสี
- ช่วงอัลตราไวโอเล็ต เป็นช่วงที่มีพลังงานสูง เป็นอันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต
- ช่วงคลื่นแสง เป็นช่วงคลื่นที่ตามนุษย์รับรู้ได้ ประกอบด้วยแสงสีม่วง ไล่ลงมาถึงแสงสีแดง
- ช่วงอินฟราเรดเป็นช่วงคลื่นที่มีพลังงานต่ำตามนุษย์มองไม่เห็นจำแนกออกเป็น อินฟราเรดคลื่นสั้น และอินฟราเรดคลื่นความร้อน

ช่วงคลื่นวิทยุ (Radio Wave) เป็นช่วงคลื่นที่เกิดได้จากการสั่นของผลึกที่ได้รับความร้อนไฟฟ้า หรือเกิดจากการสลับ ขั้วไฟฟ้า สำหรับในช่วงไมโครเวฟ มีการให้ชื่อเฉพาะ เช่น W-band, V-band, O-band, Ka-band, K-band, Ku-band, X-band, C-band, S-band, L-band, และ P-band

2.6 เทคนิคการส่งผ่านสัญญาณแบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล (Analog and Digital - Transmission) [42]

ในการส่งสัญญาณข้อมูลหรือข่าวสารใด ๆ ก็ตาม เราสามารถส่งได้ใน 2 ลักษณะ คือส่งสัญญาณแบบแอนะล็อก เช่น การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์แอนะล็อก ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกไปนั้นมีความต่อเนื่องกันตลอดเวลา เช่น สัญญาณเสียง การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลคือการส่งสัญญาณข้อมูลที่มีแต่ “ON/OFF” หรือเป็นแบบเลขไบนารี (Binary)

การส่งสัญญาณข้อมูลแบบแอนะล็อก และดิจิทัลเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น พลังงานจะอ่อนลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการส่งสัญญาณไประยะไกล ๆ จึงต้องอาศัยเครื่องขยายสัญญาณหรือ Amplifier เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับสัญญาณ แต่ในการใช้เครื่องขยายสัญญาณจะมีการสร้างสัญญาณรบกวนขึ้น (Noise) จึงต้องการวงจรกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อกรองเอาสัญญาณรบกวนออกอีก

การมอดูเลตสัญญาณ (Signal Modulation) เมื่อต้องการจะส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสาร ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณเหล่านั้นให้เคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ขั้นตอนในการอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณดังกล่าว เรียกว่า การมอดูเลต (Modulation) พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูงและคงที่ รวมทั้งมีแอมพลิจูด (ขนาด) สูงด้วยนั้นเราเรียกว่า สัญญาณคลื่นพาห์ (Signal Carrier)

อุปกรณ์สำหรับมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปได้ และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออกให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูล เราเรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่า การดีมอดูเลต (Demodulation)

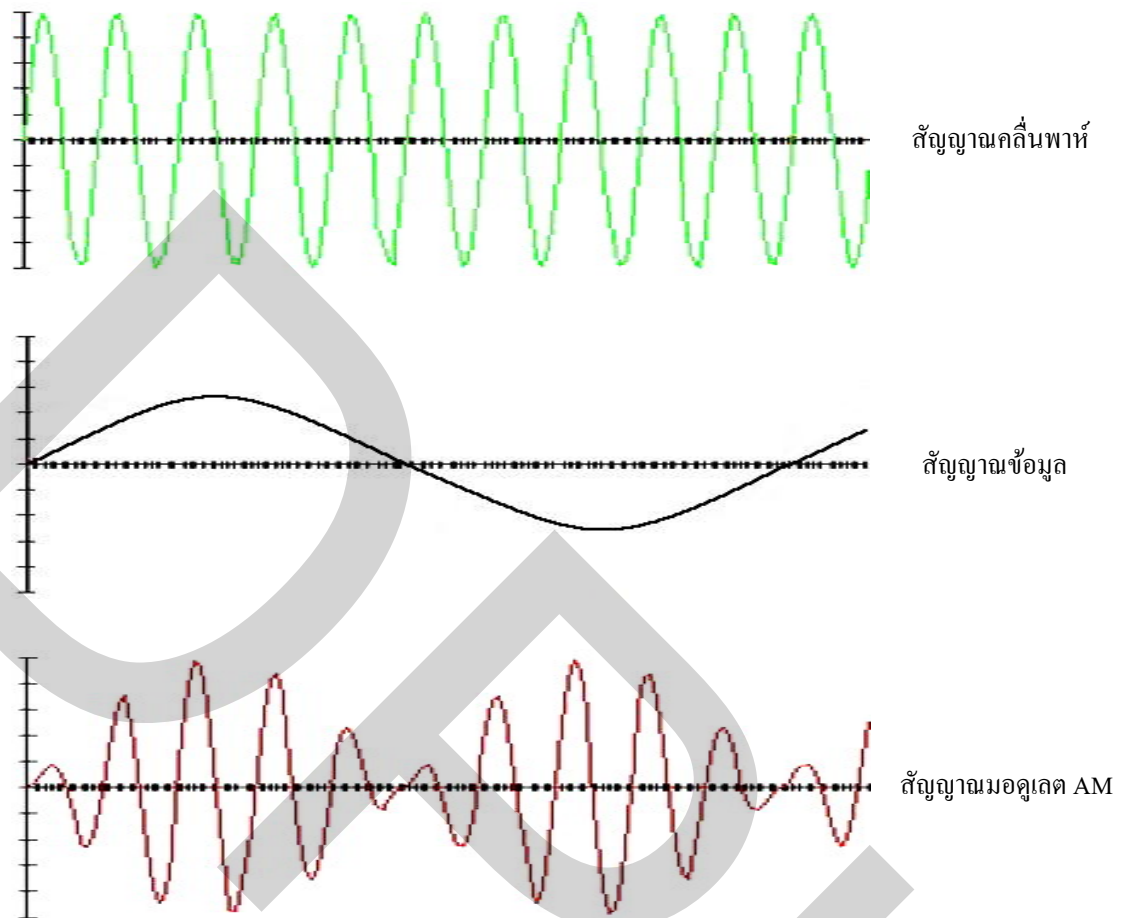
2.6.1 การมอดูเลตสัญญาณแบบแอนะล็อก

วิธีการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อกเพื่อส่งผ่านไปในช่องทางสื่อสารแอนะล็อกนั้นมี 3 วิธีด้วยกันคือ

- การมอดูเลตแบบแอมพลิจูด (Amplitude Modulation, AM)
- การมอดูเลตแบบความถี่ (Frequency , FM)
- การมอดูเลตแบบเฟส (Phase Modulation, PM)

2.6.1.1 การมอดูเลตแบบแอมพลิจูด (Amplitude Modulation, AM)

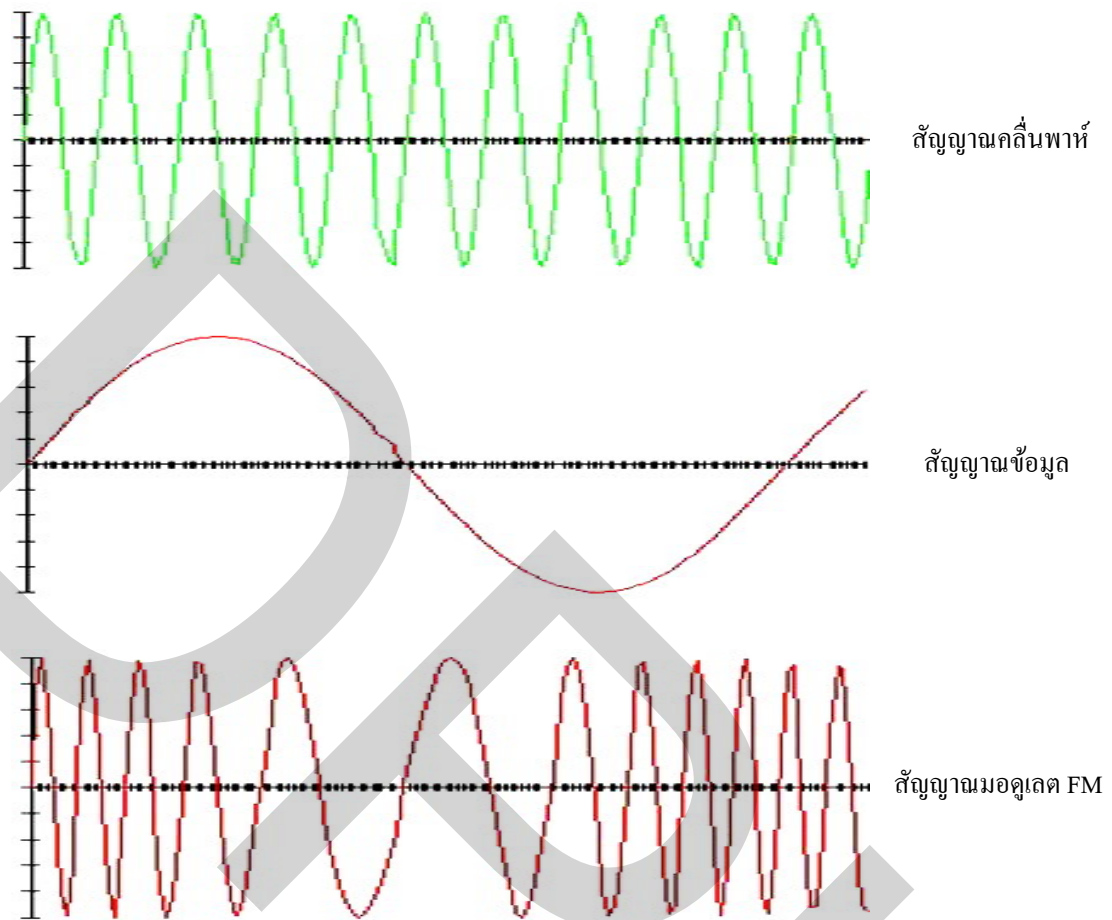
การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีการที่ดั้งเดิมที่สุด และสะดวกที่สุด จากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์จะคงที่ และสูงกว่าความถี่ของสัญญาณข้อมูล ส่วนสัญญาณ AM ที่มอดูเลตแล้วจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ โดยมีขนาดหรือแอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ AM คือ สัญญาณรบกวน (Noise) จากภายนอกสามารถเข้ามารบกวนได้ง่าย



รูปที่ 2.10 การมอดูเลตสัญญาณแบบ AM

2.6.1.2 การมอดูเลตแบบความถี่ (Frequency Modulation, FM)

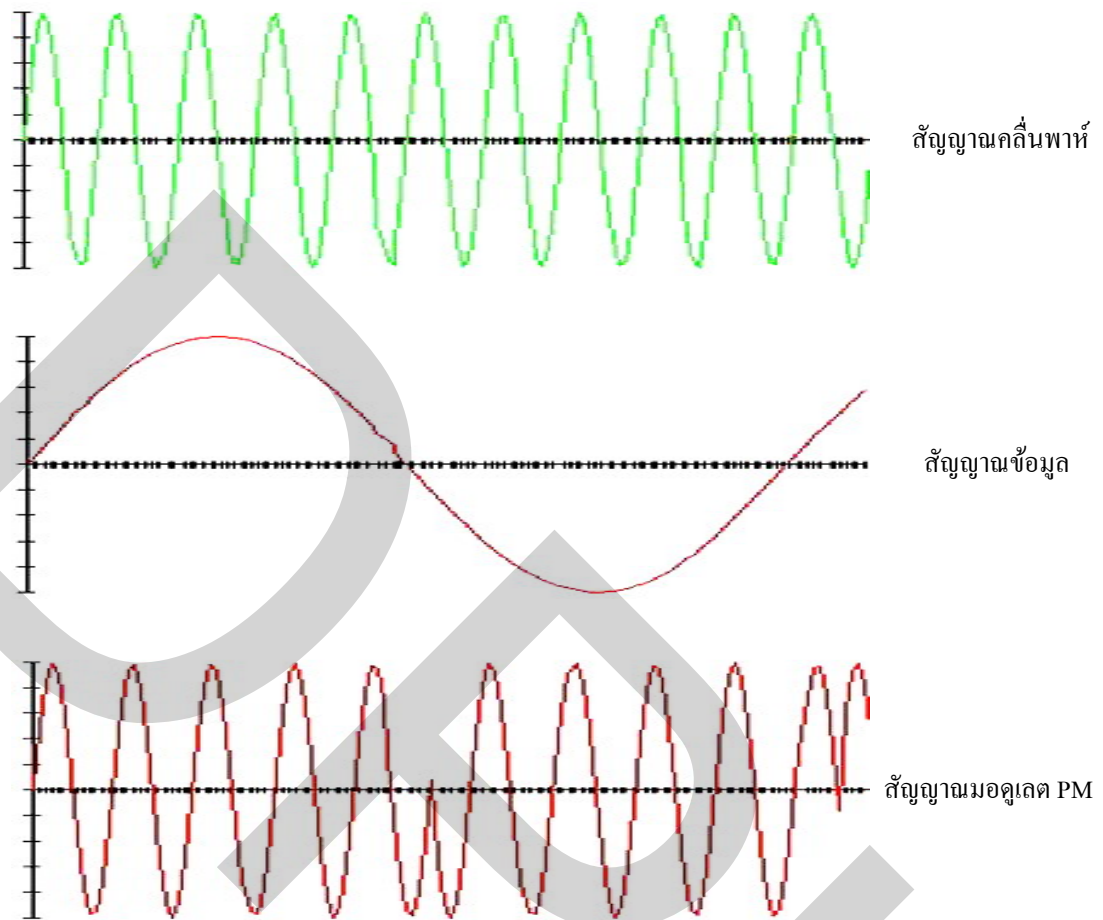
สัญญาณมอดูเลตแบบ FM (ดูรูปที่ 2.11) จะมีแอมพลิจูดคงที่ แต่ความถี่ของสัญญาณจะไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ FM คือระบบจะซับซ้อนกว่าการมอดูเลตแบบแอมพลิจูด และวัสดุที่เป็นสายนำสัญญาณมีราคาสูง



รูปที่ 2.11 การมอดูเลตสัญญาณแบบ FM

2.6.1.3 การมอดูเลตแบบเฟส (Phase Modulation, PM)

เป็นวิธีที่ดีในการส่งสัญญาณที่ต้องการความเร็ว นิยมส่งผ่านระบบโทรศัพท์ ในการมอดูเลตแบบ PM ครึ่งรอบของสัญญาณเราคิดเป็นมุมเฟสเท่ากับ 180 องศา และเมื่อครบรอบจะคิดเป็น 360 องศา สัญญาณมอดูเลตจะมีการเปลี่ยน (กลับ) มุมเฟสทุกครั้งที่มีมุมเฟสของสัญญาณข้อมูลต่างจากมุมเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้เท่ากับ 180 องศา ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การมอดูเลตสัญญาณแบบ PM

2.6.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล (Digital Modulation)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกย่านความถี่เสียง เราเรียกว่า โมเด็ม (Modulator Demodulator, MODEM)

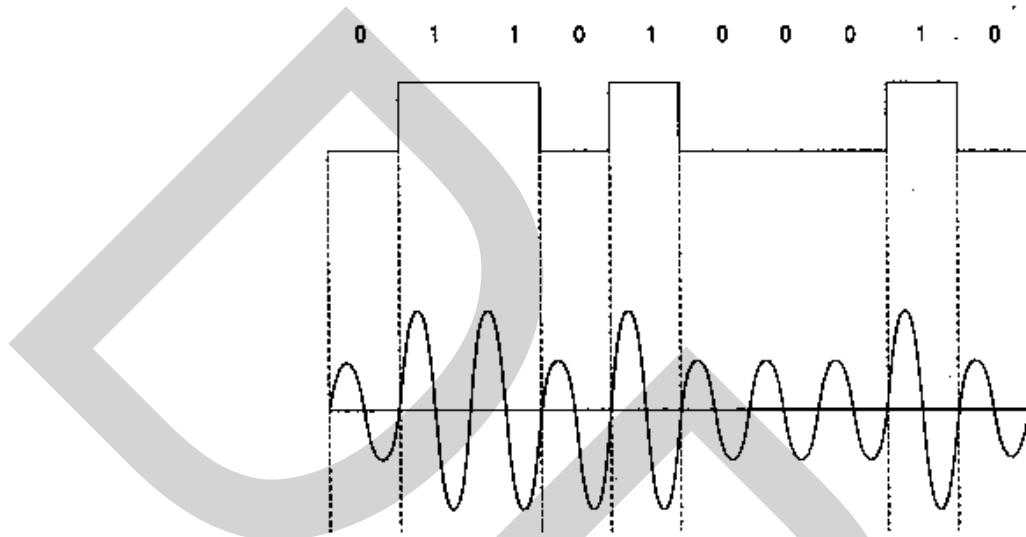
เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

- การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude-Shift Keying, ASK)
- การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency-Shift Keying, FSK)
- การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase-Shift Keying, PSK)

2.6.2.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude-Shift Keying, ASK)

ตามรูปที่ 2.13 ความถี่ของคลื่นพาห้ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณแอนะล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้น จะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลต เมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูล

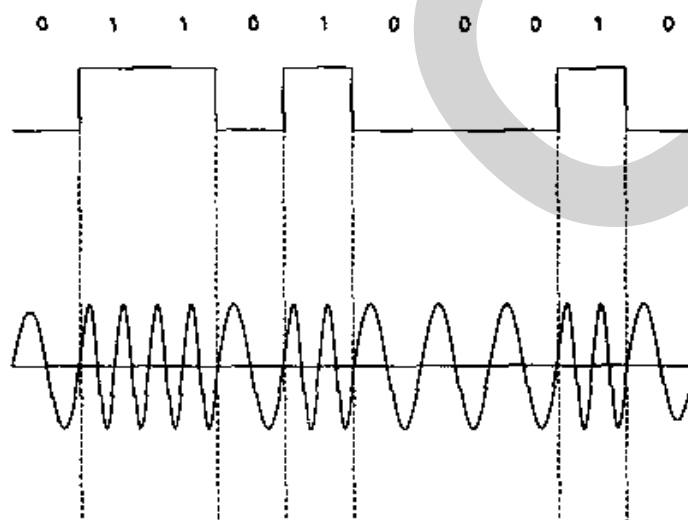
ดิจิทัลมีค่าเป็น “1” ขนาดของคลื่นพาห้จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น “0” ขนาดของคลื่นพาห้จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักไม่ค่อยได้รับความนิยม เพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



รูปที่ 2.13 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบ ASK

2.6.2.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency-Shift Keying, FSK)

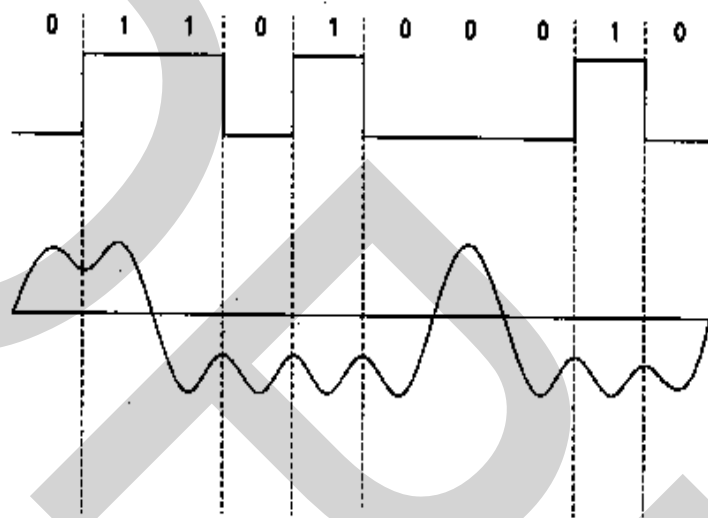
ในการมอดูเลตแบบ FSK ขนาดของคลื่นพาห้จะไม่เปลี่ยนแปลง ที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห้ นั่นคือเมื่อบิตมีค่าเป็น “1” ความถี่ของคลื่นพาห้จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น “0” ความถี่ของคลื่นพาห้ก็จะต่ำกว่าปกติ (ดูรูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบ FSK

2.6.2.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase-Shift Keying, PSK)

หลักการของ PSK คือค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาหะจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่จะเปลี่ยนคือเฟสของสัญญาณ กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตจาก “1” ไปเป็น “0” หรือเปลี่ยนจาก “0” ไปเป็น “1” เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย (ดูรูปที่ 2.15) วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุด แต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.15 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบ PSK

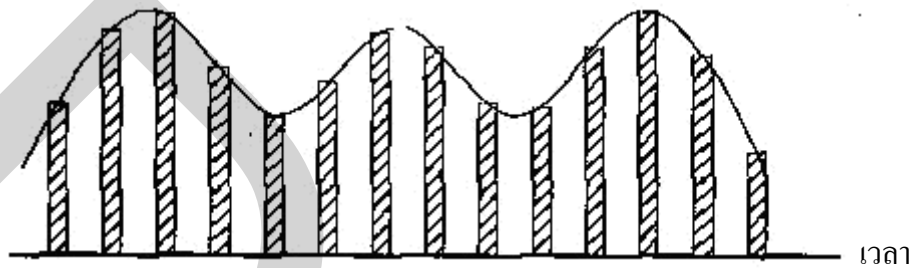
2.6.3 การมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อก (Analog Modulation)

อุปกรณ์ที่ทำงานตรงกันข้ามกับโมเด็มคือ โคเดก (Coder/Decoder, CODEC) ใช้เทคนิคในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation, PAM) จากนั้นนำไปมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (Pulse Code Modulation, PCM) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.6.3.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation, PAM)

โดยอาศัยหลักการ Sampling ของสัญญาณที่เป็นแอนะล็อก (ต่อเนื่อง) ตามช่วงเวลาให้สัญญาณนั้นขาดจากกันเป็นพัลส์ ๆ โดยขนาดของแต่ละพัลส์จะเท่ากับขนาดของสัญญาณเดิมในช่วงเวลานั้น ๆ จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าขนาดของพัลส์ของแต่ละ Sampling เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับสัญญาณเดิม และสัญญาณใหม่ที่ได้จะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) แต่ขนาดของสัญญาณ

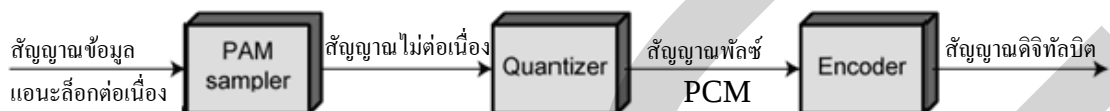
พัลส์ยังเป็นแบบต่อเนื่องและเหมือนสัญญาณเดิม ดังนั้นในการส่งสัญญาณ PAM ในระยะทางไกล ๆ จะเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย เช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแบบ AM ซึ่งจะไม่สามารถแก้ไขได้เมื่อสัญญาณถึงปลายทาง



รูปที่ 2.16 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (PAM)

2.6.3.2 การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (Pulse Code Modulation, PCM)

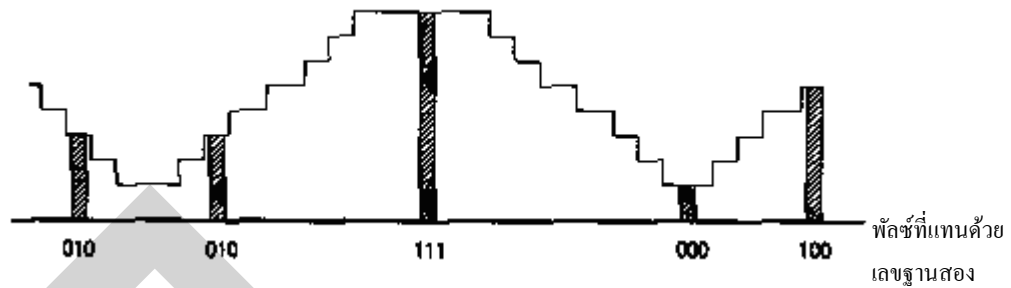
เนื่องจากขนาดของพัลส์ในแบบ PAM ยังคงเป็นแบบต่อเนื่องการส่งสัญญาณแบบ PAM จึงไม่ได้ต่างอะไรกับการส่งสัญญาณแอนะล็อกเลย ดังนั้น PCM จึงมีขั้นตอนการทำให้ขนาดของสัญญาณข้อมูลเป็นแบบไม่ต่อเนื่องก่อนด้วยวิธีการที่เรียกว่า การควอนไทซ์ (Quantize) ขั้นตอนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยวิธี PCM เป็นดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการมอดูเลตด้วยวิธี PCM

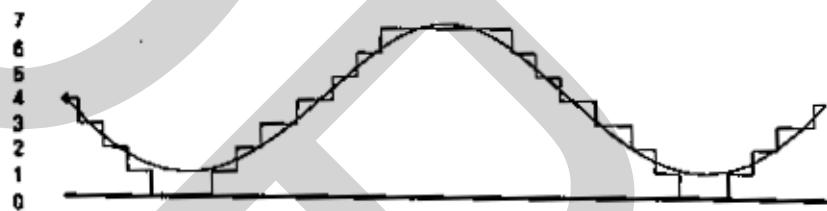
ขั้นตอนการมอดูเลตแบบ PCM มีดังนี้

ทำการ Sampling สัญญาณด้วยอัตราที่เหมาะสม เราจะได้สัญญาณ PAM ซึ่งในแต่ละพัลส์นั้นสามารถจะกำหนดรหัสแทนพัลส์ได้ด้วยรหัสของเลขฐานสอง



รูปที่ 2.18 ก. วิธีการแซมปิงสัญญาณ

จากนั้นทำการ “ควอนไทซ์” สัญญาณ โดยทำให้ค่าขนาดของสัญญาณเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องเสียก่อน



รูปที่ 2.18 ข. การควอนไทซ์สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล 3 บิต

จากนั้นทำการเข้ารหัสพัลส์ก็จะได้รหัสของแต่ละพัลส์ก็จะถูกส่งออกไปในรูปแบบของเลขฐานสอง



รูปที่ 2.18 ค. การกำหนดรหัส (Code) ให้แต่ละพัลส์สัญญาณ

เมื่อสัญญาณ PCM ถูกส่งไปถึงปลายทางก็จะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณ PAM แล้วจึงแปลงกลับมาเป็นสัญญาณแอนะล็อกอย่างเดิมอีกที การมอดูเลตแบบ PCM ให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบ PAM และได้สัญญาณข้อมูลเป็นดิจิทัลจริงๆ

2.6.4 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกกับแบบดิจิทัล

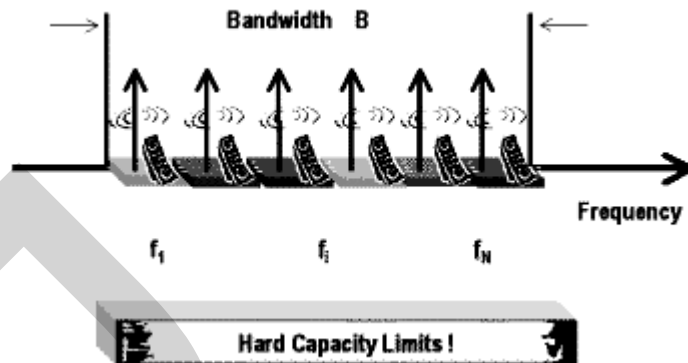
- สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกจะถูกขยายเมื่อสัญญาณถูกขยาย แต่แบบดิจิทัลจะเป็นการทบทวนสัญญาณใหม่ให้กลับเหมือนเดิม ดังนั้นการส่งแบบดิจิทัลจึงดีกว่าการส่งแบบแอนะล็อก
- การมัลติเพล็กซ์ การส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง โดยผ่านตัวกลางสายส่งเดียวกัน เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เพียงแต่ต้องมีเทคนิคที่เรียกว่า “การมัลติเพล็กซ์” (Multiplex) และ “การดีมัลติเพล็กซ์” (Demultiplex) เพื่อแยกแต่ละสัญญาณออกจากกันเมื่อสัญญาณทั้งหมดถึงปลายทาง ค่าใช้จ่ายในการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณในการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกนั้นแพงกว่าที่ใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลมาก

2.7 การเข้าถึงช่องสัญญาณ (Multiple Access)

การเข้าถึงช่องสัญญาณ คือการเข้าใช้ช่องสัญญาณจากต้นกำเนิดข้อมูลที่ต้องการจะส่งไปในช่องสัญญาณเดียวกัน ปกติต้นกำเนิดข้อมูลเหล่านี้จะไม่ได้อยู่ที่เดียวกันและไม่ได้ถูกควบคุมโดยตรงจากส่วนกลาง ความต้องการใช้ช่องสัญญาณต่างกัน จึงต้องมีการจัดการให้เข้าใช้ช่องสัญญาณได้อย่างเป็นระเบียบ โดยแบ่งเป็น 3 วิธีดังนี้ [33]

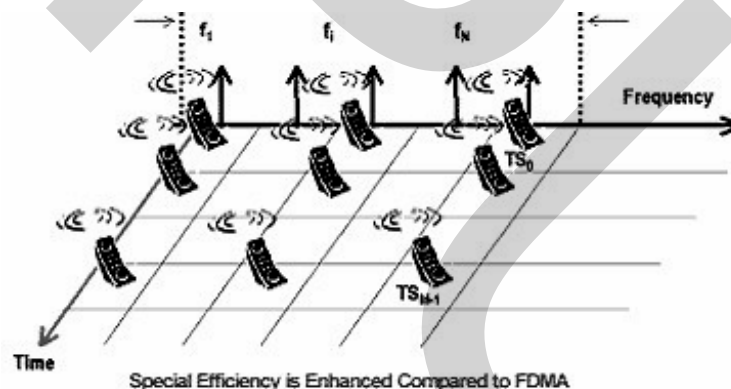
- การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access, FDMA)
- การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access, TDMA)
- การเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยการเข้ารหัสสัญญาณ (Code Division Multiple Access, CDMA)

2.7.1 FDMA (Frequency Division Multiple Access) นั่นก็คือการจัดสรรความถี่ แต่ละค่าให้กับลูกข่ายแต่ละตัวในการติดต่อ ดังนั้นมันจึงไม่มีประสิทธิภาพในการสื่อสาร เพราะช่องสัญญาณหนึ่งช่องไม่สามารถใช้งานพร้อมกันได้หลาย ๆ ตัวพร้อมกัน FDMA เป็นรูปแบบเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคแรก ๆ ที่ทำได้ การเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยวิธี FDMA นั้นจะแบ่งแบนด์วิดท์ (Bandwidth, B) ออกเป็น N ส่วน โดยแต่ละส่วนคือผู้ใช้ 1 รายเพราะฉะนั้นจะสามารถให้บริการผู้ใช้พร้อมกันได้เพียง N ราย เท่านั้น แสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ FDMA

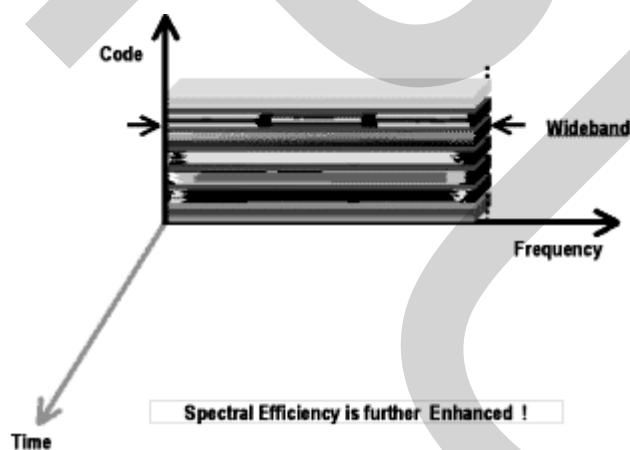
2.7.2 TDMA (Time Division Multiple Access) เป็นวิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยแบ่งสรรความถี่ และภายในความถี่เดียวกันจะแบ่งเวลาออกเป็นช่วงเวลา (Time Slot) สำหรับผู้ใช้แต่ละราย ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้บริการช่องสัญญาณที่มีความถี่เดียวกันได้ โดยแต่ละคู่สนทนาจะใช้ช่องสัญญาณคนละช่วงเวลาสลับกัน การเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยวิธี TDMA แสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ TDMA

2.7.3 CDMA (Code Division Multiple Access) เป็นวิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดด้วยการเข้ารหัส โดยจำนวนของรหัส (Code Dimension) ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ผู้ใช้บริการสามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกันได้ตลอดเวลา (ต่างจาก TDMA ที่ต้องแบ่งช่วงเวลาออกเป็น Time Slot) และมีความสามารถในการใช้ความถี่สูงกว่า TDMA เนื่องจากใช้รหัสเป็นตัวแบ่งแยกคู่สนทนาโดยตรง โดยหลักการทำงานของ CDMA คือสัญญาณจากผู้ให้บริการ

แต่ละรายจะถูกทำการเข้ารหัสด้วยรหัสที่มีลักษณะพิเศษเรียกว่า รหัส PN (Pseudo Random Noise Code) ที่แตกต่างกันไป ก่อนจะถูกส่งออกไปยัง สถานีรับปลายทาง และเมื่อสถานีรับปลายทางได้รับสัญญาณที่ส่งมานั้นก็จะทำการถอดรหัสข้อมูลออกมาโดยใช้ PN Code ชุดเดียวกันกับที่ภาคส่งใช้ การที่คู่สถานีรับ-สถานีส่งหนึ่ง ๆ ใช้รหัสดิจิทัลที่เฉพาะเจาะจง และแตกต่างจากสถานีรับ-สถานีส่งคู่อื่น จะทำให้การถอดรหัสข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง กล่าวคือ สถานีรับอื่น ๆ ที่ไม่ได้ใช้รหัสชุดเดียวกันกับที่สถานีส่งใช้ จะไม่สามารถถอดรหัสข้อมูลจากสถานีส่งนั้นได้ นั่นคือการรับส่งข้อมูลจะกระทำได้เมื่อคู่สถานีนั้นใช้รหัสที่ตรงกันจึงหลีกเลี่ยงการถูกดักฟัง (Low Probability of Intercept) ได้เป็นอย่างดี การที่ระบบ CDMA ใช้รหัสที่มีสหสัมพันธ์ (Correlative Codes) ในการแยกความแตกต่างของผู้ใช้บริการแต่ละราย (แทนการแบ่งสรรแถบความถี่เหมือนวิธี FDMA) จะทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถใช้แบนด์วิดท์ร่วมกัน และยังสามารถแยกความแตกต่างระหว่างกันได้ และการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CDMA ยังมีคุณสมบัติป้องกันการรบกวน (Anti-Jam) เพราะระบบ CDMA ใช้คลื่นพาห์ (Carrier) ที่มีลักษณะเหมือนสัญญาณรบกวน (Noise) เนื่องจากใช้กำลังส่งต่ำ และรวมถึงการใช้แถบความถี่กว้างมากเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ เช่น GSM การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CDMA แสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CDMA

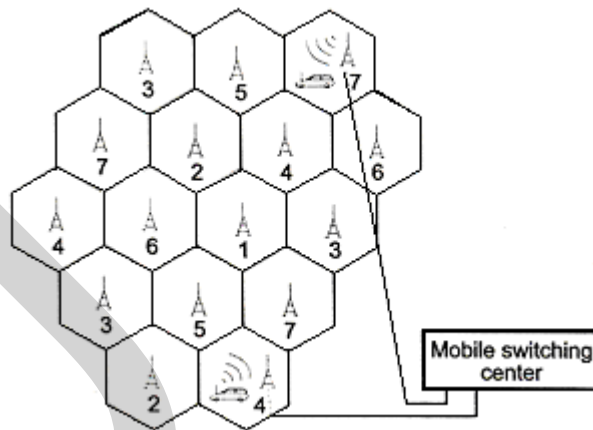
2.8 โทรศัพท์เคลื่อนที่

หลังจากการค้นพบของ Dr. Heinrich Rudolf Hertz ไม่นาน Guglielmo Marconi ได้สร้างเครื่องรับส่งวิทยุอย่างง่าย ไว้ในห้อง 2 ห้องที่บ้านของบิดา และเขาก็สามารถส่งสัญญาณข้ามห้องได้ และพบว่า ถ้าสร้างเสาอากาศให้สูงขึ้น จะสามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น ในปี ค.ศ.1895 ส่ง

สัญญาณไปไกลถึง 1.5 กิโลเมตร การทดลองต้องการทุนทรัพย์ เมื่อไม่ได้รับการสนับสนุนใน อิตาลีจึงเดินทางไปลอนดอนในปี ค.ศ.1896 และการไปรษณีย์ของอังกฤษ ให้ความช่วยเหลือและ ด้วยการปรับปรุงวิธีการของ Hertz ในหลายด้าน และสามารถส่งสัญญาณไปไกลขึ้น ในปี ค.ศ.1899 เขาส่งสัญญาณจากสถานีหนึ่งบนฝั่งด้านใต้ไปยังสถานีในฝรั่งเศสซึ่งไกลออกไป 50 กิโลเมตร และ ที่ระยะ 120 กิโลเมตร ได้สำเร็จ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อกล่าวถึงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ (Cellular Telephone System) [14] ซึ่งกำลัง เป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบันนั้น ก็เนื่องมาจากลักษณะการใช้งานที่มีความคล่องตัวและมีบริการที่ หลากหลาย ผู้ใช้สามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่โทรติดต่อได้ขณะที่มีการเคลื่อนที่ภายในบริเวณที่ บริษัทผู้ให้บริการ (Operators) ได้วางโครงข่ายรองรับไว้เรียบร้อยแล้ว อย่างที่ทราบกันดีว่าการ เชื่อมโยงระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นแบบไร้สายหรือติดต่อกันทางอากาศ ในส่วนของโครงข่ายที่ ใช้เชื่อมโยงสัญญาณกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เรียกว่า สถานีฐาน จะต้องมีการกระจายทั่วบริเวณพื้นที่ ให้บริการ โดยแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย แต่ละพื้นที่ย่อยเรียกว่า เซลล์ (Cell) ปกติในแต่ละเซลล์จะมีสถานี ฐานอยู่ 1 สถานี ทำหน้าที่รับผิดชอบการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และโครงข่าย ในบริเวณพื้นที่ของเซลล์นั้น เมื่อมีการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว สัญญาณและข้อมูลต่างก็จะถูกส่งผ่านชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Switching Center) ซึ่งอยู่ในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อให้มีการเชื่อมโยงช่องสัญญาณระหว่าง ดันทางและปลายทาง อนึ่งการเชื่อมโยงระหว่างดันทางและปลายทางนี้อาจเป็นการเชื่อมโยงกับ ระบบโทรศัพท์พื้นฐานที่ใช้กันอยู่ตามบ้านและสำนักงานทั่วไป หรือเชื่อมโยงกับบริษัทผู้ให้บริการ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่รายอื่น ๆ ก็ได้ ทั้งนี้สัญญาณและข้อมูลของระบบหนึ่งจะมีการเชื่อมโยงกับ อีกระบบหนึ่งผ่านทางชุมสายโทรศัพท์ของทั้งสองระบบนั้น

ถ้าผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากบริเวณเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง การเชื่อมต่อ สัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่ายก็ต้องมีการเปลี่ยนจากสถานีฐานหนึ่งไปสู่อีกสถานี ฐานหนึ่งที่รับผิดชอบบริเวณพื้นที่ใหม่ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าไป กระบวนการนี้เรียกว่า การแฮนด์ออฟ (Handoff) หรือ การแฮนด์โอเวอร์ (Handover) ในลักษณะนี้เองที่ผู้ใช้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถใช้ได้ทั่วบริเวณที่ผู้ให้บริการมีการวางโครงข่ายไว้แล้วนั่นเอง



รูปที่ 2.22 การแบ่งพื้นที่รองรับบริการเป็นแบบเซลล์

ในแต่ละเซลล์ขนาดของพื้นที่อาจไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และขนาดกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน ในแต่ละสถานีฐานจะมีการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณที่รองรับการให้บริการไว้ ซึ่งอาจมีไม่เท่ากันได้ ขึ้นอยู่กับว่าในบริเวณพื้นที่นั้นมีปริมาณการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มากน้อยเท่าไร โดยเราสามารถนำมาคำนวณเป็นปริมาณทราฟฟิก (Traffic) ได้ โดยมีหน่วยเป็นเออร์แลง (Erlang)

ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในบริเวณเซลล์หนึ่งที่ต้องการโทรออกในขณะที่ช่องสัญญาณของสถานีฐานที่รับผิดชอบเซลล์นั้นถูกใช้เต็มหมด ก็จะทำให้โทรออกไม่ได้ ต้องรอนจนกว่าจะมีช่องสัญญาณว่าง และนี่เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่บางครั้งเราไม่สามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่โทรออกได้ หรือเมื่อเราใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่โทรอยู่ขณะที่กำลังเคลื่อนที่ และมีการแฮนด์ออฟเกิดขึ้นโดยระบบแล้ว สัญญาณขาดหายไป ไม่สามารถติดต่อได้ ก็อาจมีสาเหตุมาจากช่องสัญญาณของสถานีฐานในเซลล์ใหม่ที่เรากำลังเคลื่อนที่เข้าไปถูกใช้จนเต็มแล้วนั่นเอง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน เป็นการเชื่อมโยงทางอากาศ ซึ่งต้องมีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่กำหนดเพื่อใช้สำหรับเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างกัน โดยสัญญาณที่รับ-ส่งกันจะถูกนำไปฝากไว้หรือถูกกล้ำสัญญาณ (ทางเทคนิคเรียกว่าการมอดูเลต) กับคลื่นพาห์ (Carrier) ในแต่ละระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่将有จำนวนของคลื่นพาห์อยู่จำนวนหนึ่ง โดยคลื่นพาห์แต่ละคลื่นก็จะมีค่าถี่ไม่เท่ากัน และจะต้องอยู่ในช่วงความถี่ที่กำหนดไว้ เราเรียกว่า ช่องสัญญาณความถี่ (Frequency Channel) ดังนั้นช่องสัญญาณที่ให้บริการต่าง ๆ สำหรับรับ-ส่งข้อมูลก็ต้องถูกฝากไปกับคลื่นพาห์ แถบความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานเรียกว่า แถบความถี่สำหรับการเชื่อมโยงขาขึ้น (Uplink

Frequency Band) ส่วนแถบความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกว่า ช่วงความถี่สำหรับการเชื่อมต่อโยงขาลง (Down Link Frequency Band) ดังนั้นการเชื่อมต่อโยงของ สัญญาณรับ-ส่งที่เป็นช่องสัญญาณเดียวกัน ก็ต้องใช้คลื่นพาหะหรือช่องสัญญาณความถี่ที่เป็นคู่กัน สำหรับการเชื่อมต่อโยงขาขึ้นและการเชื่อมต่อโยงขาลงเสมอเรียกว่า Frequency Division Duplex (FDD)

เมื่อจำนวนคลื่นพาหะหรือช่องสัญญาณความถี่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีจำนวนจำกัด จำนวนช่องสัญญาณก็ต้องมีค่าจำกัดด้วย ดังนั้นต้องมีการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่สถานีฐาน ตามว่าจะทำให้การขยายโครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีพื้นที่ที่จำกัดด้วยหรือไม่ คำตอบ คือไม่ใช่ เพราะมีเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reuse) คือจะใช้ช่องสัญญาณ ความถี่ที่มีความถี่เดียวกัน ณ สถานีฐานอื่นอีก แต่มีข้อจำกัดตรงที่จะต้องมีการจัดสรรช่องสัญญาณ และการออกแบบโครงข่ายเพื่อไม่ให้สถานีฐานต่าง ๆ ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่มีความถี่ซ้ำกันอยู่ ใกล้กันจนทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณได้ (Interference) ดังนั้นเราต้องออกแบบให้สถานี ฐานที่ใช้ความถี่ซ้ำอยู่ห่างจากสถานีฐานที่ใช้ความถี่เดียวกันเป็นระยะทางและทิศทางที่ไม่ให้มีการ รบกวนกันของสัญญาณ และจากเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่นี้จึงทำให้บริษัทผู้ให้บริการ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถขยายพื้นที่โครงข่ายเพื่อรองรับบริการได้ไม่จำกัด ส่วนการรบกวน ที่เกิดจากช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกันนี้เรียกว่า Co-channel Interference ซึ่งได้กล่าวไปแล้ว การรบกวนของสัญญาณอีกประเภทหนึ่งซึ่งเกิดจากช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่ใกล้เคียงกัน ก็ทำให้เกิด ปัญหา Adjacent- Channel Interference ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับสถานีฐานจะต้อง คำนึงถึงปัญหานี้ด้วย

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคต่าง ๆ ที่สามารถลดการรบกวนของสัญญาณและเพิ่มประสิทธิภาพของ โครงข่าย ซึ่งทำให้ระบบสามารถรองรับผู้รับบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เพิ่มมากขึ้น เช่น การแบ่ง เซลล์ออกเป็น ส่วน (Sector) การลดขนาดเซลล์ทำให้เซลล์มีพื้นที่รับผิชอบการเชื่อมต่อโยงน้อยลง ทำ ให้มีจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น และการควบคุมกำลังส่งทั้งของโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน เป็น ต้น

2.9 ระบบสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave Communication System)



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างงานส่งสัญญาณไมโครเวฟ

ระบบการสื่อสารไมโครเวฟเป็นส่วนหนึ่งของระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สายที่มีการประยุกต์ใช้งานด้านการส่งข่าวสารข้อมูลวิทยุกระจายเสียง โทรทัศน์ จนถึงบริการโทรศัพท์ทางไกล การนำมาประยุกต์ใช้สำหรับบริการโทรศัพท์ทางไกลได้มีการนำมาใช้งานในประเทศไทย โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ.2505 และได้มีการขยายงานมาตลอดโดยใช้เทคโนโลยีแอนะล็อก ใช้เทคโนโลยีการผสมสัญญาณความถี่ (Frequency Modulation) และการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex, FDM) จนกระทั่งประมาณปี พ.ศ. 2520 มีการศึกษาเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีดิจิทัล โดยใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบดิจิทัลและแบ่งช่องทวิสัญญาณแบบเวลา (Time Division Multiplex, TDM) จากนั้นได้มีการได้มีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีดิจิทัลมากขึ้นมาโดยลำดับ เทคนิคที่ใช้ในการผสมสัญญาณดิจิทัล ได้แก่ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) QPSK (Quadrature Phase Shift Keying Modulation) หรือ DPSK (Differential Phase Shift Keying) เป็นต้น สื่อสัญญาณวิทยุภาคพื้นดินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสำหรับการส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่ง จะอยู่ในช่วงไมโครเวฟใช้ย่านความถี่ระหว่าง 1 GHz ถึง 1,000 GHz แต่ที่ใช้สำหรับภาคพื้นดิน จะใช้ย่านความถี่ถึง 100 GHz เท่านั้น จึงเรียกการสื่อสารไมโครเวฟ

