

การนำเสนอการใช้เฟดดิ้งแฟกเตอร์ในสมการการลดทอนของสัญญาณ
เพื่อแก้ปัญหาการขาดหายของสัญญาณในระบบ พีซีที

PROPOSED TO USE FADING FACTOR IN LOSS EQUATION TO
SOLVE THE FADING EFFECT IN PCT SYSTEM



ชัชชา เลียงวงศ์สุนต์
CHATCHANA LEANGWONGSUM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-648-023-5

การนำเสนอการใช้เฟดดิ้งแฟคเตอร์ในสมการการลดทอนของสัญญาณ
เพื่อแก้ปัญหการขาดหายของสัญญาณในระบบพีซีที

PROPOSED TO USE FADING FACTOR IN LOSS EQUATION TO
SOLVE THE FADING EFFECT IN PCT SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-648-023-5

38958

เพื่อสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**PROPOSED TO USE FADING FACTOR IN LOSS EQUATION TO
SOLVE THE FADING EFFECT IN PCT SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2000

ISBN 974-648-023-5



COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนำเสนอการใช้เฟดดิ้งแฟคเตอร์ในสมการการลดทอนของสัญญาณ เพื่อแก้ปัญหาการขาดหายของสัญญาณในระบบพีซีที
PROPOSED TO USE FADING FACTOR IN LOSS EQUATION TO SOLVE THE FADING EFFECT IN PCT SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายชัชชนะ เลียงวงษ์สันต์
รหัสประจำตัว 41061106
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ฉวีดี พึ่งมา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ศ.มนูญ สุขเกษม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.มนูญ	สุขเกษม	
ผศ.ดร.ไกรสิน	สงัดวัฒนา	
ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
รศ.ณรงค์	เหมกรณัฏ	
รศ.ดร.ฉวีดี	พึ่งมา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 12 ธันวาคม 2543 เวลา 12.00-13.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว



วันที่ Rb เดือน 12 ปี พ.ศ. 2543

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การนำเสนอการใช้เฟดดิ้งแฟคเตอร์ในสมการการลดทอนของ
สัญญาณเพื่อแก้ปัญหการขาดหายของสัญญาณในระบบพีซีที

นักศึกษา

นายชัชชนะ เลียงวงษ์สันต์

รหัสประจำตัว

41061106

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2543

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ถวิดิ พิงมา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหการขาดหายของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐาน
พหุภาคส่วนบุคคล PCT ซึ่งในการใช้โทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลในเมืองไทยนั้นยังมีปัญหา
เกี่ยวกับการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนาอยู่ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอแนวความ
คิดในการนำค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ (Fading Factor) มาช่วยแก้ไขปัญหการขาดหายของสัญญาณ โดย
ได้คำนวณหาค่าการเฟดดิ้งเฉลี่ยจากข้อมูลที่ได้ทำการสุ่มวัดในพื้นที่ต่างๆ เช่น บริเวณถนนสีลม
ถนนรัชดาภิเษก ถนนบางนาตราด และบริเวณที่อยู่อาศัยที่มีการจราจรเบาบาง โดยทำการแบ่งตัว
อย่างค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยออกเป็น 3 เขต ด้วยกันคือ เขตที่มีสภาพการจราจรหนาแน่น เขตที่มีสภาพการ
จราจรปานกลาง และเขตที่มีสภาพการจราจรเบาบาง ซึ่งจากค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยของแต่ละเขตนี้ได้นำมา
คำนวณหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ต่างๆ โดยที่ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่ได้สามารถนำไปรวมกับสมการการ
ลดทอนของคลื่นคือ สมการของ COST-231 (ปรับปรุงมาจากสมการของ Hata) ซึ่งก็สามารถนำ
สมการที่ได้ใหม่ไปใช้ในการพิจารณาเพื่อปรับตำแหน่งของเซลล์สเตชันให้เหมาะสมกับการให้
บริการ โดยสามารถลดการขาดหายของสัญญาณในขณะสนทนาได้อย่างชัดเจน

Thesis Title	Proposed to Use Fading Factor in Loss Equation to Solve the Fading Effect in PCT System
Student	Mr.Chatchana Leangwongsun
Student ID.	41061106
Degree	Master Degree
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assc.Prof.Dr.Tawil Puangma

ABSTRACT

This thesis present a method to solve fading effect of signal occurred in Personal Communication Telephone (PCT) System. In Thailand, Personal Communication Telephone System has frequently occurred fading problem during conversation. This thesis proposed a new idea to solve fading effect of signal by considered to using Fading Factor. By sampling measured signal data in some sampling area in Srilom road, Ratchadapisek road, Bangna-Trad road and resident area with low traffic to calculate Mean of Fading. Separated Mean of Fading into traffic three groups for high traffic area, medium traffic area and low traffic area, then calculated Fading Factors of each area. Result of added Fading Factor to loss equation (COST- 231 equation modified from Hata equation) to adjust for more appropriate position of cell station, obtained reduction of fading effect during conversation obviously.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.ถวิล พึ่งมา และ ท่าน ศาสตราจารย์มัญญู สุขเกษม ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาที่ดีกับข้าพเจ้ามาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านทั้งสองเป็นอย่างมาก และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าเป็นอย่างมากที่ให้โอกาสและสนับสนุนในด้านการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนกระทั่งได้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโทมาบัดนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และสั่งสอนข้าพเจ้ามาในทุกระดับชั้น

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ในห้อง T-201 และ นักศึกษาระดับปริญญาโทและเอก ในห้อง Wireless Communications Lab. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขทฤษฎีและอื่นๆ ที่ผิดพลาดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

ท้ายสุด คุณค่า ความรู้ ประโยชน์และความดีอันพึงประสงค์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชัชนะ เลียงวงษ์สันต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล.....	7
2.1 วิวัฒนาการการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล.....	8
2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก.....	11
2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัล.....	12
2.4 ข้อเปรียบเทียบของระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล.....	24
บทที่ 3 ระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที.....	27
3.1 ความเป็นมาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT.....	27
3.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT.....	27
3.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT.....	28
3.2.2 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ.....	29
3.2.3 โครงข่ายอัจฉริยะ.....	30
3.3 ความถี่ใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคล PCT.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

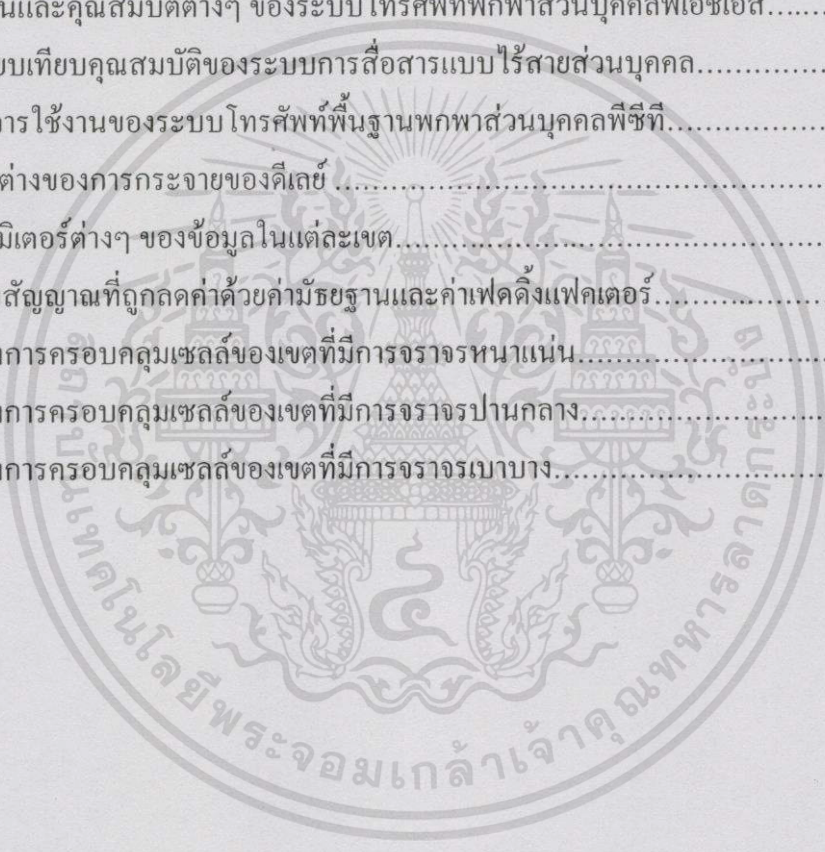
	หน้า
3.4 โปรโตคอลที่ใช้ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคล PCT.....	33
3.5 โครงสร้างของช่องสัญญาณและการเชื่อมต่อกับโครงข่าย.....	35
3.6 อุปกรณ์หลักของโครงข่ายบริการในพื้นที่สาธารณะ.....	36
3.7 ทฤษฎีการวางเซลล์สแต็คชั้นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคล PCT.....	41
3.7.1 การแพร่กระจายคลื่น.....	41
3.7.2 การวางเซลล์สแต็คชั้นภายในอาคาร.....	43
3.7.3 การวางเซลล์สแต็คชั้นในพื้นที่สาธารณะ.....	45
3.8 การพัฒนาและการให้บริการในอนาคตของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วน บุคคล PCT.....	47
บทที่ 4 การเฟดดิ้งของสัญญาณโทรศัพท์.....	49
4.1 สาเหตุของการเกิดเฟดดิ้ง.....	49
4.1.1 การเฟดดิ้งระยะยาว.....	52
4.1.2 การเฟดดิ้งระยะสั้น.....	52
4.2 ชนิดของการเฟดดิ้ง.....	53
4.2.1 การเฟดดิ้งที่มาจาก Multipath Time Delay Spread	53
4.2.2 การเฟดดิ้งที่เกิดจากการกระจายของดอปเปลอร์.....	58
4.3 การเลื่อนดอปเปลอร์ (Doppler Shift)	59
4.4 การกระจายแบบเรย์ลีและรีเซียน (Rayleigh and Ricean Distribution).....	62
4.4.1 การกระจายแบบเรย์ลีเฟดดิ้ง (Rayleigh Fading).....	64
4.4.2 การกระจายแบบรีเซียนเฟดดิ้ง (Ricean Fading).....	66
4.5 โมเดลสถิติของช่องสัญญาณที่เฟดดิ้งหลายทาง (Statistical Models for Multipath Fading Channel).....	68
4.5.1 โมเดลของ Clarke สำหรับแฟลตเฟดดิ้ง (Clarke 's Model for Flat Fading)....	68
4.5.2 การจำลองของโมเดลเฟดดิ้งของ Clarke และ Gans (Simulation of Clarke and Gans Fading Model).....	74
4.5.3 ระดับการครอสซิงและสถิติการเฟดดิ้ง (Level Crossing and Fading Statistics)	77
4.5.4 โมเดลทู-เรย์แบบเรย์ลีเฟดดิ้ง (Two-ray Rayleigh Fading Model)	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การหาค่าเฟดคิงและผลกระทบจากการเฟดคิงของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐาน	
พทพาส่วนบุคคลพีซีที.....	81
5.1 การหาค่าการเฟดคิง.....	81
5.1.1 การวัดค่าการเฟดคิง.....	82
5.1.2 การหาค่าเฟดคิงเฉลี่ยและการจำแนกตามพื้นที่.....	84
5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเฟดคิงในพื้นที่ต่างๆ.....	85
5.3 การคำนวณค่าในเชิงสถิติ.....	86
5.4 การหาค่าเฟดคิงแพคเตอร์.....	94
5.5 การแก้ไขเพื่อลดผลกระทบจากการเฟดคิง.....	96
5.6 การเปรียบเทียบและการปรับปรุงตำแหน่งของเซลล์สเตชัน.....	100
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	106
6.1 สรุปผลการเฟดคิงของสัญญาณ.....	107
6.2 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น.....	108
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	108
เอกสารอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	111
ประวัติผู้เขียน.....	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2.....	14
2.2 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3.....	15
2.3 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย PACS.....	17
2.4 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT.....	20
2.5 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส.....	23
2.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล.....	25
3.1 ความถี่การใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	32
4.1 ค่าความต่างของการกระจายของดีเลย์	54
5.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของข้อมูลในแต่ละเขต.....	94
5.2 ค่าระดับสัญญาณที่ถูกลดค่าด้วยค่ามัธยฐานและค่าเฟดดิ้งแฟลคเตอร์.....	95
5.3 รัศมีของการครอบคลุมเซลล์ของเขตที่มีการจราจรหนาแน่น.....	102
5.4 รัศมีของการครอบคลุมเซลล์ของเขตที่มีการจราจรปานกลาง.....	103
5.5 รัศมีของการครอบคลุมเซลล์ของเขตที่มีการจราจรเบาบาง.....	103



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการต่อสวิตช์ของชุมสายโทรศัพท์แบบอนาล็อก.....	7
2.2 หลักการของชุมสายโทรศัพท์แบบดิจิทัล.....	8
2.3 รูปแบบการพัฒนาลักษณะการทำงานของเซลล์ตั้งแต่อดีตจนถึงอนาคต.....	10
2.4 โครงสร้างของระบบ DECT.....	19
2.5 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พหุภาคส่วนบุคคลที่เอชเอสสาธารณะ.....	21
2.6 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พหุภาคส่วนบุคคลที่เอชเอสอิสระ.....	22
3.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที.....	28
3.2 โครงข่ายของโทรศัพท์ที่เอชเอส.....	29
3.3 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ.....	30
3.4 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัญริยะ.....	31
3.5 โปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ.....	34
3.6 ระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดสัญญาณ ควบคุม.....	34
3.7 TDMA Frame ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที.....	35
3.8 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD.....	35
3.9 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด.....	36
3.10 ลักษณะของเซลล์สเตชันที่ใช้ในประเทศไทย.....	37
3.11 สายอากาศของเซลล์สเตชันที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi.....	38
3.12 ตัวอย่างของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที.....	39
3.13 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก.....	42
3.14 โครงข่ายการติดตั้งเซลล์สเตชันภายในอาคาร.....	44
3.15 ลักษณะการวางเซลล์และระดับสัญญาณในการติดตั้งเซลล์สเตชันในพื้นที่สาธารณะ.....	46
3.16 ลักษณะการใช้งานเซลล์สเตชันและลักษณะวางเซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่สาธารณะ.....	46
3.17 การพัฒนาโครงข่ายโทรศัพท์พีซีทีที่ปรับปรุงให้อยู่ในรูปการเชื่อมโยงในระบบโหนด ทั้งเสียงและมัลติมีเดีย.....	48
4.1 รูปแบบของการเฟดดิ้งของสัญญาณ.....	49
4.2 ตัวอย่างสัญญาณการเฟดดิ้งของคลื่นโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ลักษณะของสัญญาณที่เฟดคั้งในการรับของเครื่องโทรศัพท์ในขณะที่เคลื่อนที่.....	51
4.4 ชนิดของการเฟดคั้ง.....	54
4.5 คุณสมบัติของ Flat Fading channel.....	56
4.6 คุณสมบัติของช่องสัญญาณที่เกิด Frequency Selective Fading.....	58
4.7 เมตริกซ์แสดงชนิดของการเฟดคั้ง โดยที่สัญญาณเป็นฟังก์ชันของ Symbol period และ Baseband signal Bandwidth.....	60
4.8 การเกิดคอปเปอเรอร์เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเครื่องรับ.....	61
4.9 การเกิดคอปเปอเรอร์ของสัญญาณ.....	61
4.10 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	63
4.11 เอนเวโลปของสัญญาณที่เฟดคั้งแบบเรย์ลีที่ความถี่ 900 MHz.....	65
4.12 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (PDF) ของการกระจายแบบเรย์ลี.....	65
4.13 การกระจายของการเฟดคั้ง 3 ฟังก์ชันที่ได้จากการวัด รวมทั้งการกระจายแบบเรย์ลี รีเซชันและลือกนอร์มอล.....	66
4.14 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการกระจายแบบรีเซชัน โดยที่ $K = -\infty$ (เรย์ลี) และ $K = 6$ dB สำหรับ $K \gg 1$ ค่า PDF จะใกล้เคียงกับค่าเกาส์เซียน (Gaussian).....	67
4.15 ระบายของคลื่นที่มีมุมของการมาถึงของคลื่นเป็นไปอย่างแรนด้อม.....	69
4.16 สเปกตรัมกำลังของคอปเปอเรอร์ที่ได้จากการซิมมูลเต CW.....	73
4.17 สเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสัญญาณเบสแบนด์ของคลื่น CW คอปเปอเรอร์ ที่ได้จาการวัด.....	74
4.18 การซิมมูลเตโดยใช้ Quadrature amplitude modulation.....	75
4.19 รูปแบบของสัญญาณในเชิงความถี่ของการซิมมูลเตการเฟดคั้งแบบเรย์ลีของสัญญาณ เบสแบนด์.....	76
4.20 บล็อกไดอะแกรมของการซิมมูลเต.....	77
4.21 โมเดลของ Two-Ray Rayleigh Fading.....	80
5.1 การหาค่าเฟดคั้งของสัญญาณ.....	82
5.2 PHS field Analyzer.....	83
5.3 รูปแบบของการวัดสัญญาณตามพื้นที่ต่างๆ.....	83
5.4 ตัวอย่างของระดับสัญญาณในแต่ละเขต.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกรค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 ค่า BER ที่ได้รับผลกระทบจากการเฟดคิง.....	85
5.6 ค่า BER ที่ได้จากการวัดตามถนนสายหลัก.....	86
5.7 ลักษณะสัญญาณที่วัดได้และสัญญาณที่ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐาน.....	87
5.8 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น.....	88
5.9 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรปานกลาง.....	89
5.10 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรเบาบาง.....	89
5.11 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขต.....	90
5.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขต.....	90
5.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น.....	92
5.14 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรปานกลาง.....	92
5.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรเบาบาง.....	93
5.16 เปรียบเทียบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของในแต่ละเขต.....	93
5.17 การหาค่าเฟดคิงแฟคเตอร์จากรูปฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น.....	95
5.18 กราฟแจกแจงความถี่สะสมที่ยอมให้มีการสูญเสียของสัญญาณเท่ากับ 2.5 %.....	96
5.19 รูปแบบของการวัดระดับสัญญาณที่ระยะ 10 เมตร ในบริเวณที่โล่ง.....	98
5.20 การหาค่าแฟคเตอร์ชดเชยการสูญเสีย เนื่องจากความสูงของสายอากาศ.....	99
5.21 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการข้อมูลที่วัดในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น.....	100
5.22 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการข้อมูลที่วัดในเขตที่มีการจราจรปานกลาง.....	101
5.23 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการข้อมูลที่วัดในเขตที่มีการจราจรเบาบาง.....	101
5.24 ตัวอย่างของระดับสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่ที่คำนวณได้จากสมการการลดทอน ของคลื่น โดยใช้ค่าเฟดคิงแฟคเตอร์เท่ากับ 12.54.....	104

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ทศท.	: องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
กสท.	: การสื่อสารแห่งประเทศไทย
NMT	: Nordic Mobile Telephone
AMPS	: Advance Mobile Phone System
AIS	: Advance Info Service
TAC	: Total Access Communication
GSM	: Global System Mobile
PCN	: Personal Communication Network
CDMA	: Code Division Multiple Access
TA	: Telecom Asia Co., Ltd.:
PCT	: Personal Communication Telephone
COST-231	: Co-Operation for Scientific and Technical research
CT-0	: Cordless Telephone-0
CT-1	: Cordless Telephone-1
CT-2	: Cordless Telephone-2
CT-3	: Cordless Telephone-3
DECT	: Digital European Cordless Telephone
PACS	: Personal Access Communication System
PHS	: Personal Handy-phone System
IC	: Integrated Circuit
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
TDMA	: Time Division Multiple Access
SS No.7	: Signaling System No.7
FDM	: Frequency Division Multiplex
FM	: Frequency Modulation
GFSK	: Gaussian filtered binary frequency-shift keying
ADPCM	: Adaptive Differential Pulse Code Modulator
PSTN	: Public Switched Telephone Network
UCOM	: United Communication

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

DCA	: Dynamic Channel Assign
CRC	: Cyclic Redundancy Check
WACS	: Wireless Access Communication System
JTC	: Joint Technique Committee
FCC	: Federal Communication Commission
$\pi/4$ DQPSK	: $\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying
PABX	: Private Automatic Branch Exchange
PCS	: Personal Communication System
ETSI	: The European Telecommunications Standards Institute
OSI	: Open System Interconnection
WLL	: Wireless Local Loop
PH	: Portable Handset
CTA	: Cordless Terminal Adepter
REP	: Radio Fix Part
CC	: Cordless Controller หรือ Cluster Controller
CCITT	: Consultative Committee for International Telegraph and Telephone
TCC	: Telecommunication Technical Committee
ISDN	: Integrated Service Digital Network
TOT	: Telephone Organization of Thailand
PS	: Personal Station
CS	: Cell Station
RDLU	: Remote Digital Line Unit
CSC	: Cell Station Controller
HLR	: Home Location Register
CDR	: Cell Detail Recording
GSP	: Grop Switching Processor
AT&T	: American Telephone & Telegraph
SMS	: Service Management System
SDS	: Service Data Service

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

MST	: Mechanized Switch Thansfer
MHz	: Mega-Hertz
CCS No.7	: Common Channel Signaling System Number 7
SSP	: Service Switching point
SCP	: Service Control Point
BRI	: Basic Rate Interface
PCM	: Pulse Code Modulation
DLM	: Digital Line Module
RDLM	: Remote Digital line Module
FTC	: Fault Tolerant Computer
MHN-S	: Multimedia Handling Nodes for providing PHS Service
BW	: Bandwidth
ISI	: Intersysbol Interference
CW	: Continue Wave
Los	: Line Of Sight
PDF	: Probability Density Function
CDF	: Cumulative Distribution Function
RF	: Radio Frequency
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
LCR	: Level Crossing rate

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์ที่เสริมสร้างคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น การบริการสื่อสารโทรคมนาคมสามารถทดแทนหรือลดการเดินทางลง ซึ่งจะบรรเทาปัญหาการจราจรและลดต้นทุนทางเศรษฐกิจของสังคม ประเทศไทยมีโครงข่ายและบริการสื่อสารโทรคมนาคมที่ทันสมัย เพื่อสนับสนุนการเติบโตของภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม การบริหารราชการแผ่นดิน และการให้บริการสังคมอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีการเชื่อมโยงติดต่อสื่อสารกันไม่เฉพาะผู้คนในสังคมไทยเท่านั้นแต่กับสังคมโลกก็มีการสื่อสารกันอย่างไร้พรมแดน นอกจากนี้โครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคมนับว่ามีบทบาทอย่างสูงในการสนับสนุนการพัฒนาประเทศ ไม่ว่าจะเป็นในด้านธุรกิจ การค้าและการบริการ อุตสาหกรรม และการศึกษา ซึ่งทำให้เกิดคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน อีกทั้งยังเป็นเครื่องมืออันหนึ่งที่ช่วยสร้างความปลอดภัย และประสิทธิภาพแก่ระบบขนส่งทางบก เรือ และอากาศอีกด้วย

แต่เดิมการสื่อสารจะเป็นเพียงการติดต่อในระยะใกล้ๆ เท่านั้น โดยจะสื่อสารกันโดยใช้คำพูดและลักษณะท่าทาง ต่อมาเริ่มมีการสื่อสารได้ไกลมากขึ้นมีการใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย เช่น สื่อสารด้วยควันไฟและใช้ว้าวเป็นสัญลักษณ์ เป็นต้น จนกระทั่งได้มีการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการสื่อสาร ที่เราเรียกว่าโทรศัพท์ การให้บริการโทรศัพท์ของประเทศไทยนั้น องค์กรโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (ทศท.) เป็นผู้ให้บริการโทรศัพท์ภายในประเทศ และการสื่อสารแห่งประเทศไทย (กสท.) เป็นผู้ให้บริการโทรศัพท์ระหว่างประเทศ

ส่วนการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2527 เมื่อกระทรวงคมนาคมอนุมัติให้หน่วยงานในสังกัดคือ ทศท. และ กสท. ดำเนินการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ในเชิงแข่งขัน โดยในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2529 ทศท. ได้เริ่มให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ ระบบ Nordic Mobile Telephone ในย่านความถี่ 470 MHz (NMT-470) ต่อมาในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530 กสท. ได้เปิดบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ ระบบ Advanced Mobile Phone System ในย่านความถี่ 800 MHz (AMPS-800 Band A) แต่เนื่องจากมีปริมาณความต้องการสูงมาก ประกอบกับภาวะขาดแคลนโทรศัพท์พื้นฐาน ทศท. จึงได้เปิดประมูลให้บริษัทเอกชนเข้ามาดำเนินการร่วม ซึ่งบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (AIS) ได้รับสิทธิให้ดำเนินการในระบบ NMT-900 โดยได้เริ่มดำเนินการในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2533 ส่วนทางด้าน กสท. นั้นบริษัท โทเทิล แอ็ดเชส คอมมูนิเคชั่น จำกัด(มหาชน) (TAC) เป็นผู้ประมูลได้และดำเนินการในระบบ AMPS-800 Band B โดยเริ่มดำเนินการในเดือนกันยายน 2534 แต่เนื่องจากการบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นระบบอนาล็อก ซึ่งมีคุณภาพและการพัฒนาระบบที่จำกัด ทำให้มีการนำเอา

ระบบดิจิทัลมาให้บริการ โดยที่บริษัท AIS ได้เปิดให้บริการระบบ Global System for Mobile ในย่านความถี่ 900 MHz (GSM 900) และบริษัท TAC เปิดให้บริการระบบ Personal Communication Network ในย่านความถี่ 1800 MHz (PCN 1800) ส่วนโครงข่ายของ กสท. ได้ปรับปรุงการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเปิดให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ Code Division Multiple Access ย่านความถี่ 800 MHz (CDMA 800) ส่วนโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น ทสท. ได้ให้สัมประทานบริษัทเทเลคอมเอเชีย จำกัด(มหาชน) (TA) เป็นผู้ให้บริการ [1] โดยเป็นบริการเสริมของโทรศัพท์บ้าน ซึ่งใช้หมายเลขโทรศัพท์เป็นหมายเลขเดียวกับโทรศัพท์บ้าน และปัจจุบันได้ให้บริการเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเท่านั้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยได้นำเอาระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT: Personal Communication Telephone) [2,3] มาให้บริการ ถึงแม้จะให้บริการเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลก็ตาม ซึ่งในอนาคตก็คาดว่าจะต้องมีการขยายพื้นที่ให้บริการมากขึ้นอย่างแน่นอน แต่ในปัจจุบันการติดตั้งเซลล์เสตชันของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนบุคคลพีซีทีที่ให้บริการอยู่นั้นยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร โดยจะสังเกตได้จาก ขณะที่สนทนาอยู่นั้นจะมีบางช่วงที่เสียงเกิดการขาดหายไป ทั้งๆ ที่ผู้ใช้บริการไม่ได้เคลื่อนที่ไปไหนเลย ทำให้ต้องมีการสนทนาซ้ำข้อความเดิมอีกครั้ง ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการสนทนาจึงเพิ่มขึ้น ผู้ใช้บริการก็จะต้องจ่ายค่าบริการมากขึ้นตามเวลา โดยเฉพาะกรณีที่กำลังสนทนาทางไกลอยู่ด้วยแล้ว ก็ทำให้ผู้ใช้บริการเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นอีก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุของการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนา โดยพิจารณาถึงการเพดคิงและค่าระดับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมของผู้ใช้บริการ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ดังนั้นปัญหาที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาก็คือ วิธีการแก้ปัญหาการขาดหายของสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที โดยถ้าปัญหานี้ได้รับการแก้ไขแล้วจะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถสนทนาได้อย่างต่อเนื่อง เสียงสนทนาไม่เกิดการขาดหาย ซึ่งจะทำให้ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพและน่าใช้บริการ

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีความมุ่งหมายที่จะให้ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลมีการบริการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ระบบการติดตั้งเซลล์เสตชันก็เป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งที่จะทำให้การบริการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการออกแบบติดตั้งเซลล์เสตชันของระบบนั้นเป็นเรื่องที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดอ่อนมากเนื่องจากเป็นเซลล์ขนาดเล็กในระดับนาโนเซลล์ การออกแบบติดตั้งเซลล์สเตชันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นจึงต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายๆ อย่างด้วยกัน การเฟดดิ้งของสัญญาณก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะละเลยไม่ได้ เพราะการเฟดดิ้งของสัญญาณเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนา โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งด้วยแล้วการเกิดการขาดหายของเสียงสนทนายังมีมาก อีกทั้งคนที่ใช้บริการโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลนั้นมีส่วนหนึ่งที่นิยมใช้ภายในรถที่อยู่บนท้องถนน ซึ่งมีลักษณะสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ส่งผลให้การเฟดดิ้งของสัญญาณเกิดขึ้นมากซึ่งผิดกับหลักการให้บริการของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการให้บริการในลักษณะอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ช้าๆ เช่น ผู้ที่เดินเท้า ซึ่งมีความเร็วและมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่น้อยกว่า ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ คือ เพื่อให้การขาดหายของสัญญาณที่เกิดจากการเฟดดิ้งลดลง เพื่อให้การสนทนาเป็นไปอย่างต่อเนื่องและชัดเจน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ในการติดตั้งเซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลนั้นยังมีปัญหาเกี่ยวกับการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนาอยู่ วิทยานิพนธ์มีสมมุติฐานว่าปัญหานี้เกิดจากการที่ระดับสัญญาณลดลงมากกว่าปกติทำให้อัตราบิดพลาความีค่าสูงซึ่งทำให้บิทข้อมูลการส่งเสียงมีการผิดพลาดจึงทำให้เสียงมีการขาดหายในระหว่างการสนทนา ส่วนการที่สัญญาณลดลงมากกว่าปกติก็เป็นเพราะสัญญาณมีการเฟดดิ้งสูง จึงทำให้เสียงระหว่างการสนทนาเกิดการขาดหายเป็นบางครั้ง ซึ่งการเฟดดิ้งของสัญญาณนี้เกิดจากสาเหตุหลักๆ อยู่ 2 ประเด็นด้วยกันคือ เกิดจากการมัลติพาท (Multipath) และ เกิดจากปรากฏการดอปเปลอร์ (Doppler) ซึ่งการมัลติพาทคือ การที่คลื่นไปกระทบสิ่งต่างๆ เช่น บ้าน อาคาร กำแพง ถนน รถยนต์ เป็นต้น แล้วเข้ามายังเครื่องรับ ทำให้เครื่องรับรับคลื่นได้จากหลายวิถี ดังนั้นคลื่นจึงเกิดการแทรกสอดทำให้คลื่นมีระดับสัญญาณขึ้นๆ ลงๆ ซึ่งก็คือการเฟดดิ้งของสัญญาณนั่นเอง ส่วนการดอปเปลอร์นั้น เกิดจากการที่เครื่องรับหรือสิ่งแวดลอมที่เป็นวัตถุมีการเคลื่อนที่ ทำให้สัญญาณที่เครื่องรับได้นั้นมีความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลที่ซิทินั้น การเฟดดิ้งของสัญญาณจะเกิดเพียงการเฟดดิ้งแบบระยะสั้น (Short Term Fading) เท่านั้นโดยจะไม่เกิดการเฟดดิ้งแบบระยะยาว (Long Term Fading) เพราะการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์สเตชันในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลที่ซิทินั้นสามารถแพร่กระจายไปได้เพียงระยะใกล้ๆ เท่านั้น เพราะกำลังส่งของเซลล์สเตชันมีค่าต่ำเพียง 20 - 200 มิลลิวัตต์เท่านั้น ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาการขาดหายของสัญญาณ วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงศึกษาเรื่องการเฟดดิ้งของสัญญาณ เพื่อหาพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่จะนำไปรวมกับสมการการลดทอน

ของคลื่นแล้ว ทำให้สมการนั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาหาค่าการลดทอนสัญญาณในช่วงความถี่ 1900 MHz ทำให้การหาระยะห่างระหว่างเซลล์เสตชันเป็นไปอย่างถูกต้อง

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการใช้ทฤษฎีของวิทยานิพนธ์นี้ ได้ศึกษาทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่น การลดทอนของคลื่น การเฟดดิ้งของสัญญาณ รวมทั้งศึกษาถึงแนวความคิดของผู้ที่เคยทำงานวิจัยทางด้านนี้ เช่น วิธีการของโอกูมูระ (Okumura) [4] วิธีการของฮาทะ (Hata) [5] รวมทั้งสมการของ COST-231 [6] นอกจากนี้ยังศึกษาการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี รีเซชัน รวมทั้งโมเดลของ Clarke [7] ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้นำหลักการใหม่คือการใช้ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์มาช่วยพิจารณาการแก้ปัญหาการขาดหายของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที โดยได้ทำการศึกษาลักษณะของสัญญาณจากพื้นที่ต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร จากนั้นได้ทำการสุ่มตัวอย่างวัดสัญญาณเพื่อเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์และหาค่าเฟดดิ้งเฉลี่ย โดยแบ่งการสุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 พื้นที่ด้วยกันคือ บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น บริเวณที่มีการจราจรปานกลาง และบริเวณที่มีการจราจรเบาบาง จากนั้นนำค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่มาคำนวณหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ เพื่อนำค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์นี้ไปรวมกับสมการการลดทอนของคลื่นที่ได้ปรับปรุงมาจากสมการการลดทอนเดิมที่มีอยู่ คือ สมการ COST -231 เพื่อให้มีความเหมาะสมกับเซลล์ขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้สมการการลดทอนของคลื่นมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการปรับตำแหน่งของเซลล์เสตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนส่วนบุคคลพีซีที

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้ศึกษาและวิจัยเรื่องเกี่ยวกับลักษณะสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนส่วนบุคคลพีซีที โดยเฉพาะการเฟดดิ้งของสัญญาณ ซึ่งขอบเขตของการวิจัยจะศึกษาการเฟดดิ้งระยะสั้นเท่านั้น เพราะเซลล์มีขนาดเล็ก โดยค่าเฟดดิ้งที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ศึกษาเป็นการเฟดดิ้งรวม ซึ่งก็คือเฟดดิ้งระยะสั้นที่เกิดจากการมัลติพาท และเฟดดิ้งที่เกิดขึ้นจากการดอปเปอเรอร์ ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสุ่มวัดค่าระดับสัญญาณในพื้นที่ต่างในเขตกรุงเทพฯ แล้วนำมาหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ เพื่อนำค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่ได้นี้ไปรวมกับสมการการลดทอนของคลื่น (คือสมการที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ปรับปรุงขึ้นมาจากสมการ COST-231) เพื่อนำสมการที่ได้ไปช่วยในการพิจารณาปรับตำแหน่งเซลล์เสตชันให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สามารถลดการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนาได้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 กล่าวถึงภาพรวมของการสื่อสารและระบบโทรศัพท์ระบบต่างๆ ที่ประเทศไทยนำมาให้บริการ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัยและขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลและวิวัฒนาการ วิวัฒนาการการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล ระบบโทรศัพท์ไร้สายที่เป็นแบบอนาล็อก คือ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 และ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1 ระบบโทรศัพท์ไร้สายที่เป็นแบบดิจิทัล คือ ระบบ CT-2 (Cordless Telephone generation two), CT-3 (Cordless Telephone generation three), ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone), ระบบ PACS (Personal Access Communication Systems) และระบบ PHS (Personal Handy-phone System) [8,9] และส่วนท้ายของบทจะแสดงข้อเปรียบเทียบของระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

บทที่ 3 กล่าวถึงระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที ความเป็นมาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที ที่ประกอบไปด้วย โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีเอชเอต โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ และโครงข่ายอัจฉริยะ รวมทั้งยังกล่าวถึงความถี่ใช้งานของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที โพรโตคอลที่ใช้ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที โครงสร้างของช่องสัญญาณและการเชื่อมต่อกับโครงข่าย อุปกรณ์หลักของโครงข่ายบริการในพื้นที่สาธารณะ และทฤษฎีการวางเซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีทีที่ประกอบไปด้วย การแพร่กระจายคลื่น การวางเซลล์สเตชันภายในอาคาร และการวางเซลล์สเตชันในพื้นที่สาธารณะ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการพัฒนาและการให้บริการ ในอนาคตของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที อีกด้วย

บทที่ 4 กล่าวถึงการเฟดดิ้งของสัญญาณโทรศัพท์ สาเหตุของการเกิดเฟดดิ้ง การเฟดดิ้งระยะยาว การเฟดดิ้งระยะสั้น ชนิดของการเฟดดิ้งที่ได้รับผลกระทบมาจากการกระจายของเวลาดีเลย์และการคอปเปอเรอร์ การเลื่อนคอปเปอเรอร์ (Doppler Shift) การกระจายแบบเรย์ลีและรีเซียน (Rayleigh and Rician Distribution) รวมทั้งกล่าวถึง โมเดลสถิติของช่องสัญญาณที่เฟดดิ้งหลายทาง (Statistical Models for Multipath Fading Channel) เช่น โมเดลของ Clarke สำหรับแฟลตเฟดดิ้ง (Clarke's Model for Flat Fading) และ การจำลองของโมเดลเฟดดิ้งของ Clarke และ Gans (Simulation of Clarke and Gans Fading Model) ระดับการครอสซิงและสถิติการเฟดดิ้ง (Level Crossing and Fading Statistics) และโมเดลทูเรย์-เรย์ลีเฟดดิ้ง (Two-ray Rayleigh Fading Model) [7]

บทที่ 5 กล่าวถึงการหาค่าเฟดดิ้งและผลกระทบจากการเฟดดิ้งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที โดยประกอบด้วยหัวข้อหลักและหัวข้อย่อยดังนี้ คือ การ

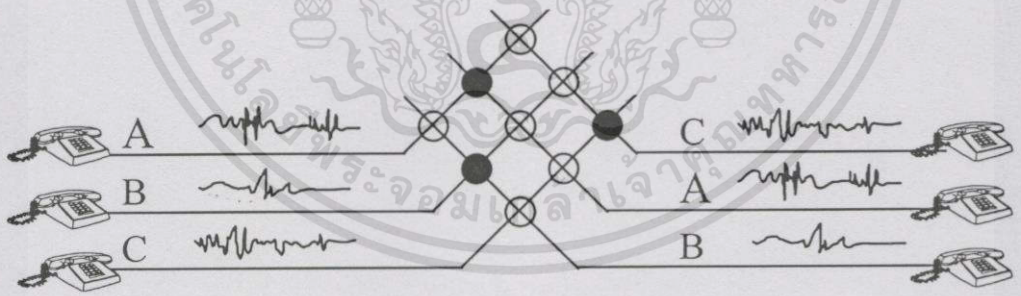
หาค่าการเฟดคั้ง การวัดค่าการเฟดคั้ง การหาค่าเฟดคั้งเฉลี่ยและการจำแนกตามพื้นที่ ต่อจากนั้น กล่าวถึง การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเฟดคั้งในพื้นที่ต่างๆ การคำนวณค่าในเชิงสถิติ หาค่า ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม การหาค่าเฟดคั้ง การหาค่า เฟดคั้งแฟคเตอร์ วิธีการแก้ปัญหาเพื่อลดผลกระทบจากการเฟดคั้ง และสุดท้ายคือ การเปรียบเทียบ ผลของการปรับปรุงตำแหน่งของเซลล์เสตชั่น

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง โดยจะกล่าวถึง สรุปผลการเฟดคั้งของ สัญญาณ สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์



วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล

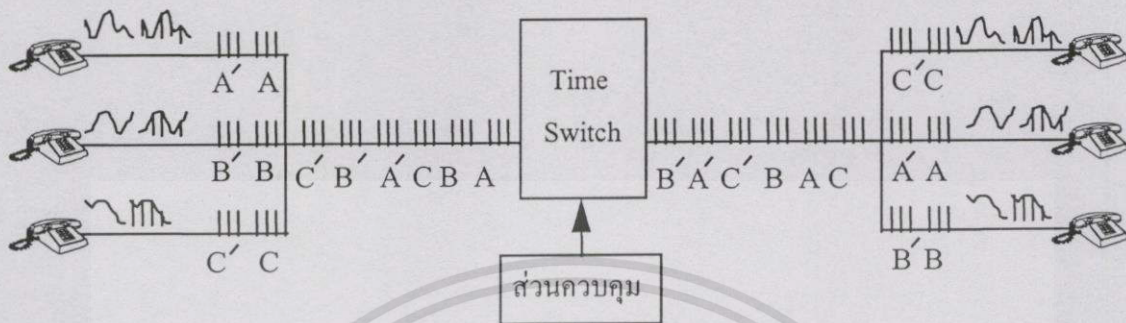
นับตั้งแต่มีการให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลนั้น มนุษย์ก็รู้จักที่จะพัฒนาเทคโนโลยีของโทรศัพท์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้บริการ ดังนั้นระบบโทรศัพท์จึงถูกพัฒนาขึ้น และเริ่มใช้ชุมสายที่มีคนเป็นผู้ต่อ จากนั้นก็พัฒนาเรื่อยมาจนมีชุมสายสวิตซ์ซึ่งแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งเริ่มแรกระบบโทรศัพท์เป็นแบบอนาล็อก โดยมีการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งโทรศัพท์แบบอัตโนมัติ คือ การรับสัญญาณหมายเลขที่เรียกจากสมาชิกต้นทาง ซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณแบบพัลส์ (เครื่องแบบหมุน) หรือสัญญาณความถี่ผสม (เครื่องแบบกดปุ่ม) เพื่อที่จะถอดรหัสหมายเลขของเครื่องสมาชิกปลายทางและทำการต่อวงจรให้ติดต่อกันได้ ซึ่งอาจจะเป็นการติดต่อกับสัญญาณเสียงหรือข้อมูลก็ได้ ลักษณะของอุปกรณ์สวิตซ์ตั้งแต่เดิมนั้นจะทำการต่อสัญญาณเสียง (Voice Signal) โดยทำการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและอุปกรณ์นี้เราเรียกกันว่า "เครื่องโทรศัพท์" สัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์จะถูกต่อผ่านชุดสวิตซ์ที่ทำหน้าที่ต่อสัญญาณเสียงพูดผ่านจากผู้ใช้ต้นทางไปยังผู้ใช้ปลายทาง โดยที่รูปแบบของสัญญาณที่รับได้จากเครื่องโทรศัพท์ปลายทางจะเหมือนกับสัญญาณที่ต้นทางทุกประการ เรียกสวิตซ์ซึ่งแบบนี้ว่าสวิตซ์ซึ่งแบบอนาล็อก ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการต่อสวิตซ์ของชุมสายโทรศัพท์แบบอนาล็อก

ต่อมาจึงมีการพัฒนามาเป็นโทรศัพท์แบบดิจิทัล มีชุมสายแบบดิจิทัล อุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ในชุมสายโทรศัพท์แบบดิจิทัลจะมีหน้าที่สำคัญคือเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล คือมีรหัส "0" และ "1" เท่านั้น ซึ่งจะต่างกับชุมสายโทรศัพท์แบบอนาล็อก โดยสัญญาณเสียงจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปโดยหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.2 สัญญาณเสียงที่ส่งจากเครื่องโทรศัพท์จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของรหัส "0" และ "1" การทำงานนี้เราเรียกว่าการเข้ารหัส (encode) ซึ่งสัญญาณรหัส "0" และ "1" นี้เราเรียกว่า สัญญาณดิจิทัล สัญญาณเสียงจากเครื่องโทรศัพท์ปลายทาง

ทางที่ส่งมาตามคู่สายจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและนำสัญญาณดิจิทัลเหล่านี้จากเครื่องโทรศัพท์ปลายทางอื่นๆ หลายๆ เครื่อง มาเข้าระบบมัลติเพล็กซ์โดยการจัดแบ่งเวลากันส่ง ทำให้สามารถที่จะทำการส่งสัญญาณหลายสัญญาณไปในสายเส้นเดียวพร้อมกันได้



รูปที่ 2.2 หลักการของชุมสายโทรศัพท์แบบดิจิทัล

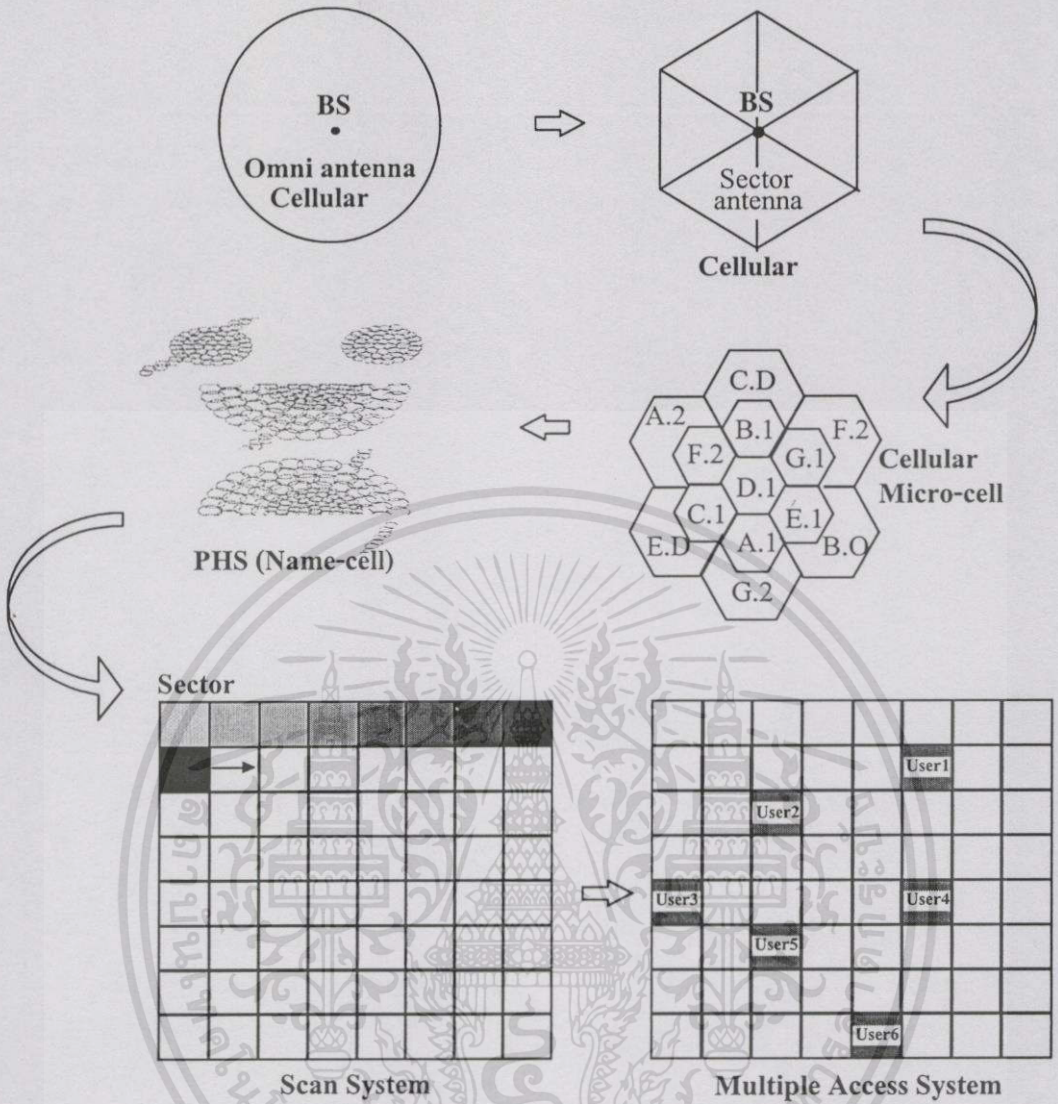
ชุมสายโทรศัพท์จะทำการเชื่อมต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์ปลายทางตามข้อมูลของพัลส์ที่ได้รับ ลำดับของพัลส์ที่ได้รับเข้ามาแต่ละส่วนก็จะทำการเปลี่ยนตามความต้องการของ สมาชิกผู้เรียกที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์ไปยังเครื่องโทรศัพท์ตามต้องการโดยสวิตซ์ทำงานแบบนี้เรียกว่า Time Order Exchange ในสวิตซ์ที่ใช้หลักการทำงานของ Time Order Exchange จะใช้สวิตซ์ที่เป็นเซมิคอนดักเตอร์ การสวิตซ์แบบนี้จะมีความสามารถในการทำงานที่ความเร็วสูง ซึ่งในสวิตซ์ 1 ตัวสามารถสวิตซ์ได้ 500 - 2,000 ของการเรียก ส่วนชุมสายโทรศัพท์แบบอนาล็อก ในการเรียก 1 ครั้ง จะต้องใช้การเชื่อมต่อของสวิตซ์ 1 ชุด ดังนั้นในการทำงานนี้จะมีข้อจำกัดอยู่ที่จำนวนของสวิตซ์ อย่างไรก็ตามในสวิตซ์แบบอนาล็อกหนึ่งนั้นจะคงสภาพของการเรียกไว้ตลอดเวลาจนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งาน สวิตซ์นี้ก็จะถูกทำให้ว่างเพื่อที่สามารถจะใช้งานต่อไปได้อีก

2.1 วิวัฒนาการการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล

การวิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สายนั้นได้มีการพัฒนามานานแล้ว ซึ่งเริ่มมีใช้งานกันอย่างกว้างขวางในปี พ.ศ. 2528 ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการสื่อสารโทรคมนาคม เนื่องจากผู้ใช้บริการมีความสะดวก รวดเร็ว และใช้ง่าย รวมทั้งปัจจุบันค่าบริการยังต่ำกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากการศึกษาการสื่อสารชนิดไร้สายมาตั้งแต่ต้น จะเห็นว่าการสื่อสารแบบไร้สายนั้นเริ่มมีผู้นิยมใช้กันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการคือ ประการแรก การพัฒนาจอร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาจัดการ ทำให้เครื่องที่ให้บริการมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ดังจะเห็นได้จาก สมัยเริ่มแรกของการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะเป็นการใช้เครื่องขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ติดตั้งกับรถยนต์

ต่อมาก็พัฒนาเป็นชนิดหัวถือได้ และจากนั้นก็เข้าสู่ระบบมือถือที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ ประการที่สองคือ การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับความถี่สูงได้ จึงทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง เพราะมีการพัฒนาไมโครชิปเป็นไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก เช่นเดียวกับอุปกรณ์ภายใน IC (Integrated Circuit) โดยบางชิ้นส่วนถึงกับมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องใช้กล้องขยายจึงจะสามารถเห็นได้ การพัฒนาในส่วนนี้จะเห็นได้จาก การใช้ความถี่ที่สูงขึ้น ทำให้การออกแบบอุปกรณ์ขนาดเล็กทำได้ง่ายขึ้น ประการที่สาม การพัฒนาเทคนิคการทำงานต่างๆ ของระบบเริ่มเข้าสู่ระบบที่สลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังจะเห็นได้จากการพัฒนาจากระบบ FDMA (Frequency Division Multiple Access) ไปสู่ระบบ TDMA (Time Division Multiple Access) และต่อมาก็นำไปสู่ระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) ประการที่สี่ ระบบโครงข่ายก็มีความฉลาดมากยิ่งขึ้น ที่เราเรียกกันว่า โครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) หรือที่มีการเฝ้ามองและจับตาดูการใช้งานของผู้ใช้ให้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องสูงสุด ดังจะเห็นได้จากโครงข่ายต่างๆ เริ่มปรับตัวเป็นโครงข่ายกลุ่มย่อยๆ และรวมตัวกันเป็นโครงข่ายกลุ่มใหญ่ โดยใช้ระบบสัญญาณควบคุมแบบดิจิทัลใหม่ล่าสุด เช่น ระบบ SS#7 (Signalling System No.7)

การพัฒนาระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้น พอจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการพัฒนาโครงข่ายและระบบ การพัฒนาของส่วนนี้ ถูกพัฒนาอย่างเป็นขั้นเป็นตอน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3 เป็นการพัฒนาระบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสื่อสารในรูปแบบเริ่มต้น โดยจะสร้างเครือข่ายเป็นเซลล์ขนาดใหญ่ซึ่งมีรัศมีอาจจะถึง 50 กิโลเมตร ปัญหาจึงมักเกิดอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรก สัญญาณวิทยุที่อยู่ใกล้และไกลจากสถานีฐานมีความแรงไม่เท่ากัน ทำให้การควบคุมระดับสัญญาณเป็นไปด้วยความลำบาก ประการที่สอง ต้องใช้กำลังส่งที่มีขนาดสูงทำให้เครื่องมีขนาดใหญ่ ไม่เหมาะกับการพกติดตัวไป จึงมีการพัฒนาระบบที่เรียกกันว่าเซลล์ลูลาร์ โดยใช้เซลล์ขนาดเล็กลงเหลือรัศมีประมาณ 10-20 กิโลเมตร และใช้เทคนิคการนำความถี่เดิมมาใช้ใหม่ในเซลล์ที่อยู่ไกลออกไป เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันขึ้น ทำให้การควบคุมสัญญาณดีขึ้น จากนั้นก็มีวิศวกรหลายกลุ่มพัฒนาไปสู่ระบบการแยก หรือการแบ่งเซลล์ออกเป็นหลายส่วน เพื่อลดขนาดของเซลล์ลง จึงทำให้หนึ่งสถานีฐานดูแลลูกข่ายที่มีจำนวนลดลง เพื่อเพิ่มความแน่นอนในการสื่อสารขึ้นอีก ส่วนที่สอง เป็นส่วนของการพัฒนาเครื่องให้บริการ โดยจะพัฒนาไปสู่ระบบส่วนบุคคล ก็จะต้องมีขนาดเล็กกระทัดรัดสะดวกในการพกพา มีขนาดกำลังส่งต่ำ เพื่อประหยัดพลังงานและแบตเตอรี่ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น เครื่องลูกข่ายของโทรศัพท์ระบบ PHS ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและเบากว่าโทรศัพท์มือถือแบบเซลล์ลูลาร์ ส่วนฟังก์ชันการทำงานและการบริการเสริมก็มีมากมายหลายชนิด เช่น สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 รูปแบบการพัฒนาลักษณะการทำงานของเซลล์ตั้งแต่อดีตจนถึงอนาคต

