

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อีควอไลเซชันระดับซีพแบบ LMMSE สำหรับระบบการสื่อสาร MIMO CDMA ขาลง
ในสถานะการจางหายของช่องสัญญาณแบบเร็ว



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chip level LMMSE Equalization for Downlink

MIMO CDMA in fast fading environments

BY

Mr.WONGSAKORN

SEELA

Mr.VASHIRA

CHAMNONGNIT



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อีควอลไลเซชันระดับซีพีแบบ LMMSE สำหรับระบบการสื่อสาร MIMO CDMA ขาลงในสภาวะการจางหายของช่องสัญญาณแบบเร็ว

ชื่อนักศึกษา นายวงศกร สีลา รหัสประจำตัว 46010644
นายวชิระ จ่านงนิทย์ รหัสประจำตัว 46010645

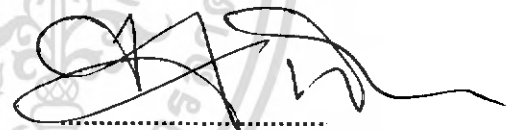
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.จักรี ทิมภักย์วิศิษฏ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2549

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



(ดร.จักรี ทิมภักย์วิศิษฏ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อีควอลไลเซชันระดับชีพแบบ LMMSE สำหรับระบบการสื่อสาร MIMO CDMA ขาลงในสภาวะการจางหายของช่องสัญญาณแบบเร็ว
ชื่อนักศึกษา	นายวงศกร สีลา รหัสประจำตัว 46010644 นายชिरระ จ่านงนิตย์ รหัสประจำตัว 46010645
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.จักรี ทิมภาคย์วิศิษฐ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

ในของวิทยานิพนธ์นี้ เราจะพิจารณาถึง Equalization สมการเชิงเส้นแบบ MMSE สำหรับการส่งข้อมูลแบบไร้สายของระบบ CDMA ด้วยสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณหลายตัวในสภาวะการจางหายของช่องสัญญาณแบบเร็ว เรายานำเสนอ algorithm ใหม่ ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐาน conjugate - gradient algorithm ด้วยการประมาณค่าของสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณที่มีหลายแบบ สัมประสิทธิ์ทั้งหมดจะถูกประมาณค่าโดยการใช้ weighted sliding window และเสนอวิธีการเพื่อหา optimal weight เมื่อเทียบกับความถี่ครอปเฟลอร์ และจำลองการทำงานของอัลกอริทึมในสภาวะการจางหายของช่องสัญญาณแบบเร็ว

Thesis Title Chip level LMMSE Equalization for Downlink
MIMO CDMA in fast fading environments

Student Mr.Wongsakorn Seela ID.46010644
Mr.Vashira Chamnongnit ID.46010645

Advisor Mr.Chakree Teekapakvisit

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2006

Abstract

In this Project, we consider linear MMSE equalization for the wireless downlink transmission with multiple transmit and receive antennas in fast fading environment. We propose a new algorithm based on Conjugate-Gradient algorithm with enhanced channel estimation. The channel coefficients are estimated by using a weighted sliding window. The algorithm will be simulated in fast fading environment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งของ อาจารย์จักรี ทิฆมภาคย์วิสิษฐ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็น ต่าง ๆ ของการทำปริญญาบัตรมาโดยตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์มา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้ทำปริญญาบัตรใคร่กราบขอบพระคุณ บิคารมรดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้ทำปริญญาบัตรเสมอมาจนปริญญาบัตรในภาคการศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไป ได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญภาพ

บทที่

1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
CDMA	3
ความหมายของ CDMA	3
ข้อบ่งชี้ทางทฤษฎี CDMA	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในระบบ CDMA	4
การแยกสัญญาณ	5
ข้อดีของระบบ CDMA	6
ข้อเสียของระบบ CDMA	8
IS-95	8
Spread Spectrum	9
Frequency Hopping Spread Spectrum	10
Direct-sequence spread spectrum	10
Chip Rate	11
Correlation	12
Generate Code	12
CODE ที่ใช้ในระบบ CDMA (IS-95)	14
Downlink / Forward Link	14
1. Forward Pilot Channel	15
2. Forward Synchronization Channel	16
3. Forward Paging Channel	16
4. Forward Traffic Channel	16

Adaptive filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17

Structure of adaptive filter	17
Concept of adaptive filter for noise cancellation	18
Adaptive algorithm	19
มัลติพาธ (Multipath)	20
Multipath Propagation: การแพร่กระจายคลื่นหลายเส้นทาง	22
ผลของ multipath propagation	23
ทฤษฎีการจางหายบนช่องสัญญาณ	24
ชนิดของการจางหายของสัญญาณ	24
การจางหายของช่องสัญญาณที่เกิดจากการแพร่กระจาย- ของเวลาดีเลย์แบบหลายวิธี	26
การจางหายของช่องสัญญาณที่เกิดจากการกระจายของคอปเฟลอร์	27
Fast fading	27
Slow fading	28
การเลื่อนคอปเฟลอร์	29
MIMO Technology	30
แบบจำลองของเจ็ค(Jakes' model)	31
Interleave	34
3. การออกแบบระบบงาน	36
LST Transmitters: Layered space-Time	36
LST Receivers	38
Iterative LST Receiver	39
Iterative MMSE Receiver	40
4. การทดสอบการทำงานของระบบ	43
4.1 ผลการเปรียบเทียบการส่งสัญญาณเมื่อสภาวะ ช่องสัญญาณเปลี่ยน โดยที่ความถี่คอปเฟลอร์สูงขึ้น	44
4.2 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ จากการกำหนดให้เพิ่มจำนวนเสาส่งสัญญาณ	45
4.3 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้น	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการพัฒนาต่อไป	47
5.1 สรุปผลการวิจัย	47
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป	48
เอกสารอ้างอิง	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1.1 Block diagram ของ MIMO	2
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะการส่งข้อมูลแบบต่างๆ	4
รูปที่ 2.2 (ซ้าย)ระบบ TDMA และ FDMA cell ที่คิดกันจะใช้ความถี่ไม่เหมือนกัน	4
รูปที่ 2.3 (ขวา) CDMA ทุก cell จะใช้ความถี่ทั้งหมดเหมือนกัน	4
รูปที่ 2.4 แสดงCDMA Cellular Networkทั่วไป	5
รูปที่ 2.5 “Basic of CDMA”	6
รูปที่ 2.6 แสดงการประมาณการก้าวหน้าของระบบCDMA โดยมีการเปลี่ยนมาตรฐานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ	9
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการส่ง ข้อมูล	10
รูปที่ 2.8 พื้นฐานของการทำสเปกตรัมแบบ Direct-sequence แบบง่าย	11
รูปที่ 2.9 การทำให้สัญญาณใหม่ที่ได้มี bit rate สูงขึ้น	11
รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณที่มีการ“Match”	12
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรการสร้างcode โดยใช้shift register 4ตัวและวงจรบวกเลขฐาน 2	13
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการแบ่งช่องสัญญาณ Walsh code 64 ชุด	15
รูปที่ 2.13 Forward Pilot Channel	15
รูปที่ 2.14 Forward Paging Channel	16
รูปที่ 2.15 Forward Traffic Channel	17
รูปที่ 2.16 General form of Adaptive Filter	18
รูปที่ 2.17 Adaptive filter for Noise cancellation	18
รูปที่ 2.18 Adaptive filter for Noise cancellation	19
รูปที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W_{optimum}$ กับ W_k	20
รูปที่ 2.20 Multipath Propagation	22
รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดการกระจายคลื่นแบบหลายวิถี	23