2.9.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสารไมโครเวฟ [34]

การสื่อสารคมนาคมไมโครเวฟส่วนใหญ่จะใช้ในระบบสื่อสารสัญญาณเกี่ยวกับการติดต่อข่าวสารทางไกลเป็นระบบที่ใช้พื้นฐานการติดต่อสัญญาณในรูปแบบเส้นตรงแนวสายตา (Line of Sight) มี

ระยะสั้น (Short Haul) และระยะไกล (Long Haul) มีความจุของระบบเทียบกับวงจรโทรศัพท์ทางไกลตั้งแต่ 12 วงจรถึง 22,000 วงจรตามความต้องการของการติดต่อข่าวสารไม่ว่าจะเป็นทางเสียง, วิทยุกระจายเสียง หรือ โทรทัศน์ การติดต่อจะมีการออกแบบรวมแล้วแบ่งเป็นช่วง (Hop) โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ จุดส่ง (Transmitting Terminal) จุดทวนสัญญาณ (Repeater Terminal) และจุดรับ (Receiving Terminal) ซึ่งจุดส่งจะประกอบไปด้วยเครื่องส่ง (Transmitter, TX) ส่งสัญญาณไปยังท่อนำคลื่น (Wave Guide) ต่อไปยังสายอากาศ (Antenna) กระจายคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ จึงมีการเรียกคลื่นนี้ว่าคลื่นวิทยุ (Radio Frequency, RF) ไปสู่จานสายอากาศด้านรับ (Receiving Antenna) หากมีจุดทวนสัญญาณจะประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่ง ซึ่งจุดทวนสัญญาณมีหลายรูปแบบดังจะกล่าวต่อไป จุดทวนสัญญาณจะขยายคลื่น หรือสร้างสัญญาณใหม่แล้วแต่กรณี ส่งต่อไปยังสายอากาศด้านรับส่งทอดสัญญาณผ่านท่อนำคลื่นไปสู่เครื่องรับ (Receiver, RX) สภาพความต้องการของการติดต่อข่าวสาร มีความต้องการ รับ-ส่ง สองทาง (Duplex) จุดส่งจะมีทั้งเครื่องรับ และเครื่องส่ง ส่งผ่านตัวกรองสัญญาณไปยังท่อนำคลื่น ส่วนจุดทวนสัญญาณก็จะมีเครื่องรับ เครื่องส่ง สองชุดส่งไปยังจุดปลายทาง ซึ่งก็จะมีเครื่องรับ และเครื่องส่งเช่นเดียวกัน

2.9.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไมโครเวฟที่สำคัญ ประกอบด้วย เครื่องส่ง, เครื่องรับ และเครื่องทวนสัญญาณ

2.9.2.1 อุปกรณ์รับ-ส่งต้นทาง เป็นอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณแถบพื้นฐาน (Base Band) เป็นสัญญาณไมโครเวฟ (สัญญาณวิทยุ) ด้านส่งด้วยการผสมสัญญาณ (Modulation) แถบพื้นฐานกับสัญญาณไมโครเวฟส่งผ่านท่อนำคลื่นไปยังจานสายอากาศผ่านท่อนำคลื่นส่งมายังอุปกรณ์รับสัญญาณไมโครเวฟเป็นสัญญาณแถบพื้นฐาน

2.9.2.2 อุปกรณ์รับ-ส่งปลายทาง มีลักษณะเดียวกับอุปกรณ์รับ-ส่งต้นทาง หากเป็นการรับ-ส่งทางเดียว ก็จะมีเฉพาะเครื่องรับเท่านั้น

2.9.2.3 อุปกรณ์ทวนสัญญาณ เป็นอุปกรณ์ที่ขยายคลื่นไมโครเวฟหรือสร้างคลื่นไมโครเวฟขึ้นมาใหม่เนื่องจากการที่คลื่นไมโครเวฟแพร่กระจายไปในชั้นบรรยากาศมีการลดทอนสัญญาณ (Attenuation), การเฟดดิ้ง (Fading), การหักเห, การสะท้อน และปรากฏการณ์อื่นๆ อุปกรณ์ทวนสัญญาณมีหลายรูปแบบแล้วแต่ความต้องการของการทวนสัญญาณ ดังนี้

- **การทวนสัญญาณแบบความถี่กลาง (Intermediate Frequency, IF)** อุปกรณ์ทวนสัญญาณแบบความถี่กลาง เครื่องรับและแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณ IF แล้วขยายสัญญาณ IF ส่งต่อไปยังเครื่องส่งการส่งสัญญาณแบบนี้บางทีเรียกว่า Heterodyne Repeater

- **การทวนสัญญาณแบบแยกมัลติเพล็กซ์** อุปกรณ์ทวนสัญญาณแบบนี้เครื่องรับจะแปลงสัญญาณเป็นแถบพื้นฐานแล้วขยายส่งไปยังอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ (Multiplexing Equipment) เพื่อแยกสัญญาณบางส่วนออกแล้วส่งสัญญาณบางส่วนผ่านอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์สัญญาณทำให้สัญญาณแถบพื้นฐานส่งต่อไปยังเครื่องส่ง การทวนสัญญาณแบบนี้บางทีเรียกว่า Drop Repeater การทวนสัญญาณแบบแถบพื้นฐาน อุปกรณ์ทวนสัญญาณแบบนี้เครื่องรับจะแปลงสัญญาณไมโครเวฟเป็นสัญญาณแถบพื้นฐานขยาย และปรับสัญญาณแถบพื้นฐานไปยังเครื่องส่ง การทวนสัญญาณแบบนี้บางทีเรียกว่า Base Band Repeater

นอกจากอุปกรณ์หลักดังกล่าวแล้วในระบบคมนาคมไมโครเวฟยังมีวิธีการที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบ ด้านวิธีการต่างๆ เนื่องจากการรับ-ส่งสัญญาณไมโครเวฟเป็นการรับ-ส่งสัญญาณเส้นตรงแนวระดับสายตา ซึ่งอาจมีการเบี่ยงเบน (Fading) การหักเหหรือการลดทอนสัญญาณ จึงอาจจะต้องใช้วิธีการต่างๆ เช่น ไคเวอร์ซิตี (Diversity) หรือการสลับเพื่อป้องกัน (Protection Switching) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ตัวอย่างวิธีไคเวอร์ซิตี การเพิ่มความเชื่อถือได้ด้วยวิธีนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- **วิธีไคเวอร์ซิตีแบบความถี่ (Frequency Diversity)** เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบไมโครเวฟ จะใช้ความถี่ไมโครเวฟ 2 ความถี่ ซึ่งอยู่ช่วงใกล้เคียงกัน ส่งไปในจานสายอากาศเดียวกันทางด้านรับจะแยกความถี่ทั้งสองมาเปรียบเทียบหากสัญญาณไหนดีกว่าก็จะส่งสัญญาณนั้นไปดำเนินการต่อ

- **วิธีไคเวอร์ซิตีแบบระยะ (Space Diversity)** จะใช้เครื่องส่งเครื่องเดียวส่งไปยังจานสายอากาศ 2 อัน เมื่อคลื่นแพร่กระจายไปยังด้านรับ ซึ่งก็จะใช้จานสายอากาศด้านรับ 2 อัน เช่นเดียวกัน รับสัญญาณแล้วเปรียบเทียบสัญญาณใดดีกว่าก็จะส่งสัญญาณนั้นไปดำเนินการต่อ วิธีนี้จำเป็นต้องคำนวณระยะห่างของจานสายอากาศด้วย

- **วิธีไคเวอร์ซิตีแบบขั้ว (Polarization Diversity)** จะใช้วิธีการส่งคลื่นไมโครเวฟแบบกลับขั้ว ซึ่งลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีขั้วทางแนวตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizontal) ทางด้านรับก็จะเปรียบเทียบสัญญาณ สัญญาณใดดีกว่าก็จะถูกส่งไปดำเนินการต่อไป

ในการออกแบบระบบ อาจใช้หลายวิธีของไคเวอร์ซิตีรวมกันไป

2.10 การสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication)

การสื่อสารดาวเทียมเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสื่อสารโทรคมนาคมเมื่อนักวิทยาศาสตร์สามารถส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรเพื่อทดลองใช้ในการสื่อสารเป็นผลสำเร็จในปี ค.ศ. 1958 เมื่อ Athur C. Clark นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษเสนอความคิดง่าย ๆ ที่จะนำเอาสถานีถ่ายทอดสัญญาณวิทยุไปลอยในท้องฟ้า และรับสัญญาณวิทยุจากสถานีภาคพื้นดินในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งต่อมาแนวความคิดนี้ได้นำไปสู่วงโคจรที่สำคัญต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่สำคัญในปัจจุบันนั้นคือวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit) [4]

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นสามารถแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่

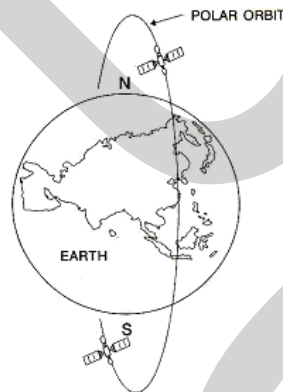
1. ภาคอวกาศ (Space Segment)
2. ภาคพื้นดิน (Ground Segment)

การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบทั้งสองระบบดังกล่าวจะทำให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถสื่อสารกันได้เป็นผลสำเร็จ โดยภาคอวกาศ (Space Segment) จะหมายถึงตัวดาวเทียม ซึ่งจะถูกส่งขึ้นไปอยู่บนวงโคจรในอวกาศตามตำแหน่งที่ต้องการ ในตัวดาวเทียมมีส่วนประกอบที่สำคัญในการติดต่อสื่อสารที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดินได้แก่ ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ซึ่งเป็นช่องรับส่งผ่านคลื่นสัญญาณโดยจะขยายสัญญาณก่อนถูกส่งกลับไปด้วยความถี่ที่ต่ำกว่าเดิม ส่วนถัดไปเป็นอุปกรณ์สร้างพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอุปกรณ์สื่อสารบนดาวเทียม และระบบการควบคุมให้ดาวเทียมสามารถโคจรอยู่ในอวกาศในตำแหน่งที่ถูกต้องและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนกว่าจะหมดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยังรวมไปถึงสถานีควบคุมการทำงานของดาวเทียมภาคพื้นดิน หรือที่เรียกว่า Telemetry Tracking and Command Facility (TT&C) ด้วยส่วนประกอบภาคพื้นดิน (Ground Segment) ก็จะหมายถึงส่วนของสถานีรับส่งภาคพื้นดินที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม และผู้ใช้งานโดยทั่วไป สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินมีวิธีการหรือเทคนิคในการใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมหลายรูปแบบ เช่น FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) และ CDMA (Code Division Multiple Access) เป็นต้น จากเทคนิคดังกล่าวจึงมีการสร้างระบบการใช้งานสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นเครือข่ายขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานจำนวนมากใช้งานช่องสัญญาณร่วมกันได้เช่น ระบบ VSAT Network ที่ถูกนำไปใช้งานในระบบการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นต้น

2.10.1 วงโคจรของดาวเทียม (Satellite Orbit)

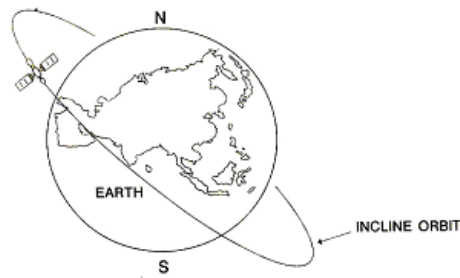
การใช้ดาวเทียมเพื่อการสื่อสารในปัจจุบันนั้น ใช้ดาวเทียมทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ โดยการส่งดาวเทียมไปโคจรในวงโคจรรอบโลกและบรรจุอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณวิทยุไว้ภายใน เพื่อรับสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน หลังจากนั้นดาวเทียมจะทำการขยายสัญญาณดังกล่าว แล้วจึงถ่ายทอดสัญญาณลงมายังพื้นโลกอีกทอดหนึ่ง การโคจรของสถานีอวกาศรอบโลกนั้นอาศัยแกนการหมุนของโลกเป็นหลักโดยโคจรไปตามแนวหมุนของโลก โดยการโคจรของดาวเทียมสามารถแบ่งตามลักษณะการโคจรได้ 3 ประเภทคือ

2.10.1.1 Polar Orbit คือ วงโคจรที่มีรูปลักษณะเป็นวงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในแนวขั้วโลก อาจกล่าวได้ว่าเป็นวงโคจรลักษณะเดียวที่สามารถให้พื้นที่การบริการครอบคลุมได้ทั่วโลกจริง ๆ โดยใช้กลุ่มดาวเทียมโคจรในวงโคจร Polar Orbit ที่ตำแหน่งทางเวลาและทางมุมที่ผสมผสานสอดคล้องกัน



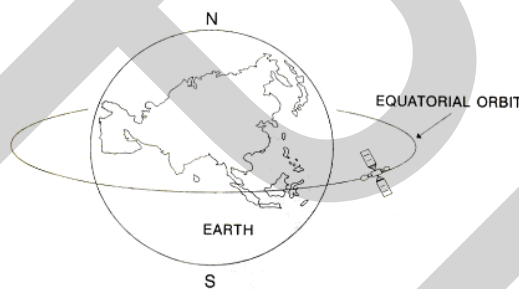
รูปที่ 2.24 วงโคจร Polar Orbit

2.10.1.2 Inclined Orbit วงโคจรลักษณะนี้มีอยู่ด้วยกันจำนวนมาก แตกต่างกันไปตามความเอียง (Incline) หรือมุมที่ระนาบศูนย์สูตรและความรีของวงโคจรว่ามากน้อยเพียงใดวงโคจรนี้มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สามารถให้พื้นที่บริการที่บริเวณละติจูดสูงหรือต่ำมาก ๆ ได้หรืออาจครอบคลุมพื้นที่ขั้วโลกได้ด้วย ในขณะที่วงโคจรระนาบศูนย์สูตรจะไม่สามารถให้บริการครอบคลุมไปถึงเนื่องจากส่วนโค้งของโลกบดบังไว้



รูปที่ 2.25 วงโคจร Inclined Orbit

2.10.1.3 Equatorial Orbit คือวงโคจรที่อยู่บนระนาบเดียวกันกับแนวเส้นศูนย์สูตรของโลก โดยมีลักษณะการโคจรเป็นรูปวงกลมมี ตัวอย่างของวงโคจรชนิดนี้ที่มีความสำคัญต่อการสื่อสารโทรคมนาคมของโลกเป็นอย่างมาก ได้แก่ วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit หรือ Geosynchronous Orbit)

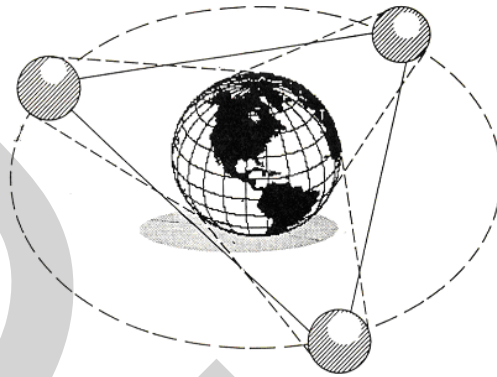


รูปที่ 2.26 วงโคจร Equatorial Orbit

2.10.2 วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit)

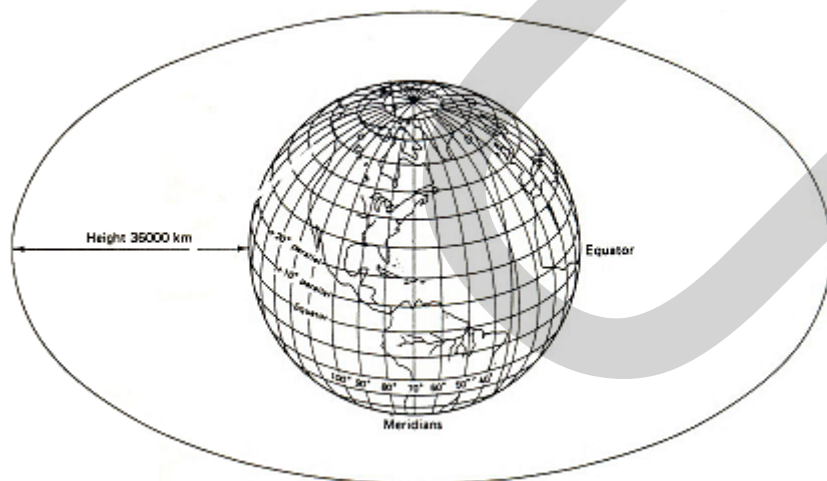
ในปี ค.ศ. 1945 Athur C. Clark นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้เสนอบทความตีพิมพ์ในวารสาร UK's Wireless Journal เมื่อเดือนพฤษภาคม ค.ศ.1945 ก่อนที่ดาวเทียมดวงแรกจะถูกส่งขึ้นสู่อวกาศ ซึ่งเป็นแนวความคิดที่ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทั่วทุกมุมโลก และเป็นที่มาของ วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit) ซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับดาวเทียมสื่อสารในปัจจุบัน โดยการส่งชุดสถานีอวกาศ (Space Station) ไปลอยอยู่ ณ จุดที่สูงจากศูนย์กลางของโลกที่ 42,000 km หรือห่างจากพื้นผิวโลก ประมาณ 35,800 km และให้โคจรรอบโลกแนวเส้นศูนย์สูตรภายในเวลา 24 ชั่วโมง Space Station ดังกล่าวจะเสมือนลอยอยู่นิ่งเมื่อมองจากพื้นโลก และการวางตำแหน่งของ Space-

Station เพียงสามจุดรอบโลก ในวงโคจรดังกล่าวตามรูปที่ 2.27 จะทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทั่วโลก



รูปที่ 2.27 แนวความคิดของ Athur C. Clark

วงโคจรค้างฟ้าที่มีความสูงประมาณ 35,800 km จากพื้นผิวโลก มีคาบการโคจร 24 ชั่วโมง ทำให้การโคจรของดาวเทียมบนวงโคจรชนิดนี้ มีความเร็วเชิงมุมเท่ากับการหมุนรอบตัวเองของโลกพอดี ผลที่เกิดขึ้นก็คือเมื่อมองดาวเทียมบนวงโคจรนี้จากจุดใดจุดหนึ่งบนโลกจะพบว่าดาวเทียมเสมือนหนึ่งคงตำแหน่งอยู่กับที่ เหมือนกับค้างฟ้าอยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.28 วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit)

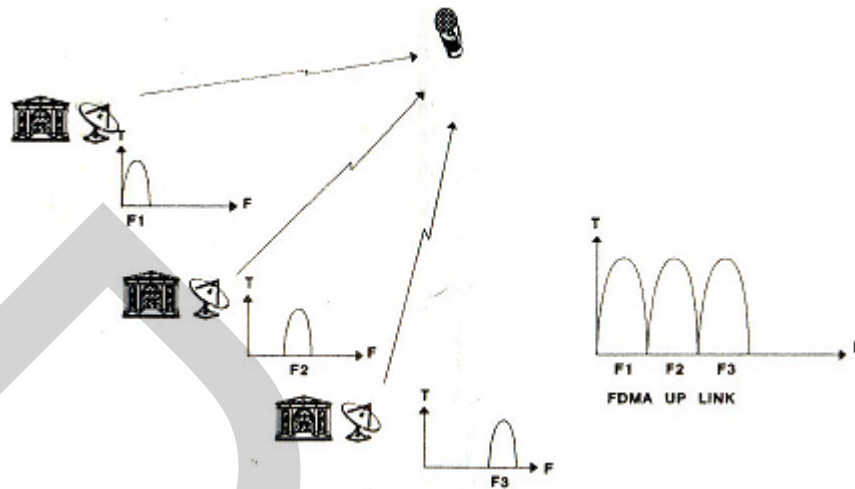
ประโยชน์ที่ได้รับจากวงโคจรนี้คือ เมื่อเราหันสายอากาศรับส่งสัญญาณของสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมค้างฟ้าที่ต้องการแล้ว ไม่จำเป็นต้องปรับมุมของจานสายอากาศอีกตลอดเวลาใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพื้นที่ครอบคลุมให้บริการขนาดใหญ่มาก (Global Coverage) โดยสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว่า 1 ใน 3 ของโลกทำให้เราสามารถสร้างเครือข่ายสื่อสารทั่วโลก (Global Communications Network) ขึ้นได้ ปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมผ่านดาวเทียมส่วนใหญ่จะใช้วงโคจรค้างฟ้าทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นดาวเทียม INTELSAT, EUTELSAT, PALAPA, ASIASESAT รวมทั้งดาวเทียม THAICOM ของประเทศไทยที่ส่งขึ้นสู่วงโคจรในเดือนธันวาคมปี พ.ศ.2536 ด้วยเช่นกัน

2.10.3 เทคนิคการเข้าถึงหลายทางของดาวเทียม (Multiple Access Techniques)

ดาวเทียมเป็นทรัพยากรที่มีค่าและมีจำนวนจำกัด การส่งดาวเทียมแต่ละดวงขึ้นไปโคจรอยู่บนอวกาศนับว่าไม่ใช่เรื่องง่ายเพราะต้องมีค่าใช้จ่ายมหาศาลและยังจะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดกับดาวเทียมที่โคจรอยู่แล้วด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ประโยชน์จากดาวเทียมให้คุ้มค่าที่สุด กล่าวคือ การทำให้สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station) สามารถติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมได้พร้อม ๆ กันหลายสถานีโดยที่ไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน (Interference) หรือมีการรบกวนน้อยที่สุด ซึ่งจะไม่ทำให้คุณภาพของสัญญาณต่ำลง ซึ่งวิธีการนี้เราเรียกว่า “Multiple Access Techniques” แบ่งออกได้เป็น 3 แบบดังนี้

2.10.3.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)

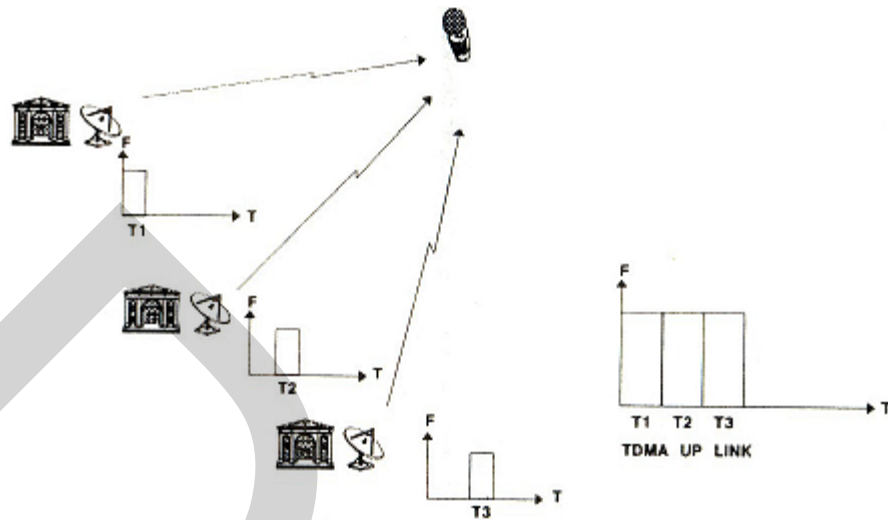
สถานีภาคพื้นดินจะส่งสัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier) ตามจำนวนที่ต้องการใช้งานซึ่งในแต่ละคลื่นพาห์จะมีความกว้างแถบหรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารแต่ละชนิดทรานสพอนเดอร์ (Transponder) บนตัวดาวเทียมจะรับคลื่นพาห์ทั้งหมด และทำการขยายสัญญาณแล้วส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดินซึ่งอยู่ในพื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area) ของดาวเทียม สถานีภาคพื้นดินนั้น ๆ จะรับเฉพาะคลื่นพาห์ที่มีความถี่ที่ถูกกำหนดให้ใช้งานสำหรับสถานีภาคพื้นดินนั้น ๆ วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากเพราะผู้ใช้แต่ละรายจะได้รับจัดสรรความถี่มาให้ใช้ถึงแม้ว่าช่องสัญญาณจะยังไม่ถูกใช้งานก็ตาม นอกจากนั้นผู้ใช้อย่างอื่นยังไม่สามารถนำความถี่ของผู้อื่นไปใช้ได้อีกด้วยโดยวิธี FDMA แสดงในรูปที่ 2.29 ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะเกิด Intermodulation ได้ง่ายเพราะคุณสมบัติทรานสพอนเดอร์บนตัวดาวเทียมขณะที่ถูกใช้งานที่กำลังขยายสูงสุด ถ้ามีการใช้คลื่นพาห์จำนวนมาก ๆ จะเกิดปัญหาได้



รูปที่ 2.29 Frequency Division Multiple Access

2.10.3.2 Time Division Access (TDMA)

สถานีภาคพื้นดินที่อยู่ในโครงข่ายเดียวกันจะมีการใช้สัญญาณร่วมกัน โดยการแบ่งช่วงเวลาทีแน่นอนให้แก่แต่ละสถานีในการส่งหรือรับข้อมูลซึ่งกันและกัน เมื่อสัญญาณถูกส่งจากสถานีแม่ข่ายไปยังตัวดาวเทียม ทรานสพอนเดอร์จะขยายสัญญาณและส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดินที่อยู่ในโครงข่าย ซึ่งทุก ๆ สถานีที่ใช้คลื่นพาห์ร่วมกันนั้นสถานีลูกข่ายจะถูกแบ่งช่วงเวลาในการติดต่อกับสถานีแม่ข่ายในเวลาเท่า ๆ กัน ดังนั้นสถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะต้องมีการควบคุมการทำงานที่ดีโดยมีการกำหนดจังหวะการทำงาน (Synchronization) และช่วงเวลาที่แม่นยำ เพื่อให้การส่งข้อมูลของตนเองไปยังสถานีปลายทางได้พอดี โดยไม่มีการซ้ำซ้อนของข้อมูล สถานีภาคพื้นดินจะรับข้อมูลทั้งหมดที่ส่งกลับมาแต่จะทำการเลือกเฉพาะข้อมูลของตนเองมาใช้งานเท่านั้น วิธีนี้เป็นการประหยัดช่องสัญญาณในการใช้งานมากเพราะ ใช้ช่องสัญญาณเพียงช่องสัญญาณเดียว โดยที่สถานีภาคพื้นดินจะใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน เฉพาะช่วงเวลาที่สถานีแม่ข่ายกำหนดเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลของตนเองเท่านั้นโดยวิธี TDMA แสดงได้ดังรูปที่ 2.30

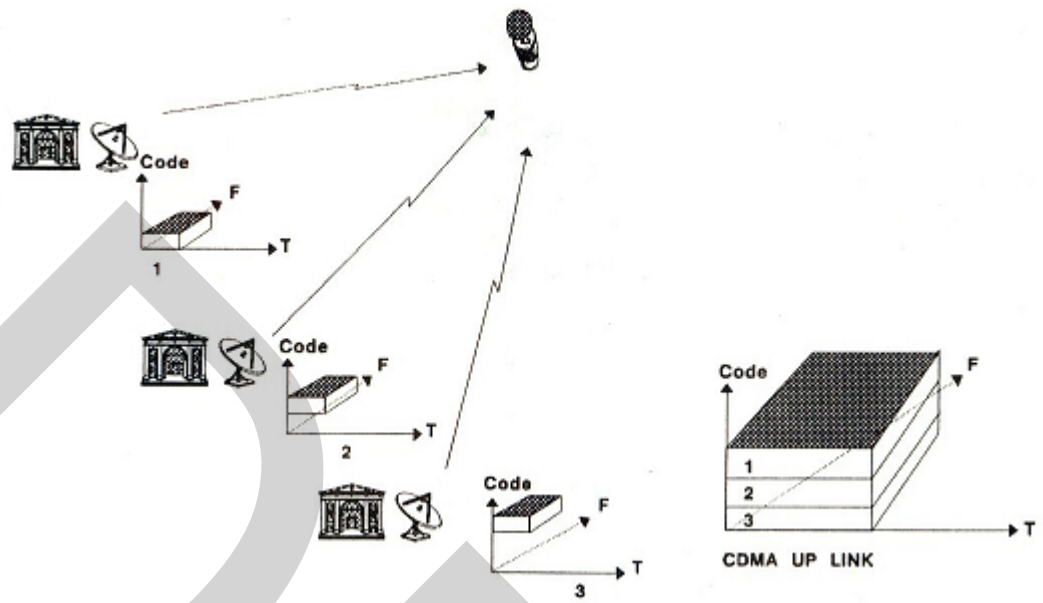


รูปที่ 2.30 Time Division Multiple Access

2.10.3.3 Code Division Access (CDMA)

วิธีนี้มีหลักการ คือ สถานีภาคพื้นดินแต่ละสถานีถูกกำหนดให้ใช้ Code Sequence ที่ไม่ซ้ำกัน ซึ่งจะถูกลมอดูเลตไปกับคลื่นพาห์พร้อมกับข้อมูล แล้วส่งไปในช่องสัญญาณที่ผู้ใช้ทุกรายใช้งานร่วมกัน การที่ Code Sequence ที่ใช้มีความยาวมากหรือ Code Symbols/Data Symbols มีค่าสูงมีผลทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ใช้เกิดขยายกว้างขึ้น หรือเรียกว่าการแผ่ของสเปกตรัม (Spread Spectrum) ซึ่งสถานีภาคพื้นดินจะใช้ความถี่ร่วมกัน แต่ละสถานีจะส่งเมื่อใดก็ได้เพราะสามารถใช้ช่องสัญญาณร่วมกันได้หลายสถานี โดยผู้รับสามารถแยกแยะได้ว่าข้อมูลใดเป็นข้อมูลที่ส่งมาถึงตนเอง เนื่องจากแต่ละสถานีจะมีรหัสของตน โดยวิธี CDMA แสดงได้ดังรูปที่ 2.31

วิธีนี้มีกรรมวิธีค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนในขั้นตอนที่จะทำให้เกิดการ Synchronization ระหว่างการสร้าง Code Sequence ของสถานีแม่ข่ายและการถอดรหัสด้านรับ เทคนิคนี้นำมาใช้มากในทางทหารเนื่องจากสามารถป้องกันการรบกวนและสอดแทรกของสัญญาณได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.31 Code Division Multiple Access

บทที่ 3

สถานการณ์ของศาสตร์ในปัจจุบัน

3.1 กล่าวนำ

ในช่วงระยะเวลา 4-5 ปีที่ผ่านมาผู้ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเมืองไทยทุกรายต่างเร่งทำการขยายโครงข่ายเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั่วประเทศ ในขณะเดียวกันก็เพิ่มขีดความสามารถของโครงข่ายของตัวเองเพื่อรองรับบริการข้อมูลที่ไม่ใช่เสียง (Non- Voice Service) โดยเฉพาะระบบ GSM (Global System for Mobile Communication) ที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็วเพียง 9.6 kbps (kilobits per second) เช่น WAP (Wireless Application Protocol) ที่เคยสร้างกระแสในบ้านเราแล้วก็เงียบหายไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นก็ได้มีการพัฒนาให้รับ-ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นถึงประมาณ 115 kbps ในทางทฤษฎีด้วยเทคโนโลยี GPRS (General Packet Radio Service) ซึ่งอาจจะเรียกว่าเป็นเทคโนโลยีในยุคที่ 2.5 (2.5G) เนื่องจากพัฒนาบนพื้นฐานระบบ GSM โดยเริ่มนำวิธีการสวิตชิงแบบแพ็กเก็ต (Packet-Switching) เข้ามาใช้ อย่างไรก็ตามระดับความเร็วดังกล่าวก็ยังไม่ถึงเกณฑ์ของเทคโนโลยีในยุคที่ 3 (3G) ตามมาตรฐานของ IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) ทำให้เทคโนโลยีใหม่อีกหลายตัวเข้ามาสู่เมืองไทยเพื่อขยับเข้าใกล้ยุค 3G ให้มากที่สุดโดยเทคโนโลยีเหล่านั้นได้แก่ GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rate for Global Evolution), CDMA 2000 1X (Code Division Multiple Access 2000 1X) นอกจากนี้เทคโนโลยีทางด้านแลนไร้สาย WLAN (Wireless LAN) และ เทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม (IP STAR) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องทางด้านไร้สายก็จะกล่าวในบทนี้ด้วย

3.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคปัจจุบัน

3.2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G หรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคดิจิทัล เป็นระบบส่งสัญญาณทางวิทยุแบบดิจิทัล ซึ่งเป็นการเปลี่ยนยุคจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบแอนะล็อกสู่ดิจิทัล มีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นยกตัวอย่าง ในหนึ่งช่องสัญญาณความถี่จากเดิมที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้นั้นคน เปลี่ยนเป็น สามารถรองรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้หลายคน ซึ่งแล้วแต่จะใช้เทคนิคการแบ่งทางเวลา

หรือการแบ่งทางรหัสสัญญาณ นอกจากนี้โครงสร้างของเซลล์ก็มีการพัฒนาให้มีทั้งเซลล์ขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G มีอยู่ 4 มาตรฐาน คือ

1. Global System for Mobile (GSM) Communications เป็นมาตรฐานทางกลุ่มประเทศยุโรป
2. Digital AMPS (D-AMPS) หรือ US-TDMA เป็นมาตรฐานทางประเทศอเมริกา
3. Code-Division Multiple access (CDMA) หรือเรียกว่ามาตรฐาน IS-95 ที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Qualcomm ประเทศอเมริกา
4. Personal Digital Cellular (PDC) เป็นมาตรฐานทางประเทศญี่ปุ่น

จากทั้ง 4 มาตรฐานนี้ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ได้มีการเปิดให้บริการมากที่สุดในโลก โดยระบบ GSM ได้ออกแบบเป็นระบบดิจิทัล โดยเริ่มนำมาใช้งานจริงครั้งแรกในราวปี ค.ศ. 1991 และในปัจจุบันระบบ GSM นี้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายกว่า 120 ประเทศทั่วโลก ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย จากปริมาณความต้องการการใช้งานที่มีมาก ทำให้มีการนำเอามาตรฐาน GSM ที่ใช้งานช่วงความถี่ย่าน 900 MHz ไปใช้ในความถี่ย่าน 1,800 MHz และมีการเรียกระบบดังกล่าวว่า Digital Cellular System 1800 (DCS 1800) หรือบางครั้งเรียกว่า Personal Communications Networks (PCN) นอกจากนี้ยังมีการนำเอามาตรฐาน GSM ไปใช้งานที่ความถี่อื่น ๆ อีก ได้แก่ ย่านความถี่ 1900 MHz เรียกระบบ DCS 1900 หรือ GSM-1900 ย่านความถี่ 800 MHz เรียกว่าระบบ GSM-800 และย่านความถี่ 400 MHz เรียกระบบ GSM-400 เป็นต้น

สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มีอัตราการส่งข้อมูลได้ถึง 9,600 bps และในกรณีพิเศษสามารถมีอัตราการส่งถึง 14.4 kbps ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้สูงขึ้นเนื่องจากในอนาคตมีแนวโน้มว่าปริมาณการรับ-ส่งข้อมูลจะมีจำนวนมากเนื่องจากมีบริการใหม่ ๆ ที่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถเปิดให้บริการได้ เช่น บริการอินเทอร์เน็ต อีเมลล์ สื่อประสมต่าง ๆ จึงมีการพัฒนาระบบ GPRS (General Packet Radio Services) ซึ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เรียกว่าระบบโทรศัพท์ยุค 2.5G ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป [43]

3.2.1.1 CDMA (Code Division Multiple Access)

CDMA (Code Division Multiple Access) คือระบบโทรศัพท์ที่แบ่งการส่งข้อมูลโดยการแบ่งข้อมูลที่ส่ง นำไปเข้ารหัสแยกกันเป็นส่วน ๆ ทำให้สามารถส่ง ข้อความหลายข้อความไปบนช่องสัญญาณเดียวกันได้โดยจัดสรรช่อง ความถี่ให้ใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ CDMA มีความสำคัญ ในฐานะพื้นฐานสำหรับการพัฒนาของ 3G เพราะเทคโนโลยี 3G จะใช้ระบบ CDMA ทั้งสิ้น โดย

ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 14.4 kbps เท่ากับโมเด็มแอนะล็อก สำหรับสายโทรศัพท์บ้านในช่วง 4 ปีที่แล้ว

ในด้านของบริการข้อมูล ได้มีการเพิ่มระบบการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงขึ้นเรียกว่า MDR หรือ Medium Data Rates สามารถรองรับการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 115.2 kbps สูงกว่าในระบบ IS-95A ที่ให้บริการสูงสุดได้เพียง 14.4 kbps MDR ประกอบด้วยกลไกการส่งข้อมูลที่อาศัยช่อง Traffic Code Channel มากกว่า 1 ช่องประกอบกัน โดยที่ความเร็วสูงสุดนั้นสามารถใช้ Fundamental Code Channel 1 ช่องร่วมกับ Supplementary Code Channel อีก 7 ช่องเพื่อส่งข้อมูลความเร็วได้สูงถึง 115.2 kbps ($8 \times 14.4 \text{ kbps} = 115.2 \text{ kbps}$) นอกจากนี้ยังสามารถปรับความเร็วในการส่งข้อมูลได้ตามการใช้งาน โดยปรับจำนวนช่อง Supplementary Code Channel ตั้งแต่ 1 ถึง 7 ช่องตามความต้องการ [9]

3.2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G เป็นการพัฒนาต่อมาจากยุค 2G โดยพัฒนาให้รับ-ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นถึง 115 kbps ด้วยเทคโนโลยี GPRS

3.2.2.1 GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS เป็นระบบที่เพิ่มเติมความสามารถการทำงาน ให้กับระบบ GSM ในการให้บริการ non voice value added services (บริการที่ไม่เกี่ยวกับเสียงการสนทนา) จุดเด่นของบริการ GPRS ที่มีประโยชน์เด่นชัดที่สุด คือเรื่องของความเร็วในการรับส่งข้อมูล ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับระบบเครือข่าย ทำให้การให้บริการต่าง ๆ รวดเร็วขึ้น ด้วยความสามารถในการรับส่งข้อมูลความเร็วสูง ในทางทฤษฎี GPRS สามารถให้บริการที่ความเร็วสูงสุดถึง 171.2 kbps โดยต้องอาศัยการใช้ช่องเวลา (Time Slot) ทั้งแปดช่วงของทั้งหมดที่มี ซึ่งนั่นหมายถึงความเร็วสูงสุดที่สูงขึ้นถึงสามเท่าของการส่งข้อมูลผ่านสาย บนเครือข่ายโทรศัพท์ปัจจุบัน และสูงขึ้นมากกว่าการเชื่อมต่อแบบ CSD (Circuit Switched Data) ในเครือข่าย GSM ถึงสิบเท่า GPRS สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 171.2 kbps แต่หมายความว่าระบบ GPRS นี้จะต้องใช้งาน Time Slot ของระบบ GSM ทั้งหมด 8 Time Slot ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ ในปัจจุบันความเร็วของระบบ GPRS ที่ใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 40 kbps ซึ่งจะเร็วหรือช้ากว่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของผู้ใช้งาน ในพื้นที่นั้น

เพื่อรองรับการให้บริการ GPRS บนเครือข่าย GSM นั้นผู้ให้บริการจำเป็นต้องเพิ่มโมดูลหลักใหม่อีกสองคือ

1) GGSN (Gateway GPRS Service Node) ทำหน้าที่เป็น gateway เชื่อมต่อระหว่างเครือข่าย GPRS กับ เครือข่ายข้อมูลทั่วไปเช่น IP และ X.25 ซึ่งรวมถึงการเชื่อมต่อกับเครือข่าย GPRS อื่น ๆ เพื่อทำการ roaming ด้วย

2) SGSN (Serving GPRS Service Node) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อเส้นทาง (routing) ระหว่าง SGSN ในแต่ละพื้นที่สำหรับผู้ใช้ทุกคนในพื้นที่ให้บริการ

ประโยชน์ของระบบ GPRS

1. GPRS เป็นระบบที่ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลความเร็วสูง (non voice) ด้วยความเร็วสูงสุดถึง 40 kbps ทำให้การให้บริการอินเทอร์เน็ตการใช้ WAP (Wireless Application Protocol) และ MMS (Multimedia Messaging Service) สามารถทำงานได้รวดเร็ว เป็นผลให้เกิดการพัฒนา เทคโนโลยีการบริการ Non Voice กันมากขึ้น เช่น การใช้บริการ WAP เพื่อการโหลดรูปภาพ เสียงเรียกเข้า การรับส่งข้อความแบบ MMS และการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ต ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่กับคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค และเครื่อง PDA (Personal Digital Assistant) เพื่อใช้งาน Web Browsing และ E-mail

2. ระบบ GPRS เป็นระบบที่มีความสามารถในการใช้งานแบบ Always On คือในการเชื่อมต่อสามารถเชื่อมต่อเข้ากับ Gateway ของระบบเครือข่ายได้โดยอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องทำการ โทรออกเหมือนกับระบบ CSD ทำให้การเชื่อมต่อสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

3. ไม่สูญเสียการติดต่อขณะใช้งาน ระบบ GPRS อยู่เราจะไม่สูญเสียการติดต่อกับผู้อื่น เนื่องจาก GPRS ไม่มีการ Dial Up ดังนั้นขณะใช้งานอยู่สามารถมีผู้โทรเข้าหาเราและรับสายสนทนาได้ทันที และขณะเดียวกันเราก็สามารถโทรออกเพื่อสนทนาได้ทันทีเช่นเดียวกัน

4. ค่าใช้จ่ายในการใช้งานที่ถูกลง และมีความเป็นธรรม เพราะการคิดค่าใช้จ่าย จะคิดตามปริมาณของข้อมูล ที่เรารับและส่ง ผ่านเครือข่าย เรียกว่าสามารถเชื่อมต่อทั้งวันทั้งคืนได้โดยไม่เสียเงินหากไม่มีการรับส่งข้อมูล [10]

3.2.2.2 EDGE ทางเลือกใหม่เทียบรุ่น 3G

ปัจจุบันบนเครือข่ายการให้บริการข้อมูลข่าวสารทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ก้าวหน้าไปสู่ยุคเกือบท้าย ๆ ของ 2G แล้ว ซึ่งกำลังก้าวเข้าสู่ยุค 3G แต่ก็เป็นเรื่องยาก เพราะต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง รวมถึงความไม่พร้อมในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการลงทุน ดังนั้นการที่จะพัฒนาหรือปรับเปลี่ยนเข้าสู่ยุค 3G ได้อย่างเต็มตัวนั้นจึงต้องรออีกสักระยะ แต่ ณ เวลานี้มีเทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้คืออยู่อย่าง นั่นคือ EDGE ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงอีกระบบหนึ่ง

EDGE หรือ มีชื่อเรียกเต็ม ๆ ว่า "Enhanced Data rate for Global (GSM/GPRS) Evolution" ได้รับการออกแบบและกำหนดขึ้นโดยหน่วยงาน ETSI (European Telecommunications Standard Institute) ซึ่งเป็นผู้สร้างมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM และ GPRS เพื่อพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM / GPRS ให้รองรับการสื่อสารทางข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้น

เทคโนโลยี EDGE มีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่า 3 ระบบเดิมที่ใช้กันอยู่ ดังตาราง

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบความเร็ว

ระบบ	EDGE	CDMA 1X	GPRS	GSM
ความเร็ว (กิโลบิต/วินาที)	150 - 170	80 - 90	30 - 40	9 - 10

จะเห็นได้ชัดเลยว่าความเร็วของเทคโนโลยีตัว EDGE เร็วกว่าตัวอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่มาก EDGE ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลที่รวดเร็วกว่าเดิมจากเครือข่าย GPRS ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากถึง 4 เท่า

นับเป็นการก้าวเข้าสู่อีกขั้นของการพัฒนาทางการสื่อสารให้มีความสะดวกรวดเร็วไม่ติดขัดทางด้านการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ผู้ใช้บริการเครือข่ายจึงสามารถใช้บริการ รายงานข่าวสาร, ข้อมูลด้านการตลาดหุ้น, คู่มือฟังเพลง, เล่น MP3, รับส่งไฟล์รูปภาพและเสียงเพลง ได้อย่างรวดเร็วฉับไวมากขึ้น ปราศจากสัญญาณรบกวน และยังช่วยให้การดาวน์โหลดไฟล์ การรับส่งอีเมลเป็นเรื่องที่ง่ายขึ้นอีกด้วย

เทคโนโลยี EDGE เป็นการให้บริการสื่อสารข้อมูลอัตราเร็วสูงหน้าใหม่ในวงการ ที่น่าจะผลักดันให้ธุรกิจการพาณิชย์ด้านอิเล็กทรอนิกส์นำเสนอบริการรูปแบบใหม่ๆ เพิ่มลูกเล่นแปลกตาให้ได้ใช้กันมากขึ้น ซึ่งเป็นการสร้างสีสันจากเดิมที่ตีติเดียวเลย การแข่งขันทางธุรกิจด้านพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์นี้คงจะสูงตามไปด้วย [44]

3.2.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G แม้ว่าเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G จะได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม โลกของการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ที่มีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบโทรศัพท์ 2G เริ่มประสบปัญหาในการรองรับการให้บริการได้พอเพียงภายใต้ความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด

นอกจากนี้กระแสของ Mobile Internet ที่เริ่มมีการนำเสนอแนวความคิดนี้เข้ามาและมีการคาดการณ์กันว่าจะมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์เราในอนาคตอย่างมาก ทำให้มีความจำเป็นที่ระบบมือถือจะต้องรับ-ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงกว่าในยุค 2G มาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติข้อหนึ่งที่ทำให้ต้องมีการปรับปรุงพัฒนาระบบโทรศัพท์ทั้งรุ่นที่ 3 ขึ้นมา

ในแง่ของ Global Wireless Communication นั้น ระบบ 3G ได้ถูกวางไว้ให้เป็นเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก ทำให้สามารถติดเครื่องโทรศัพท์เพียงเครื่องเดียวไปใช้ได้ทั่วทุกที่ในโลก ซึ่งแตกต่างจากในยุค 2G ที่มาตรฐานมีการแบ่งเป็นกลุ่มอยู่ในหลาย ๆ พื้นที่ โดยมีกลุ่มที่สำคัญได้แก่กลุ่ม GSM กับกลุ่ม CDMA และกลุ่มมาตรฐาน 1G ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการใช้งานแบบ Global Wireless Communication ดังนั้นระบบ 3G จึงเป็นความหวังว่าของผู้ใช้โทรศัพท์ทั่วโลกในอนาคตที่จะช่วยรวมเอาโลกสื่อสารไร้สายให้เป็นหนึ่งเดียว