ในระบบโทรศัพท์ไร้สายได้ที่ให้บริการมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ซึ่งมีระบบใหม่ๆ เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากมีการให้บริการรูปแบบใหม่ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น การให้บริการในลักษณะเซลล์ตุ่ การให้บริการโทรศัพท์แบบดิจิทัล การให้บริการข้อมูลข่าวสารรูปแบบต่างๆ หรือการให้บริการภาพมีพัฒนาการเป็นลำดับขั้นจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล ซึ่งการพัฒนาการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะแรก จะสร้างโครงข่ายเป็นเซลล์ขนาดใหญ่แบบมาโครเซลล์ ซึ่งระบบสื่อสารไร้สายมีสองแบบคือ ระบบสื่อสารไร้สายแบบอนาล็อกและระบบแบบดิจิทัล โดยการให้บริการ จะมีพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ขนาดเล็ก (Small Cell)

2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก

ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกนั้น เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่มีการใช้งานในช่วงแรกๆ ก่อนจะมีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาใช้กับระบบโทรศัพท์ ซึ่งระบบอนาล็อกนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากคุณภาพเสียงไม่ดีพอ ประกอบกับเป็นยุคที่กำลังจะนำระบบโทรศัพท์ดิจิทัลมาใช้ อีกทั้งประชาชนยังไม่เห็นความจำเป็นของการสื่อสารไร้สายนัก ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกเป็นการพัฒนาโดยใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อแทนการใช้สาย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถที่จะเคลื่อนที่ในขณะที่มีการใช้งานได้ ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกได้ถูกนำมาใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว โดยในระยะแรก ความถี่ที่จัดสรรให้กับโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (FDD : Frequency Division Duplex) โดยระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกที่นิยมใช้งานมีอยู่ 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 และ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1 [8,9]

2.2.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 เป็นระบบไร้สายที่พัฒนาขึ้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1995 โดยใช้ย่านความถี่ขาขึ้น (Uplink) 49.6 - 50.0 MHz ส่งจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังสถานีฐาน และใช้ย่านความถี่ขาลง (Downlink) 43.6 - 47.0 MHz ส่งจากสถานีฐาน ไปยังเครื่องโทรศัพท์ โดยมีความกว้างของความถี่ (Bandwidth) ทั้งหมดของความถี่ขาขึ้นและขาลงอย่างละ 400 kHz และแบ่งความถี่ของความถี่ออกเป็น 10 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องกว้าง 40 kHz และมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 20 kHz และมีค่ากำลังการแผ่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นจริง (ERP : Effective Radiated Power) เป็น 20 mW สำหรับสัญญาณเสียงใช้เทคนิคการมอดูเลตทางความถี่ (FM : Frequency Modulation) แบบอนาล็อก นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัสสัญญาณแบบดิจิทัล เพื่อรักษาความปลอดภัยของระบบสัญญาณ แต่ยังคงมีความพยายามจากภาคอุตสาหกรรมทางโทรคมนาคมที่จะขอเพิ่มจำนวนคู่ความถี่ เพื่อแก้ไขปัญหาความแออัดของการใช้ช่องสัญญาณและคุณภาพของเสียงที่ค่อยๆ ลดลง ระบบนี้มีรัศมีของพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานประมาณ 100 เมตร ในอเมริกา ระบบนี้ได้รับความนิยมมากกว่า 10 ล้านเครื่อง ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการใช้โทรศัพท์ไร้สายระบบนี้เช่นกัน โดยใช้ย่านความถี่ 254 MHz เป็นความถี่ขาลง และ 380 MHz เป็นความถี่ขาขึ้น และมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 89 ช่อง แต่ละช่องมีความถี่ของคลื่นเท่ากับ 12.5 kHz ใช้เทคนิคการมอดูเลตเสียงทางความถี่ สถานีฐานมีกำลังส่ง 10 mW โดยในปีแรกประชาชนในประเทศญี่ปุ่นให้ความสนใจเป็นอย่างมาก โดยมีการใช้งานถึง 4.7 ล้านเครื่อง และมีการใช้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 4 ล้านเครื่องต่อปี

2.2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1 หรือ CEPT เป็นระบบโทรศัพท์ที่ใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 914-915 MHz และแถบความถี่ขาลงในย่าน 959-960 MHz มีแถบความถี่ของบริการทั้งขาขึ้นและขาลงอย่างละ 1 MHz โดยมีทั้งหมด 40 ช่องความถี่ มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 25 kHz นอกจากนี้ยังมีช่วงความถี่ที่สำรองไว้ใช้ในอนาคตอีกคือแถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 885-887 MHz และแถบความถี่ขาลงในย่าน 930-932 MHz ซึ่งมีอีก 80 ช่องสัญญาณโดยเครื่องโทรศัพท์ไร้สายระบบ CT-1 สามารถเลือกใช้ช่องความถี่จากช่องความถี่ทั้งหมดคือ 40 ช่องสัญญาณ ทำให้ในการใช้งานแต่ละครั้งมีจำนวนช่องความถี่ที่เพิ่มขึ้น จึงได้คุณภาพของเสียงดีกว่า และมีค่าความน่าจะเป็นของการโทรไม่ติด (Blocking Probability) ต่ำ ซึ่งจะทำให้สามารถให้บริการในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่นได้ เช่น ศูนย์การค้า สถานีขนส่ง โรงแรม สนามบิน เป็นต้น ในยุโรปมีการนำมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกระบบนี้มาใช้ โดยใช้เทคนิคการดูแลถี่แบบแบ่งความถี่ออกเป็น 2 แถบความถี่ๆ ละ 40 ช่องสัญญาณ และมีการให้บริการโทรศัพท์ในระบบนี้ถึง 2.2 ล้านเครื่อง และเพิ่มเป็น 2.7 ล้านเครื่อง ค.ศ. 1996

2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัล

ในขณะที่ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกมีขีดความสามารถอย่างจำกัดคือ ใช้แถบความถี่สิ้นเปลือง อีกทั้งยังมีข้อจำกัดของการให้บริการ คือ มีเสียงไม่คมชัด การส่งข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ และมีพื้นที่ให้บริการน้อย อีกทั้งยังไม่สามารถพัฒนาไปสู่บริการเสริมในอนาคตได้ ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลจึงถูกพัฒนาขึ้น โดยได้ทำการประยุกต์และพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถใช้งานได้ทั้งภายในอาคาร เช่น บ้าน ที่พักอาศัย สำนักงาน อาคารพาณิชย์ และพื้นที่สาธารณะต่างๆ ได้ เช่น ในย่านธุรกิจ หรือศูนย์การค้า ในการใช้งานระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลนั้น ผู้ใช้บริการสามารถที่จะเคลื่อนที่ในขณะที่ใช้งานได้ โดยในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในบริเวณที่คลื่นครอบคลุมถึงนั้น สามารถจะเรียกใช้บริการ หรือยกเลิกการติดต่อได้ ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่นิยมใช้กัน ได้แก่ระบบ CT-2 (Cordless Telephone generation Two), CT-3 (Cordless Telephone generation Three), ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone), ระบบ PACS (Personal Access Communication Systems) และระบบ PHS (Personal Handy-phone System)

2.3.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2 [10] เป็นมาตรฐานระบบโทรศัพท์ไร้สายรุ่นที่สองที่มีการใช้ในประเทศอังกฤษเมื่อปี ค.ศ. 1989 โดยพัฒนามาจากระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกในยุคแรกๆ ซึ่งออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่สาธารณะ และในสำนักงาน ในยุโรป

ระบบโทรศัพท์ CT-2 ใช้ย่านความถี่ 864.05-868.05 MHz และในประเทศแคนาดา ใช้ย่านความถี่ 864.05-868.05 MHz ไม่ว่การมีใ้ทุกทั้งสน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

944-948 MHz โดยเรียกว่า ระบบ CT-2+ ระบบ CT-2 และ CT-2+ ใช้ความกว้างของแถบความถี่ทั้งหมดเท่ากับ 4 MHz แบ่งออกเป็น 40 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องกว้าง 100 kHz มีเทคนิคการเข้าถึงข้อมูลแบบดิจิทัลเรียกว่า เทคนิค TDD ใช้การมอดูเลตแบบ GFSK มีการเข้ารหัสเสียงแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูล 32 kbps ซึ่งจะทำให้เสียงมีคุณภาพดี พื้นที่ในการให้บริการต่อเซลล์มีขนาดเล็กเพราะมีกำลังส่งของสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายเท่ากันคือ 10 mW ระบบนี้ยังไม่มี การควบคุมกำลังส่ง พารามิเตอร์และคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2 แสดงดังตารางที่ 2.1

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานระหว่างระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกกับระบบ CT-2 จะได้ว่าระบบ CT-2 จะให้คุณภาพเสียงพูดที่ดีกว่า สามารถป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise) การจางหายของสัญญาณ (Fading) และการเกิดสัญญาณแทรกซ้อนจากผู้ใช้บริการอื่น (Interference) มีรหัสเลขหมายส่วนบุคคล (PIN : Personal Identification Number) เพื่อป้องกันการลักลอบใช้งาน เครื่องโทรศัพท์ในระบบ CT-2 มีเวลาในการสนทนา (Talk-time) นานถึง 3 ชั่วโมง และเวลาในเปิดเครื่องคอย (Standby time) ประมาณ 40 ชั่วโมง สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง และมีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก ซึ่งสะดวกต่อการออกแบบระบบ เนื่องจากการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกสามารถจัดสรรช่องความถี่ของสัญญาณให้แก่ผู้ใช้ได้อย่างอัตโนมัติในกรณีที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อปริมาณการให้บริการในขณะนั้น ทำให้สามารถรองรับการให้บริการในบริเวณอาคาร สำนักงาน หรือภายในตัวเมืองที่มีผู้ใช้บริการหนาแน่นได้

เมื่อเชื่อมต่อระบบ CT-2 เข้าสู่โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) มีลักษณะการทำงานคล้ายกับโทรศัพท์สาธารณะแบบไร้สาย ระบบ CT-2 จะมีการติดต่อสื่อสารทิศทางเดียว (One-way outgoing หรือ Half duplex) ผู้ใช้บริการสามารถทำการเริ่มต้นการเรียก และสนทนาได้ภายในรัศมีพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานเมื่อผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ออกนอกเซลล์ก็จะสูญเสียการเชื่อมต่อทันที นั่นคือ โทรศัพท์ระบบ CT-2 นี้จะไม่มีการข้ามเซลล์ หรือการแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้น สำหรับประเทศไทยบริษัท UCOM เคยนำระบบไร้สาย CT-2 เข้ามาให้บริการในปี 2535 โดยเรียกบริการนี้ว่า “บริการโฟนพ้อยท์” (Phonepoint services) ซึ่งนิยมใช้กันในบริเวณศูนย์การค้า หรือบริเวณที่มีผู้คนหนาแน่น โดยการให้บริการโฟนพ้อยท์นั้น ผู้ใช้สามารถใช้เครื่องโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลระบบ CT-2 ที่จุดให้บริการโฟนพ้อยท์สาธารณะ แต่การให้บริการของระบบนี้ไม่ประสบความสำเร็จในประเทศไทย ในเวลาต่อมาจึงได้ยกเลิกการให้บริการ

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่ใช้งาน	CT-2 864.15 - 868.05 MHz CT-2+ 944 - 948 MHz
ความกว้างของแถบความถี่ใช้งาน	4 MHz
เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณ	FDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	40
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	100 kHz
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาหะ	1
ชนิดของการมอดูเลต	GFSK (BT=3) 2 ระดับ
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
กำลังการแผ่กระจายคลื่นสูงสุด ของสถานีเครื่องโทรศัพท์	10 mW (5mW Average)
กำลังการแผ่กระจายคลื่นสูงสุด ของสถานีฐาน	10 mW (5mW Average)
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก (Dynamic)
ความไวของภาครับสัญญาณ	40 dB
ช่วงเวลาของเฟรม	2 ms
อัตราเร็วของช่องสัญญาณควบคุม (สุทธิ)	1000/2000 bps
การควบคุมการผิดพลาด	CRC
รัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์	50-150 เมตร

2.3.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3 [8] เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1991 โดยเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายในยุคที่ 3 มีการใช้ความถี่ในย่าน 862-866 MHz มีความกว้างของแถบความถี่ เท่ากับ 4 MHz มีการแบ่งช่องสัญญาณแบบ FDMA (Frequency Division Multiplex Access) และแบ่งย่อยตามเวลาแบบ TDMA (Time division Multiplex Access) ความกว้างของช่องสัญญาณวิทยุเท่ากับ 1000 kHz โดยแต่ละช่องความถี่แบ่งออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ และใน 1 เฟรมมีช่วงเวลา 2 มิลลิวินาที โดยแบ่งออกได้เป็น 16 ไทม์สล็อต มีลักษณะเครือข่ายที่สามารถสื่อสารได้ 2 ทาง โดยผู้ใช้สามารถเรียกออกหรือ

รับสายเข้าได้ สามารถพูดสนทนาสวนทางกันได้ (Full Duplex) มีเทคนิคการเข้าถึงข้อมูลแบบ TDD โดยการมีเทคนิคการเข้ารหัสเสียงแบบ ADPCM ตามมาตรฐานของ CCITT ที่ G.721 มีความเร็วของข้อมูลเสียง 32 kpbs ระบบมีการกำหนดช่องสัญญาณแบบ DCA (Dynamic Channel Assign) ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3 ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนแรก ส่วนศูนย์ควบคุม (Control Unit) เป็นส่วนที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ โดยจะทำการเชื่อมต่อระหว่างตู้สาขาโทรศัพท์ของหน่วยงานกับสถานีฐานของระบบ CT-2 เมื่อมีการโทรเรียกเข้าหรือเรียกออก ศูนย์นี้จะทำหน้าที่ควบคุมและต่อผ่าน ส่วนที่ 2 ส่วนของสถานีฐานที่ติดตั้งอยู่ตามจุดบริการต่างๆ ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครื่องโทรศัพท์ จำนวนสถานีฐานนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของความต้องการใช้บริการ ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องโทรศัพท์ไร้สาย ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้ใช้บริการจะต้องนำติดตัวไป ประเทศไทยเคยนำระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3 มาให้บริการเช่นกัน โดยใช้บริการตามบริษัทเอกชน และตามโรงพยาบาลเอกชนใหญ่ๆ บางแห่ง แต่ระบบไม่เป็นที่นิยมเพราะผู้ใช้บริการนิยมใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มากกว่า

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่ใช้งาน	862 - 866 MHz
ความกว้างของแถบความถี่ใช้งาน	4 MHz
เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณ	FDMA/TDMA
เทคนิคการคูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณความถี่	4
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	1000 kHz
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาหะ	8
ชนิดของการมอดูเลท	GFSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	640 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM (32 kpbs)
กำลังส่งสูงสุดของสถานีฐาน	80 mW (5 mW Average)
กำลังส่งสูงสุดของเครื่องโทรศัพท์	80 mW (5 mW Average)
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก (Dynamic)
ช่วงเวลาของเฟรม	16 ms
การควบคุมการผิดพลาด	CRC
รัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์	50-150 เมตร

2.3.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย PACS

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย PACS [11] เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลรุ่นที่สาม ที่พัฒนาขึ้นโดย เบลล์คอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1995 ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง WACS (Wireless Access Communications System) ของประเทศสหรัฐอเมริกากับ JTC (Joint Technique Committee) ความถี่การใช้งานของระบบนั้น ระบบ PACS ได้รับอนุญาตจากองค์กร FCC (Federal Communications Commission) ให้ใช้ช่วงความถี่ขาขึ้น 1850-1910 MHz และความถี่ขาลง 1930-1990 MHz มีแถบความถี่ขาขึ้นและขาลงอย่างละ 60 MHz มีระยะห่างระหว่างความถี่ขาขึ้นและขาลงเท่ากับ 80 MHz มีจำนวนคลื่นพาห์ 200 ความถี่และมีแถบความกว้างของความถี่ 300 kHz ต่อหนึ่งช่วงความถี่โดยแบ่งออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ สันทนาพร้อมกันได้ 4 คู่สนทนา ใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ FDD (Frequency Division Duplex) การกำหนดและการจัดสรรช่องสัญญาณเป็นแบบตายตัว (Fix Assign) เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางทั้งในระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลและสาธารณะ โดยระบบ PACS จะสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล และภาพเคลื่อนไหว โดยสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เทคนิคในการมอดูเลทของระบบ PACS คือใช้การผสมคลื่นแบบ $\pi/4$ DQPSK มีจำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิก 7 ช่องสัญญาณและมี 1 ช่องสัญญาณควบคุม ความเร็วในการส่งสัญญาณของคลื่นพาห์เท่ากับ 384 kbps ทำให้มีประสิทธิภาพของการใช้ความถี่เป็น 37.5 kHz ต่อช่องสัญญาณ ช่วงเวลาของเฟรมมีค่าเท่ากับ 2.5 ms มีทั้งหมด 8 ไทม์สล็อต ภายใน ไทม์สล็อตมี 120 บิต ใช้การดูเฟล็กซ์แบบแบ่งเวลา ระยะเวลาออฟเซต ระหว่างช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดกับช่องสัญญาณรีเวิร์สของผู้ใช้แต่ละคนนั้นมีค่าเท่ากับสองไทม์สล็อตคือ 625 μ s การเข้ารหัสเสียงเป็นการเข้ารหัสแบบดิจิตอลโดยใช้เทคนิค ADPCM ที่อัตราเร็วบิตเท่ากับ 32 kbps ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่ายและไม่ยุ่งยากมากนัก จึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการในการสร้างระบบ และยังทำให้ระบบมีความเร็วสูงขึ้นอีกด้วย ช่องสัญญาณที่ใช้การส่งกระจายข้อมูลข่าวสารเป็นระบบ SBC (System Broadcasting) ซึ่งจะใช้ช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดมีการกระจายข้อมูลของการเรียกด้วยอัตราเร็ว 32 kbps สามารถรับรองข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้บริการสูงสุดได้ถึง 80,000 ราย นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยช่องสัญญาณการซิงค์โครไนซ์ (Synchronize Channel) และช่องสัญญาณแบบช้า (Slow Channel) โดยช่องสัญญาณเหล่านี้จะใช้บนช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ด ซึ่งจะทำหน้าที่ในการซิงค์โครไนซ์เครื่องโทรศัพท์ที่เปิดให้บริการอยู่ ส่วนของข้อมูลผู้ให้บริการจะถูกส่งในช่องสัญญาณแบบเร็ว (Fast Channel) ทั้งช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดและรีเวิร์สประกอบไปด้วยช่องสัญญาณแบบเร็วขนาด 80 บิต และช่องสัญญาณแบบช้าขนาด 10 บิต นอกจากนี้ระบบ PACS ยังมีช่องสัญญาณแบบดิจิตอลอีกหลายช่องสำหรับใช้งานพิเศษ ในการควบคุมกำลังส่งของระบบ PACS เครื่องโทรศัพท์ระบบนี้ จะมีการควบคุมกำลังส่งให้น้อยที่สุด เพื่อการประหยัดพลังงาน

ระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัล PACS มีวัตถุประสงค์สำคัญหลายอย่างคือ ต้องการรวมระบบสื่อสารแบบไร้สายทุกชนิดเป็นระบบเดียว หรือเรียกว่าระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PCS: Personal Communication System) โดยมีฟังก์ชันการทำงานเทียบได้กับโทรศัพท์ไร้สายและโทรศัพท์มีสายทั่วไป สามารถใช้งานในอาคารโดยใช้ร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย (Wireless PABX) ได้ สามารถใช้งานในขณะที่เครื่องโทรศัพท์มีความเร็วพอประมาณ คือประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้งานในลักษณะ Wireless Local Loop ได้ และให้มีกำลังส่งที่ต่ำ ในการให้บริการของระบบ PACS จะมีรัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ประมาณ 300-500 เมตร ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็ก หรือไมโครเซลล์ ประเทศไทยยังไม่เคยนำโทรศัพท์ไร้สายระบบนี้เข้ามาให้บริการมาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS สรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย PACS

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1850-1910 MHz(Uplink) 1930-1990 MHz (Downlink)
ความกว้างของแถบความถี่ใช้งาน	60 MHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA/TDMA
เทคนิคการดูแลถี่	FDD
กำลังส่งเฉลี่ยของสถานีฐาน	800 mW
กำลังส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์	25 mW
จำนวนช่องความถี่	200
จำนวนช่องสัญญาณต่อช่องความถี่	8
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
ชนิดการมอดูเลต	$\pi/4$ -DQPSK
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ	120 MHz
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	แบบตายตัว (Fix Assign)
ช่วงเวลาของเฟรม	2.5 ms
การตรวจสอบความผิดพลาด	CRC
รัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์	300-500 เมตร
ความล่าช้าของเสียง	น้อยกว่า 50 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

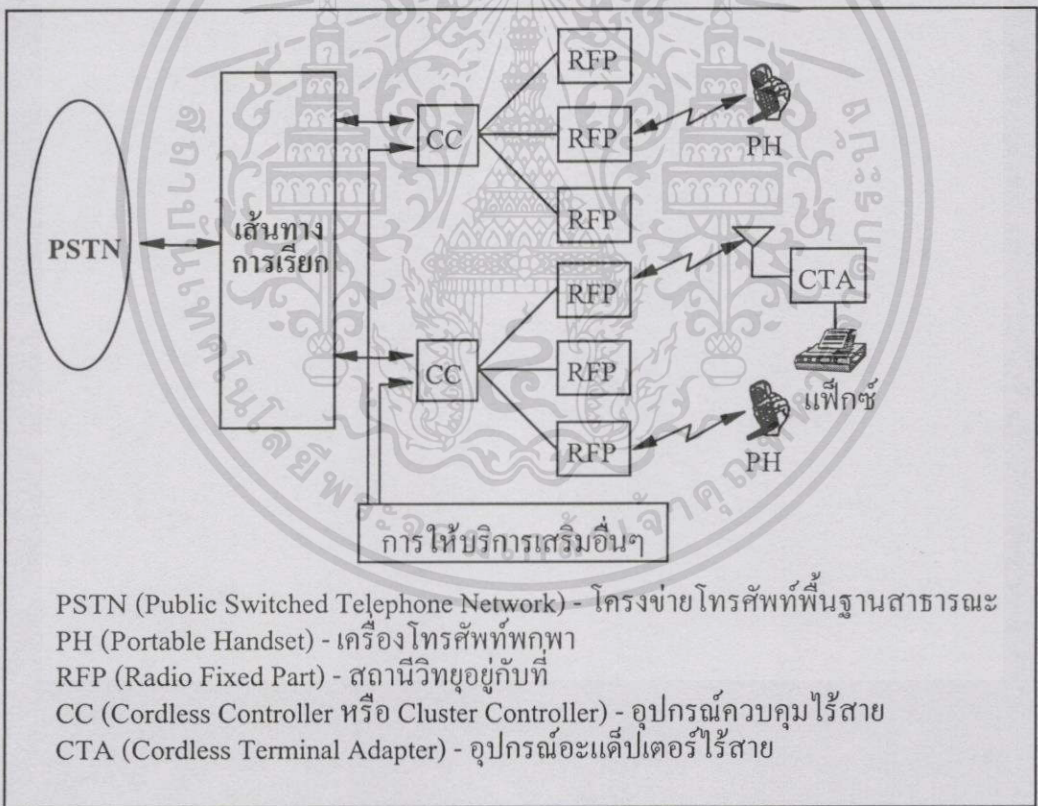
2.3.4 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT [12,13,14] เป็นมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายสากล ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยสถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมของยุโรป (ETSI : European Telecommunication Standards Institute) โดยเป็นมาตรฐานที่เกิดขึ้นในแถบประเทศยุโรป สำหรับโทรศัพท์ไร้สาย DECT สำเร็จลงเมื่อเดือนกรกฎาคมปี ค.ศ. 1992 โดยกลุ่มในประเทศยุโรปที่มีแนวคิดตรงกันถึงการพัฒนากระบวนการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล ที่จะนำมาใช้ในอนาคต ว่าจะต้องมีการให้บริการได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งเสียง ข้อมูล และภาพ ในรูปแบบของระบบมัลติมีเดีย และมีการพัฒนาโครงข่ายให้เป็นรูปเซลล์ที่มีขนาดเล็กมาก (นาโนเซลล์) อันจะเป็นประโยชน์ในการใช้งานได้ในสำนักงานต่างๆ ไปด้วย โดยไม่มีสัญญาณรบกวนกระจายออกไปภายนอกมากนัก และผู้ใช้งานสามารถวางเซลล์ได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางโครงข่ายภายในอาคารเป็นอย่างมาก

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT ใช้ความถี่ในการทำงานในช่วง 1880-1900 MHz ซึ่งมีความกว้างของแถบความถี่ทั้งหมด 20 MHz การแบ่งความถี่ออกเป็น 10 ช่องสัญญาณ และมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 1728 kHz แต่เมื่อรวมความถี่การ์ดแบนด์ (Guard Band) ความกว้างของแถบความถี่จะเท่ากับ 2 MHz ใช้เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณทางเวลาได้ 12 ช่องต่อแถบความถี่ ทำให้ช่องสัญญาณของระบบมีทั้งหมด 120 ช่องสัญญาณ ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (FDMA : Frequency Division Multiple Access) และแบบแบ่งเวลา (TDMA : Time Division Multiple Access) ใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDD : Time Division Duplex) และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก ระบบ DECT สามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารในบริเวณที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิกการใช้งานสูง โดยระบบ DECT สามารถที่จะให้บริการการสื่อสารได้ทั้งเสียง โทรสาร และข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากระบบ DECT มีลักษณะโครงสร้างตามมาตรฐาน OSI (Open Standard Interconnection) ดังนั้นจึงสามารถใช้บริการร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์อื่นๆ ได้ แต่เนื่องจากระบบ DECT ใช้กำลังส่งที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ครอบคลุมที่จำกัด โดยจะใช้งานได้ในระยะทางประมาณ 50 ถึง 100 เมตรภายในตัวอาคาร และระยะทางประมาณ 500 เมตรสำหรับพื้นที่โล่ง

แนวความคิดในการใช้การสื่อสารแบบไร้สายด้วยระบบ DECT ตั้งวัตถุประสงค์หลักไว้ 4 ประการคือ ประการแรก ในระบบ DECT นี้ จะเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลแบบหนึ่งที่มีขีดความสามารถในการส่งสัญญาณเสียงที่มีความเร็วของสัญญาณถึง 32 kbps โดยใช้เทคนิคของ ADPCM จึงทำให้การสนทนามีความชัดเจนใกล้เคียงกับโทรศัพท์ไร้สาย และมีพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานในรัศมีประมาณ 100 เมตร ประการที่ 2. ในระบบ DECT นั้นสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินเตอร์เฟสแบบดิจิทัลที่สามารถทำงานด้วยความเร็วสูงถึง 1,152 kbps นั่นก็หมายความว่า เราสามารถใช้ระบบ DECT เป็นโครงข่ายในการส่งสัญญาณให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สิทธิภาพ ดังนั้นการใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่อยู่ภายในห้องเดียวกัน หรือในสำนักงานเดียวกัน เมื่อต่อกับเครื่องระบบ DECT แล้ว จะสามารถโยกย้ายเปลี่ยนตำแหน่งได้ โดยไม่มีปัญหาเหมือนกับที่เป็นปัญหาในระบบใช้สาย ดังนั้นในยุโรปจึงนิยมใช้ DECT ต่อเข้ากับอุปกรณ์ภายในสำนักงานทุกชนิด เช่น คอมพิวเตอร์ โทรสาร หรือโทรศัพท์ เป็นต้น ประการที่ 3. จำนวนช่องสัญญาณต่อหนึ่งเซลล์ของระบบ DECT นั้นมีถึง 12 ช่องสัญญาณต่อคลื่นพาห์ โดยใช้เทคนิคของ TDD (Time Division Duplexer) ดังนั้นในการติดตั้งระบบ DECT หนึ่งเซลล์ต่อหนึ่งห้องทำงานจึงสามารถทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและพอเพียงกับความต้องการ ประการสุดท้าย ระบบ DECT สามารถสร้างโครงข่ายแบบ WLL (Wireless Local Loop) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้สายอากาศแบบบีมพิเศษ ทำให้สามารถสื่อสารได้ระยะไกล ซึ่งอาจได้ประมาณ 1-3 กิโลเมตร ข้อดีตรงจุดนี้จะทำให้ลดการวางโครงข่ายสายลงได้โดยเฉพาะในบริเวณที่วางโครงข่ายสายได้ลำบาก เช่น ข้ามแม่น้ำ หรือข้ามถนน เป็นต้น



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของระบบ DECT

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างระบบ DECT ซึ่งประกอบด้วย เครื่องโทรศัพท์พกพา (PH : Portable Handset) ส่วนของอุปกรณ์อะแดปเตอร์ปลายทางไร้สาย (CTA : Cordless Terminal Adapter) เพื่อใช้สำหรับแฟ้มกซ์ หรือการสื่อสารด้วยภาพเคลื่อนไหว สถานีวิทยุ หรือสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(RFP : Radio Fixed Part) คอนโทรลเลอร์แบบไร้สาย (CC : Cordless Controller หรือ Cluster Controllers) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบ และหน่วยอินเตอร์เฟสระหว่างโครงข่าย จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์หลายๆเครื่อง โดยใช้มาตรฐานการอินเตอร์เฟส CCITT G.732 มาตรฐานและคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT สรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1880-1900 MHz
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ	20 MHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA/TDMA
เทคนิคการดูเฟล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณความถี่	10
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	1728 kHz
ความเร็วของช่องสัญญาณควบคุม	6.2 kbps
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาหะ	12
ชนิดของการมอดูเลท	GMSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1152 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	Dynamic
กำลังส่งเฉลี่ย	10 mW
ช่วงเวลาของเฟรม	10 ms
การตรวจสอบความผิดพลาด	CRC
ความเร็วของการใช้งาน	8 km/hr
รัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์	50-150 เมตร

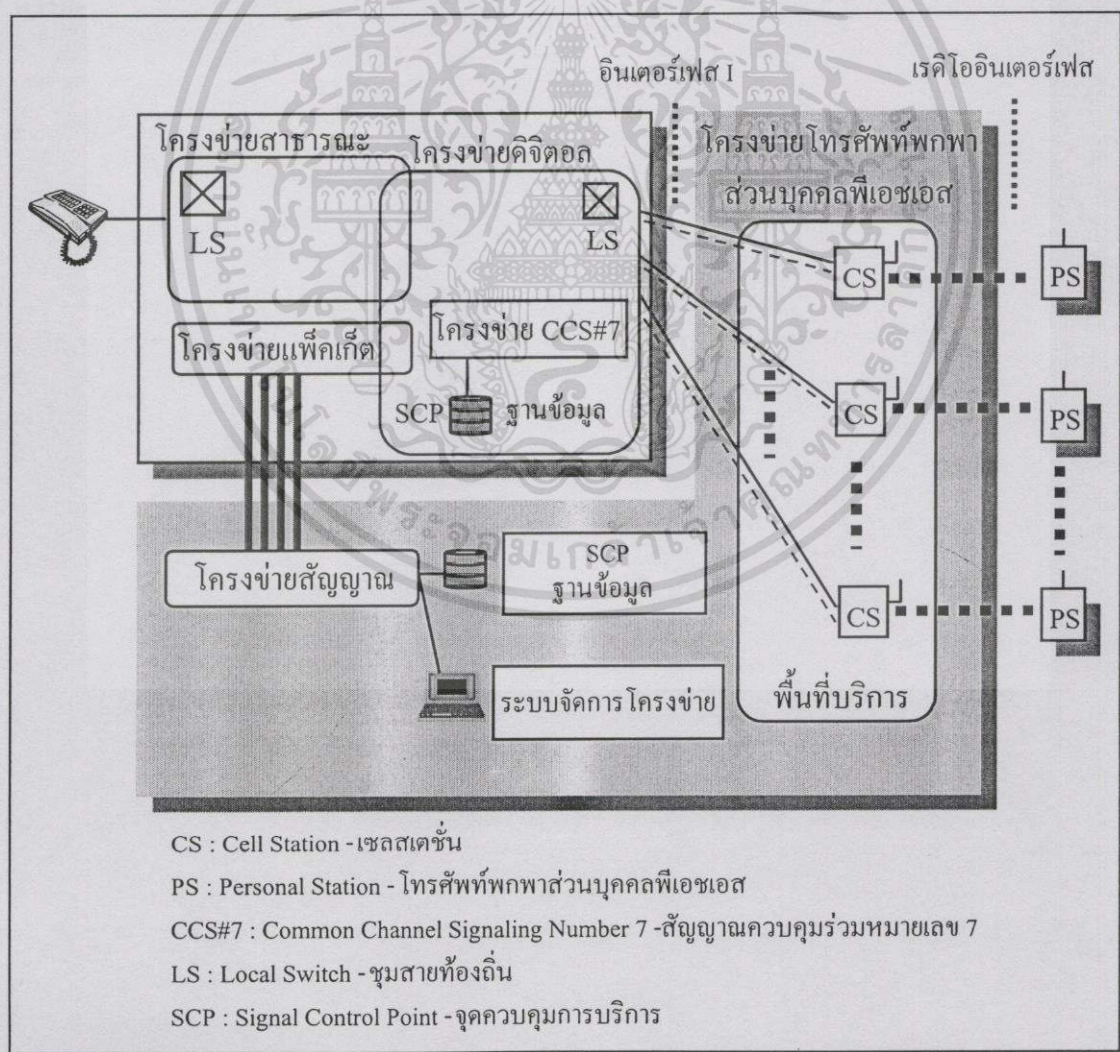
2.3.5 โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอล

ระบบโทรศัพท์แบบ PHS [15,16,17,18,19] Personal Handy-phone System มีความหมายว่าเป็นโทรศัพท์แบบพกพาติดตัวซึ่งโดยหลักการแล้ว ระบบโทรศัพท์ PHS นั้นก็คือ ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัล (Digital Cordless Telephone) ระบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากประเทศญี่ปุ่น

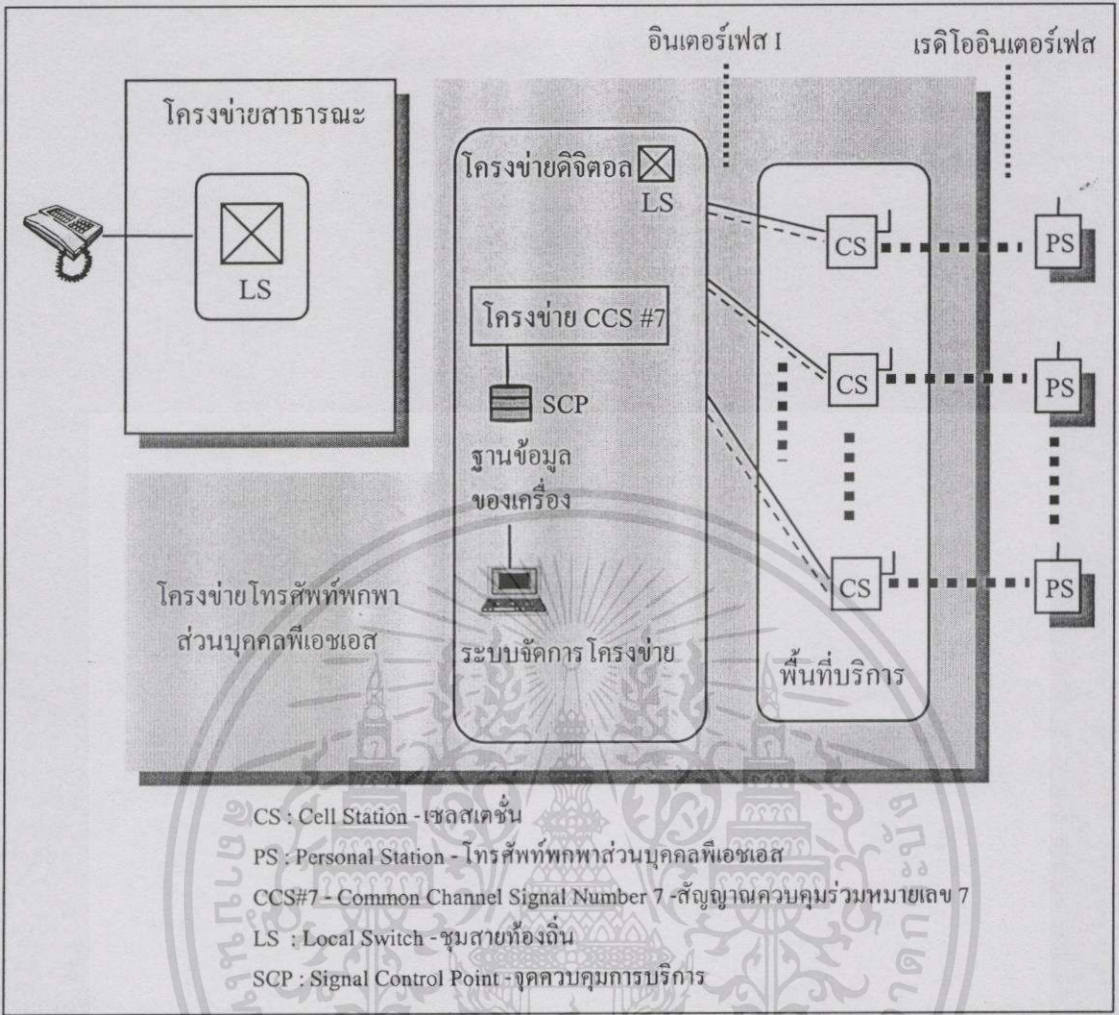
โดยศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาาระบบคลื่นวิทยุ (R & D Center) และคณะกรรมการบริหารโทรคมนาคม เอกสารฉบับที่ 15/2538 เรื่อง วิทยุคมนาคม พ.ศ. 2538 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2539 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2540 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TCC: Telecommunications Technical Committee) ระบบโทรศัพท์ PHS ใช้ความถี่การทำงานในช่วง 1,895-1,918 MHz มีแถบความกว้างของความถี่เท่ากับ 23 MHz โดยแบ่งช่องสัญญาณความถี่ได้ 77 ช่อง มีระยะห่างระหว่างช่องความถี่เท่ากับ 300 kHz และแต่ละช่องความถี่มี 4 ช่องสัญญาณ โดยใช้เทคนิคแบบ TDMA-TDD (TDMA: Time Division Multiple Access และ TDD: Time Division Duplex) จึงทำให้มีช่องสัญญาณรับและส่งอย่างละ 4 ช่อง แต่ในการทำงานจะใช้ช่องสัญญาณรับและส่ง 1 ช่องสำหรับเป็นช่องสัญญาณควบคุม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซลล์สเตชัน 1 ตัวจะสามารถติดต่อกับเครื่องลูกข่ายได้ 3 เครื่องในเวลาพร้อมๆกัน ซึ่งระบบนี้มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการให้บริการในรูปแบบมัลติมีเดีย

โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในประเทศญี่ปุ่น จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ โครงข่ายสาธารณะ (Public Network Utilizing Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และโครงข่ายอิสระ (Independent Network Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสาธารณะ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอสอิสระ

หลักการของการให้บริการในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส จะประกอบด้วย การให้บริการ การสื่อสารไร้สายหลายสื่อหรือมัลติมีเดีย (Multimedia) การสื่อสารเคลื่อนที่ การสื่อสารแบบสองทิศทางอย่างสมบูรณ์แบบ ความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส มีเครื่องลูกข่ายที่มี ขนาดเล็ก เบาบาง สามารถใช้งานได้ทั้งภายในบ้าน อาคาร สำนักงาน หรือภายนอกอาคาร โดยในการใช้งานนั้นสามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารในโครงข่ายอื่นๆ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN : Integrated Services Digital Network) ซึ่งสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล ตัวอักษร โทรสาร และภาพ ซึ่งโครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส เป็นโครงข่ายระบบดิจิทัล ดังนั้น จึงมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง

ดังนั้นโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส ได้ทำการพัฒนาโครงข่าย เพื่อพัฒนาไปสู่การสื่อสารส่วนบุคคล โดยได้มีนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการพัฒนาระบบ อันได้แก่ การใช้เทคโนโลยีของเซลล์ขนาดเล็ก (Micro cell structure) การใช้งานบนโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ เพื่อลดค่า

การดำเนินงานโดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายใหม่ มีการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระบบดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร และรองรับการสื่อสารในระบบมัลติมีเดีย ลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องลูกข่าย และลดปัญหาอันเนื่องมาจากการค้ำขัง มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก เพื่อให้จ่ายต่อการออกแบบและติดตั้งเซลล์เสตชันและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ความถี่ มีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบอะแด็ปทีฟดิฟเฟอเรนซ์เช็ลพัลส์โค้ดมอดูเลท (ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ที่อัตรา 32 kbps เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพเสียงในการสื่อสาร

ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยจะมีการติดตั้งสถานีฐานจำนวน 5.5 ล้านเครื่องในปี ค.ศ. 1998 และจะติดตั้งเพิ่มเติมอีกจำนวน 39 ล้านเครื่องในปี ค.ศ. 2010 ส่วนในประเทศไทยนั้นได้นำระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสมาพัฒนาเป็นระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ดังจะกล่าวในบทต่อไป มาตรฐานและคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1,895-1,918 MHz
มีแถบความกว้างของความถี่ทั้งหมด	23 MHz
มีช่องสัญญาณความถี่	77
เทคนิคการทำงาน	TDMA
เทคนิคการคูเพล็กซ์	TDD
ความกว้างของเฟรม	5 ms
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาห้	4
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
ชนิดการมอดูเลท	$\pi/4$ -DQPSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	Dynamic
การตรวจสอบความผิดพลาด	CRC
กำลังส่งเฉลี่ยของเซลล์เสตชัน	500 mW หรือต่ำกว่า
กำลังส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์	10 mW หรือต่ำกว่า
รัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์	100-500 เมตร

2.4 ข้อเปรียบเทียบของระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล

ในระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลนั้นมีการพัฒนามาตั้งแต่ระบบอนาล็อก ซึ่งพัฒนามาสู่ระบบดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความถี่ แต่ในระบบดิจิทัลก็มีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ขอเปรียบเทียบเฉพาะระบบดิจิทัลเท่านั้น การใช้งานระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัลนั้น จะมีวัตถุประสงค์สำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้เข้าสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบต่างๆ คือ ระบบ CT-2 (Cordless Telephone version 2) ระบบ CT-3 (Cordless Telephone version 3) ระบบ PACS (Personal Advance Cordless System) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) และ PHS (Personal Handy phone System) โดยทั้ง 5 ระบบนั้นจะเห็นว่าคุณสมบัติแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือระบบแรกจะเป็นแบบสื่อสารทางเดียว และอีก 4 ระบบหลังเป็นการสื่อสารสองทางระบบที่เป็น การสื่อสารทางเดียวนั้นไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร และในอนาคตก็คงหมดความนิยมไปในที่สุด ระบบโทรศัพท์ไร้สายทั้ง 5 ระบบนั้นจะมีการเทคนิคการจัดช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยแบ่ง ออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ ระบบ CT-2 ระบบ CT-3 ระบบ DECT และระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า TDMA-TDD (Time Division Multiple Access - Time Division Duplex) โดยเทคนิคนี้เป็นการจัดช่องสัญญาณการสื่อสารทั้งรับและส่งด้วยความถี่เดียวกัน แต่จะแยกสัญญาณรับและส่งด้วยช่วงเวลา หรือแยกทางช่องสัญญาณเวลา ดังนั้นในระบบนี้จึง ประหยัดช่องความถี่มากกว่าระบบอื่นๆ ส่วนอีกแบบหนึ่ง คือการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA/FDD ที่ใช้ในระบบ PACS โดยจะใช้ช่องสัญญาณในแบบช่องความถี่ 2 ช่องพร้อมกัน สำหรับช่องความถี่ทางด้านรับและความถี่ทางด้านส่ง เทคนิคนี้จึงจำเป็นต้องใช้แถบความถี่ 2 แถบ คือแถบทางด้านรับและแถบทางด้านส่ง เช่นเดียวกับระบบเซลลูลาร์ทั่วๆ ไป การใช้ความถี่ ด้วยเทคนิคนี้จึงมีประสิทธิภาพดีอกกว่าในเทคนิคแรก

ส่วนเรื่องการกำหนดช่องสัญญาณในการใช้งานนั้นที่แตกต่างกันมีอยู่ 2 วิธีคือ ระบบ CT-2 CT-3 ระบบ DECT และระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะมีวิธีการกำหนดช่องสัญญาณ การใช้งานแบบไดนามิก (Dynamic assign) ซึ่งเป็นการกำหนดช่องสัญญาณการใช้งานให้กับผู้ใช้ บริการโดยอัตโนมัติ ดังนั้น เมื่อมีการติดตั้งเซลล์ใหม่ผู้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องทราบความถี่ที่มีในเซลล์ เดิม เพียงแต่วางเซลล์ใหม่ลงไปเท่านั้น เซลล์ใหม่นี้จะตรวจสอบเซลล์สเตรนรอบๆ ว่ามีการใช้ ความถี่ใดไปบ้าง แล้วระบบจะเลือกความถี่ที่ยังไม่มีการใช้งานมาใช้กับเซลล์ใหม่เองโดยอัตโนมัติ วิธีการนี้ทำให้ไม่ต้องกังวลในเรื่องของการใช้ความถี่ใหม่เช่นเดียวกับระบบดิจิทัลเซลลูลาร์ ส่วน ในระบบ PACS จะเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบเซลลูลาร์เดิม คือ มีการจัดสรรความถี่แบบ ตายตัว ผู้วางโครงข่ายจำเป็นต้องบริหารจัดการความถี่ไม่ให้มีการรบกวนเกิดขึ้นกับเซลล์ข้างเคียง

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล

Parameters	CT-2	CT-3	PACS	DECT	PHS
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	อเมริกา	สวีเดน	อเมริกา	ยุโรป	ญี่ปุ่น
ย่านความถี่	864.05 ~ 868.05MHz	862 ~ 866 MHz	1850 ~ 1910MHz(Up) 1930 ~ 1990MHz(Down)	1880 ~ 1900MHz	1895 ~ 1918MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	4MHz	4MHz	120MHz	20MHz	23MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	1 ch , 100kHz (40 carriers)	1 ch , 1000kHz (4 carriers)	8ch/CS(200 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรค่อนข้างสูง	12ch/CS(10 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรสูง	4ch/CS(77 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรสูง (ต่ำถึงสูงสุด)
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/FDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	GMSK/GFSK	GFSK	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK	$\pi/4$ QPSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	100 kHz, 1ch (100 kHz/ch)	1000 kHz, 4 ch (125 kHz/ch)	300 kHz x 2,8ch (75 kHz/ch)	1,728 kHz, 12ch (144 kHz/ch)	300 kHz, 4ch (75 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps	648 kbps	384 kbps	1,152 kbps	384 kbps
กำลังเอาต์พุตของ CS	5mW Ave. (10mW)	5mW Ave. (80mW)	100mW Ave. (800mW)	10mW Ave. (250mW)	500mW Ave. (4W) 20mW Ave. (160mW) 10mW Ave. (80mW)
กำลังเอาต์พุตของ PS	5mW Ave. (10mW)	5mW Ave. (80mW)	25mW Ave. (200mW)	10mW Ave. (250mW)	10mW Ave. (80mW)
เฟรม TDMA	2 ms	16 ms	2.5 ms	10 ms	5 ms
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Fixed or QSAFA (แบบตายตัวหรือกึ่งอัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)
รัศมีคลื่นวิทยุ	50 ~ 150m	50 ~ 150m	300 ~ 500m	50 ~ 150m	100 ~ 500m
การเคลื่อนที่	อยู่กับที่	ความเร็วในการเดิน	ความเร็วของรถยนต์ ในย่านธุรกิจ	ความเร็วในการเดิน	ความเร็วของรถยนต์ ในย่านธุรกิจ
รูปแบบการติดต่อ	แบบทางเดียว (เฉพาะโทรออก)	แบบสองทาง (โทรเข้า-โทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้า-โทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้า-โทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้า-โทรออกได้)
ความสามารถในการขยายแถบความถี่	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	มีข้อจำกัดในการขยายแถบความถี่ (FDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)
ปีที่วางมาตรฐาน	?	?	1995/4-6 1997/?	1992/10	1993/12 1995/7
ปีที่ให้บริการสาธารณะ	? ใช้ในไทยแล้ว	?	ยังไม่มีบริการทดลอง จริงจัง (1996)	ทดลองใช้ที่ ฟินแลนด์ นอร์เวย์ ในปี 1994	ทดลองใช้ที่ - ซัมไปโร ในปี 1993 - โคเกียว และฮ่องกง ในปี 1994
ผู้ผลิต	Motorola ?	?	Motorola, NEC, Hughes, Panasonic, Hitachi (5 ผู้ผลิต)	Phillips*, Ericson*, Siemens*, Nokia*, Alcatel* (*PABX Type) (5 ผู้ผลิต)	Motorola, NEC, Fujitel Mitsubishi, Panasonic Oki, Toshiba, ect. (23 ผู้ผลิต)
การประเมินผล	1.ไม่สะดวกในการใช้งานเพราะโทรออกได้ทางเดียว 2.ย่านความถี่นี้ขยายอีกไม่ได้เพราะใกล้กับระบบเซลลูลาร์	1.เป็นระบบที่มีช่องสัญญาณน้อย ไม่เหมาะกับระบบใหญ่ 2.การจัดเฟรมขนาดใหญ่นำให้ค่า Delay Space มีมาก	1.มีข้อจำกัดในการขยายช่องสัญญาณวิทยุ (FDD) 2.การจัดช่องสัญญาณถูกกำหนดตามสถานีฐาน(ใช้การกำหนดช่องสัญญาณ แบบกึ่งอัตโนมัติ)	1.ส่วนใหญ่ใช้ในออฟฟิศ(เหมาะสำหรับชุมชนอัตโนมัติที่มีการใช้งานมาก) 2.การจัดเฟรมขนาดใหญ่ทำให้ค่า Delay Space มีมาก	1.ระบบมีความสมดุล(เหมาะสำหรับใช้งานในที่สาธารณะ ในออฟฟิศหรือโรงงานตามบ้าน) 2.สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้อีกมาก 3.ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบ Dynamic (เลือกความถี่อัตโนมัติ)

ส่วนอีกเทคนิคหนึ่งที่เป็นเทคนิคใหม่ในการสื่อสารส่วนบุคคล ก็คือ การนำเอาระบบเข้า

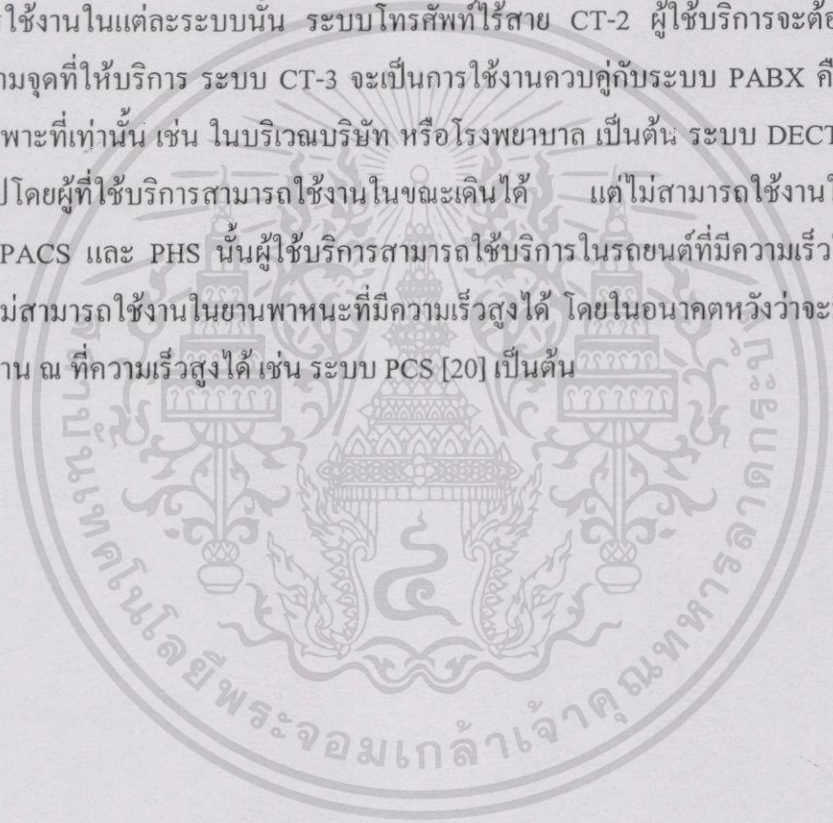
รหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM (Adaptive Difference Pulse Code Modulator) มาใช้งานทำให้ข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลของสัญญาณเสียงมีขนาดลดลง โดยที่ใช้อัตราเร็วของข้อมูลเท่ากับ 32 kbps ซึ่งทำให้สามารถลด อัตราการใช้ช่องสัญญาณได้มากกว่าระบบ PCM ถึง 2 เท่า ในเรื่องของกำลังส่งในระบบการสื่อสาร ส่วนบุคคลนั้น จะกำหนดให้มีกำลังส่งที่ต่ำมาก โดยจะเห็นได้ว่า กำลังส่งเฉลี่ยของสถานีฐานอยู่ใน ช่วง 5 ถึง 500 มิลลิวัตต์ และมีกำลังส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์อยู่ในช่วง 5 ถึง 25 มิลลิวัตต์เท่านั้น ดังนั้นรัศมีทำการในระบบสื่อสารส่วนบุคคลจะประมาณ 50-500 เมตร ซึ่งการกำหนดคุณสมบัติ เหล่านี้จะปลอดภัยต่อผู้ที่ใช้งานและทำให้สามารถพัฒนาเครื่องให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลงได้ แม้ การครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์จะมีปัญหาบ้างในบางพื้นที่ เพราะการออกแบบที่ไม่ครอบคลุมได้ เหมือนกับระบบเซลล์ลาร์ แต่ก็สามารถแก้จุดบอดเหล่านั้นได้โดยวิธีการวางเซลล์เพิ่มเติมเข้าไป