รูปที่ 2.22	การเกิดการจางหายของสัญญาณ	24
รูปที่ 2.23	fast and slow fading	28
รูปที่ 2.24	Doppler frequency shift	29
รูปที่ 2.25	บล็อกโคเดแกรมระบบสื่อสารไร้สายแบบ MIMO	30
รูปที่ 2.26	โครงสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีตามแบบของเจ็ค	31
รูปที่ 2.27	สเปกตรัมความถี่ของออสซิลเลเตอร์สำหรับกรณี $M=8$ และ $N=34$	32
รูปที่ 2.28	(a)block interleave (b)random interleave	35
บทที่ 3		
รูปที่ 3.1	สถาปัตยกรรม VLST	36
รูปที่ 3.2	สถาปัตยกรรมของภาคส่งสัญญาณแบบ TLST	37
รูปที่ 3.3	บล็อกโคเดแกรมของ TLST	39
รูปที่ 3.4	บล็อกโคเดแกรมของ Iterative ของ MMSE receiver	40
รูปที่ 3.5	บล็อกโคเดแกรมของ Chip-Level Linear MMSE Equalizer	42
บทที่ 4		
รูปที่ 4.1	ผลการเปรียบเทียบการส่งสัญญาณเมื่อสถานะช่องสัญญาณเปลี่ยน โดยที่ความถี่คอปเพลอร์สูงขึ้น	44
รูปที่ 4.2	การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจากการกำหนดให้เพิ่มจำนวนเสาส่งสัญญาณ	45
รูปที่ 4.3	การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้น	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

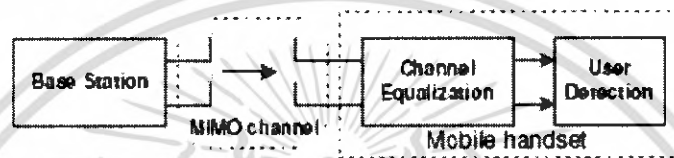
ปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านคุณภาพการให้บริการของระบบ ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาโดยนักวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยมีประวัติของการพัฒนาระบบสื่อสารไร้สายพอสังเขปดังนี้

- **1G** ใช้การส่งสัญญาณแบบอนาล็อก ใช้คลื่นความถี่ระหว่าง 800 ถึง 900MHz หลังจากนั้นมีการเพิ่มเทคโนโลยี FDMA (frequency division multiple access) ทำให้สามารถเปลี่ยนการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกเดิมไปเป็นดิจิทัลได้ และยังได้แบ่งคลื่นความถี่ออกเป็น 30ช่องทางเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลอื่นๆที่ไม่ใช่เสียงออกไปได้
- **2G** จากข้อมูลที่เป็นเสียงเพียงอย่างเดียวก็สามารถส่งข้อมูลไปด้วยได้ด้วย ถือเป็นรูปแบบการส่งข้อมูลแบบดิจิทัลอย่างแท้จริง ซึ่งระบบโทรศัพท์ในยุคดิจิทัลจะให้เสียงที่คมชัดกว่าเดิมมาก ความถี่ของระบบโทรศัพท์ในยุคนี้จะมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ 900 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 1800 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นช่วงที่ระบบ GSM แพร่หลาย
- **2.5G** เป็นสะพานเชื่อมต่อไปสู่ยุคหน้าที่ระบบสื่อสารมีความเร็วสูงขึ้น สำหรับเทคโนโลยีในยุคนี้ GPRS ,EDGE
- **3G** มีเรื่องของมาตรฐานมาเกี่ยวข้องจากหน่วยงาน Internation elecommunications Union สำหรับคุณสมบัติและความสามารถของ 3G มีดังนี้ ใช้คลื่นความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ สามารถเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายได้ตลอดเวลาสามารถส่งข้อมูลที่มัลติมีเดียได้เป็น รองรับการใช้งานประเภทดิจิทัลคอนเทนต์ มีความเร็วในการสื่อสารสูงสุด 2Mbps (ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม) สามารถทำโรมมิ่ง (roaming) ได้ทั่วโลกๆ ปัจจุบันเครือข่าย 3G ถูกแบ่งออกเป็น 3มาตรฐานหลักด้วยกันคือ CDMA2000, TD-SCDMA, UMTS (W-CDMA)
- **4G** ความเร็วในการสื่อสารได้ถึงระดับ 20-40 Mbps ความโดดเด่นของ 4G คือ ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานบนเครือข่ายที่กินพื้นที่กว้างก็ได้หรือจะทำเป็นเครือข่ายขนาดเล็กๆ แบบ WLAN