ในยุค 3G นี้ เน้นการรับส่งแบบแพ็คเกจ และต้องขยายความเร็วของการรับส่งให้สูงขึ้น โดยสามารถส่งรับด้วยความเร็วข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที เมื่อผู้ใช้กำลังเคลื่อนที่ และหากอยู่กับที่จะส่งรับได้ด้วยอัตราความเร็วถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที

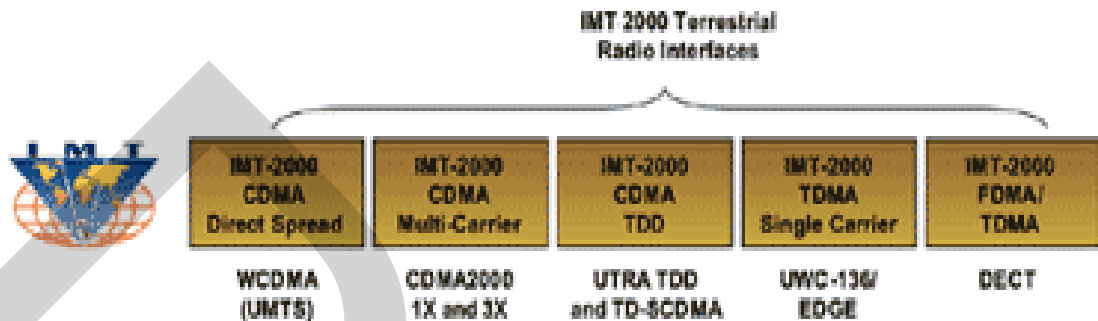
3.2.3.1 IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000)

กระแสของเทคโนโลยี 3G มีความแรงในช่วง 3-4 ปีที่ผ่านมา แต่ในความเป็นจริงแล้วการพัฒนา 3G ได้เริ่มมีมานานหลายปีแล้ว ภายใต้แนวคิดที่เรียกกันว่า IMT-2000 หรือชื่อเต็มคือ International Mobile Telecommunications - 2000 ซึ่งพิจารณาทั้งในด้านการจัดสรรความถี่สำหรับ 3G และมาตรฐานด้านเทคนิคของตัวเทคโนโลยีเองด้วย ย้อนไปในปี 1992 นั้น ITU (International Telecommunication Union) ได้ทำการกำหนดมาตรฐานสำหรับแถบความถี่ที่จะใช้สำหรับ IMT-2000 โดยปรากฏในข้อกำหนด Radio Regulation หมายเลข S5.388 ที่มีการกำหนดให้ความถี่ในช่วง 1885 ถึง 2025 MHz และ 2110 ถึง 2200 MHz ใช้สำหรับระบบ IMT-2000 ซึ่งในรายละเอียดนั้น ระบบ Terrestrial IMT-2000 หรือ IMT-2000 ภาคพื้นดินนั้นจะถูกกำหนดให้ทำงานในระบบ FDD ในช่วงความถี่คู่ 1920 ถึง 1980 MHz และ 2110 ถึง 2170 MHz โดยระบบสถานีฐานจะใช้ความถี่ด้านสูงและเครื่องโทรศัพท์จะใช้ความถี่ด้านต่ำ ส่วนช่วงความถี่ 1885 ถึง 1920 MHz และ 2010 ถึง 2025 MHz ใช้สำหรับการทำงานในระบบ TDD

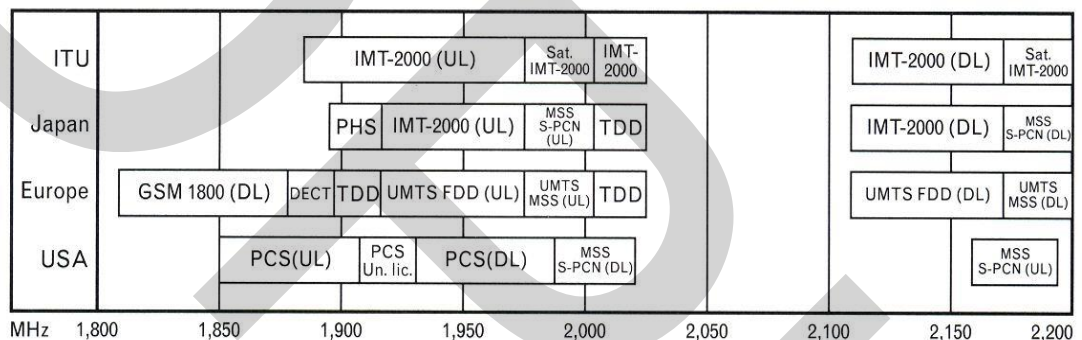
ในด้านของมาตรฐานทางเทคนิคของ IMT-2000 นั้นเริ่มมีการพิจารณาอย่างจริงจังตั้งแต่ปี 1998 เป็นต้นมา โดยเปิดรับข้อเสนอมาตรฐานด้านเทคนิคจากองค์กรและบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญในด้านสื่อสารโทรคมนาคมเช่น European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), Japan, China Wireless Telecommunication Standard (CWTS), The Telecommunications Technology Association (TTA) - Korea, The Telecommunication Technology Committee (TTC) – Japan และ TTA เป็นต้น ความมุ่งหวังที่ ITU ต้องการให้ IMT-2000 เป็นมาตรฐานเดียวสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วโลกนั้น ทำให้ ITU จำเป็นต้องพิจารณาและรวมมาตรฐานด้านเทคนิคที่ได้มีการเสนอจากองค์กรและบริษัทๆ ต่างๆ ให้เป็นหนึ่งเดียวด้วยความเป็นกลาง

อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้คือมาตรฐาน IMT-2000 ในปลายปี ค.ศ.1999 ที่ ITU ได้รับรองออกมานั้นยังไม่ได้เป็นมาตรฐานที่เป็นหนึ่งเดียว แต่ประกอบด้วยมาตรฐานย่อยๆ อีกหลายชุด ซึ่งไม่ใช่สิ่งที่สร้างความประหลาดใจแต่อย่างใด เนื่องจากตลอดเวลาตั้งแต่เปิดรับข้อเสนอด้านเทคนิคและจัดทำมาตรฐานออกมา ทำที่ของแต่ละองค์กรและหน่วยงานที่สนับสนุนมาตรฐานแต่ละแบบ

ของกลุ่มตอนอย่างเต็มที่ ทำให้ ITU ประสบความยากลำบากที่จะตัดหรืออ้างอิงจากมาตรฐานกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง จนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังไม่สามารถรวมให้มีเหลือเพียงระบบเดียวได้



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบด้าน Radio Network ของมาตรฐาน IMT-2000



รูปที่ 3.3 Spectrum ของ IMT-2000

มาตรฐาน IMT-2000 ที่ออกมาจึงประกอบด้วยมาตรฐานด้าน Radio Network ถึง 5 แบบ ดังรูปที่ 3.2 โดยประกอบด้วย

1. IMT-DS หรือ Direct Spread หรือที่รู้จักกันในชื่อของ W-CDMA หรือ UTRAN FDD ที่มีผู้สนับสนุนหลักคือ ETSI, TTA และ ARIB
2. IMT-MC หรือ Multi Carrier หรือที่รู้จักกันในชื่อของ cdma2000 มีผู้สนับสนุนหลักคือ TTA/EIA, TTA และ ARIB
3. IMT-TC หรือ Time Code หรือที่เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า UTRAN TDD และ TD-SCDMA ที่มีผู้สนับสนุนอย่าง ETSI และ CWTS
4. IMT-SC หรือ Single Carrier หรือที่เรียกว่า UWC-136 หรือ EDGE
5. IMT-FT หรือ Frequency Time หรือที่เรียกว่า DECT

ด้วยมาตรฐานทั้ง 5 นั้น จึงดูเหมือนโลกของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะยังคงถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วนอยู่ดี อย่างไรก็ตาม แนวโน้มในปัจจุบันเป็นไปในทิศทางของมาตรฐานเพียงสองชุดเท่านั้นที่ได้รับความนิยมและมีการใช้กันในหลายประเทศ ได้แก่ W-CDMA และ cdma2000

ส่วนมาตรฐานทางด้าน Core Network นั้น อาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่คือ GSM-MAP ที่กลุ่มผู้ให้บริการด้าน GSM ใช้เป็นมาตรฐานการต่อเชื่อม Core Network อยู่ ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มของ IS-41 ที่กลุ่มผู้ให้บริการด้วยเทคโนโลยี CDMA และ TDMA (IS-54) ใช้เป็นมาตรฐาน ซึ่งที่ผ่านมานั้นมาตรฐานทั้งสองกลุ่มไม่สามารถใช้ร่วมกันได้ เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เครื่องโทรศัพท์ระบบ GSM ไม่สามารถเข้าไป Roam ในระบบ CDMA และเครื่องระบบ CDMA ก็ไม่สามารถเข้าไป Roam ในระบบ GSM ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามมาตรฐาน IMT-2000 นั้น มุ่งหวังให้ทุกระบบสามารถทำงานร่วมกันได้ และได้มีการระบุให้มาตรฐานต่าง ๆ ที่จะมีการพัฒนาต่อไปนั้นจะต้องสามารถต่อเชื่อมข้ามระบบกันได้ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น ต่อไปมาตรฐานระบบ cdma2000 จะต้องสามารถทำงานบน GSM-MAP Core Network ได้ และมาตรฐาน W-CDMA จะต้องทำงานบน IS-41 Core Network ได้เช่นเดียวกัน

3.2.3.2 3GPP และ 3GPP2

ในช่วงการต่อสู้กันเพื่อเป็นหนึ่งในมาตรฐาน IMT-2000 นั้น สิ่งที่น่าประหลาดตั้งแต่ในช่วงปี 1998 นั้น คือความแตกแยกเป็นกลุ่มของมาตรฐาน จนทำให้ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการรวมระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เป็นหนึ่งเดียวได้ ในขณะที่ความขัดแย้งและความเห็นที่ไม่ตรงกันยังเป็นอุปสรรคที่ทำให้มาตรฐานทางด้านเทคโนโลยีเหล่านี้มีการพัฒนาไปอย่างล่าช้า

ในช่วงนั้นเองที่กลุ่มต่าง ๆ ไม่สามารถรองจนกว่ามาตรฐาน IMT-2000 จะถูกประกาศออกมาได้ ทำให้เกิดแนวคิดที่จะจัดตั้งองค์กรความร่วมมือหรือ Partnership Project ขึ้นมาโดย ETSI เพื่อรวมตัวและสนับสนุนให้เกิดการพัฒนามาตรฐานด้าน GSM ให้เกิดอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จึงเกิดเป็น Third Generation Partnership Project (3GPP) ขึ้น ซึ่งมุ่งหวังให้เกิดความร่วมมือกันพัฒนาเทคโนโลยี UMTS ทั้ง UTRAN FDD (W-CDMA) และ TDD (TD-SCDMA) และสนับสนุนให้เป็นมาตรฐานสำหรับ IMT-2000

3GPP ประกอบด้วยองค์กรที่พัฒนามาตรฐานต่าง ๆ เช่น ETSI, ARIB, CWTS, TTC และ TTA นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยหน่วยงานหรือองค์กรธุรกิจเช่น GSM Association, UMTS Forum และ IPv6 Forum เป็นต้น

ในอีกด้านหนึ่งก็มีกลุ่มความร่วมมือจัดตั้งขึ้นเพื่อทำงานขนานกันไปกับกลุ่ม 3GPP กลุ่มดังกล่าวได้แก่ Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2) ซึ่งเกิดขึ้นเพื่อส่งเสริมและพัฒนา

มาตรฐานด้านของ CDMA IS-41 รวมทั้งทำงานร่วมกับ 3GPP ในอันที่จะทำให้เกิดการพัฒนาร่วมกันไปในทิศทางเดียวกันภายใต้เป้าหมายของ IMT-2000

3GPP2 ประกอบด้วยองค์กรที่พัฒนามาตรฐานต่าง ๆ เช่น TTA, ARIB, CWTS, TTC และ TTC นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยหน่วยงานหรือองค์กรธุรกิจเช่น CDMA Development Group (CDG), The Mobile Wireless Internet Forum (MWIF) และ IPv6 Forum เป็นต้น

ตลอดเวลาที่ผ่านมาความร่วมมือทั้งสองมีส่วนผลักดันอย่างมากที่ทำให้มีการพัฒนามาตรฐานเทคโนโลยีต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง และเกิดเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นมารองรับความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว

3.2.3.3 CDMA2000 1X

ในด้านของเทคโนโลยีระบบ CDMA นั้น พัฒนาการต่อจากมาตรฐาน IS-95B ก็เห็นจะเป็นเทคโนโลยี CDMA2000 1X นั่นเอง มาตรฐาน CDMA2000 1X หรือ IS-2000 นี้เป็นเทคโนโลยีที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ CDMA IS-95A หรือ B สามารถพัฒนาต่อไปยังเทคโนโลยี 3G ได้อย่างสะดวกขึ้น

CDMA2000 1X ถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานในระบบใหม่ 1X พร้อม ๆ กับให้บริการระบบเก่า IS-95 ได้ในขณะเดียวกัน เรียกได้ว่ามี Backward Compatibility กับระบบ IS-95 ซึ่งทำให้ผู้ให้บริการยังสามารถให้บริการอยู่ได้ตลอดในขณะที่มีการปรับปรุงระบบ จนกระทั่งท้ายโอนผู้ให้บริการเข้ายังระบบใหม่ได้ทั้งหมดแล้วจึงตัดการให้บริการระบบเก่า IS-95 ทิ้งไป

ความสามารถทำงานร่วมกับระบบ IS-95 เดิมได้นั้น เป็นคุณสมบัติพิเศษที่ CDMA2000 1X สามารถทำได้เนื่องจากการใช้ความถี่เดิมที่ระบบ IS-95 ใช้ นั่นคือ 1.25 MHz ทำให้ผู้ให้บริการยังคงใช้ความถี่เดิมอยู่ได้โดยไม่ต้องไปหาแถบความถี่ใหม่มาเพิ่ม อีกทั้งการปรับปรุงระบบก็สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากใช้ความถี่ในช่วงเดิม ระบบภาครับ-ส่งของเครือข่าย ก็ยังสามารถใช้อุปกรณ์เดิมบางส่วนได้ จะมีก็เพียงการเปลี่ยนการรับส่งและการอัปเดตซอฟต์แวร์ เท่านั้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงระบบต่ำ

CDMA2000 1X ยังสามารถรองรับการให้บริการ Data Service ได้ โดยมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงจนสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วถึง 153 kbps (ตามทฤษฎีอาจได้ถึง 307 kbps) ซึ่งสูงกว่าในมาตรฐาน IS-95B ขึ้นไปอีก บริการ Data Service ที่ว่านี้จะมีลักษณะที่เป็นแบบ Always On นั่นคือเปรียบเสมือนเครื่องโทรศัพท์ต่อกับอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา สามารถเรียกใช้ได้ทุกเมื่อ นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงทั้งกลไกการทำ Handoff และ Power Control ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับการให้บริการ Data Service ได้

โดยสรุปแล้ว CDMA2000 1X เป็นเส้นทางหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ให้บริการในระบบ CDMA สามารถพัฒนาระบบตนเองเข้าใกล้ 3G เข้าไปอีกขั้น โดยที่การปรับปรุงระบบจะเป็นไปอย่างราบรื่นและมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ เนื่องจากระบบสามารถใช้ความถี่ร่วมกับความถี่เดิมได้ ทำให้มี Backward Compatibility ในขณะที่สามารถให้บริการ Data Service ได้ด้วย Capacity ของระบบที่เพิ่มขึ้นเป็นเกือบ 2 เท่า จึงเป็นเส้นทางที่ผู้ให้บริการระบบ CDMA ทั่วโลกเลือกที่จะเดินเพื่อนำไปสู่ 3G

3.2.3.4 CDMA2000 1X EV

เดิมนั้นเส้นทางการพัฒนาภายใต้แนวทางของ IMT-Multi Carrier นั้น ระบบ CDMA จะมีการพัฒนาไปสู่ CDMA2000 1X และ cdma2000-3X ในที่สุด โดยที่ cdma2000 3X นั้นจะใช้แถบความถี่ 1.25 MHz เดิมเป็นจำนวน 3 bands เพื่อรองรับการให้บริการ Data Service แบบ 3G ที่ความเร็ว 2 Mbps ซึ่งอาศัยการใช้ความถี่จำนวนหลายชุด จะทำให้ยังมี Backward Compatibility กับระบบเดิมเช่น CDMA2000 1X ได้ ในขณะที่มีการปรับปรุงระบบ

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีภายใต้กลุ่ม 3GPP2 นั้นมีการพัฒนาไปมาก ในปี 2001 ในขณะที่ทั่วโลกกำลังตื่นกับกระแสของ 3G อยู่ นั่นได้มีการพัฒนามาตรฐานขึ้นมาอีกชุดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิม นั่นคือ CDMA2000 1X EV ซึ่ง EV ย่อมาจาก Evolution มาตรฐานดังกล่าวได้รับการพัฒนามาจาก CDMA2000 1X โดยในรุ่นแรกที่เป็น CDMA2000 1X EV-DO หรือ Evolution-Data Only ได้ถูกพัฒนาเป็นมาตรฐาน IS-856 โดยสามารถรองรับการให้บริการ Data Service ด้วยอัตราข้อมูลเฉลี่ยสูงถึง 600 ถึง 1200 kbps (มากกว่า Modem ปัจจุบัน 10 ถึง 20 เท่า) และอัตราข้อมูลอาจขึ้นไปถึง Peak Rate ที่ 2.4 Mbps โดยอาศัยแถบความถี่เท่าเดิมคือ 1.25 MHz อุปกรณ์ระบบ 1X EV-DO ได้เริ่มผลิตและออกสู่ตลาดในปี 2002

3.2.3.5 CDMA2000 1X EV-DV

ต่อไป CDMA2000 1X EV-DV หรือ Evolution-Data and Voice จะมีการพัฒนาให้สามารถรองรับการให้บริการทางเสียง (Voice Service) พร้อม ๆ กับการให้บริการ Data Service ที่ความเร็วที่ 3.0912 Mbps (IS-2000 Rev. C) โดยอาศัยแถบความถี่เท่าเดิมคือ 1.25 MHz และในมาตรฐานรุ่น IS-2000 Rev. D ซึ่งคาดว่าจะแล้วเสร็จในปลายปี 2002 นี้ จะมีการปรับปรุงให้ CDMA2000 1X EV-DV สามารถรองรับบริการ Data Service ในด้าน Reverse Link (Mobile to BTS) ได้ที่อัตราข้อมูลสูงถึง 2 Mbps โดยคาดว่าจะมีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ออกสู่ตลาดได้ภายในต้นปี 2004

CDMA2000 1X EV จึงเป็นเป็นก้าวกระโดดในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ หากเปรียบเทียบกับมาตรฐาน 3G อื่นเช่น CDMA2000 3X ที่ต้องใช้ความถี่ $1.25 \times 3 = 3.75$ MHz หรือ W-CDMA ที่

ต้องใช้ถึง 5 MHz แต่ให้บริการ Data Service ได้ที่ 2 Mbps (ด้าน Forward Link เท่านั้น) จะเห็นได้ว่า CDMA2000 1X EV มีประสิทธิภาพที่สูงกว่ามาก โดยต้องการความถี่เพียง 1.25 MHz เท่านั้น แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยี CDMA จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเดินไปในทิศทางของ CDMA2000 1X EV เนื่องจากมีความราบรื่นกว่าและต้นทุนที่ต่ำกว่า แต่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับการต่อสู้ภายใต้สภาวะการแข่งขันที่เข้มข้นที่ผลักดันให้มีความต้องการระบบโทรศัพท์ที่รองรับการให้บริการ Data Service ได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำ

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเพื่อให้เกิดระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่หนึ่งเดียวทั่วโลก ยังคงต้องมีการพัฒนาและผลักดันให้เกิดขึ้นต่อไป ในอนาคตอันใกล้เราอาจได้เห็นการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เป็นทางเลือกเพิ่มขึ้น และอาจได้เห็นการสลายตัวและรวมกันเป็นหนึ่งของโลก GSM และ CDMA

[35]

3.2.3.6 UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems)

จริง ๆ แล้ว UMTS คือ WCDMA นั่นเองเพียงแค่เป็นชื่อ ที่ใช้เรียกกันในยุโรปเหมือน ๆ กับมาตรฐานของมือถือ ในยุคใหม่ซึ่งมาแทนที่ GSM นั่นเองสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายจีเอสเอ็ม เป้าหมายสำคัญขั้นสุดท้ายบนเส้นทางเทคโนโลยี 3G คือการใช้งานแถบความถี่ด้วยระบบ UMTS ซึ่งสามารถติดตั้งบนเครือข่ายจีเอสเอ็มหลักที่ใช้งานอยู่ก่อนแล้ว ทำให้สามารถนำอุปกรณ์ส่วนใหญ่บนเครือข่ายกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ก่อนที่จะไปสู่ระบบ UMTS ได้นั้น ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องติดตั้งสัญญาณวิทยุใน ระบบ WCDMA ในช่วงช่องสัญญาณ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ก่อน ซึ่งสนับสนุนบริการมัลติมีเดียแบบเรียลไทม์หลากหลายรูปแบบ ด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลมากถึง 2 เมกะบิตสำหรับพื้นที่ภายในอาคาร และ 384 กิโลบิตในพื้นที่นอกอาคาร

ขณะที่เทคโนโลยี EDGE มีจุดเด่นด้านอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล เทคโนโลยี UMTS ก็มีความโดดเด่นยิ่งไปกว่านั้นด้วยความสามารถในการเชื่อมต่อสัญญาณมากมายหลายชนิดในเวลาพร้อมกัน ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายในอนาคตจะสามารถติดต่อพูดคุยกันพร้อม ๆ กับใช้บริการมัลติมีเดีย ดูหนังฟังเพลง ท่องอินเทอร์เน็ต และดาวน์โหลดอีเมลได้โดยสะดวกรวดเร็ว

เทคโนโลยี EDGE และ UMTS สามารถใช้งานร่วมกันบนเครือข่ายจีเอสเอ็ม เนื่องจากทั้งสองระบบอยู่กันคนละส่วนของแถบความถี่โดยมีสถานะแบบ Dual Mode ทำหน้าที่ควบคุมการให้บริการโทร.ข้ามระบบเต็มรูปแบบ เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ทั้งสองระบบโดยใช้ UMTS ในพื้นที่ที่เน้นหนักการสื่อสารด้วยข้อมูลความเร็วสูง และ GSM/GPRS/EDGE สำหรับการสื่อสารทั่วไป [36]

3.3 ระบบแลนไร้สาย (Wireless LAN)

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่าย LAN แบบไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประโยชน์ของ WLAN มีอยู่มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง WLAN สร้างความสะดวกและอิสระในการใช้งานและติดตั้งเครือข่าย เทคโนโลยี WLAN ทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในบ้านหรือสำนักงานเข้าด้วยกันหรือต่อเข้ากับเครือข่ายไม่จำเป็นจะต้องใช้สายนำสัญญาณให้ยุ่งยากและดูเกะกะอีกต่อไป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกันหรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่ในรัศมีของสัญญาณได้อย่างอิสระ

เทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านสื่อไร้สายที่รู้จักกันมีอยู่หลายเทคโนโลยีเช่น Bluetooth , IEEE 802.11, IrDA, Hiper LAN, Home RF, และ GRPS เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับ WLAN คือเทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและถูกลงเรื่อยๆ อีกทั้งมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูง ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน IEEE 802.11 WLAN ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ และมีแนวโน้มว่าในอนาคตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ จะมีอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ติดตั้งจากโรงงานหรือ Built-in มาด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม ความง่ายและสะดวกต่อการติดตั้งและใช้งานของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ก็นำมาซึ่งความไม่ปลอดภัยของเครือข่ายด้วยเช่นกัน อีกทั้งเทคโนโลยี IEEE 802.11 WLAN อยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น (ยังไม่ถึงจุดสมบูรณ์และอิมตัว) ทำให้ยังมีช่องโหว่ด้านความปลอดภัยอีกมาก ดังนั้นผู้ที่เลือกใช้ IEEE 802.11 WLAN ควรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและตระหนักถึงช่องโหว่ต่าง ๆ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยอย่างเหมาะสม

3.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1997 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือข้อกำหนด (Specification) สำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่สาธารณะ 2.4 และ 5 GHz, และ อินฟราเรด (Infarred) (1 และ 2 Mbps เท่านั้น) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีกลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple

Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ยังกำหนดให้มีทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

3.3.2 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1997 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยสื่ออินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุที่มีความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย WLAN ได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i

3.3.2.1 IEEE 802.11b

คณะทำงานชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี ค.ศ. 1999 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น IEEE 802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย, และเตาไมโครเวฟเป็นต้น ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นี้และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatability Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่น ๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

3.3.2.2 IEEE 802.11a

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี ค.ศ.1999 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดเล็กค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร ใ้สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN มาก

3.3.2.3 IEEE 802.11g

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11g ได้ให้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (Backward-Compatible) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายหากมีราคาไม่แพงจนเกินไปและน่าจะมาแทนที่ IEEE 802.11b ในที่สุด

3.3.2.4 IEEE 802.11e

คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer(Media Access Control Layer) ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ Quality of Service สำหรับ application เกี่ยวกับมัลติมีเดีย (Multimedia) เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะกรรมการชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้ (May 2003)

3.3.2.5 IEEE 802.11i

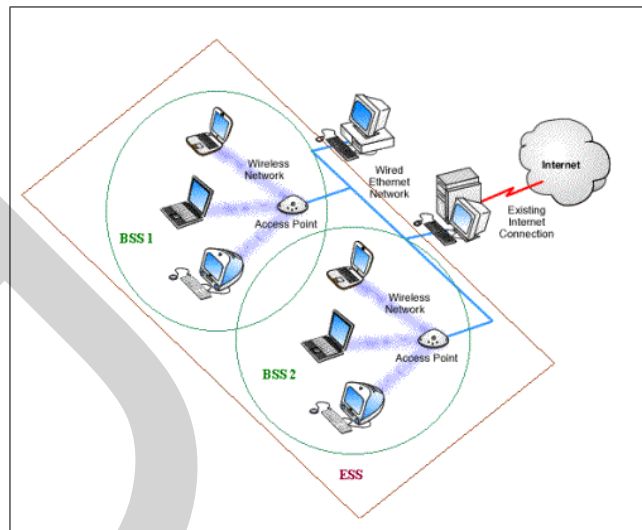
คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วย key ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะกรรมการชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้ (May 2003)

3.3.3 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้ 2 ลักษณะคือ โหมด Infrastructure และ โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

3.3.3.1 โหมด Infrastructure

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ในโหมด Infrastructure นี้เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภท ได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop, หรือ PDA ต่างๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น (ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่าย IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมด Infrastructure มีพื้นฐานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อ (Forward) ข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้



รูปที่ 3.4 แสดง BSS และ ESS

Basic Service Set (BSS)

Basic Service Set (BSS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่มีสถานีแม่ข่าย 1 สถานี ซึ่งสถานีผู้ใช้งานในขอบเขตของ BSS นี้ทุกสถานีจะต้องสื่อสารข้อมูลผ่านสถานีแม่ข่ายดังกล่าวเท่านั้น

Extended Service Set (ESS)

Extended Service Set (ESS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่ประกอบด้วย BSS มากกว่า 1 BSS ซึ่งได้รับการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน สถานีผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายจาก BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS หนึ่งได้โดย BSS เหล่านี้จะทำการ Roaming หรือติดต่อสื่อสารกันเพื่อทำการโอนย้ายการให้บริการสำหรับสถานีผู้ใช้งานดังกล่าว

3.3.3.2 โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ปิดคือไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้นี้สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่นๆ ในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้งานจะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่น ๆ ได้



รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานในโหมด Ad-hoc หรือ Peer-to-Peer Mode [11]

3.4 บลูทูธ (Bluetooth)

บลูทูธ (Bluetooth) คือมาตรฐานของเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ที่ใช้คลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในระยะทางใกล้ๆ ไม่เกิน 10 เมตร วัตถุประสงค์ของการใช้ Bluetooth คือเพื่อใช้แทนสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อทั้งหมด คำว่า Bluetooth มาจากชื่อของกษัตริย์ของเดนมาร์ก Harald Bluetooth ซึ่งเป็นกษัตริย์องค์ที่สำคัญมากของชาวเดนมาร์ก

3.4.1 การทำงานของ Bluetooth

Bluetooth ใช้ช่วงความถี่ที่ 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific, and Medical) และใช้เทคโนโลยีที่ชื่อว่า FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) ในการสื่อสาร หลักการทำงานคือแบ่งช่องสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 2.402 GHz ถึง 2.480 GHz นี้ออกเป็น 79 ช่อง และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ในการส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ตัวอย่างเช่น ใช้ช่องที่ 1 ช่องที่ 2 จนไปถึงช่องที่ 79 แล้ววนเข้ามาช่องที่ 1 อีกครั้ง จนครบ 1,600 ครั้ง เหมือนระบบโทรศัพท์ไร้สาย (Coreless Telephone) ซึ่งประกอบด้วย Handset แบบไร้สาย และ Base Unit ที่ต้องต่อเชื่อมกับสายโทรศัพท์ สามารถใช้ได้ในระยะทางใกล้ๆ เช่น ภายในบ้าน ถ้าสังเกตในส่วนของ Handset จะมีปุ่มให้ผู้ใช้งานเลือกเปลี่ยนคลื่นความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Handset กับ Base Unit ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นทำให้เสียงไม่ชัด หรือขาดหายได้ แต่ระบบ Bluetooth จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น

รูปแบบของการใช้งานบลูทูธแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1. ใช้ Bluetooth แทนสายเคเบิลต่าง ๆ (Cable Replacement)
2. ใช้ Bluetooth สร้างระบบเครือข่ายขนาดเล็กที่เรียกว่า Pico-Network หรือ PAN (Personal Area Network)
3. ใช้ Bluetooth เป็นช่องทางในการเข้าถึงข้อมูลในระบบเครือข่ายหลัก (Access Networking)

เมื่อเทียบกับการใช้อินฟราเรดในการส่งข้อมูลแล้ว การใช้บลูทูธมีข้อดีกว่าการรับส่งข้อมูลแบบอินฟราเรด ระบบอินฟราเรดใช้แสงเป็นสื่อในการติดต่อ ดังนั้นเครื่องรับและเครื่องส่งแบบอินฟราเรดจะต้องปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน และห้ามมีสิ่งกีดขวางระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง แต่บลูทูธใช้สัญญาณวิทยุเป็นสื่อในการติดต่อ ทำให้ผู้รับและผู้ส่งสามารถอยู่จุดใดก็ได้ภายในรัศมีไม่เกิน 10 เมตรตามข้อกำหนด และสามารถส่งข้อมูลผ่านสิ่งกีดขวางได้ เช่น กำแพงห้อง ทำให้บลูทูธมีข้อดีที่เหนือกว่าการส่งข้อมูลโดยใช้อินฟราเรดตัวอย่างของการใช้บลูทูธแทนสายเคเบิล คือ การใช้บลูทูธระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่(Mobile Phone) กับชุดหูฟังและไมโครโฟน (Headset) หรือเป็นพิมพ์และเมาส์แบบไร้สาย ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในท้องตลาดเป็นแบบใช้บลูทูธแทนสายเคเบิลต่าง ๆ (Cable Replacement) [12]

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของมาตรฐานต่างๆ

คุณสมบัติ	Bluetooth	IEEE 802.11 b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11a
มาตรฐาน/ สถานะ	เวอร์ชัน 1.1 อัตราการส่งต่ำ (Low-Rate)	IEEE รับรอง	ฉบับร่าง	IEEE รับรอง
อัตราการส่งข้อมูลมากที่สุด (Max.Data Rate)	1 MB/S	11 MB/S	54 MB/S	24 MB/S Option 54 MB/s (64 QAM)
ระยะทางไกลที่สุด (Max Distance)	10 M	100 M	100 M	50 M
การจัดสรรแถบความถี่ (Frequency Allocation)	2.4 GHz (ISM)	2.4 GHz (ISM)	2.4 GHz (ISM)	5 GHz UN11 (5.15-5.35+5.725-5.825 GHz)

คุณสมบัติ	Bluetooth	IEEE 802.11 b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11a
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth)	1 MHz	25 MHz	25 MHz	20 MHz
จำนวนช่องสัญญาณความถี่วิทยุ (Number Of RF Channels)	79	3	3	12 US 8 EU 4 Japan
ชนิดของการมอดูเลต (Modulation Type)	GFSK	11 Mbaud QPSK (CCK Coding)	OFDM 64+CCK (Legacy)	COFDM BPSK; QPSK; 16 QAM
การกระจาย (Spreading)	DS-FH	CCK	OFDM	OFDM
ความไวของเครื่องรับ (Required Receiver Sensitivity)	-70 dBm $\text{Ber} < 10^{-3}$	-76 dBm $\text{BER} < 8 \times 10^{-2}$	-76 dBm (22 Mb/s) ถึง -65 dBm (54 MB/S) $\text{BER} < 10^{-5}$	-82 dBm (6 Mb/s) ถึง -65 dBm (54 Mb/s) $\text{BER} < 10^{-5}$

3.5 เทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม

3.5.1 IP STAR สูดยอดเทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม

ดาวเทียม IP STAR มีกำหนดการเริ่มให้บริการประมาณต้นปี ค.ศ.2004 และมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย และออสเตรเลีย ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีแนวโน้มการขยายตัวทางด้านโทรคมนาคมอย่างรวดเร็ว โครงการดาวเทียม IP STAR หรือ โครงการ Broadband Satellite ได้เริ่มคิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีของไอพีสตาร์มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1997 เพื่อรองรับการใช้งานด้านบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียมโดยตรง ซึ่งเทคโนโลยีของไอพีสตาร์ จัดเป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียมที่ก้าวหน้ามากที่สุดในโลก และมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย และออสเตรเลีย ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีแนวโน้มการขยายตัวทางด้านโทรคมนาคมอย่างรวดเร็ว และเป็นตลาดเป้าหมายที่สำคัญของโครงการ IP STAR Broadband Satellite

ตัวดาวเทียม (IP STAR) ใช้เทคโนโลยีการกระจายคลื่นแบบรังสีเหมือนกับที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผสมกับระบบจานสายอากาศดาวเทียมแบบใหม่ ทำให้ดาวเทียม IP STAR

สามารถนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาก

3.5.2 รายละเอียดของโครงการดาวเทียม IP STAR

1. ตำแหน่งวงโคจรอยู่ที่ 120 องศาตะวันออก โดยใช้แถบความถี่ Ku/Ka-Band

- โดยเลือกใช้ Ku-Band สำหรับ User Beams (Spot, Shaped และ Broadcast Beam) เพราะว่าจะมีขนาดสายอากาศ และการลดทอนเนื่องจากฝนอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการเชื่อมต่อของผู้ใช้
- และเลือกใช้ Ka-Band สำหรับ Gateway Beams เพราะว่าจะมีแบนด์วิดท์ที่มากพอสำหรับรองรับบริการบรอดแบนด์ได้

2. เป็นดาวเทียมแบบ Multiple Beams ที่ประกอบด้วย

- User Spot Beams สำหรับการใช้งานแบบ Narrow-Cast และใช้ Frequency Reuse เพื่อให้มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้สูงสุด
- Shaped Beams สำหรับการใช้งานแบบ Narrow & Broadcast เหมาะกับพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ
- Broadcast Beams สำหรับการใช้งานแบบ Multicast และ Broadcast ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของดาวเทียม

3. Narrow-Cast User Beams ประกอบด้วย

- Ku-band Spot Beams จำนวน 84 บีมและ Shaped Beams จำนวน 3 บีม
- แถบความถี่สำหรับ Uplink คือ 13.75 – 14.50 GHz และแถบความถี่สำหรับ Downlink คือ 10.95 - 11.20 GHz, 12.20 – 12.75 GHz

4. Regional Broadcast Beams ประกอบด้วย 7 บีม ใช้แถบความถี่ 11.5 – 11.7 GHz และมีความจุ 160-200 Mbps/beam ทำให้สามารถส่งช่องสัญญาณวิดีโอได้มากกว่า 100 ช่อง/บีม

5. Ka-Band Gateway Beams ประกอบด้วย 18 Spot Beams โดยใช้แถบความถี่ Uplink คือ 27.0 – 30.05 GHz และแถบความถี่ Downlink คือ 18.3 – 20.2 GHz สถานีที่ตั้งเกตเวย์ของไอฟิสตาร์มีจำนวนทั้งสิ้น 18 แห่ง ในประเทศไทยอยู่ที่ปทุมธานี

6. Beam Capacity

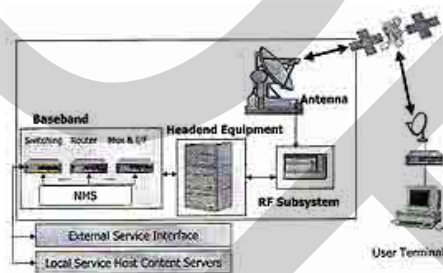
- Spot และ Shaped Beams จะมี 2-Way Aggregate Capacity มากกว่า 40 Gbps โดยคำนวณที่สภาวะอากาศแจ่มใส (Clear Sky) และใช้งานสายอากาศขนาด 120 cm

สำหรับ Spot Beams และ 1.8 m สำหรับ Shaped Beams ความจุนี้เทียบได้ประมาณ 20 เท่าของดาวเทียมปัจจุบัน

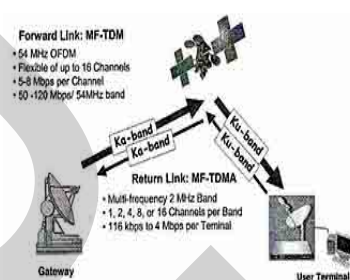
- Broadcast Beams จะมี Aggregate Capacity 1.1 Gbps โดยใช้จานสายอากาศขนาด 120 cm และคำนวณที่ขอบของพื้นที่ให้บริการในสภาวะที่มี Rain Fade หรือการลดทอนเนื่องจากฝน และ ความสามารถรองรับข่ายเชื่อมโยง (Link Availability) 99.5%

7. มีการใช้เทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า Dynamic Resource Management หรือ Dynamic Link Allocation (DLA) ซึ่งจะทำการปรับแต่ง Modulation, Coding Rate, Gain และ Capacity ให้สอดคล้องกับสภาวะของอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้รับค่า Link Availability สูงสุด

8. รูปแบบ Configuration และ Air Interface ของระบบ IP STAR เป็นดังในรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 IP STAR System Configuration



รูปที่ 3.7 IP STAR System Air Interface

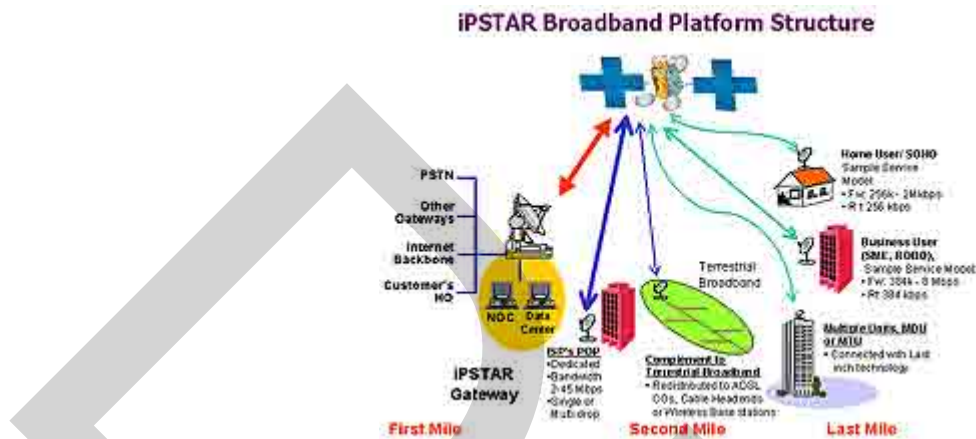
9. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณปลายทาง (User Terminal) ของ IP STAR ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก

1) ส่วนที่เป็น Indoor Unit (IDU) หรือ IP STAR Satellite Modem จะมีอยู่ 4 รูปแบบคือ PCI Card, Enterprise Series, Professional Series และ VoIP Series

2) ส่วนที่เป็น Outdoor Unit (ODU) ประกอบไปด้วย

- Antenna (0.75m – 1.8m), Block Upconverter (BUC) (1W-2W), Low Noise Block-Downconverter (LNB), Feed Assembly (Co-pol หรือ X-pol), Antenna Stands

3.5.3 การประยุกต์ใช้งานและการให้บริการของดาวเทียม IP STAR



รูปที่ 3.8 การให้บริการบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียมของ IP STAR

3.5.3.1 มัลติมีเดีย (Multimedia)

- ไอพีสตาร์เป็นระบบเครือข่ายดาวเทียมที่สามารถให้บริการบรอดแบนด์แบบ 2 ทาง บน Internet Protocol (IP) Platform เพื่อใช้ในการเข้าอินเทอร์เน็ตตามปกติ รวมถึงการใช้การประยุกต์ใช้งานอื่นๆ บน IP Platform และการต่อเข้าสู่อินเทอร์เน็ต เป็นแบบ “Always On”
- อุปกรณ์ปลายทางของไอพีสตาร์สามารถใช้ในการรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 8 Mbps ในด้านรับ และ 2.5 Mbps ในด้านส่ง
- ไอพีสตาร์จึงสามารถรองรับการสื่อสารทั้งข้อมูล ภาพ และเสียงได้ โดยไม่ถูกจำกัดด้วยความคับคั่งของข่ายสายภาคพื้นดิน และยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่เครือข่าย IP จากที่ใด ๆ ก็ได้ในกรณีที่ข่ายสายภาคพื้นดินยังไม่ถึง
- ผู้ใช้สามารถใช้ไอพีสตาร์ร่วมกับการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาผ่านอินเทอร์เน็ต (E-learning), การถ่ายทอดสด (Live Broadcast), การเลือกรับชมรายการวิดีโอตามความต้องการ (Video on Demand), การประชุมทางไกลด้วยภาพผ่านดาวเทียม (Video Conference), คอมพิวเตอร์เกมส์ (Interactive Computer Games), การดาวน์โหลดข้อมูล และอื่น ๆ

3.5.3.2 การบริการด้านอินเทอร์เน็ต

บริการของไอพีสตาร์เป็นเครือข่ายส่งตรงถึงผู้ใช้ปลายทาง (Last-Mile Access) ซึ่งสนับสนุนการเชื่อมต่อกับระบบการเข้าถึงผู้ใช้งานรายบุคคล (Last-Inch) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้อินเทอร์เน็ต

- ไอพีสตาร์ให้ความยืดหยุ่นในการใช้แบนด์วิดท์ ช่วยให้ผู้ใช้งานมีโอกาสเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตตามความต้องการของแต่ละบุคคล ด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าปกติได้ (Burstable Speed – On Demand) จึงให้ความสะดวกและรวดเร็วแก่ผู้ให้บริการ หรือ Service Provider ในการให้บริการอินเทอร์เน็ต
- ไอพีสตาร์ช่วยให้ผู้ใช้งานที่มีบริการโรมมิ่งอินเทอร์เน็ต สามารถเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้

3.5.3.3 การประชุมทางไกลด้วยภาพผ่านดาวเทียม

ไอพีสตาร์สำหรับการใช้งานด้านการประชุมทางไกลด้วยภาพผ่านดาวเทียม

- การประชุมทางไกลด้วยภาพผ่านดาวเทียม (Video Conference:VDC) จัดเป็นการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญอย่างหนึ่งในการให้บริการบรอดแบนด์ของไอพีสตาร์ทำให้การใช้งาน Video Conference เป็นไปอย่างง่ายดายในทุกพื้นที่ที่เครือข่ายดาวเทียมครอบคลุมถึงด้วย IP Network ของไอพีสตาร์
- ไอพีสตาร์รองรับการใช้งาน Video Conference ในแบบแม่ข่าย/ลูกข่าย (Client/Server) ที่กำลังแพร่หลายได้
- เปรียบเทียบกับ Video Conference ในรูปแบบเดิมซึ่งจะต้องมีลักษณะเป็นการจัดแบบห้องประชุม(Room-based Video Conference) ผ่านระบบ ISDN แล้วจะพบว่า การทำ Video Conference ด้วยไอพีสตาร์จะสะดวกรวดเร็วกว่ามาก ทั้งในด้านการเตรียมอุปกรณ์ส่งภาพและเสียง และการจัดวงจรเชื่อมโยงระหว่างผู้เข้าร่วมประชุม โดยเพียงแค่ติดตั้งอุปกรณ์ปลายทางของไอพีสตาร์ในจุดที่ต้องการใช้งาน

3.5.3.4 บริการด้านเสียง

ระบบไอพีสตาร์รองรับการให้บริการด้านเสียงซึ่งถือเป็นบริการสื่อสารโทรคมนาคมที่ยังคงแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน โดยอุปกรณ์ปลายทางมีรุ่นที่ออกแบบสำหรับการใช้งานด้านเสียงโดยเฉพาะ (IP STAR Voice Box)

คุณสมบัติของไอพีสตาร์สำหรับบริการด้านเสียง คือ

- Voice Box ถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานสื่อสารทางเสียง/แฟกซ์ได้โดยตรง โดยรวมเอาฟังก์ชันของบริการเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Voice over IP) และ Satellite Modem
- สามารถต่อใช้งานได้กับอุปกรณ์ Voice over IP มาตรฐาน ทั้ง IP Phone และ VoIP Gateway
- สนับสนุนการทำงานของ Voice Mail หรือ Fax Mail Server [37]

3.6 บทสรุป

โดยสรุปแล้วสามารถกล่าวได้ว่า มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่หลัก ๆ ทั่วโลก ต่างมีแนวทางที่ชัดเจนในการพัฒนาเข้าสู่ยุค 3G โดยอาจมีความแตกต่างในรายละเอียดทางด้านเทคนิคบ้าง ขึ้นอยู่กับความพร้อมของเครือข่ายในปัจจุบัน ความพร้อมของเครื่องถูกขายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และความพร้อมในการให้บริการแบบ Non-Voice ของผู้ให้บริการภายในเครือข่ายของตนซึ่งการก้าวสู่ยุค 3G สำหรับโครงข่าย GSM ซึ่งเป็นโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งมีจำนวนผู้ให้บริการมากที่สุดในโลก และเมื่อพัฒนายุค 3G สมบูรณ์แล้วต่อไปในอนาคตจะมีการพัฒนาต่อก้าวเข้าสู่ยุคที่ 4 (4G) ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 4

การคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต

4.1 แนวโน้มของระบบสื่อสารไร้สายและการให้บริการต่าง ๆ ในอนาคต

โครงข่ายไร้สายและการให้บริการต่าง ๆ ในอนาคต จะมีความซับซ้อนและหลากหลายอย่างมาก เมื่อเทียบกับปัจจุบัน ซึ่งขณะนี้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงยุค 2.5G และเริ่มเข้าสู่ยุค 3G แล้ว ดังนั้นในอนาคต การโรมมิ่งข้ามโครงข่าย (Global Roaming) และความหลากหลายในการบริการส่งข้อมูลมัลติมีเดีย จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบว่าควรจะมีการบริหารจัดการโครงข่ายอย่างไร

ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปนี้ผู้ให้บริการระบบโครงข่ายไร้สาย จำเป็นต้องให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การบริหารจัดการโครงข่ายมีแนวโน้มที่เรียกว่าเป็นมิตรต่อผู้ใช้งานมากขึ้น จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านกระบวนการจัดการโครงข่ายและการบริการรูปแบบใหม่ ๆ เกิดขึ้น ดังนั้น จะเห็นได้ว่านอกจากจะมีการพัฒนาในส่วนของอุปกรณ์โครงข่ายและอุปกรณ์ด้านโทรคมนาคมแล้วยังต้องมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการควบคู่กันไปด้วย

ในการพัฒนาระบบโครงข่ายเซลลูลาร์และการให้บริการต่าง ๆ ในยุค 3G ได้ทำเสร็จสมบูรณ์เมื่อหลายปีก่อนที่ผ่านมา โดยถือว่าประสบความสำเร็จในเรื่องการโรมมิ่งข้ามโครงข่ายและการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง (มากกว่า 344 kbps) แต่เนื่องจากปัญหาเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นทั่วโลกทำให้การวางโครงข่าย 3G ถูกเลื่อนออกไปก่อน และมีการวางโครงข่ายที่ใช้เทคโนโลยี 2.5G แทน ผู้ให้บริการในประเทศต่าง ๆ ในทวีปยุโรปและในประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่จะใช้โครงข่ายเซลลูลาร์ระบบ GSM-based GPRS และระบบ CDMA-based IxRTT/VO ซึ่งสามารถเปิดให้บริการต่าง ๆ ที่ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของผู้ใช้บริการ หรือที่เรียกว่า Location-based Service และมีการบริการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว ขึ้นไปถึง 56 kbps ในส่วนเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความสลับซับซ้อนและมีคุณสมบัติต่าง ๆ มากขึ้น เช่น เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีกล้องถ่ายรูปในตัวสามารถถ่ายภาพเก็บไว้ หรือจะส่งภาพถ่ายผ่านโครงข่ายไปให้ผู้อื่นก็ได้ ในปัจจุบันประเทศต่าง ๆ ได้มีการวางโครงข่ายยุค 3G และเปิดให้บริการไปเรียบร้อยแล้วรวมทั้งประเทศไทยด้วย โดยในประเทศไทยมีการสื่อสารแห่งประเทศไทยเป็นผู้วางโครงข่ายระบบ CDMA2000 1x และให้บริษัทททท. ชีเอที ไวร์เลส มัลติมีเดีย จำกัด เป็นผู้จัดทำตลาด ในส่วนกรุงเทพฯ และภูมิภาค 25

จังหวัดภายใต้แบรนด์ Hutch โดยระบบ CDMA2000 1x ได้พัฒนามาจากระบบ cdmaOne สามารถให้บริการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วขึ้นไปถึง 144 kbps

สำหรับโครงข่ายไร้สาย นอกจากเทคโนโลยีโครงข่ายเซลลูลาร์แล้ว ยังมีเทคโนโลยีระบบแลนไร้สาย (Wireless LANs, WLANs) ที่รองรับบริการรับส่งข้อมูลเทียบเท่ากับโครงข่ายเซลลูลาร์ ยุค 2.5G - 3G โดยมีหนังสือทางด้านเทคนิค และบทความต่าง ๆ รวมทั้งงานประชุมทางด้านวิชาการที่ได้หยิบยกเอาระบบ WLANs และ 3G มาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการวางโครงข่าย WLANs ไม่ได้ทำเฉพาะในสำนักงานขนาดเล็กหรือขนาดกลางเท่านั้น แต่กำลังมีการวางโครงข่าย WLANs ในพื้นที่ธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะที่มีขนาดใหญ่ เช่น สนามบิน ห้างสรรพสินค้า และย่านชุมชนต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งเมื่อวางโครงข่ายเรียบร้อยแล้วก็สามารถเปิดให้บริการ WLANs แบบสาธารณะต่อผู้ใช้ได้ ในการรวมโครงข่ายเข้าด้วยกันของระบบต่าง ๆ ด้วยการเชื่อมโยงทั้งโครงข่าย WLANs และโครงข่ายเซลลูลาร์ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไอพี (Mobile IP) จะใช้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของโครงข่ายไร้สายที่มีการสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างรวดเร็ว (Fast Handoff)

ในระบบเซลลูลาร์และ WLANs เราจะพบว่ามีการสถาปนาโครงข่ายไร้สาย และการเปิดให้บริการต่าง ๆ ที่มีความหลากหลาย สถาปนาโครงข่ายไร้สายที่มีความแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น โครงข่าย Ad Hoc และโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks, WSN) ในโครงข่าย Ad Hoc นั้น โหนดต่าง ๆ จะมีการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันได้โดยไม่ต้องพึ่งโครงสร้างที่มีอยู่เดิม โหนดในที่นี่ เช่น PDA, คอมพิวเตอร์พกพา เป็นต้น โครงข่าย Ad Hoc สามารถทำการสร้างโครงข่ายขึ้นมาเองโดยอัตโนมัติตามจำนวนโหนดที่มีอยู่ ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการทำงาน และระดับกำลังส่งในแต่ละโหนด โครงข่าย Ad Hoc สามารถทำการคำนวณและติดต่อสื่อสารพร้อม กับทำงานต่าง ๆ ในระหว่างเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางการทหารได้ โดยสถาปนาโครงข่ายจะมีคุณลักษณะแบบพลวัตรขณะที่มีการดำเนินการอยู่

ส่วนโครงข่าย WSN ก็กำลังได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ไม่เฉพาะแต่ในงานวิจัยเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงกลุ่มอื่น ๆ อีกด้วย เช่น กลุ่มศึกษาด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ด้านการป้องกันภัยสาธารณะ ด้านเวชภัณฑ์ และการทหาร โครงข่าย WSN จะประกอบด้วย เซ็นเซอร์จำนวนมาก จากการที่ประสบความสำเร็จในด้านเทคโนโลยี Micro-Electromechanical System (MEMS) ทำให้เซ็นเซอร์ต่าง ๆ มีขนาดเล็ก ราคาไม่แพง และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังงานต่ำในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ เซ็นเซอร์จะถูกกำหนดให้ปฏิบัติตามฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ เช่น เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวข้องกับด้านสถานะแวดล้อม และส่งไปยังโหนดประมวลผล โครงข่าย WSN จะมีความ

แตกต่างจากโครงข่าย Ad Hoc ที่เห็นได้ชัดคือ จำนวนโหนดที่อยู่ในโครงข่าย ซึ่งอาจมีเป็นพัน ๆ โหนด ทำให้โครงข่าย WSN มีความหนาแน่นของโหนดมาก

จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงถึง โครงข่ายไร้สายและการให้บริการต่าง ๆ ซึ่งในอนาคตจะมีความสลับซับซ้อนและมีลักษณะแบบพลวัตที่จะก้าวเข้าสู่ยุค 4G ซึ่งในบทยานี้จะกล่าวถึงแนวโน้มของการทำงานร่วมกันของระบบ 3G และ WLANs โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่จะต้องมีการพัฒนาไปพร้อมๆกัน เช่น เทคโนโลยี MIMO (Multiple – Input Multiple – Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), MANET (Mobile Ad hoc NETwork), UWB-RT (Ultra-Wideband Ratio Technology), SDR (Softwaer Defined Radio) ซึ่งส่งผลให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหรืออาจจะเรียกว่ามีความอัจฉริยะมากยิ่งขึ้นก็ได้ [15]

4.2 เทคโนโลยีที่ถูกผนวก 3G & WLAN

ระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G ถูกคาดหวังว่าจะสามารถให้บริการต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพในด้านของการบริการที่หลากหลาย คุณภาพของการให้บริการและความคุ้มค่าของราคา เมื่อเทียบกับระบบไร้สายยุค 2G เพื่อให้ถึงเป้าหมายที่วางไว้ ระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G จึงถูกออกแบบให้มีอัตราการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับโครงข่ายสูงขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับยุค 2G

สมาคม International Telecommunication Union (ITU) ได้กำหนดว่า ระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G ต้องสามารถรองรับบริการส่งข้อมูลที่อัตราต่ำสุดเท่ากับ 144 kbps ในขณะที่เครื่องของลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ และ 2 Mbps ในขณะที่เครื่องลูกข่ายอยู่กับที่ นอกจากนี้ระบบ 3G ต้องครอบคลุมพื้นที่การให้บริการที่กว้างโดยเครื่องลูกข่ายสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูง โดยในระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G มีอยู่ 2 มาตรฐานหลักซึ่งเป็นที่กล่าวถึงกันอย่างกว้างขวางคือ Wideband Code-Division Multiple Access (WCDMA) และ CDMA2000

ระบบ WCDMA ได้ให้บริการเป็นครั้งแรก โดยบริษัท NTT DoCoMo ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี ค.ศ. 2001 และต่อมาก็มีการให้บริการในประเทศออสเตรเลีย ออสเตรีย อิตาลี สวีเดน และประเทศสหราชอาณาจักร ส่วนระบบ CDMA2000 เป็นมาตรฐานที่มีการพัฒนามาจากมาตรฐาน IS-95 ทั้งนี้ระบบ CDMA 2000 ได้ให้บริการเป็นครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 2000 ในประเทศเกาหลี โดยบริษัท SK Telecom และปัจจุบันได้เปิดให้บริการในประเทศต่าง ๆ ในทวีปเอเชีย อเมริกาและยุโรป รวมทั้งประเทศไทยด้วย

ในช่วง 2-3 ปีมานี้ พบว่าอัตราการเปลี่ยนระบบสื่อสารไร้สายจากยุค 2G เป็นยุค 3G โดยบริษัทผู้ให้บริการในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกมีไม่มากนัก ส่วนมากจะทำอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อศึกษา

วิเคราะห์แนวโน้มของตลาดผู้ใช้ควบคู่กันไปด้วย ซึ่งผิติดกับระบบแลนไร้สาย (WLAN) ที่มีอัตราการเติบโตของการให้บริการที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากความนิยมในการใช้บริการอินเทอร์เน็ต และเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา (notebook, labtop) มีราคาถูกลง

ระบบ WLAN มีอยู่ 2 มาตรฐานหลักคือ IEEE 802.11 และ HiperLAN โดยที่มาตรฐาน IEEE 802.11 เดิมได้กำหนดในปี ค.ศ.1997 ซึ่งใช้แถบความถี่ย่าน 2.4 GHz และมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 2 Mbps ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลถึง 54 Mbps โดยใช้แถบความถี่ย่าน 5 GHz นอกจากอัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้นแล้ว ยังมีการปรับปรุงในด้านคุณภาพการบริการ (QoS) และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลอีกด้วย ส่วนมาตรฐาน HiperLAN ถูกกำหนดโดย European Telecommunications Standards Institute (ETSI) สามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลถึง 54 Mbps โดยใช้แถบความถี่ย่าน 5 GHz ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับมาตรฐาน IEEE 802.11

WLAN มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ ประมาณ 30-300 เมตร ดังนั้นพื้นที่ที่เหมาะสมกับการให้บริการระบบ WLAN จึงเป็นพื้นที่ที่ผู้ใช้มีความต้องการใช้บริการระบบ WLAN ในปริมาณมาก แต่เดิมระบบ WLAN ได้ถูกออกแบบเพื่อเพิ่มการเชื่อมต่อกับระบบ LAN ให้สะดวกขึ้นภายในองค์กร หรือบริษัทต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันบริการระบบ WLAN นี้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมาก จึงขยายการให้บริการไปยังพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ตามสำนักงานขนาดเล็ก สำนักงานตามบ้าน สถาบันการศึกษา ตลอดจนพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของปริมาณความต้องการใช้บริการ WLAN จำนวนมาก เรียกว่า Hotspot ซึ่งได้แก่ บริเวณสนามบิน โรงแรม ศูนย์การค้า ศูนย์จัดนิทรรศการ เป็นต้น มีการคาดการณ์ว่าทั่วโลกจะมีการติดตั้งระบบ WLAN เพื่อให้บริการในพื้นที่ hotspot ประมาณ 70,000 จุด ภายในสิ้นปี ค.ศ. 2003

จากที่ได้กล่าวมาจึงมีคำถามว่า ระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G และระบบ WLAN จะต้องมีการแข่งขันกันทางธุรกิจเพื่อแบ่งส่วนแบ่งการตลาด หรือจะสามารถร่วมมือกันทางธุรกิจเพื่อเสริมซึ่งกันและกัน หัวข้อนี้ได้รับความสนใจทั้งในกลุ่มอุตสาหกรรมทั้งผู้ผลิต ผู้ให้บริการ และสถาบันวิจัยต่าง ๆ ทั้งสองระบบให้บริการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงแบบไร้สายด้วยกันทั้งคู่ ดังนั้นจึงดูเหมือนว่าน่าจะเป็นคู่แข่งกันทางธุรกิจ อย่างไรก็ตามทั้งสองระบบรองรับการให้บริการด้านแอปพลิเคชันที่เป็นเฉพาะกลุ่มอยู่ด้วย ระบบ WLAN สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการในบริเวณพื้นที่ขนาดเล็ก และข้อจำกัดในเรื่องความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย ดังนั้น WLAN จึงเหมาะสำหรับให้บริการในพื้นที่ hotspot ซึ่งเป็นจุดที่มีความหนาแน่นของจำนวนผู้ใช้ที่ต้องการใช้บริการการสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สายความเร็วสูง โดยที่ผู้ใช้ไม่ได้มีการเคลื่อนที่มากนัก ขณะเดียวกันระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าและเครื่องลูกข่ายสามารถ

เคลื่อนที่ที่ความเร็วสูง จึงเป็นระบบที่เหมาะสมให้บริการในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของปริมาณความต้องการใช้บริการขนาดปานกลางหรือต่ำ โดยที่ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ได้ในความเร็วสูง จากลักษณะเฉพาะของทั้งสองระบบ ระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G และระบบ WLAN จึงเป็นคู่แข่งกันทางธุรกิจกัน เมื่อมองในแง่ของส่วนแบ่งการตลาดที่เป็นระบบให้บริการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงด้วยกันทั้งคู่ ขณะเดียวกันก็สามารถทำธุรกิจที่เสริมซึ่งกันและกันได้ด้วยเมื่อมองในแง่ของคุณลักษณะเฉพาะของระบบและด้านอื่น ๆ การรวมกันของสองระบบนี้ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและมีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะทำให้การให้บริการสื่อสารไร้สาย และบริการรับส่งข้อมูลไร้สายความเร็วสูงเพื่อรองรับกลุ่มประชากรขนาดใหญ่เกิดเป็นจริงขึ้นมาได้ โดยเครื่องลูกข่ายจะเป็นแบบ Multimode 3G/WLAN ซึ่งสามารถรองรับบริการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงที่มีแถบความถี่กว้าง เมื่ออยู่ในพื้นที่การบริการของระบบ WLAN และยังสามารถรับบริการจากระบบ 3G ได้ เมื่ออยู่ในพื้นที่การบริการของระบบ 3G และเพื่อให้ผลของการรวมกันของทั้งสองระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ขณะมีผู้ใช้บริการอยู่และมีการเปลี่ยนระบบนั้น ผู้ใช้ยังคงสามารถใช้บริการอย่างต่อเนื่องได้ หรือการเปลี่ยนระบบเป็นไปอย่างราบเรียบและเงียบจนผู้ใช้ไม่รู้สึกรู้สว่ามีการเปลี่ยนระบบเกิดขึ้นขณะที่ใช้บริการอยู่ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องทำการวิจัยในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีสองกลุ่มที่กำลังมีการดำเนินการอยู่ในขณะนี้คือ 3G Partnership Project (3GPP) และ 3GPP2

3GPP เป็นกลุ่มทำงานที่รับผิดชอบกำหนดคุณลักษณะของระบบ GSM และ UMTS (The Universal Mobile Telecommunications System : มาตรฐานของระบบสื่อสารไร้สายยุค 3G) ส่วน 3GPP2 เป็นอีกกลุ่มทำงานหนึ่งที่รับผิดชอบกำหนดคุณลักษณะของระบบ CDMA2000 ทั้งสองค่ายนี้ได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องที่จะให้ระบบ 3G และ WLAN สามารถทำงานร่วมกันได้ โดยกลุ่ม 3GPP ได้เริ่มเมื่อเดือนกันยายน ปี ค.ศ. 2001 ส่วนกลุ่ม 3GPP2 เพิ่งจะเริ่มศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ ทั้งสองกลุ่มมีความตั้งใจว่าจะนำโพรโทคอลที่ใช้อยู่เดิมมาพัฒนาต่อไป และให้มีผลกระทบต่อมาตรฐาน WLAN น้อยที่สุด เพื่อให้ระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาและวิจัยไม่นานและให้ทันกับความต้องการของตลาด

ในการพัฒนาและวิจัยเพื่อให้ทั้งสองระบบนี้สามารถทำงานร่วมกันได้ จะเกี่ยวข้องกับเรื่องสถาปัตยกรรมระบบ การจัดการด้านการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลภายในระบบ และด้านคุณภาพการบริการ ซึ่งเรื่องต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องมีการกล่าวถึงเสมอในหัวข้อระบบสื่อสารไร้สาย

4.3 ระบบสื่อสารไร้สายยุค 4G

จากความสำเร็จในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ผ่านมามีตั้งแต่ยุค 1G, 2G และ 3G อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเข้าสู่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่ หรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G ซึ่งจะเพิ่มสมรรถนะโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G กำลังมีการพัฒนาให้มีสมรรถนะที่สูงมากขึ้น เช่น มีการพัฒนาให้โครงข่ายทั้งหมดเป็นแบบ IP (All – IP Networks) คือข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในระบบโครงข่ายจะมีการรับส่งกันผ่านสวิตช์แบบแพ็กเก็ตและการเชื่อมต่อระบบแบบไร้สายนั้นได้มีการพัฒนาให้สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็วที่ 10 Mbps ขึ้นไป และกำลังพยายามที่จะพัฒนาให้ที่อัตราเร็วถึง 30 Mbps ซึ่งสามารถรองรับการส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดียและรองรับการให้บริการต่าง ๆ ทั้งหมดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคก่อน ๆ ซึ่งในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G นี้โครงข่ายต้องมีความฉลาดมากยิ่งขึ้น การบริการต่าง ๆ ที่เปิดให้ผู้ให้บริการมีมากขึ้น และสิ่งที่ตามมาคือผู้ให้บริการจะต้องเพิ่มสมรรถนะและคุณภาพของการให้บริการมีมากขึ้นภายใต้เงื่อนไขของสถานะแวดล้อมที่เหมาะสม

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่ หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G จะสามารถรับส่งข้อมูลที่มีอัตราเร็วขึ้นไปจนถึง 50 – 100 Mbps ซึ่งในอัตรารับส่งข้อมูลมีความเร็วถึงขนาดนี้ ผู้ใช้จึงสามารถใช้บริการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ได้ เช่น รับส่งข้อมูลมัลติมีเดีย แม้ขณะที่อยู่ในรถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นอกจากนี้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G จะสนับสนุนการบริการต่าง ๆ ที่มีลักษณะการบริการทั้งแบบสมมาตรและแบบไม่สมมาตร การบริการแบบสมมาตร (Symmetrical) คือ ข้อมูลมีการรับส่งกันทั้งสองฝ่ายในปริมาณที่เท่า ๆ กัน การบริการแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical Services) คือ ปริมาณการส่งข้อมูลของฝ่ายหนึ่งมีมากกว่าอีกฝ่ายหนึ่ง เช่น ระบบ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) เป็นการใช้บริการอินเทอร์เน็ต ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ใช้บริการจะรับข้อมูลมากกว่าส่งข้อมูล

กฎเกณฑ์สำคัญที่จะทำให้การพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G มีความเป็นไปได้ จะต้องมีการระบุแนวโน้มของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ระบบ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและต้องคำนึงถึง ได้แก่ Voice over IP, ซอฟต์แวร์การจัดการด้านคลื่นความถี่, เครื่องรับส่งบรอดแบนด์ไร้สาย, แพลตฟอร์มของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่, สถาปัตยกรรมโครงข่าย, ระบบไร้สายที่เป็นแบบ IP ทั้งหมด (All-IP Wireless) , การรักษาความปลอดภัย, การเข้ารหัส, การตรวจสอบผู้ใช้บริการ, การเรียกเก็บค่าใช้บริการ, การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเทคโนโลยีโครงข่าย Mobile Ad hoc (MANETS)

แอปพลิเคชัน เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การบีบอัดสัญญาณ เทคนิคการเข้ารหัสที่มีอัตรา การเข้ารหัสแบบพลวัต (Dynamic Variable-rate Codecs), การอินเตอร์เฟสระหว่างผู้ใช้งาน โทรศัพท์เคลื่อนที่อัจฉริยะ, เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่มีลักษณะต่อเนื่องกัน, ภาษาที่ใช้ เขียนโปรแกรมสำหรับบริการต่าง ๆ และเทคนิคในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

การเชื่อมต่อไร้สาย เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การควบคุมคุณภาพของการบริการแบบพล- วัต, การควบคุมความผิดพลาด, เทคนิคการค้นหาเซลล์ที่ความเร็วอัตราสูง, การควบคุมการ เคลื่อนที่บนพื้นฐาน IP, ระบบส่ง แพ็กเก็ต IP, การปรับตัวของข่ายเชื่อมโยง และการส่งคลื่นแสง

การใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ เกี่ยวข้องกับการขยายการใช้คลื่นความถี่ย่าน ไมโครเวฟ, การใช้แถบความถี่ร่วมกัน และแบ่งปันการใช้ความถี่, การกำหนดช่องสัญญาณแบบพล วัต, เทคนิคลดการเกิดสัญญาณรบกวน, โครงสร้างของเซลล์สามมิติที่มีความหนาแน่นสูง (High-Density 3D Cell Structure), สายอากาศแบบ อัลเทรียแบบปรับตัวได้, เทคนิค MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) และเทคนิค OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เทคนิคการจัดการด้านการใช้พลังงาน, เทคโนโลยีด้านอุปกรณ์หน้าจอแสดงฟังก์ชันการทำงานต่างๆ, การจดจำเสียง (Voice Recognition), เทคโนโลยีด้านการผลิตอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์, แพลตฟอร์มของระบบเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการรักษาความปลอดภัย

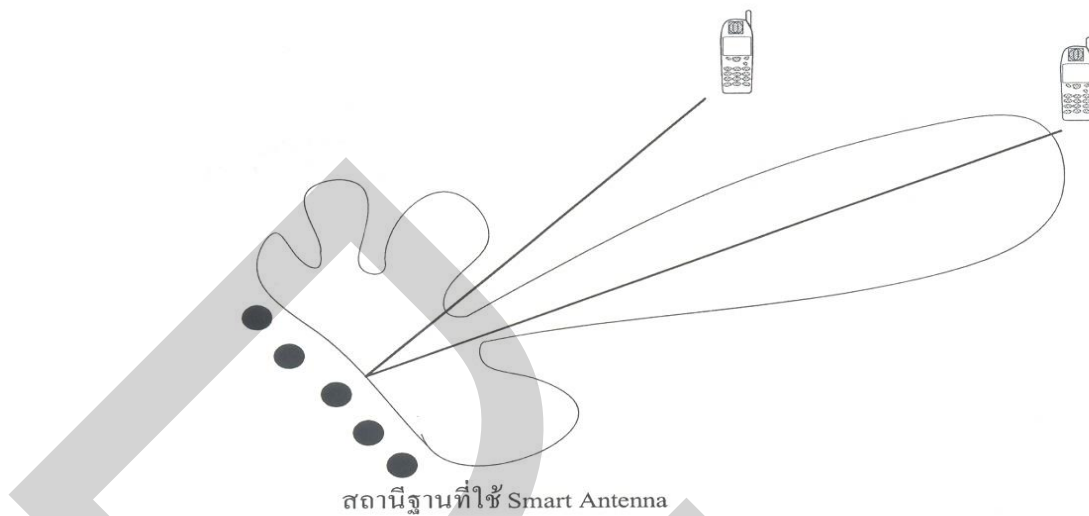
จะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตนั้น จะต้องมีการ พัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และทำให้เกิด การรวมระบบระหว่าง ระบบการเชื่อมต่อแบบบรอดแบนด์ไร้สาย และระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

4.4 แนวโน้มของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4.4.1 เทคนิค MIMO (Multiple – Input Multiple – Output)

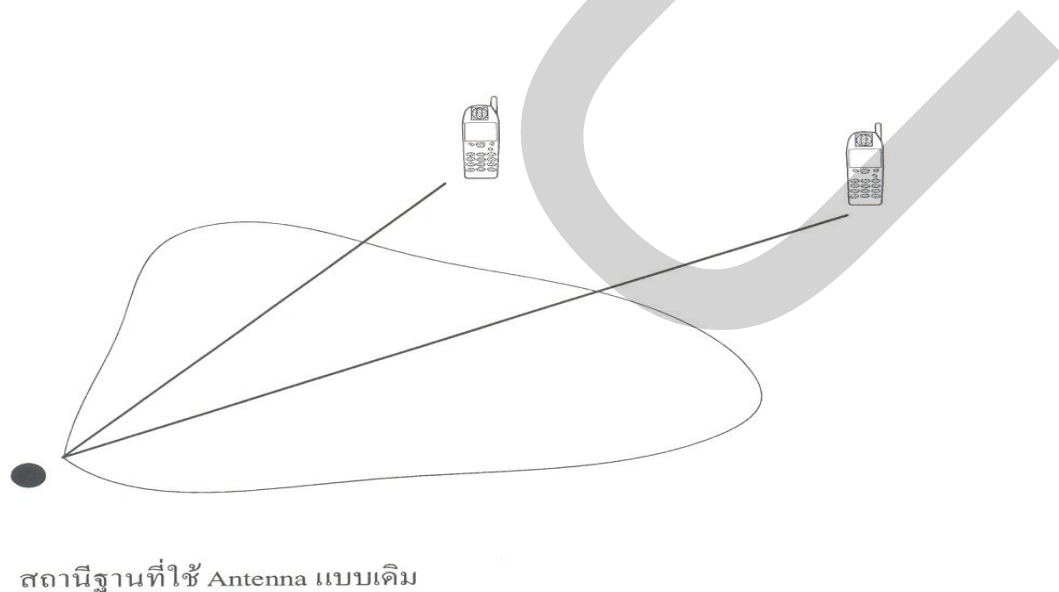
การที่ทำให้อัตราข้อมูลความเร็วสูงเข้าใกล้ Gbps หรือ 1,000,000,000 บิตต่อวินาที สำหรับ โครงข่ายแลนไร้สาย (WLAN) นั้น นับว่าเป็นประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ การออกแบบข่ายเชื่อมโยง ความเร็วสูงที่ให้คุณภาพของการบริการ (QoS) รวมถึงสามารถใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง ถือเป็นหัวข้อหนึ่งที่ท้าทายนักวิจัยเป็นอย่างยิ่ง ณ ขณะนี้

การใช้สายอากาศหลายตัว ณ ภาครับและภาคส่งเป็นที่รู้จักกันในนามของการสื่อสารไร้สาย แบบ MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิผลด้านการ ลงทุนในการที่จะทำให้เกิดข่ายเชื่อมโยงไร้สายด้วยความเร็วขนาด Gbps ได้จริง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างสถานีฐานที่ใช้ Smart Antenna (สายอากาศหลายต้น) และรูปแบบของการแพร่ของคลื่น

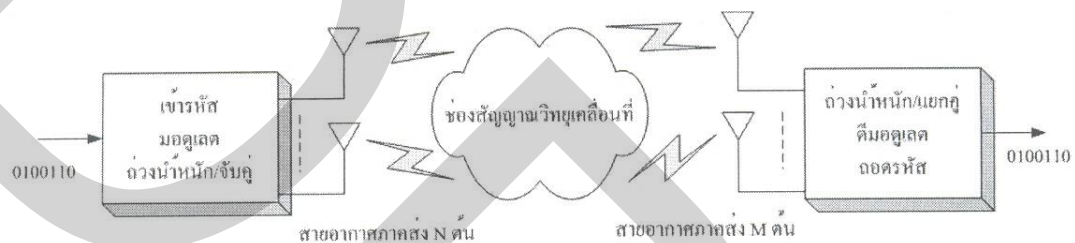
ในรูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของ Smart Antenna ซึ่งคงพอตอบคำถามได้ว่าทำไมถึงใช้สายอากาศหลายต้น นั่นคือ การใช้สายอากาศหลายต้นสามารถปรับทิศทางของลำคลื่นให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ นับว่าเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สายอากาศแบบเดิมดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งมีรูปแบบของการแพร่ของคลื่นแบบไม่เจาะจงเป็นผลให้เกิดสมรรถนะการทำงานที่ไม่ดีนัก เช่น ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน บิตผิดพลาดสูง เป็นต้น



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างสถานีฐานที่ใช้สายอากาศแบบเดิมและรูปแบบของการแพร่ของคลื่น

ด้วยหลักการ Smart Antenna ข้างต้นนำไปสู่การสื่อสารไร้สายแบบ MIMO โดยแนวความคิดเริ่มต้นของการสร้างระบบ MIMO คือ ผลรวมของสัญญาณจากภาคส่งหรือภาครับอันเนื่องมาจากสายอากาศหลายต้นทำให้คุณภาพของข้อมูลหรือประสิทธิภาพลดน้อยลง อีกนัยหนึ่งคือทำให้อัตรารับส่งข้อมูลสูงขึ้น

ระบบ MIMO มีความสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการชดเชยสัญญาณที่ขาดหายไปด้วยสายอากาศต้นอื่นได้ โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบ MIMO สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมระบบสื่อสารไร้สายแบบ MIMO

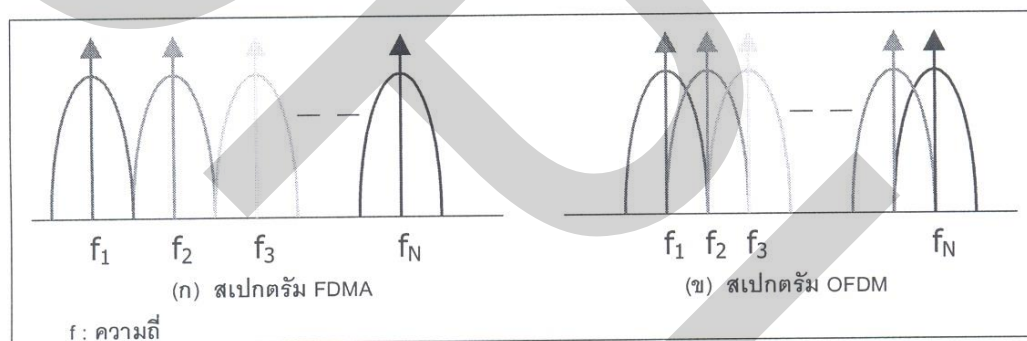
จากรูปที่ 4.3 สัญญาณไบนารีซึ่งในที่นี้คือ 0100110 ส่งผ่านเข้าไปในภาคส่ง ผ่านการเข้ารหัส การมอดูเลตด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying), M-QAM (Multilevel-Quadrature Amplitude Modulation) หรือวิธีการอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดการแยกสัญญาณ โดยที่แต่ละสัญญาณจะได้รับการจับคู่กับแต่ละสายอากาศ และการจับคู่จะมีการถ่วงน้ำหนักแก่สายอากาศแต่ละต้น

เมื่อปรับความถี่ให้สูงขึ้น กรองและขยายสัญญาณ แล้วนำสัญญาณส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยที่ภาครับสัญญาณจะถูกดึงออกโดยสายอากาศแต่ละต้นตามค่าถ่วงน้ำหนักดิมอดูเลต และถอดรหัส เพื่อให้ได้สัญญาณเดิมกลับมา ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการเข้ารหัสและวิธีการจับคู่มีได้หลากหลายขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน

ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่พยายามสร้างระบบแลนไร้สายบรอดแบนด์ ที่มีอัตรารับส่งข้อมูลในหน่วย Gbps สำหรับสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง นอกจากนี้ยังมีการกำหนดใช้ MIMO สำหรับแลนไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยกลุ่มที่เรียกว่า WNG (Wireless Next Generation) อย่างไรก็ตามวิวัฒนาการสู่การสื่อสารไร้สายความเร็วสูงยังคงขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์ด้านความถี่วิทยุหลายช่องสัญญาณและด้านกรรณวิธีสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) [20]

4.4.2 เทคนิค OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

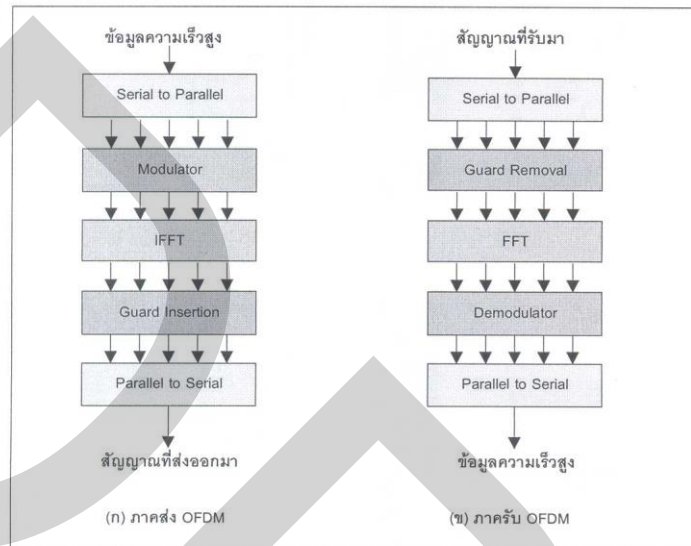
OFDM นั้นย่อมาจากคำเต็มว่า “Orthogonal Frequency Division Multiplexing” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่แบ่งช่องสัญญาณใช้งานออกเป็นหลาย ๆ ช่องย่อยตามความถี่เช่นเดียวกับที่เราแบ่งช่องสัญญาณในเทคโนโลยี FDMA แต่คุณสมบัติพิเศษที่เหนือกว่า FDMA นั้นก็คือคลื่นพาห์ (Carrier) ของช่องสัญญาณใด ๆ จะ Orthogonal กับคลื่นพาห์ของช่องสัญญาณอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมด หมายถึงแถบความถี่หรือสเปกตรัมของแต่ละคลื่นพาห์จะมีค่าที่เฉพาะกับช่องสัญญาณของตัวเองเท่านั้น และจะถูกมองว่าไม่มีค่าที่ช่องสัญญาณอื่น ๆ ทั้งหมดในระบบ โดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษข้อนี้ทำให้ไม่มีการรบกวน (Interference) กันระหว่างคลื่นพาห์ ทำให้สเปกตรัมของแต่ละคลื่นพาห์สามารถทับซ้อน (Overlap) กันได้ต่างจากเทคโนโลยี FDMA ซึ่งนำไปสู่การใช้สเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สเปกตรัม FDMA และ OFDM

นอกจากนี้สัญญาณข้อมูลที่มีอัตราบิตสูงที่เราต้องการส่งออกไปจะถูกแบ่งออกเป็นสัญญาณข้อมูลที่มีอัตราบิตต่ำลงหลาย ๆ อันโดยอาศัยเทคนิคการแปลงข้อมูลแบบอนุกรมมาเป็นแบบขนาน (Serial to Parallel) แล้วจึงนำมามอดูเลต (Modulate) เข้ากับคลื่นพาห์ของช่องสัญญาณต่าง ๆ ที่ได้อธิบายข้างต้น และด้วยเหตุนี้เราจึงอาจเรียก OFDM ว่าเป็นเทคนิคการมอดูเลตแบบหลายคลื่นพาห์ (Multi-Carrier Modulation Technique, MCM) ก็ได้จากนั้นจึงทำการแปลงสัญญาณทางความถี่มาเป็นสัญญาณทางเวลาโดยอาศัยบล็อก IFFT ตามด้วยการแทรกช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval) เพื่อแก้ปัญหาการรบกวนของสัญญาณอันเนื่องมาจากคุณสมบัติการประวิงเวลาอันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath Delay) ของช่องสัญญาณแบบไร้สาย และปิดท้ายด้วยการรวมสัญญาณย่อย ๆ เข้าด้วยกันโดยอาศัยเทคนิคการแปลงข้อมูลแบบ

ขนานมาเป็นแบบอนุกรม (Parallel to Serial) สำหรับที่ภาครับสัญญาณนั้นก็มีขั้นตอนการทำงานที่กลับกันกับทางภาคส่งสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมของการรับส่งแบบ OFDM

จากคุณสมบัติและเทคนิคต่าง ๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นทำให้ปัจจุบันนี้ได้มีการนำเทคโนโลยี OFDM มาพัฒนาเพิ่มเติมโดยผู้ผลิตชั้นนำต่าง ๆ จนกลายเป็น W-OFDM (Wide-Band OFDM), V-OFDM (Vector OFDM) และ Flash OFDM เป็นต้น เพื่อนำมาใช้ในแอปพลิเคชันต่าง ๆ อันได้แก่ การแพร่สัญญาณออดิโอแบบดิจิทัล (Digital Audio Broadcasting, DAB) การแพร่สัญญาณวิดีโอแบบดิจิทัล (Digital Video Broadcasting, DVB) และโครงข่ายไร้สายความเร็วสูง เช่น LAN ไร้สายมาตรฐาน (IEEE 802.11a, IEEE 802.11g และ HiperLAN-2) เป็นต้น ซึ่งในส่วน of แอปพลิเคชันหลังสุดนั้นกำลังได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกในชื่อว่า “Wi-Fi” (Wireless Fidelity) รวมถึงในเมืองไทยเองก็เริ่มมีการให้บริการแล้วเช่นกันตามสถานที่สำคัญ ๆ หลายแห่ง [21]

4.4.3 IEEE 802.16 มาตรฐานสำหรับเทคโนโลยี Wireless MAN

จากการที่ระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ชนิดต่างๆ เริ่มได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายทำให้ความต้องการใช้งานไร้สายบรอดแบนด์ (Broadband Wireless Access, BWA) มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่เมื่อลองตรวจสอบระบบ WLAN อย่างถี่ถ้วนแล้วจะพบว่ามีข้อจำกัดบางประการสำหรับ BWA โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งาน BWA ในที่โล่ง (Outdoor) ทั้งในแง่ของจำนวน

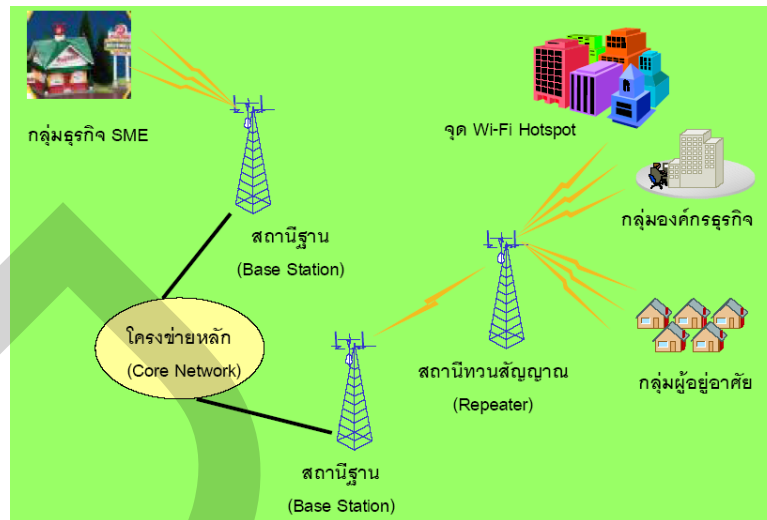
ผู้ที่สามารถใช้งานได้ (Subscriber) แบนด์วิดท์ (Bandwidth) รวมถึงระยะทาง (Range) ทำให้เกิดมาตรฐาน IEEE 802.16 อันเป็นมาตรฐานสำหรับการใช้งานแบบโครงข่ายไร้สายในเมืองหรือ (Wireless Metropolitan Area Network, Wireless MAN) ที่ถูกปรับปรุงจากมาตรฐาน IEEE 802.11 ใหม่ทั้งในรายละเอียดของชั้นกายภาพ (Physical Layer, PHY-Layer) และชั้นควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง (Medium Access Control Layer, MAC-Layer) และด้วยมาตรฐานนี้ทำให้เราสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายเดิม เช่น อีเทอร์เน็ต (Ethernet) ตามมาตรฐาน IEEE 802.3 หรือ WLAN เข้าด้วยกันได้ และยังทำให้สามารถส่งผ่านข้อมูลแบบอินเทอร์เน็ตรไร้สายความเร็วสูงจากสถานีฐาน (Base Station) ไปยังย่านธุรกิจ ย่านที่พักอาศัย หรือจุดชุมชน (Hotspot) ของ Wi-Fi ได้ โดยทั่วไปแล้วสถานีฐานซึ่งอยู่บนหลังคาหรืออยู่ตามอาคารสูงจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลัก (Core Network) แล้วส่งสัญญาณออกไปจากจุดหนึ่งไปหลายๆ จุด (Point-to-Multipoint) ตามตัวอย่างที่แสดงในรูป

4.6

เวอร์ชันแรกของมาตรฐาน IEEE 802.16 ในปี ค.ศ. 2001 นั้นจะใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากคือ 10-66 GHz แต่ต่อมาได้มีการแก้ไขคุณสมบัติบางประการทำให้กลายเป็นมาตรฐาน IEEE 802.16a ที่เพิ่งได้รับการรับรองในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2003 ซึ่งจะใช้งานในช่วงความถี่ที่ต่ำลงมาคือ 2-11 GHz ที่สำคัญคือสามารถรองรับการทำงานแบบที่ไม่ได้อยู่ในระดับสายตา (Non-Line-of-Sight, NLOS) หรือมีสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหนือกว่ามาตรฐาน IEEE 802.16 และในระดับ PHY-Layer ของมาตรฐาน IEEE 802.16a นั้นก็มีการใช้การเชื่อมต่อผ่านอากาศอยู่ 3 แบบคือ

1. Wireless MAN-SCa ใช้การมอดูเลตแบบคลื่นพาห์เดี่ยว (Single Carrier Modulation)
2. Wireless MAN-OFDM แบบ 256 Point ซึ่งใช้คลื่นพาห์ 256 คลื่น
3. Wireless MAN-OFDMA แบบ 2048 Point ซึ่งใช้คลื่นพาห์ 2048 คลื่น

สาเหตุที่ทำให้เทคนิค OFDM ถูกเลือกมาใช้งานนั้นก็เนื่องมาจากสามารถรองรับการทำงานแบบ NLOS ได้ดีในขณะที่ยังคงใช้แถบความถี่ (Spectrum) อย่างมีประสิทธิภาพสูง รายละเอียดของเทคนิค OFDM ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.4.2



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างของเครือข่ายไร้สายในเมือง (Wireless MAN)

คุณสมบัติในระดับ PHY-Layer ของมาตรฐาน IEEE 802.16a ที่สำคัญประการอื่นก็ได้แก่แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth) ที่สามารถปรับค่าได้ เช่น 3.5 MHz, 7 MHz และ 14 MHz เป็นต้น โดยสามารถให้อัตราข้อมูลสูงสุดที่ 63 Mbps (คิดที่แบนด์วิดท์เท่ากับ 14 MHz) ในส่วนของ MAC-Layer นั้นก็ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานของโครงข่ายแบบ Point-to-Multipoint รวมถึงโครงข่ายแบบเมช (Mesh) ทำให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้หลักร้อยคน และรองรับ PHY-Layer ทั้งแบบ TDD (Time Division Duplexing) และ FDD (Frequency Division Duplexing) ในแง่ของคุณภาพการให้บริการหรือ Quality of Service (QoS) ก็สามารทำได้มากกว่าเพียงแค่การจัดลำดับความสำคัญ นอกจากนี้มาตรฐาน IEEE 802.16a ก็ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานแบบ Outdoor NLOS ที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ไกลถึง 50 กิโลเมตร ซึ่งต่างจาก Wi-Fi ที่เหมาะกับการใช้งานแบบ Indoor ที่ครอบคลุมพื้นที่ไม่ไกลมากนัก

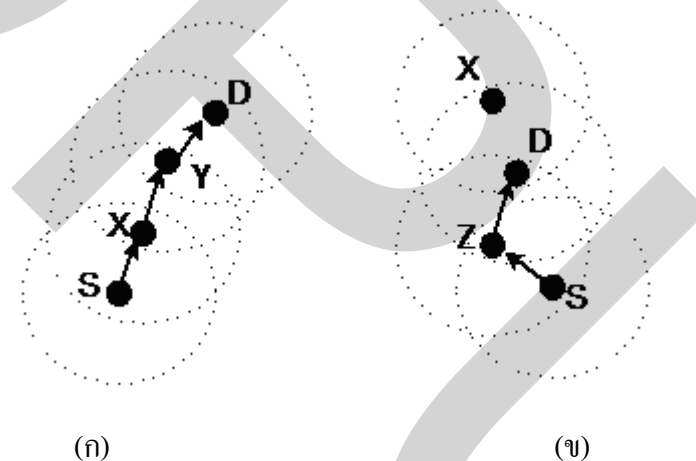
ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการก่อตั้งกลุ่ม WiMAX และ WiMAX Forum ขึ้นมาเพื่อคอยผลักดันการปฏิบัติงานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน IEEE 802.16 สำหรับ Wireless MAN เช่นเดียวกับที่ Wi-Fi ทำสำเร็จมาแล้วกับมาตรฐาน IEEE 802.11 [22]