การใช้งานในแต่ละระบบนั้น ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2 ผู้ใช้บริการจะต้องใช้อยู่ที่เท่านั้น คือใช้ตามจุดที่ให้บริการ ระบบ CT-3 จะเป็นการใช้งานควบคู่กับระบบ PABX ก็สามารถใช้ งานได้ในเฉพาะที่เท่านั้น เช่น ในบริเวณบริษัท หรือโรงพยาบาล เป็นต้น ระบบ DECT สามารถใช้ งานได้ทั่วไปโดยผู้ใช้บริการสามารถใช้งานในขณะที่เดินได้ แต่ไม่สามารถใช้งานในรถยนต์ได้ ส่วนระบบ PACS และ PHS นั้นผู้ใช้บริการสามารถให้บริการในรถยนต์ที่มีความเร็วในย่านธุรกิจ ได้ แต่ก็ยังไม่สามารถใช้งานในยานพาหนะที่มีความเร็วสูงได้ โดยในอนาคตหวังว่าจะมีระบบอื่นที่ สามารถใช้งาน ณ ที่ความเร็วสูงได้ เช่น ระบบ PCS [20] เป็นต้น



บทที่ 3

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพานิดหนึ่งที่ประเทศไทยได้พัฒนาขึ้น โดยพัฒนามาจากระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสที่ใช้งานอยู่ในประเทศญี่ปุ่น การพัฒนาเทคโนโลยีทางการสื่อสารมีความจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศเพื่อตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและสังคม และให้ทันกับความก้าวหน้าของโลกที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีได้ให้บริการในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยมีบริการทั้งภายนอกและภายในอาคาร

3.1 ความเป็นมาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT

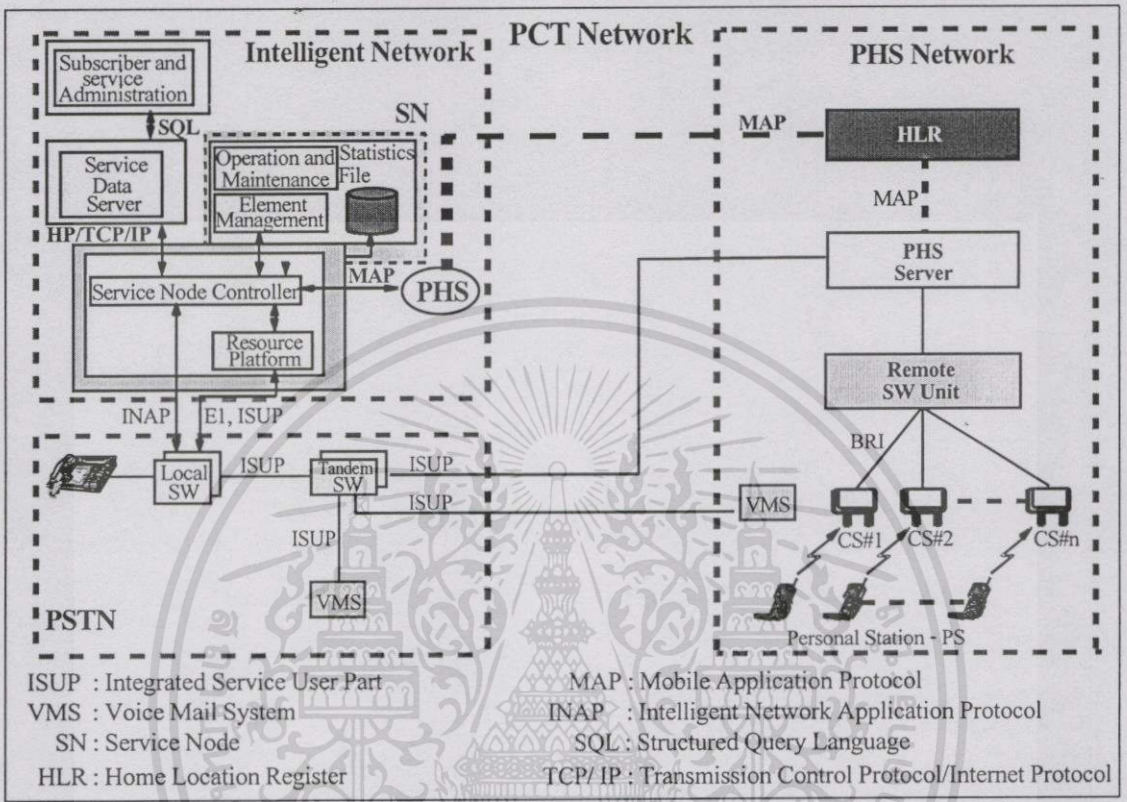
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT: Personal Communication Telephone System) เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (Personal Handy-Phone System) ของประเทศญี่ปุ่น โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (TOT: Telephone Organization of Thailand) ได้ให้สัมปทานบริษัทเทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TA: Telecom Asia Co., Ltd.) เป็นผู้ให้บริการ และได้นำมาใช้งานในประเทศไทยในปี 1997 โดยมีการใช้ความถี่ในย่าน 1900 MHz

การให้บริการของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะเป็นบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม โดยคอนแรกบริษัทเทเลคอมเอเชียเปิดให้บริการเสริมเฉพาะผู้ที่ใช้หมายเลขโทรศัพท์ที่เป็นของบริษัทเท่านั้น แต่ต่อมาก็สามารถเปิดเป็นบริการเสริมกับโทรศัพท์บ้านทั่วไปได้ โดยผู้ใช้บริการสามารถใช้เครื่องโทรศัพท์หรือเครื่องลูกข่าย (PS: Personal Station) ที่เป็นเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐานที่บ้านได้โดยสามารถใช้บริการในสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน หรือนอกบ้าน หรือแม้กระทั่งใช้บริการในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในการใช้บริการนี้ผู้เรียกสามารถโทรเข้าหาผู้ใช้บริการ โดยการกดหมายเลขบ้านแล้วระบบสามารถจะต่อไปที่เครื่องโทรศัพท์ที่บ้าน หรือต่อไปยังเครื่องลูกข่ายได้

3.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT

โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะประกอบไปด้วย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ และ

โครงข่ายอัจฉริยะ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของโครงข่ายทั้ง 3 โครงข่ายที่ประกอบกันเป็นโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



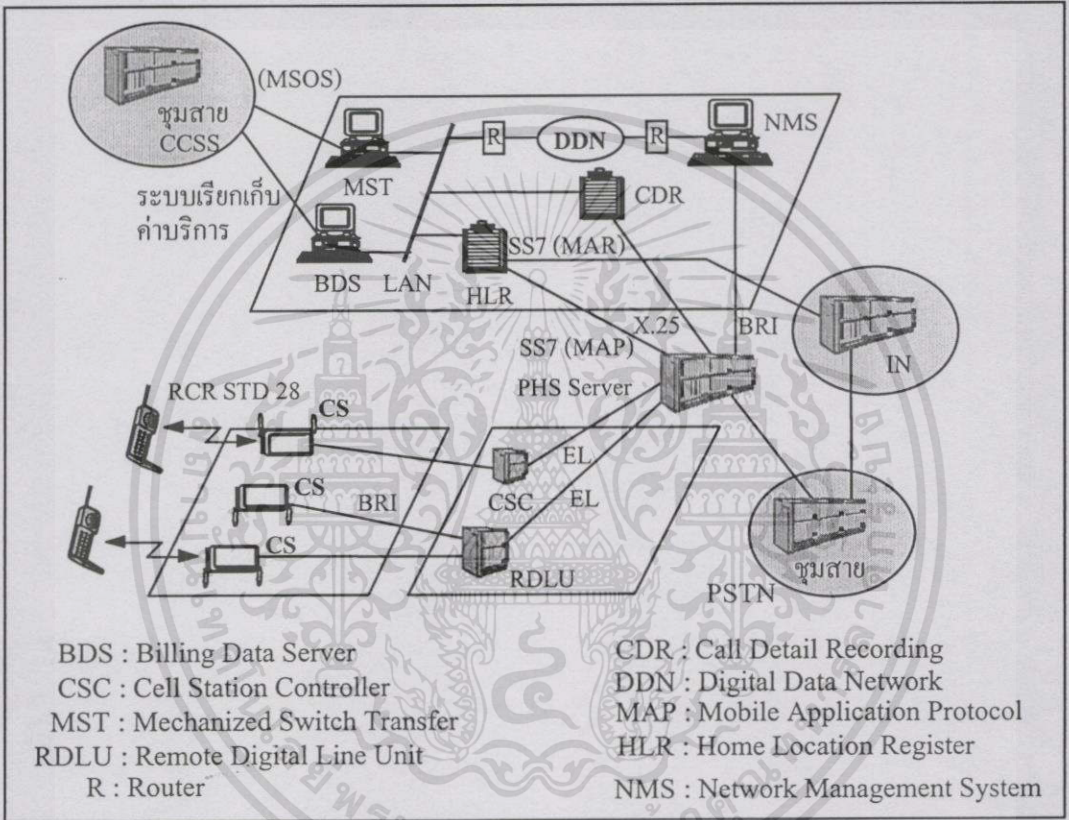
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

3.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT (PHS)

โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสเป็นส่วนที่ทำให้การบริการสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยโครงข่ายนี้ได้นำโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอสเอชมาพัฒนาใช้งาน โดยมีการวางเซลล์สแตชันตามเสาไฟฟ้าสูงจากพื้น 4.5 เมตร และขยายขนาดพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ให้กว้างขึ้น เพื่อประโยชน์ในการติดต่อสื่อสารภายในยานพาหนะที่มีความเร็วสูงขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถใช้งานในรถที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ นอกจากนี้ยังได้มีการใช้เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณ 2 ช่องมารวมกันระหว่างเซลล์ข้างเคียงเมื่อเซลล์ใดเซลล์หนึ่งมีช่องสัญญาณเต็ม ซึ่งเป็นการลดปริมาณการเกิดทราฟฟิกและลดจำนวนครั้งของการข้ามเซลล์หรือที่เรียกว่าแฮนด์โอเวอร์ (Hand over) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเจ็บบหายของสัญญาณ (Muting)

รูปที่ 3.2 แสดงโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลในส่วนของโครงข่ายพีเอชเอส โดยประกอบไปด้วย เซลล์สแตชัน (CS: Cell Station) ที่เชื่อมโยงมายังหน่วยควบคุมเซลล์สแตชัน (CSC: Cell Station Controller) สำหรับใช้งานในอาคาร หรือเชื่อมโยงหน่วยข่ายสายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิทัลระยะไกล (RDLU: Remote Digital Line Unit) สำหรับใช้งานนอกอาคาร จากนั้นก็เชื่อมต่อมายังพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ (PHS server) และจากเซิร์ฟเวอร์ยังมีการเชื่อมโยงไปถึง ส่วนของรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR: Home Location Register) และส่วนของระบบการบันทึกรายละเอียดของการเรียก (CDR: Call Detail Recording) ซึ่งเชื่อมต่อโดยใช้สัญญาณควบคุมหมายเลข 7 (SS#7 Signal System No.7) และส่วนของเซิร์ฟเวอร์นี้ยังเชื่อมต่อไปยังโครงข่าย PSTN อีกเพื่อให้สามารถติดต่อกับโทรศัพท์พื้นฐานได้



รูปที่ 3.2 โครงข่ายของโทรศัพท์พีเอชเอส

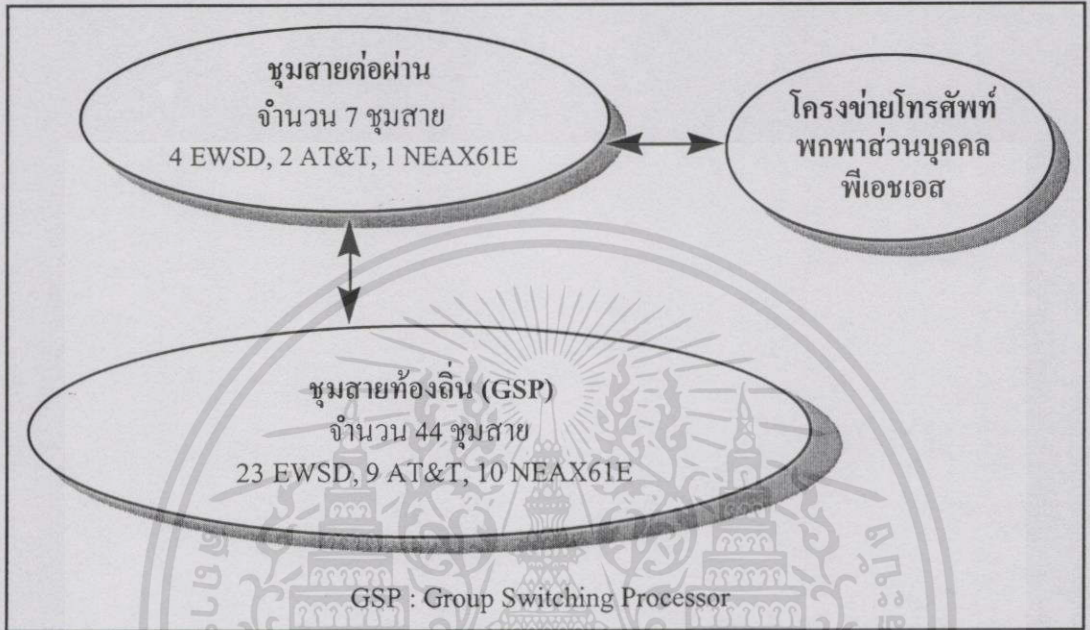
3.2.2 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะจะเป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานเดิมของบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่มีการให้บริการอยู่แล้ว โดยประกอบไปด้วย ชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ

1. ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของชุมสายปฏิบัติการ (GSP : Group Switching Processor) ทั้งหมด 44 ชุมสาย แบ่งเป็น ชุมสายของ EWSD (Siemens) 23 ชุมสาย ชุมสายของ AT&T (Lucent) 9 ชุมสายและชุมสายของ NEAX61E (NEC) 10 ชุมสาย โดยทุกชุมสายมีการเชื่อมโยงถึงกันหมด (Mesh connection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ชุมสายต่อผ่าน (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) ซึ่งประกอบด้วยชุมสายของ EWSD (Siemens) 4 ชุมสาย ชุมสายของ AT&T (Lucent) 2 ชุมสายและชุมสายของ NEAX61E (NEC) 1 ชุมสาย โดยชุมสายท้องถิ่นทั้ง 44 ชุมสายจะติดต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมด (Mesh connection)



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

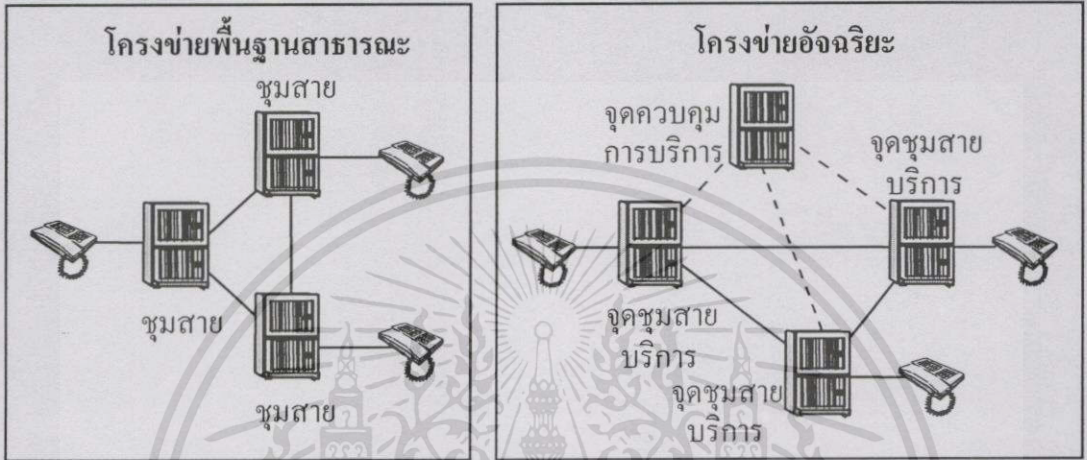
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ตอนแรกบริษัทเทเลคอมเอเชียได้เปิดให้บริการโทรศัพท์พีซีทีกับเฉพาะหมายเลขที่เป็นของบริษัทเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันบริษัทเทเลคอมเอเชียได้ให้บริการเสริมโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีทีกับชุมสายโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไปแล้ว โดยสามารถเชื่อมต่อกับชุมสายขององค์กรโทรศัพท์แห่งประเทศไทย เพื่อให้ผู้ใช้บริการที่มีโทรศัพท์พื้นฐานที่บ้านสามารถเปิดใช้บริการเสริมนี้ได้

3.2.3 โครงข่ายอัจฉริยะ

โครงข่ายอัจฉริยะเป็นโครงข่ายที่ใช้โครงข่ายคอมพิวเตอร์และระบบซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยจัดการสำหรับการให้บริการเสริมที่เพิ่มเติมจากบริการหลักของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน สำหรับการนำโครงข่ายอัจฉริยะมาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที จะให้บริการในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของตัวโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีทีเป็นหมายเลขเดียวกับโทรศัพท์บ้าน โดยเป็นการแยกฟังก์ชันในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชันของการให้บริการ (Service control function) ส่งผลให้ผู้ใช้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่าย เพื่อให้บริการได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หรือการนำข้อมูลไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริการที่ใช้โครงข่ายอัจฉริยะ ได้แก่ การบริการโทรศัพท์ฟรี (Free Phone) ในระบบอินเทอร์เน็ต การบริการการสื่อสารส่วนบุคคล (Personal Communication Service) การบริการการเรียกโดยใช้บัตร (Card Calling Service) การบริการด้วยอัตราพิเศษ (Premium Rate Service) และการบริการเลขหมายเดียว (One Number service) ซึ่งเป็นบริการเสริมที่ใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที



รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

ในรูปที่ 3.4 แสดงการบริการโครงข่ายอัจฉริยะบนโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะโดย ส่วนของจุดชุมสายบริการจะทำหน้าที่รวบรวมเลขหมายจนครบ ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็จะส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกต่างหากจากระบบเครื่องชุมสาย โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย หลังจากนั้นจึงสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

โครงข่ายอัจฉริยะจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญดังนี้ ส่วนแรกคือส่วนของโหนดบริการ ซึ่งเป็นกลุ่มของชุมสายท้องถิ่น โดยประกอบไปด้วยการควบคุมการให้บริการเป็นส่วนประกอบหลักและมีส่วนของการบำรุงรักษา ส่วนของหน่วยปฏิบัติการและส่วนของริชอร์สแพทฟอร์ม โหนดบริการมีหน้าที่ควบคุมการเชื่อมต่อชุมสายกับโครงข่ายพีเอชเอสส่งเสียงตอบรับ รับสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ และส่วนที่สองคือ 1. ส่วนระบบการจัดการการบริการ (SMS : Service Management System หรือ SDS : Service Data Server) ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลของผู้ใช้บริการ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเรียกใช้บริการ โดยถ้ามีการเรียกเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานที่เป็นหมายเลขเดียวกับโทรศัพท์พีซีที ก็จะมีการตรวจสอบว่า ถ้ามีการขอใช้บริการโทรศัพท์พีซีที ก็จะให้ผู้เรียก

เลือกที่จะติดต่อไปที่ใด 2. ส่วนบริหารกลไกการบริการและอุปกรณ์ของโครงข่าย จะทำหน้าที่ในการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้อนข้อมูลที่จำเป็นเข้าไปยังระบบการจัดการการบริการ โดยใช้กลไกของชุมสายต่อผ่าน (MST : Mechanized Switch Transfer)

3.3 ความถี่ใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีใช้ความถี่เดียวกับระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส คือใช้ความถี่ย่าน 1900 MHz โดยมีความถี่ระหว่าง 1895.15-1917.95 MHz ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล เช่น การใช้งานในลักษณะอินเทอร์เน็ตคอม คือการสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีด้วยกัน โดยไม่มีเซลล์สแตชันเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะใช้ความถี่ในช่องที่ 1-10 สำหรับการใช้งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งานความถี่ตั้งแต่ช่องที่ 11-37 โดยมีช่องสัญญาควบคุมในช่องที่ 12, 18, 30 และ 36 ตามลำดับ และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่ตั้งแต่ช่องที่ 38 - 69 โดยมีช่องสัญญาควบคุมในช่องที่ 70-77 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความถี่การใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ช่องที่	ความถี่	ลักษณะการใช้งาน
1 ~ 10	1895.15 ~ 1897.85 MHz (แต่ละช่องสัญญาความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล (Private Mode) และการสื่อสารระหว่างเครื่อง PS ด้วยกัน (Transceiver Mode : PS→PS)
11	1898.15 MHz	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย ในรูปแบบของ Wireless PABX
12	1898.45 MHz	ช่องสัญญาควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล (Private Mode)
13 ~ 17	1898.75 ~ 1899.95 MHz (แต่ละช่องสัญญาความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย ในรูปแบบของ Wireless PABX
18	1900.25 MHz	ช่องสัญญาควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล (Private Mode)

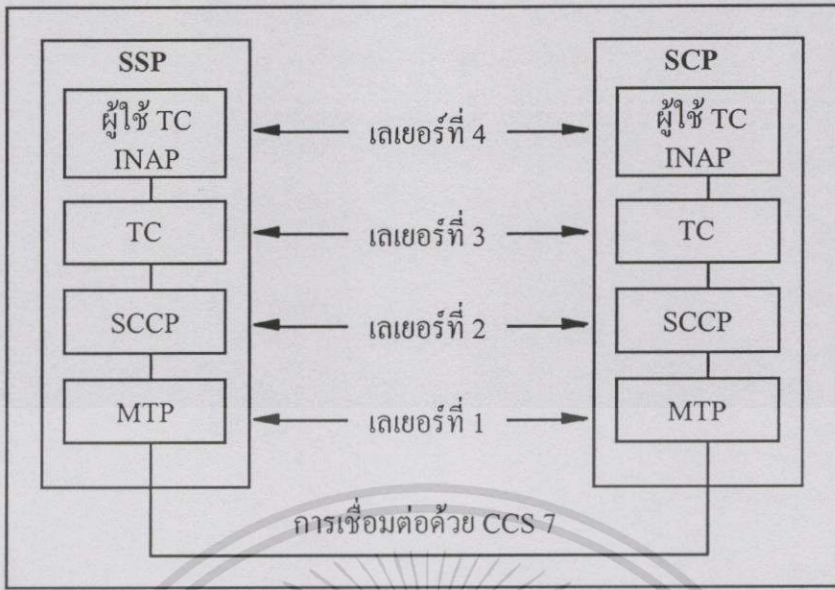
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ช่องที่	ความถี่	ลักษณะการใช้งาน
19 ~ 37	1900.55 ~ 1905.95 MHz (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร สำนักงาน ที่อยู่อาศัย ในรูปแบบของ Wireless PABX
38 ~ 69	1906.25 ~ 1915.55 MHz	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารในพื้นที่ สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)
70	1915.85 MHz	Guard Channel
71	1916.15 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำรอง
72	1916.45 MHz	Guard Channel
73	1916.75 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารในพื้นที่ สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)
74	1917.05 MHz	Guard Channel
75	1917.35 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารในพื้นที่ สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)
76	1917.65 MHz	Guard Channel
77	1917.95 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารในพื้นที่ สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)

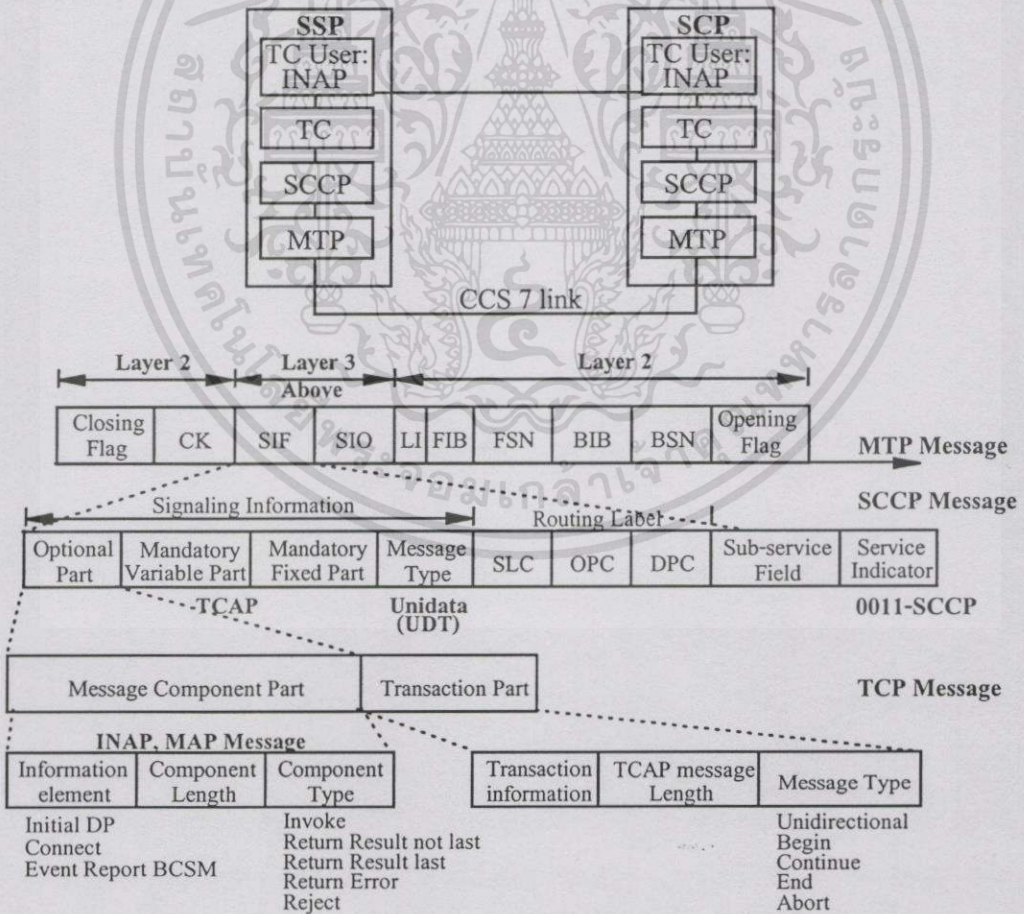
3.4 โพรโทคอลที่ใช้ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

โพรโทคอลที่ใช้ในระบบโครงข่ายพื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที นั้น เป็นโพรโทคอลที่ใช้ในส่วนของการให้บริการของโครงข่ายอัมบิเรีย ซึ่งต้องมีการติดต่อระหว่างชุมสายกับโหนดบริการตลอดเวลา โดยการติดต่อระหว่างจุดชุมสายบริการกับจุดควบคุมการบริการจะใช้โพรโทคอลระบบสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 (CCS No.7: Common Channel Signaling System Number 7) สำหรับการส่งสัญญาณระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ ซึ่งลักษณะของโพรโทคอลระบบสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 จะแสดงในรูปที่ 3.5

โพรโทคอลที่ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP : Service Switching Point) กับส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point) นั้น จะใช้ฟังก์ชันของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโพรโทคอล และเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 โพรโทคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ

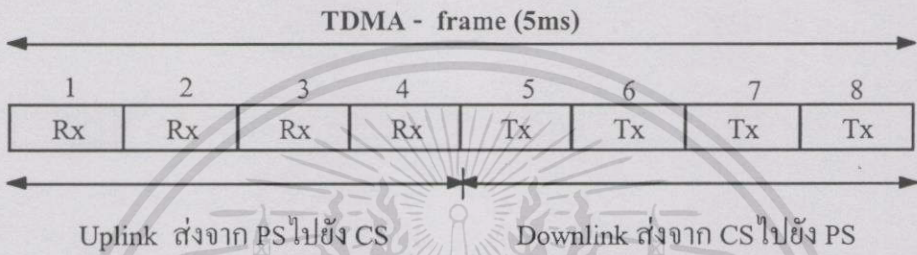


รูปที่ 3.6 ระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดสัญญาณควบคุม

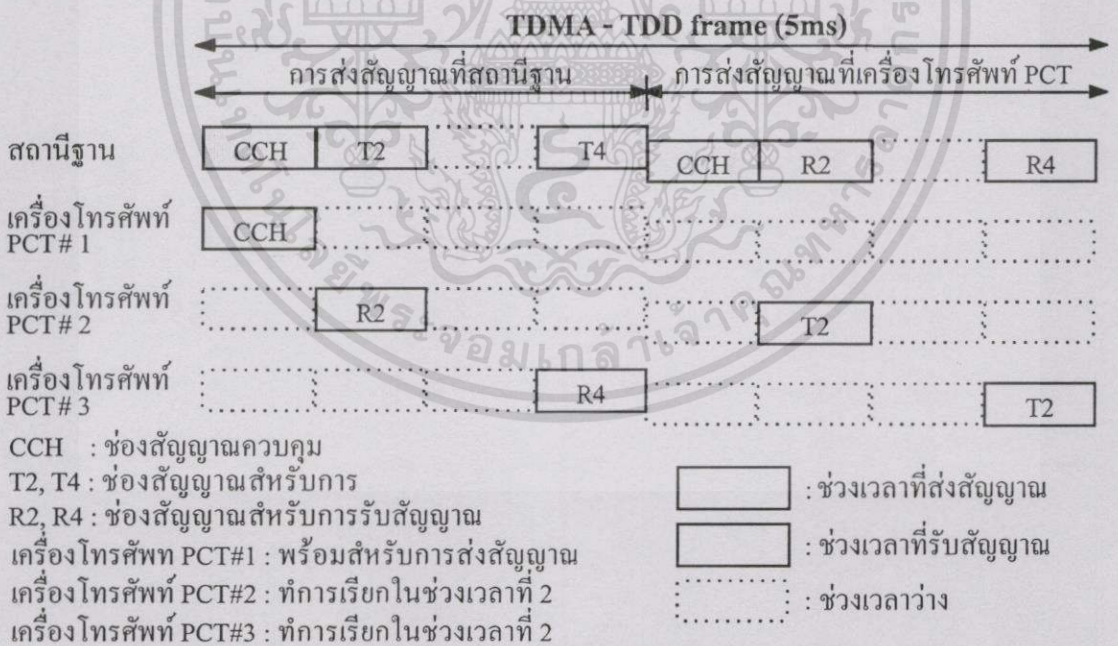
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โครงสร้างของช่องสัญญาณและการเชื่อมต่อกับโครงข่าย

โครงสร้างของช่องสัญญาณของระบบนั้นจะเป็นแบบ TDMA/TDD โดยในหนึ่งความถี่แบ่งออกเป็น 8 ไทม์สล็อต เป็นช่องสัญญาณส่ง 4 ไทม์สล็อต และเป็นช่องสัญญาณรับ 4 ไทม์สล็อต เมื่อมีการเรียกจากเครื่องลูกข่ายระบบก็จะกำหนดช่องสัญญาณให้เครื่องลูกข่ายเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณโดยอัตโนมัติ ส่วนช่องสัญญาณทางด้านรับจะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติเช่นกัน ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความถี่เดียวกัน การจัดช่องสัญญาณทางเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 TDMA Frame ของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



รูปที่ 3.8 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

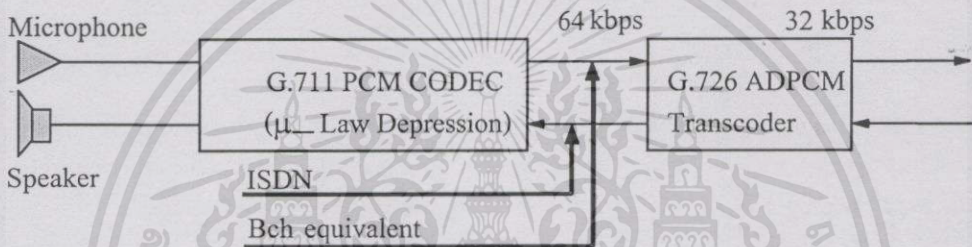
ในรูปที่ 3.8 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งจะมีช่องสัญญาณในการติดต่อ 4 ช่องเวลา โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA/TDD (Time Division

Multiple Access/Time Division Duplex) จึงทำให้มีช่วงเวลาส่ง 4 ช่อง (มี 1 ช่องสัญญาณควบคุม) การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และช่องเวลารับ 4 ช่อง (มี 1 ช่องสัญญาณควบคุม) ในการทำงานปกติจะใช้ 1 ช่องส่ง และ 1 ช่องรับ ดังนั้นใน 1 เซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีทีจะสามารถทำการติดต่อได้พร้อม ๆ กัน 3 คู่สนทนา นั่นคือ เซลล์สเตรน 1 ตัว จะใช้เครื่องลูกข่ายได้ 3 ตัวพร้อม ๆ กัน และการให้บริการจะมีประโยชน์มากสำหรับการให้บริการที่หลากหลายข้อมูล เช่น ในระบบ Multimedia เป็นต้น

การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย คือ เซลล์สเตรน เซิร์ฟเวอร์และ PSTN นั้นจะเชื่อมกันผ่านคู่สาย ISDN แบบ BRI(Basic Rate Interface) โดยที่ 1 เซลล์สเตรนจะใช้คู่สาย ISDN แบบ BRI 2 คู่สายเพื่อเชื่อมต่อกับพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะใช้งานช่องสัญญาณ B 3 ช่องสำหรับการสื่อสารสัญญาณเสียงและข้อมูล ส่วนช่องสัญญาณ B อีกหนึ่งช่องนั้นจะใช้ในการบริการสถานีลูกข่าย



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด

เทคนิคการแปลงสัญญาณเสียงของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ด้วยอัตราเร็ว 32 kbps วิธีการมอดูเลตสัญญาณ ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [14] ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลอดตัมบิตโค้ดไดอะแกรมในรูปที่ 3.9 ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีทีใช้เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK ($\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying) ซึ่งเป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่ปรับปรุงมาจากการมอดูเลตแบบ QPSK โดยเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK สามารถใช้ได้กับการเข้ารหัสสัญญาณทั้งแบบ Absolute phase encoding และแบบ Differential phase encoding

3.6 อุปกรณ์หลักของโครงข่ายบริการในพื้นที่สาธารณะ

อุปกรณ์หลักของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที ที่ให้บริการในพื้นที่สาธารณะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญดังนี้คือ เซลล์สเตรน เครื่องลูกข่าย พีซีทีหรือพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ ชุมสายดิจิทัลระยะไกล รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง และระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

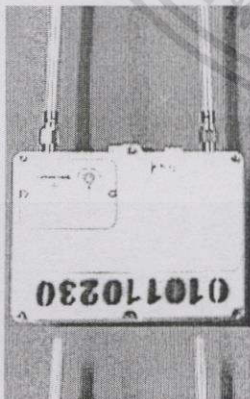
3.6.1 เซลล์สเตชัน (CS : Cell Station)

ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีนั้น เซลล์สเตชันนับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมาก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์กับเครื่องลูกข่าย โดยการเชื่อมต่อกับโครงข่าย (Network Interface) จะใช้มาตรฐานการอินเทอร์เฟซพื้นฐานของโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (BRI : Basic Rate Interface) การเชื่อมต่อกับเครื่องลูกข่ายผ่านอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28

เซลล์สเตชันที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศไทยจะมีกำลังส่ง 3 ขนาด คือ ขนาดกำลังส่ง 10 mW สำหรับติดตั้งภายในอาคาร และกำลังส่งขนาด 20 กับ 200 mW สำหรับการติดตั้งภายนอก ซึ่งสายอากาศของเซลล์สเตชันที่ติดตั้งในประเทศไทยจะใช้กำลังขยายเกน 4 ขนาด คือ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi ดังแสดงในรูปที่ 3.11 แสดงมิติของขนาดสายอากาศเป็นมิลลิเมตร โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าสายอากาศที่มีค่าเกนสูง จะสามารถแพร่กระจายคลื่นในแนวนอนได้ดี ส่วนการแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้งจะมีปัญหาอันเนื่องมาจากไซค์โลป ในการติดตั้งเซลล์สเตชันนั้นจะมีการติดตั้งบนเสาไฟฟ้าข้างถนนอย่างต่อเนื่องในลักษณะลูกโซ่ และเชื่อมโยงกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะด้วยคู่สายดิจิทัล



(a) เซลล์ขนาด 10 mW



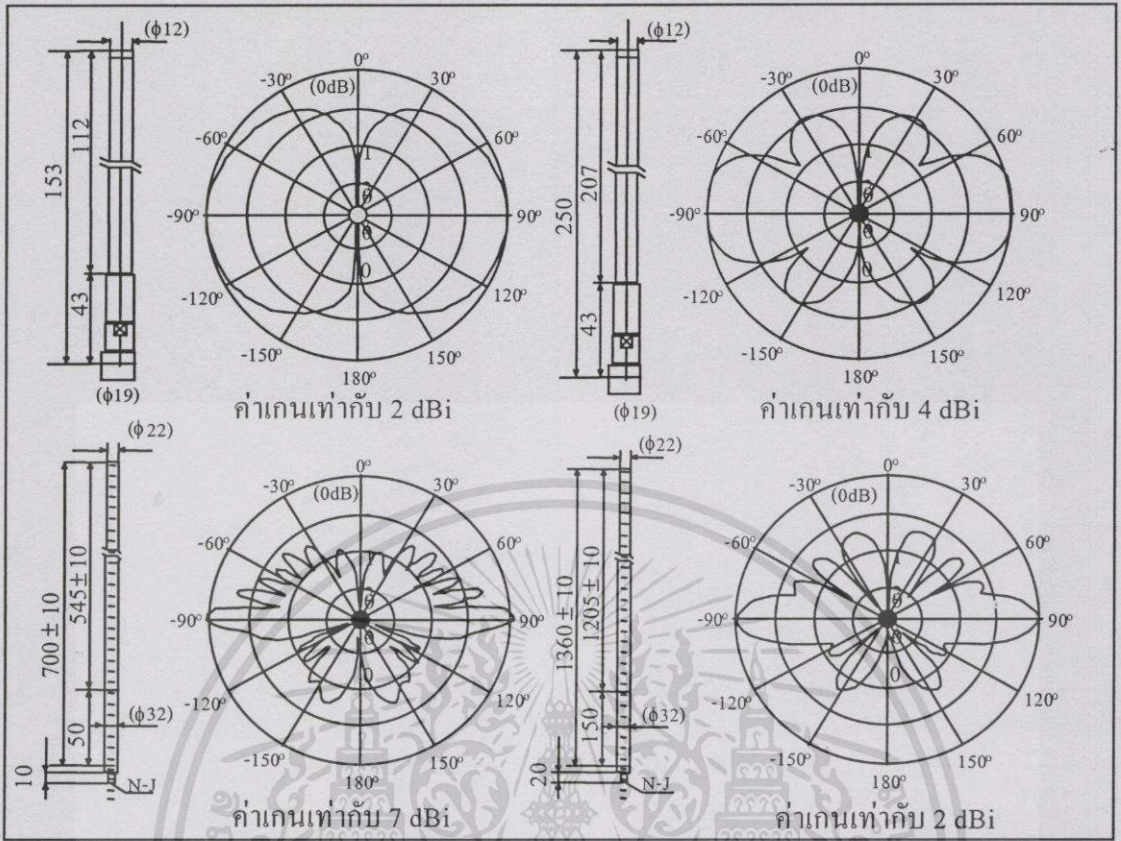
(b) เซลล์ขนาด 20 mW



(c) เซลล์ขนาด 200 mW

รูปที่ 3.10 ลักษณะของเซลล์สเตชันที่ใช้ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 สายอากาศของเซลล์สเตชันที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi

การทำงานของเซลล์สเตชันภายในโครงข่ายจะมีดังนี้

1. กระจายข้อมูลข่าวสาร เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับ โครงสร้างของช่องสัญญาณวิทยุ ข้อมูลเกี่ยวกับ โครงสร้างของช่องสัญญาณควม ข้อมูลของระบบปฏิบัติการ ข้อมูลทางด้านกราฟฟิก เป็นต้น
2. กำหนดช่องสัญญาณสำหรับการติดต่อให้กับเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการเรียกออกจากเครื่องลูกข่าย หรือมีการเรียกเข้าหาเครื่องลูกข่าย
3. ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง พีเอชเอสซีอาร์เอฟเวอร์และเซลล์สเตชันอื่นๆ ในการ ตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ
4. ฝ้าคูช่องสัญญาณที่ใช้งานตลอดการสนทนา หากมีสัญญาณรบกวนจนถึงระดับหนึ่งแล้ว ก็จะดำเนินการร่วมกับเครื่องลูกข่าย เพื่อแก้ไขสัญญาณรบกวน
5. เข้ารหัสและถอดรหัสตามมาตรฐาน RDR STD 28
6. ส่งสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่าย เพื่อแจ้งให้ทราบว่ารับสัญญาณจากเซลล์สเตชันใด พร้อม ทั้งระบุพื้นที่บริการของเซลล์สเตชันเซลล์นั้น
7. ทำการแปลงสัญญาณเสียงดิจิทัลต่อความเร็ว ADPCM 32 kbps ให้เป็น 64 kbps PCM
8. กรณีที่มีกราฟฟิกการใช้งานสูงเซลล์สเตชันจะแบ่งใช้ช่องสัญญาณร่วมกับเซลล์ข้างเคียง
9. ส่งสัญญาณให้ระบบหาช่องสัญญาณที่ว่างเมื่อเกิดการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างการสนทนา

เอกสารนี้เป็น เอกสารนี้เป็นการนำเอาเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้

3.6.2 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PS : Personal Station)

เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที หรือจะเรียกว่าเครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วย ส่วนของอุปกรณ์ในการส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุ สายอากาศ อุปกรณ์การเข้ารหัสสัญญาณเสียง อุปกรณ์ควบคุม เป็นต้น โดยคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องลูกข่ายประกอบด้วย

- เครื่องลูกข่ายมีขนาดโดยประมาณ (กว้างxยาวxสูง) 40x120x25 (ในหน่วยมิลลิเมตร) ซึ่งปัจจุบันมีหลายขนาดมาก
- มีน้ำหนัก 95-220 กรัม
- สามารถสนทนาได้มากกว่า 4 ชั่วโมง
- สามารถเปิดเครื่องสแตนด์บายได้มากกว่า 100 ชั่วโมง
- ใช้แหล่งกำเนิดกระแสสลับขนาด 220 โวลต์ที่ความถี่ 50 Hz
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ระหว่าง -10 ถึง +50 องศาเซลเซียส
- สามารถเก็บรักษาเครื่องลูกข่ายในอุณหภูมิ -20 ถึง +60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

3.6.3 พีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ (PHS Server)

พีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมเครื่องลูกข่ายเข้ากับระบบ โดยทำการส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่ายไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR) และทำการสร้างเส้นทาง

ในการเรียกไปยังชุมสายปลายทางของหมายเลขที่ต้องการติดต่อ พีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์จะมีอุปกรณ์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดประกอบด้วย ชุดแรกเรียกว่า พีเอชเอสอะแดปเตอร์ (PHS Adapter) ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณสถานีฐานหรือเซลล์สเตชันไปยังโทรศัพท์พื้นฐานสำหรับกรณีที่มีการเรียกจากโทรศัพท์ที่ซีทีไปยังโทรศัพท์บ้าน ส่วนชุดที่สองเป็นพีเอชเอสสวิตช์ (PHS switch) ทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลไปยังส่วนควบคุมโครงข่ายพีซีทีที่ประกอบด้วยหน่วยบริหารโครงข่าย (NMS : Network Management System) เป็นส่วนประกอบหลัก

3.6.4 ชุดสายดิจิทัลระยะไกล (RDLU : Remote Digital Line Unit)

ชุดสายดิจิทัลระยะไกลเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์กับเซลล์สเตชัน โดยการเชื่อมต่อภายนอกอาคารนั้นจะทำได้ 2 แบบ คือ แบบแรก Local Access เป็นการต่อพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์กับเซลล์สเตชัน โดยต่อผ่าน DLN (Digital Line Module) และแบบที่สอง แบบ Remote Access โดยเป็นการต่อผ่าน RDLM (Remote Digital Line Module) ซึ่งทำหน้าที่เป็น ISDN Basic Rate Interface (BRI) ด้วยอัตราการส่งข้อมูล 2,048 Mbps ส่งผ่านสายเคเบิลใยแก้วนำแสง ส่วนในการต่อเซลล์สเตชันภายในอาคารนั้นจะต้องต่อเข้ากับสถานีควบคุมเซลล์ (CSC : Cell Station Control) ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์ Concentrator และหลังจากนั้นก็จะต้องเข้ากับพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นอุปกรณ์ชุมสาย (Switching Equipment) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเรียกระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับเซลล์สเตชันและมีการต่อไปยังโครงข่ายพื้นฐาน (PSTN : Public Switched Telecommunication Network) หรือโครงข่ายบริการร่วมดิจิทัล (ISDN : Integrated Service Digital Networks)

3.6.5 รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR : Home Location Register)

รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง เป็นตัวเก็บข้อมูลของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที โดยประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักด้วยกันคือ ส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความน่าเชื่อถือสูง (FTC : Fault Tolerant Computer) ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ Unix ส่วนที่สองคือส่วนของเวิร์กสเตชัน (Work Station) เป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของ HLR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของ Alarm Panel เป็นส่วนที่แสดงการเตือนเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับ HLR ทั้งหมดโดยส่วนนี้จะแสดงให้เห็นทันที ในการเก็บข้อมูลของระบบนี้จะแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนข้อมูลของผู้ใช้บริการที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียน เช่น ข้อมูลการเปิดใช้บริการรูปแบบต่างๆ อีกส่วนเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงได้ คือข้อมูลของตำแหน่งเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ รีจิสเตอร์ส่วนนี้ก็จะมีการอัปเดตข้อมูลตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง ยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้บริการไปยังส่วนของพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ เมื่อมีการเรียกเข้าหรือเรียกออก พร้อมทั้งทำการตรวจสอบความถูกต้องของผู้

ใช้บริการ โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องลูกข่าย ว่าเป็นเครื่องที่ได้รับอนุญาตอย่างถูกต้องจากผู้ให้บริการหรือไม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นที่จะต้องทำทุกครั้งก่อนที่จะให้มีการใช้บริการ

3.6.6 ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก (CDR : Call Detail Record)

ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียกของผู้ใช้บริการ ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการยูนิคซ์ที่มีหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลขนาดความจุสูง ที่เรียกว่า “ดิสก์อาร์เรย์” โดยระบบนี้จะทำหน้าที่ในการรวบรวมบันทึกการเรียก (พีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลในการเรียกมายังระบบโดยใช้โปรโตคอล X.25) ทำการบันทึกการเรียกในรูปแบบของไฟล์เรียกเก็บเงินค่าบริการ และการให้บริการเสริมเมื่อผู้ใช้บริการต้องการ

3.7 ทฤษฎีการวางเซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

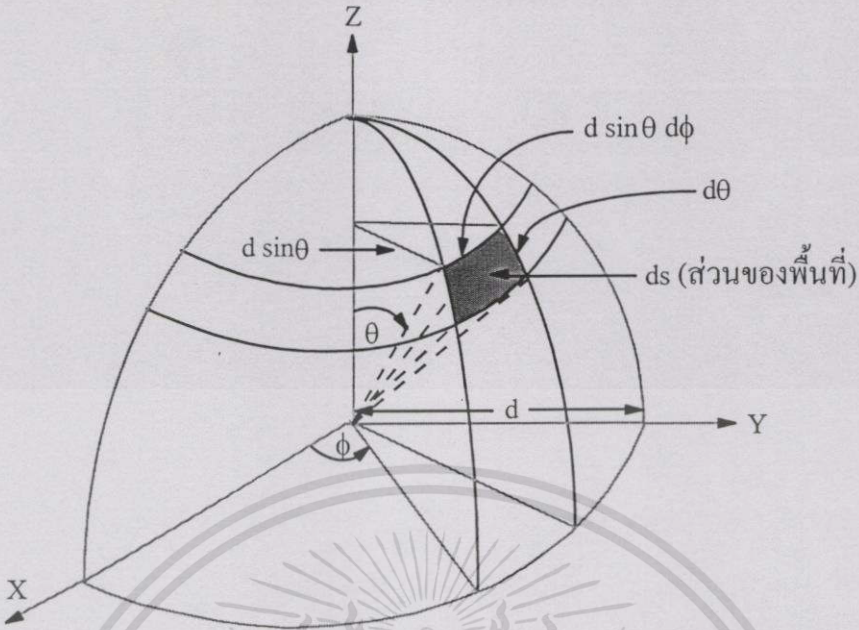
ในการให้บริการของระบบนั้นการวางเซลล์สเตชันเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากที่จะทำให้บริการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการวางเซลล์ของระบบนั้นต้องอาศัยทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่น เช่นการลดทอนของคลื่น การเฟดดิ้งของคลื่น ระดับของสัญญาณในแต่ละพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลกระทบต่ออัตราการผิดพลาดของบิตและให้คุณภาพของการให้บริการ

3.7.1 การแพร่กระจายคลื่น

การลดทอนของสัญญาณใน Free Space เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการส่งและรับสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยพิจารณาในกรณีที่ไม่มีการกีดขวางทางเดินของสัญญาณ ถ้าสมมติให้แหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) การแพร่กระจายของสัญญาณจะเป็นลักษณะการแพร่กระจายแบบรอบทิศทาง ถ้ากำหนดให้กำลังงานที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ P_r การแพร่กระจายของสัญญาณแบบรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของทรงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น d ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

$$P_r = \frac{P_r}{4\pi d^2} \quad (3.1)$$

โดย $4\pi d^2$ คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปทรงกลมและมีรัศมี d



รูปที่ 3.13 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

ในทางปฏิบัติจะมีการพิจารณาสายอากาศในเรื่องของทิศทางการรับหรือแพร่กระจายคลื่นด้วย นั่นหมายถึงว่า สำหรับสายอากาศแต่ละคลื่นนั้นจะสามารถแพร่กระจายคลื่นในแต่ละทิศทางได้ไม่เท่ากัน โดยจะกำหนดให้มีอัตราการขยายกำลังของสายอากาศต่อกำลังงานของสายอากาศที่กระจายรอบทิศทางในระยะทางที่เท่ากัน มีกำลังอินพุตเท่ากัน สมมติให้ G , คืออัตราการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานของการแพร่กระจายจะ ได้เป็น

$$P = \frac{PG_r}{4\pi d^2} \tag{3.2}$$

สำหรับทางด้านของเครื่องรับก็จะมีการติดตั้งสายอากาศในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงที่สุด ถ้าสมมติให้ P_r คือกำลังงานของสายอากาศที่เครื่องรับสามารถรับได้ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$P_r = \frac{G_r G_t}{r} \times \text{พื้นที่ในการรับสัญญาณ} \tag{3.3}$$

และสำหรับสายอากาศใดๆ ก็ตาม ค่าอัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่รับสัญญาณ คือ

$$\frac{\text{พื้นที่การรับสัญญาณ}}{\lambda^2} = \frac{G_t}{4\pi} \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ λ คือความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย และ G_r คือค่าอัตราขยายกำลังของสายอากาศรับ จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 จะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3.5)$$

สมการที่ 3.5 เป็นสมการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นในบรรยากาศปกติ โดยความถี่จะมีหน่วยเป็น MHz และระยะทาง d มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ซึ่งจากความสัมพันธ์ $\lambda = c/f$ เมื่อแทนลงใน สมการที่ 3.5 จะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{0.57 \times 10^{-3}}{(d \times f)^2} \right) \quad (3.6)$$

จากสมการที่ 3.6 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ dB คือ

$$\frac{P_r}{P_t} = [G_t]_{dB} + [G_r]_{dB} - (32.44 + 20 \log d + 20 \log f) \quad (3.7)$$

อัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก และค่าอัตราขยายกำลังของ G_t และ G_r จะมีค่าเท่ากับ 1) จะเป็นค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น (L) ดังนั้นจะได้