จากพัฒนาการของระบบสื่อสารเราจะพบว่าสิ่งที่สำคัญและเป็นสิ่งที่สนใจและพัฒนาอย่างต่อเนื่องคือเรื่องของปริมาณข้อมูลในที่สามารถส่งต่อหน่วยเวลาหรือความเร็วในการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นเองซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงได้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับและส่งข้อมูลเรียกว่า เทคโนโลยี MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) เป็นเทคโนโลยีที่เพิ่มอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล ซึ่งเป็นเทคนิคการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณในการรับ-ส่งข้อมูล ด้วยการเพิ่มจำนวนเสาอากาศทั้งที่เครื่องส่ง และเครื่องรับให้มากขึ้นเป็นจำนวนเท่าๆกัน ไม่เพียงแต่ช่วยให้การส่งข้อมูลทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ยังช่วยเพิ่มความเสถียรของเครือข่าย (network reliability) อีกด้วย



รูปที่ 1.1 Block diagram ของ MIMO

เมื่อทราบถึงปัญหาในปัจจุบัน และความต้องการของระบบสื่อสารไร้สายในอนาคต ปรินุญยานิพนธ์นี้จึงมุ่งที่ศึกษาปัญหาที่เกิดจากการสื่อสารไร้สายในช่องการสื่อสารภายใต้สภาวะ fast fading เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูล

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

CDMA

ความหมายของ CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหนึ่งซึ่ง ข้อมูลที่ส่งออกมาจากสถานีฐานจะประกอบด้วยข้อมูลของผู้ใช้หลายคน ในระบบ CDMA นี้ผู้ใช้แต่ละคนจะได้รับ code ชุดหนึ่งที่ไม่เหมือนกับ code ของผู้ใช้คนอื่น เมื่อใช้ code ดังกล่าว ถอดรหัสสัญญาณจากสถานีฐาน ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนได้รับข้อมูลในส่วนของตัวเองได้ CDMA เป็นเทคโนโลยีที่แก้ไขข้อจำกัดของการสื่อสารแบบไร้สายในปัจจุบันด้วยวิธีง่าย ๆ และมีประสิทธิภาพ โดยระบบ CDMA จะแปลงเสียงเป็นรหัสเฉพาะในรูปของแพ็คเกจจากนั้นสัญญาณรหัสนี้ของการพูดทั้งหมดจะถูกจัดสรรให้กระจายไปยังช่วงกว้าง ๆ ของย่านความถี่สัญญาณรบกวนอื่น ๆ นอกเหนือจากคำสนทนาจะถูกดึงออกที่ปลายทาง โดยรหัสที่ระบุไว้แล้ว เมื่อกลุ่มสัญญาณนี้เดินทางมาถึงเครื่องรับสัญญาณเสียงหรือข้อมูลที่ได้รับมานี้จะถูกนำมารวบรวมในรูปของคำสนทนาก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งด้วยเทคนิคนี้จึงสามารถทำให้ระบบนี้สามารถรองรับจำนวนการโทรเข้าออกได้หลายๆ การสนทนาในเวลาเดียวกันภายในการส่งสัญญาณ ผ่านย่านคลื่นวิทยุเพียงหนึ่งคลื่น ผลก็คือระบบ CDMA จะสามารถรองรับปริมาณคู่สายได้จากการใช้ระบบ CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) หรือ นิยมเรียกกันว่า IS-95 ซึ่งชื่ออย่างเป็นทางการคือ TIA/EIA-95B บริษัท Qualcomm จาก San Diego, California USA เป็นผู้พัฒนาระบบ CDMA โดยใช้ Spread Spectrum Technique Spread Spectrum ไม่ได้ให้ช่องสัญญาณ หรือ แบ่งเป็น Timeslot เช่นระบบ TDMA แต่ CDMA ใช้วิธีให้ทุกคนใช้ความถี่เดียวกันพร้อมๆ กัน เช่นเดียวกับสถานีวิทยุที่ออกอากาศ ในความถี่ เดียวกัน ในเวลาและสถานที่เดียวกัน

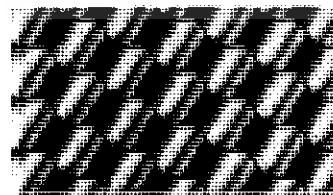
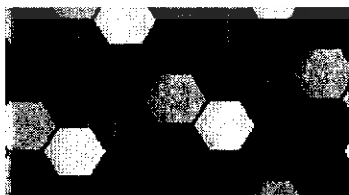
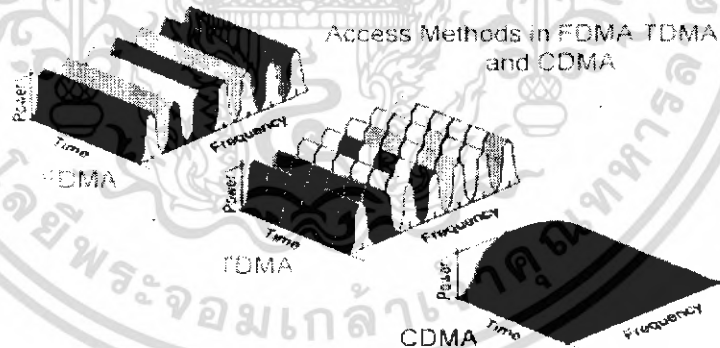
ขอบข่ายทางทฤษฎี CDMA