4.4.4 โครงข่ายเคลื่อนที่ Ad Hoc

โครงข่ายเคลื่อนที่ Ad hoc (Mobile Ad hoc NETwork) หรือเขียนสั้น ๆ ว่า MANET คือ กลุ่มของโหนดเคลื่อนที่ไร้สาย (Wireless Mobile Nodes) รวมกันก่อให้เกิดเป็นโครงข่ายอิสระที่มีโครงสร้างการเชื่อมโยงแบบไร้สายทั้งหมด และมีลักษณะการทำงานแบบพลวัตร (Dynamic

Autonomous Network) โหนดต่าง ๆ จะทำการติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้โดยไม่ต้องผ่านการเชื่อมโยงที่สถานีฐาน (Base Stations) หรือแอ็กเซสพอยต์ (Access Points) ซึ่งก็หมายความว่า โหนดแต่ละโหนดจะเป็นได้ทั้งเราท์เตอร์ (Router) และโฮสต์ (Host) และเนื่องจากโหนดเคลื่อนที่ไร้สายมีข้อจำกัดในการส่งสัญญาณติดต่อกันภายในระยะทางช่วงหนึ่ง ดังนั้นการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดต่าง ๆ ที่อยู่ในโครงข่ายจะมีลักษณะที่เรียกว่า Multiple Hops ในบางครั้งเราจะพบคำว่า โครงข่าย Multiple-Hop (Multi-Hop Network) ซึ่งก็คือ MANET นั่นเอง

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าภายใน MANET มีการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนด S และโหนด D โดยโหนด S ส่งข้อมูลไปยังโหนด D การเชื่อมโยงระหว่างโหนด เป็นดังนี้ $S \rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow D$ ดังรูปที่ 4.7 (ก) และในเวลาต่อมา โหนดต่าง ๆ มีการเคลื่อนที่การเชื่อมโยงระหว่างโหนดเปลี่ยนเป็น $S \rightarrow Z \rightarrow D$ ดังรูปที่ 4.7 (ข)



รูปที่ 4.7 การเชื่อมโยงระหว่างโหนดในโครงข่าย MANET

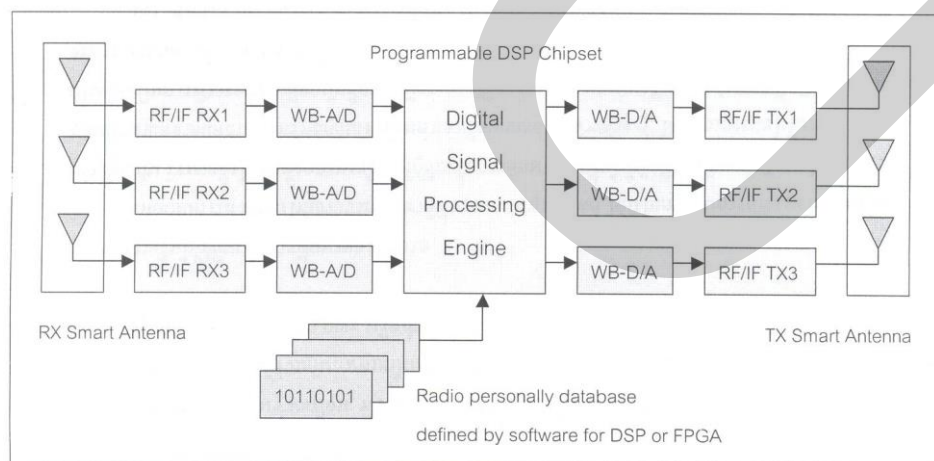
นอกจากนี้ MANET มีลักษณะการติดต่อสื่อสารแบบ Peer to Peer ด้วย หมายความว่า การติดต่อสัญญาณข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางมีการติดต่อกันระหว่างชั้นโปรโตคอลที่อยู่ในระดับเดียวกัน [17]

4.4.5 SDR (Software Defined Radio)

SDR มีจุดประสงค์เพื่อให้ตัวเครื่องลูกข่ายรวมถึงสถานีฐานของโครงข่ายสามารถทำงานต่าง ๆ ที่สำคัญได้โดยแก้ไขโปรแกรมของซอฟต์แวร์แทน เช่น

- มีสถาปัตยกรรมของภาครับ-ส่งสัญญาณที่ควบคุมการทำงานโดยซอฟต์แวร์
- Air Interface Downloadability คือสามารถใช้งานกับ Air Interface ต่าง ๆ ได้โดยซอฟต์แวร์ที่ดาวน์โหลดจากคลื่นวิทยุ ณ.สถานนั้นๆ
- การทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานแบบ Multimode / Multistandard
- การกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานรวมถึงแบนด์วิดท์
- ปรับเปลี่ยนเทคนิคการมอดูเลต (Modulation) และการเข้ารหัสสัญญาณ (Coding)
- สามารถรองรับการอัปเดตซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชันต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคตได้

การที่ฮาร์ดแวร์จะสามารถรองรับเทคนิคเทคโนโลยี SDR ได้นั้นส่วนของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณก็จะอาศัยอุปกรณ์ในภาค Radio Frequency / Intermediate Frequency (RF/ IF Stage) เสาอากาศแบบ Smart ตัวแปลงสัญญาณจาก แอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) และตัวแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (D/A Converter) ที่สามารถรองรับแถบความถี่กว้าง (Wideband) เพื่อให้สามารถใช้งานกับการเชื่อมต่อผ่านอากาศ (Air Interface) ในมาตรฐานต่างๆ ได้ นอกจากนี้ก็ต้องอาศัยเทคนิคการประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) ที่รวดเร็วและรองรับข้อมูลแบบเวลาจริง (Real-Time) กับสัญญาณเบสแบนด์ที่ผ่านมาจาก A / D Converter และที่จะผ่านไปยัง D / A Converter ด้วยชิพเซต DSP และ Field Programmable Gate Arrays (FPGA) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถโปรแกรมแก้ไขซอฟต์แวร์ในภายหลังได้แทนที่จะเป็นชิพเซต ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างเท่านั้น



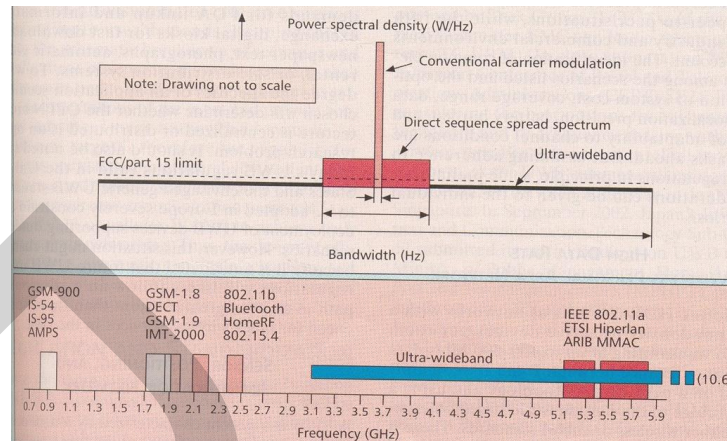
รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบ SDR (Software Defined Radio)

ในเรื่องของภาษาคอมพิวเตอร์ที่จะมาโปรแกรมซอฟต์แวร์นั้น ไม่ได้มีการกำหนดที่แน่ชัดว่าต้องใช้ภาษาใดแต่ภาษา Java ซึ่งมีลักษณะเป็นภาษาแบบ Object-Oriented ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจจนมีผู้ผลิตบางรายได้พัฒนาชิพเซต DSP ที่สามารถประมวลผลชุดคำสั่งที่เป็น Java Byte Code ออกมาแล้ว ซึ่งการประยุกต์ใช้ภาษา Java ใน SDR นั้นอาจจะเป็นในลักษณะที่ฝั่งสถานีฐานมีการแปลภาษา Java ออกมาเป็น Java Byte Code ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าออกมาก่อนที่จะให้เครื่องลูกข่ายทำการดาวน์โหลดจากเครือข่าย แล้วจึงทำการคอมไพล์ครั้งสุดท้ายที่เครื่องลูกข่ายซึ่งมีตัวแปลภาษาที่เรียกว่า Java Virtual Machine (JVM) ให้เป็นรหัสที่นำไปใช้งานได้ (Executable Code) เพื่อควบคุมหน้าที่การทำงานต่าง ๆ ของฮาร์ดแวร์ [23]

4.4.6 Ultra-Wideband Radio Technology

หนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ (Short-Range Wireless Technology) ที่ได้รับการเสนอ คือ Ultra-Wideband Ratio Technology (UWB-RT) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นแห่งแรกที่สหรัฐอเมริกา ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา และได้มีการออกรายงานเป็นครั้งแรกโดยหน่วยงานอิสระที่รับผิดชอบด้านโทรคมนาคมของประเทศสหรัฐอเมริกา (Federal Communications, FCC) ต่อมาก็มีการพัฒนาอย่างแพร่หลายทั้งในทวีปยุโรปและเอเชีย UWB-RT ใช้หลักการที่ว่าต้องการที่จะจัดสรรทรัพยากรสเปกตรัม (ความถี่) ที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยมีการแบ่งปันการใช้ที่เหมาะสมร่วมกัน ระบบที่ใช้สเปกตรัมที่มีอยู่เดิม มากกว่าที่จะไปหาสเปกตรัมที่ยังไม่มีการใช้งาน อย่างไรก็ตามก็มีความเป็นไปได้ที่จะใช้สเปกตรัมย่านใหม่ได้

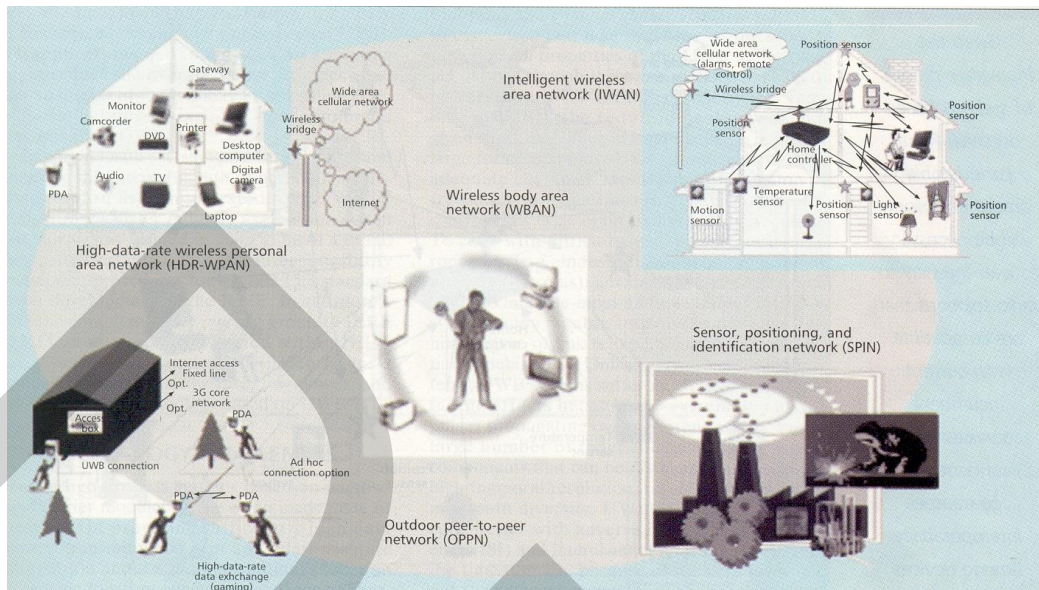
FCC ได้นิยามอุปกรณ์ UWB ไว้ว่า อุปกรณ์ใด ๆ ที่ส่งสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์อย่างน้อย 500 MHz ตลอดเวลาที่มีการรับ-ส่งสัญญาณหรือสัญญาณมีอัตราส่วนของ $2(f_H - f_L) / (f_H + f_L)$ มีค่ามากกว่า 0.2 โดย f_H คือ ความถี่บน (upper frequency) f_L คือความถี่ล่าง (lower frequency) ที่จุด -10 dB จากจุด ความถี่ศูนย์กลาง ($f_c = (f_H + f_L)/2$) รูปที่ 4.9 แสดงแถบความถี่ของ UWB-RT (ย่านความถี่ 3.1 – 10.6 GHz เปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายแบบอื่น ๆ)



รูปที่ 4.9 แถบความถี่ของ UWB-RT เปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายแบบอื่น ๆ

4.4.6.1 แอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยี Ultra-Wideband (UWB) คือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ที่ใช้แถบความถี่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และภายในรัศมี 10 เมตร จะมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 110 Mbps ภายในรัศมี 4 เมตร และ จะมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 200 Mbps จะเห็นได้ว่า UWB สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และในการใช้งานจริงเราสามารถนำ UWB มาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด (Mode) เมื่อเราแบ่งตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมด อัตราการส่งข้อมูลสูง (High Data Rate, HDR) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 Mbps ในระยะใกล้ อีกโหมดคือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นหาตำแหน่ง (Low Data Rate And Location Tracking, LDR/LT) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สาย สามารถใช้บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำเพื่อให้ได้เห็นภาพว่าในอนาคตเราสามารถนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งาน เป็นแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้อย่างไรบ้าง ดังนั้นเราจึงแบ่งแอปพลิเคชันที่ใช้ในอุตสาหกรรมและการบริการ เป็นดังนี้



รูปที่ 4.10 แอปพลิเคชันต่างๆ ที่นำ UWS มาประยุกต์ใช้

- โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (High-Data-Rate-Wireless Personal Area Network, HDR-WPAN) คือโครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลาง (5-10 ขึ้นต่อห้อง) มีอัตราการส่งข้อมูลที่มีความเร็ว 100-150 Mbps ภายในระยะ 1 ถึง 10 เมตร โทโปโลยีหลักที่ใช้ในการสื่อสารเป็นแบบ Peer-To-Peer และใช้ Relay/ Bridge ในการเชื่อมโยงกับโครงข่ายภายนอก ซึ่งจะเป็นแบบไร้สาย หรือใช้สายเคเบิลก็ได้

- การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย (Wireless Ethernet Interface Link, WEIL) เป็นการขยายแนวคิดเพิ่มเติมจากการส่งสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง (HDR) ให้สูงยิ่งขึ้นไปอีก (1Gbps, 2.5Gbps) ซึ่งการเชื่อมโยงไร้สายแบบนี้จะสามารถทำได้ภายในระยะสั้นมาก หรือภายในรัศมี 1-2 เมตร

- โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ (Intelligent Wireless Area Network : IWAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสูง ที่อยู่เป็นพื้นที่ภายในหรือพื้นที่สำนักงานทั่วไป ภายในระยะ 30 m ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงข่ายนี้ได้กำหนดให้ประหยัดพลังงาน (1-10 mW) เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติต่าง ๆ โดยกระจายอยู่รอบ ๆ บ้านหรือสำนักงาน อุปกรณ์ยังมีความสามารถบอกตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูง (Accurate Location Tracking) นอกจากนี้ ยังรองรับการเชื่อมโยงสื่อสารไร้สายจากภายนอกได้ด้วย เพื่อที่จะใช้ส่งสัญญาณเตือนและสัญญาณควบคุม หรือการตรวจสอบสถานะของตัวเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ บริเวณจากระยะทางไกล เป็นต้น

- โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ (Outdoor Peer-to-Peer Network, OPPN) เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร UWB ที่อยู่บริเวณภายนอก เป็นไปตามความต้องการของตลาด การให้บริการที่จะเกิดขึ้นใหม่ สำหรับ เครื่อง PDA ที่จะส่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและอย่างร้านให้บริการข้อมูลดิจิทัล ความเร็วสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อความหนังสือพิมพ์, รูปภาพ, ให้บริการเช่าม้วนเทป วีดีโอ, วีซีดี, และดีวีดี อัดโนมัติ เป็นต้น

- โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ (Sensor, Positioning, and Identification Network, SPIN) เป็นโครงข่ายของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย อย่างเช่น เซ็นเซอร์ที่มีความหนาแน่นสูง (หลายร้อยชิ้นต่ออาคาร 1 ชั้น) ที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงเก็บสินค้า มีอัตราการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำ (อยู่ประมาณช่วงหลายสิบ kbps) และสามารถส่งสัญญาณข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของตัวอุปกรณ์เพื่อใช้หาตำแหน่งได้ด้วย (มีความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร) โทโปโลยีของโครงข่ายระยะในการส่งสัญญาณไม่เกิน 100 เมตรระหว่างอุปกรณ์กับสถานีแม่ข่ายเป็นแบบ Master-Slave) โครงข่าย SPIN มีความต้องการเชื่อมโยงสัญญาณที่มีความน่าเชื่อถือสูง (High Reliability) และคุณลักษณะของระบบที่ปรับเปลี่ยนตัวเอง ให้เหมาะสมเพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic) ของเครื่องอุปกรณ์ และเรื่องสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายสัญญาณ [19]

4.5 การให้บริการยูบิควิตัส (Ubiquitous Service)

การพัฒนาแบบการให้บริการจาก Voice ไปสู่ Non-Voice ในรูปแบบมัลติมีเดีย (Multimedia) ใช้เป็นช่องทางขยายตลาดและยังมีอีกสองช่องทางสำหรับการขยายตลาดการใช้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต นั่นคือการให้บริการในรูปแบบยูบิควิตัส (Ubiquitous Service) และการให้บริการที่เป็นมาตรฐานสากล (Globalization Service) ซึ่งประสานกันเป็นสามแนวทางเพื่อพัฒนาและขยายตลาดต่อไป



รูปที่ 4.11 แนวทางการขยายบริการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 4 หรือยุค 4G นั้นมีความต้องการสองอย่างที่สำคัญ คือ ยูบิกวิตี (Ubiquity) หรือลักษณะแบบยูบิกวิตัส (Ubiquitous) และไดเวอร์ซิตี (Diversity) โดย การสื่อสารแบบยูบิกวิตัส คือ การที่ผู้มีความอิสระในการใช้เครื่องมือสื่อสารไม่ว่าจะอยู่แห่งใดหรือเวลาใดก็ตามระบบสื่อสารที่เข้าสู่การไร้ขีดจำกัดอย่างนี้อยู่บนพื้นฐานความต้องการของผู้ใช้ที่แตกต่างกันนั่นเองการที่มีความยืดหยุ่นของการใช้งานทำให้รองรับความต้องการใช้งานอย่างหลากหลายในเวลาเดียวกันได้ดังนั้นคาดว่าเราจะได้เห็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ IT หรือ เรียกว่า IT อย่างนี้ในศตวรรษที่ 21 นี้อย่างแน่นอนและนอกจากนี้ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 4 ยังสามารถทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ประเภทใหม่ ที่เรียกว่า "ยู-คอมเมิร์ซ" หรือ U-Commerce ซึ่งเป็นการพัฒนาจากธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce) เดิม ซึ่งต่อมามีการทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ผ่านโทรศัพท์มือถือมากขึ้น (M-Commerce)

แนวคิดใหม่ที่ใช้ขึ้นมาเพื่อส่งเสริมการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเชื่อมต่อกันเป็นหนึ่งเดียวทั่วโลก คือการพัฒนาโทรศัพท์มือถือให้มีสภาพเหมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ย่อย ๆ ที่สามารถทำงานได้เหมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ปกติธรรมดา โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลทำการสั่งซื้อสินค้า ดาวน์โหลดเพลง รวมถึงควบคุมรถที่ใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด มีมือถือเพียงเครื่องเดียวทำหน้าที่เหมือนรีโมทคอนโทรลทำคำสั่ง ยกตัวอย่างง่าย ๆ คือ ในระบบยู-คอมเมิร์ซนี้ท่านสามารถนั่งดูทีวีอยู่ที่บ้านและทำคำสั่งซื้อสินค้าจากร้านซูเปอร์มาร์เก็ตโดยสามารถดูภาพและรายละเอียดของสินค้าผ่านหน้าจอมือถือ ซึ่งบันทึกภาพผ่านกล้องดิจิทัลแบบอินเตอร์แอคทีฟในห้างสรรพสินค้า และส่งภาพดังกล่าวเข้ามือถือ และท่านสามารถสั่งซื้อสินค้าจากเครื่องคอมพิวเตอร์ของซูเปอร์มาร์เก็ตโดยตรง รวมถึงสั่งให้รถยนต์ของท่าน (ซึ่งสามารถตั้งเวลาได้) ให้มารับท่านเองถึงที่บ้านโดยอัตโนมัติ หรือแม้แต่การสั่งให้เครื่องไมโครเวฟทำการดาวน์โหลดสูตรปรุงอาหารจากอินเทอร์เน็ตในเทศกาลต่างๆ มาเพื่อใช้ทำอาหาร

การให้บริการยูบิกวิตัส มีจุดมุ่งหมายที่จะขยายเป้าหมายการให้บริการสื่อสาร ซึ่งแต่เดิมได้ถูกจำกัดว่าเป็นการให้บริการสื่อสารระหว่างมนุษย์ด้วยกัน ต่อไปในอนาคต การให้บริการสื่อสารระหว่างกัน ไม่จำเป็นจะต้องเป็นการสื่อสารระหว่างมนุษย์ด้วยกัน แต่อาจเป็นการสื่อสารระหว่างวัตถุกับมนุษย์ หรือระหว่างวัตถุด้วยกันเองก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น เราสามารถนำชิพขนาดเล็กมากที่เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ไปติดตั้งไว้กับวัตถุ และเมื่อวัตถุนั้นมีการสูญหาย เราก็สามารถใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเพื่อทราบถึงตำแหน่งของวัตถุนั้นได้ ดังนั้น ถ้าวัตถุใดๆ ที่มีการเคลื่อนที่ได้ กลายเป็นเป้าหมายในการติดต่อสื่อสารไร้สายที่ นอกเหนือจากการติดต่อสื่อสารไร้สายระหว่างมนุษย์ด้วยกันเองแล้ว จะทำให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายรูปแบบต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างมาก และนำไปสู่การเพิ่มปริมาณกราฟฟิกของการใช้บริการนั่นเอง

การให้บริการที่เป็นสากล คือ พัฒนารูปแบบการให้บริการมัลติมีเดีย เป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลก ซึ่งมีเป้าหมายที่จะทำให้ขอบเขตของการให้บริการในระบบสื่อสารไร้สายเป็นแบบไร้พรมแดน

เพื่อให้การพัฒนาการให้บริการตามแนวทางทั้งสามประสบความสำเร็จจะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านโครงข่ายและด้านการจัดการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมีความจำเป็นต้องเพิ่มการให้ความสำคัญไปที่การรองรับบริการในรูปแบบมัลติมีเดียและยูบิควิตัส

ในสังคมอนาคตที่ระบบสื่อสารไร้สายมีการให้บริการมัลติมีเดีย และยูบิควิตัส อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ จะมีอยู่ในทุก ๆ ที่และมีการติดต่อสื่อสารกันผ่านทางโครงข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะไม่ใช่แค่การสื่อสารกันระหว่างมนุษย์ด้วยกันเองแล้ว แต่เป็นการสื่อสารระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร (อุปกรณ์คอมพิวเตอร์) หรือแม้กระทั่งสื่อสารระหว่างเครื่องจักรด้วยกันเอง ในสภาวะนี้ ทำให้คาดการณ์ได้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณทราฟฟิก ในรูปแบบ Non-Voice อย่างมหาศาล จากการสื่อสารระหว่างบุคคลกับบุคคล บุคคลกับเครื่องจักร และเครื่องจักรกับเครื่องจักร เพื่อที่จะทำให้การบริการมัลติมีเดีย [18]

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสภาพของธุรกรรมดังกล่าว เครื่องคอมพิวเตอร์ และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่มีชีพเป็นส่วนประกอบทั้งหมด จะสามารถทำความเข้าใจกันได้และติดต่อผ่านโทรศัพท์มือถือเพียงเครื่องเดียว สภาพของการทำธุรกรรมเช่นนี้ ที่เราเรียกว่า "การทำธุรกรรมแบบยู-คอมเมอร์ซ" นั่นเอง

4.5.1 ยู-คอมเมอร์ซ โดยหลักสากลจะประกอบด้วยหลักเกณฑ์ 4 ประการ

ก. Ubiquitous หรือการเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์ทุกหนทุกแห่ง กล่าวคือ ระบบยู-คอมเมอร์ซจะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทั่วโลกกับอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ซึ่งมีไมโครชิพเป็นส่วนประกอบไม่ว่าจะเป็น เต้าปอ เครื่องซักผ้า หรืออุปกรณ์ภายในบ้าน รวมถึงรถยนต์ที่มีอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมอยู่ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งงาน คือ โทรศัพท์มือถือเพียงเครื่องเดียว

ข. Universal หรือการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ แบบเครือข่ายทั่วโลก หลักเกณฑ์ข้อนี้คือ มือถือเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องปาล์ม จะสามารถใช้เชื่อมต่อกันได้ทั่วโลก โดยผ่านเครือข่ายทางอินเทอร์เน็ตและดาวเทียม โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องพรมแดน

ค. Unique หรือการเชื่อมต่อเป็นรูปแบบเดียวกัน หลักเกณฑ์ข้อนี้ในธุรกรรมยู-คอมเมอร์ซ ข้อมูลที่ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ทั่วโลกจะเป็นมาตรฐาน หรือรูปแบบ (Application) เดียวกัน ซึ่งหากท่านต้องการข้อมูลจากแหล่งข้อมูลใดในโลก ก็จะใช้เรียกข้อมูลดังกล่าวมาปรากฏบนหน้าจอ โทรศัพท์มือถือของท่านได้ ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของข้อความ รูปภาพ วิดีโอ ฯลฯ โดยใช้ระยะเวลาดาวน์โหลดเพียง 60 วินาทีเท่านั้น เนื่องจาก การดาวน์โหลดจะกระทำผ่านดาวเทียมวง

โครงสร้าง และวงโครงข่ายในการเชื่อมต่อระหว่างกันหรือที่ในปัจจุบันเรารู้จักกันในชื่อของ บรอดแบนด์ (Broad Band) นั่นเอง

ง. Unison หรือ การทำงานที่กลมเกลียวเป็นระบบเดียวกัน หลักเกณฑ์ข้อนี้หมายถึง เครื่องคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรืออิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ สามารถจัดเก็บข้อมูลภายใต้ระบบเดียวกัน โดยสามารถสื่อสารทำความเข้าใจกันได้ โดยไม่ต้องมีการแปลงแฟ้มข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง

ทั้งนี้แนวโน้มของทั้งสองประเทศนั้น ยู-คอมเมิร์ซ สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจาก ในประเทศญี่ปุ่นนั้น ปัจจุบันเทคโนโลยีการใช้มือถือเพื่อติดต่อผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตนั้น ได้พัฒนาไปถึงขั้นเทคโนโลยี 4G (Fourth Generation) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดภาพ เสียง และข้อความต่างๆ รวมถึงการควบคุมเครื่องคอมพิวเตอร์โดยระยะไกล โดยใช้จีดจำกัด ดังนั้นหากรวมกับระบบอื่น (E-Num) ที่อยู่บนอินเทอร์เน็ต (IP Address) ที่เป็นเบอร์เดียวทั่วโลก ระบบยู-คอมเมิร์ซ สามารถเกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน [38]

4.6 บทสรุป

การให้บริการต่าง ๆ จะมีรูปแบบที่หลากหลายและขึ้นอยู่กับผู้ใช้ ซึ่งต้องการเทคนิคใหม่ในการให้บริการที่มีความรวดเร็วและขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผู้ใช้ การบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของผู้ใช้ จำเป็นจะต้องมีวิธีการใหม่ ๆ ด้วย การให้บริการด้านมัลติมีเดียของโครงข่ายไร้สายโดยเฉพาะโครงข่ายเซลลูลาร์ยุค 4G มีความต้องการการบริหารจัดการโครงข่ายในภาพรวมเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรของระบบ และวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของการให้บริการ ส่วนโครงข่าย Ad Hoc และโครงข่าย WSN ก็มีความต้องการให้วิธีการบริหารจัดการโครงข่ายสามารถปรับเปลี่ยนแบบพลวัตด้วยตัวเองได้ นอกจากนี้การบริหารจัดการโครงข่ายด้านการตรวจสอบเครื่องลูกข่าย (คอมพิวเตอร์พกพา, โทรศัพท์เคลื่อนที่, ไอพี) ในระบบโครงข่ายไร้สายในอนาคต มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งในการพัฒนาและวิจัยที่จะมีต่อไปในอนาคตคือเรื่องที่จะทำให้โครงข่ายต่าง ๆ นี้รวมทั้งโครงข่ายสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถนำมาร่วมกันทำงานได้ (Integration) เพื่อให้เป็น Heterogeneous Networking

บทที่ 5

บทสรุปเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรของมหาวิทยาลัย

5.1 กล่าวนำ

จากเนื้อหาในบทที่ 1 – 4 นั้นสามารถสรุปหัวข้อรายละเอียดที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยได้ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงประวัติความเป็นมา วิวัฒนาการและขอบเขตในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สาย บทที่ 2 กล่าวถึงฐานทฤษฎีนักคิดที่สำคัญในศาสตร์ บทที่ 3 กล่าวถึงสถานการณ์ศาสตร์ในปัจจุบัน ส่วนบทที่ 4 เป็นการคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต ดังนั้นเนื้อหาในแต่ละบทที่ผ่านมาคงพอที่จะทำให้ผู้อ่านเข้าใจถึงประวัติความเป็นมา ทฤษฎีที่สำคัญเบื้องต้น สถานการณ์ศาสตร์ในปัจจุบัน และแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต เนื้อหาทั้งหมดที่กล่าวมาครอบคลุมเกือบทั้งหมดในศาสตร์โทรคมนาคมประเภทไร้สาย และเนื่องจากการพัฒนาที่รวดเร็วประกอบกับเนื้อหาบางตอนยังเป็นสิ่งที่เข้าใจได้ยาก จึงเสนอการพัฒนาหลักสูตรที่รองรับทั้งด้านเทคโนโลยี และการจัดการเทคโนโลยี ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด ณ ปัจจุบัน (ค.ศ. 2004) ทั้งนี้วิธีการเรียนการสอนสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือการเรียนการสอนในห้องเรียน และการเรียนการสอนผ่านอินเทอร์เน็ต (E-Learning) ซึ่งคาดว่าจะสะดวกต่อผู้ศึกษาในแง่ของการศึกษาทางไกล การเรียนการสอนทั้ง 2 ประเภทมีข้อดีข้อเสียเบื้องต้นสามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อดีข้อเสียของการเรียนการสอนผ่านอินเทอร์เน็ตและการเรียนการสอนในห้องเรียน [39]

รูปแบบการเรียนการสอน	ข้อดี	ข้อเสีย
ผ่านอินเทอร์เน็ต	• สะดวกต่อการศึกษด้วยตนเองและไม่ขึ้นอยู่กับเวลาและระยะทาง • ผู้เรียนและผู้สอนไม่จำเป็นต้องเรียนและสอนในเวลาเดียวกัน	• ไม่สะดวกในการสอบถามระหว่างผู้สอนและผู้เรียน • มีปัญหาสำหรับผู้ที่มีความรู้ด้านคอมพิวเตอร์น้อย • ผู้เรียนบางคนไม่สามารถศึกษาด้วยตนเองได้ • มีความจำกัดในการสื่อความรู้สึก อารมณ์ในการเรียนรู้
ในห้องเรียน	• สะดวกในการสอบถามระหว่างผู้สอนและผู้เรียน • ไม่มีปัญหาสำหรับผู้ที่มีทักษะและความรู้ด้านคอมพิวเตอร์น้อย • สามารถสื่อความรู้สึก อารมณ์ในการเรียนรู้	• ไม่สะดวกสำหรับผู้ศึกษาทางไกลและผู้มีเวลาศึกษาน้อย • ผู้เรียนและผู้สอนต้องการเรียนและสอนในเวลาเดียวกัน

หากพิจารณาศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายในแง่ของผู้ที่ศึกษา และการประกอบวิชาชีพหรือการใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี (Technology)
2. กลุ่มวิชาด้านการจัดการเทคโนโลยี (Technology Management)

ในแต่ละกลุ่มวิชาจะประกอบไปด้วยรายวิชาต่าง ๆ ของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายซึ่งมีรายวิชาต่าง ๆ โดยเริ่มพิจารณาจากกลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี

5.2 กลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี (Technology)

เป็นกลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ในศาสตร์ด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน และแนวโน้มในอนาคต ซึ่งทำให้นักศึกษาเข้าใจถึง ทฤษฎีที่สำคัญ รู้ถึงสถานการณ์ในของศาสตร์ในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังสามารถคาดการณ์สถานการณ์ในอนาคตได้ ตลอดจนสามารถใช้งานอุปกรณ์ด้านโทรคมนาคมประเภทไร้สายได้อย่างชำนาญ ซึ่งมีหัวข้อรายวิชาดังนี้

5.2.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์ [24, 40]

- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ (Introduction to Computer)
- การทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Principles of Computer Programming)
- การออกแบบซอฟต์แวร์โทรคมนาคม (Telecommunication Software Design)
- สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ (Computer Architecture)
- คอมพิวเตอร์กราฟิกส์และเทคโนโลยีสื่อประสม (Computer Graphics and Multimedia Technology)
- การออกแบบระบบฐานข้อมูล (Database System Design)
- ปฏิบัติการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย (Data Communications and Networks Laboratory)
- การเขียนโปรแกรมในระบบเครือข่าย (Network Programming)
- เครือข่ายคอมพิวเตอร์เบื้องต้น (Introduction to Computer Networks)

5.2.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทใช้สาย [24, 5]

- โครงข่ายโทรศัพท์ (Telephone Networks)
- ระบบรักษาความปลอดภัยในโครงข่ายโทรคมนาคม (Security System in Telecommunications Network)
- แบบจำลองและการวิเคราะห์สมรรถนะระบบโทรคมนาคม (Model and Performance Analysis of Telecommunications Systems)
- ระบบสื่อสารแถบกว้าง (Broadband Communication Systems)

5.2.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สาย [24, 25]

- ความปลอดภัยของระบบไร้สาย (Security of Wireless Systems)
- วิศวกรรมสายอากาศ (Antennas Engineering)
- โครงข่ายสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication Networks)
- ทฤษฎีเข้ารหัสและข่าวสาร (Coding and Information Theory)
- ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile Communication Systems)
- ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network System)
- ปฏิบัติการระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Systems Laboratory)
- วิศวกรรมไมโครเวฟ (Microwave Engineering)
- การออกแบบการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สาย (Interface Design for Wireless Devices)
- การพัฒนาระบบประยุกต์ไร้สาย (Wireless Application Development)

5.2.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีสัญญาณ [24, 5]

- การประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัลและการประยุกต์ (Digital Image Processing and Applications)
- การประมวลผลดิจิทัลของสัญญาณเสียง (Digital Processing of Speech Signals)
- ปฏิบัติการประมวลสัญญาณ (Signal Processing Laboratory)
- ระบบเรดาร์ (Radar System)

- เทคโนโลยีโทรคมนาคมและสารสนเทศ(Telecommunications and Information Technologies)
- เทคโนโลยีโทรคมนาคมบนพื้นฐานอินเทอร์เน็ตและมัลติมีเดีย (Internet and Multimedia based Telecommunications Technologies)

5.3 กลุ่มวิชาการจัดการเทคโนโลยี (Technology Management)

วิชาการจัดการเทคโนโลยีสำหรับวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายทำให้ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการเทคโนโลยีโทรคมนาคมได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดประโยชน์ได้มากที่สุด ซึ่งจะมีรายละเอียดครอบคลุมถึง การวางแผน การบริหารจัดการ และกฎหมาย ของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีกลุ่มวิชาดังต่อไปนี้

5.3.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการด้านเทคโนโลยี [40, 41, 26, 5]

- การบริหารเครือข่ายโทรคมนาคม (Telecommunication Network Management)
- การโทรคมนาคมและเครือข่ายระดับองค์กร (Telecommunications and Enterprise Networks)
- การจัดการศูนย์คอมพิวเตอร์ (Management of Computer Center)
- การประเมินสมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์ (Computer Systems Performance Evaluation)
- การวางแผนทรัพยากรสำหรับองค์กร (Enterprise Resource Planning)
- หลักการการจัดการทางวิศวกรรม (Principles of Engineering Management)
- วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ (Industrial and System Engineering)
- การจัดการโครงการ (Project Management)
- การบริหารทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Management)
- การจัดการพลาธิการ (Logistics Management)
- การระบบข้อมูลทางการจัดการ (Management Information Systems)
- การจัดการการผลิตและการดำเนินงาน (Production and Operations Management)
- การจัดการเชิงกลยุทธ์ (Strategic Management)
- การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กรและการรับรอง (Total Quality Management and Certification)
- การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Project Feasibility Studies)

- พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Commerce)
- การวางแผนและกลยุทธ์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Planning and Strategy for Telecommunications Business)
- การบริหารโครงการโทรคมนาคม (Telecommunications Project Management)
- การจัดการความเสี่ยงในธุรกิจโทรคมนาคม (Risk Management in Telecommunications Business)
- รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (E-Government)

5.3.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมาย และนโยบายด้านเทคโนโลยี [40, 5]

- กฎหมายเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Law)
- กฎหมายและนโยบายโทรคมนาคม (Telecommunications Laws and Policy)
- การพัฒนาและประเมินผลนโยบายโทรคมนาคม (Telecommunications Policy Development and Evaluation)
- กฎหมายโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunications Laws)

5.3.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการตลาดด้านเทคโนโลยี [26, 5]

- พื้นฐานทางธุรกิจ (Foundations of Business)
- การจัดการการตลาด (Marketing Management)
- พฤติกรรมผู้บริโภคและการตลาดโทรคมนาคม (Telecommunications Consumer Behavior and Marketing)
- กลไกราคาด้านโทรคมนาคม (Telecommunications Pricing Mechanism)

5.3.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเศรษฐศาสตร์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม [5]

- พื้นฐานบริหารธุรกิจ (Fundamentals of Business Administration)
- การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการจัดการโทรคมนาคม (Statistical Analysis for Telecommunications Management)
- เศรษฐศาสตร์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Economics for Telecommunications Business)

5.3.5 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบัญชีสำหรับธุรกิจโทรคมนาคม [26,5]

- บัญชีต้นทุน (Cost Accounting)
- การจัดการการเงิน (Financial Management)
- การเงินและการบัญชีสำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Finance and Account for Telecommunications Business)

5.3.6 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ (Knowledge Management) [41]

- การจัดการความรู้ (Knowledge Management)

สำหรับรายละเอียดของเนื้อหาในกลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี และกลุ่มวิชาด้านการจัดการเทคโนโลยี สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.4 แนวทางของคำอธิบายกลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี (Technology)

5.4.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์

- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ (Introduction to Computer)

มโนทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ การทำงานร่วมกันระหว่างฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ มโนทัศน์ทางการประมวลผลข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบเลขฐานและรหัสที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ ภาษาเครื่องและภาษาระดับสูง ระบบปฏิบัติการพื้นฐาน การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปต่าง ๆ บนไมโครคอมพิวเตอร์

- **การทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Principles of Computer Programming)**

มโนทัศน์ทางคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ การทำงานร่วมกันระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ มโนทัศน์ทางการประมวลผลข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานทางวิศวกรรม เช่น ภาษาพาสคัล ฟอรัเทน หรือ ภาษาซี การเขียนโปรแกรมแบบโครงสร้าง การเขียน ฟังก์ชัน การสร้างฟังก์ชันและโปรแกรมย่อย การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ด้านการคำนวณเชิงตัวเลข การออกแบบโปรแกรมการแก้ไขความผิดพลาดและการทดสอบโปรแกรม การฝึกปฏิบัติการโปรแกรมด้วยเครื่องมือคอมพิวเตอร์และแก้ปัญหาทางวิศวกรรม

- **การออกแบบซอฟต์แวร์โทรคมนาคม (Telecommunication Software Design)**

หลักการออกแบบ วิเคราะห์ ซอฟต์แวร์เชิงวัตถุ ในการใช้งานด้านการบริการหรือผลิตภัณฑ์ของระบบโทรคมนาคม ศึกษาอุปกรณ์ควบคุมและการออกแบบวงจรสำหรับอุปกรณ์โทรคมนาคม ลักษณะของเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับการติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ การจัดการโครงการซอฟต์แวร์ การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ที่ได้รับการออกแบบและใช้งานด้านโทรคมนาคมของผู้ผลิต

- **สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ (Computer Architecture)**

ระบบตัวเลขที่ใช้แทนข้อมูล สถาปัตยกรรมและโครงสร้างของตัวประมวลผลที่ทันสมัยตัวหนึ่ง ศึกษาและออกแบบชุดคำสั่งของตัวประมวลผลนั้น หลักการทำงานและภาษาเครื่อง ออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยควบคุมการทำงาน หน่วยความจำหลัก หน่วยความจำสำรอง อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุต และการติดต่อสื่อสารข้อมูลของคอมพิวเตอร์ แนะนำสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์แบบขนานและแบบลดขนาดจำนวนคำสั่ง แนะนำพื้นฐานของระบบปฏิบัติการ เช่น การจัดจังหวะประสาน มัลติโปรแกรมมิง เทคนิคหน่วยความจำเสมือน เป็นต้น

- **คอมพิวเตอร์กราฟิกส์และเทคโนโลยีสื่อประสม (Computer Graphics and Multimedia Technology)**

ศึกษาความคิดขององค์ประกอบและคุณลักษณะของคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ ซอฟต์แวร์สำหรับกราฟิกส์สองและสามมิติ เทคนิคสำหรับการสร้างภาพเคลื่อนไหว ศึกษาขั้นตอนวิธีประมวลภาพนิ่ง การจัดการภาพ การรู้จำรูปแบบการวิเคราะห์ฉาก ความคิดพื้นฐานของการประมวลสัญญาณ สื่อประสม และการประยุกต์ใช้ทั้งคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ และ การจัดประมวลภาพสำหรับปัญหาจริง ศึกษาเทคโนโลยีสื่อประสมสำหรับโทรคมนาคม

- **การออกแบบระบบฐานข้อมูล (Database System Design)**

รูปแบบของข้อมูล ระบบฐานข้อมูลแบบลำดับขั้น แบบข่ายงานและแบบเชิงสัมพันธ์ โครงสร้างฐานข้อมูลเชิงตรรก เอนทิตีและความสัมพันธ์ การปรับบรรทัดฐานของข้อมูล ภาษาจัดการฐานข้อมูล เพื่อกำหนดและสอบถาม การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล การเก็บสำรองข้อมูล การรักษาความถูกต้อง ความเชื่อถือได้ และความคงสภาพของข้อมูล ระบบฐานข้อมูลแบบกระจาย

- **ปฏิบัติการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย (Data Communications and Networks Laboratory)**

ปฏิบัติการเกี่ยวกับเรื่องการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย คุณลักษณะของตัวกลาง สถาปัตยกรรมของชั้นเครือข่ายโพรโทคอลแบบจุดต่อจุดและการเชื่อมโยงต่าง ๆ แบบจำลองดีเลย์ต่าง ๆ ในเครือข่ายข้อมูล การติดต่อสื่อสารแบบเข้าถึงได้หลายทาง โหมดการส่งผ่านแบบอะซิงโครนัส ซิงโครนัส การควบคุมความผิดพลาด มัลติเพลกเซอร์ เทคนิคการหาเส้นทางในเครือข่ายข้อมูล การควบคุมการไหลของข้อมูล

- **การเขียนโปรแกรมในระบบเครือข่าย (Network Programming)**

การสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ผ่านระบบเครือข่ายโดยใช้โพรโทคอลต่าง ๆ เช่น TCP, UDP และ SMTP เป็นต้น การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น Barcode Reader, Magnetic Card Reader, Mobile Phone และ PDA เป็นต้น มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 และ USB ภาควิปฏิบัติ การเขียนโปรแกรมเพื่อการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้ภาษาโปรแกรมที่เหมาะสมเป็นเครื่องมือ

- **เครือข่ายคอมพิวเตอร์เบื้องต้น (Introduction to Computer Networks)**

เทคโนโลยีและสถาปัตยกรรมที่ถูกพัฒนาสำหรับการจัดทำเครือข่ายท้องถิ่น สื่อการส่งผ่านโทโปโลยีและโพรโทคอลที่ใช้ในการควบคุม การใช้สื่อกลางซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของการออกแบบระบบเครือข่ายท้องถิ่น มาตรฐานของระบบเครือข่ายท้องถิ่น หลักการและกลไกที่จำเป็นสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูล ระหว่างคอมพิวเตอร์ สถานิงาน หน่วยให้บริการและอุปกรณ์ในการประมวลผลข้อมูล

5.4.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทใช้สาย

- **โครงข่ายโทรศัพท์ (Telephone Networks)**

เครื่องโทรศัพท์และข้อกำหนดในการออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์และหลักการทำงานของเครื่องชุมสายโทรศัพท์สัญญาณติดต่อ ระหว่างชุมสาย การมัลติเพล็กซ์ในระบบโทรศัพท์ ไอเอสดีเอ็น พีเอบี-อีเอ็กซ์ การจราจรโทรศัพท์ โครงข่ายสวิตชิง สวิตช์แบบแบ่งเวลาและแบ่งสเปซ โทรศัพท์ไอพี โพรโทคอลสำหรับเสียงบนไอพีเช่น H.323 SIP การให้สัญญาณหมายเลขจัดการแม่ปึงจากระบบการให้สัญญาณหมายเลขจัดการเป็นการควบคุมการเรียนบนพื้นฐานไอพี องค์ประกอบสำหรับคุณภาพเสียง เช่น ความคมชัดของเสียงการสูญหายของพกเก้ต เทคนิคการเข้ารหัสเสียง เป็นต้น การกำหนดเลขหมายโทรศัพท์และความหมาย การคิดเงิน ระบบโทรศัพท์สากล การพยากรณ์การจราจร

- **ระบบรักษาความปลอดภัยในโครงข่ายโทรคมนาคม (Security System in Telecommunications Network)**

การออกแบบ ข้อกำหนด และการตรวจสอบข้อกำหนดของความปลอดภัยที่ใช้ในระบบและโครงข่ายขนาดใหญ่ การบำรุงรักษาและการทดสอบ เทคนิคเบื้องต้นของการเข้ารหัสข้อมูล ความลับของข้อมูล การวิเคราะห์ข้อกำหนดของการเข้ารหัสข้อมูล การควบคุมการเข้าถึงข้อมูลของระบบและโครงข่ายขนาดใหญ่