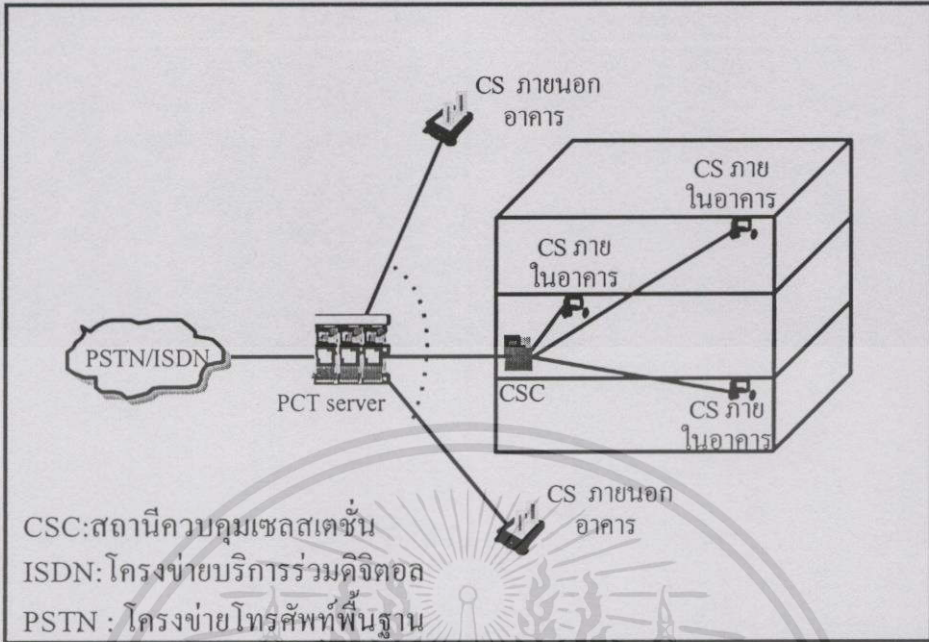
$$L = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (3.8)$$

3.7.2 การวางเซลล์สแตชันภายในอาคาร

ในการออกแบบการติดตั้งเซลล์สแตชันในอาคารนั้นตำแหน่งของเซลล์สแตชันที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมากเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยโครงสร้างของโครงข่ายการติดตั้งเซลล์สแตชันภายในอาคาร แสดงในรูปที่ 3.14 จากรูปจะเห็นว่า การต่อเซลล์สแตชันในอาคารต้องต่อเข้ากับสถานีควบคุมเซลล์สแตชัน (CSC) โดยตัว CSC นั้นทำหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์ Concentrator จากนั้นก็จะต่อไปยังที่เอชเอสซีเอฟเวอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครื่องชุมสาย (Switching Equipment) โดยทำหน้าที่ควบคุมการเรียกระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเซลล์สแตชัน จากนั้นก็ต่อไปยังโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public switched telecommunication network) หรือโครงข่ายบริการร่วมดิจิทัล (ISDN : Integrated service digital networks)ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โครงข่ายการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ภายในอาคาร

ในการออกแบบการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่เพื่อให้บริการภายในอาคารสามารถแบ่งได้ เป็น 4 แบบ โดยแบ่งตามขนาดของพื้นที่ใช้งาน คือ 1.อาคารที่มีขนาดเล็กหลาย ๆ อาคาร 2.อาคารที่มีขนาดปานกลาง 3.อาคารที่ขนาดค่อนข้างใหญ่ และ 4. อาคารที่มีขนาดใหญ่มาก

อาคารที่มีขนาดเล็กหลาย ๆ อาคาร เซลล์เคลื่อนที่จะติดตั้งไว้อยู่นอกอาคาร โดยสามารถส่งคลื่นสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในอาคารได้ทั้งหมด ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสามารถทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ และสมการการลดทอนของสัญญาณดังสมการของ Hata

$$L_p(r) = L_r(r_0)(r/r_0)^{\alpha_1} L_B(r_0)(r/r_0)^{\alpha_2} A_F \quad (3.9)$$

โดย $L_p(r)$ คือการลดทอนของสัญญาณ

$L_r(r_0)$ คือการลดทอนเนื่องจากระยะทางที่ระยะ $r = r_0$

$L_B(r_0)$ คือ การลดทอนของอาคารที่ระยะ $r = r_0$

α_1 และ α_2 คือแฟกเตอร์การลดทอนเนื่องจากระยะทางและอาคาร

A_F คือ การลดทอนเนื่องจากการทะลุของคลื่นผ่านผนังอาคาร

อาคารที่มีขนาดปานกลาง โดยจะติดตั้งเซลล์สเดชั่นเพียงเซลล์เดียวอยู่ภายในอาคารและสามารถครอบคลุมพื้นที่ทุกห้องในอาคาร โดยสมการการลดทอนของสัญญาณสามารถหาได้จากสมการของ Hata

$$L_p(r) = L_r(r)(r/r_0)^{\alpha_p} \quad (3.10)$$

เมื่อ α_p มีค่า 2-3 เมื่อเซลล์สเดชั่นอยู่ชั้นเดียวกับเครื่องลูกข่าย และ α_p มีค่า ≥ 3 เมื่อเซลล์สเดชั่นอยู่ต่างชั้นกับเครื่องลูกข่าย

อาคารที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีการติดตั้งเซลล์สเดชั่นในแต่ละชั้นของอาคาร โดยที่สามารถหาการลดทอนของสัญญาณได้จากสมการการลดทอนของ Keenan-Motly [4]

$$L_p(r) = (4\pi r/\lambda)^2 - G_r - G_t + a(AF_{w1}) + b(AF_{w2}) + c(AF_{w3}) + d(AF_f) \quad (3.11)$$

โดยที่ r คือระยะทาง

λ คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน

G_r และ G_t คืออัตราขยายของเครื่องลูกข่ายและเซลล์สเดชั่น

$AF_{w1}, AF_{w2}, AF_{w3}$ คือแฟคเตอร์ของการลดทอนของผนังชนิดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

AF_f คือแฟคเตอร์ของการลดทอนของพื้น

a, b, c คือจำนวนของผนังชนิดที่ 1 2 3 ตามลำดับ

d คือจำนวนของพื้น

อาคารที่มีขนาดใหญ่มาก ในการติดตั้งเซลล์สเดชั่นที่ติดตั้งในแต่ละชั้นหลายๆ เซลล์ โดยมากจะติดตั้งในห้องที่มีขนาดใหญ่ จำนวนเซลล์สเดชั่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของห้องและปริมาณการใช้งานในแต่ละห้องนั้น โดยสมการการลดทอนมีลักษณะที่เหมือนกับ สมการที่ (3.11)

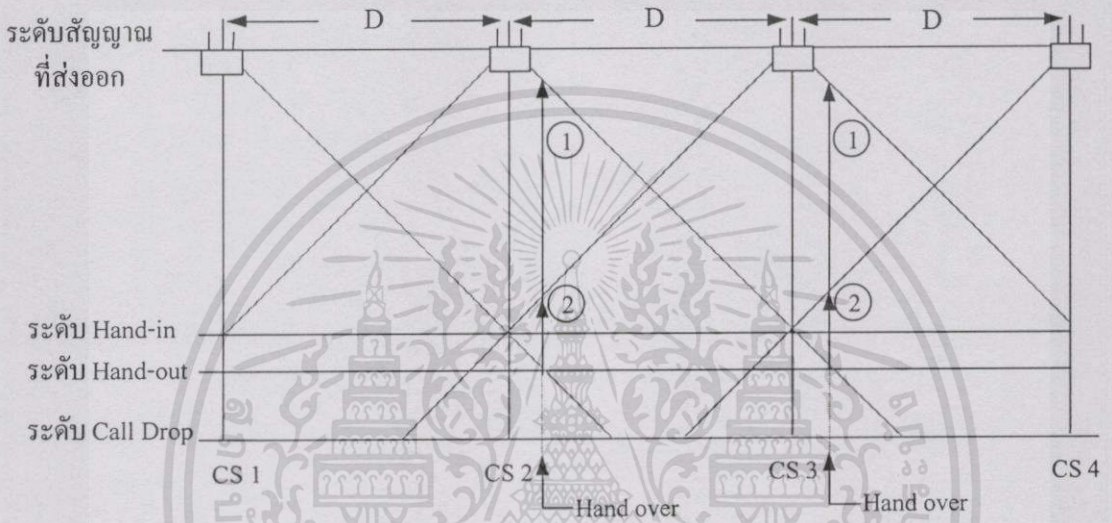
3.7.3 การวางเซลล์สเดชั่นในพื้นที่สาธารณะ

การวางเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น จะทำการวางเซลล์สเดชั่นไปตามถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยจะติดตั้งเซลล์สเดชั่นให้มีพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ต่อกัน อีกทั้งในบางพื้นที่ซึ่งจะต้องวางเซลล์ให้ในพื้นที่หนึ่งๆ นั้นสามารถรับสัญญาณได้สองเซลล์ เนื่องจากในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้เซลล์ที่มีขนาดเล็กแบบนาโนเซลล์ ในการคำนวณหาขนาดระยะห่างระหว่างเซลล์สเดชั่นนั้นจะใช้สมการ

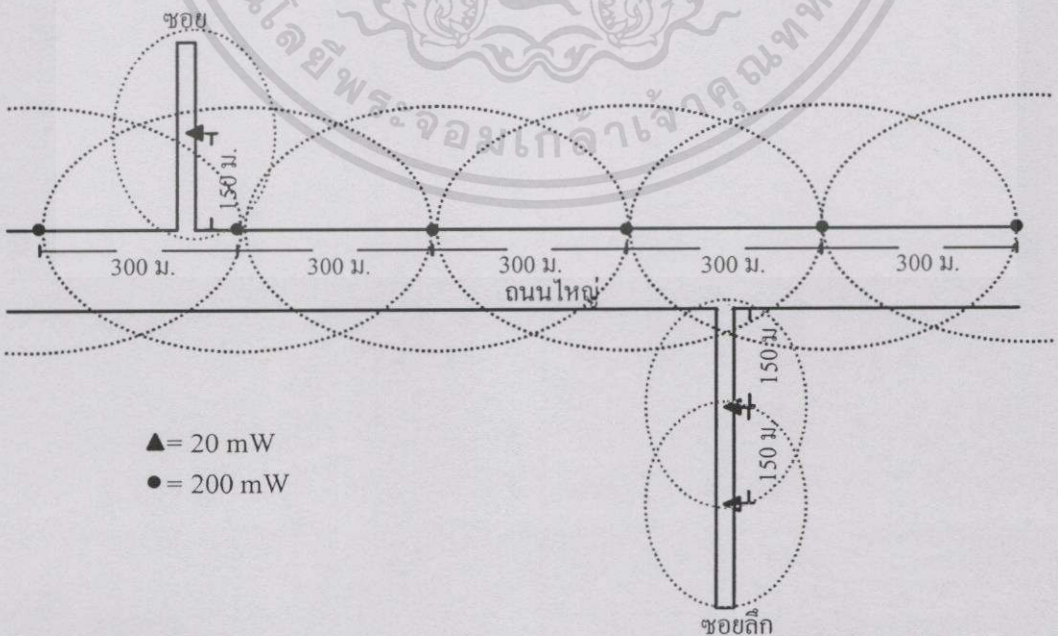
เอกสการลดทอนของคลื่น ซึ่งระดับของสัญญาณการแอนด์โอเวอร์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบุคคลพีซีที่แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งในการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมเซลล์นั้นเราจะใช้ระดับการแฮนด์เอ๊าท์เป็นระดับอ้างอิงที่ขอบเซลล์ ซึ่งเมื่อติดตั้งเซลล์สเตชันแล้วเราจะได้พื้นที่ครอบคลุมเซลล์เป็นดังรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นการวางเซลล์สเตชันในลักษณะที่ให้ในพื้นที่หนึ่งๆ ต้องรับสัญญาณจากสองเซลล์สเตชัน เนื่องจากในหนึ่งเซลล์สเตชันนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้พร้อมกันเพียงสามคนเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ในพื้นที่หนึ่งๆ สามารถใช้งานได้เพิ่มขึ้น จึงต้องมีการวางเซลล์สเตชันในแบบ 2 คลื่นพาห์ต่อพื้นที่



รูปที่ 3.15 ลักษณะการวางเซลล์และระดับสัญญาณในการติดตั้งเซลล์สเตชันในพื้นที่สาธารณะ



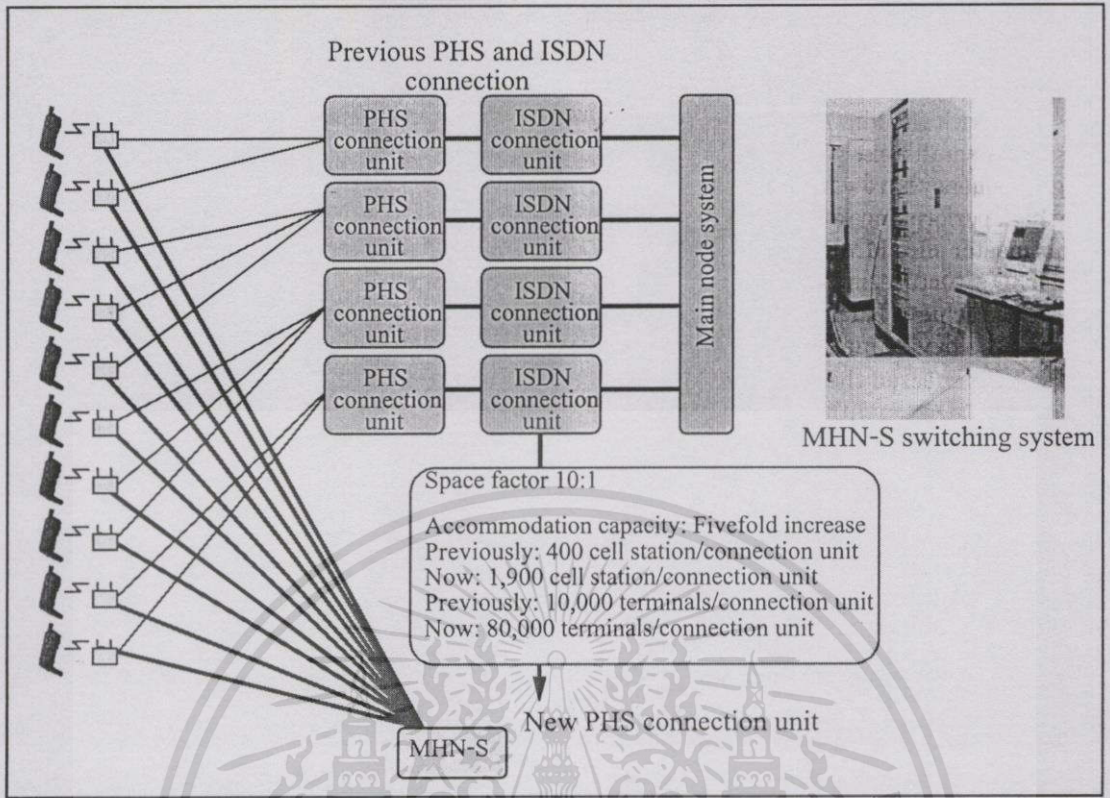
รูปที่ 3.16 ลักษณะการใช้งานเซลล์สเตชันและลักษณะวางเซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่สาธารณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การพัฒนาและการให้บริการในอนาคตของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในอนาคต การพัฒนาระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะเป็นการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป แต่ก็ไม่ได้คาดหวังที่จะให้สามารถใช้งานในย่านความเร็วสูงเหมือนกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ การใช้โทรศัพท์พีซีทีในขณะที่เคลื่อนที่หรือการใช้ในรถยนต์สามารถใช้งานในย่านความเร็วต่ำถึงปานกลาง ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการให้บริการในลักษณะภายในอาคาร การเดิน แต่สิ่งที่ขัดขวางการใช้งานที่มีขีดจำกัดของระบบพีซีทีนั้น ก็คือตัวเครื่องที่มีขนาดเล็ก เบา และสามารถใช้งานได้นานต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง กำลังส่งที่ต่ำมาก ทำให้ปลอดภัยต่อการใช้งาน ไม่ต้องกลัวคลื่นวิทยุจะทำลายเซลล์สมอง และประการสำคัญราคาค่าใช้จ่ายนั้นต่ำมาก เมื่อเทียบกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไปความสามารถของการสื่อสารระบบดิจิทัล ตั้งแต่เครื่องปลายทางพีซีทีไปจนถึงชุมสาย และ โครงข่ายการบริหาร ซึ่งระบบดิจิทัลนั้น เป็นระบบที่ให้ความปลอดภัยในเรื่องของการดักฟังที่ไม่สามารถกระทำได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบพีซีทีนั้น มีระบบการเข้ารหัสที่พิเศษจากระบบอื่นที่เรียกกันว่า ระบบ ADPCM ในส่วนของความชัดเจนของเสียงนั้น จะมีความชัดเจนเทียบเท่ากับ โทรศัพท์ที่ใช้สาย หรือมีความชัดเจนกว่าโทรศัพท์มือถือเกือบเท่าตัว

การถ่ายเทข้อมูลนั้น เมื่อมีการโทรออกจากโทรศัพท์พีซีทีเครื่องหนึ่งไปยังโทรศัพท์พีซีทีอีกเครื่องหนึ่ง สัญญาณที่ส่งจากเครื่องโทรศัพท์พีซีทีไปยังเซลล์สเตรชันจะผ่านพีเอชเอสเซิร์ฟเวอร์ และเข้าไปยังชุมสาย เพื่อแปลความหมายเลขที่ต้องการติดต่อ และทำการเรียกหา (Paging) ออกไปยังเซิร์ฟเวอร์ต่างๆ เพื่อหาโทรศัพท์พีซีทีที่ถูกเรียก ดังนั้นการใช้งานโดยปกติของโทรศัพท์พีซีทีจึงต้องใช้เวลาในการเรียกหา หรือในการถ่ายโอนข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์หนึ่งไปยังอีกเซิร์ฟเวอร์หนึ่ง ประมาณเกือบ 1 วินาที ถ้ายังมีการใช้งานข้ามเซลล์มากๆ หรือบ่อยๆ การทำงานของเซิร์ฟเวอร์ก็จะหนักมากขึ้น และเป็นสาเหตุหนึ่งของการใช้งานสำหรับยานยนต์ที่ความเร็วสูงมากไม่ได้ ดังนั้นในการพัฒนาระบบพีซีทีสำหรับอนาคตนั้น จึงอาจใช้โครงสร้างของโครงข่ายที่แตกต่างไปจากปัจจุบัน โดยสามารถสร้างเป็นโหนด หรือจุดต่อเชื่อมสำหรับสถานีฐานของโทรศัพท์พีซีทีแล้ว เชื่อมโยงโดยตรงกับระบบ ISDN ซึ่งถือเป็นระบบหลัก สำหรับการใช้งานโทรศัพท์พีซีทีในอนาคต โดยตามโครงสร้างใหม่นี้จะสามารถต่อสถานีฐานได้ถึง 10,000 เซลล์ต่อหนึ่งจุดเชื่อมต่อและสามารถขยายได้ถึง 80,000 เซลล์ต่อจุดเชื่อมต่อในอนาคต ซึ่งถือว่ามีความจุมากพอสมควร ส่วนการให้บริการสำหรับระบบมัลติมีเดีย นั้น จะใช้ MHN-S (Multimedia Handling Nodes for providing PHS Service) เป็นจุดต่อเชื่อมโยงระหว่างสถานีฐานต่างๆ ที่สามารถเชื่อมโยงได้สูงสุดถึง 80,000 เซลล์ ดังโครงสร้างในรูปที่ 3.17



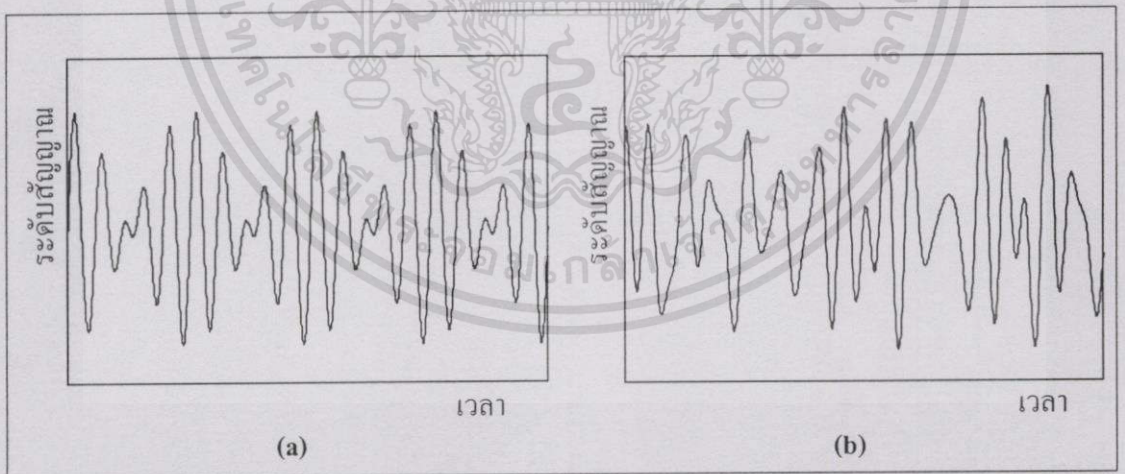
รูปที่ 3.17 การพัฒนาโครงข่ายโทรศัพท์พีซีทีที่ปรับปรุงให้อยู่ในรูปการเชื่อมโยงในระบบโหนดทั้งเสียงและมัลติมีเดีย

การพัฒนาระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีและการใช้งานโทรศัพท์พีซีทีในอนาคตนั้น จะเป็นการเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างโหนดต่อโหนด จึงทำให้ค่า Access Time หรือเวลาในการตรวจสอบควบคุมระบบมีค่าน้อยมาก การใช้งานที่ความเร็วของการเคลื่อนที่สูงจะสามารถกระทำได้ การแฮนด์โอเวอร์ หรือการข้ามเซลล์จะทำได้รวดเร็วขึ้น ในขณะที่รูปแบบของการให้บริการ จะไม่เป็นเพียงแค่บริการเสียงทางโทรศัพท์เท่านั้น ยังจะสามารถให้บริการข้อมูล ตัวอักษร หรือรูปภาพต่างๆ ผ่านหน้าจอได้ และในอนาคตอันใกล้ นี้ คงจะได้เห็นการให้บริการภาพเคลื่อนไหวผ่านระบบพีซีทีได้เช่นเดียวกัน

การเฟดดิ้งของสัญญาณโทรศัพท์

ในการส่งสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกไปยังเครื่องรับ ช่วงที่คลื่นเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะต้องผ่านสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีสภาพแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆ สภาพแวดล้อมก็จะเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ อยู่ตลอดเวลา

เนื่องจากระบบโทรศัพท์ไร้สายทุกชนิดต้องใช้สื่อที่เป็นอากาศในการเชื่อมต่อกัน ดังนั้นจึงต้องมีการรับ-ส่งสัญญาณผ่านอากาศ ซึ่งสัญญาณจะต้องผ่านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทั้งที่หยุดนิ่ง เช่น เสาไฟฟ้า บ้าน ตึก กำแพง เป็นต้น และสิ่งแวดล้อมที่มีการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ เช่น ต้นไม้ รถยนต์ เป็นต้น สิ่งแวดล้อมต่างๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ระดับสัญญาณในแต่ละจุดไม่คงที่ มีการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ โดยการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของสัญญาณนี้เราเรียกว่า “การเฟดดิ้ง” ซึ่งจะเกิดในลักษณะที่มีรูปแบบหรือไม่มีรูปแบบก็ได้ดังแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยที่รูป 4.1(a) เป็นการเฟดดิ้งของสัญญาณในลักษณะที่มีรูปแบบและรูปที่ 4.1(b) เป็นการเฟดดิ้งของสัญญาณที่ไม่มีรูปแบบ ซึ่งการเฟดดิ้งของสัญญาณของระบบโทรศัพท์จะเกิดในลักษณะที่ไม่มีรูปแบบ



รูปที่ 4.1 รูปแบบของการเฟดดิ้งของสัญญาณ

4.1 สาเหตุของการเกิดเฟดดิ้ง

ลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นจะเกิดตามลักษณะความยาวคลื่นของคลื่นพาห้ที่ใช้ในการกระจายสัญญาณ เนื่องจากสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นมีขนาดที่ต่างกัน ถ้าสิ่งก่อสร้าง

เหล่านี้มีขนาดเท่ากับค่าความยาวคลื่นของคลื่นพาห้ที่แพร่กระจาย จะทำให้การกระจายของคลื่นการคำนวณไม่อาจทำได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

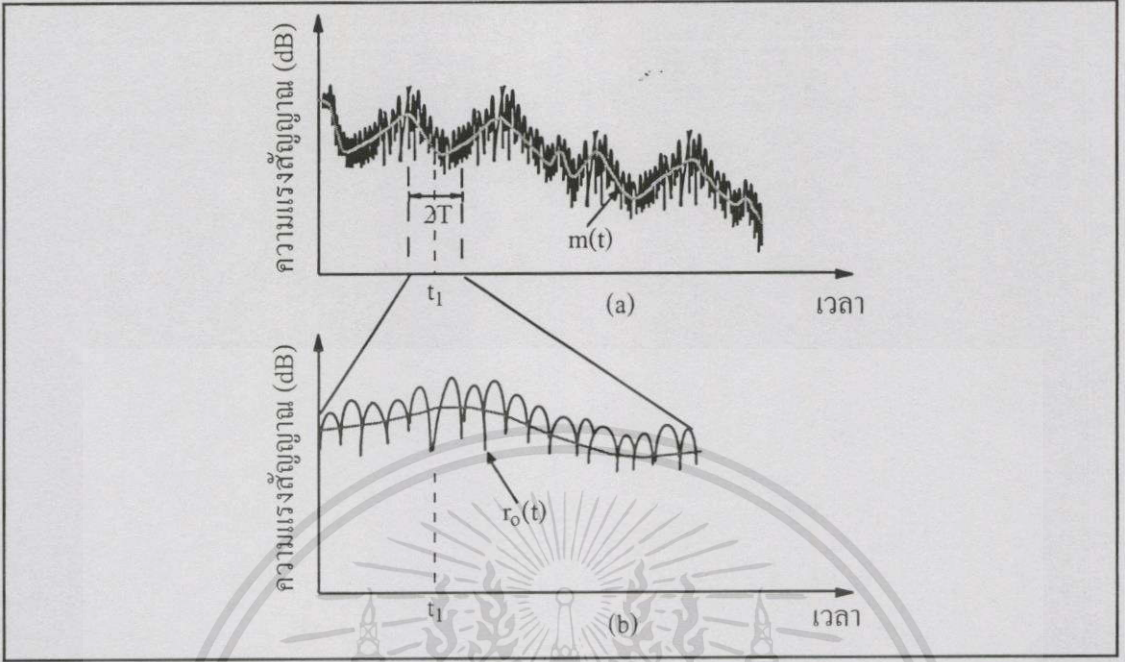
เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น เกิดการแตกกระจาย (Scatter) และการสะท้อนของคลื่น (Reflect) เป็นต้น ดังนั้นค่าระดับสัญญาณของโทรศัพท์จะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์ด้วย การแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์ในสภาพแวดล้อมข้างต้น จะทำให้เราสามารถแยกคลื่นที่เดินทางไปถึงเครื่องรับได้ 2 ประเภท คือ คลื่นตรง (Direct Wave) และคลื่นสะท้อน (Reflected Wave) เครื่องรับจะได้รับคลื่นตรงจากทิศทางเดียวและมีสัญญาณที่แรงที่สุด ส่วนคลื่นสะท้อนจะได้รับจากทุกทิศทางที่เข้ามาแต่จะมีสัญญาณที่อ่อนกว่า มีเฟสของคลื่นที่แตกต่างกันและเหมือนกัน ซึ่งจะเป็นการเสริมหรือหักล้างกับคลื่นตรง ทำให้สัญญาณที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ เราเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า การเฟดดิ้งของสัญญาณ

ลักษณะของระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ หรือการเฟดดิ้งของสัญญาณนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ การเฟดดิ้งของสัญญาณแบบระยะยาว (Long-Term) แทนด้วยสัญลักษณ์ $m(t)$ และการเฟดดิ้งของสัญญาณแบบระยะสั้น (short-term) แทนด้วยสัญลักษณ์ $r_o(t)$ โดยรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่า $m(t)$ และ $r_o(t)$ ถ้าให้ $r(t)$ รูปแบบของสัญญาณรับ-ส่งระหว่างสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์นั้น ถ้า $r(t)$ เป็นสัญญาณที่รับได้ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เราสามารถจำลองคุณสมบัติของสัญญาณได้เป็น 2 ส่วนคือ $m(t)$ และ $r_o(t)$ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเชิงฟิสิกส์อันเป็นการคูณกันของสัญญาณ 2 ชนิด ดังจะได้

$$r(t) = m(t) \times r_o(t) \quad (4.1)$$

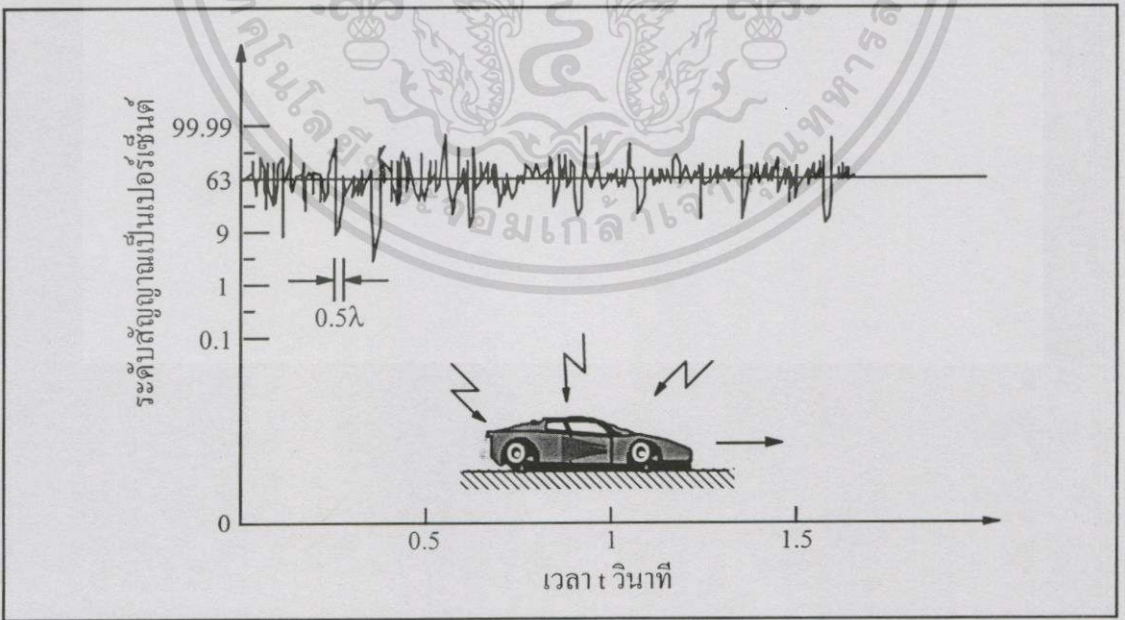
โดยที่ องค์ประกอบ $m(t)$ ถูกเรียกว่า โลคัลมีน (Local Mean) เป็นค่าเฉลี่ยของการเฟดดิ้งระยะยาว (Long-Term Fading) หรือล็อกนอร์มัลเฟดดิ้ง (Log-Normal Fading) และ $r_o(t)$ ก็คือการเฟดดิ้งระยะสั้น

บางครั้งอาจเกิดการเฟดดิ้งของสัญญาณที่รุนแรง (Severe Fading) เนื่องจากสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์อยู่ต่ำกว่าวัตถุที่อยู่รอบๆ และค่าความยาวของคลื่นพาห้จะสั้นกว่าโครงสร้างของวัตถุที่บังอยู่รอบๆ มาก ทำให้เกิดสัญญาณมัลติพาทรอบๆ เครื่องโทรศัพท์ และผลจากการรวมของคลื่นที่มาจากทิศทางต่างๆ จะทำให้เกิดการเฟดดิ้งของสัญญาณขึ้นได้ โดยระดับสัญญาณจะขึ้นๆ ลงๆ (Nulls) อยู่ในย่านประมาณ 40 dB (สูงขึ้น 10 dB และต่ำลง 30 dB จากค่าเฉลี่ยของสัญญาณ) เราสามารถเห็นค่าการกระเพื่อมของการเฟดดิ้งได้ที่เบสแบนด์ โดยจะเกิดที่ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นทุกค่า (โดยประมาณ) แต่ค่าการกระเพื่อมของสัญญาณทั้งหมดจะไม่เกิดที่ระดับเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ถ้าเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่เร็ว การกระเพื่อมก็จะเร็วตามไปด้วย โดยการเฟดดิ้งนี้จะมีค่าไม่แน่นอน



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างสัญญาณการเฟดดิ้งของคลื่น โทรศัพท์เคลื่อนที่

- (a) สัญญาณการเฟดดิ้งของสัญญาณ โทรศัพท์
- (b) สัญญาณการเฟดดิ้งระยะสั้น



รูปที่ 4.3 ลักษณะของสัญญาณที่เฟดดิ้งในการรับของเครื่อง โทรศัพท์ในขณะที่เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การเฟดดิ้งระยะยาว

การเฟดดิ้งของสัญญาณแบบ Long-Term จะเปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นผิวของพื้นดินระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน เช่น เนินเขา ภูเขา เป็นต้น โดยเป็นการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่อยู่ในระยะไกลๆ จากรูป 4.2 การเฟดดิ้งระยะยาวสังเกตจากรูป 4.2(a) จะเห็นได้ว่าในขณะที่มีการเฟดดิ้งแบบถี่ก็จะมีเฟดดิ้งแบบห่างอยู่ด้วย ซึ่งการเฟดดิ้งแบบห่างนี้เราเรียกว่า การเฟดดิ้งระยะยาว และการเปลี่ยนแปลงของมันก็ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ค่าเฟดดิ้งระยะยาว (Long-Term Fading) หรือ $m(t)$ สามารถหาได้ดังนี้

$$m(t_1) = \frac{1}{2T} \int_{t_1-T}^{t_1+T} r(t) dt \quad (4.2)$$

โดยที่ค่า $2T$ คือ ช่วงเวลาสำหรับคิดค่า $r(t)$ เฉลี่ย และค่าของ T ก็จะแสดงอัตราการเกิดเฟดดิ้งของ $r(t)$

ซึ่งโดยปกติแล้วจะเกิด 40 ถึง 80 ครั้ง ดังแสดงอยู่ในรูปของค่า $m(t)$ ที่เป็นการคิดมาจากค่าของ $r(t)$ ดังแสดงในรูป 4.2 (a) สมการ (4.2) ยังสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์กับระยะทางได้เช่นเดียวกัน ดังนี้

$$m(x_1) = \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} r(x) dx \quad (4.3)$$

การหาค่าโลคัลมินของการเฟดดิ้ง สามารถหาได้จากการทำการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณจำนวนประมาณ 36 ถึง 50 ตัวอย่าง ในช่วงระยะทาง 40 เท่าของความยาวคลื่น (λ) ซึ่งถือเป็นค่า $2L$ ในสูตรการคำนวณต่อไป

ตัวประกอบ $m(t)$ หรือ $m(x)$ ก็สามารทำให้เป็นการกระจายแบบล็อกนอร์มัล (Log-Normal Distribution) ได้เช่นเดียวกัน โดยอาศัยคุณสมบัติของมันเองซึ่งเกิดจากสภาพทางภูมิประเทศ

4.1.2 การเฟดดิ้งระยะสั้น

การเฟดดิ้งของสัญญาณแบบ Short-Term จะเกิดเนื่องจากการสะท้อนและการแตกกระจายของคลื่น เมื่อคลื่นกระทบกับสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มีนุขย์สร้างขึ้นหรือสิ่งกีดขวางจากธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ ป่า เป็นต้น ทำให้มีสัญญาณที่เครื่องรับจากหลายๆ ส่วน ซึ่งจะมีทั้งหักล้างและเสริมกับ

สัญญาณที่ได้รับโดยตรง ตัวประกอบ r_0 หรือที่ถูกเรียกว่า มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading) เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเฟดดิ้งระยะสั้น (Short-Term Fading) หรือการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นจากอาคารที่อยู่รอบๆ หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ส่วนค่าของ r_0 ซึ่งเป็นการเฟดดิ้งระยะสั้นก็สามารถหาได้จาก

$$r_0(\text{ในหน่วย dB}) = r(t) - m(t) \text{ dB} \quad (4.4)$$

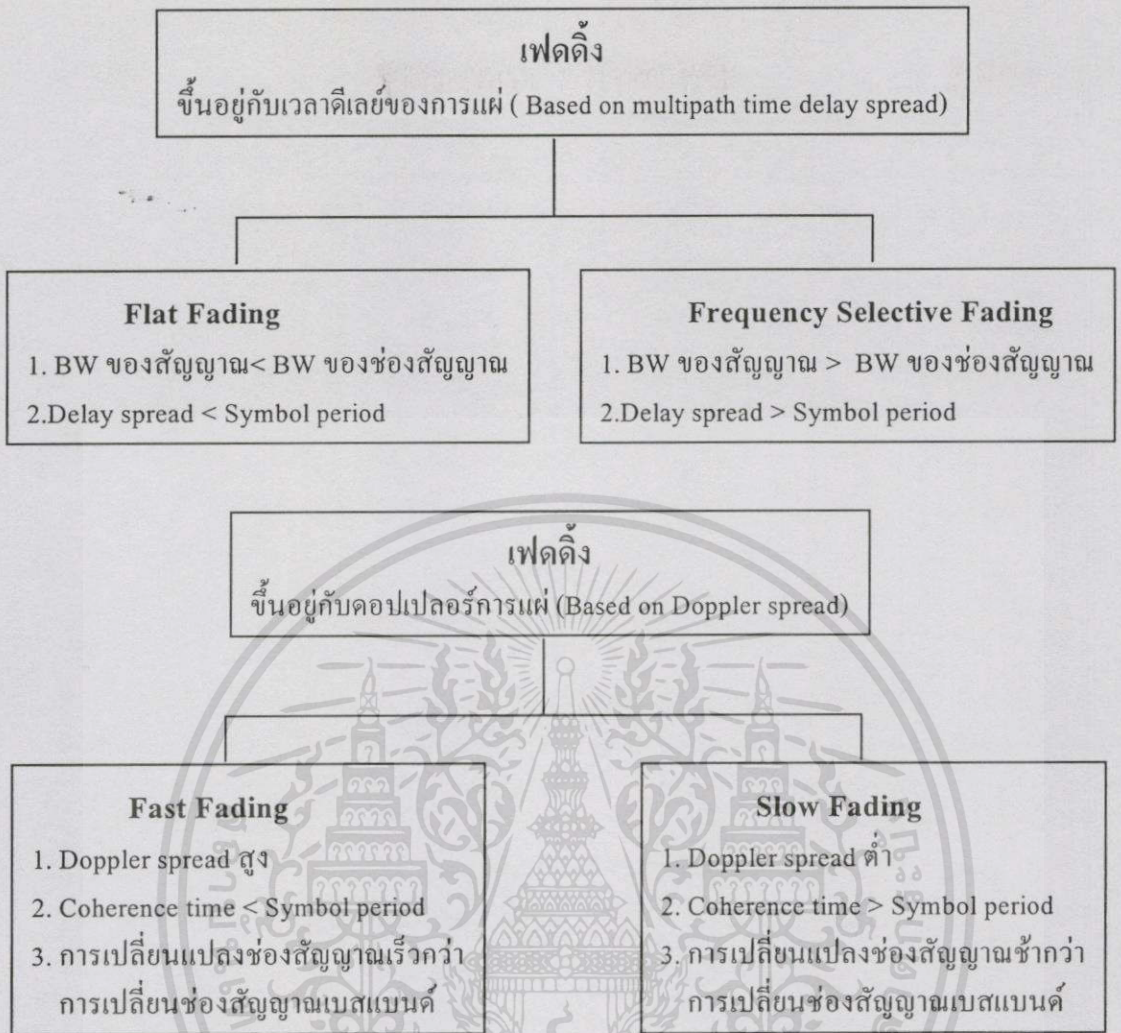
โดยในรูปที่ 4.2 ค่าตัวประกอบ $r_0(t)$ เป็นการเฟดดิ้งระยะสั้นซึ่งจะเป็นไปตามการกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution) ซึ่งอาจจะมีเพียงคลื่นสะท้อนที่สะท้อนจากสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบๆ บริเวณนั้น (เป็นสภาวะปกติสำหรับสภาพแวดล้อมของโทรศัพท์เคลื่อนที่) เพราะฉะนั้นทอมของการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading) จึงถูกใช้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ของคลื่นวิทยุโทรศัพท์ที่อยู่บ่อยๆ

4.2 ชนิดของการเฟดดิ้ง

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงสาเหตุของการเฟดดิ้ง และชนิดของการเฟดดิ้งที่แบ่งตามความถี่ของการเกิดแล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงชนิดของต่างๆ การเฟดดิ้งระยะสั้น ในการเฟดดิ้งของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การกระจายของเวลาดีเลย์เฉลี่ย (RMS Delay Spread) การกระจายของคอปเปิลเลอร์ (Doppler Spread) ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ถูกส่งออกไปนั้นมีลักษณะการเฟดดิ้งที่ต่างกัน กลไกการกระจายออกของเวลา (Time Dispersion) และการกระจายของความถี่ (Frequency Dispersion) ของช่องสัญญาณโทรศัพท์ ทำให้เกิดผลกระทบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน 4 แบบด้วยกัน ซึ่งผลกระทบเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณที่ส่งช่องสัญญาณ และความเร็ว โดยที่การกระจายของเวลาดีเลย์มัลติพาท (multipath time delay spread) จะทำให้เกิด Time Dispersion และ Frequency Selective Fading ส่วนการกระจายคอปเปิลเลอร์ (Doppler spread) จะทำให้เกิด Frequency Dispersion และ Time Selective Fading [7] กลไกการแพร่กระจายคลื่นทั้งสองอย่างนี้จะไม่มีการพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกัน รูปที่ 4.4 แสดงชนิดการเฟดดิ้งทั้ง 4 แบบที่แตกต่างกัน

4.2.1 การเฟดดิ้งที่มาจาก Multipath Time Delay Spread

คำจำกัดความของการกระจายของดีเลย์และโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ (Coherence Bandwidth) การกระจายของดีเลย์ (Delay Spread) ในสภาพแวดล้อมของวิทยุโทรศัพท์ จากผลลัพธ์ของปรากฏการณ์สัญญาณรวมของสัญญาณสะท้อน หรือที่เรียกกันว่า มัลติพาทรีเฟล็กชัน (Multipath Reflection) สัญญาณที่ถูกส่งจากสถานีฐานไปหาเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมาที่เครื่องรับในทิศ



รูปที่ 4.4 ชนิดของการเฟดดิ้ง

ทางต่างๆ กัน ทำให้เวลาที่มาถึงเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ของคลื่นในแต่ละทิศทางนั้นไม่เท่ากัน ถ้าทำการส่งสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) ออกจากสถานีฐาน สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีความกว้างของพัลส์ (Pulse) ที่มากกว่าเดิม เนื่องจากการรวมกันของสัญญาณดีเลย์ที่มาจากทิศทางต่างๆ กัน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกระจายของดีเลย์ (Delay Spread) จากข้อมูลที่ได้จากการวัดในตารางที่ 4.1 ข้างล่างนี้จะชี้ให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยของการกระจายของดีเลย์ที่แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าความต่างของการกระจายของดีเลย์

สถานที่ที่ทำการทดสอบ	ค่าความต่างของการกระจายของดีเลย์ (Δ), μs
สถานที่หุงโง้งแจ้ง	น้อยกว่า 0.2
ชนบทชายทุ่งป่าละเมาะ	0.5
ในเมือง	

โคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ (Coherence Bandwidth) คือ แบนด์วิดท์ที่กำหนดให้ทั้งแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณ 2 สัญญาณที่รับได้มีความคล้ายคลึงกันมาก การกระจายของดีเลย์ (Delay Spread) เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องให้โคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์สัมพันธ์กัน

โคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์สำหรับแอมพลิจูดของ 2 สัญญาณเฟดดิ้งที่รับได้คือ

$$B_c = \frac{1}{2\pi\Delta} \quad (4.5)$$

โคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์สำหรับแรนด้อมเฟส (Random Phases) ที่รับได้ 2 สัญญาณคือ

$$B'_c = \frac{1}{4\pi\Delta} \quad (4.6)$$

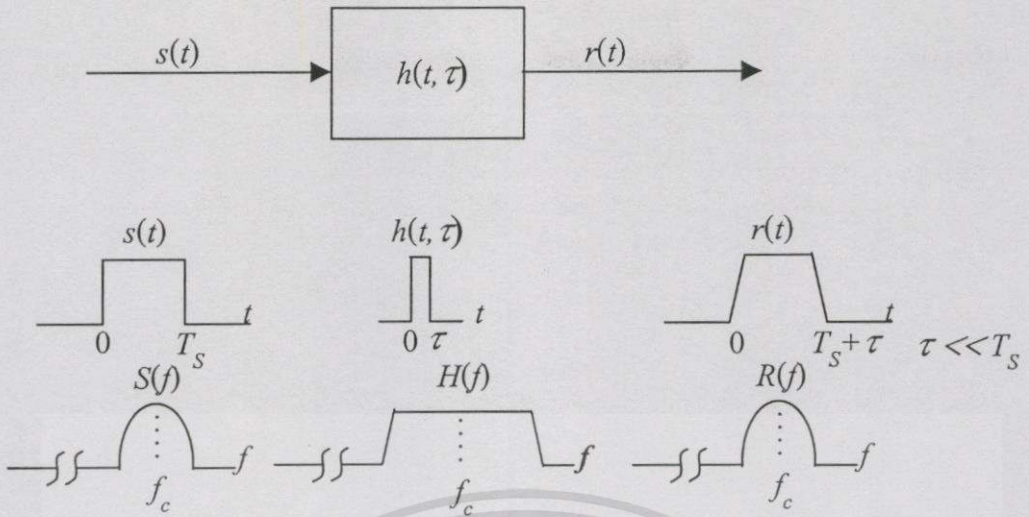
โดยที่ Δ การกระจายของดีเลย์ (Delay Spread)

Time Dispersion เป็นสาเหตุของการมัลติพาทของสัญญาณที่ถูกส่งออกไป โดยทำให้เกิดการเฟดดิ้งอยู่ 2 ชนิดคือ Flat Fading และ Frequency Selective Fading

4.2.1.1 Flat Fading

ถ้าให้ช่องสัญญาณมีอัตราขยายคงที่ (Constant Gain) และมีการตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าแบนด์วิดท์ โดยที่ความกว้างของแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมากกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่ง จะทำให้สัญญาณที่รับได้ทางเครื่องรับนั้นเกิด Flat Fading การเฟดดิ้งชนิดนี้เป็นการเฟดดิ้งชนิดธรรมดาที่สุด Flat Fading จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของช่องสัญญาณ เพราะคุณสมบัติของช่องสัญญาณจะช่วยรักษาสภาพและคุณสมบัติของสัญญาณได้ อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มของสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การมัลติพาทเป็นสาเหตุทำให้อัตราการขยายของช่องสัญญาณมีการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ คุณสมบัตินี้ของ Flat Fading แสดงดังรูป 4.5

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ถ้าอัตราขยายของช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามเวลา แอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ้าเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่รับได้ $r(t)$ ก็จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย แต่สเปกตรัมของการส่งยังคงเดิม ในช่องสัญญาณที่เกิด Flat Fading นั้น ช่วงความกว้างทางเวลา (Reciprocal Bandwidth) ของสัญญาณที่ส่งมากกว่าการกระจายของเวลาดีเลย์มัลติพาทของช่องสัญญาณ และ $h_0(t, \tau)$ คือค่าที่ประมาณได้ว่าไม่เกิดดีเลย์ (นั่นคือให้ τ เท่ากับศูนย์) ช่องสัญญาณที่เกิด Flat Fading นั้นก็คือ แอมพลิจูดของสัญญาณจะแปรตามช่องสัญญาณ และ บางครั้งจะอ้างถึงช่องสัญญาณที่มีความถี่แคบ (Narrowband Channel) เพราะแบนด์วิดท์ของสัญญาณจะแคบกว่า เมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ของช่อง Flat Fading โดยเฉพาะช่องสัญญาณที่เกิด Flat Fading



รูปที่ 4.5 คุณสมบัติของ Flat Fading channel

Fading นั้นจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สัญญาณเกิดการจางหายมาก เพื่อจะได้ผลที่เหมือนกับช่องสัญญาณที่ไม่เกิดการเฟดดิ้งที่ให้อัตราบิตผิดพลาดมีค่าต่ำจะต้องส่งสัญญาณมากกว่าปกติ ถึง 20 หรือ 30 dB การกระจายของอัตราขยายอย่างรวดเร็วของช่องสัญญาณที่เกิด Flat Fading มีความสำคัญต่อการออกแบบการเชื่อมต่อด้วยคลื่น ซึ่งการที่แอมพลิจูดมีการกระจายมากๆ นั่นก็คือการกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution) ถ้าให้ช่องสัญญาณเกิด Flat Fading แบบเรย์ลี จะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งจะสอดคล้องกับการกระจายแบบเรย์ลี สรุปก็คือสัญญาณจะเกิด Flat Fading ได้ก็ต่อเมื่อ

$$B_s > B_c \quad (4.7)$$

และ

$$T_s > \sigma_\tau \quad (4.8)$$

โดยที่ T_s คือช่วงความกว้างทางเวลา (Reciprocal Bandwidth) (เช่น Symbol Period) B_s คือแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่ง และ σ_τ และ B_c คือ rms delay spread และ โคฮีเร้นท์แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ตามลำดับ

4.2.1.2 Frequency Selective Fading

ถ้าช่องสัญญาณมีอัตราขยายของขบวนการ (Processing Gain) คงที่และการตอบสนองของเฟสเป็นเชิงเส้นตรงตลอดทั้งแบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของ

เอกซ์สัญญาณที่ส่ง ช่องสัญญาณจึงเกิด Frequency Selective Fading ขึ้นที่ทางด้านรับ ภายใต้งานไขการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองของพัลส์ของช่องสัญญาณจะมีการกระจายดีเลย์มัลติพาทมากกว่า Reciprocal Bandwidth ของรูปคลื่นของสัญญาณที่ส่ง ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จึงเป็นสัญญาณรวมของสัญญาณมัลติพาทต่างๆ เข้าด้วยกันทำให้สัญญาณมีการลดทอนและมีเวลาดีเลย์ จึงทำให้สัญญาณที่รับได้มีรูปแบบที่ผิดเพี้ยนไป Frequency Selective Fading ทำให้ช่วงเวลาของรูปคลื่นสัญญาณที่ส่งต่างออก (Dispersion) ดังนั้นในช่องสัญญาณจึงเกิด Intersymbol Interference (ISI) ส่วนการพิจารณาในเชิงความถี่นั้น สเปกตรัมของความถี่ที่รับได้นั้นจะใหญ่กว่าเดิมอย่างแน่นอน

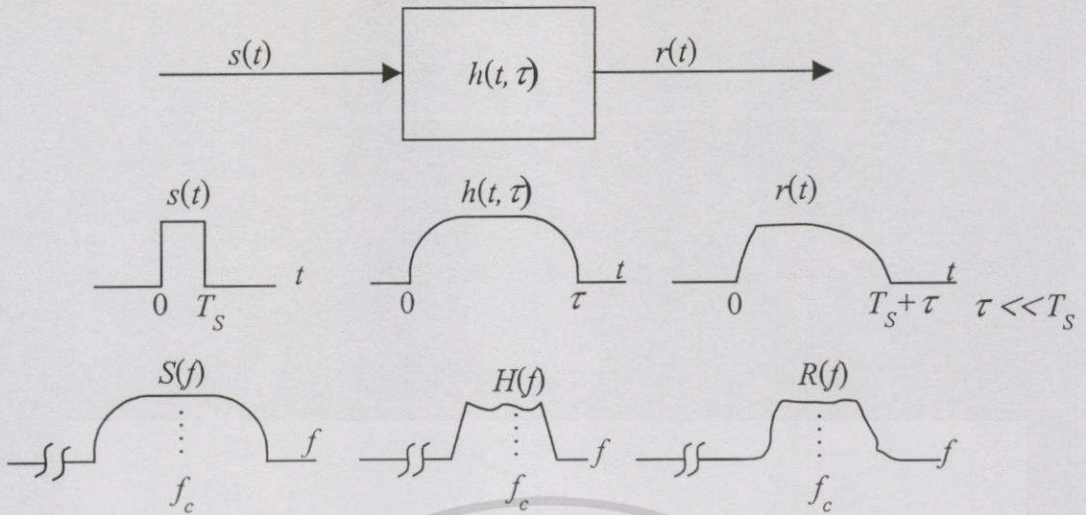
ช่องสัญญาณที่เกิด Frequency Selective Fading เป็นรูปแบบที่ยากกว่า ช่องสัญญาณที่เกิด Flat Fading เพราะสัญญาณมัลติพาทแต่ละตัวนั้นจะมีรูปแบบและต้องพิจารณาสัญญาณแบบลิเนียร์ฟิลเตอร์ ด้วยเหตุผลนี้ การวัดสัญญาณมัลติพาทจึงต้องทำการวัดสัญญาณจำนวนมากๆ และเป็นการทำการทดลองที่กว้างมาก จึงได้มีการพัฒนาโมเดลขึ้นมาจากการวัดสัญญาณ เมื่อวิเคราะห์ระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ โมเดลสถิติที่เป็นการตอบของพัลส์ เช่น 2 Ray Rayleigh fading model (ซึ่งพิจารณาการตอบสนองของพัลส์ ที่ใช้ Delta Function 2 พิงก์ชันที่มีการจางหายของสัญญาณ) อย่างเป็นอิสระต่อกันและให้ช่วงเวลาดีเลย์มากพอที่จะทำให้เกิด Frequency Selective Fading ของสัญญาณ) หรือใช้คอมพิวเตอร์หรือวัดผลตอบสนองของพัลส์ เพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณที่เกิด Frequency selective Fading ภาพที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของที่เกิด Frequency selective Fading