ในปี 1940 ทฤษฎี CDMA ถูกคิดขึ้น ต่อมาในปี 1990 QUALCOMM, Inc., of San Diego เป็นผู้เริ่มเสนอแนวคิดของระบบ CDMA ทำให้เกิดการนำระบบ CDMA มาใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ปี 1994 ระบบ CDMA ถูกจัดตั้งเป็นมาตรฐาน IS-95 (TIA/EIA/IS-95) จนกระทั่ง 1995 นำทางด้านเทคโนโลยีที่น่าสนใจระบบ CDMA ได้รวมตัวกันขึ้นมาในนามของ CDG (CDMA Development Group) โดยขณะนี้กำลังอยู่ในขั้นตอนพัฒนา cdmaOne™ ไปสู่ cdma2000 และได้ถูกเสนอต่อ ITU ให้เป็นส่วนหนึ่งของ IMT-2000 3G Process ขณะนี้ cdmaOne อยู่การดำเนินการเฟสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรก มีมาตรฐาน 1XRTT ความเร็วในการส่งข้อมูล 144 kbps ในช่องสัญญาณขนาด 1.25 MHz เฟสที่ 2 ที่จะพัฒนาต่อไปจะทำให้ระบบมีความเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 2 Mbps ในขนาดช่องสัญญาณไม่จำกัด จะเห็นได้ว่า จริงๆ แล้ว CDMA ถูกคิดขึ้นมาตั้งแต่ทศวรรษ 1940 แต่เข้าสู่การตลาดค่อนข้างช้า เนื่องจากเหตุผลทางเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในระบบ CDMA

PN code คือ สัญญาณ (Sequence) ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีการที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน ขบวนการสัญญาณที่ได้จะมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสัญญาณ Random มาก ถูกนำมาใช้ใน Signal Synchronization, Cryptography และการทำ Spread Spectrum วิธีสร้าง PN Code นั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมมากคือ Binary Maximal Sequence (Binary m-sequence) Maximal Sequence เป็น sequence ที่นิยมใช้ในการทำ PN Code สร้างจาก Shift Register ต่ออนุกรมกัน โดยมีการป้อนกลับอย่างน้อย 2 ตำแหน่งไปยังขาเข้าของ Shift Register ตัวแรก เมื่อเราพิจารณาถึงหลักการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบ FDMA (Frequency Division Multiple Access) ผู้ใช้จะได้รับช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูล ระบบ TDMA (Time Division Multiple Access) ผู้ใช้จะได้รับช่วงความถี่และใช้ช่วงเวลาที่กำหนดในการส่งข้อมูล และสำหรับระบบ CDMA ผู้ใช้จะใช้ช่วงความถี่ทั้งหมดและไม่จำกัดช่วงเวลาโดย ส่ง/รับข้อมูลโดยการเข้า/ถอดรหัสเปรียบเทียบกับลักษณะการส่งข้อมูลแบบต่างๆ



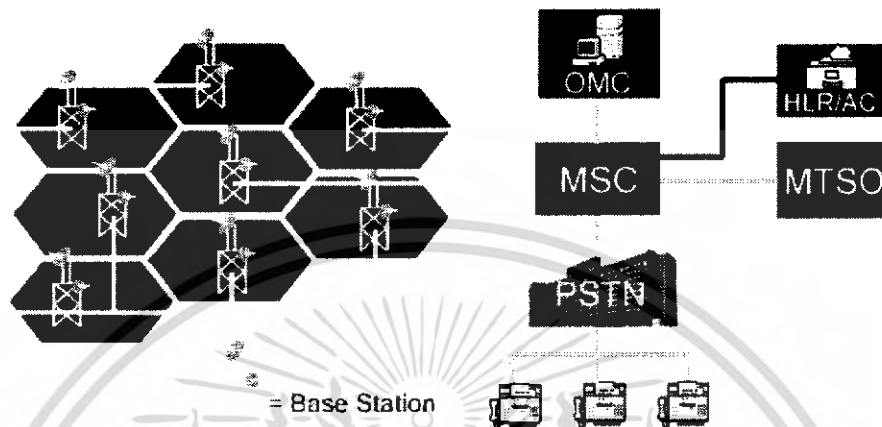
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะการส่งข้อมูลแบบต่างๆ

รูปที่ 2.2 (ซ้าย) ระบบ TDMA และ FDMA cell ที่ติดกันจะใช้ความถี่ไม่เหมือนกัน

รูปที่ 2.3 (ขวา) CDMA ทุก cell จะใช้ความถี่ทั้งหมดเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในช่องทางใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบ TDMA และ FDMA จะแบ่งพื้นที่ออกเป็นบริเวณขนาด หนึ่งหรือที่เรียกว่า cell โดย cell ที่ติดกันจะใช้ความถี่ไม่เหมือนกัน ขณะที่ระบบ CDMA ทุก cell จะใช้ความถี่ทั้งหมด เหมือนกันดัง รูปด้านขวา ตามหลัก multiple access ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น



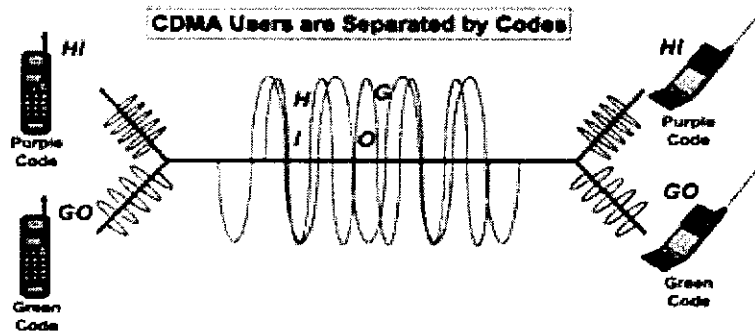
รูปที่ 2.4 แสดง CDMA Cellular Network ทั่วๆ ไป