- **แบบจำลองและการวิเคราะห์สมรรถนะระบบโทรคมนาคม (Model and Performance Analysis of Telecommunications Systems)**

ทฤษฎีคิว แบบจำลองมาร์คอฟ แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินระบบ วิธีทดสอบโครงข่ายโทรคมนาคม การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์สมรรถนะระบบ

- **ระบบสื่อสารแถบกว้าง (Broadband Communication Systems)**

การสื่อสารความเร็วสูง การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง พื้นฐานระบบ SONET SDH ระบบ xDSL ระบบ DWDM ระบบ ATM และการจัดการทรัพยากรและควบคุมทราฟฟิก ระบบสื่อสารไร้สายและสื่อสารเคลื่อนที่ ระบบสื่อสารดาวเทียม และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารแถบกว้าง

5.4.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สาย

- **ความปลอดภัยของระบบไร้สาย (Security of Wireless Systems)**

มโนทัศน์เกี่ยวกับระบบไร้สาย ข่าวสารในระบบไร้สาย การรักษาความปลอดภัยสำหรับระบบไร้สายแบบต่าง ๆ ได้แก่ ระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล ระบบดาวเทียม เครือข่ายไร้สายบริเวณเฉพาะที่ โพรโทคอลการประยุกต์ไร้สาย ความปลอดภัยของชั้นเคลื่อนที่ย้ายไร้สายระบบบลูทูธ เสียงบนไอพี มุมมองของฮาร์ดแวร์สำหรับความปลอดภัยในการประยุกต์ใช้งานไร้สาย การใช้เอฟพีจีเอเพื่อรักษาความปลอดภัย

- **วิศวกรรมสายอากาศ (Antennas Engineering)**

นิยามมูลฐานและทฤษฎีต่าง ๆ การหาสูตรของปัญหาการแผ่พลังงาน แหล่งกำเนิดแบบจุดชนิดไอโซทรอปิก กำลังและแบบรูปสนาม สภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยาย อิมพีแดนซ์การแผ่พลังงาน การโพลาไรเซชันของคลื่น การแผ่พลังงานจากกระแสน้อยๆ คุณสมบัติของการแผ่พลังงานของสายอากาศเส้นลวดเชิงเส้น สายอากาศแบบบ่วง สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น สายอากาศยูดา-ยากิ สายอากาศแบบรายคาบล้อยก สายอากาศอะพอร์เจอร์ สายอากาศเฮลิคัล สายอากาศไมโครสตริป ตัวอย่างการประยุกต์ใช้สายอากาศแบบต่าง ๆ

- **โครงข่ายสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication Networks)**

แนะนำประวัติและกล่าวนำพื้นฐานสำคัญของการสื่อสารดาวเทียม วงโคจรสำหรับการสื่อสารดาวเทียมค้างฟ้า ดาวเทียมและส่วนประกอบ ต่าง ๆ สถานิภาคพื้นดิน การออกแบบระบบเชื่อมโยงการสื่อสารดาวเทียม การเข้ารหัสและการแก้ไขข้อผิดพลาด การสวิตช์กลุ่มข้อมูลและโพรโทคอลเข้าถึงในการสื่อสารดาวเทียม ดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า พื้นที่ให้บริการ ความจุ การเคลื่อนที่และแบนด์ออฟ สำหรับระบบสื่อสารดาวเทียม

- **ทฤษฎีเข้ารหัสและข่าวสาร (Coding and Information Theory)**

ชนิดของสัญญาณและเทคนิคในการประมวลสัญญาณ การส่งและตรวจจับข่าวสารในรูปแบบดิจิทัล ทฤษฎีข่าวสาร การวัดปริมาณข่าวสาร ความจุช่องสัญญาณและอัตราการส่งผ่านข่าวสาร ทฤษฎีการเข้ารหัสและถอดรหัส การตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดข่าวสาร การประเมินและวิเคราะห์สมรรถนะการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเข้ารหัสและข่าวสารในระบบโทรคมนาคม

- **ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile Communication Systems)**

องค์ประกอบระบบสื่อสารเคลื่อนที่โดยทั่วไป ระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบแอนะล็อกและดิจิทัล การแพร่ของคลื่น และงบประมาณช่วยเชื่อมโยง พื้นฐานของระบบวิทยุเซลลูลาร์ ประสิทธิภาพของความกว้างแถบความถี่ และการจัดการทรัพยากร แบนด์ออฟและการจัดการการเคลื่อนที่ การมอดูเลตในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ การเข้าถึงแบบต่าง ๆ การเข้ารหัสเสียง ระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ เช่น แอมป์ส จีเอสเอ็ม และซีดีเอ็มเอ โครงข่ายวิทยุแบบแพกเก็ต โพรโทคอลสื่อสารและจัดสรรเส้นทางสำหรับโครงข่ายสื่อสารไร้สาย ระบบสื่อสารไร้สายแบบต่าง ๆ เช่น เดกซ์ พีซีที และพีซีทู

- **ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network System)**

แนะนำประวัติและมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย มาตรฐานการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายไร้สาย เช่น โสมอาร์เอฟ บลูทูธ IEEE 802.15 จีพีอาร์เอส เอช และ ยูเอ็มทีเอส/ไอเอ็มที – 2000 เป็นต้น มาตรฐาน IEEE 802.11 เครือข่ายไอพีแบบไร้สาย การออกแบบระบบ การวิเคราะห์สมรรถนะ พื้นฐานการแพร่สัญญาณและการแทรกสอดในระบบ

- **ปฏิบัติการระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Systems Laboratory)**

ปฏิบัติการเกี่ยวกับเรื่อง มาตรฐานการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายไร้สาย เช่น โสมอาร์เอฟ บลูทูธ IEEE 802.15 จีพีอาร์เอส เอช และ ยูเอ็มทีเอส/ไอเอ็มที – 2000 เป็นต้น มาตรฐาน IEEE 802.11 เครือข่ายไอพีแบบไร้สาย การออกแบบระบบ การวิเคราะห์สมรรถนะ พื้นฐานการแพร่สัญญาณและการแทรกสอดในระบบ

- **วิศวกรรมไมโครเวฟ (Microwave Engineering)**

สมการของแมกซ์เวลล์และเงื่อนไขขอบเขต ทฤษฎีสายส่ง พารามิเตอร์เอส การใช้สมิตชาร์ต การแมตช์อิมพีแดนซ์ สายส่งไมโครเวฟและท่อนำคลื่น วงจรไมโครสตริป ไมโครเวฟเรโซเนเตอร์และฟิลเตอร์ การวิเคราะห์โครงข่ายไมโครเวฟ การแบ่งกำลังและการส่งผ่าน การออกแบบและการคำนวณระบบสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ แนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการทดลองด้านไมโครเวฟและการใช้งาน

- **การออกแบบการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สาย (Interface Design for Wireless Devices)**

ศึกษากลยุทธ์และเทคนิคการออกแบบส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ในอุปกรณ์ไร้สาย เรียนรู้สถาปัตยกรรมสารสนเทศ กรอบหน้าจอ การทดสอบความสามารถในการใช้งานได้จริงบนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์สื่อสารแบบติดตามตัว อุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา และโทรศัพท์เคลื่อนที่

- **การพัฒนาระบบประยุกต์ไร้สาย (Wireless Application Development)**

ศึกษาแนวคิด หลักการ เครื่องมือและเทคนิคของการพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับระบบงานที่ใช้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่และอุปกรณ์ไร้สาย เช่น อุปกรณ์พกพา PDA (Personal Digital Assistant) และโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยอาศัยเทคนิคตามมาตรฐานเปิด J2ME และ MIDP ศึกษาการจัดการหน่วยความจำสำหรับอุปกรณ์ที่มีหน่วยความจำน้อย เทคนิคการเขียนโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสำหรับระบบที่มีหน่วยประมวลผลจำกัด ใช้ข้อมูลแบบประสานเวลาบนฐานข้อมูลที่รองรับระบบการสื่อสารแบบเคลื่อนที่และการเขียนโปรแกรมแบบไร้สายในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น WAP, I-mode และ Palm OS

5.4.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีสัญญาณ

- **การประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัลและการประยุกต์ (Digital Image Processing and Applications)**

พื้นฐานการประมวลผลสัญญาณภาพเชิงเลข ขั้นตอนวิธีการแปลงภาพเชิงเลข การกรองและยกระดับภาพเชิงเลข การบีบอัดภาพเชิงเลข อัลกอริทึมตรวจจับขอบ อัลกอริทึมแบ่งภาพ รายละเอียดของรูปร่าง การประยุกต์ใช้งานในงานโทรคมนาคมหรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์

- **การประมวลผลดิจิทัลของสัญญาณเสียง (Digital Processing of Speech Signals)**

พื้นฐานการประมวลผลเชิงเลขของสัญญาณเสียง แบบจำลองสำหรับสัญญาณเสียง แบบจำลองอาณัติเวลาสำหรับการประมวล เสียง ตัวแทนเชิงเลขของรูปคลื่นเสียง การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ของเสียง การประมวลผลเสียงโฮโมมอฟิก การเข้ารหัสทำนายเชิงเส้นของเสียง ระบบรู้จำเสียง การประยุกต์ใช้งานโทรคมนาคมหรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์

- **ปฏิบัติการประมวลสัญญาณ (Signal Processing Laboratory)**

ปฏิบัติการเกี่ยวกับเรื่องพื้นฐานการประมวลผลสัญญาณภาพเชิงเลข และพื้นฐานการประมวลผลสัญญาณเสียงเชิงเลข

- **ระบบเรดาร์ (Radar System)**

พื้นฐานระบบเรดาร์ สมการเรดาร์ สัญญาณเป้าหมายและสัญญาณแทรกสอด การตรวจรับสัญญาณเรดาร์ติดตามภาคส่งและสายอากาศเรดาร์ ภาครับและภาคแสดงผล การประมวลผลสัญญาณเรดาร์

- **เทคโนโลยีโทรคมนาคมและสารสนเทศ (Telecommunications and Information Technologies)**

ความรู้พื้นฐานของหลักการและทฤษฎีทางเทคโนโลยีโทรคมนาคม ระบบแอนะล็อก ระบบดิจิทัล สื่อสัญญาณ เทคนิคในการสื่อสารเสียงข้อมูลและภาพ การมอดูเลต การเข้ารหัส แบบจำลองเปิดโอเอส-ไอ โครงข่ายอินเทอร์เน็ต พื้นฐานโครงข่ายโทรศัพท์และโทรคมนาคม พื้นฐานโครงข่ายสื่อสารไร้สาย และเคลื่อนที่ สารสนเทศในปัจจุบันและอนาคต

- **เทคโนโลยีโทรคมนาคมบนพื้นฐานอินเทอร์เน็ตและมัลติมีเดีย (Internet and Multimedia based Telecommunications Technologies)**

สัญญาณเสียงข้อมูลและภาพ แลกเปลี่ยนข้อมูล มัลติเพล็กซ์เซอร์ โมเด็ม การบีบอัดข้อมูล การตรวจและแก้ความผิดพลาด การเข้ารหัสข้อมูล โพรโทคอล ระบบอินเทอร์เน็ต การนำเสนอข้อมูลด้วยมัลติมีเดีย ฐานข้อมูลมัลติมีเดีย ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สื่อสารและมัลติมีเดีย การประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ในการส่งข้อมูลมัลติมีเดียผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การควบคุมทางไกลผ่านอินเทอร์เน็ต VoIP ทั้งแบบใช้สายและไร้สาย

5.5 แนวทางของคำอธิบายกลุ่มวิชาการด้านการจัดการเทคโนโลยี (Technology Management)

5.5.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการด้านเทคโนโลยี

- **การบริหารเครือข่ายโทรคมนาคม (Telecommunication Network Management)**

ความรู้พื้นฐานในการบริหารเครือข่าย โพรโทคอลมาตรฐานที่ใช้ในการบริหารเครือข่าย การบริหารเครือข่ายโทรคมนาคม การบริหารเครือข่ายภายในและภายนอกองค์กรตามมาตรฐานของ OSI แนวทางการประยุกต์ใช้การบริหารเชิงวัตถุเพื่อการบริหารเครือข่ายแบบบูรณาการ แบบจำลองโครงสร้างและการจำลองเหตุการณ์ในการบริหารเครือข่าย การบริหาร เครือข่ายโดยรู้ฐานความรู้ การบริหารจัดการเครือข่ายในด้าน คุณลักษณะในการทำงาน การเกิดปัญหาและข้อผิดพลาด ประสิทธิภาพในการทำงาน ระบบรักษาความปลอดภัยและระบบการคิดค่าใช้จ่ายในการใช้งานระบบเครือข่าย

- **การโทรคมนาคมและเครือข่ายระดับองค์กร (Telecommunications and Enterprise Networks)**

โทรคมนาคม และเครือข่ายที่ใช้กับองค์กรธุรกิจ ในภาคสาธารณะและพาณิชย์ ศึกษาเทคโนโลยี และการประยุกต์ใช้ระบบโทรคมนาคมเน้นเทคโนโลยี และ โครงแบบที่เหมาะสมอันจำเป็นในการรองรับการประยุกต์ทางธุรกิจ

- **การจัดการศูนย์คอมพิวเตอร์ (Management of Computer Center)**

ศึกษาถึงบทบาทและหน้าที่ของผู้บริหารศูนย์คอมพิวเตอร์ การวางแผนการดำเนินงานระบบคอมพิวเตอร์สำหรับองค์กร แนวทางการบำรุงรักษาอุปกรณ์ระบบคอมพิวเตอร์ ทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ เทคนิคการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศด้วยวิธีเชิงสถิติ

- **การประเมินสมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์ (Computer Systems Performance Evaluation)**

เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพ สัดส่วนระหว่างต้นทุนและประสิทธิภาพของระบบคอมพิวเตอร์ การหาค่าสมรรถนะเปรียบเทียบของคอมพิวเตอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแตกต่างกัน และวิเคราะห์ความสามารถในการทำงานเมื่อใช้โปรแกรมที่เป็นมาตรฐาน การใช้วิธีจำลองผลในการทำนายประสิทธิภาพของระบบคอมพิวเตอร์

- **การวางแผนทรัพยากรสำหรับองค์กร (Enterprise Resource Planning)**

พื้นฐานการวางแผนทรัพยากรองค์กร กรอบแนวคิดในการบริหารทรัพยากรแบบบูรณาการสำหรับองค์กรธุรกิจในด้านต่าง ๆ ได้แก่ด้านการวางแผน ด้านการผลิต ด้านการขาย ด้านการเงิน และด้านการตลาด แนวทางการจัดหา

- **หลักการการจัดการทางวิศวกรรม (Principles of Engineering Management)**

หลักปรัชญาของการจัดการวิศวกรรม ปัจจัยของการจัดการในองค์กร ซึ่งประกอบด้วย การวางแผนองค์กร การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในการจัดการในองค์กร ระบบเทคโนโลยีพื้นฐาน การจัดการในองค์กรธุรกิจ การตลาด การผลิต การจัดการพลาธิการและลูกโซ่อุปทาน

- **วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ (Industrial and System Engineering)**

การศึกษาในเทคนิคของวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำหรับการดำเนินงานการผลิตและการบริการ รวมถึงการศึกษาเครื่องมือในเชิงปริมาณ โดยเน้นในวิสาหกิจที่เน้นการใช้เทคโนโลยีในการดำเนินการ

- **การจัดการโครงการ (Project Management)**

การวางแผนโครงการระบบเมทริกซ์ การกำหนดราคา การควบคุมค่าใช้จ่ายในโครงการ โครงสร้างขององค์กร เช่น การจัดพนักงาน การจ้างใจ การมอบหมายและการใช้อำนาจ การจัดการความขัดแย้ง และกรณีศึกษาการจัดการโครงการขนาดใหญ่ โดยเน้นวิสาหกิจที่เน้นการใช้เทคโนโลยีในการดำเนินการ

- **การบริหารทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Management)**

วิเคราะห์สถานการณ์ และปัญหาด้านบริหารบุคคลเพื่อให้องค์กรมีพนักงานที่มีประสิทธิภาพ ศึกษาถึงการดำเนินงานและปัญหาเกี่ยวกับบุคคลในองค์กร โดยพิจารณาจากนโยบายด้านบุคคล การคัดเลือกบุคคล การพัฒนาบุคคล การประเมินผลและความคุ้มค่าการปฏิบัติงาน สิ่งจูงใจที่เป็นตัวเงิน และไม่เป็นตัวเงิน ปัญหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมบุคคลในองค์กร และหาทางแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น การศึกษานี้ใช้กรณีศึกษา (Case Study)

- **การจัดการพลาธิการ (Logistics Management)**

การศึกษาเกี่ยวกับการบริหารงานพลาธิการในระบบบูรณาการ ซึ่งสามารถแข่งขันได้ในระดับโลก ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การจัดซื้อ การผลิต การบริหารพัสดุคงคลัง การขนส่งการประมวลข้อมูลจัดซื้อต่าง ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารลูกโซ่อุปทานขององค์กร เช่น การวางแผนกลยุทธ์ การรีเอนจินีเยริง และการออกแบบทางเลือกในการขนส่งตามความต้องการของลูกค้า เป็นต้น

- **การระบบข้อมูลทางการจัดการ (Management Information Systems)**

ศึกษาโครงสร้างของระบบข้อมูลทางการบริหาร การออกแบบระบบและการแก้ไขปัญหาการบริหาร โดยใช้ระบบข้อมูลทางการบริหาร ศึกษาความสัมพันธ์ของระบบข้อมูลกับนโยบายการบริหาร โครงสร้างของระบบข้อมูล พฤติกรรมของคนอันมีอิทธิพลต่อระบบ การใช้ระบบข้อมูลเพื่อการวางแผน ควบคุมทางการเงินและการบริหารตลอดจนการตัดสินใจทางธุรกิจ การวิเคราะห์และออกแบบประมวลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับประเภทกิจการต่าง ๆ ความสัมพันธ์ของระบบข้อมูลต่อสภาพเศรษฐกิจ ความต้องการของตลาดและภาวะการณ์ผลิต การประเมินค่าของระบบ การแก้ปัญหาการบริหารโดยใช้ระบบข้อมูลทางการบริหารและแนวโน้มความเจริญก้าวหน้าของระบบ ข้อมูลทางการบริหาร

- **การจัดการการผลิตและการดำเนินงาน (Production and Operations Management)**

ความสัมพันธ์ของกลยุทธ์ทางธุรกิจและกลยุทธ์การดำเนินงาน แนวความคิดและความสำคัญของการจัดการการผลิต แผนการจัดการในการดำเนินงานของธุรกิจ ปัจจัยของการบริหารการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรม และเทคนิคการเลือกใช้เทคโนโลยีในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตกับองค์ประกอบของการดำเนินธุรกิจระบบการผลิต การพยากรณ์และการวางแผนการผลิต การขนถ่ายวัตถุดิบ การเลือกทำเลที่ตั้ง การจัดการและการดำเนินงานการผลิตสมัยใหม่ เช่น คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบและการผลิต (CAD/CAM)

- **การจัดการเชิงกลยุทธ์ (Strategic Management)**

การจัดการเชิงกลยุทธ์ กระบวนการการจัดการเชิงกลยุทธ์ การวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์เกี่ยวกับโอกาสและภัยคุกคามภายนอก การวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์เกี่ยวกับจุดแข็งและจุดอ่อนภายในการพัฒนาและการประเมินทางเลือกด้านกลยุทธ์ การนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติการผลักดันการเปลี่ยนแปลงเชิงกลยุทธ์ สภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมในระดับนานาชาติ ภาพรวมของประเด็นการวิจัยในปัจจุบันทางด้านการจัดการเชิงกลยุทธ์ เกมส์ธุรกิจ และกรณีศึกษา

- **การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กรและการรับรอง (Total Quality Management and Certification)**

การบริหารและการรับรองคุณภาพทั่วทั้งองค์กรหลักการและแนวคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ เช่น การตรวจสอบคุณภาพ การควบคุมคุณภาพ และบริหารคุณภาพ และการบูรณาการเข้ากับธุรกิจ กลยุทธ์ทางการบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กร มาตรฐานคุณภาพและการรับรองระบบคุณภาพระดับนานาชาติทุกประเภท รวมทั้งรับรองมาตรฐานของงานอื่น ๆ เช่น ความปลอดภัยของข้อมูลสารสนเทศ และงานบริการที่ใช้เทคโนโลยี

- **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Project Feasibility Studies)**

ศึกษาความเหมาะสมของโครงการด้านต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ต่อการจัดทำแผนการเงินของโครงการต่าง ๆ ของธุรกิจศึกษาถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนในงานโครงการประเภทต่าง ๆ แหล่งเงินทุน ต้นทุนของเงินทุนแต่ละแหล่ง การจัดทำประมาณการลงทุน การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนจากโครงการ การวิเคราะห์ ความไวของโครงการเพื่อพิจารณา การเปลี่ยนแปลงของผลตอบแทน การลงทุน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยที่สำคัญ

- **พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Commerce)**

แนะนำพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ยุทธวิธีการขายและการตลาดในพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ตลาดโลกาภิวัตน์สำหรับพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ แบบจำลองสถาปัตยกรรมโครงข่ายพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การจัดการเซิร์ฟเวอร์สำหรับพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การประชาสัมพันธ์ธุรกิจพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบการชำระเงินและระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การดำเนินการและบริหารโครงการพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ พันธมิตรโครงข่ายพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การประเมินความสำเร็จโครงการ

- **การวางแผนและกลยุทธ์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Planning and Strategy for Telecommunications Business)**

ศึกษาความรู้ด้านกลยุทธ์ การวางแผนและการให้บริการขององค์กร ตลอดจนประสบการณ์จากผู้บริหารมืออาชีพด้านธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคมและสารสนเทศ ศึกษาการวางแผนระดับองค์กรและระดับชาติ การวางแผนกลยุทธ์และการให้บริการของธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคม

- **การบริหารโครงการโทรคมนาคม (Telecommunications Project Management)**

ความรู้ด้านการบริหารตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงสิ้นสุดโครงการ ภายใต้กฎเกณฑ์ขององค์กรและข้อจำกัดด้านทรัพยากร การจัดองค์กร ข้อกำหนดพื้นฐานและเทคนิคการบริหารโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการและความต้องการของเจ้าของและผู้มีส่วนได้เสีย การประมาณราคาและการวางแผนงาน การควบคุมโครงการ การปิดโครงการ ปัจจัยที่สำคัญของความสำเร็จในการบริหารโครงการ รูปแบบของการบริหารให้ประสบความสำเร็จ การบริหารโครงการวิจัยและพัฒนา

- **การจัดการความเสี่ยงในธุรกิจโทรคมนาคม (Risk Management in Telecommunications Business)**

หลักการและวิธีการในการตัดสินใจในธุรกิจโทรคมนาคม เช่น วิธีแจกแจงวัตถุประสงค์ของโครงการ การเรียงลำดับความสำคัญ การบ่งบอกข้อจำกัด การจัดสรรทรัพยากร การวางแผน การตัดสินใจของกลุ่ม การแก้ปัญหาข้อโต้แย้งและการจัดการด้านแข่งขัน เป็นต้น ทฤษฎีและวิธีการในการบริหารความเสี่ยง ระบบบริหารคุณภาพ เช่น การวางแผนบริหารความเสี่ยง การบ่งชี้และวิเคราะห์ความเสี่ยง การตรวจสอบและควบคุมความเสี่ยง การวิเคราะห์โดยความไว ใดอะแกรมอิทธิพล ต้นไม้ตัดสินใจ กระบวนการลำดับขั้น และการจำลองแบบด้วย Monte Carlo ผลกระทบจากการเปิดเสรี ตลาดโทรคมนาคม ผลกระทบจากความเสี่ยงด้านความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี

- **รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (E-Government)**

แนวคิดของรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ ที่มาของรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศ กรณีศึกษารัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การชำระภาษี ระบบฐานข้อมูลกลาง การจัดซื้อจัดจ้าง บริการจดทะเบียนนิติบุคคล บริการต่อทะเบียนรถ และหนังสือเดินทาง เป็นต้น ประโยชน์ที่ได้รับจากรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ในมุมมองของภาคเอกชน รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์สู่ประชาชนอิเล็กทรอนิกส์

5.5.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมาย และนโยบายด้านเทคโนโลยี

- **กฎหมายเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Law)**

หลักนิติศาสตร์ กฎหมายการค้า กฎหมายทรัพย์สินทางปัญญา ลิขสิทธิ์ ลิขสิทธิ์บัตร เครื่องหมายการค้า การคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม กฎหมายและกฎการค้าระหว่างประเทศเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศและพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

- **กฎหมายและนโยบายโทรคมนาคม (Telecommunications Laws and Policy)**

กฎหมาย ระเบียบ และนโยบายด้านโทรคมนาคมและสารสนเทศ รวมถึงกฎระเบียบด้านสารสนเทศสำหรับผู้ประกอบการ กฎระเบียบเกี่ยวข้องกับอินเทอร์เน็ต ลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ความรู้ด้านการปกป้องทรัพย์สินทางปัญญา กฎหมายด้านโทรคมนาคมของประเทศอื่น ๆ องค์การระหว่างประเทศ ศึกษาผลกระทบและข้อจำกัดด้านกฎหมายที่มีต่อการดำเนินงานด้านธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคม

- **การพัฒนาและประเมินผลนโยบายโทรคมนาคม (Telecommunications Policy Development and Evaluation)**

ศึกษาโครงสร้างและวิวัฒนาการของอุตสาหกรรมโทรคมนาคม วิธีการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับอุปกรณ์โทรคมนาคม บริการมูลค่าเพิ่ม ความเป็นมาของการแปรรูปรัฐวิสาหกิจ การวางแผนนโยบายระดับชาติและระดับท้องถิ่น แนวทางการเลือกนโยบาย ผลกระทบของนโยบาย การวัด และประเมินผลนโยบายโทรคมนาคม

- **กฎหมายโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunications Laws)**

ศึกษานโยบายโทรคมนาคมโดยรวมในแต่ละโซนของโลกซึ่งมีกฎหมายและข้อบังคับเพื่อให้บรรลุ วัตถุประสงค์ กฎหมายและข้อบังคับสำหรับโครงข่ายโทรคมนาคมและบริการเพื่อบรรลุผลการแข่งขัน ด้านโทรคมนาคม ความสัมพันธ์ระหว่างข้อบังคับด้านโทรคมนาคมและกฎหมายการแข่งขันระหว่าง ประเทศ บทบาทของธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคมในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ประเด็น การค้า การถ่ายทอดเทคโนโลยี

5.5.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการตลาดด้านเทคโนโลยี

- **พื้นฐานทางธุรกิจ (Foundations of Business)**

แนวความคิดพื้นฐานในการประกอบธุรกิจ ประเภทของธุรกิจและการจัดการหลักการศึกษา ด้าน ดำเนินธุรกิจเบื้องต้น ซึ่งประกอบไปด้วย การตลาด การบริหาร การเงิน รวมถึงความรู้เบื้องต้นทางบัญชี และปัจจัยสำคัญของการบริหารองค์การ

- **การจัดการการตลาด (Marketing Management)**

ความสำคัญของงานบริหารด้านการตลาด เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในปัญหาต่าง ๆ ที่ เกิดขึ้นในตลาดที่มีสภาพซับซ้อน ศึกษาถึงหน้าที่บทบาทและความสำคัญของผู้บริหารงาน ด้าน การตลาดที่มีสภาพแวดล้อมที่สลับซับซ้อน พฤติกรรมของผู้บริโภค การแบ่งส่วนตลาด การวิเคราะห์ และพยากรณ์ความต้องการของตลาด การวางแผนและกำหนดนโยบาย การเลือกกลยุทธ์ และการ จัดการเกี่ยวกับส่วนผสมการตลาด ตลอดจนการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับ งานวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อหาข้อสรุปเป็นแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น

- **พฤติกรรมผู้บริโภคและการตลาดโทรคมนาคม (Telecommunications Consumer Behavior and Marketing)**

เน้นการเข้าถึงกลุ่มผู้บริโภค ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค และการตลาดของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการกำหนดราคา การจัดสถานที่ ชนิดผลิตภัณฑ์ และการประชาสัมพันธ์ นอกจากนี้ยังเน้นถึงวิธีการในการแก้ปัญหา การตัดสินใจ การพัฒนาตลาด

- **กลไกราคาด้านโทรคมนาคม (Telecommunications Pricing Mechanism)**

ทฤษฎีกลไกราคาด้านธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคม วิธีการกำหนดราคาแบบต่าง ๆ เช่น การใช้ส่วนต่าง การกระจายค่าใช้จ่าย มูลค่าเพิ่มในระยะยาว กลไกราคาบนพื้นฐานกิจกรรม เช่น Ramsey Peak-load, Two-Part Tariff และ Optional Tariff of Market เป็นต้น อัตราการเติบโตของตลาด กลไกราคารวม กฎระเบียบและวิธีการควบคุมราคา

5.5.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเศรษฐศาสตร์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม

- **พื้นฐานบริหารธุรกิจ (Fundamentals of Business Administration)**

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์กับการบริหารธุรกิจ การลงทุนทางธุรกิจ การศึกษาโครงการลงทุนทางธุรกิจ ตลาดและการตลาด การธนาคาร การบริหารเงินเดือนและค่าจ้าง เอกสารธุรกิจและการพาณิชย์ กฎหมายว่าด้วยการซื้อขาย การจัดองค์การธุรกิจ การจัดหาคมนำทำงาน สหภาพแรงงาน การบริหารธุรกิจกับแนวคิดเรื่องประสิทธิภาพ ความแตกต่างระหว่างการบริหารธุรกิจกับการบริหารราชการ การบริหารธุรกิจปัจจุบันและอนาคต

- **การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการจัดการโทรคมนาคม (Statistical Analysis for Telecommunications Management)**

ศึกษา และทบทวนทฤษฎีทางสถิติ หลักการวิเคราะห์เชิงสถิติในภาคธุรกิจ และเทคโนโลยีโทรคมนาคม และสภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจ วิธีการทางเศรษฐมิติ การพยากรณ์วงจรธุรกิจ การสร้างและการวิเคราะห์แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดการ และวางแผนธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคม

- **เศรษฐศาสตร์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Economics for Telecommunications Business)**

แนวความคิดพื้นฐานเศรษฐศาสตร์โดยเน้นทางด้านธุรกิจโทรคมนาคม เส้นโค้งอุปสงค์อุปทาน ความสมดุลของตลาด การได้ประโยชน์สูงสุด เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โทรคมนาคมท้องถิ่น เศรษฐศาสตร์ของตลาดโทรคมนาคมและกรณีศึกษา ประวัติศาสตร์ธุรกิจโทรคมนาคม แบบจำลอง Price Caps ขอบกับ Rate-of-Return เศรษฐศาสตร์อินเทอร์เน็ต การแพร่ของนวัตกรรม การจัดสรรทุนของรัฐบาลและการพัฒนาเทคโนโลยี

5.5.5 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบัญชีสำหรับธุรกิจโทรคมนาคม

- **บัญชีต้นทุน (Cost Accounting)**

การคำนวณต้นทุน วิธีการประมวลข้อมูลต้นทุน วิธีการวิเคราะห์ต้นทุน การวิเคราะห์ผลต่างกำไร ทำรายงานของระบบบัญชีต้นทุนต่าง ๆ ได้แก่ ระบบต้นทุนงานสั่งทำ ระบบต้นทุนงานช่วง การปันส่วน ต้นทุนตามกิจกรรมมา ระบบต้นทุนมาตรฐาน การจัดทำงบประมาณยืดหยุ่นและวิธีการควบคุมต้นทุน เพื่อประโยชน์ในการบริหาร การใช้ข้อมูลต้นทุนเพื่อการตัดสินใจในปัญหาปฏิบัติการและการวิเคราะห์รายจ่ายลงทุน การบัญชีตามความรับผิดชอบและราคาโอนการบริหารต้นทุนเชิงกลยุทธ์ การวัดผลปฏิบัติงานการบริหารสินค้าคงคลัง

- **การจัดการการเงิน (Financial Management)**

วิเคราะห์ตัดสินใจในปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการบริหารการเงิน ศึกษาถึงการจัดหาเงินทุนที่ธุรกิจต้องการ การตัดสินใจลงทุน ภายใต้ความเสี่ยง ตลอดจนการวางแผนและกำหนดแนวทางการควบคุมทางการเงิน ทั้งเงินทุนระยะสั้นและระยะยาวเพื่อทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ธุรกิจนั้น การศึกษาจะเน้นใช้กรณีศึกษา (Case Study)

- **การเงินและการบัญชีสำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Finance and Account for Telecommunications Business)**

แนวคิดและทฤษฎีการจัดการเงินขององค์กร การวิเคราะห์การลงทุน การจัดทำงบประมาณ การวิเคราะห์ความเสี่ยง การประเมินทิศทางการเงิน โดยเน้นธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคม หลักการในการจัดเตรียมและการใช้รายงานบัญชีการจัดการ รายงานการดำเนินการและการใช้รายงานบัญชีเพื่อการวางแผนและตัดสินใจ การบริการและควบคุมทางด้านธุรกิจและเทคโนโลยีโทรคมนาคม

5.5.6 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ (Knowledge Management)

- **การจัดการความรู้ (Knowledge Management)**

หลักการเรื่องข้อมูลสารสนเทศและความรู้ วัฏจักรความรู้ องค์กรแห่งการเรียนรู้ การจัดเก็บและบันทึกความรู้ การค้นหาและใช้งานความรู้ วิศวกรรมความรู้ การประยุกต์อินเทอร์เน็ตในงานจัดการความรู้ เช่น การจัดการเนื้อหาสาระ (Content Management) การทำ Portal

บรรณานุกรม

- [1] ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ. หลักการสื่อสาร. กรุงเทพฯ ซีเอ็ดดูเคชั่น. 1990
- [2] ประสิทธิ์ ทัพพุดิ. Satellite Communication. บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด. 1993
- [3] ปราโมทย์ จางอิสระกุล. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2547
- [4] บริษัท สามารถเทลคอม จำกัด. เปิดโลกทัศน์สู่การสื่อสารผ่านดาวเทียม. โรงพิมพ์เนชั่นพับลิชชิ่ง กรุ๊ป.
- [5] หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ พ.ศ. 2548
- [6] [http://docd.edu.ku.ac.th/home/matueros/ku magazine/wirless.html](http://docd.edu.ku.ac.th/home/matueros/ku%20magazine/wirless.html)
- [7] <http://course.yonok.ac.th/yaowalak/ch.67r.asp>
- [8] <http://kanchanapisek.or.th/cgi-bin/show2.cgi/kp6/BOOK23/pictures/l23-256>.
- [9] http://mobile.siam2you.com/zone_wireless/wireless_basic/index_basic.asp?thread=main_telecom
- [10] http://services.orange.co.th/developerZone/developer_GPRS.asp
- [11] http://thaicert.nectec.or.th/paper/wireless/IEEE80211_1.php
- [12] <http://tulip.bu.ac.th/~thirapon.w/article/bluetooth.htm>
- [13] http://ce.eng.dpu.ac.th/department/academic_work/tj/pdf/493_urn.pdf
- [14] <http://te.eng.dpu.ac.th/BR2.htm>
- [15] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj3-kittisak.pdf>
- [16] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj7-kittisak.pdf>
- [17] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj10-kittisak.pdf>
- [18] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj29-kittisak.pdf>
- [19] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj31-kittisak.pdf>
- [20] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj33-bongkarn.pdf>
- [21] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj4-napong.pdf>
- [22] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj11-napong.pdf>
- [23] <http://te.eng.dpu.ac.th/tj23-napong.pdf>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] <http://te.eng.dpu.ac.th/description%201.htm>
- [25] http://science.bu.ac.th/academic_program/software_engineering.html.
- [26] http://dpu2002.dpu.ac.th/graduate/mse/subject_description.htm
- [27] http://www.physice.sci.rit.ac.th/PHYSICS/oldfront/100/electromagnetic_wave2.htm
- [28] <http://www.arip.co.th/article.php?id=404619>
- [29] http://www.doe.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee341/text/w7441_1.pdf.
- [30] http://www.tup.ac.th/a_knowledge_source/occupation_it/information_technology/002.doc.
- [31] <http://www.school.net.th/library/snet3/physician/ampere/amprule.htm>.
- [32] <http://www.sc.chula.ac.th/courseware/natsci/RSMMainPage.htm>.
- [33] <http://www.geocities.com/zeroteams/CDMA/overview.html>
- [34] <http://www.adm.cat.or.th/northcat/microwav.htm>
- [35] <http://www.cme.mut.ac.th/webboard/view.php?GID=432>
- [36] <http://www.mobilesiam.com/Mobiletip/Question.asp?GID=36>
- [37] http://www.google.co.th/search?q=cache:DqvKJxui328J:internet.seed.com/content/IN78/IN78_54.asp+ipstar&hl=th
- [38] <http://www.bangkokbiznews.com/2003/kit/2003kit/0116/09.html>
- [39] http://www.stjohn.ac.th/training/elearning/main_elearning/document/e6.htm.
- [40] http://www.it.kmutt.ac.th/course_pro.php
- [41] http://www.spu.ac.th/graduate/course/ms_it/course.html.
- [42] www.teched.rit.ac.th/computered/chakkree/DDC/Info_Sheets/readchapter3_2.pdf
- [43] www.gsmworld.com/technology/gprs/intro.shtml
- [44] www.manager.co.th/cyberbiz/ViewNews.asp?NewsID=4744245430826

โครงการศึกษาวิวัฒนาการและแนวโน้มของศาสตร์ในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สาย

Study Project of Evolution and Trend for Wireless Communication Engineering

ผศ.ดร.บงการ หอมนาน, กิตติศักดิ์ ลำดี, ร้อยตรี ศิริรัตน์ เมตต์การุณจิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

โทร 0-2954-7300 ต่อ 589

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยเฉพาะประเภทไร้สายมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก ฉะนั้นบุคลากรทางด้านนี้จึงต้องติดตามเทคโนโลยีดังกล่าว และหน่วยงานด้านการศึกษาก็ต้องผลิตบุคลากรเพื่อรองรับเทคโนโลยีด้านนี้ด้วย เพื่อให้เข้าใจถึงที่มาและแนวคิด ตลอดจนวิธีแก้ปัญหาในอดีตของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย ผู้ที่เกี่ยวข้องควรศึกษาวิวัฒนาการทางด้านนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการศึกษา งานวิจัย ตลอดจนการปรับปรุงและสร้างหลักสูตร ภาควิชาที่เกี่ยวข้องควรศึกษาแนวโน้มของศาสตร์ในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจถึงที่มา ตลอดจนวิธีแก้ปัญหาในอดีต ขององค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม เป็นแนวทางในการพัฒนา หลักสูตร งานวิจัย องค์ความรู้ ทางด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม สำหรับกรอบการศึกษา วิวัฒนาการและแนวโน้มของศาสตร์โทรคมนาคมประเภทไร้สายในเล่มนี้ ได้แบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ที่มีเนื้อหา ตั้งแต่ประวัติความเป็นมา วิวัฒนาการและขอบเขตของศาสตร์ในสาขาวิชา ฐานทฤษฎี นักคิดที่สำคัญในศาสตร์ สถานการณ์ของศาสตร์ในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ การคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต และมีบทสรุปข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรของมหาวิทยาลัย

คำสำคัญ : วิวัฒนาการ, เทคโนโลยีโทรคมนาคม, วิศวกรรมโทรคมนาคม ประเภทไร้สาย

Abstract

At present, technologies of telecommunication engineering, especially wireless technologies have been developed very fast. Therefore, people who relates to these technologies have to follow them. Educational parts have also to create people for supporting the technologies. In order to understand the aims, the concepts, and the methods for solving problems in wireless technology related people should study its evolution. For the development of education, research, and curriculum, instructors should study trend of telecommunications

aiming to understand the concepts and the methods of solving problems. This will lead to develop curriculum, research, and knowledge for telecommunications technology. The scope of study, evolution, and trend of telecommunications in aspect of wireless technology in the report includes History, evolution, and scope, School of thought, Present Situation, Trend in the future, and The conclusion of curriculum development for university.