สำหรับ Frequency Selective Fading นั้น สเปกตรัม $S(f)$ ของสัญญาณที่ส่งมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ (Coherence Bandwidth) B_c ของช่องสัญญาณ ถ้าพิจารณาในเชิงความถี่ ช่องสัญญาณจะกลายเป็น Frequency Selective โดยที่การเปลี่ยนแปลงความถี่จะทำให้อัตราขยายมีการเปลี่ยนแปลง Frequency Selective Fading มีสาเหตุมาจากดีเลย์มัลติพาทมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่าคาบของ Symbol ที่ส่ง ช่องสัญญาณที่เกิด Frequency Selective Fading จะคล้ายกับช่องสัญญาณแบนด์กว้าง (Wideband Channels) เพราะแบนด์วิดท์ของสัญญาณ $s(t)$ กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณการตอบสนองของพัลส์ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายและการข้ามเฟส ทำให้สเปกตรัมของ $s(t)$ มีการเปลี่ยนแปลง ผลของการเปลี่ยนเวลานี้ทำให้สัญญาณที่รับได้ $r(t)$ ผิดเพี้ยนไป สรุปก็คือสัญญาณจะเกิด Frequency Selective Fading ก็ต่อเมื่อ

$$B_s > B_c \quad (4.9)$$

$$T_s < \sigma_r \quad (4.10)$$

ตามปกติถ้า $\sigma > 0.1T_s$ ช่องสัญญาณจึงจะเกิด Frequency Selective Fading แม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของการมอดูเลชันที่ใช้ก็ตาม



รูปที่ 4.6 คุณสมบัติของช่องสัญญาณที่เกิด Frequency Selective Fading

4.2.2 การเฟดดิ้งที่เกิดจากการกระจายของคอปเปอเรอร์

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเฟดดิ้งที่เกิดจากการกระจายของคอปเปอเรอร์ โดยจะเป็นการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนช่องสัญญาณกับสัญญาณเบสแบนด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงสามารถแบ่งช่องสัญญาณออกได้สองอย่างคือ Fast Fading และ Slow Fading

4.2.2.1 Fast Fading

ช่องสัญญาณที่เกิด Fast Fading นั้น คือช่องสัญญาณที่คอปเปอเรอร์ของพัลส์แล้วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลาของ Symbol หมายความว่า เวลาโคฮีเร้นท์ของช่องสัญญาณน้อยกว่า คาบเวลาของ Symbol ของสัญญาณที่ส่ง เป็นสาเหตุให้ความถี่มีการถ่างออก (โดยเรียกว่า Time Selective Fading) จึงทำให้เกิดการกระจายของคอปเปอเรอร์ ทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไป ถ้าพิจารณาในเชิงความถี่แล้ว สัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปนี้ทำให้เกิด Fast Fading เพิ่มขึ้น โดยที่การเพิ่มการกระจายของคอปเปอเรอร์สัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่ง ดังนั้นสัญญาณ Fast Fading จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ

$$T_S > T_C \quad (4.11)$$

$$B_S > B_D \quad (4.12)$$

ให้จำไว้ว่า เมื่อช่องสัญญาณเป็นช่องสัญญาณที่เกิด Fast Fading หรือ Slow Fading แล้ว โดยธรรมชาติแล้วจะไม่เกิด Flat Fading หรือ Frequency Selective Fading อีก ในส่วนที่เกิด Fast Fading ส่วนใหญ่มาจากอัตราการเปลี่ยนช่องสัญญาณในขณะที่มีการเคลื่อนที่ แต่ในกรณีที่เกิดช่องสัญญาณแบบ Flat Fading เราก็สามารถหาการคอปเปอเรอร์ของพัลส์ โดยใช้ฟังก์ชันเดลต้า (Delta Function) อย่างง่ายๆ (ที่ไม่มีคิเลีย) ด้วยเหตุนี้ ช่องสัญญาณ Flat Fading, Fast Fading จึงเป็นช่อง

สัญญาณที่แอมพลิจูดของฟังก์ชันเคลด้ามีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเบสแบนด์ที่ส่ง ส่วนในกรณีของช่องสัญญาณ Frequency Selective Fading, Fast Fading แอมพลิจูด เฟส และเวลาคิเลีย ของสัญญาณมัลติพาทตัวใดตัวหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ถูกส่งออกไป ในทางปฏิบัตินั้น Fast Fading เกิดเฉพาะกับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำๆ เท่านั้น

4.2.2.2 Slow Fading

ช่องสัญญาณที่เกิด Slow Fading นั้น อัตราเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ตอบสนองของพัลส์ช้ากว่าสัญญาณเบสแบนด์ $s(z)$ ที่ถูกส่งออกไป ในกรณีนี้ช่องสัญญาณอาจถูกกำหนดให้มีอัตราการขยายที่คงที่มากกว่าหนึ่งหรือหลายช่วงเวลาของ Reciprocal Bandwidth ในการพิจารณาทางความถี่แล้ว ได้ว่าความถี่ที่เกิดการกระจายของคอปเพลอร์ของช่องสัญญาณจะน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเบสแบนด์อยู่มาก ดังนั้น สัญญาณจะเกิด Slow Fading ก็ต่อเมื่อ

$$T_s \ll T_c \quad (4.13)$$

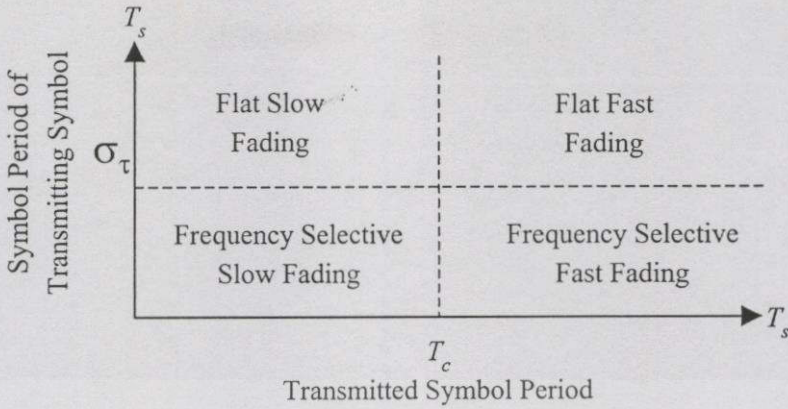
$$B_s \gg B_D \quad (4.14)$$

เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ความเร็วของโทรศัพท์ (หรือความเร็ววัตถุที่อยู่รอบๆ) และสัญญาณเบสแบนด์เป็นตัวบ่งบอกว่า จะได้ Fast Fading หรือ Slow Fading

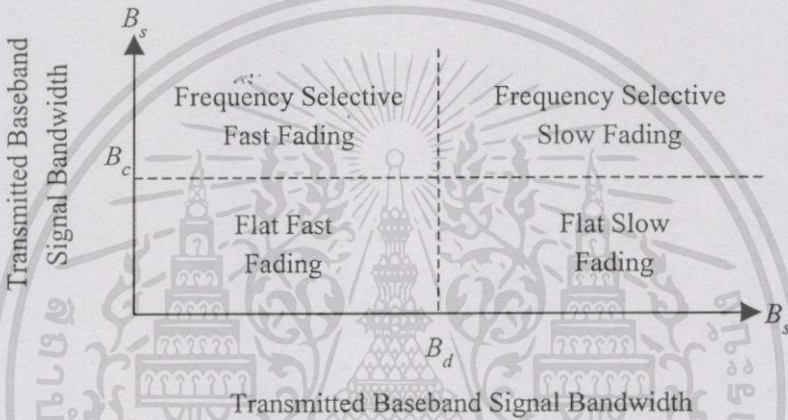
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์มัลติพาทและชนิดของการเฟดดิ้งของสัญญาณรวบรวมได้ดังรูปที่ 4.7 จากประสบการณ์หลายปีที่ผ่านมาทำให้เรารู้เรื่องราวเกี่ยวกับ Fast และ Slow Fading ทั้งของเฟดดิ้งระยะไกลและเฟดดิ้งระยะใกล้ สิ่งที่สำคัญของ Fast และ Slow Fading คือความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนอัตราเวลาในช่องสัญญาณกับสัญญาณที่ถูกส่งและไม่เกี่ยวกับโมเดลการสูญเสียเนื่องจากระยะทาง

4.3 การเลื่อนคอปเพลอร์ (Doppler Shift)

การเฟดดิ้งอย่างหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคือการเกิดเฟดดิ้งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์และการเคลื่อนที่ของสิ่งแวดล้อมรอบๆ เครื่องโทรศัพท์ ซึ่งในที่นี้ก็คือการเฟดดิ้งที่ได้รับผลกระทบจากการคอปเพลอร์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่คลื่นมีความเร็วไม่คงที่คือ มีการเปลี่ยนแปลงเป็น $c \pm V_d$ โดยที่ c คือความเร็วแสงและ V_d คือความเร็วของการคอปเพลอร์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์สัมพันธ์กับสถานีฐานรวมทั้งคลื่นสะท้อนจากวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ ซึ่งจากรูปที่ 4.8 ความเร็วของการคอปเพลอร์เท่ากับ $V \cos \theta$ โดยสามารถคำนวณหาความถี่คอปเพลอร์ได้ดังนี้คือ



(a)



(b)

รูปที่ 4.7 เมตริกซ์แสดงชนิดของการเฟดดิ้งโดยที่สัญญาณเป็นฟังก์ชันของ Symbol period และ Baseband signal Bandwidth

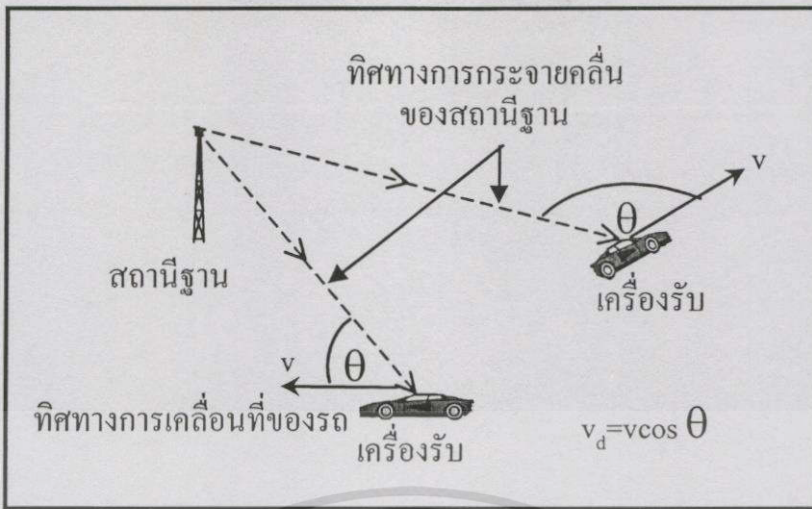
(a) Symbol period

(b) Baseband signal Bandwidth

$$f_d = \frac{V_d}{\lambda} \quad (4.15)$$

โดยที่ f_d คือความถี่ของการดอปเปลอร์ และ λ คือความยาวคลื่น

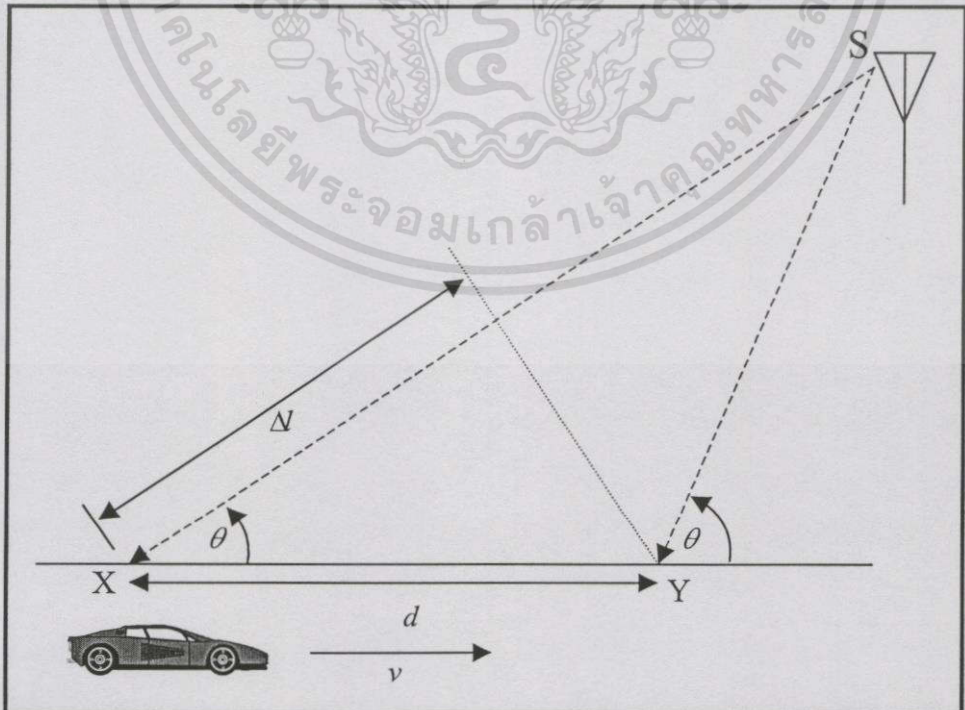
ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์ด้วยความเร็ว v คงที่ โดยเคลื่อนที่จากจุด X ไปหาจุด Y โดยมีระยะห่างเท่ากับ d ในขณะที่เครื่องรับอยู่ห่างเครื่องส่งนั้นสัญญาณที่รับได้ คือ S ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยในขณะที่เคลื่อนที่จากจุด X ไป Y นั้นระยะที่เครื่องโทรศัพท์ห่างจากเครื่องส่ง มีค่าเท่ากับ $\Delta = d \cos \theta = v \Delta t \cos \theta$ โดยที่ Δt คือเวลาที่โทรศัพท์ใช้ในการเคลื่อนที่จาก



รูปที่ 4.8 การเกิดดอปเพลอร์เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเครื่องรับ

จุด X ไปยังจุด Y เพราะเรากำหนดให้เครื่องส่งสามารถส่งไปได้ระยะไกลๆ ได้ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่รับได้จะขึ้นกับระยะทางที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\Delta \phi = \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} = \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos \theta \quad (4.16)$$



รูปที่ 4.9 การเกิดดอปเพลอร์ของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ หรือ การเลื่อนคอปเปลอร์ (Doppler Shift) โดยความถี่ที่เลื่อนออกไปแทนด้วย f_d ซึ่งหาค่าได้จาก

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos\theta \quad (4.17)$$

สมการที่ (4.17) เป็นความสัมพันธ์ของการเลื่อนคอปเปลอร์ของเครื่องโทรศัพท์ในขณะที่เคลื่อนที่กับมุมระหว่างทิศทางเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์และทิศทางของคลื่น จากสมการที่ (4.17) เราพบว่าถ้าเครื่องโทรศัพท์มีการเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องส่งในทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึง การเลื่อนของคอปเปลอร์จะเป็นบวก (Positive คือความถี่ที่รับได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น) และถ้าเครื่องโทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ออกจากเครื่องส่งตามทิศทางของคลื่นที่มาถึง การเลื่อนของคอปเปลอร์จะเป็นลบ (Negative คือความถี่ที่รับได้จะมีค่าลดลง) การมัลติพาทของสัญญาณ CW (Continue Wave) โดยที่สัญญาณที่มาถึงนั้นจะมาจากทิศทางที่แตกต่างกัน ทำให้สัญญาณที่เกิดการคอปเปลอร์มีการกระจายออก ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มแบนด์วิดท์ของสัญญาณ

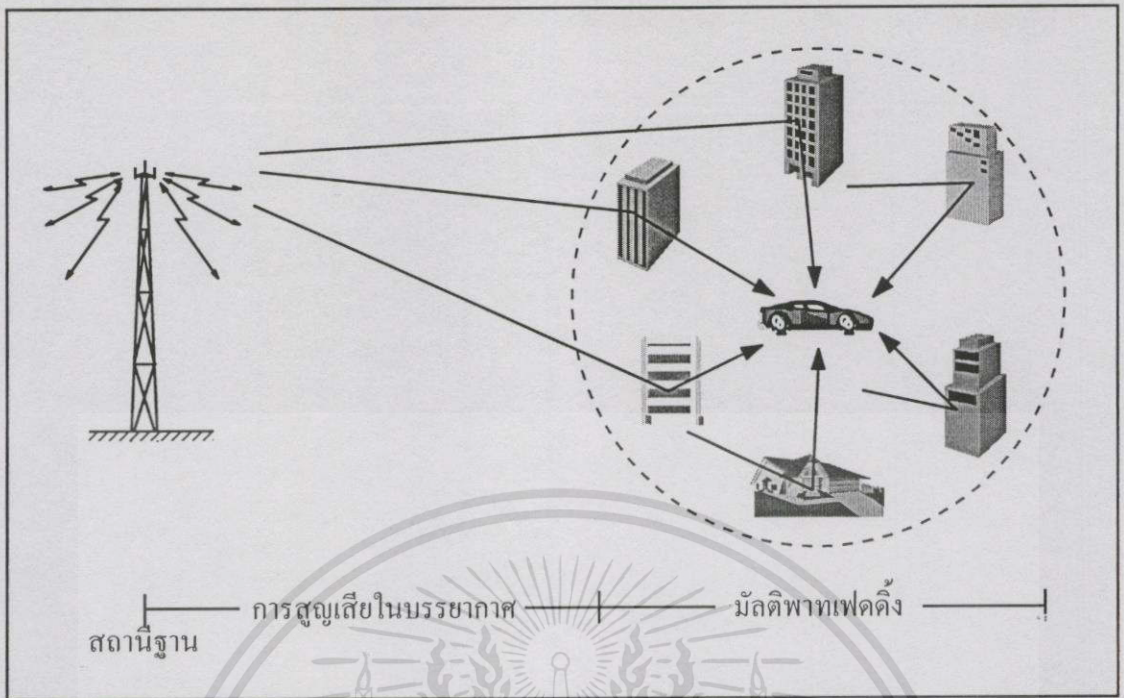
เมื่อเกิดการคอปเปลอร์ขึ้นสัญญาณที่รับได้เมื่อพิจารณาในรูปของเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$r(t) = P(t)e^{j[2\pi(f_c + f_d)t + \theta(t,a) + v(t)]} \quad (4.18)$$

โดยที่ $P(t)$ และ $v(t)$ คือแอมพลิจูดและเฟสของการกวัดแกว่ง (Amplitude and Phase Fluctuation) ของสัญญาณ f_c คือความถี่คลื่นพาห์และ f_d คือความถี่คอปเปลอร์ โดยขณะที่ $\theta(t,a)$ คือเฟสของข้อมูล (Information-Bearing Phase)

4.4 การกระจายคลื่นแบบเรย์ลีและรีเซียน (Rayleigh and Rician Distribution)

การเฟดคลิงแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading) [7] เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มัลติพาทเฟดคลิง (Multipath Fading) ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ลักษณะของคลื่นวิทยุที่รับได้จะประกอบไปด้วย คลื่นตรงและคลื่นที่สะท้อนออกมาจากตึกและบ้านเรือน ทำให้เกิดรูปแบบของคลื่นระนาบมีมากมายในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 คลื่นระนาบ (Standing Wave Pairs) เหล่านี้จะรวมกัน และทำให้เกิดรูปแบบโครงสร้างที่ไม่แน่นอนของคลื่นเฟดคลิง (Fading Wave) เมื่อเครื่องโทรศัพท์อยู่กับที่เครื่องรับก็จะรับเอาคลื่นที่จุดนั้นมา ดังนั้นสัญญาณที่ได้รับจะไม่คงที่เมื่อเครื่องโทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ไป การเฟดคลิงของคลื่นแบบต่างๆ จะเกิดขึ้น ซึ่งมันก็คือมัลติพาทเฟดคลิง (Multipath Fading) การเฟดคลิงจะเร็วขึ้นเมื่อพาหนะของเครื่องโทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น



รูปที่ 4.10 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่

เส้นทางสัญญาณตรง (LOS: Line Of Sight) คือ เส้นทางที่คลื่นส่งตรงถึงเครื่องรับได้โดยไม่มีสิ่งสูง-ต่ำบังหรือขวางกั้นหรือเส้นทางที่ปราศจากสิ่งกีดขวางสามารถลากเส้นตรงจากเครื่องส่งถึงเครื่องรับได้ หรือเรียกอีกอย่างว่า เส้นทางสัญญาณในแนวสายตา ในสภาพแวดล้อมของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั่นก็คือว่าไม่มีสภาพที่เป็น LOS หรือแนวสายตาเลย หรือถ้ามีก็น้อยมาก

เมื่อมีสภาพเส้นทางสัญญาณแนวสายตาเกิดขึ้น ค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะสูงขึ้นกว่าเดิมมากเหมือนกับว่าเข้าใกล้เครื่องส่งอีก 1 ไมล์ แม้ว่าค่าความชันของการสูญเสียเนื่องจากระยะทาง (Path Loss Slope) จะยังคงอยู่เหมือนเดิมก็ตาม โดยจะถูกสังเกตว่าเป็นการเฟดดิ้งแบบริเชียน (Ricean Fading) [7] ซึ่งเป็นผลมาจากผลการรวมของคลื่นแนวสายตาที่แรงๆ กับคลื่นที่สะท้อนจากพื้นดินรวมทั้งคลื่นอ่อนๆ มากมายที่สะท้อนมาจากอาคารต่างๆ

เมื่ออยู่ในสภาพที่เส้นทางสัญญาณมีสิ่งกีดขวาง (Out of Sight Condition) ลักษณะของความชันของการสูญเสียเนื่องจากระยะทาง (Path loss slope) ก็ยังคงเป็น 40 dB/dec อยู่ แต่อย่างไรก็ตามคลื่นสะท้อนทั้งหมดอันประกอบด้วยคลื่นสะท้อนจากพื้นดินและคลื่นที่สะท้อนจากอาคารต่างๆ จะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งจะพบว่าสัญญาณในช่วงสั้นๆ (Short Term Signal) ที่รับได้ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็คือ เรย์ลีเฟดดิ้ง (Rayleigh fading) ซึ่งเป็นการเฟดดิ้งที่รุนแรงที่สุด

4.4.1 การกระจายแบบเรย์ลีเฟดดิ้ง (Rayleigh Fading)

ในช่องสัญญาณวิทยุนั้น การกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution) เป็นการอธิบายในเชิงสถิติรวมกับของสัญญาณ Flat Fading หรือ เฉพาะส่วนของการมอดูเลชันเท่านั้น ซึ่งจะทำให้เรารู้ค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian Noise) ได้ง่ายขึ้น โดยใช้การกระจายแบบเรย์ลีดังรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงการกระจายแบบเรย์ลีของสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยที่การกระจายแบบเรย์ลีมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF: Probability Density Function) ดังนี้

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (4.19)$$

โดยที่ r คือค่าเฉลี่ย rms. ของแรงดันของสัญญาณรับได้ และ σ^2 คือกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ตลอดเส้นทาง ความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้จะไม่มากกว่าค่าของ r นั้นจะสอดคล้องกับฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF: Cumulative Distribution Function)

$$p(R) = p_r(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.20)$$

โดยหาค่าเฉลี่ย r_{mean} ของการกระจายแบบเรย์ลีได้จาก

$$r_{\text{mean}} = E[r] = \int_0^{\infty} r p(r) dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.2533 \sigma \quad (4.21)$$

และค่าความแปรปรวนของการกระจายแบบเรย์ลี σ_r^2 โดยสามารถหาได้จาก

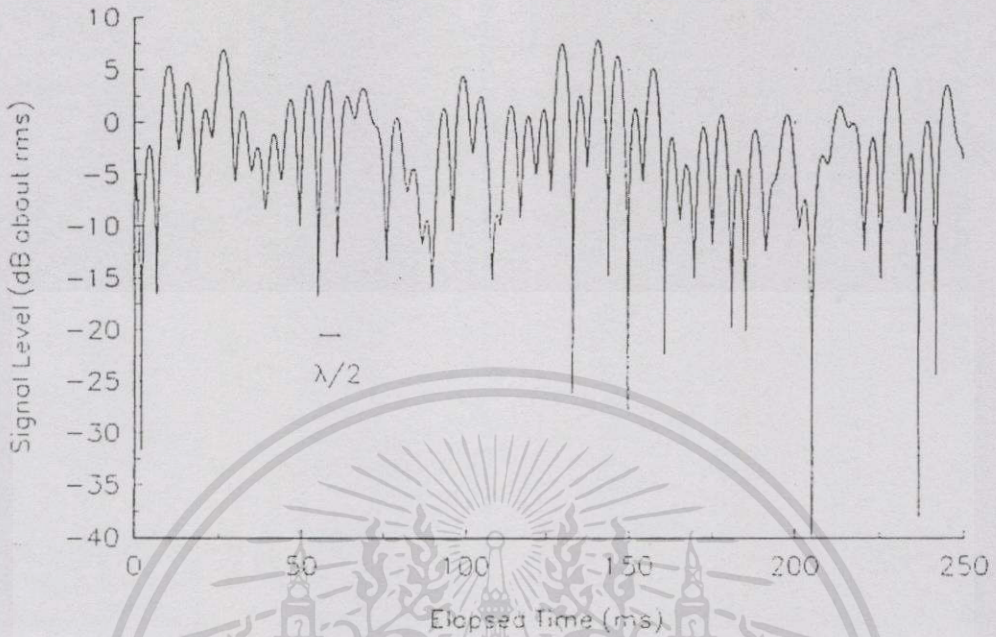
$$\begin{aligned} \sigma_r^2 &= E[r^2] - E^2[r] = \int_0^{\infty} r^2 p(r) dr - \frac{\sigma^2 \pi}{2} \\ &= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) = 0.4292 \sigma^2 \end{aligned} \quad (4.22)$$

ค่า rms ของสัญญาณคือค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ย หรือ $\sqrt{2}\sigma$ ดังนั้นเราจะได้ค่ามัธยฐานของ r

$$\frac{1}{2} = \int_0^{r_{\text{median}}} p(r) dr \quad (4.23)$$

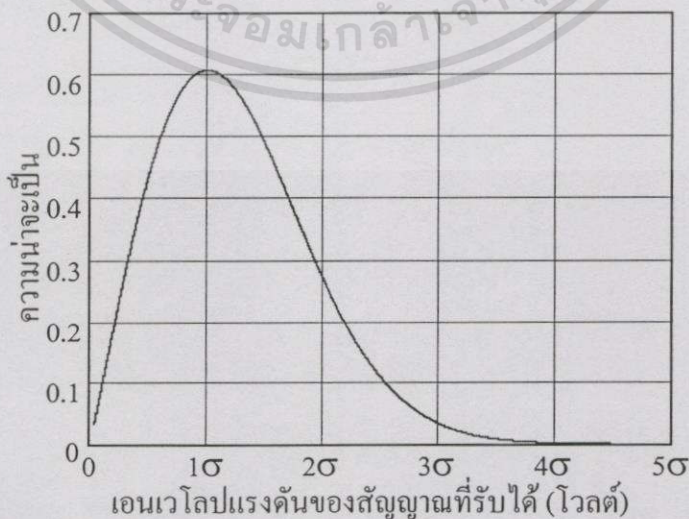
$$r_{\text{median}} = 1.177 \sigma \quad (4.24)$$

Typical simulated Rayleigh fading at the carrier
Receiver speed = 120 km/hr



รูปที่ 4.11 เอนVELOปของสัญญาณที่เฟดคิงแบบเรย์ลีที่ความถี่ 900 MHz

ดังนั้นค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของสัญญาณเรย์ลีเฟดคิงจะมีค่าต่างกันเพียง 0.55 dB มีบ่อยครั้งที่ในทางปฏิบัติเราต้องใช้ค่ามัธยฐาน เพราะปกติข้อมูลการเฟดคิงที่วัดได้จะมาจากภาคสนามซึ่งไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนได้ โดยจะใช้ค่ามัธยฐานแทนค่าเฉลี่ยเพราะง่ายที่เปรียบเทียบการกระจายของเฟดคิงที่แตกต่าง ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยนั้นกว้างมาก รูปที่ 4.12 แสดงค่า PDF ของการกระจายแบบเรย์ลี และจะได้ค่า CDF ดังภาพที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (PDF) ของการกระจายแบบเรย์ลี

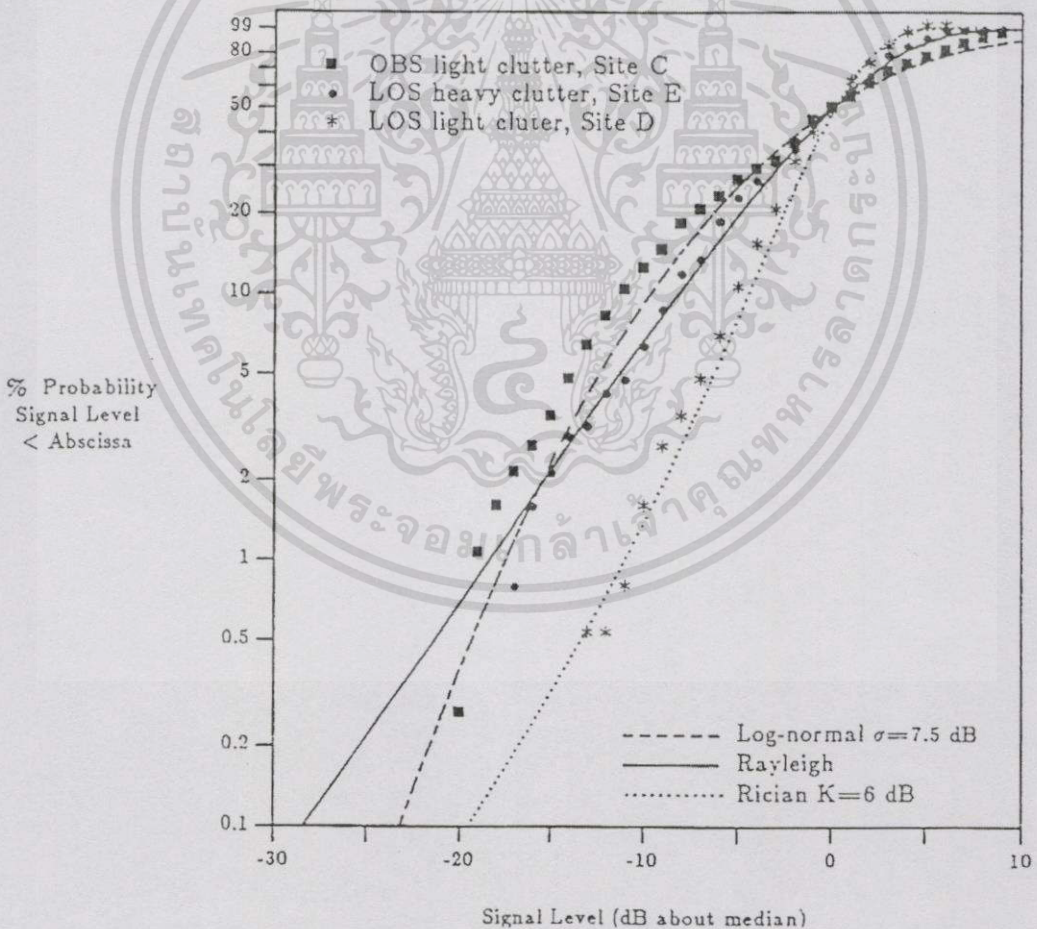
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การกระจายแบบรีเซียนเฟดดิ้ง (Rician Fading)

เมื่อสัญญาณมีส่วนของสัญญาณหลักที่มีค่าคงที่ (ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) เช่นเดียวกับการเดินทางของคลื่นในแนวสายตา เฟดดิ้งที่ได้จะมีการกระจายแบบรีเซียน สัญญาณมัลติพาทที่มามีถึงนั้น แต่ละสัญญาณจะมีทิศทางที่แตกต่างกันและมารวมกับสัญญาณที่มาในทิศทางหลัก สัญญาณทางด้านเครื่องรับมีผลกระทบจากการรวมกันโดยตรงของมัลติพาทแรนด้อม

ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับลักษณะของรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อน (Thermal Noise) ผลกระทบของสัญญาณหลักที่มามีถึงกับสัญญาณมัลติพาทที่อ่อนกว่าจำนวนมากจะทำให้การกระจายเป็นแบบรีเซียนสูงขึ้น ถ้าสัญญาณหลักกลายเป็นสัญญาณที่อ่อนลงทำให้สัญญาณมีค่าคล้ายคลึงกับสัญญาณรบกวน (Noise) ก็จะทำการกระจายบางส่วนเหมือนกับการกระจายแบบเรย์ลี ดังนั้นการกระจายแบบเรย์ลีกำเนิดมาจากการกระจายแบบรีเซียนถ้าสัญญาณในเส้นทางหลักมีค่าอ่อนมากๆ



รูปที่ 4.13 การกระจายของการเฟดดิ้ง 3 พื้นที่ที่ได้จากการวัด รวมทั้งการกระจายแบบเรย์ลีรีเซียนและลือกนอร์มอล

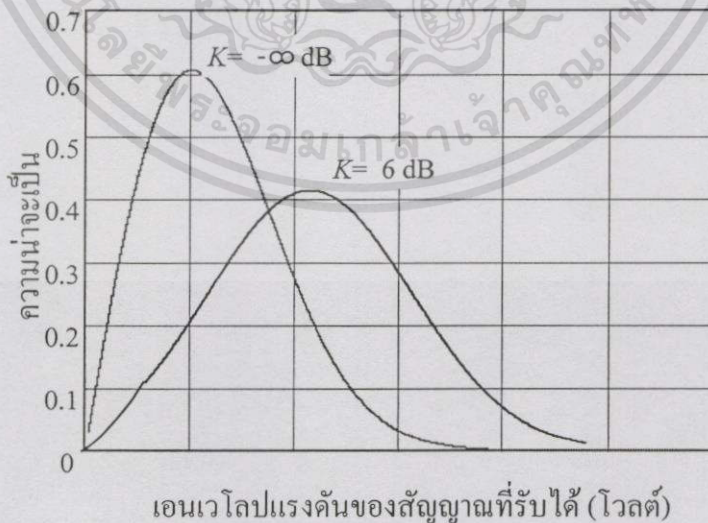
การกระจายแบบรีเซียนสามารถหาได้ดังนี้

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2+A^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & (A \geq 0, r \geq 0) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (4.25)$$

โดยที่ A คือค่าสูงสุดของสัญญาณที่มาจากเส้นทางหลักและ $I_0(\bullet)$ คือฟังก์ชันเบสเซล (Bessel Function) แบบดัดแปลงชนิดที่ 1 อันดับ 0 การกระจายแบบรีเซียน มีบ่อยครั้งที่เราอธิบายโดยใช้พารามิเตอร์ K ซึ่งหาได้จากสัดส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่วัดได้ต่อค่าความแปรปรวนของการมัลติพาท ซึ่งจะได้โดย $K = A^2/(2\sigma^2)$ หรือในเทอมของ dB จะได้

$$K(\text{dB}) = 10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (4.26)$$

โดยที่พารามิเตอร์ K คือ รีเซียนแฟกเตอร์ (Ricean Factor) และถ้าการกระจายแบบรีเซียนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ก็คือ A เข้าใกล้ศูนย์ K ก็จะเข้าใกล้ลบอนันต์ ($\rightarrow -\infty$) และถ้าสัญญาณจากเส้นทางหลักมีแอมพลิจูดลดลง การกระจายแบบรีเซียนก็จะกลายเป็นการกระจายแบบเรย์ลี ดังแสดงในรูปที่ 4.14 แสดงค่า PDF ของรีเซียน และค่า CDF ของรีเซียนเปรียบเทียบกับ CDF ของเรย์ลีแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการกระจายแบบรีเซียน โดยที่ $K = -\infty$ (เรย์ลี) และ $K = 6$ dB สำหรับ $K \gg 1$ ค่า PDF จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเกาส์ (Gaussian)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โมเดลสถิติของช่องสัญญาณที่เฟดถึงหลายทาง (Statistical Models for Multipath Fading Channel)

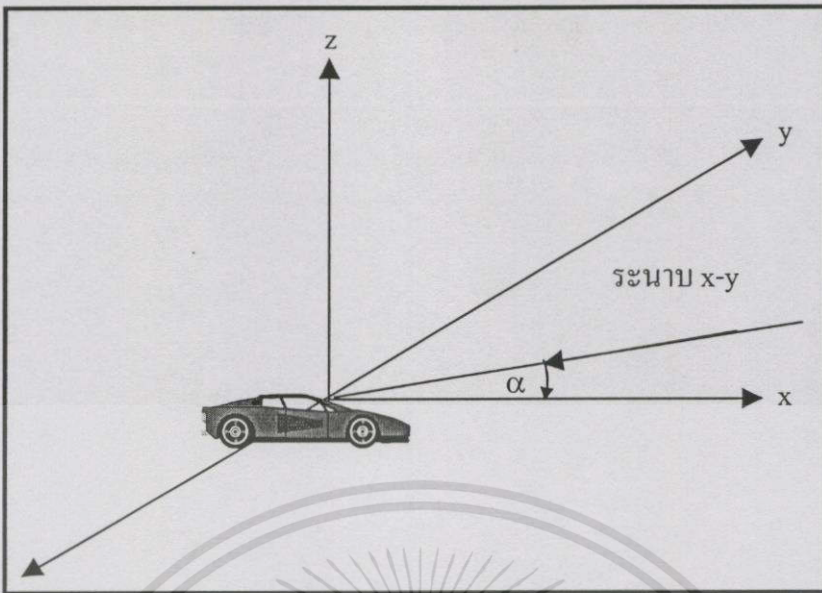
การวิเคราะห์การมัลติพาทของสัญญาณนั้น มีโมเดลในการวิเคราะห์ห้อยู่หลายแบบด้วยกัน โดยส่วนใหญ่เขียนแบบมาจากธรรมชาติของช่องสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โมเดลแรกที่จะกล่าวถึงคือ โมเดลของ Ossana ซึ่งขึ้นอยู่กับการแทรกสอดกันของคลื่นที่ส่งออกไปกับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากสิ่งก่อสร้างรอบๆ บริเวณนั้น แม้ว่า โมเดลของ Ossana จะมีการคาดการณ์รูปแบบ Flat Fading ได้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดในเขตชานเมืองก็ตาม ซึ่งในรูปแบบจะต้องกำหนดให้คลื่นที่เดินทางมานั้นมีเส้นทางหนึ่งที่ดินตรงจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับและมีการจำกัดพิสัยของมุมที่สะท้อนด้วย โมเดลของ Ossana ค่อนข้างจะไม่มี ความยืดหยุ่นต่อการใช้ และ ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในตัวของเมืองเพราะคลื่นจากทิศทางตรงนั้นไม่มี เนื่องจากถูกกั้นด้วยตึกและสิ่งก่อสร้าง หรือไม่ก็ถึงขวางกันอื่นๆ ส่วนโมเดลของ Clarke [7] นั้นเป็นรูปแบบที่ขึ้นอยู่กับ การกระจัดกระจาย (Scattering) และใช้ได้อย่างกว้างขวาง

4.5.1 โมเดลของ Clarke สำหรับเฟดถึง (Clarke's Model for Flat Fading)

Clarke ได้พัฒนาโมเดลโดยที่ใช้หลักคุณสมบัติเชิงสถิติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณที่รับได้จากการเคลื่อนที่ในพื้นที่ต่างๆ อย่างกระจัดกระจาย โดยโมเดลนี้กำหนดให้เครื่องส่งอยู่กับที่และส่งสัญญาณที่มีโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertically Polarized) สนามที่แพร่ออกไปจากสายอากาศมายังเครื่องโทรศัพท์จะกำหนดให้มี N ระนาบคลื่น (Plane wave) โดยที่เฟสและมุมของสัญญาณพาห้ที่มาถึงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่แน่นอน และให้คลื่นแต่ละตัวมีแอมพลิจูดที่เท่ากัน โดยการกำหนดให้แอมพลิจูดทุกตัวเท่ากับแอมพลิจูดเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้เหมือนกับความเป็นจริง เพราะจะไม่มีคลื่นตัวใดเลยที่มาจากเส้นทางตรง การกระจายของคลื่นมายังเครื่องรับจะประสบกับการลดทอนตามระยะทางที่คล้ายๆ กัน

รูปที่ 4.15 แสดงโคออร์เดเนตของระนาบคลื่นที่ส่งออกจากเครื่องโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ไปตามแกน X ให้ α คือมุมที่คลื่นมาถึงโดยวัดจากระนาบ X - Y ตามแนวการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ คลื่นทุกตัวที่แพร่มายังเครื่องรับนั้นจะเกิดการเลื่อนคอปเพลอร์เนื่องจากเครื่องรับมีการเคลื่อนที่ และคลื่นมาถึงเครื่องรับในเวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงกำหนดให้คลื่นแต่ละตัวที่มาถึงเครื่องรับใช้เวลาไม่มากกว่าดีเลย์ของการมัลติพาท (กำหนดให้เป็น Flat Fading) ถ้าให้คลื่นตัวที่ n มาถึงที่มุม α_n จากระนาบ X - Y ตามแนวการเคลื่อนที่ จะได้ความถี่คอปเพลอร์เท่ากับ

$$f_n = \frac{v}{\lambda} \cos \alpha_n \quad (4.27)$$



รูปที่ 4.15 ระนาบของคลื่นที่มีมุมของการมาถึงของคลื่นเป็นไปอย่างเรียด้อม

ระนาบของคลื่นที่มีโพลาไรซ์ในแนวตั้ง เมื่อเดินทางมาถึงเครื่องโทรศัพท์ที่มีสนาม E และ H

ดังนี้

$$E_z = E_0 \sum_{n=1}^N C_n \cos(2\pi f_c t + \theta_n) \quad (4.28)$$

$$H_x = -\frac{E_0}{\eta} \sum_{n=1}^N C_n \sin \alpha_n \cos(2\pi f_c t + \theta_n) \quad (4.29)$$

$$H_y = -\frac{E_0}{\eta} \sum_{n=1}^N C_n \cos \alpha_n \cos(2\pi f_c t + \theta_n) \quad (4.30)$$

โดยที่ E_0 คือแอมพลิจูดจริงของค่าเฉลี่ยสนาม E (กำหนดให้เป็นค่าคงที่) C_n คือตัวของค่าเรียด้อมจริงที่ใช้แทนแอมพลิจูดของคลื่นแต่ละตัว η คือความต้านทานอินทริเนติก (Intrinsic Impedance) ของบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 377 โอห์ม และ f_c คือความถี่ของคลื่นพาห์ เฟสเรียด้อมของสัญญาณที่มาถึงตัวที่ n คือ θ_n โดยหาค่าได้นี้

$$\theta_n = 2\pi f_c t + \phi_n \quad (4.31)$$

เมื่อให้แอมพลิจูดของสนาม E และ H คือค่าแอมพลิจูดของคลื่น ดังนั้นผลของค่าเฉลี่ยของ C_n คือ

ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{n=1}^N C_n^2 = 1 \quad (4.32)$$

การเลื่อนของคอปเปอเรอร์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความถี่ของคลื่นพาห้ มีส่วนประกอบของสนาม 3 อย่างที่อาจจะมีรูปแบบการกระจายเป็นแบบเร้นด้อมในช่วงแคบๆ ถ้า N มีค่ามากพอ ส่วนประกอบ E_z , H_x และ H_y สามารถจะประมาณได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบเกาส์เร้นด้อมมุมของเฟสจะถูกกำหนดให้มีรูปแบบของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่มีค่าอยู่ระหว่าง $0 - 2\sigma$ จากการวิเคราะห์โดยคนที่ชื่อไรซ์ (Rice) นั้นพบว่าสนาม E สามารถแสดงในรูปของเฟสตรงกันและ Quadrature ได้ดังสมการ

$$E_z = T_c(t) \cos(2\pi f_c t) - T_s(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (4.33)$$

โดยที่

$$T_c(t) = E_0 \sum_{n=1}^N C_n \cos(2\pi f_n t + \phi_n) \quad (4.34)$$

และ

$$T_s(t) = E_0 \sum_{n=1}^N C_n \sin(2\pi f_n t + \phi_n) \quad (4.35)$$

ทั้ง $T_c(t)$ และ $T_s(t)$ ก็จะถูกอยู่ในรูปแบบของเกาส์เร้นด้อม (Gaussian Random) โดย ณ ที่เวลา t ก็จะได้ T_c และ T_s ตามลำดับ ถ้า T_c และ T_s ไม่มีเกี่ยวข้องกับตัวแปรเกาส์เร้นด้อมที่เท่ากับศูนย์จะได้ค่าเท่ากับ

$$\overline{T_c^2} = \overline{T_s^2} = \overline{|E_z|^2} = \frac{E_0^2}{2} \quad (4.36)$$

โดยที่เครื่องหมายขีดข้างบนหมายความว่า เป็นค่าเฉลี่ย และส่วนสนาม E ที่รับได้คือ $E_z(t)$ โดยจะมีค่าเป็น

$$|E_z(t)| = \sqrt{T_c^2(t) + T_s^2(t)} = r(t) \quad (4.37)$$

เพราะ T_c และ T_s เป็นตัวแปรเกาส์เร้นด้อม ซึ่งสามารถแสดงการแปลงในรูปแบบของ Jacobean (Jacobean Transformation) โดยที่ส่วนของสัญญาณที่รับได้นั้นจะมีการกระจายแบบเรย์ลี ซึ่งจะได้ดังนี้

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (4.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่ } \sigma^2 = \frac{E_0^2}{2}$$

Gans ได้พัฒนาการวิเคราะห์สเปกตรัมของโมเดล Clarke โดยให้ $P(\alpha)d\alpha$ เป็นส่วนย่อยของกำลังทั้งหมดที่เข้ามา $d\alpha$ คือส่วนย่อยของมุม α และ A คือค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณที่รับได้ โดยใช้สายอากาศแบบรอบตัว (Isotropic Antenna) ถ้าให้ N เข้าใกล้อนันต์ $P(\alpha)d\alpha$ ประมาณว่าเป็นค่าที่ต่อเนื่อง เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสัญญาณที่ต่อเนื่องมากกว่าการไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ถ้าให้ $G(\alpha)$ คืออัตราขยายของสายอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มุมนั้นๆ ซึ่งก็คือส่วนของมุมที่คลื่นมาถึงกำลังทั้งหมดของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$p_r = \int_0^{2\pi} AG(\alpha)p(\alpha)d\alpha \quad (4.39)$$

โดยที่ $AG(\alpha)P(\alpha)d\alpha$ คือค่าดิฟเฟอเรนเชียลของกำลังสัญญาณที่รับได้ที่มุมนั้นๆ ซึ่งจะกระจายสัญญาณเป็น CW ที่มีควมถี่เท่ากับ f_c ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความถี่สัญญาณที่รับจากมุม α ในสมการที่ (4.27) จะได้ดังนี้

$$f(\alpha) = f = \frac{v}{\lambda} \cos(\alpha) + f_c = f_m \cos(\alpha) + f_c \quad (4.40)$$

โดยที่ f_m คือค่าความถี่ของการเคลื่อนที่ของดาวเทียมสูงสุด สังเกตได้ว่าความถี่เป็นฟังก์ชันของ α และ $f(\alpha) = f(-\alpha)$ ถ้า $S(f)$ เป็นกำลังของสัญญาณที่รับได้ ค่าดิฟเฟอเรนเชียลของกำลังที่รับได้ในเชิงความถี่จะได้เป็น

$$S(f)|df| \quad (4.41)$$

ค่าดิฟเฟอเรนเชียลของกำลังสัญญาณที่รับได้ที่อยู่ในเชิงความถี่จะเท่ากับค่าดิฟเฟอเรนเชียลของกำลังสัญญาณที่รับได้ที่อยู่ในเชิงมุม ดังนี้

$$S(f)|df| = A[p(\alpha)G(\alpha) + p(-\alpha)G(\alpha)] \cdot |d\alpha| \quad (4.42)$$

ทำการดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ (4.40) แล้วจัดเทอมใหม่จะได้

$$|df| = |d\alpha| \sin \alpha f_m \quad (4.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (4.40) สามารถหาค่า α ที่แทนด้วยฟังก์ชันของ f ดังสมการ

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{f - f_c}{f_m} \right] \quad (4.44)$$

และประยุกต์ได้เป็น

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m} \right)^2} \quad (4.45)$$

แทนสมการที่ (4.43) และ (4.45) เข้าไปในสมการที่ (4.42) ค่าความหนาแน่นของกำลัง $S(f)$ เป็นดังนี้

$$S(f) = \frac{A[p(\alpha)G(\alpha) + p(-\alpha)G(\alpha)]}{f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m} \right)^2}} \quad (4.46)$$

โดยที่

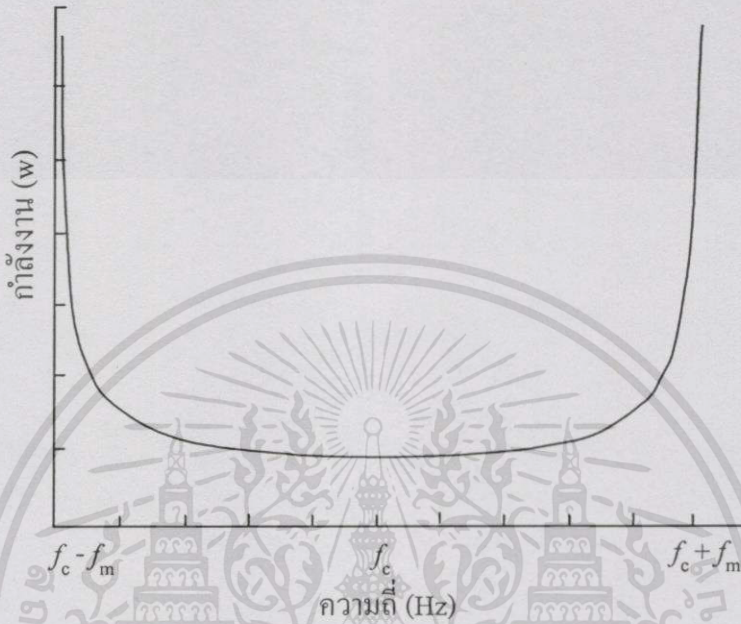
$$S(f) = 0 \quad |f - f_c| > f_m \quad (4.47)$$

สเปกตรัมจะมีความถี่ศูนย์กลางคือความถี่พาห้และจะมีการแพร่ออกไปตาม $f_c \pm f_m$ คลื่นแต่ละตัวที่มาถึงจะมีความถี่พาห้เฉพาะของตัวเอง ซึ่งจะมีค่าแตกต่างจากความถี่พาห้ศูนย์กลางสำหรับสายอากาศโมโนโพลที่ยาว $\lambda/2$ ที่อยู่ในแนวตั้ง (มีอัตราขยายของสายอากาศ $G(\alpha)$ เท่ากับ 1.5) และมีการกระจายอย่างมีรูปแบบ $p(\alpha) = 1/2\pi$ โดยที่มุมมีค่า 0 ถึง 2π ซึ่งจะได้เอาที่ทุกสเปกตรัมดังสมการ

$$S_{E_1}(f) = \frac{1.5}{\pi \cdot f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m} \right)^2}} \quad (4.48)$$

ในสมการที่ (4.48) ค่าสเปกตรัมความหนาแน่นของกำลังที่แผ่ออกจากศูนย์กลางที่ $f = f_c \pm f_m$ ไม่สามารถหาขอบเขตที่แน่นอนได้ การมาถึงของคลื่นคอปเปลอร์นั้นจะอยู่ในช่วง 0° และ 180° ซึ่งมีขอบเขตที่แน่นอนแต่สเปกตรัมความหนาแน่นของกำลังมีขอบเขตที่ไม่แน่นอนซึ่งก็ไม่เป็นปัญหาอะไร เพราะ α มีการกระจายอย่างต่อเนื่องและความน่าจะเป็นของสัญญาณที่เข้ามา นั้นจะมีมุมแน่นอนมีค่าเป็นศูนย์

รูปที่ 4.16 แสดงผลของสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสัญญาณ RF (Radio Frequency) ที่เกิดการคอปเปอเรเตอร์เฟดดิ้ง สมิต (Smith) ได้แสดงวิธีการซิมูเลทโมเดลของ Clarke อย่างง่ายโดยใช้คอมพิวเตอร์ซิมูเลท ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 4.5.2