รูปนี้แสดง CDMA Cellular Network ทั่วๆ ไป base station แต่ละที่จะดูแล cell ของมัน (ในที่นี้เป็นรูป6เหลี่ยม) โดยที่base stationจะถูกควบคุมโดย base station controller (BSC) อีกที จาก BSC ก็จะไปเชื่อมต่อกับ Mobile Switching Center(MSC) ซึ่งดูแลการสวิตซ์ทั้งหมดนั่นคือเชื่อมต่อกู่สายระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์2คนเข้าด้วยกันทั้งเชื่อมระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่2เครื่อง หรือเชื่อมระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ตามบ้าน MSC จะมีฐานข้อมูลอยู่เรียกว่า Home Location Register/Authentication Center(HLR/AC) HLR จะเก็บข้อมูลของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมดขณะที่ACจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สำหรับ Operation and Maintenance Center (OMC) จะควบคุมและดูแลการประสานงานnetworkทั้งหมด และหากเป็นการติดต่อไปยังโทรศัพท์บ้าน MSC จะติดต่อผ่านทาง Public Switched Telephone Network (PSTN)

การแยกสัญญาณ

CDMA มีวิธีการแบ่งแต่ละสัญญาณด้วยรหัส (Code Division) ผู้ใช้โทรศัพท์ CDMA จะได้รับ Code ที่แตกต่างกัน โดย Code ที่ผู้ใช้แต่ละคนได้รับจะไม่ซ้ำกัน เพราะ วิศวกรออกแบบให้มีถึง 4.4 ล้านล้าน (Trillion Code) ซึ่งเป็นข้อกำหนดของ CDMA (PN Long Code) ขณะเดียวกัน สถานีฐานก็มี Code แยกต่างหาก เพื่อแยกว่ารับสัญญาณจากสถานีฐานไหน (PN Short Code) หลังจากทีเครื่อง CDMA ทำการเข้ารหัสระบบจึงจะส่งสัญญาณออกอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 “Basic of CDMA”

ระบบ CDMA ใช้ความถี่ 1.25 MHz (1,250 Hz) ซึ่งเมื่อเทียบกับ 30 KHz (Amps) และ 200 KHz (GSM) CDMA ใช้ช่องความถี่กว้างกว่าระบบที่กล่าวมามาก CDMA ให้ความถี่เดียวกับผู้ใช้ทุกคน และสามารถนำความถี่เดิมไปใช้อีก (Universal Frequency Reuse) ซึ่งช่วยลดปัญหาการวางแผนความถี่(Frequency Planning)

CDMA ใช้วิธี Spreading signal คือการแปลงสัญญาณเสียงเป็น Digital และ ขยาย (Spread) ด้วย Code แบบ 0 และ 1 ข้อมูล (Voice หรือ Data) จะถูกขยายด้วย Code จำนวน Bit จะเพิ่มขึ้นก่อนส่งออกอากาศ จึงต้องใช้ช่องสัญญาณที่กว้าง ข้อดีของการ Spreading คือ สัญญาณจะขยายมากขึ้นถึง 21 dB จึงไม่จำเป็นต้องใช้กำลังส่งสูง CDMA มีการควบคุมกำลังส่ง ที่ช่วยให้การส่งสัญญาณเป็นไปอย่างเหมาะสม เช่น หาก MS อยู่ใกล้กับ BTS จะใช้กำลังส่งน้อย ผู้ใช้จึงสนทนาได้นานขึ้น โดยให้พลังงานจากแบตเตอรี่น้อยลง ทั้งยังเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานของโทรศัพท์ TDMA และ CDMA ถือได้ว่าเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 (2G)

ข้อดีของระบบ CDMA

ความสามารถในการรองรับปริมาณผู้ใช้งาน ที่มากกว่า (Capacity)

CDMA เป็นเทคโนโลยีที่แก้ไขข้อจำกัดของการสื่อสารไร้สาย ในเรื่องความจุของช่องสัญญาณ เนื่องจากระบบ CDMA จะลดข้อมูลในการส่ง สัญญาณลงเมื่อไม่มีการพูด คั้งที่กล่าวถึงในเรื่อง Voice activityเมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่งหรือมีน้อย กำลังส่งจะลดลง สัญญาณรบกวนในระบบมีน้อย และ ความยืดหยุ่น ของรูปแบบการส่งข้อมูล (Radio Configuration) ทำให้ CDMA รองรับผู้ใช้บริการได้มากกว่า และ บริหารทรัพยากรได้เหมาะสมกว่าระบบอื่นๆ

การส่งผ่านสัญญาณที่ราบรื่น ลดปัญหาสายหลุด (Soft hand-off)

การส่งผ่านสัญญาณ (Handoff) ของเครือข่าย CDMA ในบริเวณที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐาน เครื่องลูกข่ายจะทำการส่งสัญญาณเชื่อมต่อกับหลายสถานีฐานพร้อมกัน (Soft handoff) เพื่อให้ได้สัญญาณที่ชัดเจนที่สุด ก่อนที่จะเลือกส่งผ่านสัญญาณไปที่สถานีฐานที่มี สัญญาณชัดเจนที่สุด ต่างจากระบบอื่นที่เชื่อมต่อสัญญาณได้เพียงครั้งละหนึ่งสถานีฐาน (Hard Handoff) การมี Soft Handoff สามารถลดจำนวนครั้ง และ ความถี่ของปัญหาสายหลุด ลดสัญญาณรบกวน ผู้ใช้จะสามารถสื่อสารอย่างราบรื่นและต่อเนื่อง

ความคมชัด และคุณภาพของเสียงในการติดต่อสื่อสาร (Rake Receiver)

ความคมชัด และ คุณภาพของเสียงในการติดต่อสื่อสารที่เหนือกว่าระบบอื่น ด้วยเทคโนโลยี 2G ที่รวมสัญญาณจากทุกทิศทาง (Multi-path Advantage) เพื่อให้ได้สัญญาณที่เข้ม และ หนาแน่น ตามปกติสัญญาณวิทยุจะมีการสะท้อนกับวัตถุรอบข้าง เช่น ภูเขา ดึก ลิ่งก่อสร้าง พื้นน้ำ ซึ่งสัญญาณตรงและสัญญาณสะท้อนมักจะรบกวนกัน แต่ระบบ CDMA มีชุดรับสัญญาณถึง 3 ชุด (Rake Receiver) ในการรับสัญญาณแต่ละครั้ง โดยเครื่องจะเลือกประมวลสัญญาณที่ชัดเจน ที่สุด ซึ่งเทคนิคการประมวลสัญญาณเสียงของระบบ CDMA จะทำให้ได้เสียงที่มีคุณภาพดี เพื่อการสนทนาที่ชัดเจนและลดเสียงรบกวนให้น้อยที่สุด