Keyword : evolution, telecommunications technology, wireless-communications engineering

1. ประวัติความเป็นมาวิวัฒนาการและขอบเขตของศาสตร์ในสาขาวิชา

1.1 วิวัฒนาการของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า

ระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้านั้นโดยพื้นฐานแล้วจะตั้งอยู่บนรากฐานของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยที่มีสาขาหลัก ๆ ดังนี้คือ [1]

- 1 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2 เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์
- 3 ทฤษฎีไฟฟ้าสื่อสาร

ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้มีการเริ่มต้นศึกษามาตั้งแต่ปี.ศ.1797 โดยนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงหลายคน เช่น แอมแปร์ (Andre Marie Ampere) ฟาราเดย์ (Michael Faraday) หรือเฮนรี (Joseph Henry) เป็นต้น และในปี ค.ศ.864 แมกซ์เวลล์ (James C. Maxwell) ได้รวบรวมทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในรูปที่สมบูรณ์และเป็นฐานของการใช้ประโยชน์ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจนถึงปัจจุบันนี้

1.2 ความเป็นมาของการสื่อสารไร้สาย

กุสลิโม มาร์โคนี (Guglielmo Marconi) นักประดิษฐ์ชาวอิตาลี ผู้ได้รับสิทธิบัตรในการค้นคว้าการส่งโทรเลขไร้สายเป็นคนแรกเมื่ออายุเพียง 22 ปี และเป็นเจ้าของรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี 1909 และ

ได้รับการยกย่องอย่างสูงจากคนทั่วโลกในสิ่งประดิษฐ์อันมีประโยชน์ของเขา [17]

กูทิลโม มาร์โคนี เกิดเมื่อปี ค.ศ.1874 ที่โบโลนา ในประเทศอิตาลี เขาได้รับแรงบันดาลใจจากการค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของคลาร์ก แมกซ์เวลล์ และการทดลองการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดของ ไชริช เฮอร์ตซ์ นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน

หลังจากการค้นพบของเฮอร์ตซ์ไม่นาน กูทิลโม มาร์โคนี ซึ่งศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยโบโลนา ในประเทศอิตาลี ได้พบปะกับนักวิทยาศาสตร์คนหนึ่งซึ่งเคยทำงานกับเฮอร์ตซ์ในประเทศเยอรมัน งานของเฮอร์ตซ์ทำให้มาร์โคนี เกิดจินตนาการ เขาได้สร้างเครื่องรับส่งวิทยุอย่างง่าย ๆ ไว้ในห้อง 2 ห้องที่บ้านของบิดา และในไม่ช้าเขาก็สามารถส่งสัญญาณข้ามห้องจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งได้ เขาพบว่า ถ้าเขาสร้างเสาอากาศให้สูงขึ้น เขาจะสามารถส่งสัญญาณของเขาไปได้ไกลขึ้นในปี ค.ศ.1895 เมื่อเขาอายุได้ 21 ปี เขาส่งสัญญาณไปได้ไกลถึง 1.5 km เขาเห็นความสำคัญของการค้นพบนี้ การทดลองต้องการทุนทรัพย์ แต่ไม่มีใครสนใจในเรื่องนี้นัก เมื่อเขาไม่ได้รับการสนับสนุนในอิตาลีจึงเดินทางไปลอนดอนในปี ค.ศ.1896 และการไปรษณีย์ของอังกฤษ ให้ความช่วยเหลือและด้วยการปรับปรุงวิธีการของเฮอร์ตซ์ในหลาย ๆ ด้าน เขาเริ่มสามารถส่งสัญญาณไปได้ไกล ๆ ขึ้น ในปี ค.ศ. 1899 เขาส่งสัญญาณจากสถานีหนึ่งบนฝั่งด้านใต้ไปยังสถานีในฝรั่งเศสซึ่งไกลออกไป 50 km และที่ระยะ 120 km ได้สำเร็จ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.3 ความเป็นมาของโทรศัพท์เคลื่อนที่

วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radio Telephone) เป็นวิทยุโทรศัพท์แบบหนึ่งที่ใช้คลื่นวิทยุช่วยนำข่าวสารข้อมูลจากต้นทางไปยังที่ไกล ๆ ปลายทางพร้อมก็สามารถพกพาเครื่องวิทยุโทรศัพท์นำติดตัวไปด้วย ในขอบเขตพื้นที่ทำการที่คลื่นวิทยุเดินทางไปได้ถึง

การทดลองวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1940 มีการทดลองเรื่อยมาจนถึงปี ค.ศ.1946 บริษัท AT&T ได้เปิดให้บริการวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นรายแรกในเวลานั้นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งใช้งานได้เฉพาะกลุ่มบางกลุ่มเท่านั้น ในขณะที่จะมีช่องสัญญาณให้ใช้งานเพียง 6 ช่องสัญญาณเท่านั้น การรับส่งข่าวสารข้อมูลใช้การผสมคลื่นแบบ AM เครื่องข่ายของการสื่อสารถูกจำกัดอย่างมากเพราะช่องสัญญาณแต่ละช่องอนุญาตให้ผู้ให้บริการใช้ได้เพียงคนเดียว และการติดต่อเลขหมายปลายทางต้องเรียกผ่านศูนย์ควบคุมให้พนักงานเป็นผู้เชื่อมต่อสัญญาณให้ วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบนี้มีข้อเสียหลายประการประการสำคัญคือมีข้อจำกัดในเรื่องของความจุของช่องสัญญาณต่ำทำให้ระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ต้องหยุดทำการไป

เนื่องจากมีความต้องการใช้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่มากขึ้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบเพื่อให้ระบบมีความจุของสัญญาณสูงขึ้น โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผสมคลื่นแบบ FM ใหม่ให้มีแถบกว้างของ

ช่องสัญญาณสื่อสารลดลงจากเดิม 120 kHz เหลือเพียง 25 kHz ช่วยให้จำนวนช่องสัญญาณใช้ในการติดต่อสื่อสารเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นในพื้นที่ให้บริการยังได้แบ่งช่องว่างความถี่ใช้งานออกเป็นหลายช่องความถี่ และได้มีการนำเอาความถี่ที่ใช้งานแล้วในพื้นที่หนึ่งกลับมาใช้งานใหม่ในพื้นที่หนึ่งสามารถใช้ช่องสัญญาณเพื่อติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่สมัยแรก ๆ

ในปี ค.ศ.1960 ห้องทดลองเบลล์ได้จัดคิดริบัตริ์ และได้พัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่กลายมาเป็นระบบโทรศัพท์แบบรวมฝั่ง (Cellular Mobile Telephone System) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าโทรศัพท์เซลลูลาร์ (Cellular Telephone) โครงสร้างของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ทวนสัญญาณจำนวนมากประกอบกันเป็นเครือข่าย แต่ระบบยังไม่สามารถนำมาใช้งานในทางธุรกิจได้ จนกระทั่งถึงปี ค.ศ.1983 ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ได้ถูกคิดตั้งขึ้นและเปิดให้บริการ โดยพื้นที่ให้บริการทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่า เซลล์ (Cell) แต่ละเซลล์จะมีรัศมีและจัดสรรความถี่ใช้งานเฉพาะเซลล์ แต่ละเซลล์จะมีขนาดเล็กพ่วงต่อกันเป็นแบบรวมฝั่ง เนื่องจากพื้นที่ให้บริการมีขนาดเล็กจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่กำลังส่งสูง ๆ สามารถนำความถี่ซ้ำ ๆ ไปใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

1.4 พัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่

การพัฒนาของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์แบ่งออกเป็นยุคตามรูปแบบของการพัฒนาเทคโนโลยีดังนี้ [6]

ยุคที่ 1 (1G) เป็นยุคแรกของการพัฒนาระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ การรับส่งสัญญาณใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อกเข้าช่องสื่อสารโดยใช้การแบ่งความถี่ออกมาเป็นช่องเล็ก ๆ ด้วยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนช่องสัญญาณ และการใช้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงคิดขัดข้องการขยายจำนวนเลขหมาย และการขยายแถบความถี่ ประจวบกับระบบเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุกำหนดขนาดของเซลล์และความแรงของสัญญาณเพื่อให้เข้าถึงสถานีฐานได้ ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งมีขนาดใหญ่ ใช้กำลังงานไฟฟ้ามาก ในภายหลังจึงเปลี่ยนมาเป็นระบบดิจิทัล และการเข้าช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบยุคที่ 1 จึงใช้เฉพาะในยุคแรกเท่านั้น

ยุคที่ 2 (2G) เป็นยุคที่พัฒนาต่อมาโดยการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโดยบีบอัดสัญญาณเสียงในรูปแบบดิจิทัล ให้มีขนาดจำนวนข้อมูลน้อยลงเหลือเพียงประมาณ 9 kbps ต่อช่องสัญญาณ การติดต่อจากสถานีลูก หรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานใช้วิธีการ 2 แบบคือ TDMA คือการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่องเล็ก ๆ และแบ่งกันใช้ ทำให้ใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอีกมาก กับอีกแบบหนึ่งเป็นการแบ่งการเข้าถึงด้วยการเข้ารหัส และการถอดรหัส เราเรียกวิธีการนี้ว่า CDMA (Code Division Multiple Access) ในยุคที่ 2 จึงเป็นการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์แบบดิจิทัลหมดแล้ว

ยุคที่ 3 (3G) เป็นยุคแห่งอนาคตอันใกล้ โดยสร้างระบบใหม่ให้รองรับระบบเก่าได้และเรียกว่า UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) โดยมุ่งหวังว่าการเข้าถึงเครือข่ายแบบไร้สายสามารถกระทำได้ด้วยอุปกรณ์หลากหลาย เช่น จากคอมพิวเตอร์ จากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ระบบยังคงใช้การเข้ารหัสสัญญาณเป็นแบบ CDMA ซึ่งสามารถบรรจุช่องสัญญาณเสียงได้มากกว่า แต่ใช้แบนด์วิดท์กว้าง (Wideband) ในระบบนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มบริษัทบางบริษัทแยกการพัฒนาในรุ่น ยุคที่ 3 เป็นแบบ CDMA เช่นกัน แต่เรียกว่า CDMA2000 กลุ่มบริษัทนี้พัฒนารากฐานมาจาก IS-95 ซึ่งใช้ในสหรัฐอเมริกา และยังขยายรูปแบบเป็นการรับส่งในช่องสัญญาณที่ได้ อัตราการรับส่งสูง (High Data Rate, HDR)

การพัฒนาในยุคที่สามนี้ยังต้องการความเกี่ยวข้องกับการใช้งานร่วมในเทคโนโลยีเก่าอีกด้วย โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาที่ยังคงให้ใช้งานได้ทั้งแบบ 1G และ 2G โดยเรียกรูปแบบใหม่เพื่อการส่งเป็นแพ็กเก็ตว่า GPRS (General Packet Radio Service) ซึ่งส่งด้วยอัตราความเร็วตั้งแต่ 9.06, 13.4, 15.6 และ 21.4 kbps โดยในการพัฒนาต่อจาก GPRS ให้เป็นระบบ 3G เรียกระบบใหม่ว่า EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)

1.5 ประวัติการสื่อสารผ่านดาวเทียม

วันที่ 4 ตุลาคม ค.ศ.1957 รัสเซียเป็นประเทศแรกที่สามารถส่งดาวเทียมดวงแรกของโลกขึ้นโคจรอยู่ในอวกาศนับเป็นอีกขั้นหนึ่งของการพัฒนาทางเทคโนโลยีของโลก ดาวเทียมดวงแรกใช้ชื่อว่า Sputnik หลังจากประสบความสำเร็จในการส่งดาวเทียมดวงนี้แล้ว ก็มีดาวเทียมอีกจำนวนนับร้อยถูกส่งขึ้นไปโคจรในอวกาศเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน มีผลทำให้การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอวกาศในสาขาต่าง ๆ เช่น การสื่อสารผ่านอวกาศ อุตุนิยมวิทยา สภาพะของของโลก ฯลฯ เป็นไปอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น การพัฒนาของดาวเทียมนั้นมิได้เริ่มต้นเมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงแรกขึ้นสู่วงโคจร แต่เริ่มจากการวิวัฒนาการของเทคโนโลยีหลายสาขา เช่น การพัฒนาของจรวด และอุปกรณ์การสื่อสาร รวมถึงความรู้อื่น ๆ อีกมากมาย

ต่อมาเมื่อ วันที่ 6 เมษายน ค.ศ.1965 องค์การ Intelsat ส่งดาวเทียมโทรคมนาคมเพื่อการพาณิชย์ดวงแรกคือ Early Bird หรือ Intelsat I เหนือมหาสมุทรแอตแลนติกเพื่อติดต่อระหว่างยุโรปกับสหรัฐอเมริกา โดยฝรั่งเศส อิตาลี อังกฤษ ผลัดกันทำงานติดต่อกับสหรัฐอเมริกา

วันที่ 26 ตุลาคม ค.ศ.1966 องค์การ Intelsat ส่งดาวเทียม Intelsat II สู่วงโคจร และประเทศไทยเปิดการติดต่อสื่อสารดาวเทียมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกกับสหรัฐอเมริกาทางด้านสวายเมื่อวันที่ 1 เมษายน ค.ศ.1967

วันที่ 11 ธันวาคม ค.ศ.1968 องค์การ Intelsat ส่งดาวเทียม Intelsat III ขึ้นสู่วงโคจร ประเทศไทยติดต่อดาวเทียม Intelsat III F-4 ทางด้านมหาสมุทรแปซิฟิก และดาวเทียม Intelsat III F-3 เหนือมหาสมุทรอินเดีย เมื่อวันที่ 1 เมษายน ค.ศ.1970

หลังจากนั้นประเทศไทยก็ใช้ดาวเทียมของ Intelsat มาตลอด ในปัจจุบันประเทศไทยยังใช้ดาวเทียมอื่น ๆ อีก เช่น ดาวเทียม Palapa ของประเทศอินโดนีเซีย ดาวเทียม Asiasat ของประเทศฮ่องกง และตั้งแต่ปี ค.ศ.1993 เป็นต้นไปประเทศไทยจะมีดาวเทียมเป็นของตนเองชื่อว่า ไทยคม (Thaicom) ซึ่งบริษัทชินวัตรคอมพิวเตอร์แอนด์คอมมูนิเคชั่นเป็นผู้ได้รับสัมปทาน รายละเอียดต่าง ๆ ในการใช้ดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน

1.6 ความเป็นมาของการสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave)

การส่งสัญญาณไมโครเวฟ เป็นการส่งข้อมูลผ่านที่ว่างเปล่า สัญญาณไมโครเวฟจะถูกส่งจากสายอากาศ (Antenna) กระจายผ่านอากาศ ไมโครเวฟเป็นคลื่นวิทยุที่มีความถี่ระหว่าง 1 GHz - 10 GHz สัญญาณไมโครเวฟจะถูกส่งผ่านท่อนำคลื่น (Waveguide) ไปยังสายอากาศ ท่อนำคลื่นเป็นตัวนำพิเศษมีลักษณะเป็นท่อกลวง สัญญาณไมโครเวฟจะแพร่กระจายผ่านท่อนำคลื่นด้วยความสูญเสียกำลังต่ำมาก การส่งสัญญาณไมโครเวฟ จะวิ่งเป็นลักษณะลำคลื่นแคบ (Narrow Beams) และมีทิศทางเป็นแนวตรงโดยสายอากาศ หรือจานไมโครเวฟ (Microwave Antenna) จะติดตั้งห่างกันตามที่ได้ออกแบบไว้โดยสัญญาณจากหลายแหล่งสามารถมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) แล้วส่งร่วมกันผ่านไมโครเวฟที่มีแบนด์วิดท์สูงได้

ข้อดีของระบบส่งสัญญาณไมโครเวฟ คือให้แบนด์วิดท์ที่รองรับข้อมูลสูงกว่าการส่งผ่านข้อมูลผ่านสายสัญญาณและ ลดงานการเดินทางสัญญาณ ดังนั้นนิยมใช้ระบบส่งสัญญาณไมโครเวฟในพื้นที่ที่ไม่สะดวกสำหรับการเดินสาย ระบบไมโครเวฟ เหมาะกับการส่งสัญญาณระยะใกล้และไกล ระบบสื่อสารที่ใช้การส่งสัญญาณไมโครเวฟ เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเพจเจอร์

ข้อเสียของระบบไมโครเวฟ คือ คุณภาพสัญญาณอาจถูกรบกวนโดยสภาพอากาศ และไม่สามารถส่งหรือเส้นทางแพร่คลื่น ออกนอกขอบเขตแนวสายตา ดังนั้นจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องทวนสัญญาณไมโครเวฟ เป็นระยะ ๆ เมื่อส่งสัญญาณระยะไกล

1.7 ความเป็นมาของเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network, WLAN)

แนวความคิดเกี่ยวกับการสื่อสารไร้สายนี้ได้เกิดขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1901 นักฟิสิกส์ชาวอิตาลีได้ทำการสาธิตการสื่อสารระหว่างเรือกับฝั่งโดยใช้โคมไฟ เปิด-ปิด เป็นสัญญาณแทนความหมายต่าง ๆ ในรหัสที่เรียกว่า Morse code ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่ามีความพื้นฐาน

แนวความคิดเช่นเดียวกันกับข้อมูลแบบดิจิทัลที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนั่นเอง [18]

เครือข่ายไร้สาย WLAN เกิดขึ้นครั้งแรก ในปีค.ศ.1971 บนเกาะฮาวาย โดยโครงการ ของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย ที่ชื่อว่า “ALOHNET” ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ Bi-Directional ส่งไป-กลับง่าย ๆ ผ่านคลื่นวิทยุ สื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะ โดยรอบ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะ ๑ แห่ง ที่ชื่อว่า Oahu

เครือข่ายไร้สาย WLAN คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ซึ่งอาจจะนำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ (Radio Frequency, RF) และคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีความปลอดภัยสูงทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สาย ที่สำคัญก็คือ การที่มันไม่ต้องใช้สาย ทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

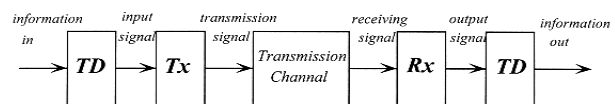
1.8 เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth Technology)

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ นั่นคือไม่จำเป็นต้องมีสายก็สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ เช่น คอมพิวเตอร์ของเราอยู่อีกห้องหนึ่ง สามารถจะส่งข้อมูล ไปพิมพ์ที่เครื่องพิมพ์ (Printer) อีกฝากห้องหนึ่งได้ หรือเราอาจจะใช้โทรศัพท์มือถือสั่งงานระบบควบคุมไฟฟ้าภายในบ้านก็ได้ ปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธได้กลายเป็นมาตรฐานที่ทุกอุปกรณ์จำเป็นต้องมี เช่น คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook) โทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ นอกจากนี้ในการใช้งานเราสามารถใช้งานได้อิสระเต็มที่ เช่น อาจแชร์ (Share) ไฟล์ข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือนำไปรวมเข้ากับเครือข่าย LAN หรือนำไปใช้ในการเปิดประตูยนต์โดยโทรศัพท์มือถือก็ได้

ข้อกำหนดเปิด (Open Specification) เป็นข้อกำหนดสำหรับการติดต่อสื่อสารไร้สาย นั้นหมายความว่าใครก็ได้ในโลกนี้สามารถใช้งานได้ ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการนำไปใช้ โดยข้อกำหนดเปิดนี้ถูกกำหนดโดย Bluetooth Special Interest Group (SIG) ประกอบด้วย บริษัท Ericsson บริษัท Intel Corporation บริษัท IBM บริษัท Nokia Corporation และบริษัท Toshiba Corporation เพื่อสร้างข้อกำหนดเปิดสำหรับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อสนับสนุนการทำงาน และการสร้างอุปกรณ์ทุกชนิดให้ทำงานข้ามแพลตฟอร์ม (Platform)

2 ฐานทฤษฎีนักคิดที่สำคัญในศาสตร์

ในปัจจุบัน (ค.ศ. 2004) วิทยาการการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาขึ้นมากเมื่อเทียบกับในอดีตแต่อย่างไรก็ตามทฤษฎีของนักคิดในอดีตนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งทำให้เกิดวิวัฒนาการมาจนถึงปัจจุบัน ก่อนที่จะศึกษาทฤษฎีของนักคิดที่สำคัญนั้นควรจะเข้าใจถึงระบบการสื่อสารด้วยไฟฟ้าและรูปแบบของการส่งสัญญาณก่อน ซึ่งเป็นพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคมประเภทไร้สาย



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.1 มีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ [8]

- **ตัวแปลงสัญญาณ (Transducer, TD)** เป็นตัวจัดการเปลี่ยนข่าวสารที่ไม่ได้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
- **ตัวส่ง (Transmitter, TX)** จะทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณที่ของข้อความ หรือข่าวสารให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับตัวกลาง
- **ช่องสัญญาณ (Transmission Channel)** เป็นตัวกลางที่จะเชื่อมโยงระหว่างต้นทางกับปลายทาง
- **ตัวรับ (Receiver, RX)** ทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณออกมาคือการขยายขนาดสัญญาณการดีมอดูเลตและการถอดรหัสเพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมือนเดิมออกมา

2.1 รูปแบบของการส่งสัญญาณ [20]

- **แบบทิศทางเดียวหรือซิมเพิล็กซ์ (One Way หรือ Simplex)** เป็นการส่งข้อมูลในทิศทางเดียว
- **แบบกึ่งทางคู่หรือครึ่งคู่พล็กซ์ (Half Duplex)** เป็นการส่งข้อมูลแบบสลับการส่งและรับข้อมูลไปมา จะทำในเวลาเดียวกันไม่ได้
- **แบบทางคู่หรือคู่พล็กซ์เต็ม (Full Duplex)** เป็นการส่งข้อมูลแบบที่สามารถส่ง และรับข้อมูลได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน

ทฤษฎีของนักคิดที่สำคัญจากอดีตถึงปัจจุบันตามวิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย มีรายละเอียดทฤษฎีต่าง ๆ ของนักคิดที่สำคัญ ดังนี้

2.2 กระแสไฟฟ้าสามารถให้กำเนิดสนามแม่เหล็ก

การค้นพบอำนาจแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งเริ่มมาจากการที่เออร์สเตด (Hans Christian Oersted ค.ศ. 1777- 1851) ในปี ค.ศ. 1820

สังเกตพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดส่งแรงแม่เหล็กไปกระทำต่อแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ ๆ คล้ายกับว่าขดลวดเป็นแม่เหล็กเอง

2.2.1 กฎของแอมแปร์ (Ampere's law) [21]

เป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ

2.2.2 กฎของบิโอซาวาร์ต (Biot-savart Law) [3]

เป็นกฎที่กล่าวถึงสนามแม่เหล็กสถิตที่เกิดจากกระแสไหลเข้าไปในตัวนำและทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น จากกฎนี้นำไปสู่สมการพื้นฐานซึ่งสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ณ จุดใด ๆ ในอากาศว่าง ที่มาจากกระแสย่อยได้

2.3 การเคลื่อนที่ของแม่เหล็กใกล้กับตัวนำก่อให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ

ในปี ค.ศ. 1831 ฟาราเดย์ (Michael Faraday) สังเกตว่า “สนามแม่เหล็กแปรตามเวลา ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดวงรอบปิด” ซึ่งต่อมาเรียกว่า กฎของฟาราเดย์ โดยกฎของฟาราเดย์ แสดงให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กแปรตามเวลาที่ไหลผ่านพื้นผิวทำให้เกิด (เหนี่ยวนำ) สนามไฟฟ้าตามวงรอบปิด [3]

2.4 ทำนายการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) (1831-1879) นักคณิตศาสตร์ชาวสก็อต ได้รวบรวมอำนาจไฟฟ้าและอำนาจแม่เหล็กเข้าเป็นเรื่องเดียวกัน และเป็นรูปแบบนำไปสู่พื้นฐานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสมัยใหม่

2.4.1 บทสรุปสมการของแมกซ์เวลล์

แมกซ์เวลล์ได้รวบรวมสมการที่มาจากผลของ แอมแปร์ ฟาราเดย์ เกาส์ คูลอมบ์ และบุคคลอื่น ๆ นอกจากนี้เขาได้ทำให้กฎของแอมแปร์เป็นจริงกับการคำนวณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการเพิ่ม 1 เทอมในกฎของแอมแปร์ ทำให้ได้เป็นสมการของแมกซ์เวลล์ [3]

2.4.2 การประยุกต์ทฤษฎีสถานะไฟฟ้า

การประยุกต์สมการของแมกซ์เวลล์เกิดขึ้นในด้านอุปกรณ์ไมโครเวฟ สายอากาศ และสายส่ง ที่จำเป็นต้องมีการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสถานะไฟฟ้า

2.5 ทดลองทฤษฎีของแมกซ์เวลล์

ศาสตราจารย์ชาวเยอรมัน ชื่อ Dr. Heinrich Rudolf Hertz เป็นบุคคลแรกที่ได้นำเอาทฤษฎีการแผ่กระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของ

ศาสตราจารย์แมกซ์เวลล์มาทำการทดลองโดยการสร้างเครื่องกำเนิด (Generator) ที่เรียกว่า Spark Gap Generator เพื่อพิสูจน์ว่าทฤษฎีดังกล่าวเป็นจริง

2.5.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) [32]

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปแบบหนึ่งการถ่ายเทพลังงาน จากแหล่งที่มีพลังงานสูงแผ่รังสีออกไปรอบ ๆ โดยมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ความยาวคลื่น (λ) และ ความถี่คลื่น (f)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถูกจำแนกออกตามย่านความยาวคลื่นต่าง ๆ จากคลื่นสั้น ไปคลื่นยาวดังนี้คือ

- ช่วงรังสีแกมมา (Gamma ray : $\lambda < 0.1$ nm) และช่วงรังสีเอ็กซ์ (X-ray : 0.1 nm $< \lambda < 300$ nm) เป็นช่วงที่มีพลังงานสูง แผ่รังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ หรือจากสารกัมมันตรังสี
- ช่วงอัลตราไวโอเลต เป็นช่วงที่มีพลังงานสูง เป็นอันตรายต่อเซลล์มีชีวิต
- ช่วงคลื่นแสง เป็นช่วงคลื่นที่ตามนุษย์รับรู้ได้ ประกอบด้วยแสงสีม่วง ไปลงมาถึงแสงสีแดง
- ช่วงอินฟราเรด เป็นช่วงคลื่นที่มีพลังงานต่ำตามนุษย์มองไม่เห็น จำแนกออกเป็น อินฟราเรดคลื่นสั้น และอินฟราเรดคลื่นความร้อน
- ช่วงคลื่นวิทยุ (Radio Wave) เป็นช่วงคลื่นที่เกิดได้จากการสั่นของผลึกที่ได้รับความร้อนไฟฟ้า หรือเกิดจากการสลับ ขั้วไฟฟ้า สำหรับในช่วงไมโครเวฟ มีการให้ชื่อเฉพาะ เช่น W-band, V-band, O-band, Ka-band, K-band, Ku-band, X-band, C-band, S-band, L-band และ P-band

2.6 เทคนิคการส่งผ่านสัญญาณแบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล (Analog and Digital -Transmission) [42]

ในการส่งสัญญาณข้อมูลหรือข่าวสารใด ๆ ก็ตาม เราสามารถส่งได้ใน 2 ลักษณะ คือการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อก และการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล

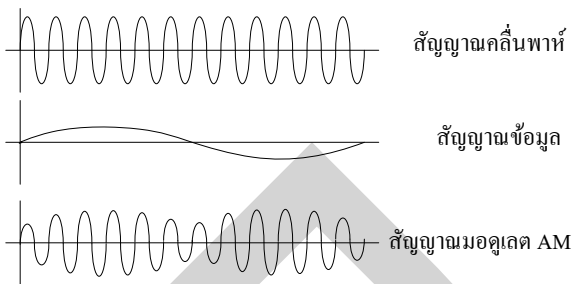
การมอดูเลตสัญญาณ (Signal Modulation) คือ ขั้นตอนในการอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณ

2.6.1 การมอดูเลตสัญญาณแบบแอนะล็อก

วิธีการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อกเพื่อส่งผ่านไปทางสื่อสารแบบแอนะล็อกนั้นมี 3 วิธีด้วยกัน คือ

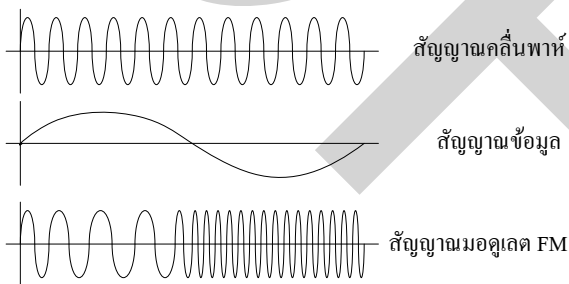
- การมอดูเลตแบบแอมพลิจูด (Amplitude Modulation, AM) เป็นการทำให้คลื่นพาห้มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณ-ข้อมูลในขณะที่สัญญาณ AM มีความถี่ที่เท่ากับความถี่คลื่นพาห้

แต่มีข้อเสียคือ สัญญาณรบกวน (Noise) จากภายนอกเข้ามารบกวนได้ง่าย



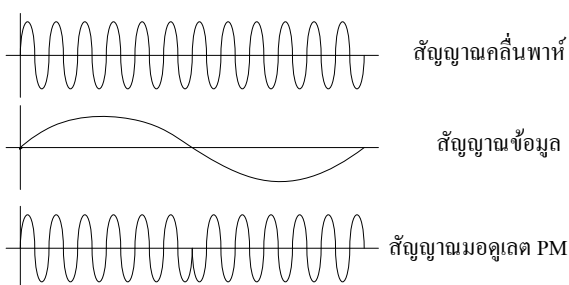
รูปที่ 2.2 การมอดูเลตสัญญาณแบบ AM

- การมอดูเลตแบบความถี่ (Frequency Modulation, FM) เป็นการทำให้คลื่นพาห์มีความถี่เปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล ในขณะที่สัญญาณ FM มีแอมพลิจูดคงที่เท่ากับแอมพลิจูดคลื่นพาห์ แต่มีข้อเสียคือ ระบบจะซับซ้อนกว่าการมอดูเลตแบบแอมพลิจูด และวัสดุที่เป็นสายนำสัญญาณมีราคาสูง



รูปที่ 2.3 การมอดูเลตสัญญาณแบบ FM

- การมอดูเลตแบบเฟส (Phase Modulation, PM) เป็นการทำให้คลื่นพาห์มีมุมเฟสเปลี่ยนไปเมื่อมุมเฟสของสัญญาณข้อมูลต่างจากมุมเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ ในขณะที่สัญญาณ PM มีความถี่ และแอมพลิจูดคงที่เท่ากับคลื่นพาห์



รูปที่ 2.4 การมอดูเลตสัญญาณแบบ PM

2.6.2 การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Modulation)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกย่านความถี่เสียง เราเรียกว่า โมเด็ม (Modulator Demodulator, MODEM)

เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

- การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude-Shift Keying, ASK)
- การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency-Shift Keying, FSK)
- การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase-Shift Keying, PSK)

อุปกรณ์ที่ทำงานตรงกันข้ามกับโมเด็มคือ โคเดก (Coder/Decoder, CODEC) ใช้เทคนิคในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation, PAM) จากนั้นนำไปมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (Pulse Code Modulation, PCM)

2.6.3 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกกับการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล

- สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกจะถูกขยายเมื่อสัญญาณถูกขยาย แต่แบบดิจิทัลจะเป็นการทบทวนสัญญาณใหม่ให้กลับเหมือนเดิม ดังนั้นการส่งแบบดิจิทัลจึงดีกว่าการส่งแบบแอนะล็อก
- การมัลติเพล็กซ์ การส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่งโดยผ่านตัวกลางสายส่งเดียวกัน ถ้าใช้จำใช้ในการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณในการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกนั้นแพงกว่าที่ใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลมาก

2.7 การเข้าถึงช่องสัญญาณ (Multiple Access)

การเข้าถึงช่องสัญญาณ คือการเข้าใช้ช่องสัญญาณจากต้นกำเนิดข้อมูลที่ต้องการจะส่งไปในช่องสัญญาณเดียวกัน ปกติต้นกำเนิดข้อมูลเหล่านี้จะไม่ได้อยู่ที่เดียวกันและไม่ได้ถูกควบคุมโดยตรงจากส่วนกลาง ความต้องการใช้ช่องสัญญาณต่างกัน จึงต้องมีการจัดการให้เข้าใช้ช่องสัญญาณได้อย่างเป็นระเบียบ โดยแบ่งเป็น 3 วิธีดังนี้ [23]

- การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access, FDMA)
- การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access, TDMA)
- การเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยการเข้ารหัสสัญญาณ (Code Division Multiple Access, CDMA)

2.8 โทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อกล่าวถึงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ (Cellular Telephone System) [14] การเชื่อมโยงระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นแบบไร้สาย ในส่วนของโครงข่ายที่ใช้เชื่อมโยงสัญญาณกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกว่า สถานีฐาน จะต้องมีการกระจายทั่วบริเวณพื้นที่ให้บริการ โดยแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย แต่ละพื้นที่ย่อยเรียกว่า เซลล์ (Cell) เมื่อมีการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว สัญญาณและข้อมูลต่างก็จะถูกส่งผ่านชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Switching Center)

ถ้าผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากบริเวณเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่ายก็ต้องมีการเปลี่ยนจากสถานีฐานหนึ่งไปสู่อีกสถานีฐานหนึ่งที่รับผิดชอบบริเวณพื้นที่ใหม่ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าไป กระบวนการนี้เรียกว่า การแฮนด์ออฟ (Handoff) หรือ การแฮนด์โอเวอร์ (Handover)

2.9 ระบบสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave Communication System)

ระบบการสื่อสารไมโครเวฟเป็นส่วนหนึ่งของระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สายที่มีการประยุกต์ใช้งานด้านการส่งข่าวสารข้อมูลวิทยุกระจายเสียง โทรทัศน์ จนถึงบริการโทรศัพท์ทางไกล สำหรับการส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่ง จะอยู่ในช่วงไมโครเวฟใช้ย่านความถี่ระหว่าง 1 GHz ถึง 1,000 GHz แต่ที่ใช้สำหรับภาคพื้นดิน จะใช้ย่านความถี่ถึง 100 GHz เท่านั้น

2.9.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสารไมโครเวฟ [24]

มีส่วนประกอบหลัก คือ จุดส่ง (Transmitting Terminal) จุดทวนสัญญาณ (Repeater Terminal) และจุดรับ (Receiving Terminal)

2.9.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไมโครเวฟที่สำคัญ

1. อุปกรณ์รับ-ส่งต้นทาง
 2. อุปกรณ์รับ-ส่งปลายทาง
 3. อุปกรณ์ทวนสัญญาณ อุปกรณ์ทวนสัญญาณมีหลายรูปแบบแล้วแต่ความต้องการของการทวนสัญญาณ ดังนี้
 - การทวนสัญญาณแบบความถี่กลาง (Intermediate Frequency, IF)
 - การทวนสัญญาณแบบแยกมัลติเพล็กซ์
- นอกจากอุปกรณ์หลักดังกล่าวแล้วในระบบคมนาคมไมโครเวฟยังมีวิธีการที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบ เช่น ไดเวอร์ซิตี (Diversity) หรือการสลับเพื่อป้องกัน (Protection Switching)

2.10 การสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication)

การสื่อสารดาวเทียมเข้ามามีบทบาทสำคัญเมื่อ Athur C. Clark นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษเสนอความคิดง่าย ๆ ที่จะนำเอาสถานีถ่ายทอดสัญญาณวิทยุไปลอยในท้องฟ้า และรับสัญญาณวิทยุจากสถานีภาคพื้นดิน [4]

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นสามารถแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่

1. ภาคอวกาศ (Space Segment)
2. ภาคพื้นดิน (Ground Segment)

ในดาวเทียมมีส่วนประกอบที่สำคัญในการติดต่อสื่อสารที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดินได้แก่ ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ซึ่งเป็นช่องรับส่งผ่านคลื่นสัญญาณ ส่วนถัดไปเป็นอุปกรณ์สร้างพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และระบบการควบคุมให้ดาวเทียมสามารถโคจรอยู่ในอวกาศในตำแหน่งที่ต้องการและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.10.1 วงโคจรของดาวเทียม (Satellite Orbit)

การโคจรของดาวเทียมสามารถแบ่งตามลักษณะการโคจรได้ 3 ประเภทคือ

1. **Polar Orbit** คือ วงโคจรที่มีรูปลักษณะเป็นวงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในแนวขั้วโลก
2. **Inclined Orbit** วงโคจรลักษณะนี้มีอยู่ด้วยกันจำนวนมาก แตกต่างกันไปตามความเอียง (Incline) หรือมุมที่ระนาบศูนย์สูตรและความรีของวงโคจรว่ามากน้อยเพียงใด
3. **Equatorial Orbit** คือวงโคจรที่อยู่บนระนาบเดียวกันกับแนวเส้นศูนย์สูตรของโลก

2.10.2 วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit)

เป็นแนวความคิดที่ ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทั่วทุกมุมโลก และเป็นที่มาของ วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit) ซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับดาวเทียมสื่อสารในปัจจุบัน

2.10.3 เทคนิคการเข้าถึงหลายทางของดาวเทียม (Multiple Access Techniques)

การทำให้สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station) สามารถติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมได้พร้อม ๆ กันหลายสถานีโดยที่ไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน (Interference) หรือมีการรบกวนน้อยที่สุด ซึ่งจะไม่ได้ทำให้คุณภาพของสัญญาณต่ำลง ซึ่งวิธีการนี้เราเรียกว่า “Multiple Access Techniques” แบ่งออกได้เป็น 3 แบบดังนี้

1. Frequency Division Multiple Access (FDMA)

2. Time Division Access (TDMA)
3. Code Division Access (CDMA)

3. สถานการณ์ของศาสตร์ในปัจจุบัน

ในช่วงระยะเวลา 4-5 ปีที่ผ่านมาผู้ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเมืองไทยทุกรายต่างเร่งทำการขยายโครงข่ายเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั่วประเทศ ในขณะที่เดียวกันก็เพิ่มขีดความสามารถของโครงข่ายของตัวเองเพื่อรองรับบริการข้อมูลที่ไม่ใช่เสียง (Non-Voice Service) โดยเฉพาะระบบ GSM (Global System for Mobile Communication) ที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็วเพียง 9.6 kbps (kilobits per second) เช่น WAP (Wireless Application Protocol) ที่เคยสร้างกระแสในบ้านเราแล้วก็เงียบหายไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นก็ได้มีการพัฒนาให้รับ-ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นถึงประมาณ 115 kbps ในทางทฤษฎีด้วยเทคโนโลยี GPRS (General Packet Radio Service) ซึ่งอาจจะเรียกว่าเป็นเทคโนโลยีในยุคที่ 2.5 (2.5G) เนื่องจากพัฒนามาบนพื้นฐานระบบ GSM โดยเริ่มนำวิธีการสวิตชิงแบบแพ็กเก็ต (Packet-Switching) เข้ามาใช้ อย่างไรก็ตามระดับความเร็วดังกล่าวก็ยังไม่ถึงเกณฑ์ของเทคโนโลยีในยุคที่ 3 (3G) ตามมาตรฐานของ IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) ทำให้เทคโนโลยีใหม่อีกหลายตัวเข้ามาสู่เมืองไทยเพื่อขยับเข้าใกล้ยุค 3G ให้มากที่สุดโดยเทคโนโลยีเหล่านั้นได้แก่ GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rate for Global Evolution), CDMA 2000 1X (Code Division Multiple Access 2000 1X) นอกจากนี้เทคโนโลยีทางด้านแลนไร้สาย WLAN (Wireless LAN) และ เทคโนโลยี บรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม (IP-STAR) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องทางด้านไร้สายก็จะกล่าวในบทนี้ด้วย

3.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคปัจจุบัน

3.1.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G หรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคดิจิทัล เป็นระบบส่งสัญญาณทางวิทยุแบบดิจิทัล ซึ่งเป็นการเปลี่ยนยุคจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบแอนะล็อกสู่ดิจิทัล มีผลทำให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่าง ในหนึ่งช่องสัญญาณความถี่จากเดิมที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้หนึ่งคน เปลี่ยนเป็นสามารถรองรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้หลายคน ซึ่งแล้วแต่จะใช้เทคนิคการแบ่งทางเวลาหรือการแบ่งทางรหัสสัญญาณ นอกจากนี้โครงสร้างของเซลล์ก็มีการพัฒนาให้มีทั้งเซลล์ขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G มีอยู่ 4 มาตรฐาน คือ

1. Global System for Mobile (GSM) Communications เป็น มาตรฐานทางกลุ่มประเทศยุโรป

2. Digital AMPS (D-AMPS) หรือ US-TDMA เป็นมาตรฐานทางประเทศอเมริกา

3. Code-Division Multiple access (CDMA) หรือเรียกว่ามาตรฐาน IS-95 ที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Qualcomm ประเทศอเมริกา

4. Personal Digital Cellular (PDC) เป็นมาตรฐานทางประเทศญี่ปุ่น

จากทั้ง 4 มาตรฐานนี้ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ได้มีการเปิดให้บริการมากที่สุดในโลก โดยระบบ GSM ได้ออกแบบเป็นระบบดิจิทัล โดยเริ่มนำมาใช้งานจริงครั้งแรกในราวปี ค.ศ. 1991 และในปัจจุบันระบบ GSM นี้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายกว่า 120 ประเทศทั่วโลก ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย จากปริมาณความต้องการการใช้งานที่มีมาก ทำให้มีการนำเอามาตรฐาน GSM ที่ใช้งานช่วงความถี่ย่าน 900 MHz ไปใช้ในความถี่ย่าน 1,800 MHz และมีการเรียกระบบดังกล่าวว่า Digital Cellular System 1800 (DCS 1800) หรือบางครั้งเรียกว่า Personal Communications Networks (PCN) นอกจากนี้ยังมีการนำเอามาตรฐาน GSM ไปใช้งานที่ความถี่อื่น ๆ อีก ได้แก่ ย่านความถี่ 1900 MHz เรียกระบบ DCS 1900 หรือ GSM-1900 ย่านความถี่ 800 MHz เรียกว่าระบบ GSM-800 และย่านความถี่ 400 MHz เรียกระบบ GSM-400 เป็นต้น

สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มีอัตราการส่งข้อมูลได้ถึง 9,600 bps และในกรณีพิเศษสามารถมีอัตราการส่งถึง 14.4 kbps ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้สูงขึ้นเนื่องจากในอนาคตมีแนวโน้มว่าปริมาณการรับ-ส่งข้อมูลจะมีจำนวนมากเนื่องจากมีบริการใหม่ ๆ ที่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถเปิดให้บริการได้ เช่น บริการอินเทอร์เน็ต อิมล์ สื่อประสมต่าง ๆ จึงมีการพัฒนาระบบ GPRS (General Packet Radio Services) ซึ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เรียกว่าระบบโทรศัพท์ยุค 2.5G ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป [32]

3.1.1.1 CDMA (Code Division Multiple Access)

CDMA (Code Division Multiple Access) คือระบบโทรศัพท์ที่แบ่งการส่งข้อมูลโดยการแบ่งข้อมูลที่ส่ง นำไปเข้ารหัสแยกกันเป็นส่วน ๆ ทำให้สามารถส่ง ข้อความหลายข้อความไปบนช่อง สัญญาณเดียวกันได้โดยจัดสรรช่อง ความถี่ให้ใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ CDMA มีความสำคัญในฐานะพื้นฐานสำหรับการพัฒนาของ 3G เพราะเทคโนโลยี 3G จะใช้ระบบ CDMA ทั้งสิ้น โดยความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 14.4 kbps เท่ากับโมเด็มแอนะล็อก สำหรับสายโทรศัพท์บ้านในช่วง 4 ปีที่แล้ว

ในด้านของบริการข้อมูล ได้มีการเพิ่มระบบการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงขึ้นเรียกว่า MDR หรือ Medium Data Rates สามารถรองรับการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 115.2 kbps สูงกว่าในระบบ IS-95A ที่ให้บริการสูงสุดได้เพียง 14.4 kbps MDR ประกอบด้วยกลไกการส่งข้อมูลที่อาศัยช่อง Traffic Code Channel มากกว่า 1 ช่องประกอบกัน โดยที่ความเร็วสูงสุคนั้นสามารถใช้ Fundamental Code Channel 1 ช่อง

ร่วมกับ Supplementary Code Channel อีก 7 ช่องเพื่อส่งข้อมูลความเร็วได้สูงถึง 115.2 kbps ($8 \times 14.4 \text{ kbps} = 115.2 \text{ kbps}$) นอกจากนี้ยังสามารถปรับความเร็วในการส่งข้อมูลได้ตามการใช้งาน โดยปรับจำนวนช่อง Supplementary Code Channel ตั้งแต่ 1 ถึง 7 ช่องตามความต้องการ [9]

3.1.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G

เป็นการพัฒนาต่อมาจากยุค 2G โดยพัฒนาให้รับ-ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นถึง 115 kbps ด้วยเทคโนโลยี GPRS

3.1.2.1 GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS เป็นระบบที่เพิ่มความสามารถการทำงาน ให้กับระบบ GSM ในการให้บริการ non voice value added services (บริการที่ไม่เกี่ยวกับเสียงการสนทนา) จุดเด่นของบริการ GPRS ที่มีประโยชน์เด่นชัดที่สุด คือเรื่องของความเร็วในการรับส่งข้อมูล ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับระบบเครือข่าย ทำให้การให้บริการต่าง ๆ รวดเร็วขึ้น ด้วยความสามารถในการรับส่งข้อมูลความเร็วสูง ในทางทฤษฎี GPRS สามารถให้บริการที่ความเร็วสูงสุดถึง 171.2 kbps โดยต้องอาศัยการใช้ช่องเวลา (Time Slot) ทั้งแปดช่วงของทั้งหมดที่มี ซึ่งนั่นหมายถึงความเร็วสูงสุดที่สูงขึ้นถึงสามเท่าของการส่งข้อมูลผ่านสาย บนเครือข่ายโทรศัพท์ปัจจุบัน และสูงขึ้นมากกว่าการเชื่อมต่อแบบ CSD (Circuit Switched Data) ในเครือข่าย GSM ถึงสิบเท่า GPRS สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 171.2 kbps แต่หมายความว่าระบบ GPRS นี้จะต้องใช้งาน Time Slot ของระบบ GSM ทั้งหมด 8 Time Slot ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ ในปัจจุบันความเร็วของระบบ GPRS ที่ใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 40 kbps ซึ่งจะเร็วหรือช้ากว่านั้นก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของผู้ใช้งาน ในพื้นที่นั้น [10]

3.1.2.2 EDGE ทางเลือกใหม่เทียบรุ่น 3G

EDGE หรือ มีชื่อเรียกเต็ม ๆ ว่า "Enhanced Data rate for Global (GSM/GPRS) Evolution" ได้รับการออกแบบและกำหนดขึ้นโดยหน่วยงาน ETSI (European Telecommunications Standard Institute) ซึ่งเป็นผู้สร้างมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM และ GPRS เพื่อพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM / GPRS ให้รองรับการสื่อสารทางข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้น

นับเป็นการก้าวเข้าสู่อีกขั้นของการพัฒนาทางการสื่อสารให้มีความสะดวกรวดเร็วไม่ติดขัด ทางด้านการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ผู้ใช้บริการเครือข่ายจึงสามารถใช้บริการ รายงานข่าวสาร, ข้อมูลด้านการตลาดหุ้น, ดูนั่งฟังเพลง, เล่น MP3, รับส่งไฟล์รูปภาพและเสียงเพลง ได้อย่างรวดเร็วลื่นไวยมากขึ้น ปราศจากสัญญาณรบกวน และยังช่วยให้การดาวน์โหลดไฟล์ การรับส่งอีเมลเป็นเรื่องที่ง่ายขึ้นอีกด้วย [33]

3.1.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G

แม้ว่าเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G จะได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม โลกของการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ที่มีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบโทรศัพท์ 2G เริ่มประสบปัญหาในการรองรับการให้บริการได้ไม่พอเพียงภายใต้ความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด

ในแง่ของ Global Wireless Communication นั้น ระบบ 3G ได้ถูกวางไว้ให้เป็นเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก ทำให้สามารถคิดเครื่องโทรศัพท์เพียงเครื่องเดียวไปใช้ได้ทั่วทุกที่ในโลก ซึ่งต่างจากในยุค 2G ที่มาตรฐานมีการแบ่งเป็นกลุ่มอยู่ในหลาย ๆ พื้นที่ โดยมีกลุ่มที่สำคัญได้แก่กลุ่ม GSM กับกลุ่ม CDMA และกลุ่มมาตรฐาน IG ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการการใช้งานแบบ Global Wireless Communication ดังนั้นระบบ 3G จึงเป็นความหวังว่าของผู้ใช้โทรศัพท์ทั่วโลกในอนที่จะช่วยรวมเอาโลกสื่อสารไร้สายให้เป็นหนึ่งเดียว

ในยุค 3G นี้ เน้นการรับส่งแบบแพ็กเก็ต และต้องขยายความเร็วของการรับส่งให้สูงขึ้น โดยสามารถส่งรับด้วยความเร็วข้อมูล 384 kbps เมื่อผู้ใช้งานเคลื่อนที่ และหากอยู่กับที่จะส่งรับได้ด้วยอัตราความเร็วถึง 2 Mbps

3.1.3.1 IMT-2000

แนวคิดที่เรียกกันว่า IMT-2000 หรือชื่อเต็มคือ International Mobile Telecommunications - 2000 ซึ่งพิจารณาทั้งในด้านการจัดสรรความถี่สำหรับ 3G และมาตรฐานด้านเทคนิคของตัวเทคโนโลยีเองด้วย ย้อนไปในปี 1992 นั้น ITU (International Telecommunication Union) ได้ทำการกำหนดมาตรฐานสำหรับแถบความถี่ที่จะใช้สำหรับ IMT-2000 โดยปรากฏในข้อกำหนด Radio Regulation หมายเลข S5.388 ที่มีการกำหนดให้ความถี่ในช่วง 1885 ถึง 2025 MHz และ 2110 ถึง 2200 MHz ใช้สำหรับระบบ IMT-2000 ซึ่งในรายละเอียดนั้น ระบบ Terrestrial IMT-2000 หรือ IMT-2000 ภาคพื้นดินนั้นจะถูกกำหนดให้ทำงานในระบบ FDD ในช่วงความถี่ 1920 ถึง 1980 MHz และ 2110 ถึง 2170 MHz โดยระบบสถานีฐานจะใช้ความถี่ด้านสูงและเครื่องโทรศัพท์จะใช้ความถี่ด้านต่ำ ส่วนช่วงความถี่ 1885 ถึง 1920 MHz และ 2010 ถึง 2025 MHz ใช้สำหรับการทำงานในระบบ TDD

มาตรฐาน IMT-2000 ที่ออกมาจึงประกอบด้วยมาตรฐานด้าน Radio Network ถึง 5 แบบ โดยประกอบด้วย

1. IMT-DS หรือ Direct Spread หรือที่รู้จักกันในชื่อของ W-CDMA หรือ UTRAN FDD ที่มีผู้สนับสนุนหลักคือ ETSI, TTA และ ARIB
2. IMT-MC หรือ Multi Carrier หรือที่รู้จักกันในชื่อของ cdma2000 มีผู้สนับสนุนหลักคือ TTA/EIA, TTA และ ARIB
3. IMT-TC หรือ Time Code หรือที่เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า UTRAN TDD และ TD-SCDMA ที่มีผู้สนับสนุนอย่าง ETSI และ CWTS

4. IMT-SC หรือ Single Carrier หรือที่เรียกว่า UWC-136 หรือ EDGE
5. IMT-FT หรือ Frequency Time หรือที่เรียกว่า DECT

ด้วยมาตรฐานทั้ง 5 นั้น จึงดูเหมือนโลกของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะยังคงถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วนอยู่ดี อย่างไรก็ตาม แนวโน้มในปัจจุบันเป็นไปในทิศทางของมาตรฐานเพียงสองชุดเท่านั้นที่ได้รับความนิยมและมีการใช้กันในประเทศ ได้แก่ W-CDMA และ CDMA 2000

3.1.3.2 3GPP และ 3GPP2

3GPP ประกอบด้วยองค์กรที่พัฒนามาตรฐานต่าง ๆ เช่น ETSI, ARIB, CWTS, TTC และ TTA นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยหน่วยงานหรือองค์กรธุรกิจเช่น GSM Association, UMTS Forum และ IPv6 Forum เป็นต้น

ในอีกด้านหนึ่งก็มียุทธศาสตร์ความร่วมมือจัดตั้งขึ้นเพื่อทำงานขนานกันไปกับกลุ่ม 3GPP กลุ่มดังกล่าวได้แก่ Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2) ซึ่งเกิดขึ้นเพื่อส่งเสริมและพัฒนามาตรฐานด้านของ CDMA IS-41 รวมทั้งทำงานร่วมกับ 3GPP ในอันที่จะทำให้เกิดการพัฒนาร่วมกันไปในทิศทางเดียวกันภายใต้เป้าหมายของ IMT-2000