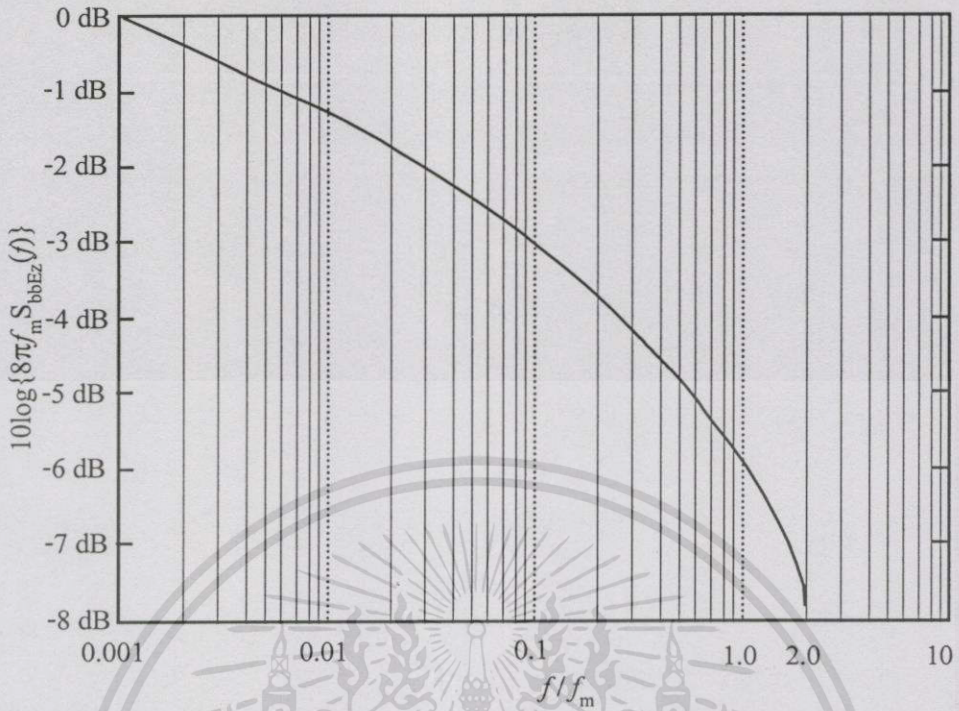


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมกำลังของคอปเปอเรเตอร์ที่ได้จากการซิมูเลท CW

หลังจากที่ตรวจสัญญาณที่มาจากเครื่องคอปเปอเรเตอร์ พบว่าสเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์มีความถี่มากที่สุดเท่ากับ $2f_m$ โดยสามารถแสดงค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสัญญาณเบสแบนด์ดังนี้

$$S_{bbE_z}(f) = \frac{1}{8\pi f_m} K \left[\sqrt{1 - \left(\frac{f}{2f_m}\right)^2} \right] \quad (4.49)$$

โดยที่ $K[\bullet]$ คือค่าความโค้งอันดับแรก สมการที่ (4.49) เป็นสมการที่ไม่ได้สร้างขึ้นเองโดยธรรมชาติ คือเป็นผลที่ได้จากความสัมพันธ์ตามความเป็นจริงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งพบว่าสัญญาณไม่เป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เป็นสเปกตรัมที่รับได้ของสัญญาณเบสแบนด์ ลักษณะของสเปกตรัมของการกระจายคอปเปอเรเตอร์หาได้จากรูปคลื่นของการเฟดดิ้งในเชิงเวลา กำหนดความสัมพันธ์และลักษณะการจางหายของสัญญาณตามความเป็นจริง ในการซิมูเลทเรย์ลีเฟดดิ้งต้องใช้สเปกตรัมของการเฟดดิ้งดังสมการที่ (4.48) ซึ่งจะช่วยให้ได้รูปคลื่นที่เฟดดิ้งตามความสัมพันธ์ในเชิง



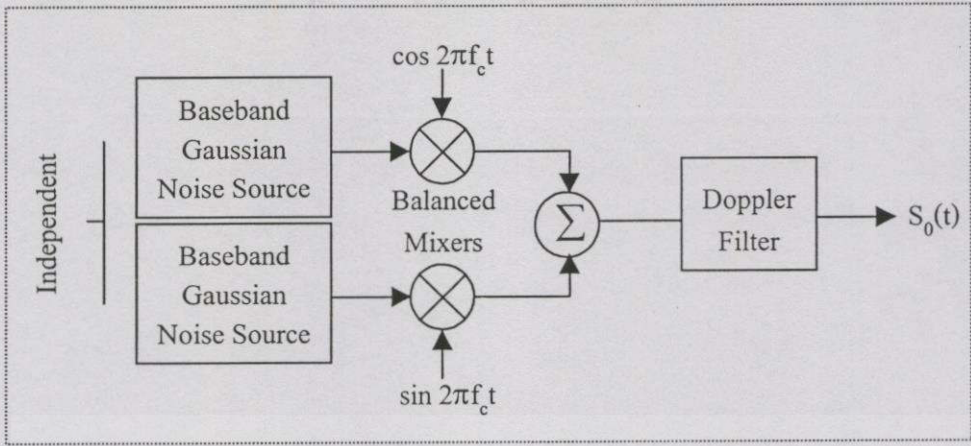
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสัญญาณเบสแบนด์ของคลื่น CW คอปเปลอร์ที่ได้จากการวัด

4.5.2 การจำลองของโมเดลเฟดดิ้งของ Clarke และ Gans (Simulation of Clarke and Gans Fading Model)

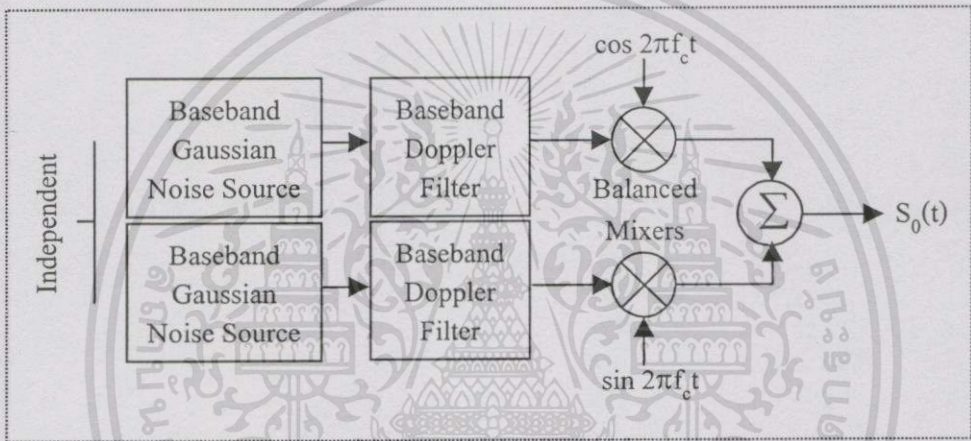
ปกติการการซิมูเลทของสัญญาณที่เกิดมัลติพาทเฟดดิ้งโดยใช้ฮาร์ดแวร์ (Hardware) หรือซอฟต์แวร์ (Software) นั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก วิธีการซิมูเลทที่นิยมส่วนใหญ่จะใช้หลักการมอดูเลทแบบเฟสตรงกัน (In-Phase) และ Quadrature ลักษณะของสัญญาณที่จะใช้ซิมูเลทจะต้องมีสเปกตรัมและคุณสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับสัญญาณที่ได้จากการวัด

ในรูปที่ 4.18 แสดงแหล่งกำเนิด 2 แหล่งที่เป็นอิสระต่อกันและมีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ต่ำ ซึ่งแหล่งกำเนิดนี้ใช้สร้างสัญญาณเฟดดิ้งในลักษณะเฟสตรงกันและ Quadrature แหล่งกำเนิดแบบเกาส์แต่ละตัวจะมีรูปแบบมาจากการรวมเอาตัวแปรแบบเกาส์แรนด้อมที่อิสระต่อกัน 2 ตัวมาออร์โทโกนอล (Orthogonal) กัน (เช่น $g = a + jb$ โดยที่ a และ b คือตัวแปรค่าจริงแบบเกาส์แรนด้อม และ g คือเกาส์เชิงซ้อน (Complex Gaussian)) โดยการใช้สเปกตรัมฟิลเตอร์ (Spectrum Filter) เป็นดังสมการที่ (4.48) ซึ่งเป็นลักษณะของสัญญาณแรนด้อมที่อยู่ในเชิงความถี่ (Frequency Domain) ความแม่นยำของการหารูปคลื่นของสัญญาณเฟดดิ้งแบบคอปเปลอร์สามารถหาได้โดยการทำอินเวิร์สฟาสต์ฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม (IFFT: Inverse Fast Fourier Transform) ที่ขั้นตอนสุดท้ายของการซิมูเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

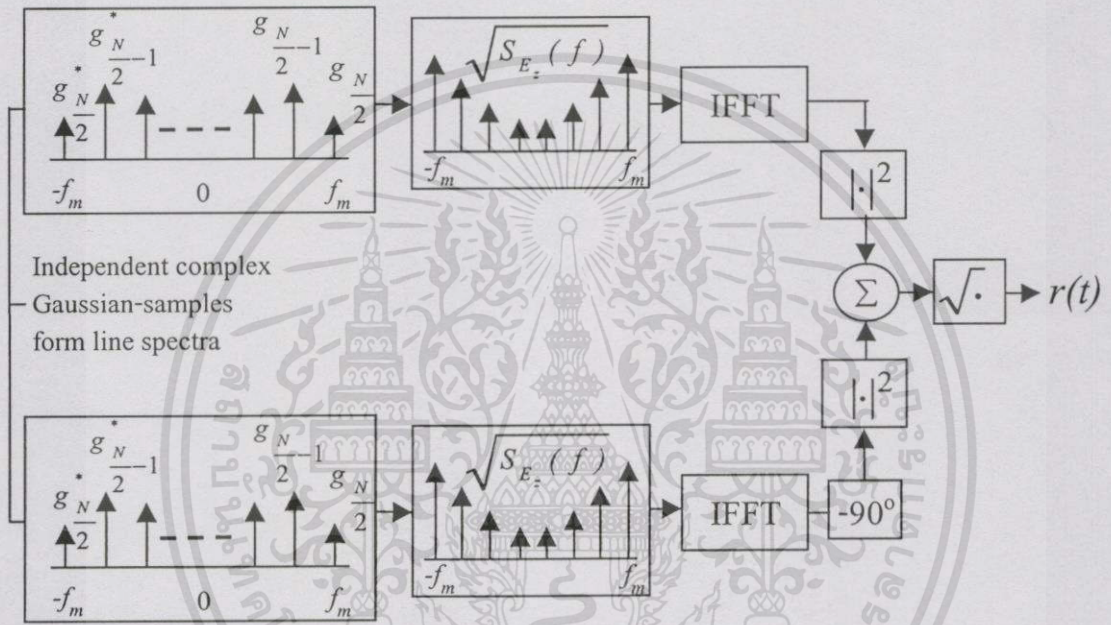
รูปที่ 4.18 การซิมมูลเตโดยใช้ Quadrature amplitude modulation

(a) RF Doppler shift และ

(b) baseband Doppler filter

สมิทได้แสดงโปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่างง่ายโดยที่จัดโคอะแกรมตามรูปที่ 4.18(b) วิธีของเขาได้ใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบเกาส์เชิงซ้อนเรณด้อม (โดยเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน) สร้างสัญญาณเบสแบนด์ที่เป็นเส้นสเปกตรัม โดยให้แถบความถี่เอียงไปทางด้านบวก ค่าความถี่สูงสุดของเส้นสเปกตรัมเท่ากับ f_m การใช้คุณสมบัติของสัญญาณจริง ความถี่ทางด้านลบจะถูกสร้างขึ้นจากการคอนจูเกต (Conjugate) ค่าของเกาส์เชิงซ้อนที่ได้จากความถี่ทางด้านบวก สังเกตว่าการทำ IFFT ของสัญญาณนี้คือค่าจริงของเกาส์เรณด้อมที่อยู่ในเชิงของเวลา (Time Domain) โดยจะใช้ Quadrature เพียงด้านเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ค่าเรณด้อมของเส้นสเปกตรัมจะมีหลายเส้น ซึ่งเกิดจากความถี่ที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ของ $\sqrt{S_{E_z}(f)}$ โดยมีจำนวนของจุดเหมือนกับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน จากกรณีนี้ให้ยึดถือสมการที่ (4.48) เป็นหลัก สมมติให้ขอบของแบนด์พาสเป็นอนันต์ สมิทได้ตัดค่าของ $S_{E_z}(f_m)$ โดยคำนวณความชันของฟังก์ชันของความถี่ตัวอย่างตั้งแต่ขอบ

บนของแบนด์พาสและขยายไปที่ความชันของขอบสุดท้ายแบนด์พาส โดยใช้การซิมมูลเททในลักษณะรูปที่ 4.18 ซึ่งปกติจะทำในเชิงความถี่ การใช้แถบเส้นแบบเกาส์เชิงซ้อนจะเป็นประโยชน์ โดยจะทำให้สมการที่ (4.48) ง่ายขึ้น ทำให้ส่วนประกอบของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ที่มีความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Gaussian Noise) มีการเรียงตามลำดับของความถี่ (เส้นสเปกตรัมจาก $-f_m$ จนถึง $+f_m$) ตามความจริง ซึ่งระยะห่างของแต่ละพัลส์จะเท่ากันและมีน้ำหนักของแต่ละพัลส์เป็นแบบเกาส์ แรนด้อม ลักษณะการซิมมูลเททของสมิทแสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 รูปแบบของสัญญาณในเชิงความถี่ของการซิมมูลเททการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์ของสัญญาณเบสแบนด์

ผลการซิมมูลเททที่แสดงในรูป 4.19 มีขั้นตอนดังนี้

1. จำนวนของความถี่หลักที่ใช้คือ N โดยแทนด้วย $\sqrt{S_{E_z}(f)}$ และการเลื่อนความถี่คอปเพลอร์สูงสุดคือ f_m โดยค่าที่ใช้ปกติ N เท่ากับ 2
2. การคำนวณช่วงความถี่ระหว่างเส้นสเปกตรัมที่อยู่ติดกันจะเป็น $\Delta f = 2f_m/(N-1)$ โดยช่วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นเท่ากับ $T = 1/\Delta f$
3. สร้างตัวแปรแบบเกาส์เชิงซ้อนแรนด้อมของแต่ละตัวที่ตำแหน่ง $N/2$ ทางความถี่ที่เป็นบวกของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน
4. สร้างความถี่ทางด้านลบของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยการคอนจูเกตจากค่าความถี่ทางด้านบวกและกำหนดให้ค่าที่ได้นี้เป็นค่าความถี่ทางด้านลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

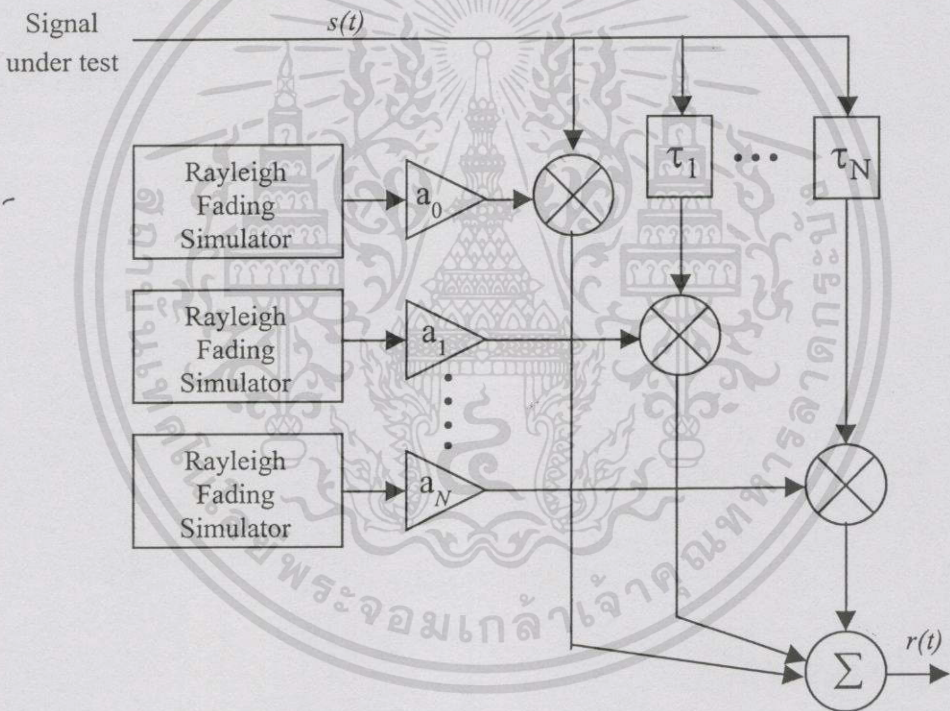
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เพิ่มจำนวนแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแบบที่มีเฟสตรงกันและแบบ Quadrature โดยใช้สเปกตรัมเฟดคิง $\sqrt{S_{E_z}(f)}$

6. ทำการ IFFT ผลของสัญญาณที่อยู่ในรูปเชิงความถี่จากเฟสตรงกันและ Quadrature Arms และคำนวณหาผลรวมของกำลังสองของสัญญาณแต่ละตัว

7. ทำกราฟที่สองของผลรวมที่ได้จากข้อที่ 6 โดยทำทั้ง N จุด ตามลำดับเวลาของการชิมมูเลทสัญญาณเฟดคิงแบบเรย์ลี ซึ่งทำให้การกระจายของคอปเปอเรอร์และสหสัมพันธ์เวลา (Doppler Spread and Time Correlation) เป็นไปอย่างถูกต้อง

การชิมมูเลทการเฟดคิงแบบเรย์ลีหลายตัวอาจจะใช้วิธีการคอนจูเกตโดยแปรอัตราขยายและเวลาดีเลย์เพื่อสร้างผลกระทบจาก Frequency Selective Fading ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 บล็อกไดอะแกรมของการชิมมูเลท

4.5.3 ระดับการครอสซิงและสถิติการเฟดคิง (Level Crossing and Fading Statistics)

ไรซ์ (Rice) ได้ใช้วิธีการทางสถิติต่างๆ ซึ่งก็มีปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่คล้ายกับโมเดลการเฟดคิงของ Clarke และ ด้วยเหตุนี้ จึงหาวิธีอย่างง่าย ๆ โดยแสดงการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวน Level Crossing และช่วงเวลาของการจางหาย (Duration of Fades) โดยที่ค่าอัตราการครอสซิง (LCR: Level Crossing Rate) และค่าเฉลี่ยเวลาในการจางหาย (Average Fade Duration) ของสัญญาณที่เฟดคิงแบบเรย์ลี เป็นสองพารามิเตอร์ที่สำคัญในเชิงสถิติ โดยจะมีประโยชน์ต่อการออกแบบควบคุมความผิดพลาดของรหัสและวิธีไดเวอร์ซิตี (Diversity) ที่ใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

เพราะในระบบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเวลาอยู่ตลอดเวลา ทำให้สัญญาณที่รับได้ขึ้นอยู่กับระดับสัญญาณและความเร็วของการเคลื่อนที่

ค่า LCR คือ อัตราที่เราคาดว่าจะเกิดการ Level Crossing ซึ่งเป็นส่วนของการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี ค่าระดับสัญญาณจะถูกทำนอร์มอลไลซ์โดยค่าเฉลี่ย rms ของระดับสัญญาณ คุณลักษณะของการครอสจะมีทิศทางทางด้านบวก จำนวนของ Level Crossing ต่อวินาทีสามารถหาได้จาก

$$N_R = \int_0^{\infty} \dot{r} \cdot p(R, \dot{r}) \cdot d\dot{r} = \sqrt{2\pi} f_m \rho \cdot e^{-\rho^2} \quad (4.50)$$

โดยที่ \dot{r} คือเวลาที่แยกออกมาของ $r(t)$ $p(R, \dot{r})$ การรวมกันของฟังก์ชันความหนาแน่นของ r และ \dot{r} ที่ $r = R$ f_m คือค่าความถี่สูงสุดของการคอปเปลอร์ และ $\rho = R/R_{rms}$ คือค่าคุณสมบัติของ R สมการที่ (4.50) นั้นค่าของ N_R คือจำนวนเฉลี่ยของ Level Crossing ต่อวินาทีเฉพาะของ R อัตรา Level Crossing เป็นฟังก์ชันกับความเร็วในการเคลื่อนที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีเฟดเดอร์ f_m ที่อยู่ในสมการที่ (4.50) มีการ Crossing เพียงเล็กน้อยที่ระดับต่ำและสูง โดยที่ค่าสูงสุดจะเกิดที่ $\rho = 1/\sqrt{2}$ (เช่นที่ 3 dB ต่ำกว่าค่าระดับค่าเฉลี่ย rms) สัญญาณที่มีการจางหายมากๆ จะเกิดขึ้นเป็นบางครั้ง บางคราวเท่านั้น แต่การจางหายที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจะเกิดขึ้นบ่อยมาก

ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาการจางหาย (Average Fade Duration) คือค่าเฉลี่ยของคาบเวลาของระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำกว่าระดับ R สำหรับสัญญาณที่เกิดการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีจะหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาการจางหาย ดังนี้

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N_R} p_r[r \leq R] \quad (4.51)$$

โดยที่ $p_r[r \leq R]$ คือความน่าจะเป็นโดยที่สัญญาณที่รับได้ r มีค่าน้อยกว่า R ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$p_r[r \leq R] = \frac{1}{T} \sum_i \tau_i \quad (4.52)$$

โดยที่ τ_i คือช่วงเวลาของการจางหาย และ T คือช่วงเวลาของการสังเกตการเฟดดิ้งของสัญญาณ ความน่าจะเป็นที่สัญญาณที่รับได้ r จะมีค่าน้อยกว่าค่าเทรสโฮล R จะหาได้จากกรกระจายแบบเรย์ลีดังนี้

$$p_r[r \leq R] = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp(-\rho^2) \quad (4.53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $p(r)$ คือค่า PDF ของการกระจายแบบเรย์ลี ดังนั้น จากการใช้สมการที่ (4.50) (4.51) และ (4.53) จะได้ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาการจางหายเป็นฟังก์ชันของ ρ และ f_m สามารถหาได้ดังนี้

$$\bar{\tau} = \frac{e^{\rho^2} - 1}{\rho \cdot f_m \sqrt{2\pi}} 4.84 \quad (4.54)$$

ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เกิดการจางหายของสัญญาณจะเป็นตัวช่วยในการพิจารณาจำนวนของบิตสัญญาณที่อาจจะเกิดการผิดพลาดในช่วงของสัญญาณที่เกิดการจางหาย ค่าเฉลี่ยของช่วงการจางหายจะขึ้นกับความเร็วของการเคลื่อนที่ และจะลดลงเมื่อค่าความถี่ของการดอปเปลอร์ f_m มีค่ามากๆ ถ้าในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่มีการชดเชยการจางหายของสัญญาณ ในการหาประสิทธิภาพของเครื่องรับจะทำได้โดยการพิจารณาสัญญาณอินพุตที่มีค่าต่ำกว่าระดับของ R และต่ำกว่าเป็นเวลานานๆ ซึ่งผลที่ได้จะมีประโยชน์สำหรับช่วงที่ SNR (Signal to Noise Ratio) มีค่าลดลงก็จะทำให้เกิดอัตราบิตผิดพลาดเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด

4.5.4 โมเดลทู-เรย์แบบเรย์ลีเฟดดิ้ง (Two-ray Rayleigh Fading Model)

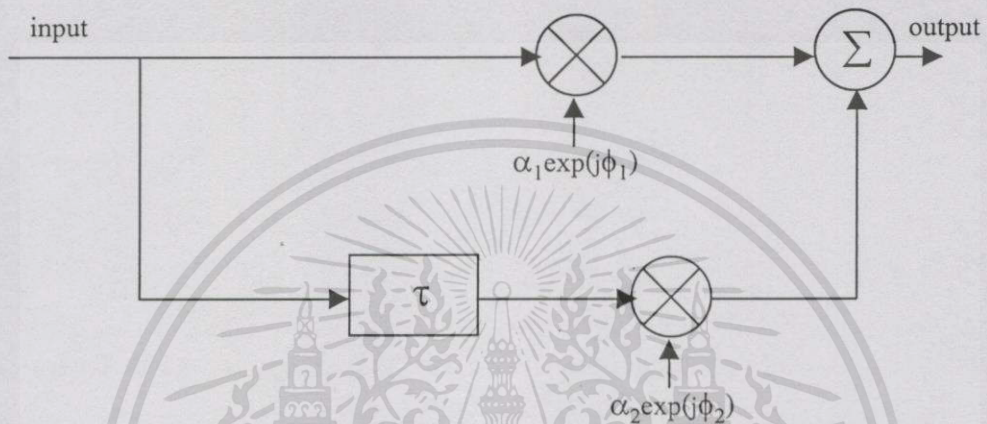
โมเดลของ Clarke และสถิติของการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีนั้นเป็นเงื่อนไขที่พิจารณา Flat Fading ซึ่งไม่ได้พิจารณาเวลาเฉลี่ยของการมัลติพาทเลย ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สมัยใหม่นั้น มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาโมเดลผลกระทบที่เกิดจากการกระจายดีเลย์ของการมัลติพาท ปกติการใช้โมเดลการมัลติพาทนั้นจะไม่เกี่ยวข้องกับโมเดลของเรย์ลีเฟดดิ้งแบบ 2 Ray (โดยที่รูปแบบการซิมมูล์ทั่วไบนั้นจะเป็นดังรูปที่ 4.20) รูปที่ 4.21 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโมเดล 2 Ray ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับโมเดลของช่องสัญญาณการเฟดดิ้งแบบเรย์ลี การตอบสนองของพัลส์ของโมเดลนี้แสดงได้ดังนี้

$$h_b(t) = \alpha_1 \exp(j\phi_1) \delta(t) + \alpha_2 \exp(j\phi_2) \delta(t - \tau) \quad (4.55)$$

โดยที่ α_1 และ α_2 คือค่าที่อิสระต่อกัน และมีการกระจายแบบเรย์ลี ϕ_1 และ ϕ_2 คือค่าที่อิสระต่อกัน และเป็นการกระจายในลักษณะที่ไม่มีรูปแบบคืออยู่ในช่วง $[0-2\pi]$ และ τ คือเวลาดีเลย์ระหว่าง 2 Ray โดยถ้าให้ α_2 เท่ากับศูนย์ ก็จะเป็นกรณีพิเศษที่ช่องสัญญาณเกิด Flat Rayleigh Fading โดยจะได้เป็น

$$h_b(t) = \alpha_1 \exp(j\phi_1) \delta(t) \quad (4.56)$$

โดยที่ การแปรค่า τ นั้นเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดผลกระทบของ Frequency Selective Fading ในช่วงกว้าง โดยการกำเนิดรูปคลื่นที่เป็นอิสระต่อกัน 2 คลื่น จะเป็นการรับรองความสัมพันธ์และคุณสมบัติของตัวแปรเรย์ลีแบบแรนด้อม α_1 และ α_2 ว่าเป็นอิสระจากกัน โดยผลที่ได้จากการทำอินเวอร์สฟูริเยร์ทรานฟอร์ม (inverse Fourier Transform) ของสเปกตรัมได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.5.2 แล้ว



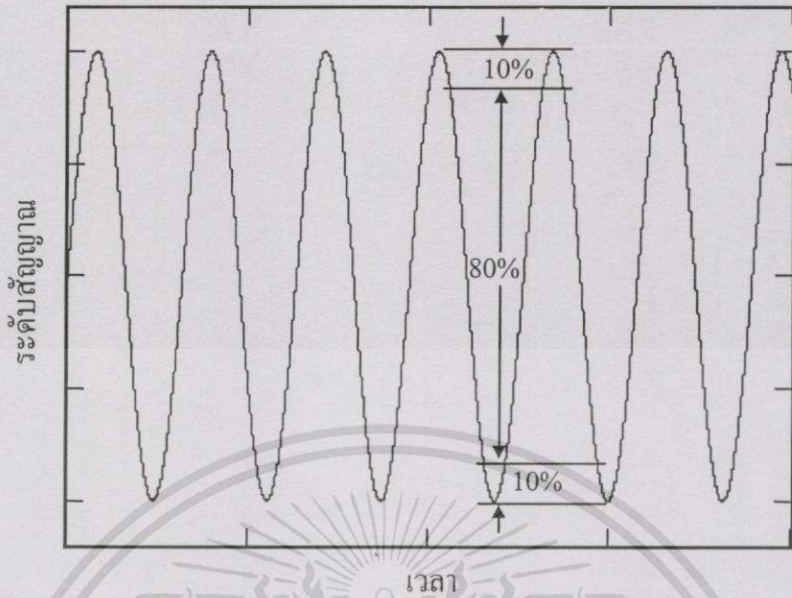
รูปที่ 4.21 โมเดลของ Two-Ray Rayleigh Fading

การหาค่าเฟดดิ้งและผลกระทบจากการเฟดดิ้งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที

ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น เป็นระบบโทรศัพท์ที่มีการให้บริการในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลแล้ว การให้บริการในพื้นที่สาธาณะนั้น ได้มีการติดตั้งเซลล์สเตชันที่เสาไฟฟ้าตามท้องถนนสายต่างๆ ทั้งทั้งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยติดตั้งสูงจากพื้นประมาณ 4.5 เมตร ซึ่งเป็นความสูงที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนด เซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีทีมีขนาดเล็ก ตัวสเตชันและสายอากาศจะติดตั้งอยู่ด้วยกัน ดังนั้นสายอากาศจะมีความสูงที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับสายอากาศของสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ความสูงของสายอากาศของเซลล์สเตชันจึงมีระดับที่ต่ำกว่าสิ่งกีดขวางที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง เช่น อาคาร ตึก เป็นต้น ซึ่งเป็นผลให้สัญญาณของโทรศัพท์มีการลดทอนและเกิดการเฟดดิ้งของสัญญาณมาก โดยการลดทอนและการเฟดดิ้งของสัญญาณส่วนใหญ่ก็มาจากสิ่งกีดขวางต่างๆ ที่อยู่บริเวณเครื่องโทรศัพท์ รถยนต์ก็เป็นสิ่งกีดขวางสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้สัญญาณมีการเฟดดิ้งมาก ยิ่งในบริเวณที่มีรถยนต์จำนวนมากๆ แล้ว สัญญาณก็ยิ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงมากตามไปด้วย ดังนั้นสภาพการจราจรจึงนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเฟดดิ้งของสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที

5.1 การหาค่าการเฟดดิ้ง

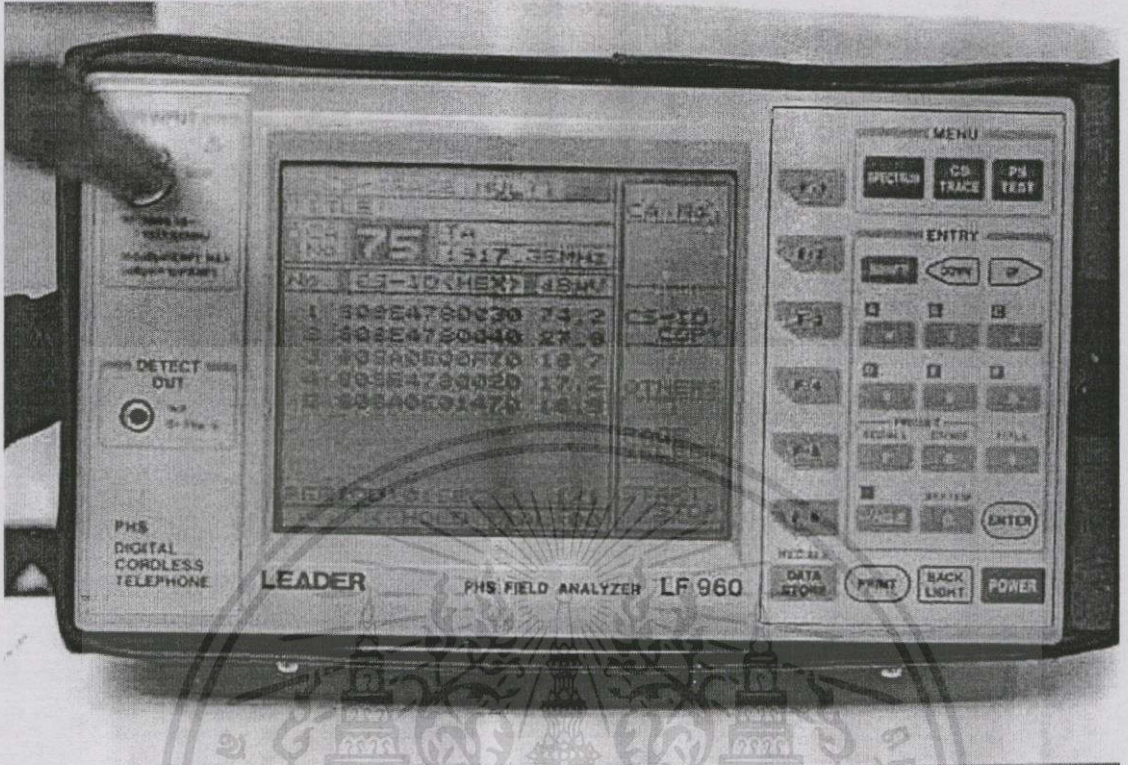
การเฟดดิ้งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นการเฟดดิ้งในลักษณะที่ไม่มีรูปแบบโดยการเฟดดิ้งของสัญญาณนั้นจะเป็นเพียงการเฟดดิ้งระยะสั้นเท่านั้น เนื่องจากระบบโทรศัพท์ชนิดนี้ใช้กำลังส่งสัญญาณที่ต่ำ โดยในพื้นที่สาธาณะใช้เซลล์สเตชันที่มีกำลังส่งเพียง 20 มิลลิวัตต์ และ 200 มิลลิวัตต์ เท่านั้น ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กทำให้คลื่นแพร่กระจายเดินทางไปได้ไม่ไกล ดังนั้นจึงไม่มีคลื่นสะท้อนจากระยะไกลเข้ามาที่เครื่องรับ ทำให้ระบบไม่มีการเฟดดิ้งระยะยาว ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงพิจารณาเฉพาะการเฟดดิ้งระยะสั้นเท่านั้น ในการหาค่าเฟดดิ้งของสัญญาณสามารถหาได้จากรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยรูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ตามเวลา ดังนั้นในการหาค่าเฟดดิ้งจะต้องตัดค่าระดับสัญญาณสูงสุดและต่ำสุดออกข้างละ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าการเฟดดิ้งจะคิดเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณสูงสุดลบด้วยสัญญาณต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เป็นการแสดงวิธีการคำนวณหาค่าเฟดดิ้งของสัญญาณที่ได้จากรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา



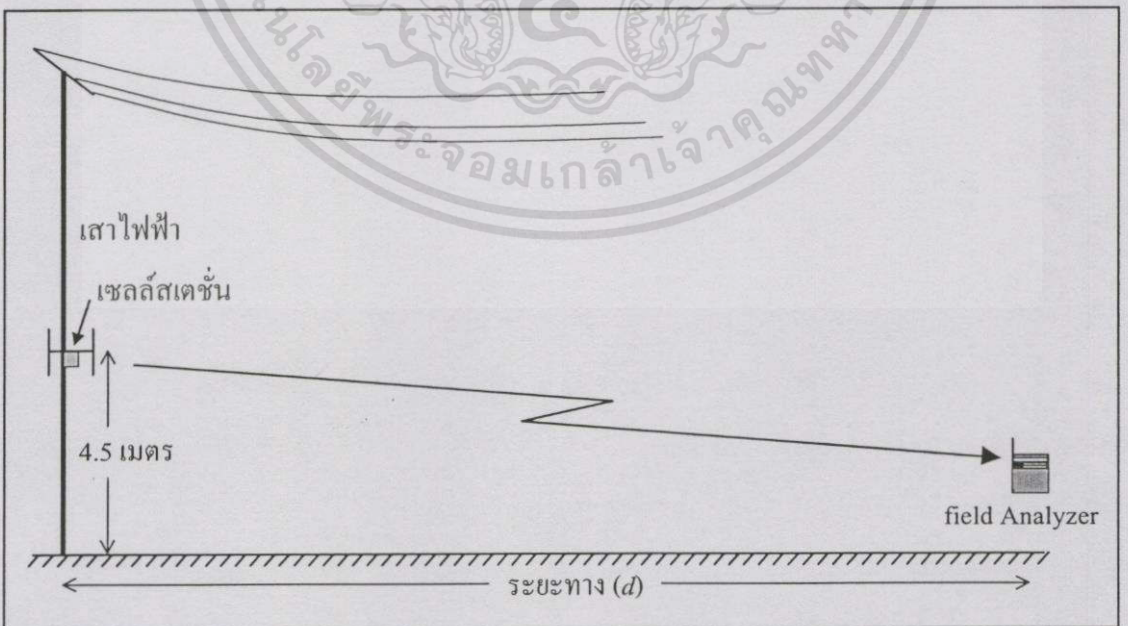
รูปที่ 5.1 การหาค่าเฟดดิ้งของสัญญาณ

5.1.1 การวัดค่าการเฟดดิ้ง

ในการวัดค่าการเฟดดิ้งนั้น วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ใช้เครื่องวัดระดับสัญญาณในจุดต่างๆ โดยทำการสุ่มวัดจากพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการทดลองวัดสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีโดยใช้เครื่องวัดชื่อ FIELD ANALYER โมเดล LF960 ยี่ห้อ LEADER ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าแสดงหน่วยในการวัดเป็น $\text{dB}\mu\text{V}$ การทดลองนี้ได้วัดระดับสัญญาณของช่องควบคุม คือ ช่องความถี่ที่ 75 ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 1917.35 MHz และรูปแบบของการวัดแสดงดังรูปที่ 5.3 โดยถ้าเซลล์สเตชันมีขนาด 200 มิลลิวัตต์ จะวัดห่างจากเซลล์เป็นระยะประมาณ 280 เมตร และเซลล์สเตชันมีขนาด 20 มิลลิวัตต์ ทำการวัดห่างจากเซลล์เป็นระยะประมาณ 140 เมตร โดยได้ทำการสุ่มวัดจากในบริเวณที่อยู่อาศัยหลายแห่ง ถนนอ่อนนุช ถนนบางนา-ตราดและถนนสีลม เป็นต้น โดยที่การวัดตำแหน่งต่างๆ จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 5 นาที ซึ่งจะได้ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งเท่ากับ 300 ค่า โดยแต่ละจุดได้ทำการบันทึกลักษณะของสภาพแวดล้อมอย่างคร่าวๆ และนอกจากนี้ยังทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราบิตผิดพลาด (BER: Bit Error Rate) ในแต่ละจุด เพื่อเก็บเป็นข้อมูลไว้อีกด้วย ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดพบการเฟดดิ้งมีค่าแตกต่างกัน คือมีค่าตั้งแต่ 4.32 dB จนถึง 23.45 dB จากการวิเคราะห์และพิจารณาพบว่าค่าเฟดดิ้งนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพแวดล้อมของบริเวณที่ทำการสุ่มวัด



รูปที่ 5.2 field Analyzer

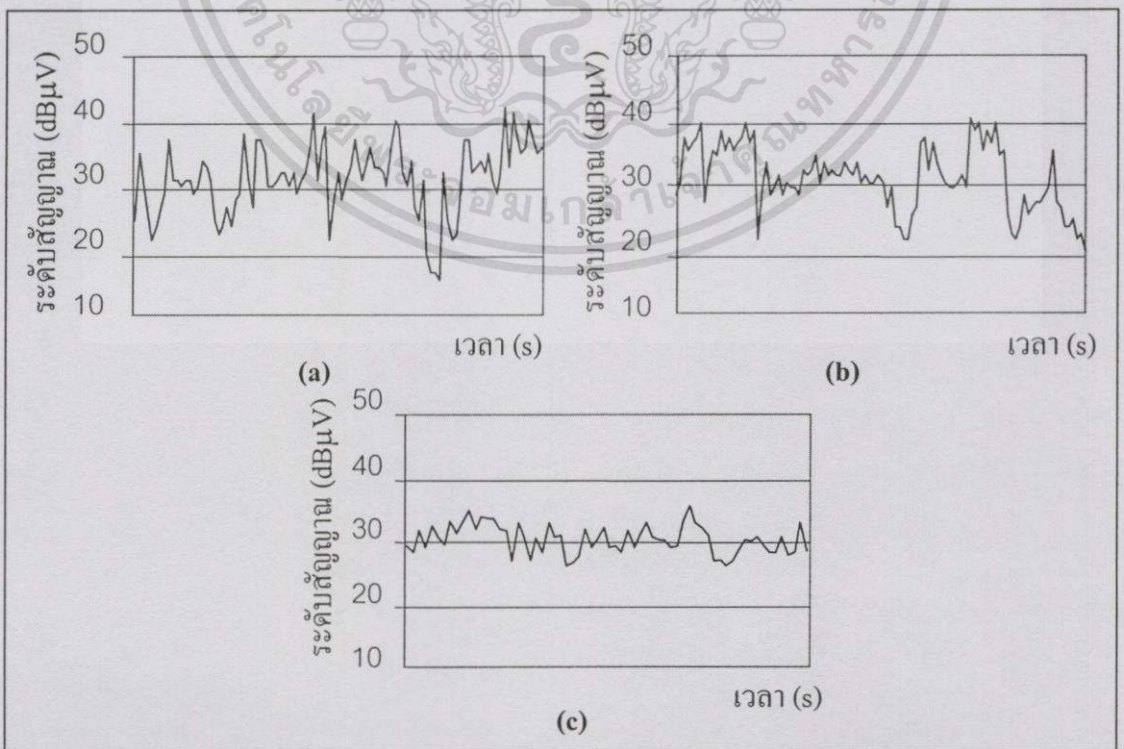


รูปที่ 5.3 รูปแบบของการวัดสัญญาณตามพื้นที่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การหาค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยและการจำแนกตามพื้นที่

บทความนี้ได้ทำการแบ่งพื้นที่การติดตั้งเซลล์สเตชันออกเป็น 3 เขตด้วยกันคือ 1 เขตที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งเป็นพื้นที่ในเขตชุมชนเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและเป็นบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างมาก เช่น บริเวณถนนสีลม ถนนรัชดา เป็นต้น โดยในช่วงโมงเร่งด่วนจะมีรถสัญจรทั้งไปและกลับ 5000 คันต่อชั่วโมง เขตที่ 2 เขตที่มีการจราจรปานกลาง ซึ่งเป็นเขตที่อยู่ในย่านชานเมืองที่มีการจราจรไม่มากนักและเป็นบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างน้อยกว่ากรณีแรก เช่น ถนนอ่อนนุช ถนนคลองกรุง เป็นต้น โดยในช่วงโมงเร่งด่วนจะมีรถสัญจรทั้งไปและกลับ 500-5000 คันต่อชั่วโมง และเขตที่ 3 เขตที่มีการจราจรเบาบาง เป็นที่อยู่อาศัยที่มีรั้วผ่านน้อย อีกทั้งรถที่วิ่งผ่านจะเป็นรถขนาดเล็ก เช่น บริเวณในหมู่บ้านจัดสรร บริเวณที่อยู่อาศัยในซอยเล็กๆ เป็นต้น โดยในช่วงโมงเร่งด่วนจะมีรถสัญจรทั้งไปและกลับไม่เกิน 500-คันต่อชั่วโมง ตัวอย่างของการเฟดดิ้งของสัญญาณในแต่ละพื้นที่ทั้ง 3 เขตแสดงดังรูปที่ 5.4 โดยที่รูป 5.4(a) คือตัวอย่างของสัญญาณที่รับได้ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งมีการเฟดดิ้งอยู่ระหว่าง 12.43-23.45 dB โดยได้ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 18.41 dB และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.09 รูปที่ 5.4(b) คือตัวอย่างของสัญญาณที่รับได้ในเขตที่มีการจราจรปานกลาง ซึ่งมีการเฟดดิ้งอยู่ระหว่าง 9.45-20.96 dB โดยได้ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 15.48 dB และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.52 และรูปที่ 5.4(c) คือตัวอย่างของสัญญาณที่รับได้ในเขตที่มีการจราจรเบาบาง ซึ่งมีการเฟดดิ้ง อยู่ระหว่าง 4.32-12.54 dB โดยได้ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 8.15 dB และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.86

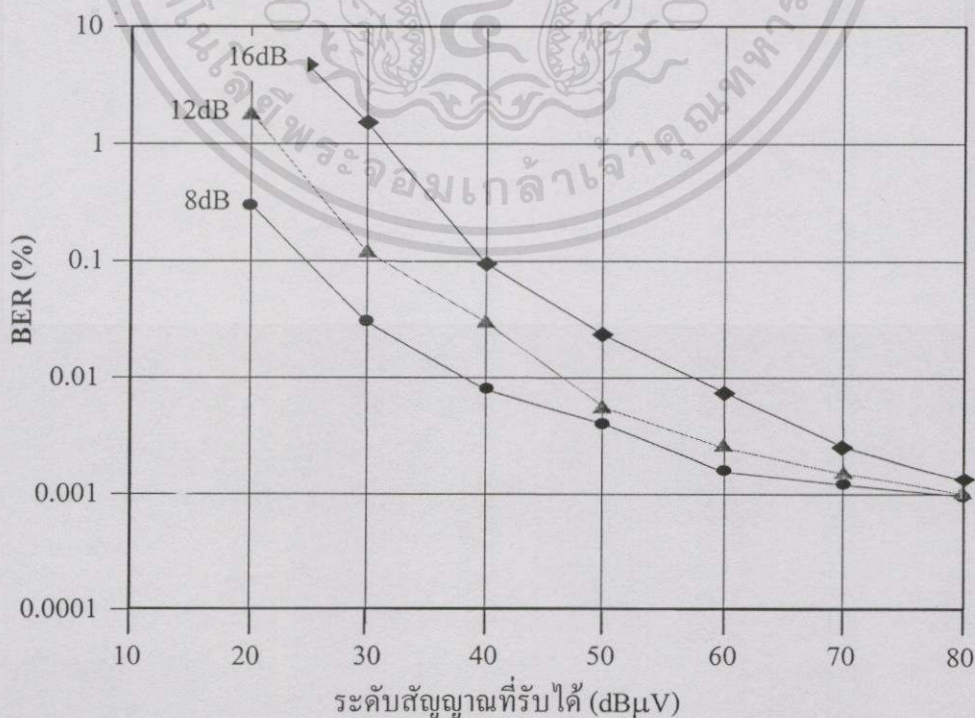


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างของระดับสัญญาณในแต่ละเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่โรงเรียนศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

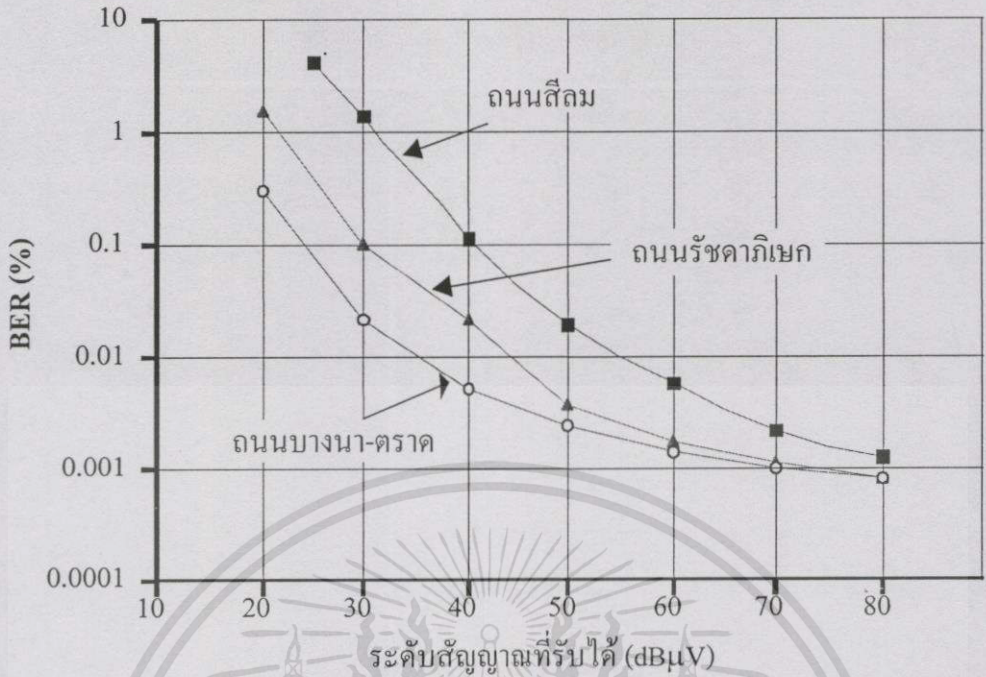
5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเฟดดิ้งในพื้นที่ต่างๆ

ในการพิจารณาการขาดหายของสัญญาณนั้น ค่าอัตราบิดผิดพลาดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสถานะการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนา เนื่องจากเสียงสนทนาที่เกิดการขาดหายนั้น เกิดจากความผิดพลาดของการส่งบิตข้อมูลเสียง ดังนั้นถ้าค่าความผิดพลาดบิตสูง เสียงสนทนาจะมีการขาดหายมาก วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการทดลองวัดระดับสัญญาณและค่าอัตราบิดผิดพลาดพร้อมกัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นมาหาค่าเฟดดิ้ง และค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราบิดผิดพลาด แล้วนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณที่รับได้กับค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราบิดผิดพลาด โดยวาดเฉพาะสัญญาณที่มีค่าเฟดดิ้งเท่ากับ 8, 12 และ 16 dB ซึ่งสังเกตได้ว่า ค่าอัตราบิดผิดพลาดนอกจากจะขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณแล้วยังขึ้นอยู่กับเฟดดิ้งของสัญญาณอีกด้วย โดยในขณะที่ทำการเก็บข้อมูลนั้นยังพบว่า นอกจากการเฟดดิ้งที่เกิดจากการมัลติพาธของสัญญาณจากตึกและอาคารพาณิชย์แล้ว รอยน้ดก็เป็นสาเหตุสำคัญของการเฟดดิ้งอีกด้วย โดยเฉพาะรอยน้ดที่มีขนาดใหญ่ เพราะขนาดรอยน้ดทำให้เกิดการเฟดดิ้งแบบมัลติพาธเฟดดิ้งและความเร็วของรอยน้ดทำให้เกิดการเฟดดิ้งที่เกิดจากการคอปเปอเรอร์ รูปที่ 5.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ของอัตราบิดผิดพลาดของถนนสายหลักคือ ถนนสีลม ถนนรัชดา และถนนบางนา-ตราด ที่ระดับสัญญาณมีการเฟดดิ้งแตกต่างกัน ซึ่งกราฟทั้งสองแสดงระดับสัญญาณในช่วง 20-80 dB μ V เนื่องจากถ้าต่ำกว่านี้นั้น การอ่านค่าจากเครื่องนั้นทำได้ยากเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของอัตราบิดผิดพลาดส่วนใหญ่จะมีค่าเป็น 100 % เสมอ ซึ่งไม่สามารถแยกค่าความแตกต่างได้ อีกทั้งสัญญาณที่วัดได้จะไม่เกิน 80 dB μ V



เอกสารรูปที่ 5.5 ค่า BER ที่ได้รับผลกระทบจากการเฟดดิ้งศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



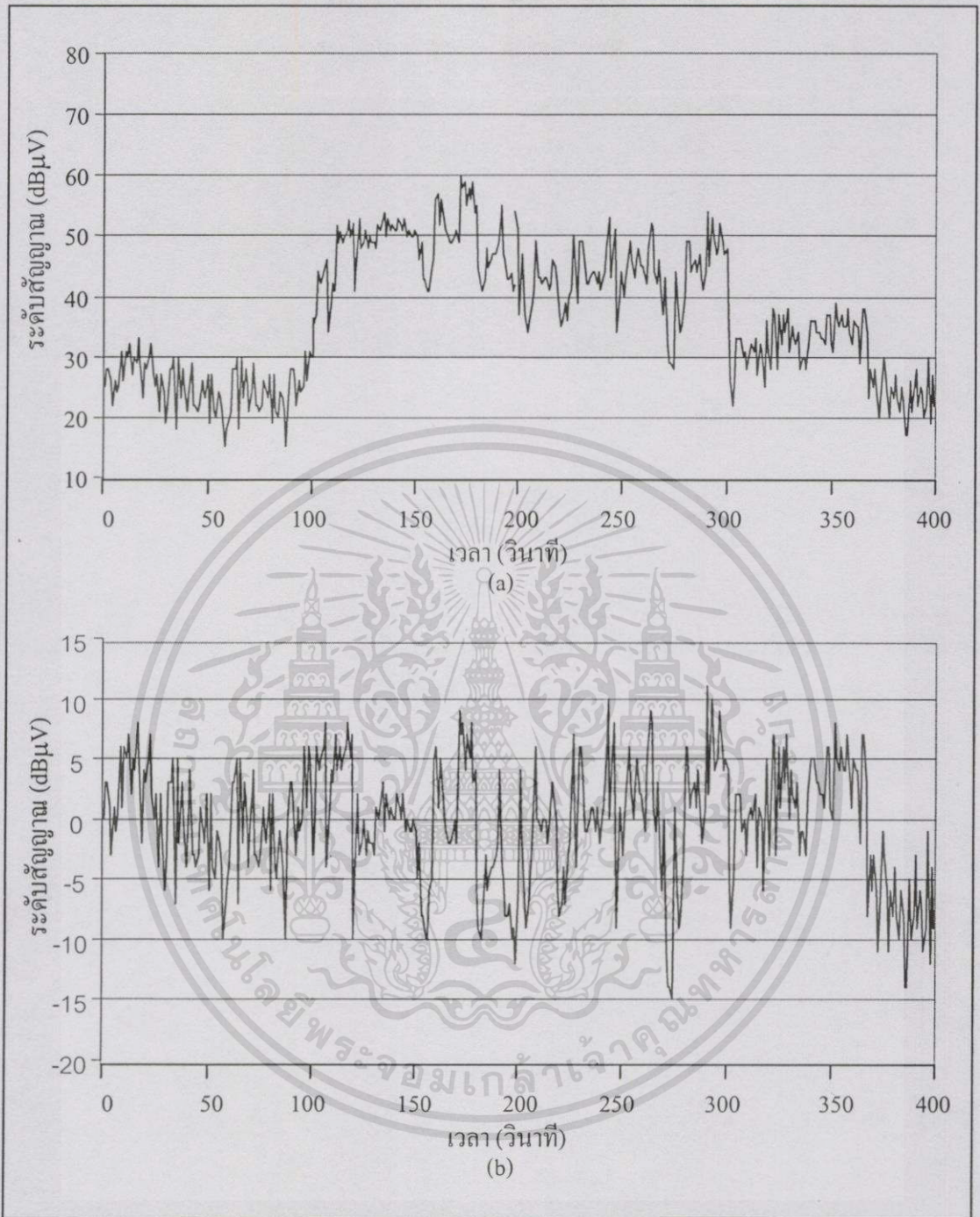
รูปที่ 5.6 ค่า BER ที่ได้จากการวัดตามถนนสายหลัก