ลดความสิ้นเปลืองพลังงานจากแบตเตอรี่ (Power Control)

ด้วยเทคโนโลยีการประมวลสัญญาณเสียง และ การตรวจสอบสัญญาณ ระหว่างเครื่องลูกข่าย และ สถานีฐานอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการควบคุมกำลังส่ง (Power control) เมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ใกล้สถานีฐาน หรือ สัญญาณมีความชัดเจนมาก กำลังส่งจะลดลง โดยการใช้กำลังส่งที่เหมาะสมกับการใช้งานทำให้การรบกวนของสัญญาณลดลงและ การส่งสัญญาณแบบบีบอัด ผู้ใช้จึงสามารถสนทนาได้นานขึ้น โดยสิ้นเปลืองพลังงานของแบตเตอรี่น้อยลง ทั้งยังยืดอายุ การใช้งานของแบตเตอรี่

ความปลอดภัยของสัญญาณออกอากาศ

ผู้ใช้นั้นใจได้ว่าทุกการสื่อสารและการรับส่งข้อมูลจะปลอดภัย และ เป็นส่วนตัว เนื่องจากการ ส่งสัญญาณของระบบ CDMA ที่ใช้รหัส (codes) หลายชุด เช่น PN Long Code PN Short Code Walsh code ซึ่ง PN Long Code มีหน่วยของรหัสมากถึง 4.4 ล้านล้านหลัก รหัสเหล่านี้นอกจากจะ

ช่วยในการแบ่งแยกผู้ใช้งานในระบบ CDMA แล้ว ยังจะช่วยป้องกัน การลอกเลียนแบบ และ ลดความผิดพลาดในการสื่อสารของระบบ CDMA อีกด้วย

ข้อเสียของระบบ CDMA

เนื่องจากเทคโนโลยี CDMA ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่ ดังนั้น จึงมีค่าใช้จ่ายสูง อุปกรณ์รับส่งข้อมูลมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายอื่นๆมาก

CDMA เป็นเทคโนโลยีที่แก้ไขข้อจำกัดของการสื่อสาร แบบ ไร้สายในปัจจุบันด้วยวิธีง่ายๆ และมีประสิทธิภาพ โดยระบบCDMAจะแปลงเสียงเป็นรหัสเฉพาะในรูปของแพ็คเกจจากนั้น สัญญาณรหัสของการพูดทั้งหมดจะถูกจัดสรรให้กระจายไปยังช่วงกว้างๆ ของย่านความถี่สัญญาณรบกวนอื่นๆ นอกเหนือจากคำสนทนาจะถูกดึงออกไปหลายทาง โดยรหัสที่ระบุไว้แล้ว เมื่อกลุ่มสัญญาณนี้เดินทางมาถึงเครื่องรับสัญญาณเสียงหรือข้อมูลที่ได้รับมานี้ จะถูกนำมารวบรวมในรูปของคำสนทนา ก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งด้วยเทคนิคนี้จึงสามารถทำให้ระบบนี้สามารถรองรับจำนวนการโทรเข้าออกได้หลายๆ การสนทนาในเวลาเดียวกันภายในการส่งสัญญาณ ผ่านย่านคลื่นวิทยุเพียงหนึ่งคลื่น ผลก็คือระบบ CDMA จะสามารถรองรับปริมาณคู่สายได้จากการใช้ระบบ CDMA

IS-95

เป็นมาตรฐานของ mobile และ base station สำหรับ dual-mode wideband spread spectrum มาตรฐานนี้ นำมาใช้งานในประเทศอเมริกาที่ 800 MHz cellular bands ต่อมาดัดแปลงมาใช้กับ Personal communications service (PCS) 1900 MHz มาตรฐานนี้เสนอโดยบริษัท Qualcomm ซึ่งได้รับความร่วมมือจาก AT&T Motorola และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง IS-95 เป็น direct-sequence CDMA ที่ผู้ใช้แต่ละคนจะมี pseudorandom code ที่ไม่เหมือนกัน ปี 1988 The Cellular Telecommunications Industry Association (CTIA) กำหนด User's Performance Requirements (UPR) สำหรับ cellular carrier's ในระบบ cellular ยุคต่อไป ซึ่ง IS-95 สามารถตอบสนองต่อ ข้อกำหนดต่างๆ ได้ ข้อกำหนด

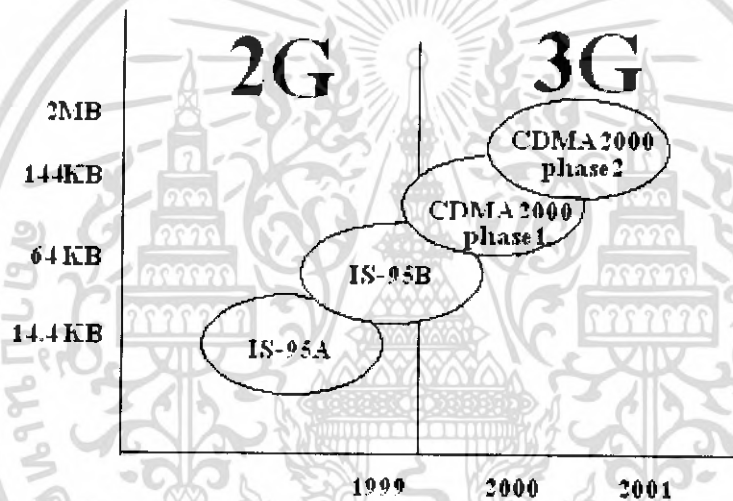
ต่างๆเหล่านี้ได้แก่

- Ease of transition and compatibility with existing analog system
- Early availability and reasonable costs for dual-mode radios and cells
- Substantial capacity increase over analog system capacity
- Privacy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Long life adequate growth of second-generation technology
- Quality improvements (voice quality, service quality in terms of dropped calls, constant voice quality level, etc.)
- Ability to introduce new features easily