3GPP2 ประกอบด้วยองค์กรที่พัฒนามาตรฐานต่าง ๆ เช่น TTA, ARIB, CWTS, TTC และ TTA นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยหน่วยงานหรือองค์กรธุรกิจเช่น CDMA Development Group (CDG), The Mobile Wireless Internet Forum (MWIF) และ IPv6 Forum เป็นต้น

3.1.3.3 CDMA2000 1X

ในด้านของเทคโนโลยีระบบ CDMA นั้น พัฒนาการต่อจากมาตรฐาน IS-95B ก็เห็นจะเป็นเทคโนโลยี CDMA2000 1X นั้นเอง มาตรฐาน CDMA2000 1X หรือ IS-2000 นี้เป็นเทคโนโลยีที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ CDMA IS-95A หรือ IS-95B สามารถพัฒนาต่อไปยังเทคโนโลยี 3G ได้อย่างสะดวกขึ้น

CDMA2000 1X ยังสามารถรองรับการให้บริการ Data Service ได้ โดยมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงจนสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วถึง 153 kbps (ตามทฤษฎีอาจได้ถึง 307 kbps) ซึ่งสูงกว่าในมาตรฐาน IS-95B ขึ้นไปอีก บริการ Data Service ที่ว่านี้จะมีลักษณะที่เป็นแบบ Always On นั่นคือเปรียบเสมือนเครื่องโทรศัพท์ต่อกับอินเทอร์เน็ตตลอดเวลา สามารถเรียกใช้ได้ทุกเมื่อ นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงทั้งกลไกการทำ Handoff และ Power Control ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับการให้บริการ Data Service ได้

3.1.3.4 CDMA2000 1X EV

การพัฒนาเทคโนโลยีภายใต้กลุ่ม 3GPP2 นั้นมีการพัฒนาไปมาก ในปี 2001 ในขณะที่ทั่วโลกกำลังตื่นกับกระแสของ 3G อยู่ นั่นได้มีการพัฒนามาตรฐานขึ้นอีกหนึ่งชุดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิม นั่นคือ

CDMA2000 1X EV ซึ่ง EV ย่อมาจาก Evolution มาตรฐานดังกล่าวได้รับการพัฒนามาจาก CDMA2000 1X โดยในรุ่นแรกที่เป็น CDMA2000 1X EV-DO หรือ Evolution-Data Only ได้ถูกพัฒนาเป็นมาตรฐาน IS-856 โดยสามารถรองรับการให้บริการ Data Service ด้วยอัตราข้อมูลเฉลี่ยสูงถึง 600 ถึง 1200 kbps (มากกว่า Modem ปัจจุบัน 10 ถึง 20 เท่า) และอัตราข้อมูลอาจขึ้นไปถึง Peak Rate ที่ 2.4 Mbps โดยอาศัยแถบความถี่เท่าเดิมคือ 1.25 MHz อุปกรณ์ระบบ 1X EV-DO ได้เริ่มผลิตและออกสู่ตลาดในปี 2002

3.1.3.5 CDMA2000 1X EV-DV

ต่อไป CDMA2000 1X EV-DV หรือ Evolution-Data and Voice จะมีการพัฒนาให้สามารถรองรับการให้บริการทางเสียง (Voice Service) พร้อม ๆ กับการให้บริการ Data Service ที่ความเร็วที่ 3.0912 Mbps (IS-2000 Rev.C) โดยอาศัยแถบความถี่เท่าเดิมคือ 1.25 MHz และในมาตรฐานรุ่น IS-2000 Rev. D ซึ่งคาดว่าจะแล้วเสร็จในปลายปี 2002 นี้ จะมีการปรับปรุงให้ CDMA2000 1X EV-DV สามารถรองรับบริการ Data Service ในด้าน Reverse Link (Mobile to BTS) ได้ที่อัตราข้อมูลสูงถึง 2 Mbps โดยคาดว่าจะมีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ออกสู่ตลาดได้ภายในต้นปี 2004 [25]

3.1.3.6 UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems)

จริง ๆ แล้ว UMTS คือ WCDMA นั้นเองเพียงแต่เป็นชื่อที่ใช้เรียกกันในยุโรปเหมือน ๆ กับมาตรฐานของมือถือ ในยุคใหม่ซึ่งมาแทนที่ GSM นั้นเองสำหรับผู้ให้บริการเครือข่าย GSM เป้าหมายสำคัญขั้นสุดท้ายบนเส้นทางเทคโนโลยี 3G คือการใช้งานแถบความถี่ด้วยระบบ UMTS ซึ่งสามารถติดตั้งบนเครือข่าย GSM หลักที่ใช้งานอยู่ก่อนแล้ว ทำให้สามารถนำอุปกรณ์ส่วนใหญ่บนเครือข่ายกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ก่อนที่จะไปสู่ระบบ UMTS ได้นั้น ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องติดตั้งสัญญาณวิทยุในระบบ WCDMA ในช่วงช่องสัญญาณ 5 MHz ก่อน ซึ่งสนับสนุนบริการมัลติมีเดียแบบเรียลไทม์หลากหลายรูปแบบ ด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลมากถึง 2 Mb สำหรับพื้นที่ภายในอาคารและ 384 kb ในพื้นที่นอกอาคาร

เทคโนโลยี EDGE และ UMTS สามารถใช้งานร่วมกันบนเครือข่าย GSM เนื่องจากทั้งสองระบบอยู่กันคนละส่วนของแถบความถี่โดยมีสถานะแบบ Dual Mode ทำหน้าที่ควบคุมการให้บริการโทรข้ามระบบเดิมรูปแบบ เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ทั้งสองระบบ โดยใช้ UMTS ในพื้นที่ที่เน้นหนักการสื่อสารด้วยข้อมูลความเร็วสูง และ GSM/GPRS/EDGE สำหรับการสื่อสารทั่วไป [26]

3.2 ระบบแลนไร้สาย (Wireless LAN)

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่าย LAN แบบไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก สำหรับ WLAN คือ เทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและถูกลงเรื่อย ๆ อีกทั้งมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูง ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน IEEE 802.11 WLAN ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆและมีแนวโน้มว่าในอนาคตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ จะมีอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ติดตั้งจากโรงงานหรือ Built-in มาด้วย

3.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1997 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ ข้อกำหนด (Specification) สำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz, และ อินฟราเรด (Infrared) (1 และ 2 Mbps เท่านั้น) นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ยังกำหนดให้มีทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

3.2.2 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1997 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยสื่อ อินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย WLAN ได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่ยอมรับกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i

3.2.2.1 IEEE 802.11b

คณะทำงานชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี ค.ศ. 1999 ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ และใช้เครื่องหมายการค้าที่ยอมรับกันดีในนาม Wi-Fi

3.2.2.2 IEEE 802.11a

คณะทำงานชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี ค.ศ. 1999 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz ข้อเสียของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดเล็กค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN มาก

3.2.2.3 IEEE 802.11g

คณะทำงานชุด IEEE 802.11g ได้ใช้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (Backward-Compatible)

3.2.2.4 IEEE 802.11e

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer (Media Access Control Layer) ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ Quality of Service สำหรับ application เกี่ยวกับมัลติมีเดีย

(Multimedia) เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะกรรมการชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้ (May 2003)

3.2.2.5 IEEE 802.11i

คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วย key ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะกรรมการชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้ (May 2003)

3.2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้ 2 ลักษณะคือ โหมด Infrastructure และ โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

3.2.3.1 โหมด Infrastructure

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ ในโหมด Infrastructure นี้เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop, หรือ PDA ต่าง ๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น (ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่าย IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมด Infrastructure มีพื้นฐานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อ (Forward) ข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้

3.2.3.2 โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ปิดคือไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc จะถูก

เรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่น ๆ ในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่น ๆ ได้ [11]

3.3 บลูทูธ (Bluetooth)

บลูทูธ (Bluetooth) คือมาตรฐานของเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ที่ใช้คลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระยะทางใกล้ ๆ ไม่เกิน 10 เมตร วัตถุประสงค์ของการใช้ Bluetooth คือเพื่อใช้แทนสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อทั้งหมด คำว่า Bluetooth มาจากชื่อของกษัตริย์ของเดนมาร์ก Harald Bluetooth ซึ่งเป็นกษัตริย์องค์ที่สำคัญมากของชาวเดนมาร์ก

3.3.1 การทำงานของ Bluetooth

Bluetooth ใช้ช่วงความถี่ที่ 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific, and Medical) และใช้เทคโนโลยีที่ชื่อว่า FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) ในการสื่อสาร หลักการทำงานคือแบ่งช่องสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 2.402 GHz ถึง 2.480 GHz นี้ออกเป็น 79 ช่อง และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ในการส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ตัวอย่างเช่น ใช้ช่องที่ 1 ช่องที่ 2 จนไปถึงช่องที่ 79 แล้ววนเข้ามาช่องที่ 1 อีกครั้ง จนครบ 1,600 ครั้ง เหมือนระบบโทรศัพท์ไร้สาย (Coreless Telephone) ซึ่งประกอบด้วย Handset แบบไร้สาย และ Base Unit ที่ต้องต่อเชื่อมกับสายโทรศัพท์ สามารถใช้ได้ในระยะทางใกล้ ๆ

รูปแบบของการใช้งานบลูทูธแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1. ใช้ Bluetooth แทนสายเคเบิลต่าง ๆ (Cable Replacement)
2. ใช้ Bluetooth สร้างระบบเครือข่ายขนาดเล็กที่เรียกว่า Pico-Network หรือ PAN (Personal Area Network)
3. ใช้ Bluetooth เป็นช่องทางในการเข้าถึงข้อมูลในระบบเครือข่ายหลัก (Access Networking)

เมื่อเทียบกับการใช้อินฟราเรดในการส่งข้อมูลแล้ว การใช้งานบลูทูธมีข้อดีกว่าการรับส่งข้อมูลแบบอินฟราเรด ระบบอินฟราเรดใช้แสงเป็นสื่อในการติดต่อ ดังนั้นเครื่องรับและเครื่องส่งแบบอินฟราเรด จะต้องปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน และห้ามมีสิ่งกีดขวางระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง แต่บลูทูธใช้สัญญาณวิทยุเป็นสื่อในการติดต่อ ทำให้ผู้รับและผู้ส่งสามารถอยู่จุดใดก็ได้ภายในรัศมีไม่เกิน 10 เมตรตามข้อกำหนด และสามารถส่งข้อมูลผ่านสิ่งกีดขวางได้ เช่น กำแพงห้อง ทำให้บลูทูธมีข้อดีที่เหนือกว่าการส่งข้อมูลโดยใช้อินฟราเรด [12]

3.4 เทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม [27]

3.4.1 IP STAR สูดยอดเทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียม

ดาวเทียม IP STAR มีกำหนดการเริ่มให้บริการประมาณต้นปี ค.ศ. 2004 และมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย และออสเตรเลีย ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีแนวโน้มการขยายตัวทางด้านโทรคมนาคมอย่างรวดเร็ว โครงการดาวเทียม IP STAR หรือ โครงการ Broadband Satellite ได้เริ่มคิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีของไอพีสตาร์มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 เพื่อรองรับการใช้งานด้านบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียมโดยตรง ซึ่งเทคโนโลยีของไอพีสตาร์ จัดเป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ผ่านดาวเทียมที่ก้าวหน้ามากที่สุดในโลก และมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมทวีปเอเชีย และออสเตรเลีย ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีแนวโน้มการขยายตัวทางด้านโทรคมนาคมอย่างรวดเร็ว และเป็นตลาดเป้าหมายที่สำคัญของโครงการ IP STAR Broadband Satellite

ดาวเทียม (IP STAR) ใช้เทคโนโลยีการกระจายคลื่นแบบรังสีเหมือนกับที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผสมกับระบบจานสายอากาศดาวเทียมแบบใหม่ ทำให้ดาวเทียม IP STAR สามารถนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาก

3.4.2 รายละเอียดของโครงการดาวเทียม IP STAR

1. ตำแหน่งวงโคจรอยู่ที่ 120 องศาตะวันออก โดยใช้แถบความถี่ Ku/Ka-Band
2. เป็นดาวเทียมแบบ Multiple Beams
3. Narrow-Cast User Beams
4. Regional Broadcast Beams ประกอบด้วย 7 บีม ใช้แถบความถี่ 11.5 – 11.7 GHz และมีความจุ 160-200 Mbps/beam ทำให้สามารถส่งช่องสัญญาณวิดีโอได้มากกว่า 100 channel/beam
5. Ka-Band Gateway Beams ประกอบด้วย 18 Spot Beams โดยใช้แถบความถี่ Uplink คือ 27.0 – 30.05 GHz และแถบความถี่ Down-link คือ 18.3 – 20.2 GHz สถานีที่ตั้งเกตเวย์ของไอพีสตาร์ มีจำนวนทั้งสิ้น 18 แห่ง ในประเทศไทยอยู่ที่ปทุมธานี
6. Beam Capacity
7. มีการใช้เทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า Dynamic Resource Management หรือ Dynamic Link Allocation (DLA) ซึ่งจะทำให้การปรับแต่ง Modulation, Coding Rate, Gain และ Capacity ให้สอดคล้องกับสถานะของอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้รับค่า Link Availability สูงสุด
8. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณปลายทาง (User Terminal) ของ IP STAR ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนที่เป็น Indoor Unit (IDU) หรือ IP STAR Satellite Modem 2) ส่วนที่เป็น Outdoor Unit (ODU)

4. การคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ใน

อนาคต

4.1 ระบบสื่อสารไร้สายยุค 4G

จากความสำเร็จในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ผ่านมาตั้งแต่ยุค 1G, 2G และ 3G อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเข้าสู่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่ หรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G ซึ่งจะเพิ่มสมรรถนะโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G กำลังมีการพัฒนาให้มีสมรรถนะที่สูงมากขึ้น เช่น มีการพัฒนาให้โครงข่ายทั้งหมดเป็นแบบ IP (All – IP Networks) คือข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในระบบโครงข่ายจะมีการรับส่งกันผ่านสวิตช์แบบแพ็กเก็ตและการเชื่อมต่อระบบแบบไร้สายนั้นได้มีการพัฒนาให้สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็วที่ 10 Mbps ขึ้นไป และกำลังพยายามที่จะพัฒนาให้ที่อัตราเร็วถึง 30 Mbps ซึ่งสามารถรองรับการส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดียและรองรับการให้บริการต่าง ๆ ทั้งหมดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคก่อน ๆ ซึ่งในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G นี้ โครงข่ายต้องมีความฉลาดมากขึ้น การบริการต่าง ๆ ที่เปิดให้ผู้ใช้บริการมีมากขึ้น และสิ่งที่ตามมาคือผู้ใช้บริการจะต้องเพิ่มสมรรถนะและคุณภาพของการให้บริการมีมากขึ้นภายใต้เงื่อนไขของสถานะแวดล้อมที่เหมาะสม

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่ หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G จะสามารถรับส่งข้อมูลที่มีอัตราเร็วขึ้นไปถึง 50 – 100 Mbps ซึ่งในอัตรารับส่งข้อมูลมีความเร็วถึงขนาดนี้ ผู้ใช้จึงสามารถให้บริการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ได้ เช่น รับส่งข้อมูลมัลติมีเดีย แม้ขณะที่อยู่ในรถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นอกจากนี้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G จะสนับสนุนการบริการต่าง ๆ ที่มีลักษณะการบริการทั้งแบบสมมาตรและแบบไม่สมมาตร การบริการแบบสมมาตร (Symmetrical) คือ ข้อมูลมีการรับส่งกันทั้งสองฝ่ายในปริมาณที่เท่า ๆ กัน การบริการแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical Services) คือ ปริมาณการส่งข้อมูลของฝ่ายหนึ่งมีมากกว่าอีกฝ่ายหนึ่ง เช่น ระบบ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) เป็นการใช้บริการอินเทอร์เน็ต ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ใช้บริการจะรับข้อมูลมากกว่าส่งข้อมูล

กฎเกณฑ์สำคัญที่จะทำให้การพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G มีความเป็นไปได้ จะต้องมีการระบุแนวโน้มของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ระบบ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและต้องคำนึงถึง ได้แก่ Voice over IP, ซอฟต์แวร์การจัดการด้านคลื่นความถี่, เครื่องรับส่งบรอดแบนด์ไร้สาย, แพลตฟอร์มของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่, สถาปัตยกรรมโครงข่าย, ระบบไร้สายที่เป็นแบบ IP ทั้งหมด (All-IP Wireless) , การรักษาความปลอดภัย, การเข้ารหัส, การตรวจสอบผู้ใช้บริการ, การเรียกเก็บค่าบริการ, การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเทคโนโลยีโครงข่าย Mobile Ad hoc (MANETS)

แอปพลิเคชัน เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การบีบอัดสัญญาณ เทคนิคการเข้ารหัสที่มีอัตราการเข้ารหัสแบบพลวัต (Dynamic Variable-rate Codecs), การอินเตอร์เฟซระหว่างผู้ใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่อัจฉริยะ, เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่มีลักษณะต่อเนื่องกัน, ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมสำหรับบริการต่าง ๆ และเทคนิคในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

การเชื่อมต่อไร้สาย เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การควบคุมคุณภาพของการบริการแบบพลวัต, การควบคุมความผิดพลาด, เทคนิคการค้นหาเซลล์ที่ความเร็วอัตราสูง, การควบคุมการเคลื่อนที่บนพื้นฐาน IP, ระบบส่ง แพ็กเก็ต IP, การปรับตัวของข่ายเชื่อมโยง และการส่งคลื่นแสง

การใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ เกี่ยวข้องกับการขยายการใช้คลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ, การใช้แถบความถี่ร่วมกัน และแบ่งปันการใช้ความถี่, การกำหนดช่องสัญญาณแบบพลวัต, เทคนิคลดการเกิดสัญญาณรบกวน, โครงสร้างของเซลล์สามมิติที่มีความหนาแน่นสูง (High-Density 3D Cell Structure), สายอากาศแบบอัลเลย์แบบปรับตัวได้, เทคนิค MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) และเทคนิค OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เทคนิคการจัดการด้านการใช้พลังงาน, เทคโนโลยีด้านอุปกรณ์หน้าจอแสดงฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ, การจดจำเสียง (Voice Recognition), เทคโนโลยีด้านการผลิตอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์, แพลตฟอร์มของระบบเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการรักษาความปลอดภัย

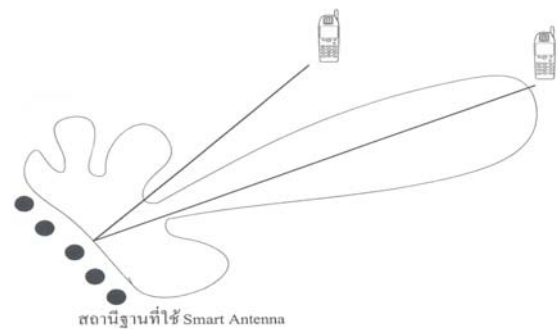
จะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G ที่เกิดขึ้นในอนาคตนั้น จะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และทำให้เกิดการรวมระบบระหว่าง ระบบการเชื่อมต่อแบบบรอดแบนด์ไร้สาย และระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ [14]

4.2 แนวโน้มของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4.2.1 เทคนิค MIMO (Multiple Input Multiple Output)

การที่ให้อัตราข้อมูลความเร็วสูงเข้าใกล้ Gbps หรือ 1,000,000,000 บิตต่อวินาที สำหรับโครงข่ายแลนไร้สาย (WLAN) นั้น นับว่าเป็นประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ การออกแบบข่ายเชื่อมโยงความเร็วสูงที่ให้คุณภาพของการบริการ (QoS) รวมถึงสามารถใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางเป็นหัวข้อหนึ่งที่ท้าทายนักวิจัยเป็นอย่างยิ่ง ณ ขณะนี้

การใช้สายอากาศหลายตัว ณ ภาครับและภาคส่งเป็นที่รู้จักกันในนามของการสื่อสารไร้สายแบบ MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านการลงทุนในการที่จะทำให้เกิดข่ายเชื่อมโยงไร้สายด้วยความเร็วขนาด Gbps ได้จริง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างสถานีฐานที่ใช้ Smart Antenna (สายอากาศหลายต้น) และรูปแบบของการแพร่ของคลื่น

ในรูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของ Smart Antenna ซึ่งคงพอดิบ คำถามได้ว่าทำไมถึงใช้สายอากาศหลายต้น นั่นคือ การใช้สายอากาศหลายต้นสามารถปรับทิศทางของลำคลื่นให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ นับว่าเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สายอากาศแบบดั้งเดิม ซึ่งมีรูปแบบของการแพร่ของคลื่นแบบไม่เจาะจงเป็นผลให้เกิดสมรรถนะการทำงานที่ไม่ดีนัก เช่น ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน บิตผิดพลาดสูง เป็นต้น [14]

4.2.2 เทคนิค OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM นั้นย่อมาจากคำเต็มว่า “Orthogonal Frequency Division Multiplexing” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่แบ่งช่องสัญญาณใช้งานออกเป็นหลาย ๆ ช่องย่อยตามความถี่เช่นเดียวกับที่เราแบ่งช่องสัญญาณในเทคโนโลยี FDMA แต่คุณสมบัติพิเศษที่เหนือกว่า FDMA นั่นก็คือ คลื่นพาห์ (Carrier) ของช่องสัญญาณใด ๆ จะ Orthogonal กับคลื่นพาห์ของช่องสัญญาณอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมด หมายถึงแถบความถี่หรือสเปกตรัมของแต่ละคลื่นพาห์จะมีค่าที่เฉพาะกับช่องสัญญาณของตัวเองเท่านั้น และจะถูกมองว่าไม่มีค่าที่ช่องสัญญาณอื่น ๆ ทั้งหมดในระบบ โดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษข้อนี้ทำให้ไม่มีการรบกวน (Interference) กันระหว่างคลื่นพาห์ ทำให้สเปกตรัมของแต่ละคลื่นพาห์สามารถทับซ้อน (Overlap) กันได้ต่างจากเทคโนโลยี FDMA ซึ่งนำไปสู่การใช้สเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า [14]

4.2.3 IEEE 802.16 มาตรฐานสำหรับเทคโนโลยี Wireless MAN

เวอร์ชันแรกของมาตรฐาน IEEE 802.16 ในปี ค.ศ. 2001 นั้นจะใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากคือ 10-66 GHz แต่ต่อมาได้มีการแก้ไขคุณสมบัติบางประการทำให้กลายเป็นมาตรฐาน IEEE 802.16a ที่เพิ่งได้รับการรับรองในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2003 ซึ่งจะใช้งานในช่วงความถี่ที่

ต่ำลงมาคือ 2-11 GHz ที่สำคัญคือสามารถรองรับการทำงานแบบที่ไม่ได้อยู่ในระดับสายตา (Non- Line-of-Sight, NLOS) หรือมีสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหนือกว่ามาตรฐาน IEEE 802.16 และในระดับ PHY-Layer ของมาตรฐาน IEEE 802.16a นั้นก็มีการใช้การเชื่อมต่อผ่านอากาศอยู่ 3 แบบคือ

1. Wireless MAN-SCa ใช้การมอดูเลตแบบคลื่นพาห์เดี่ยว (Single-Carrier Modulation)
2. Wireless MAN-OFDM แบบ 256 Point ซึ่งใช้คลื่นพาห์ 256 คลื่น
3. Wireless MAN-OFDMA แบบ 2048 Point ซึ่งใช้คลื่นพาห์ 2048 คลื่น

คุณสมบัติในระดับ PHY-Layer ของมาตรฐาน IEEE 802.16a ที่สำคัญประการอื่นก็ได้แก่ แบนด์วิธของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth) ที่สามารถปรับค่าได้ เช่น 3.5 MHz, 7 MHz และ 14 MHz เป็นต้น โดยสามารถให้อัตราข้อมูลสูงสุดที่ 63 Mbps (คิดที่แบนด์วิธเท่ากับ 14 MHz) ในส่วนของ MAC-Layer นั้นก็ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานของโครงข่ายแบบ Point-to-Multipoint รวมถึงโครงข่ายแบบเมช (Mesh) ทำให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้หลักร้อยคน และรองรับ PHY-Layer ทั้งแบบ TDD (Time Division Duplexing) และ FDD (Frequency Division Duplexing) ในแง่ของคุณภาพการให้บริการ หรือ Quality of Service (QoS) ที่สามารถทำได้มากกว่าเพียงแค่การจัดลำดับความสำคัญ นอกจากนี้มาตรฐาน IEEE 802.16a ก็ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานแบบ Outdoor NLOS ที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 50 กิโลเมตร ซึ่งต่างจาก Wi-Fi ที่เหมาะกับการใช้งานแบบ Indoor ที่ครอบคลุมพื้นที่ไม่ไกลมากนัก

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการก่อตั้งกลุ่ม WiMAX และ WiMAX Forum ขึ้นมาเพื่อคอยผลักดันการปฏิบัติงานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน IEEE 802.16 สำหรับ Wireless MAN เช่นเดียวกับที่ Wi-Fi ทำสำเร็จมาแล้วกับมาตรฐาน IEEE 802.11 [14]

4.2.4 โครงข่ายเคลื่อนที่ Ad Hoc

โครงข่ายเคลื่อนที่ Ad hoc (Mobile Ad hoc Network) หรือเขียนสั้น ๆ ว่า MANET คือ กลุ่มของโหนดเคลื่อนที่ไร้สาย (Wireless Mobile Nodes) รวมกันก่อให้เกิดเป็นโครงข่ายอิสระที่มีโครงสร้างการเชื่อมโยงแบบไร้สายทั้งหมด และมีลักษณะการทำงานแบบพลวัตร (Dynamic Autonomous Network) โหนดต่าง ๆ จะทำการติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้โดยไม่ต้องผ่านการเชื่อมโยงที่สถานีฐาน (Base Stations) หรือแอ็กเซสพอยต์ (Access Points) ซึ่งก็หมายความว่า โหนดแต่ละโหนดจะเป็นได้ทั้งเราท์เตอร์ (Router) และ โฮสต์ (Host) และเนื่องจากโหนดเคลื่อนที่ไร้สายมีข้อจำกัดในการส่งสัญญาณติดต่อกันภายในระยะทางช่วงหนึ่ง ดังนั้นการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดต่าง ๆ ที่อยู่ในโครงข่าย

จะมีลักษณะที่เรียกว่า Multiple Hops ในบางครั้งเราจะพบว่า โครงข่าย Multiple-Hop (Multi-Hop Network) ซึ่งก็คือ MANET นั่นเอง

นอกจากนี้ MANET มีลักษณะการติดต่อสื่อสารแบบ Peer to Peer ด้วย หมายความว่า การติดต่อสัญญาณข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางมีการติดต่อกันระหว่างชั้นโพรโทคอลที่อยู่ในระดับเดียวกัน [14]

4.2.5 SDR (Software Defined Radio)

SDR มีจุดประสงค์เพื่อให้ตัวเครื่องถูกย้ายรวมถึงสถานีฐานของโครงข่ายสามารถทำงานต่าง ๆ ที่สำคัญได้โดยแก้ไขโปรแกรมของซอฟต์แวร์แทน เช่น

- มีสถาปัตยกรรมของภาครับ-ส่งสัญญาณที่ควบคุมการทำงานโดยซอฟต์แวร์
- Air Interface Downloadability คือสามารถใช้งานกับ Air Interface ต่าง ๆ ได้โดยซอฟต์แวร์ที่ดาวน์โหลดจากคลื่นวิทยุ ณ สถานีนั้นๆ
- การที่ทำให้เครื่องถูกย้ายสามารถทำงานแบบ Multimode / Multistandard
- การกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานรวมถึงแบนด์วิธ
- ปรับเปลี่ยนเทคนิคการมอดูเลต (Modulation) และการเข้ารหัสสัญญาณ (Coding)
- สามารถรองรับการอัปเดตซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ [14]

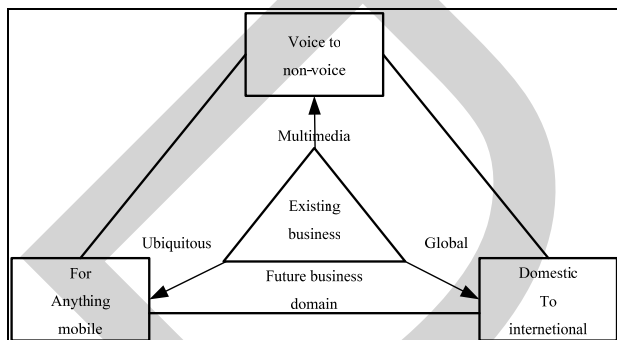
4.2.6 Ultra-Wideband Radio Technology

หนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ (Short-Range Wireless Technology) ที่ได้รับการเสนอ คือ Ultra-Wideband Ratio Technology (UWB-RT) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นแห่งแรกที่สหรัฐอเมริกา ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา และได้มีการออกรายงานเป็นครั้งแรกโดยหน่วยงานอิสระที่รับผิดชอบด้านโทรคมนาคมของประเทศสหรัฐอเมริกา (Federal Communications, FCC) ต่อมาก็มีการพัฒนาอย่างแพร่หลายทั้งในทวีปยุโรปและเอเชีย UWB-RT ใช้หลักการที่ว่าต้องการที่จะจัดสรรทรัพยากรสเปกตรัม (ความถี่) ที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยมีการแบ่งปันการใช้ที่เหมาะสมร่วมกัน ระบบที่ใช้สเปกตรัมที่มีอยู่เดิม มากกว่าที่จะไปหาสเปกตรัมที่ยังไม่มีการใช้งาน อย่างไรก็ตามก็มีความเป็นไปได้ที่จะใช้สเปกตรัมย่านใหม่ได้

FCC ได้นิยามอุปกรณ์ UWB ไว้ว่า อุปกรณ์ใด ๆ ที่ส่งสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์อย่างน้อย 500 MHz ตลอดเวลาที่มีการรับ-ส่งสัญญาณหรือสัญญาณมีอัตราส่วนของ $2(f_H - f_L) / (f_H + f_L)$ มีค่ามากกว่า 0.2 โดย f_H คือความถี่บน (upper frequency) f_L คือความถี่ล่าง (lower frequency) ที่จุด -10 dB จากจุด ความถี่ศูนย์กลาง ($f_C = (f_H + f_L)/2$) [14]

4.3 การให้บริการยูบิควิตัส (Ubiquitous Service)

การพัฒนาแบบการให้บริการจาก Voice ไปสู่ Non-Voice ในรูปแบบมัลติมีเดีย (Multimedia) ใช้เป็นช่องทางขยายตลาดและยังมีอีกสองช่องทางสำหรับการขยายตลาดการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต นั่นคือการให้บริการในรูปแบบยูบิควิตัส (Ubiquitous Service) และการให้บริการที่เป็นมาตรฐานสากล (Globalization Service) ซึ่งประสานกันเป็นสามแนวทางเพื่อพัฒนาและขยายตลาดต่อไป



รูปที่ 4.2 แนวทางการขยายบริการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 4 หรือยุค 4G นั้นมีความต้องการสองอย่างที่สำคัญ คือ ยูบิควิตี (Ubiquity) หรือลักษณะแบบยูบิควิตัส (Ubiquitous) และไดเวอร์ซิตี (Diversity) โดย การสื่อสารแบบยูบิควิตัส คือ การที่ผู้ใช้มีความอิสระในการใช้เครื่องมือสื่อสารไม่ว่าจะอยู่แห่งใดหรือเวลาใดก็ตามระบบสื่อสารที่เข้าสู่การไร้ขีดจำกัดอย่างนี้อยู่บนพื้นฐานความต้องการของผู้ใช้ที่แตกต่างกันนั่นเองการที่มีความยืดหยุ่นของการใช้งานทำให้รองรับความต้องการใช้งานอย่างหลากหลายในเวลาเดียวกันได้ ดังนั้นคาดว่าจะได้เห็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ IT หรือ จะเรียกง่าย ๆ ว่า โมบาย IT อย่างนี้ในศตวรรษที่ 21 นี้อย่างแน่นอนและนอกจากนี้ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 4 ยังสามารถทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ประเภทใหม่ ที่เรียกว่า "ยู-คอมเมิร์ซ" หรือ U-Commerce ซึ่งเป็นการพัฒนามาจากธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce) เดิมซึ่งต่อมาได้มีการทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ผ่านโทรศัพท์มือถือมากขึ้น (M-Commerce)

แนวคิดใหม่ที่ใช้ขึ้นมาเพื่อส่งเสริมการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเชื่อมต่อกันเป็นหนึ่งเดียวทั่วโลก คือการพัฒนาโทรศัพท์มือถือให้มีสภาพเหมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ย่อ ๆ ที่สามารถทำงานได้เหมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลทำการสั่งซื้อสินค้า คำนวณโหลดเพลง รวมถึงควบคุมกลไกที่ใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด มีมือถือเพียงเครื่องเดียวทำหน้าที่เหมือนรีโมทคอนโทรลทำคำสั่ง ยกตัวอย่างง่าย ๆ คือ ในระบบยู-คอมเมิร์ซนี้ ท่านสามารถนั่งดูทีวีอยู่ที่บ้านและทำการสั่งซื้อสินค้าจากร้านซูเปอร์มาร์เก็ต

โดยสามารถดูภาพและรายละเอียดของสินค้าผ่านหน้าจอมือถือ ซึ่งบันทึกภาพผ่านกล้องดิจิทัลแบบอินเตอร์แอคทีฟในห้างสรรพสินค้า และส่งภาพดังกล่าวเข้ามือถือ และท่านสามารถสั่งซื้อสินค้าจากเครื่องคอมพิวเตอร์ของซูเปอร์มาร์เก็ตโดยตรง รวมถึงสั่งให้รถยนต์ของท่าน (ซึ่งสามารถตั้งเวลาได้) ให้มารับท่านเองถึงที่บ้านโดยอัตโนมัติ หรือแม้แต่การสั่งให้เครื่องไมโครเวฟทำการคาวนโหลดสูตรปรุงอาหารจากอินเทอร์เน็ตในเทศกาลต่างๆ มาเพื่อใช้ทำอาหาร [14]

5. บทสรุปเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรของมหาวิทยาลัย

จากเนื้อหาในบทที่ 1 – 4 นั้นสามารถสรุปหัวข้อรายละเอียดที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยได้ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของการพัฒนาและขอบเขตในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สาย บทที่ 2 กล่าวถึงฐานทฤษฎีนักคิดที่สำคัญในศาสตร์ บทที่ 3 กล่าวถึงสถานการณ์ศาสตร์ในปัจจุบัน ส่วนบทที่ 4 เป็นการคาดการณ์เกี่ยวกับทิศทางหรือแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต ดังนั้นเนื้อหาในแต่ละบทที่ผ่านมาคงพอที่จะทำให้ผู้อ่านเข้าใจถึงประวัติความเป็นมา ทฤษฎีที่สำคัญเบื้องต้น สถานการณ์ศาสตร์ในปัจจุบัน และแนวโน้มของศาสตร์ในอนาคต เนื้อหาทั้งหมดที่กล่าวมาครอบคลุมเกือบทั้งหมดในศาสตร์โทรคมนาคมประเภทไร้สาย และเนื่องจากการพัฒนาที่รวดเร็วประกอบกับเนื้อหาบางตอนยังเป็นสิ่งที่เข้าใจได้ยาก จึงเสนอการพัฒนาหลักสูตรที่รองรับทั้งด้านเทคโนโลยี และการจัดการเทคโนโลยี ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด ณ ปัจจุบัน (ค.ศ. 2004) ทั้งนี้วิธีการเรียนการสอนสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือการเรียนการสอนในห้องเรียน และการเรียนการสอนผ่านอินเทอร์เน็ต (E-Learning) ซึ่งคาดว่าจะสะดวกต่อผู้ศึกษาในแง่ของการศึกษาทางไกล

หากพิจารณาศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายในแง่ของผู้ที่ศึกษา และการประกอบวิชาชีพหรือการใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี (Technology)
2. กลุ่มวิชาด้านการจัดการเทคโนโลยี (Technology Management)

ในแต่ละกลุ่มวิชาจะประกอบไปด้วยรายวิชาต่าง ๆ ของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายซึ่งมีรายวิชาต่าง ๆ โดยเริ่มพิจารณาจากกลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี

5.1 กลุ่มวิชาด้านเทคโนโลยี (Technology)

เป็นกลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ในศาสตร์ด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน และแนวโน้มในอนาคต ซึ่งทำให้ให้นักศึกษาเข้าใจถึง ทฤษฎีที่สำคัญ รู้ถึงสถานการณ์ของศาสตร์ในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังสามารถ

คาดการณ์สถานการณ์ในอนาคตได้ ตลอดจนสามารถใช้งานอุปกรณ์ด้าน
โทรคมนาคมประเภทไร้สายได้อย่างชำนาญ ซึ่งมีหัวข้อรายวิชาดังนี้

5.1.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์ [14, 30]

- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ (Introduction to Computer)
- การทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Principles of Computer Programming)
- การออกแบบซอฟต์แวร์โทรคมนาคม (Telecommunication Software Design)
- สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ (Computer Architecture)
- คอมพิวเตอร์กราฟิกส์และเทคโนโลยีสื่อประสม (Computer Graphics and Multimedia Technology)
- การออกแบบระบบฐานข้อมูล (Database System Design)
- ปฏิบัติการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย (Data Communications and Networks Laboratory)
- การเขียนโปรแกรมในระบบเครือข่าย (Network Programming)
- เครือข่ายคอมพิวเตอร์เบื้องต้น (Introduction to Computer Networks)

5.1.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทใช้สาย [28, 5]

- โครงข่ายโทรศัพท์ (Telephone Networks)
- ระบบรักษาความปลอดภัยในโครงข่ายโทรคมนาคม (Security System in Telecommunications Network)
- แบบจำลองและการวิเคราะห์สมรรถนะระบบโทรคมนาคม (Model and Performance Analysis of Telecommunications Systems)
- ระบบสื่อสารแถบกว้าง (Broadband Communication Systems)

5.1.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคมประเภทไร้สาย [14, 15]

- ความปลอดภัยของระบบไร้สาย (Security of Wireless Systems)
- วิศวกรรมสายอากาศ (Antennas Engineering)
- โครงข่ายสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication Networks)
- ทฤษฎีเข้ารหัสและข่าวสาร (Coding and Information Theory)
- ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile Communication Systems)
- ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network System)
- ปฏิบัติการระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Systems Laboratory)
- วิศวกรรมไมโครเวฟ (Microwave Engineering)

- การออกแบบการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สาย (Interface Design for Wireless Devices)
- การพัฒนาระบบประยุกต์ไร้สาย (Wireless Application Development)

5.1.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีสัญญาณ [14, 5]

- การประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัลและการประยุกต์ (Digital Image Processing and Applications)
- การประมวลผลดิจิทัลของสัญญาณเสียง (Digital Processing of Speech Signals)
- ปฏิบัติการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Laboratory)
- ระบบเรดาร์ (Radar System)
- เทคโนโลยีโทรคมนาคมและสารสนเทศ (Telecommunications and Information Technologies)
- เทคโนโลยีโทรคมนาคมบนพื้นฐานอินเทอร์เน็ตและมัลติมีเดีย (Internet and Multimedia based Telecommunications Technologies)

5.2 กลุ่มวิชาด้านการจัดการเทคโนโลยี (Technology Management)

วิชาด้านการจัดการเทคโนโลยีสำหรับวิศวกรรมโทรคมนาคมประเภทไร้สายทำให้ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการเทคโนโลยีโทรคมนาคมได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดประโยชน์ได้มากที่สุด ซึ่งจะมีรายละเอียดครอบคลุมถึง การวางแผน การบริหารการจัดการ และกฎหมาย ของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีกลุ่มวิชาดังต่อไปนี้

5.2.1 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการด้านเทคโนโลยี [29, 30, 16, 5]

- การบริหารเครือข่ายโทรคมนาคม (Telecommunication Network Management)
- การโทรคมนาคมและเครือข่ายระดับองค์กร (Telecommunications and Enterprise Networks)
- การจัดการศูนย์คอมพิวเตอร์ (Management of Computer Center)
- การประเมินสมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์ (Computer Systems Performance Evaluation)
- การวางแผนทรัพยากรสำหรับองค์กร (Enterprise Resource Planning)
- หลักการจัดการทางวิศวกรรม (Principles of Engineering Management)

- วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ (Industrial and System Engineering)
- การจัดการโครงการ (Project Management)
- การบริหารทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Management)
- การจัดการพลาธิการ (Logistics Management)
- การระบบข้อมูลทางการจัดการ (Management Information Systems)
- การจัดการการผลิตและการดำเนินงาน (Production and Operations Management)
- การจัดการเชิงกลยุทธ์ (Strategic Management)
- การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กรและการรับรอง (Total Quality Management and Certification)
- การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Project Feasibility Studies)
- พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Commerce)
- การวางแผนและกลยุทธ์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Planning and Strategy for Telecommunications Business)
- การบริหารโครงการโทรคมนาคม (Telecommunications Project Management)
- การจัดการความเสี่ยงในธุรกิจโทรคมนาคม (Risk Management in Telecommunications Business)
- รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (E-Government)

5.2.2 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมาย และนโยบายด้านเทคโนโลยี [29, 5]

- กฎหมายเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Law)
- กฎหมายและนโยบายโทรคมนาคม (Telecommunications Laws and Policy)
- การพัฒนาและประเมินผลนโยบายโทรคมนาคม (Telecommunications Policy Development and Evaluation)
- กฎหมายโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunications Laws)

5.2.3 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการตลาดด้านเทคโนโลยี [16, 5]

- พื้นฐานทางธุรกิจ (Foundations of Business)
- การจัดการการตลาด (Marketing Management)
- พฤติกรรมผู้บริโภคและการตลาดโทรคมนาคม (Telecommunications Consumer Behavior and Marketing)

- กลไกราคาด้านโทรคมนาคม (Telecommunications Pricing Mechanism)

5.2.4 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเศรษฐศาสตร์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม [5]

- พื้นฐานบริหารธุรกิจ (Fundamentals of Business Administration)
- การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการจัดการโทรคมนาคม (Statistical Analysis for Telecommunications Management)
- เศรษฐศาสตร์สำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Economics for Telecommunications Business)

5.2.5 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการบัญชีสำหรับธุรกิจโทรคมนาคม [16, 5]

- บัญชีต้นทุน (Cost Accounting)
- การจัดการการเงิน (Financial Management)
- การเงินและการบัญชีสำหรับธุรกิจโทรคมนาคม (Finance and Account for Telecommunications Business)

5.2.6 กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ (Knowledge Management) [30]

- การจัดการความรู้ (Knowledge Management)

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ
 นอ.ดร.วีระชัย เชาว์กำเหน็จ
 ณพพงศ์ สุวรรณนิพนธ์
 ปณณิกา เสาวพาน
 ที่ได้ตรวจทานและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำ
 บทความมีคุณภาพมากขึ้น
 มหิทธิ บุญรุ่ง
 วินัย ชัยนาคิน
 ปรัชญา ศรีชาย
 ที่ช่วยทำการเรียบเรียงและจัดพิมพ์ทำให้บทความเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสิทธิ์ ประพัฒมมงคลกร. หลักการสื่อสาร. กรุงเทพฯ ซีเอ็ด
 ยูเคชั่น. 1990
- [2] ประสิทธิ์ ทิมพุด. Satellite Communication. บริษัท ส.เอเซียเพรส
 (1989) จำกัด. 1993

- [3] ปราโมทย์ จางอิสระกุล. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2547
- [4] บริษัท สามารถเทลคอม จำกัด. เปิดโลกทัศน์สู่การสื่อสารผ่านดาวเทียม. โรงพิมพ์เนชั่นพับลิชชิง กรุ๊ป.
- [5] หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต พ.ศ. 2548
- [6] http://docd.edu.ku.ac.th/home/matuross/ku_magazine/wirless.html
- [7] <http://course.yonok.ac.th/yaowalak/ch.67r.asp>
- [8] <http://kanchanapisek.or.th/cgi-bin/show2.cgi/kp6/BOOK23/pictures/123-256>.
- [9] http://mobile.siam2you.com/zone_wireless/wireless_basic/index_basic.asp?thread=main_telecom
- [10] http://services.orange.co.th/developerZone/developer_GPRS.asp
- [11] http://thaicert.nectec.or.th/paper/wireless/IEEE80211_1.php
- [12] <http://tulip.bu.ac.th/~thirapon.w/article/bluetooth.htm>
- [13] http://ce.eng.dpu.ac.th/department/academic_work/tj/pdf/493_urn.pdf
- [14] <http://te.eng.dpu.ac.th>
- [15] http://science.bu.ac.th/academic_program/software_engineering.html.
- [16] http://dpu2002.dpu.ac.th/graduate/mse/subject_description.htm
- [17] http://www.physice.sci.rit.ac.th/PHYSICS/oldfront/100/electromagnetic_wave2.htm
- [18] <http://www.arip.co.th/article.php?id=404619>
- [19] http://www.doe.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee341/text/w7441_1.pdf.
- [20] http://www.tup.ac.th/a_knowledge_source/occupation_it/information_technology/002.doc.
- [21] <http://www.school.net.th/library/snet3/physician/ampere/amprule.htm>.
- [22] <http://www.sc.chula.ac.th/courseware/natsci/RSMainPage.htm>.
- [23] <http://www.geocities.com/zeroteams/CDMA/overview.html>
- [24] <http://www.adm.cat.or.th/northcat/microwav.htm>
- [25] <http://www.cme.mut.ac.th/webboard/view.php?GID=432>
- [26] <http://www.mobilesiam.com/Mobiletip/Question.asp?GID=36>
- [27] http://www.google.co.th/search?q=cache:DqvKJxui328J:internet.seed.com/content/IN78/IN78_54.asp+ipstar&hl=th
- [28] <http://www.bangkokbiznews.com/2003/kit/2003kit/0116/09.html>
- [29] http://www.it.kmutt.ac.th/course_pro.php
- [30] http://www.spu.ac.th/graduate/course/ms_it/course.html.
- [31] www.teched.rit.ac.th/computered/chakkree/DDC/Info_Sheets/readchapter3_2.pdf
- [32] www.gsmworld.com/technology/gprs/intro.shtml
- [33] www.manager.co.th/cyberbiz/ViewNews.asp?NewsID=4744245430826