5.3 การคำนวณค่าในเชิงสถิติ

ในการคำนวณค่าทางสถิตินั้น ได้ทำการทดสอบระดับสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน พกพาส่วนบุคคลพีซีที ที่ใช้ความถี่ในย่าน 1900 MHz ซึ่งถือว่าเป็นความถี่ที่สูง การแพร่กระจายคลื่นแบบมัลติพาทจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการออกแบบระบบ เพราะการมัลติพาททำให้สนามไฟฟ้าของสัญญาณมีการจางหายและมีการกวัดแกว่งมากขึ้น ในการคำนวณเชิงสถิติในทางวิศวกรรม จะมีพารามิเตอร์หลายตัวด้วยกันที่น่าเชื่อถือ และวิธีการอย่างหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือ การหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF: Probability Density Function) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF: Commutative Distribution Function)

ในการทำการทดสอบค่าระดับสัญญาณที่บันทึกได้ระหว่างการวัดนั้น เป็นค่าระดับสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับที่แสดงในหน่วยเดซิเบลที่สัมพันธ์กับ 1 ไมโครโวลต์ (dBμV) โดยข้อมูลที่ได้จะต้องเปลี่ยนให้เป็นเชิงเส้นเสียก่อน โดยเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยของไมโครโวลต์ (μV) ซึ่งสมการที่ (5.1) เป็นสมการที่ทำการเปลี่ยนหน่วยจาก dBμV ให้เป็น μV

$$\text{ระดับสัญญาณ } (\mu\text{V}) = 10^{(\text{ระดับสัญญาณ}(\text{dB}\mu\text{V})/20)} \quad (5.1)$$



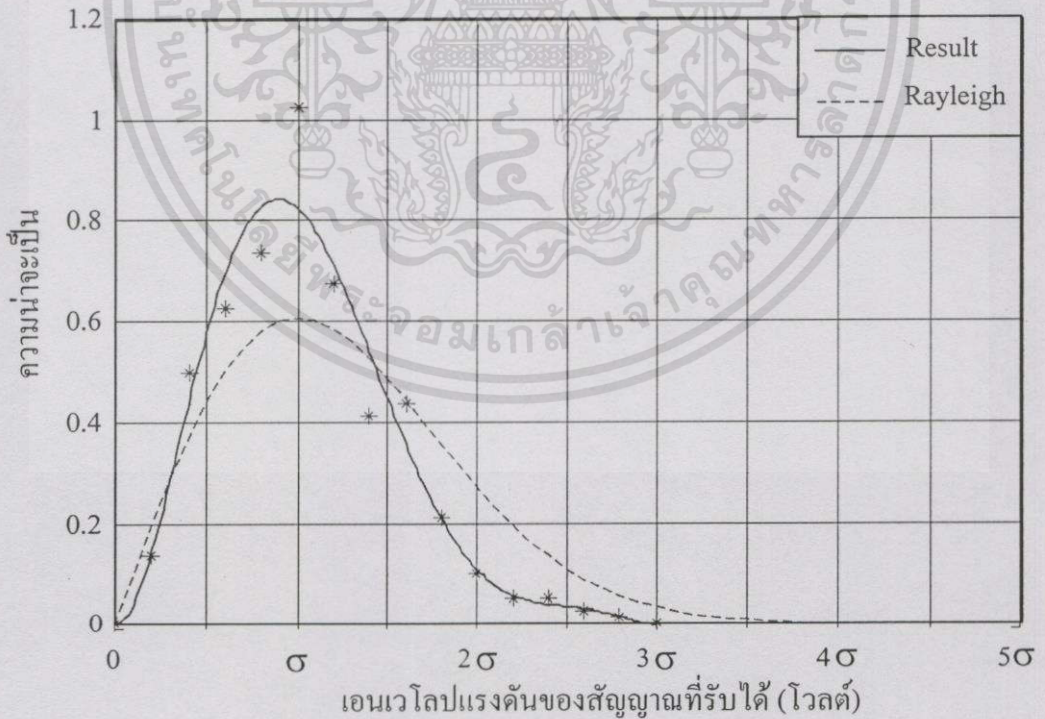
รูปที่ 5.7 ลักษณะสัญญาณที่วัดได้และสัญญาณที่ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐาน

จากข้อมูลที่ได้ทำการสุ่มวัดในพื้นที่ต่างๆ นั้น ได้จำแนกตามเขตพื้นที่ทั้ง 3 เขตแล้ว จึงนำข้อมูลมาทำการลดค่าลงหรือทำการนอร์มอลไลซ์ (normalize) ด้วยค่ามัธยฐาน [21] เพื่อตัดการลดทอนเนื่องจากระยะทางออกซึ่งจะทำให้ได้ระดับสัญญาณที่มีเฉพาะการเฟดดิ้งระยะสั้นเท่านั้น จาก

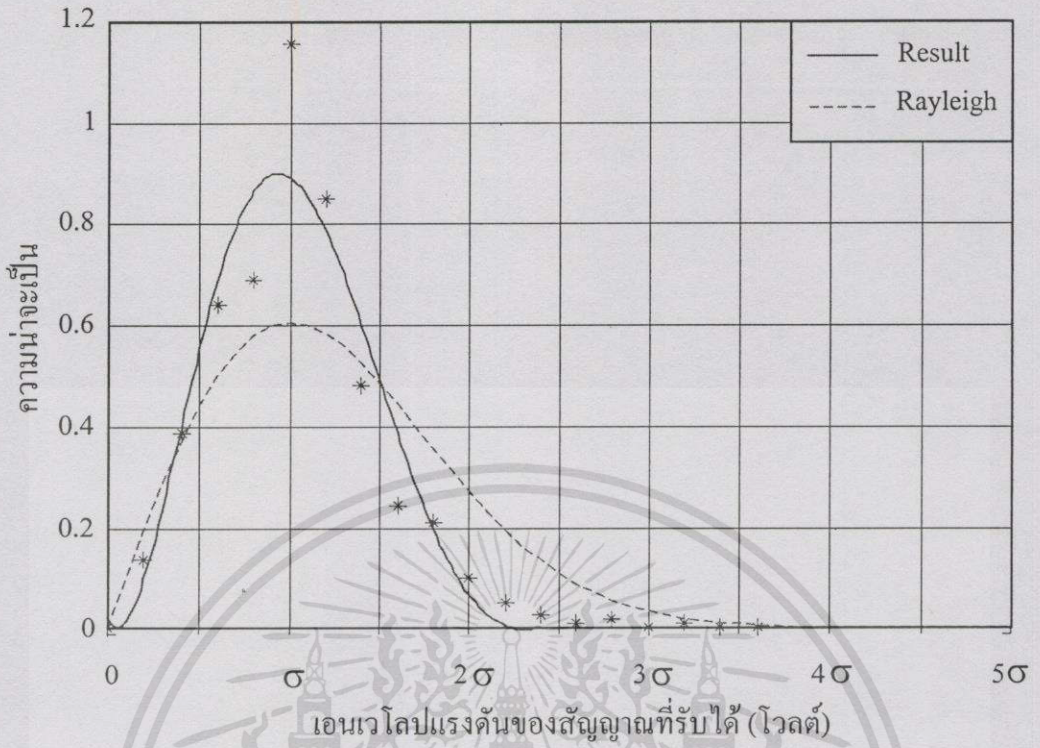
รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างของลักษณะของสัญญาณเดิมกับสัญญาณที่ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐาน โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสาหรงการโงงานเพือการศกษาเท่านัน ไม่อนุญาตเทินาไปไซบระเอยนดานการค้ไม่ว่ากรณีใดทงห้สน อิกทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มีกรนำไปใช้

ที่รูป 5.7(a) เป็นลักษณะของสัญญาณที่วัดได้ และรูปที่ 5.7(b) เป็นลักษณะสัญญาณที่ได้ทำการลดค่าแล้ว

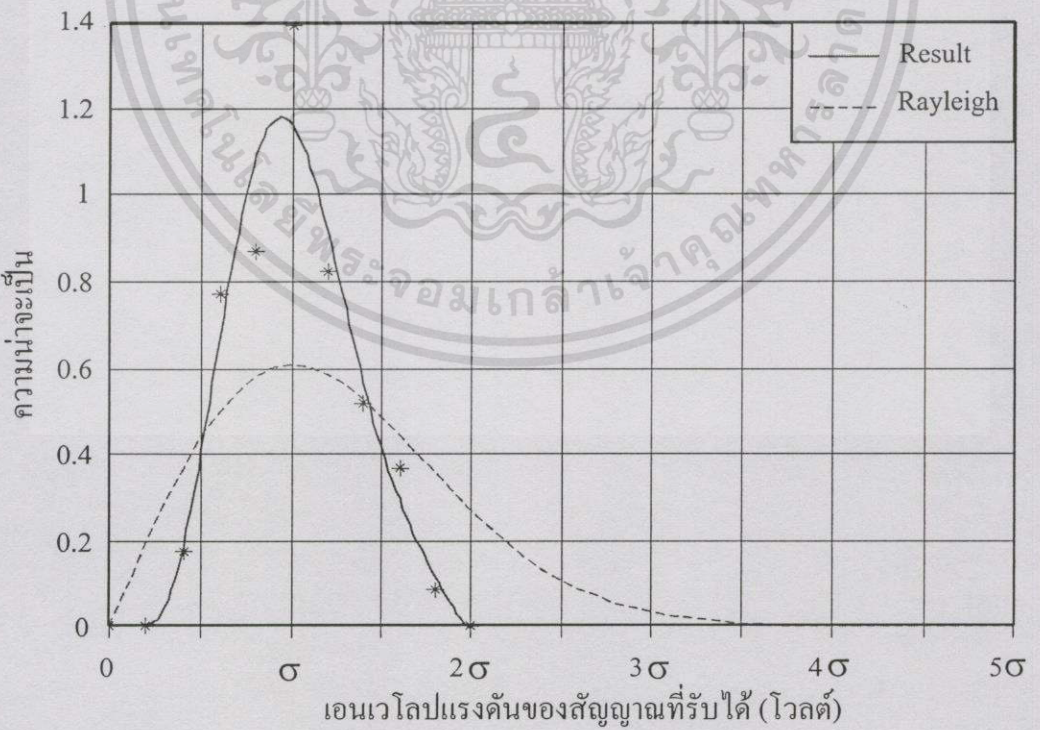
จากการเก็บข้อมูลตัวอย่าง เป็นข้อมูลที่ได้เก็บค่าระดับของสัญญาณที่แปรตามเวลา โดยเมื่อทำการลดค่าข้อมูลด้วยค่ามัธยฐานแล้ว จะได้ระดับสัญญาณที่ไม่ขึ้นกับระยะทาง วิทยานิพนธ์นี้จึงนำระดับสัญญาณที่รับได้มาทำการแจกแจงเชิงเส้น โดยมีช่วงของการแจกแจงตั้งแต่ 0 ถึง 5 เท่าของค่ามัธยฐาน ($0-5\sigma$) เมื่อ σ คือค่ามัธยฐาน โดยเมื่อนำมาวาดกราฟเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแล้วจะได้ดังรูปที่ 5.8 5.9 และ 5.10 ซึ่งแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจรรรหนาแน่น เขตที่มีการจรรรปานกลาง และ เขตที่มีการจรรรเบาบาง ตามลำดับ ซึ่งแสดงในลักษณะการแจกแจงในรูปแบบของความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ โดยทั้ง 3 เขตมีการกระจายน้อยกว่าการกระจายแบบเรย์ลี รูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของทั้ง 3 เขต โดยจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟการแจกแจงของเขตที่มีการจรรรหนาแน่นมีการกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้ค่อนข้างมาก เขตที่มีการจรรรปานกลางมีการกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้รองลงมา ส่วนเขตที่มีการจรรรเบาบาง เส้นกราฟจะสูงที่สุดซึ่งแสดงว่ามีการกระจายของสัญญาณที่รับได้น้อย



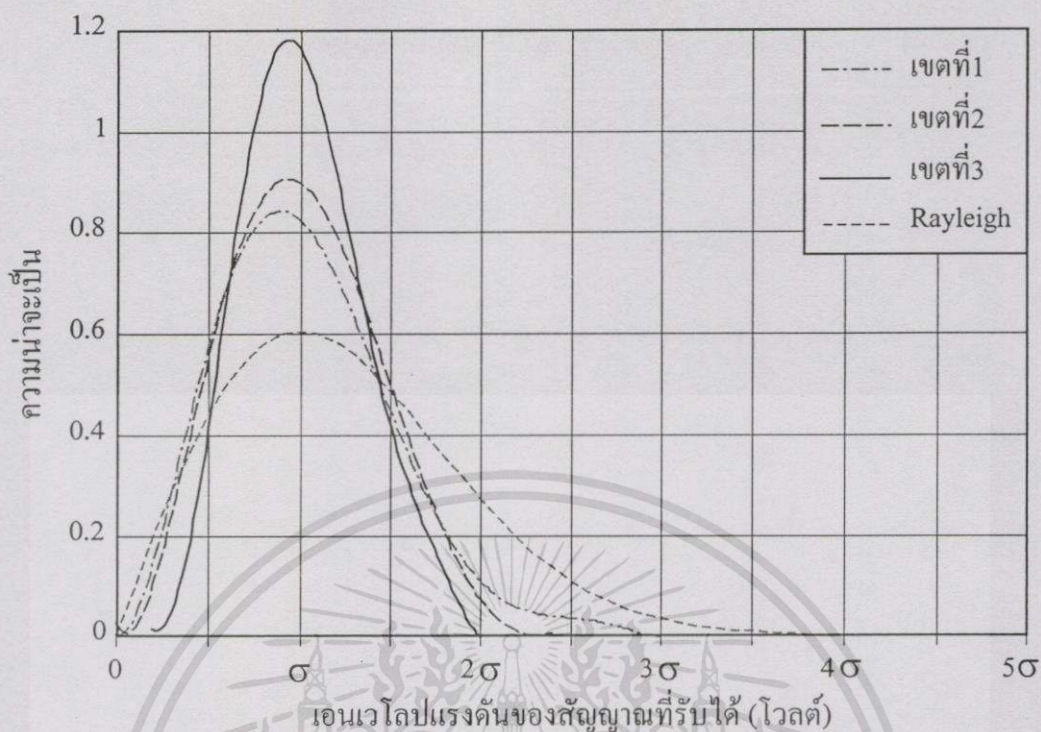
รูปที่ 5.8 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจรรรหนาแน่น



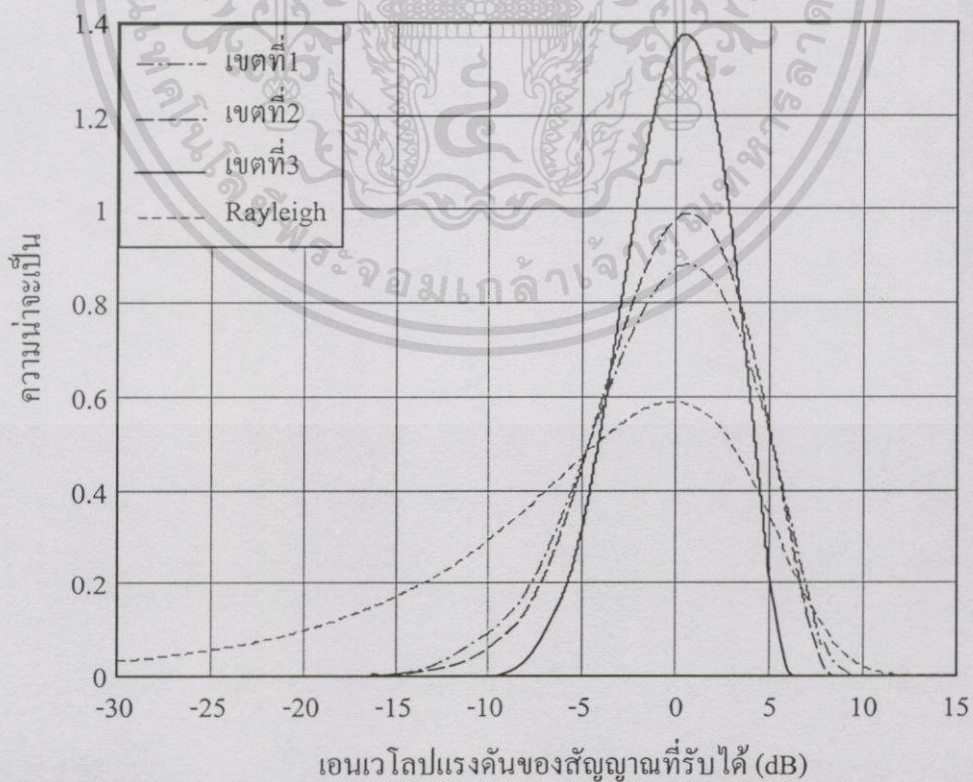
รูปที่ 5.9 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรปานกลาง



รูปที่ 5.10 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรเบาบาง



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขต



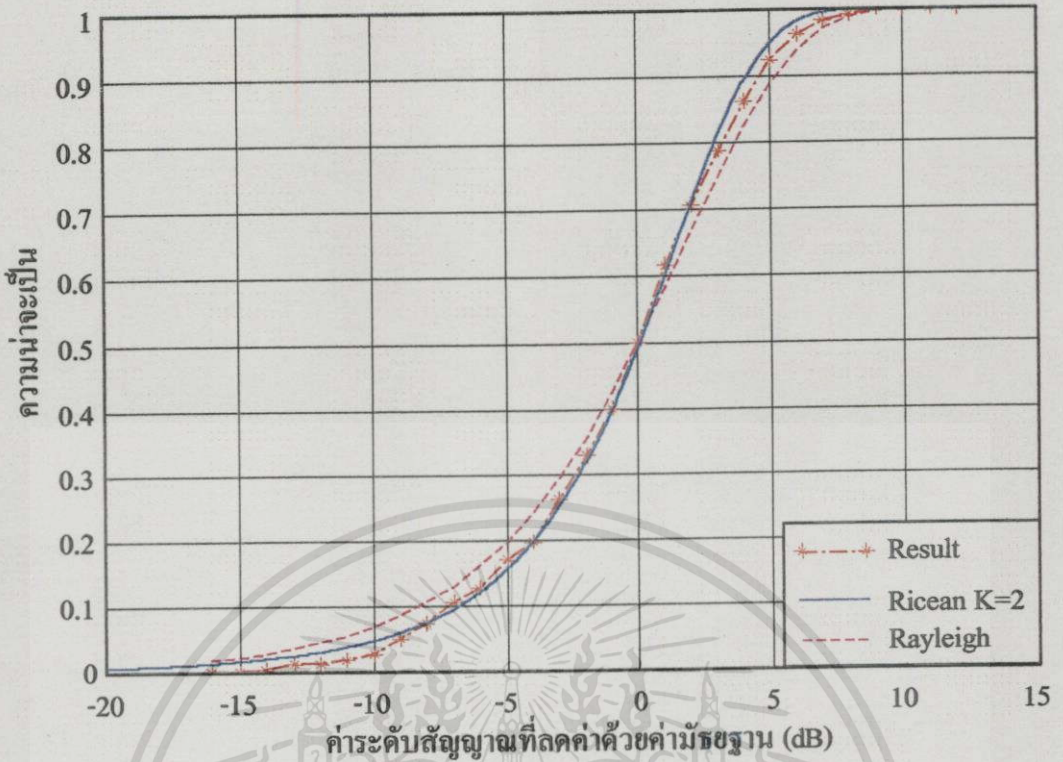
เอกสารรูปที่ 5.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขต

อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

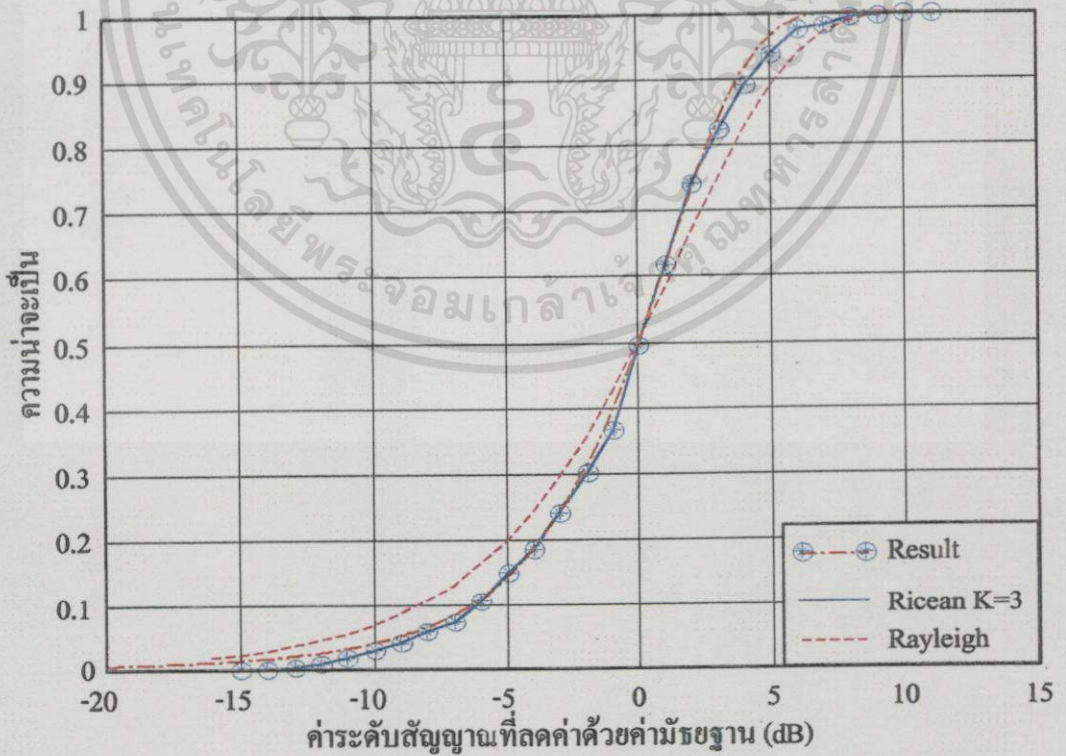
รูปที่ 5.12 แสดงกราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขต โดยการแจกแจงตามระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยของเดซิเบล ซึ่งจะให้เป็นอนเป็นเอนเวโลบของสัญญาณที่รับได้เป็นเดซิเบล โดยกราฟนี้ได้มาจากข้อมูลของสัญญาณที่ผ่านการลดค่า (Normalize) ด้วยค่ามัธยฐาน ซึ่งค่ากลางจะอยู่ที่ศูนย์เดซิเบล ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้จะเป็นการกระจายแบบรีเซียน โดยที่การกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขตนั้นจะมีค่าแตกต่างกัน คือในเขตที่มีการจรรจหนาแน่นจะมีการกระจายมากที่สุด รองลงมาคือเขตที่มีการจรรจปานกลาง และเขตที่มีการจรรจเบาบางมีการกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้น้อยที่สุด

จากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสามารถที่จะนำมาหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม เพื่อที่จะนำมาเทียบกับการกระจายแบบรีเซียน เพื่อหาค่าแฟคเตอร์ K (Ricean Factor) ซึ่งค่า K นี้จะเป็นการบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล โดยที่ถ้าค่า K มีค่าน้อยก็แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก ซึ่งถ้า K มีค่าเท่ากับลบอนันต์ การกระจายของข้อมูลก็จะกลายเป็นการกระจายแบบเรย์ลี และถ้า K มีค่ามากกว่า 1 มากๆ การกระจายก็จะกลายเป็นแบบเกาส์ โดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมนี้จะเป็กราฟที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณตัวอย่างที่น้อยกว่าค่าที่กำหนด (หรือปริมาณที่เราสนใจ เช่น มีปริมาณตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐานอยู่ 50 เปอร์เซนต์) โดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐานของแต่ละเขตแสดงดังรูปที่ 5.13 5.14 และ 5.15 โดยที่รูปที่ 5.13 เป็นกราฟของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของเขตที่มีการจรรจหนาแน่น ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรการกระจายแบบรีเซียนแล้ว จะใกล้เคียงกับการกระจายแบบรีเซียนที่มีค่า K เท่ากับ 2 รูปที่ 5.14 เป็นกราฟของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของเขตที่มีการจรรจปานกลาง ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรการกระจายแบบรีเซียนแล้ว จะใกล้เคียงกับการกระจายแบบรีเซียนที่มีค่า K เท่ากับ 3 ส่วนรูปที่ 5.15 เป็นกราฟของฟังก์ชันการแจกแจงความถี่สะสมของเขตที่มีการจรรจเบาบาง ซึ่งมีการกระจายของสัญญาณที่รับได้น้อยที่สุด โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรการกระจายแบบรีเซียนแล้ว จะใกล้เคียงกับการกระจายแบบรีเซียนที่มีค่า K เท่ากับ 7

รูปที่ 5.16 แสดงกราฟการเปรียบเทียบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของในแต่ละเขต ซึ่งสามารถสังเกตการกระจายของสัญญาณได้จากความชันของเส้นกราฟ เส้นกราฟที่มีความชันมากจะมีการกระจายที่น้อย โดยการกระจายมากที่สุดจะเป็นการกระจายแบบเรย์ลี ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟของการกระจายแบบเรย์ลีนั้นจะมีความชันน้อยที่สุด ซึ่งเส้นกราฟของแต่ละเขตจะมีความชันที่แตกต่างกัน โดยในเขตที่มีการจรรจหนาแน่นจะมีความชันของกราฟน้อยกว่าทุกเขต และเส้นกราฟใกล้เคียงกับการกระจายแบบเรย์ลีมากที่สุด ซึ่งแสดงว่ามีการมีการกระจายของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกเขต

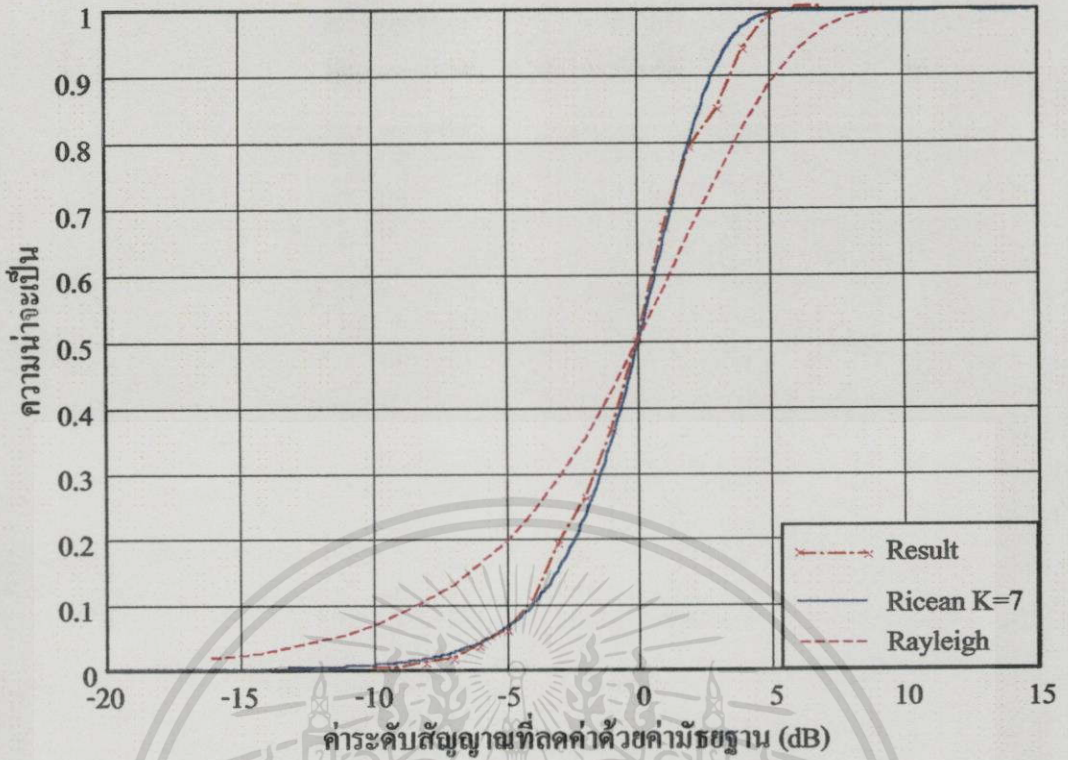


รูปที่ 5.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น

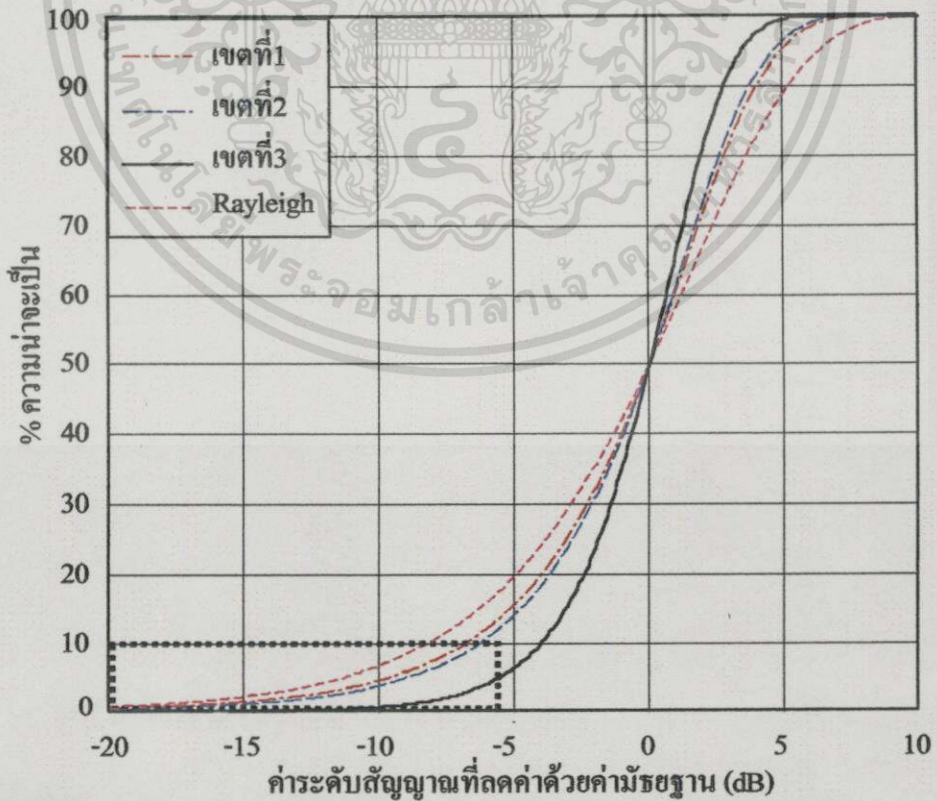


รูปที่ 5.14 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตที่มีการจราจรเบาบาง



รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของในแต่ละเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวนวิชาหรือการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์

เนื่องจากการออกแบบติดตั้งเซลล์สเตชันในพื้นที่สาธารณะจะต้องใช้สมการการลดทอนของคลื่นช่วยพิจารณาหาระยะห่างระหว่างเซลล์ ในสมการการลดทอนของคลื่นยังไม่มีแฟคเตอร์ที่จะมาชดเชยผลที่เกิดจากการเฟดดิ้งของสัญญาณเลย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์เพื่อเป็นค่าที่ชดเชยการเฟดดิ้งของสัญญาณ โดยมีวิธีการหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ 2 วิธีคือ วิธีแรก ได้ทำการหาค่าเฟดดิ้ง ช่วงของค่าเฟดดิ้ง ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเฟดดิ้ง ของในแต่ละเขต โดยนำข้อมูลทั้งหมดของแต่ละเขตมาทำการแจกแจง ซึ่งสามารถหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ได้จากสมการ

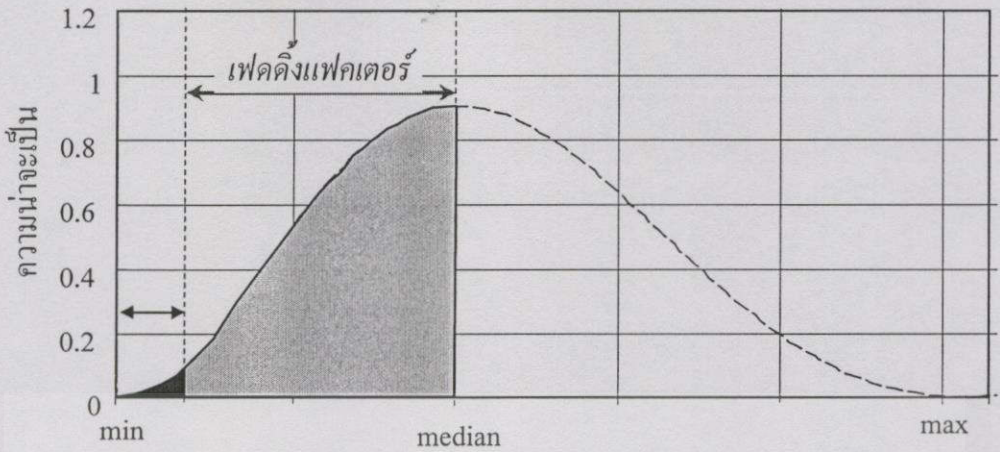
$$\text{ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ } (F_{F1}) = \frac{1}{2} \text{ ของค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90 \%} \quad (5.2)$$

เนื่องจากถ้าใช้ระยะการสวิงของเฟดดิ้งทั้งหมดคือ 100 % จะทำให้การติดตั้งเซลล์สเตชันมีระยะห่างระหว่างเซลล์ใกล้มากดังนั้น จึงอ้างอิงที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ที่ 90 % โดยยอมให้มีการสูญเสีย $1/2(10\%)$ ซึ่งก็คือยอมให้มีการสูญเสีย 5 % โดยตารางที่ 5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของข้อมูลในแต่ละเขต และแสดงค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่คำนวณได้จากสมการที่ (5.2)

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	เขตที่1	เขตที่2	เขตที่3
ช่วงของค่าเฟดดิ้ง (dB)	12.43-23.45	9.45-20.96	4.32-12.54
ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ย (dB)	18.41	15.48	8.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.09	2.52	1.86
ค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90 %	20.48	18.33	9.94
ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์	10.24	9.17	4.97

ส่วนวิธีที่สอง พิจารณาจากรูปที่ 5.1 การหาค่าเฟดดิ้งนั้นจะทำการตัดค่าที่ต่ำสุดและสูงสุดออกข้างละ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ในการหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์นั้นจะให้ความสนใจกับระดับสัญญาณที่ลดลงเท่านั้น เพราะสัญญาณสูงขึ้นจะไม่มีผลต่อการขาดหายของสัญญาณในระหว่างการสนทนา ซึ่งเมื่อนำฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นมาพิจารณาด้วยแล้ว สัญญาณจะลดต่ำลงมาจากค่ามัธยฐาน การหาค่าเฟดดิ้งสามารถหาได้จากกราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น ดังรูปที่ 5.17



เอนเวโลปแรงแค่นของสัญญาณที่รับได้ (dBμV)

รูปที่ 5.17 การหาเฟดดิ้งแฟคเตอร์จากกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

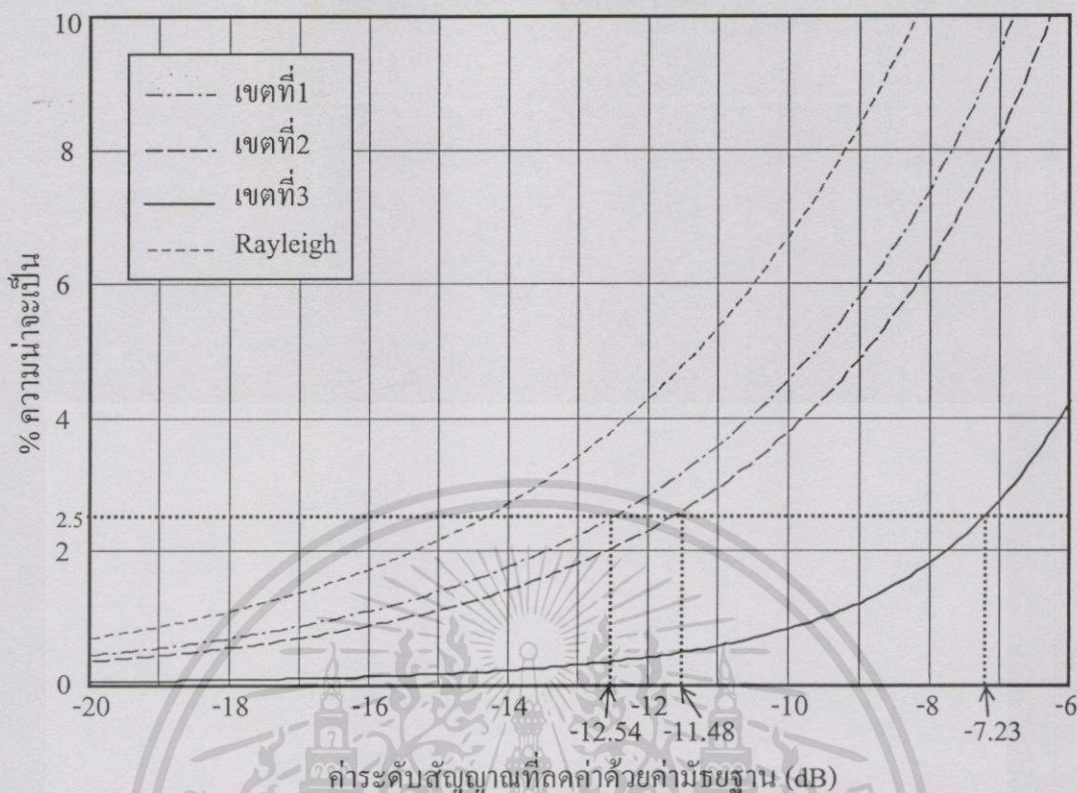
ซึ่งจากรูปที่ 5.17 สามารถแปลมาเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\text{เฟดดิ้งแฟคเตอร์} = (\text{ค่ามัธยฐาน} - \text{ค่าต่ำสุด}) - (\text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด}) \times 10\% \tag{5.3}$$

จากผลการคำนวณในสมการที่ (5.3) จะได้ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ของเขตที่มีการจราจรหนาแน่นเท่ากับ 12.54 ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ของเขตที่มีสภาพจราจรปานกลางเท่ากับ 11.48 และค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ของเขตที่มีสภาพจราจรเบาบางเท่ากับ 7.23 ดังตารางที่ 5.2 จากค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่ได้สามารถหาเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียจากกราฟของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.18 ซึ่งเป็นกราฟที่ตัดมาจากรูปที่ 5.16 ซึ่งก็หมายความว่า สัญญาณมีการสูญเสียประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ตารางที่ 5.2 ค่าระดับสัญญาณที่ถูกลดค่าด้วยค่ามัธยฐานและค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์

เขต	ค่าระดับสัญญาณที่ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐาน (dB)			ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่ามัธยฐาน	
การจราจรหนาแน่น	8.70	-14.9	0	12.54
การจราจรปานกลาง	9.84	-13.85	0	11.48
การจราจรเบาบาง	5.1	-8.60	0	7.23



รูปที่ 5.18 กราฟแจกแจงความถี่สะสมที่ยอมให้มีการสูญเสียของสัญญาณเท่ากับ 2.5 %

5.5 การแก้ไขเพื่อลดผลกระทบจากการเฟดดิ้ง

ในการติดตั้งสถานีฐานหรือเซลล์เสถียรของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และโทรศัพท์ไร้สายนั้น จะต้องติดตั้งให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอย่างทั่วถึง และลงทุนในการติดตั้งให้น้อยที่สุด เพื่อลดต้นทุนของระบบ ในการติดตั้งเซลล์เสถียรให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่นั้น เราจะนำเครื่องมือมาวัดระดับสัญญาณเพื่อทำการตรวจสอบสัญญาณในแต่ละจุดนั้น เป็นงานที่ยากและต้องใช้เวลา มาก ดังนั้นจึงมีการใช้สมการการลดทอนของคลื่นเพื่อคำนวณหาระยะห่างระหว่างเซลล์ พื้นที่ ครอบคลุมเซลล์และตำแหน่งของเซลล์ที่เหมาะสม โดยในการหาระยะห่างระหว่างเซลล์นั้นได้มีการ ใช้สมการการลดทอนของคลื่นอยู่หลายสมการด้วยกัน เช่น สมการ HATA, COST-231 เป็นต้น ซึ่งแต่ละสมการนั้นก็จะมี ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน และระบบการวางเซลล์เสถียร หรือสถานีฐานก็จะมีเงื่อนไขการวางที่ต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีสมการการลดทอนของคลื่นสม การใดที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ช่วยพิจารณาการติดตั้งเซลล์เสถียรของระบบ โทรศัพท์ที่พื้นบ้านพก พาศูนย์บุคคลพีซีทีในประเทศไทยเลย ดังนั้นเพื่อให้สมการที่จะนำมาช่วยพิจารณาการติดตั้งเซลล์เสถียรของระบบ โทรศัพท์ที่พื้นบ้านพกพาศูนย์บุคคลพีซีทีมีความเหมาะสมและถูกต้อง จึงต้องมีการ ปรับปรุงสมการเพื่อให้เหมาะสมกับเซลล์ขนาดเล็ก โดยสมการการลดทอนที่จะนำมาเปรียบเทียบมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = 3244 + 20 \log f_c + 20 \log d \quad (5.4)$$

$$L = 46.3 + 33.9 \log f_c + (44.9 - 6.55 \log h_{re}) \log d - 13.82 \log h_{re} - a(h_{re}) + C_M \quad (5.5)$$

$$a(h_{re}) = [1.1 \log f_c - 0.7] h_{re} - [1.56 \log f_c - 0.8] \quad (5.6)$$

โดยที่ L : การลดทอนของสัญญาณ (dB)

f_c : คือความถี่ (MHz) (Control Channel = 1917.35 MHz)

h_{re} : ความสูงสายอากาศของสถานีฐานเท่ากับ 4.5 เมตร

h_{re} : ความสูงสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ 1.5 เมตร

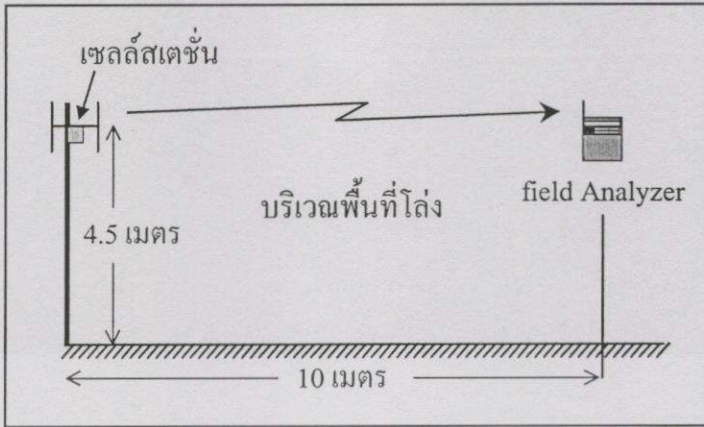
d : ระยะทาง (กิโลเมตร)

C_M : เท่ากับ 0 ในย่านชานเมืองและเท่ากับ 3 ในตัวเมือง

สมการที่ (5.4) เป็นสมการการลดทอนในบรรยากาศ (Free Space) [22] ซึ่งเป็นสมการที่มีเฉพาะการลดทอนที่ขึ้นกับระยะทางเท่านั้น เนื่องจากในบรรยากาศจะไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ เลย สมการที่ (5.5) เป็นสมการของ COST-231 ที่ปรับปรุงขึ้นมาจากสมการของ Hata ซึ่งเป็นสมการที่ใช้งานในช่วงความถี่ 1500-2000 MHz ความสูงสายอากาศของสถานีฐาน 30-200 เมตร และใช้พิจารณาที่ระยะ 1-20 กิโลเมตร จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที อีกทั้งยังไม่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย และในสมการยังไม่มีแฟคเตอร์ตัวใดที่แก้ปัญหาเรื่องการเฟดดิ้งเลย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้ปรับปรุงสมการขึ้นมาใหม่ โดยใช้สมการของ COST-231 เป็นพื้นฐาน โดยการปรับค่าการสูญเสียเริ่มต้นใหม่ให้เป็น 40.6 dB ซึ่งหาได้จากการวัดระดับสัญญาณที่ห่างจากเซลล์สเตชันที่ระดับเดียวกันสายอากาศส่งที่ระยะห่าง 10 เมตรจากเซลล์สเตชัน ดังแสดงดังรูปที่ 5.19 โดยทำการวัดทั้งหมด 50 ครั้ง ซึ่งจากค่าระดับสัญญาณที่ได้นี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าการสูญเสียเฉลี่ยที่ระยะ 10 เมตร คือ $152 \text{ dB}\mu\text{V} (20\text{mW}) + 4 \text{ dB} (\text{เกนของสายอากาศส่ง}) + 0 \text{ dB} (\text{เกนของสายอากาศรับ}) - 85.36 \text{ dB}\mu\text{V}$ (ระดับสัญญาณเฉลี่ยที่รับได้ที่ระยะ 10 เมตร) ซึ่งจะได้การสูญเสียที่ระยะ 10 เมตร เท่ากับ 71.64 dB และเมื่อแทนค่าสมการที่ 5.5 โดยให้ A แทนการสูญเสียเริ่มต้น ให้แฟคเตอร์ชดเชยการสูญเสียเนื่องจากความสูงของสายอากาศส่งเป็น 0 เพราะการทดลองได้วัดสัญญาณที่ระดับเดียวกับระดับเซลล์สเตชัน แฟคเตอร์ชดเชยการสูญเสียเนื่องจากความสูงของสายอากาศรับเป็น 0 และ $C_M = 0$ เพราะสภาพแวดล้อมที่ทำการวัดเป็นที่โล่ง และเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะได้ดังนี้

$$71.65 = A + 33 \log 1917.35 + (44.9 - 6.55 \log 4.5) \log (10 \times 10^{-3}) - 0 - 0 - 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

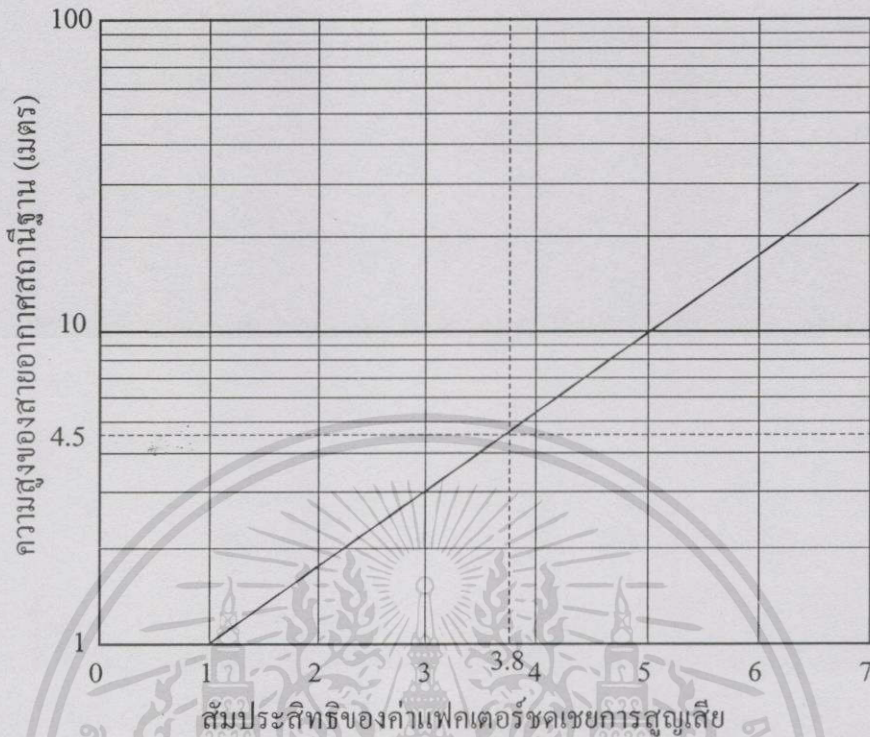


รูปที่ 5.19 รูปแบบของการวัดระดับสัญญาณที่ระยะ 10 เมตร ในบริเวณที่โล่ง

โดยจากการคำนวณจะได้ ค่าการสูญเสียเริ่มต้น (A) เท่ากับ 40.6 นอกจากนี้ยังปรับแฟกเตอร์ความสูงสายอากาศของเซลล์สเตชัน ($13.82 \log h_{te}$) ซึ่งเป็นแฟกเตอร์ชดเชยเมื่อความสูงของสายอากาศของสถานีฐานสูงๆ คือ ตั้งแต่ 30 – 200 เมตร แต่ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีมีสายอากาศที่ต่ำเพียง 4.5 เมตร เท่านั้น ในการหาค่าชดเชยการสูญเสียเนื่องจากความสูงของสายอากาศของสถานีฐานนั้น จากทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่น การลดทอนของสัญญาณจะแปรผันตรงกับระยะทางกำลังสอง ซึ่งจากสมการการลดทอนของคลื่นของ COST-231 แฟกเตอร์ที่ชดเชยการสูญเสียของคลื่นเนื่องจากความสูงของสายอากาศคือ $13.82 \log h_{te}$ ซึ่งก็คือ $6.91 \log(h_{te})^2$ ซึ่งใช้กับความสูงของสายอากาศต่ำสุดที่ 30 เมตร เมื่อนำมาวาดกราฟในรูปแบบของเซมิล็อก (Semilog) และลากเส้นตรงจากจุด (6.91, 30) ไปหาจุด (1,1) จะได้ดังรูปที่ 5.20 จากรูปเมื่อความสูงสายอากาศของสถานีฐานเป็น 4.5 เมตร จะได้สัมประสิทธิ์ของแฟกเตอร์การชดเชยเนื่องจากความสูงของสายอากาศเท่ากับ 3.8 ดังนั้นที่ความสูงเท่ากับ 4.5 เมตร จะมีการชดเชยการสูญเสียเนื่องจากความสูงของสายอากาศเท่ากับ $3.8 \log(h_{te})^2$ ดังนั้นจึงได้ค่าแฟกเตอร์เป็น $7.6 \log h_{te}$ จะทำให้สมการสามารถใช้กับระบบที่ความสูงสายอากาศของเซลล์สเตชันต่ำได้ อีกทั้งยังรวมเอาผลกระทบจากการเฟดดิ้งเข้าไปในสมการด้วย โดยให้ $F_{F,1}$ เป็นค่าเฟดดิ้งแฟกเตอร์ที่จะเป็นตัวชดเชยการเฟดดิ้งของสัญญาณ ดังแสดงในสมการ

$$L = 40.6 + 33.9 \log f_c + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d - 7.6 \log h_{te} - a(h_{te}) + F_{F,1} \quad (5.7)$$

โดยที่ $F_{F,1}$ เป็นค่าเฟดดิ้งแฟกเตอร์ที่หาได้จากวิธีที่ 1



รูปที่ 5.20 การหาค่าแฟคเตอร์ชดเชยการสูญเสีย เนื่องจากความสูงของสายอากาศ

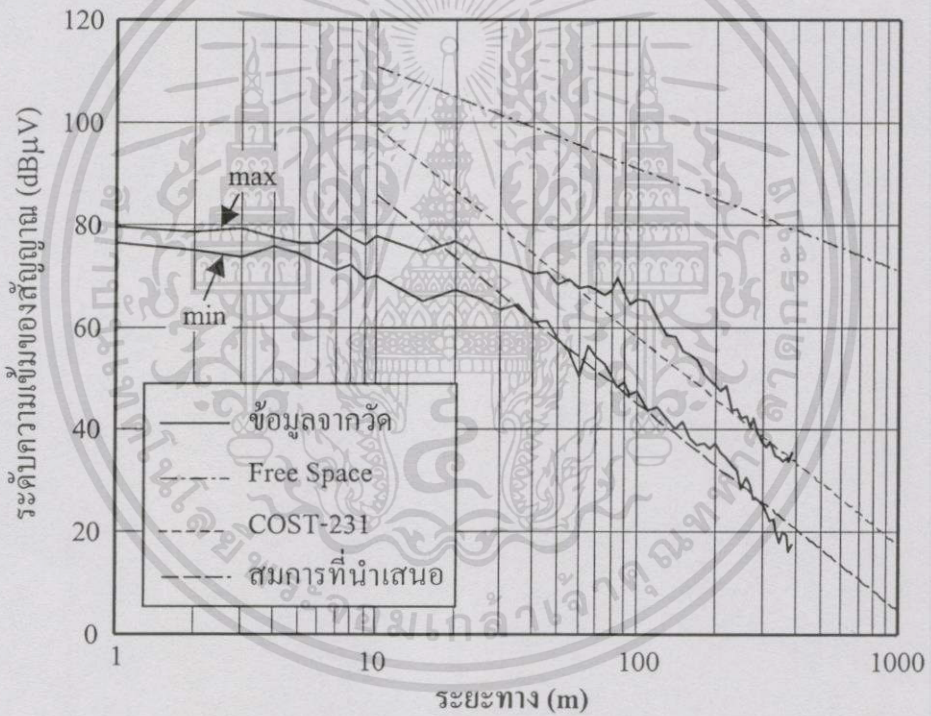
ด้วยเหตุผลที่ว่า สายอากาศของเซลล์สแตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะมีการติดตั้งตามเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงนั้น ซึ่งมีข้อกำหนดคือจะต้องติดตั้งที่ความสูง 4.5 เมตร เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สายอากาศของเซลล์สแตชันอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ บ้าน และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องชดเชยการสูญเสีย ดังนั้นแฟคเตอร์ชดเชยการสูญเสียเนื่องจากความสูงของสายอากาศของเซลล์สแตชัน จึงให้มีค่าเท่ากับ 0 dB ซึ่งก็หมายความว่า ตัดแฟคเตอร์ชดเชยการสูญเสีย เนื่องจากความสูงของสายอากาศทิ้ง ซึ่งทำให้สมการสามารถใช้กับระบบที่ความสูงสายอากาศของเซลล์สแตชันต่ำได้ อีกทั้งยังมีการหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่ละเอียดขึ้น โดยการหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ด้วยวิธีใหม่ ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.4 ซึ่งใช้สัญลักษณ์ $F_{f,2}$ ด้วยวิธีที่สองจะได้สมการดังสมการที่ (5.8)

$$L = 40.6 + 33.9 \log f_c + (44.9 - 6.55 \log h_{ec}) \log d - a(h_{ec}) + F_{f,2} \quad (5.8)$$