ในการใช้งานข้อกำหนดที่สำคัญมากและทำให้ CDMA เป็นที่ยอมรับเพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สูงคือ Dual-mode operation ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ CDMA channel ในช่วงความถี่ของ AMPS เมื่อผู้ใช้เปิดเครื่อง เครื่องลูกข่ายจะหา CDMA control channel ถ้าเจอก็จะเริ่มสื่อสารโดยใช้ CDMA protocol ถ้าไม่เจอก็จะหา AMPS control channel และสื่อสารโดยใช้ระบบ AMPS แทน



รูปที่ 2.6 แสดงการประมาณการก้าวหน้าของระบบ CDMA โดยมีการเปลี่ยนมาตรฐานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ

จากรูปแสดงการประมาณการก้าวหน้าของระบบ CDMA โดยมีการเปลี่ยนมาตรฐานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยพิจารณาได้จากอัตราการรับส่งข้อมูล ซึ่งมีผลทำให้ CDMA สามารถเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในยุค 3G ได้ อย่างเหมาะสมในที่สุด

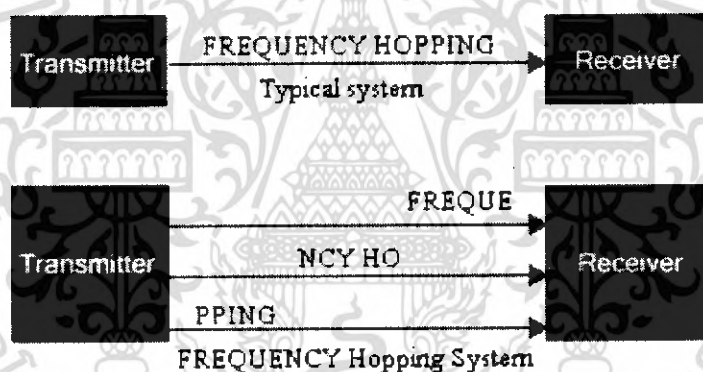
Spread Spectrum

ระบบ TDMA และ FDMA จะใช้วิธีการจัดสรรคลื่นความถี่เป็นช่วงความถี่แคบๆ สำหรับผู้ใช้แต่ละคน ในขณะที่ Spread Spectrum systems ข้อมูลจะถูกส่ง (spread) ผ่าน very wide channel พร้อมๆกับ user คนอื่นๆ เมื่อพิจารณาที่ผู้ใช้แต่ละคนจะถือว่าสัญญาณของ user คนอื่นเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interference ดังนั้นจึงไม่จำกัดจำนวน subscriber (เครื่อง ลูกข่าย) ขึ้นอยู่กับว่าต้องการ Quality of service เท่าใดการทำสเปคสเปกตรัมยุคแรกๆ มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำมาใช้ทางด้านการทหาร สำหรับป้องกันการรบกวนของศัตรู (enemy jamming) แต่ปัจจุบันนำมาใช้ทาง commercial การทำสเปคสเปกตรัมที่นิยมในปัจจุบันมี 2 วิธีคือ Frequency hopping และ Direct-sequence

Frequency-hopping spread spectrum

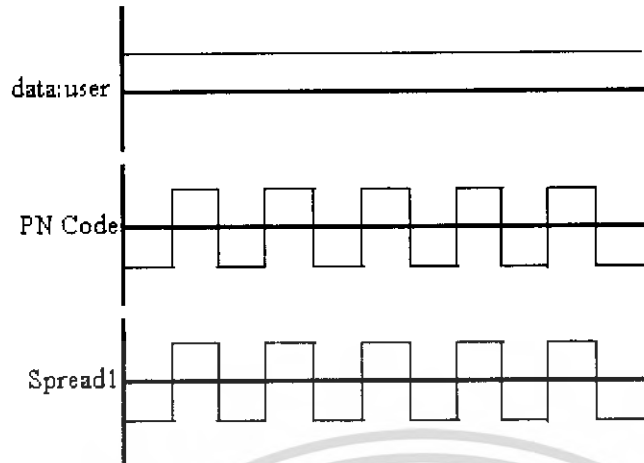
การ Jamming สามารถทำได้โดยส่ง noise ที่มีกำลังสูงไปที่ความถี่ใดๆ ทำให้ที่ความถี่นั้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยส่งข้อมูลเป็นลักษณะ packet ที่ความถี่หนึ่งสำหรับ packet ต่อมาก็ส่งอีกความถี่หนึ่งเป็นลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ โดยที่ลำดับการเลือกความถี่จะเป็นไปตาม pseudorandom sequence เรียงลำดับนี้ว่า Frequency-hopping sequence โดยที่ลำดับของ user แต่ละคนจะไม่เหมือนกัน แสดงลักษณะการส่งข้อมูลดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการส่งข้อมูล

Direct-sequence spread spectrum

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงแนวคิดพื้นฐานของการทำสเปคสเปกตรัมแบบ Direct-sequence แบบง่ายเพื่อให้เข้าใจระบบ CDMA สมมติระบบที่เราสนใจมีผู้ใช้ 3 คน แต่ละคนได้รับชุด PN code ที่แตกต่างกันก่อนที่ผู้ใช้แต่ละคนจะส่งข้อมูลจะส่งข้อมูลออกจะนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไปสเปคสเปกตรัมโดยการนำบิตข้อมูลไปคูณกับชุดโค้ด PN ของตนเองทำให้มี bit rate สูงขึ้น