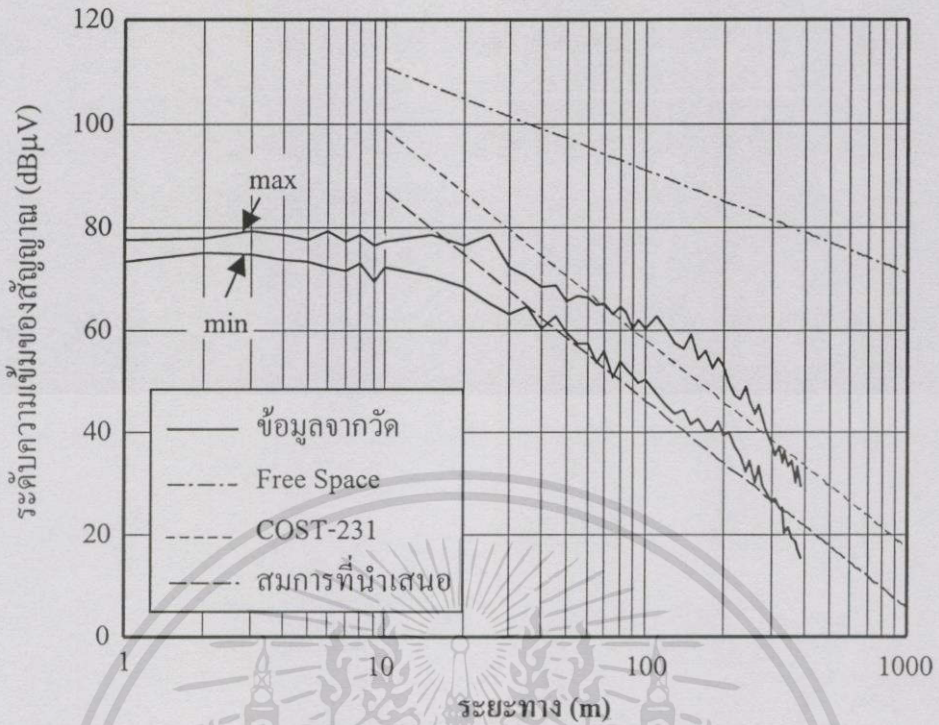
โดยที่ $F_{f,2}$ เป็นค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่หาได้วิธีจากที่ 2

5.6 การเปรียบเทียบและการปรับปรุงตำแหน่งของเซลล์เสตชั่น

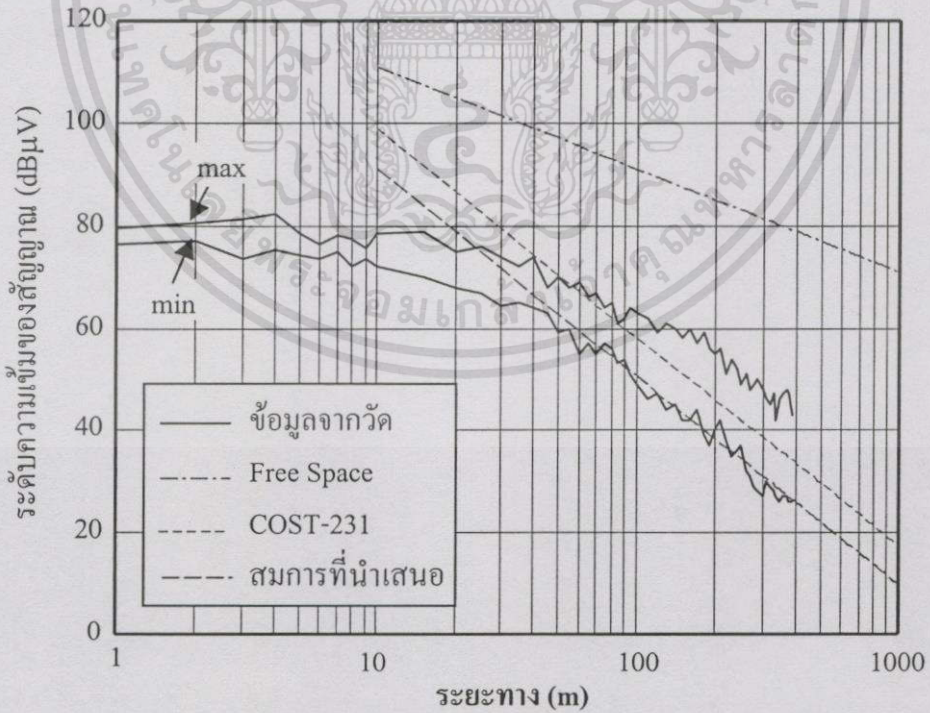
ในการเปรียบเทียบผลนั้น วิทยานิพนธ์นี้จะเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการกับผลของข้อมูลของระดับสัญญาณที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณตามพื้นที่ต่างๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละเขต ซึ่งทำการวัดสัญญาณที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศของเซลล์เสตชั่น โดยเป็นการวัดตามระยะทางดังนี้ คือ ในช่วง 10 เมตรแรก วัด ทุกๆ 1 เมตร ช่วงจาก 10 – 100 เมตร วัดทุกๆ 5 เมตร และช่วง 100-390 เมตร วัดทุก ๆ 10 เมตร ซึ่งจากข้อมูลที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่คำนวณมาจากสมการการลดทอนของคลื่น คือสมการที่ (5.4) (5.5) และ (5.8) แสดงดังรูปที่ 5.21 5.22 และ 5.23



รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการข้อมูลวัดในเขตที่มีการจราจรหนาแน่น



รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการข้อมูลที่วัดในเขตที่มีการจราจรปานกลาง



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการข้อมูลที่วัดในเขตที่มีการจราจรเบาบาง

รูปที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการวัดในเขตที่มีการจราจรหนาแน่นกับค่าที่คำนวณจากสมการที่ (5.4) (5.5) และ (5.8) โดยใช้พารามิเตอร์ในการคำนวณดังนี้ $C_M=3$ $F_F = 12.54$ ความถี่เท่ากับ 1917.35 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของช่องสัญญาณควบคุม รูปที่ 5.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการวัดในเขตที่มีการจราจรปานกลางกับค่าที่คำนวณจากสมการที่ (5.4) (5.5) และ (5.8) โดยใช้พารามิเตอร์ในการคำนวณดังนี้ $C_M=3$ $F_F = 11.48$ ความถี่เท่ากับ 1917.35 MHz ส่วนรูปที่ 5.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการวัดในเขตที่มีการจราจรเบาบางกับค่าที่คำนวณจากสมการที่ (5.4) (5.5) และ (5.8) โดยใช้พารามิเตอร์ในการคำนวณดังนี้ $C_M=0$ $F_F = 7.23$ ความถี่เท่ากับ 1917.35 MHz โดยข้อมูลจากการวัดที่นำมาเปรียบเทียบนั้นวัดมาจากเซลล์สเตชันที่มีขนาด 200 มิลลิวัตต์

จากรูปที่ 5.21 5.22 และ 5.23 จะเห็นได้ว่ากราฟของสมการที่ (5.4) ระดับสัญญาณค่อยๆ ลดลงเพราะเป็นสมการการลดทอนของคลื่นในบรรยากาศที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง จึงทำให้ไม่มีการบดบังคลื่นและยังไม่มีคลื่นสะท้อนใดๆ มาหักล้างหรือทำให้เกิดการเฟดคิงอีกด้วย ความชันของเส้นกราฟจึงมีความชันน้อย เนื่องจากสมการนี้คิดเฉพาะการลดทอนเนื่องจากระยะทางเท่านั้น เมื่อเทียบกับระดับสัญญาณที่ได้จากการวัดแล้วไม่ใกล้เคียงกันเลย สมการ (5.5) เป็นสมการของ COST-231 ที่ปรับปรุงมาจากสมการของ Hata ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาการลดทอนของสัญญาณของเซลล์ขนาดใหญ่ที่มีรัศมีการครอบคลุมเซลล์ 1-20 กิโลเมตร และใช้กับระบบที่มีความสูงของสายอากาศของสถานีฐาน 30 – 200 เมตร ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณกับเซลล์ขนาดเล็กจึงมีความผิดพลาด ดังนั้นสมการที่ (5.4) และ (5.5) จึงไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ส่วนสมการที่ (5.8) เป็นสมการที่ได้ปรับปรุงขึ้นแล้วโดยมีการรวมค่าเฟดคิงแฟคเตอร์เข้าไปในสมการด้วย ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณในแต่ละเขตนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงค่าระดับสัญญาณต่ำสุดของแต่ละเขต เมื่อนำมาคำนวณหารัศมีการครอบคลุมเซลล์จะช่วยให้สัญญาณที่ขอบเซลล์มีระดับสัญญาณไม่ต่ำจนเกินไป ซึ่งจะช่วยให้การขาดหายของสัญญาณเนื่องจากการเกิดเฟดคิงลดลง

ตารางที่ 5.3 รัศมีการครอบคลุมเซลล์ของเขตที่มีการจราจรหนาแน่น

ระดับการ Hand-out	รัศมีการครอบคลุมเซลล์ขนาด 20 mw (เมตร)				รัศมีการครอบคลุมเซลล์ขนาด 200 mw (เมตร)			
	สมการที่ (5.4)	สมการที่ (5.5)	สมการที่ (5.7)	สมการที่ (5.8)	สมการที่ (5.4)	สมการที่ (5.5)	สมการที่ (5.7)	สมการที่ (5.8)
25 dB μ V	44,187	313	227	151	197,378	653	475	315
26 dB μ V	39,382	295	215	142	175,913	617	449	289
27 dB μ V	35,099	279	203	135	156,783	583	424	281
28 dB μ V	31,282	264	192	127	139,733	551	400	266

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 รัศมีของการครอบคลุมเซลล์ของเขตที่มีการจราจรปานกลาง

ระดับการ Hand-out	รัศมีของเซลล์ขนาด 20 mw (เมตร)				รัศมีของเซลล์ขนาด 200 mw (เมตร)			
	สมการที่ (5.4)	สมการที่ (5.5)	สมการที่ (5.7)	สมการที่ (5.8)	สมการที่ (5.4)	สมการที่ (5.5)	สมการที่ (5.7)	สมการที่ (5.8)
25 dB μ V	44,187	371	242	160	197,378	774	505	335
26 dB μ V	39,382	350	228	151	175,913	732	477	316
27 dB μ V	35,099	331	216	145	156,783	691	451	299
28 dB μ V	31,282	313	204	135	139,733	653	426	282

ตารางที่ 5.5 รัศมีของการครอบคลุมเซลล์ของเขตที่มีการจราจรเบาบาง

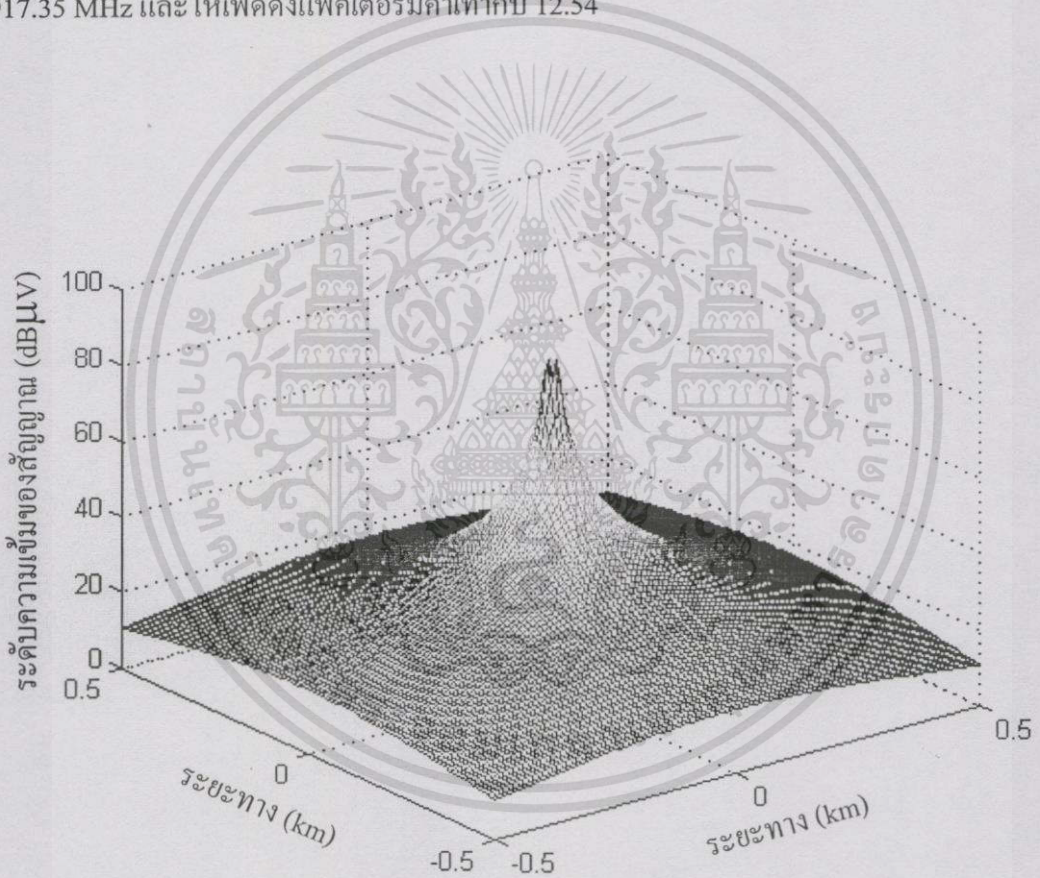
ระดับการ Hand-out	รัศมีของเซลล์ขนาด 20 mw (เมตร)				รัศมีของเซลล์ขนาด 200 mw (เมตร)			
	สมการที่ (5.4)	สมการที่ (5.5)	สมการที่ (5.7)	สมการที่ (5.8)	สมการที่ (5.4)	สมการที่ (5.5)	สมการที่ (5.7)	สมการที่ (5.8)
25 dB μ V	44,187	371	307	204	197,378	774	641	426
26 dB μ V	39,382	350	290	192	175,913	732	606	402
27 dB μ V	35,099	331	274	182	156,783	691	572	380
28 dB μ V	31,282	313	259	172	139,733	653	541	359

ตารางที่ 5.3 5.4 และ 5.5 เป็นค่ารัศมีครอบคลุมเซลล์ที่คำนวณจากสมการที่ (5.4) (5.5) (5.7) และ (5.8) ตารางที่ 5.3 แสดงค่ารัศมีครอบคลุมเซลล์ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่นโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณดังนี้คือ $f_c = 1917.35$ MHz $C_M = 3$ $F_F = 12.54$ และกำหนดให้มีการข้ามเซลล์ที่ระดับแฮนด์เออท์ 25 dB μ V 26 dB μ V 27 dB μ V และ 28 dB μ V ตามลำดับ ตารางที่ 5.4 แสดงค่ารัศมีครอบคลุมเซลล์ในเขตที่มีการจราจรปานกลางโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณดังนี้คือ $f_c = 1917.35$ MHz $C_M = 0$ $F_F = 11.48$ และกำหนดให้มีการข้ามเซลล์ที่ระดับแฮนด์เออท์ 25 dB μ V 26 dB μ V 27 dB μ V และ 28 dB μ V ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 5.5 แสดงค่ารัศมีครอบคลุมเซลล์ในเขตที่มีการจราจรเบาบางโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณดังนี้คือ $f_c = 1917.35$ MHz $C_M = 0$ $F_F = 7.23$ และกำหนดให้มีการข้ามเซลล์ที่ระดับแฮนด์เออท์ 25 dB μ V 26 dB μ V 27 dB μ V และ 28 dB μ V ตามลำดับ เช่นกัน โดยการคำนวณใช้เกณฑ์ของสายอากาศของเซลล์สเตชัน 4 dB และ 7 dB สำหรับเซลล์สเตชันมีขนาด 20 มิลลิวัตต์ และ 200 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ

ดังนั้นในการออกแบบติดตั้งเซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที นั้น ในแต่ละพื้นที่จะออกแบบให้เหมือนกันไม่ได้ จะต้องออกแบบให้แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม

ในการติดตั้งเซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น ในบริเวณที่มีไม่จำกัดทุกแห่งอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจรรยาบรรณแน่นซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเฟดคิงของสัญญาณมากขึ้น โดยการเฟดคิงของสัญญาณจะทำให้สัญญาณมีระดับลดต่ำลงมากกว่าปกติถึง 13.85 dB และถ้าตัดค่าที่ต่ำสุดออก 10 เปรอร์เซ็นต์จะได้ 12.54 dB ดังนั้นเพื่อให้การเฟดคิงไม่มีผลที่จะทำให้สายหลุดจะต้องเผื่อการเฟดคิงของสัญญาณประมาณ 12 dB ซึ่งในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีนั้นสัญญาณจะหลุดที่ 16 dB μ V ดังนั้นจะต้องตั้งระดับการแฮนด์เอ๊าท์เท่ากับ 28 dB μ V สำหรับในเขตที่มีการจรรยาบรรณแน่น ส่วนในเขตที่มีการจรรยาบรรณกลางจะต้องตั้งระดับการแฮนด์เอ๊าท์เท่ากับ 27 dB μ V และในเขตที่มีการจรรยาบรรณบางนั้นให้ตั้งระดับการแฮนด์เอ๊าท์ตามเดิมคือที่ 25 dB μ V โดยรูปที่ 5.24 แสดงตัวอย่างระดับสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่ของเขตที่มีการจรรยาบรรณแน่น โดยคิดที่ความถี่เท่ากับ 1917.35 MHz และให้เฟดคิงแฟลคเตอร์มีค่าเท่ากับ 12.54



รูปที่ 5.24 ตัวอย่างของระดับสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่ที่กำหนดได้จากสมการการลดทอนของคลื่น โดยใช้ค่าเฟดคิงแฟลคเตอร์เท่ากับ 12.54

ในการติดตั้งเซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีนั้น ในเขตที่มีการจรรยาบรรณแน่น ถ้าเป็นเซลล์สเตชันมีขนาด 20 มิลลิวัตต์ จะต้องวางเซลล์ห่างกันไม่เกิน 127 เมตร ถ้าเป็นเซลล์สเตชันมีขนาด 200 มิลลิวัตต์ จะต้องวางเซลล์ห่างกันไม่เกิน 266 เมตร โดยต้องตั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับการแผ่รังสีที่ $28 \text{ dB}\mu\text{V}$ ในเขตที่มีการจราจรปานกลาง ถ้าเป็นเซลล์สเตชันมีขนาด 20 มิลลิวัตต์ จะต้องวางเซลล์ห่างกันไม่เกิน 145 เมตร ถ้าเป็นเซลล์สเตชันมีขนาด 200 มิลลิวัตต์ จะต้องวางเซลล์ห่างกันไม่เกิน 299 เมตร โดยต้องตั้งระดับการแผ่รังสีที่ $27 \text{ dB}\mu\text{V}$ ส่วนในเขตที่มีการจราจรเบาบาง ถ้าเป็นเซลล์สเตชันมีขนาด 20 มิลลิวัตต์ จะต้องวางเซลล์ห่างกันไม่เกิน 204 เมตร ถ้าเป็นเซลล์สเตชันมีขนาด 200 มิลลิวัตต์ จะต้องวางเซลล์ห่างกันไม่เกิน 426 เมตร โดยต้องตั้งระดับการแผ่รังสีที่ $25 \text{ dB}\mu\text{V}$

ซึ่งเมื่อติดตั้งเซลล์ด้วยระยะห่างตามนี้แล้วจะได้ทำบริเวณขอบของเซลล์มีระดับสัญญาณที่ไม่ต่ำจนเกินไป เมื่อสัญญาณเกิดการเฟดจิ่ง อัตราบิตผิดพลาดก็จะมีค่าต่ำทำให้การขาดหายของเสียงระหว่างการสนทนาลดลงได้



บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปัจจุบันประเทศไทยได้นำเอาระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลเข้ามาใช้งาน เพื่อตอบสนองต่อการสื่อสารส่วนบุคคลมากยิ่งขึ้น และเป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับประชาชน การใช้โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลนั้นจะเป็นบริการเสริมของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน (โทรศัพท์บ้าน) ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจึงได้มีการใช้หมายเลขโทรศัพท์เป็นหมายเลขเดียวกับหมายเลขโทรศัพท์บ้าน ทำให้หมายเลขง่ายต่อการจดจำและทำให้ประหยัดหมายเลขในการใช้งานอีกด้วย ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นระบบโทรศัพท์ที่ประเทศไทยได้พัฒนาขึ้นมาจากระบบโทรศัพท์พกพาพีเอชเอสที่ใช้อยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยส่วนของโครงข่ายเคลื่อนที่ที่ให้บริการในพื้นที่สาธารณะนั้น ระบบได้ใช้เซลล์สเตชันที่มีกำลังส่งที่ต่ำ และต้องการให้พื้นที่ครอบคลุมเซลล์มีขนาดเล็ก ระบบจึงได้มีการติดตั้งเซลล์สเตชันไปตามพื้นที่ให้บริการต่างๆ ตามเสาไฟฟ้า โดยติดตั้งสูงจากพื้นประมาณ 4.5 เมตร ซึ่งประสิทธิภาพของการให้บริการก็จะขึ้นอยู่กับการออกแบบติดตั้ง ตำแหน่งและระยะห่างระหว่างเซลล์ โดยในการออกแบบนั้นจะต้องพิจารณาถึงระดับสัญญาณที่รับได้ของแต่ละพื้นที่บริการ ซึ่งในการพิจารณาระดับของสัญญาณของระบบนั้นเป็นสิ่งที่ยาก เพราะระดับสัญญาณในแต่ละพื้นที่มีค่าไม่แน่นอนและแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ให้บริการนั้นๆ ดังนั้นเพื่อให้ระบบมีการให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบติดตั้งเซลล์สเตชันจึงต้องคิดคำนวณอย่างละเอียดรอบคอบ

เนื่องจากการใช้บริการโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทียังมีการขาดหายของเสียงในระหว่างการสนทนาอยู่ ซึ่งเป็นเพราะการวางตำแหน่งของเซลล์สเตชันยังไม่มี ความถูกต้องและเหมาะสมเพียงพอ เมื่อระดับสัญญาณมีการเฟดคิงจึงทำให้อัตราผิดพลาดบิตสูง เสียงสนทนาจึงเกิดการขาดหาย เพื่อให้การขาดหายของเสียงในขณะสนทนาลดลง วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีปรับปรุงตำแหน่งของเซลล์สเตชัน โดยการนำผลของการเฟดคิงของสัญญาณมาพิจารณาร่วมกับการลดทอนของสัญญาณ เพื่อนำไปออกแบบและปรับปรุงตำแหน่งของเซลล์สเตชัน ในการออกแบบเซลล์นั้นจะต้องพิจารณาพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ ซึ่งสามารถที่จะคำนวณได้โดยใช้สมการการลดทอนของคลื่น ซึ่งสมการการลดทอนของคลื่นก็มีอยู่หลายสมการ โดยแต่ละสมการจะมีความเหมาะสมกับเงื่อนไขและสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันไป วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ปรับปรุงสมการการลดทอนของคลื่นขึ้นมาใหม่ โดยการปรับปรุงสมการการลดทอนที่มีอยู่เดิมคือสมการ COST-231 ซึ่งสมการได้

ใช้ค่าการสูญเสียเริ่มต้นเท่ากับ 40.6 ความชันของสมการเท่ากับสมการ COST-231 และเนื่องจากสายอากาศของเซลล์สเตชันต้องติดตั้งที่ตำแหน่งต่ำ ดังนั้นจึงให้แฟคเตอร์ชดเชยการลดทอนของ ความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0 dB นอกจากนี้ยังมีการรวมเอาแฟคเตอร์ที่ชดเชยการเฟดดิ้งของ สัญญาณเข้าไปในสมการด้วย โดยแฟคเตอร์ที่เอาไปรวมนี้เรียกว่า “เฟดดิ้งแฟคเตอร์” ทำให้สมการ มีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับการนำมาใช้พิจารณาเพื่อออกแบบหรือปรับตำแหน่งของ เซลล์สเตชันของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทย

6.1 สรุปผลการเฟดดิ้งของสัญญาณ

การเฟดดิ้งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที เป็นการเฟดดิ้งใน ลักษณะที่ไม่มีรูปแบบและเป็นการเฟดดิ้งที่มีเฉพาะการเฟดดิ้งระยะสั้นเท่านั้น โดยสาเหตุส่วนใหญ่ ที่ทำให้สัญญาณเกิดการเฟดดิ้งมาจากการมัลติพาทและการดอปเปลอร์ วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเก็บ ข้อมูลของระดับสัญญาณในพื้นที่ต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 เขตด้วยกันคือ เขตที่มีการจราจรหนา แน่น เขตที่มีการจราจรปานกลาง และเขตที่มีการจราจรเบาบาง ซึ่งแต่ละเขตมีการเฟดดิ้งของ สัญญาณที่แตกต่างกัน โดยในเขตที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีการเฟดดิ้งของสัญญาณมากที่สุด รอง ลงมากคือเขตที่มีการจราจรปานกลาง และเขตที่มีการจราจรเบาบางมีการเฟดดิ้งของสัญญาณน้อยที่ สุด และในการหาแฟคเตอร์ชดเชยการเฟดดิ้งหรือเฟดดิ้งแฟคเตอร์ของแต่ละเขตนั้น เขตที่มีการ จราจรหนาแน่น เขตที่มีการจราจรปานกลาง และเขตที่มีการจราจรเบาบาง มีค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์เท่า กับ 12.54 11.48 และ 7.23 ตามลำดับ ซึ่งค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ของแต่ละเขตนี้อำนาจการลด ทอนของคลื่นมีความยืดหยุ่นต่อการนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบและปรับปรุงตำแหน่งของเซลล์สเต ชันในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีทีที่ใช้งานในประเทศไทย

ในการออกแบบติดตั้งเซลล์สเตชันเพื่อให้การบริการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้อง ออกแบบให้การครอบคลุมพื้นที่ของสัญญาณเป็นแบบ 2 คลื่นพาส่วนต่อพื้นที่ (Two Carriers Per Area) โดยในเขตที่มีการจราจรหนาแน่นจะต้องวางเซลล์สเตชันห่างกันไม่เกิน 151 และ 266 เมตร สำหรับเซลล์สเตชันขนาด 20 และ 200 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ เขตที่มีการจราจรปานกลางจะต้องวาง เซลล์สเตชันห่างกันไม่เกิน 169 และ 299 เมตร สำหรับเซลล์สเตชันขนาด 20 และ 200 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ ส่วนเขตที่มีการจราจรเบาบางจะต้องวางเซลล์สเตชันห่างกันไม่เกิน 241 และ 426 เมตร สำหรับเซลล์สเตชันขนาด 20 และ 200 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ

6.2 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ คือในการวัดระดับสัญญาณไม่สามารถที่จะทำการวัดระดับสัญญาณของเซลล์สเตชันเพียงตัวเดียวในขณะที่มีการเคลื่อนที่ได้ และความเร็วของการวัดไม่สามารถวัดได้อย่างรวดเร็วเพียงพอ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลจึงต้องวัดสัญญาณอยู่กับที่โดยใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างให้มากขึ้น อีกปัญหาคือระบบต้องติดตั้งเซลล์สเตชันตามเสาไฟฟ้า แต่ตำแหน่งของเสาไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ริมถนนนั้น เป็นตำแหน่งที่คงที่ซึ่งไม่สามารถปรับหรือเคลื่อนย้ายได้ จึงทำให้ไม่สามารถปรับให้ตำแหน่งเซลล์ให้เป็นตามที่คำนวณได้ ดังนั้นเพื่อให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ซึ่งต้องอาศัยการติดตั้งเซลล์สเตชันแบบ 2 คลื่นพาห์ต่อพื้นที่ โดยในการติดตั้งเซลล์นั้นจะต้องติดตั้งให้ระยะห่างระหว่างเซลล์ไม่เกินระยะห่างที่คำนวณได้ แต่ถ้าต้องการจะประหยัดเซลล์สเตชัน อาจต้องยอมให้บางพื้นที่มีคลื่นพาห์เพียงตัวเดียวได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยนี้ได้วิจัยเฉพาะกับระดับสัญญาณ การครอบคลุมพื้นที่ แต่การออกแบบเซลล์ยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือปริมาณทราฟฟิกของการขอใช้บริการ ซึ่งในการติดตั้งเซลล์นั้น ถ้าในบริเวณใดมีปริมาณทราฟฟิกที่มากก็สามารถจะติดตั้งเซลล์สเตชันเพิ่ม โดยให้มี 3 คลื่นพาห์หรือ 4 คลื่นพาห์ต่อพื้นที่ได้ หรืออีกวิธีหนึ่งคือลดพื้นที่การครอบคลุมเซลล์โดยใช้เซลล์สเตชันขนาด 20 มิลลิวัตต์ เพื่อให้เซลล์ที่มีขนาดเล็กลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ถวิล พึ่งมา. ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (Cellular Mobile Telephone System). กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [2] มนูญ ขวัญสูงเนิน. ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายโทรศัพท์บ้านพกพา (Personal Communication Telephone Network Introduction). Telecom Training Department-TT&D Version 3 กรุงเทพมหานคร : November 1997.
- [3] Telecom training Department-TT&D, "PCT Network Introduction." Version 3, November 26, 1997.
- [4] T. Okumura, E. Ohmori, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile service." Review of Electrical Communication Laboratory, Vol.16, No.9-10, September-October 1968, pp. 825-73
- [5] Masaharu HATA, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services." IEEE Trans. on Vehic. Technol., Vol. VT-29, August 1990.
- [6] European Cooperation in the /field of Scientific and Technical Research EURO-COST 231, "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands." Revision 2 the Hague, 1991.
- [7] Theodore s. Rappaport. **Wireless Communications**. New Jersey : Prentice Hall PTR, 1996.
- [8] ถาวร ต้นหอมมาสกุล. "การออกแบบการวางตำแหน่งเซลล์เคลื่อนที่ภายในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [9] ธเนศ พัฒนธาตพงษ์. "การออกแบบการวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [10] Vijay k. Gargand Joseph E. Wilkes , **Wirless and Personal Communication Systems**. Prentice Hall PTR , 1996.

[11] Bell Communication Research (BellCore), **Comparison of Low Power Wireless Access**

Systems: PACS PHS and DECT for Public Environment. 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] ETR 015, "DECT reference document." ETSI, March 1991.
- [13] S. Ghaheri Niri, R. Tafazoli, B.G. Evans, "Wide Area Mobility for DECT." IEEE Global Telecommunications Conference, vol.2, pp. 1119-1125, Nov.1996.
- [14] TR 056, "DECT System description." ETSI, July 1993.
- [15] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan **Personal Handy-phone System Guidebook**. 1995.
- [16] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT). **Personal Handy-phone and the VI&P Concept**. 1995.
- [17] S.Sampe, **Application of digital wireless technologies to global wireless communications**. Prentice Hall, 1997.
- [18] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), "Personal Handy- Phone System ARIB Standard." Version 2, December 26, 1995.
- [19] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) "Information on Personal Handy-phone System," August, 1995.
- [20] Fred J., **Personal Communications Systems Applications**. Prentice Hall, 1997.
- [21] Joseph S.,Yahya Rahmat-Samii, Michael A., Gregory J. "Evaluation of Personal Communications Dual-Antenna Handset Diversity Performance." IEEE Transaction on Vehicular Technology., vol. 47, no. 3, August 1998. Pp. 737-746.
- [22] W.C.Y. Lee, **Mobile Cellular Telecommunication System**. McGraw Hill Inc. 1989.

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์

เรื่อง “Solving Fading Effect in the PCT System by Utilizing Fading Factor in Loss Equation”

ตีพิมพ์ที่ The 1st Workshop on ITS Telecommunications (ITST2000)

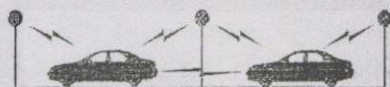
เมื่อวันที่ 26-27 ตุลาคม 2543

สถานที่ Yokosuka Research Park, Yokosuka, Kanagawa, Japan.





The 1st Workshop on ITS
Telecommunications



ITST2000

Technical Digest

HOME PAGE <http://www.ilce.com/ITST2000/>

October 26-27, 2000

Yokosuka Research Park (YRP) Yokosuka, Kanagawa, Japan

เอกส

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solving Fading Effect in the PCT System by Utilizing Fading Factor in Loss Equation

Chatchana Leangwongsun Thanate Pattanatadapong Manoon Sukkasem and Tawil Paungma
 Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
 Tel. (+662)3269080 Fax.(+622)3269965 E-mail : tawilp@telelan.telecom.eng.kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a method to solve the problem of signal fading of the Personal Communication Telephone (PCT) System. In Thailand, Personal Communication Telephone System has frequently suffered from signal fading during conversation. This paper proposes a new idea to solve this problem by using the calculated Fading Factor from data gathered in some signal sampling areas such as Silom road, Ratchadapisek road, Bangna-Trad road and residential area with low traffic which simulated fading in high traffic areas, medium traffic area and low traffic area. Fading Factor are then plugged into loss equation (loss equation improve from COST- 231 equation) to indicate more appropriate positions to set up cell stations, fading effect during conversation will be reduced apparently.

Keyword: Personal Communication Telephone System, Fading, Fading Factor, Fading Effect

1. INTRODUCTION

At present, the demand for communications and the use of telephone has been increasing. The Personal Communication Telephone (PCT) [1] has been developed to utilize the 1900 MHz frequency where such high frequency attenuate sharper and can be effected by outside environment easier. Therefore, signal fading can easily occur and will affect the communication between the telephone and the cell station. It is noticed that during conversation, the signal dropped even though the telephone user did not move. This is the result of signal fading. The decreasing of signal strength from the normal level will temporarily interrupt communication or terminate the call. Therefore in the design of cell station placement, despite the consideration of the traffic and cell service coverage area, the effect of the fading signal also need to be considered. This paper studies the signal

fading of the PCT system. The result can solve fading effect during user conversation lower silent interrupted event low mobility

2. PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE SYSTEM

The Personal Communication Telephone (PCT) system is a system developed from Personal Handy-Phone System (PHS) [2] which provides service as wireless communications with the same telephone number as that of the fix line to become a "Personal Number". The PCT can be characterized as follow,

- Using a small cell called "Nanocell or Microcell". The handset become handy in size because of the lower transmitting power requirements.

- Ability to be used indoors, same as a cordless telephone, with a home base station.

- Can be used as an office cordless telephone with a Wireless Private Automatic Branch Exchange (WPABX)

- Can be used outdoors for low mobility communication via Public Cell Stations. (less than 60 km/hr).

The channels for PCT contained 77 channels with frequency range from 1895.15 to 1917.95 MHz. The structure of the PCT network consists Public Switched Telephone Network, Intelligent Network and PHS network [3] to cooperate with each other. For public services, cell stations were set up along the roads all over Bangkok and Metropolitan. Because the PCT system uses small cells called NanoCell, which broadcast signal in short range, only a few hundred meters, the calculation of the area covered that the cell services need to be more thorough. If the placement range of the cell station is too wide, there will be blind spots of signal, this causes the lost of communication. If the placement range of the cell station is too closed, the cost will rise and the signal may cross interfere. Therefore the placement range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of cell station required suitable range in order to gain the best quality [4].

The lost of voice signal during conversation depends on the Bit Error Rate (BER). If BER is high, it means that the data transfer between cell station and PCT telephone contain a high percentage of error. This will cause interruption in conversation. Fig. 1 represents the lost of signal because of signal fading. Circle A represents the signal faded below Call Drop. This will caused the lost of signal from Hand Out level to Call Drop level or equal to 9 dB. At the position close to Handover level, if the signal fading more than 18 dB, it will caused the lost of signal. Circle B represents no effect of the lost of signal because the PCT Handover from CS2 to CS3.

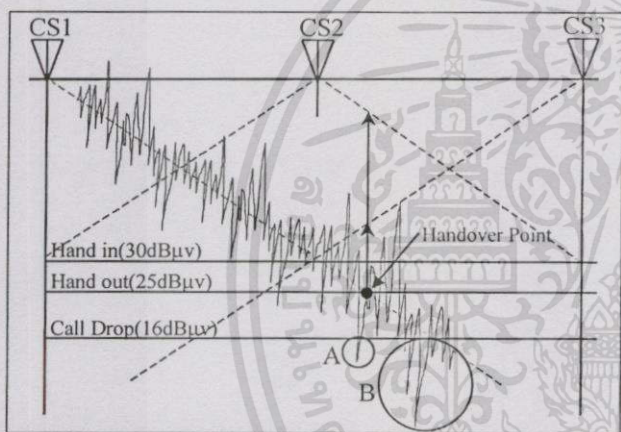


Fig. 1 One cause of fading problem

3. SIGNAL FADING

Fading signal is the signal inconsistency of swinging up – down. Fading signal is mainly caused by Multipath and Doppler Effect.[5] Multipath is signal reflected from buildings in more than one direction to the receiver. Doppler effect occurs when the Environmental objects or telephone user is in motion, influential frequency changed from original frequency with signal received is fading with different frequency shift. Fading has 2 formats, uniform fading and non-uniform fading shown in fig. 2(a) and 2(b) respectively. Fading calculation with 80 percent from maximum - minimum, shown fig. 2(c)

This paper is to experiment with the testing of the PCT system signal by measuring signal strength using LEADER model LF960, "PHS FIELD ANALYER". Measurements were taken 280 meters from the cell for 200-milliwatt cell

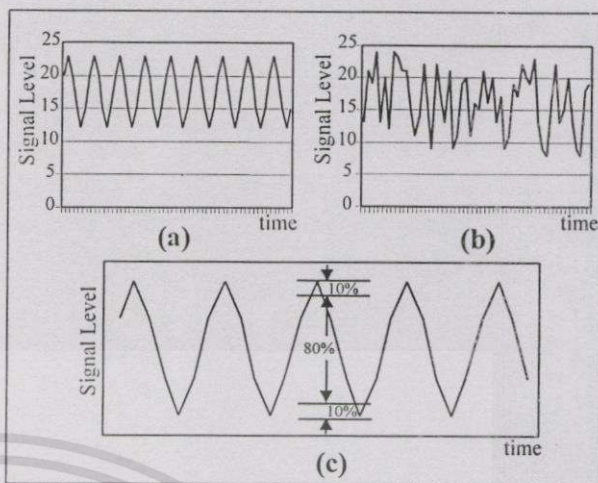


Fig. 2 Formal Fading and Determine fading value

stations and 140 meters for 20-milliwatt stations. Results of signal data shown in fig. 3(a), 3(b), 3(c), 3(d) with example of residential zone such as Onnute road Bangna - Trad road and Silom road, respectively. Fading value calculated form resultant signal fading deviate between 4.32 dB and 23.45 dB. Analysis and consideration with testing environment are effected with those sampling areas.

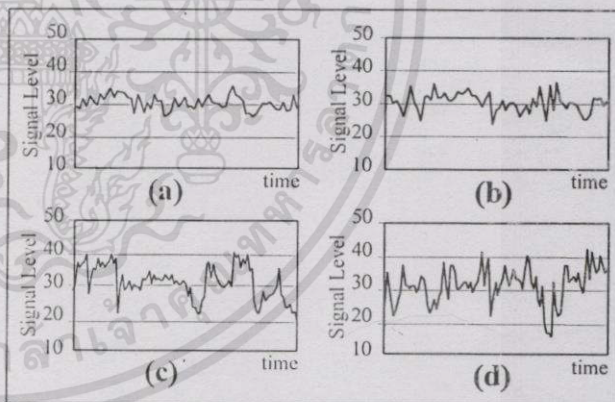


Fig. 3 Example fading signal

Because of the loss of voice signal is assumed by BER, this paper calculated fading value and percentage of BER from signal datas. Results of the relationship of between receiving signal and percentage of BER by fading 8 dB, and 12 dB and 16 dB were shown in fig. 4. We recorded data of not only signal fading but also Multipath signal between buildings. Vehicles are the main cause of signal fading because of their size and velocity. Size of vehicle is a cause of Mutlipath fading and mobility of vehicle caused Doppler fading. Fig. 5 shows graph of relative signal strength level and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

percentage of BER on main road is Silom rd. and Bangna-Trad.

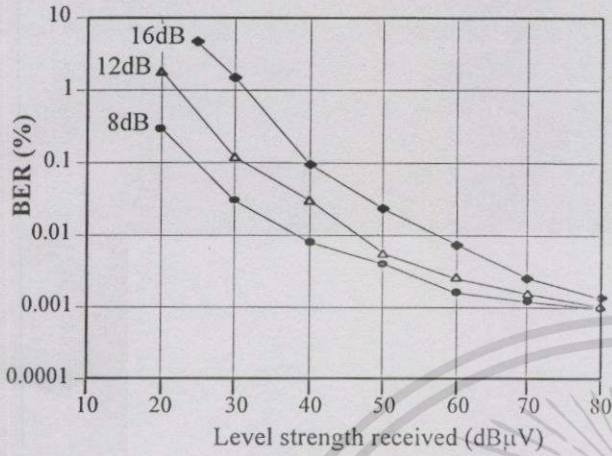


Fig.4 Percentage of BER effected from fading

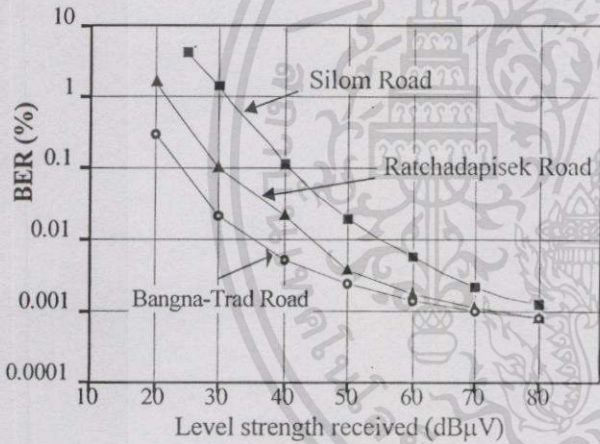


Fig.5 Percentage of BER from measurement

We simulated 3 sampling cell station installation areas, such as

- 1) High traffic density, this is urban area of heavy traffic, many big building such as in the area of Silom road. and Ratchadapisek road,
- 2) Medium traffic density, this is suburban area of Onnute road and Chalongkrung road, and
- 3) Low traffic density, this is residential area of low traffic and small building such as small Soi (Soi is path branch off from the road) and allotments of housing estates.

Parameters of each area are shown on Table 1, indicated different of fading. The calculated Fading Factor from 1/2 of percentile 90 % is different in each area.

Table 1 Parameters of signal

Parameters	Areas 1	Areas 2	Areas 3
Fading values (dB)	12.43-23.45	9.45-20.96	4.32-12.54
Mean of fading (dB)	18.41	15.48	8.15
Standard variation	2.09	2.52	1.86
Percentile 90 %	20.48	18.33	9.94
Fading Factor	10.24	9.17	4.97

4. SOLVING OF SIGNAL LOSS FROM FADING

We could find the distance between cell stations for cell station installation by using loss equation such as Hata 's equation and COST - 231's equation [5]. we improved the loss equation to cater for smaller cell.

$$L = 46.3 + 33.9 \log f_c + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d - 13.82 \log h_{re} - a(h_{re}) + C_M \quad (1)$$

$$L = 40.6 + 33.9 \log f_c + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d - 7.61 \log h_{re} - a(h_{re}) + F_F \quad (2)$$

$$a(h_{re}) = [1.1 \log f_c - 0.7] h_{re} - [1.56 \log f_c - 0.8] \quad (3)$$

- where L : Path loss (in dB)
 f_c : Carrier frequency used in PCT system (Control Channel = 1917.35 MHz)
 h_{te} : Cell station antenna height in meters (about 4.5 meters)
 h_{re} : Personal station antenna height in meters (about 1.5 meters)
 u : Distance (in kilometers) from cell station to personal station
 C_M : 0 in a suburban and 3 stay in down town
 F_F : Fading Factors

Equation (1) COST - 231's equation is derived from Hata 's equation with consideration to use frequency bands of 1500 - 2000 MHz, antenna base station high 30-200 meter and suitable with radian of cell 1- 20 kilometers. Which is unsuitable for PCT and Thailand's environment and Fading Factor is not accounted for we improved the loss equation from equation (1), to include Fading Factor effects with initial loss of 40.6 dB, measured every 1 meter away from cell station to set-up and change factor of high antenna base station to

$7.6 \log h_{te}$, following the logarithm scale. Our proposed equation (2) is suitable for low antenna base station, we used this loss equation to design cell station installation of the PCT system.

Table 2 Radian of coverage cell

Hand-out Level	Radian of coverage area (m)			
	Cell 20 mw		Cell 200 mw	
	Equation (1)	Equation (2)	Equation (1)	Equation (2)
25dB μ V	249.2	192.6	439.3	339.8
28dB μ V	210.2	162.6	370.6	286.6
30dB μ V	187.7	145.2	330.9	255.9

Table 2 shown radian of cell coverage area calculated from equation (1) and (2) by $c_M=3$ $F_F=9.17$ and Hand-out level are 25, 28, 30 dB μ V respectively. Results calculated from equation (1) are over value from those recorded, as equation (1) uses to calculate cell size from 1-20 kilometer. Results calculated from equation (2) resemble closely to the measurement results, as we have included Fading Factor in equation (2). Result comparison between equation (1) and equation (2) shown in fig. 6.

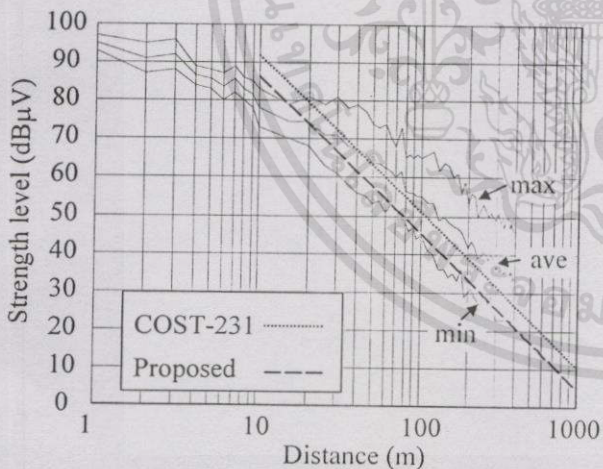


Fig.6 Result comparison between COST-231 and a proposed 's equations

In this paper, simulation of Hand-out levels are at 25, 26, 27, 28, 29 and 30 dB μ V, by increasing fading value from 0 to 20 dB shown in fig. 7. When step up Hand-out level the value of BER deceased, cell coverage area reduced but not affecting service area, because we design cell station installation for 2 carrier per area. Such

system will serve the user which continuous communications.

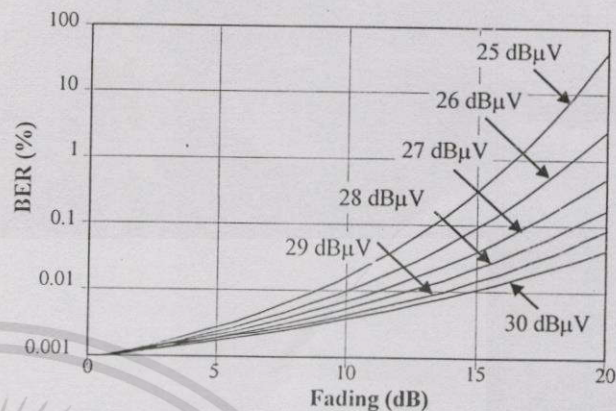


Fig. 7 Results from simulation by change Hand-out Level

5. CONCLUSION

This paper presents a method to solve fade voice signal during conversation by using new loss equation to include Fading Factor. We acquired fading value, average fading and Fading Factor by using the calculated fading factor from data gathered in some signal sampling area with high traffic, medium traffic and low traffic. Fading Factor of each area is 10.24, 9.17 and 4.97 respectively. By this equation we can determine distance between cell station of PCT system with more efficiency, besides, we can adjust high Hand-out level in critical signal fading areas.

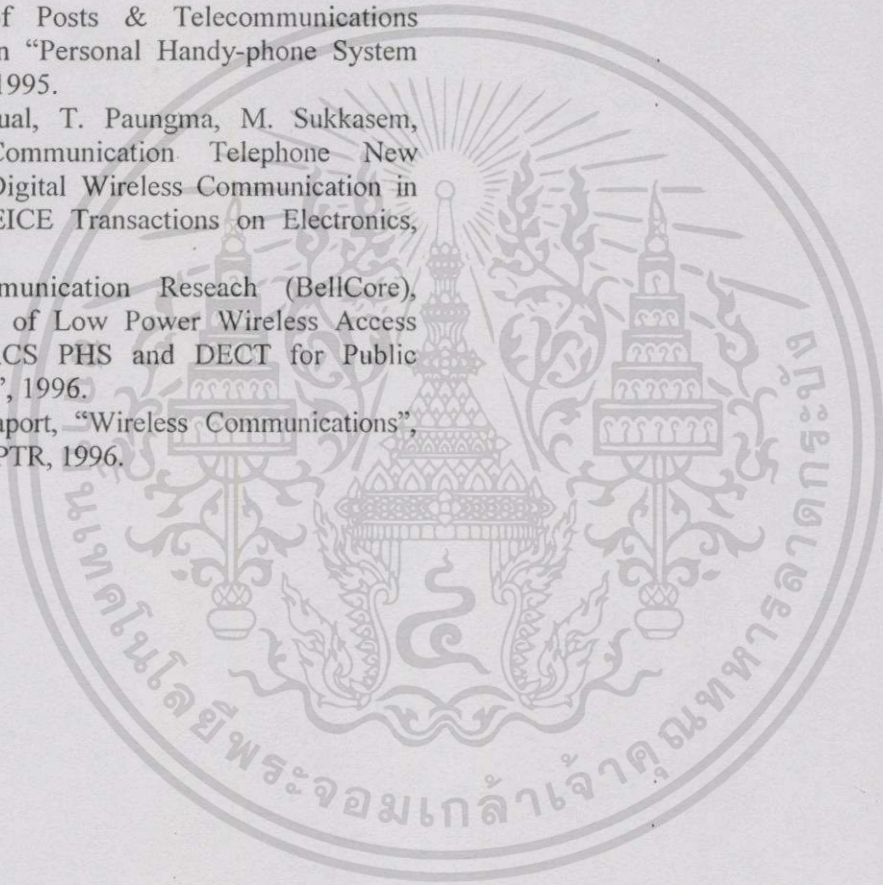
In order to solve fading effects the of PCT system, in high traffic area, we adjust the Hand-out level to 27 dB and distance between cell stations to less than 162.0 and 285.6 meters for power of cell station at 20 and 200 mw respectively for 2 carrier per area. In medium traffic area, we adjust the Hand-out level to 26 dB and distance between cell stations to less then 182.1 and 321.0 meters for power of cell station at 20 and 200 mw respectively. For low traffic area, we use original Hand-out level of 25 dB and distance between cell stations less of then 244.6 and 431.1 meters for power of cell station of 20 and 200 mw respectively. Our proposed equation is applied to solve loss signal during communication, the fading effect during conversation will obviously be reduced. Such system provide users with non interrupted communications.

6.ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our sincere thanks to all those who contributed to the PCT project of TelecomAsia Co., Ltd.

7.REFERENCES

- [1] Telecom training Department-TT&D, "PCT Network Introduction", Version 3, November 26, 1997.
- [2] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan "Personal Handy-phone System Guidebook" 1995.
- [3] P. Moungnual, T. Paungma, M. Sukkasem, "Personal Communication Telephone New System for Digital Wireless Communication in Thailand", IEICE Transactions on Electronics, No.7, 1999.
- [4] Bell Communication Reseach (BellCore), "Comparison of Low Power Wireless Access Systems: PACS PHS and DECT for Public Environment", 1996.
- [5] T. S. Rappaport, "Wireless Communications", Prentice Hall PTR, 1996.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายชัชชนะ เลียงวงษ์สันต์ เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2518 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) ปีการศึกษา 2539 จากมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี ปี 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2541

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

C. Leangwongsun, T. Pattanatadapong, M. Sukkasem, and T. Paungma, "Solving Fading Effect in the PCT System by Utilizing Fading Factor in Loss Equation," The 1st Workshop on ITS Telecommunications (ITST2000), pp. 91-95.