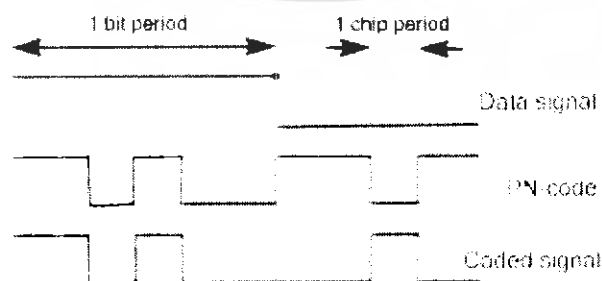


รูปที่ 2.8 พื้นฐานของการทำสเปกตรัมแบบ Direct-sequence แบบง่าย

ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือข้อมูลที่ส่งจะมีอัตราการส่งสูงกว่าข้อมูลจริงมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการสเปกตรัม สเปกตรัม (spread spectrum) และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ดังที่แสดงในรูป สมมติให้ ผู้ใช้หมายเลข 1, 2 และ 3 ส่งข้อมูล 11, 10 และ 01 ตามลำดับ สัญญาณที่ทำการสเปกตรัมแล้วทั้ง 3 สัญญาณนี้จะถูก ส่งออกไปบนคลื่นความถี่เดียวกัน ซึ่งหมายความว่าที่ภาครับจะได้รับสัญญาณที่เป็นผลรวมของ 3 สัญญาณรวมกัน สำหรับขั้นตอนในการแยกสัญญาณแต่ละคนสามารถทำได้โดยนำ PN code ของตัวเอง ไปคูณกับสัญญาณที่รับได้ และบวกระดับสัญญาณแต่ละ chip จนเท่ากับความยาวของบิตข้อมูลเดิม (ตามรูปคือ 4 บิต) โดยที่ผลรวมระดับสัญญาณจะบอกถึงข้อมูล นอกจากนี้สัญญาณที่ spread ออกด้วย PN code ชุดหนึ่งจะไม่สามารถ despread ออกด้วย PN code ชุดอื่น ซึ่งทำให้เราสามารถส่ง สัญญาณของผู้ใช้หลายคนลงบนคลื่นพาห้ความถี่เดียวกันได้

Chip Rate

เมื่อนำข้อมูลที่มี bit rate ค่าหนึ่งมาคูณกับ PN code จะทำให้สัญญาณใหม่ที่ได้มี bit rate สูงขึ้น และเรียก bit rate ใหม่ที่สูงขึ้นนี้ว่า Chip rate โดยที่ $\text{Chip rate} = 1/\text{Chip period}$

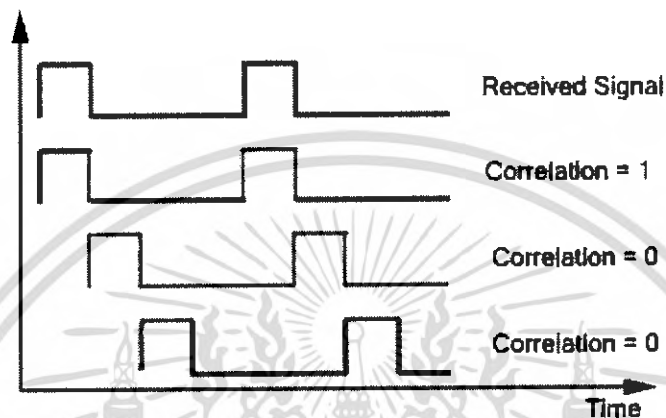


รูปที่ 2.9 การทำให้สัญญาณใหม่ที่ได้มี bit rate สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Correlation

เป็นตัววัดว่าสัญญาณที่ได้รับมา "Match" กับสัญญาณที่ต้องการมากขนาดไหน หาก correlation=1 แสดงว่า received signal กับ desired signal นั้น Match กันพอดี และ correlation นี้จะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไปตามรูป



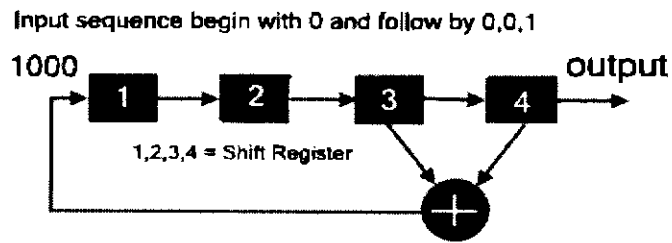
รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณที่มีการ "Match"

นำความสัมพันธ์นี้ไปใช้ในระบบ CDMA ได้เช่น ใช้ Shift register จำนวน 15 ตัว ในการสร้าง code ที่มีคาบยาวเท่ากับ 32,768 chips (2 ยกกำลัง 15 แล้วลบด้วย 1) สถานีฐานแต่ละแห่งจะใช้วงจรสร้าง code แบบเดียวกันแต่จะมีการเลื่อน chip ของลำดับสัญญาณออกไปทีละ 64 chip ดังนั้นจะมี code ที่แตกต่างกันสำหรับใช้งานได้ทั้งหมด $32,768/64=512$ ชุดสำหรับใช้ระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานได้มากถึง 512 แห่ง เมื่อนำสัญญาณที่รับได้มาหา correlation กับ code ที่มีก็จะรู้ว่าเป็นสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐานใด

Generate Code

รูปข้างล่างแสดงวงจรการสร้าง code โดยใช้ shift register 4 ตัวและวงจรบวกเลขฐาน 2 วงจรนี้สามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ 15 chip (2 ยกกำลัง 4 แล้วลบด้วย 1) เมื่อให้ค่าเริ่มต้นของ shift register แต่ละตัวเท่ากับ 0 และ Input เท่ากับ 0 0 0 และ 1 ตามลำดับ จะได้ชุด code ทั้งหมด 15 ชุดตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



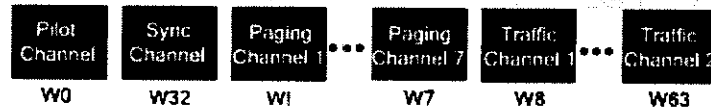
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรการสร้าง code โดยใช้ shift register 4 ตัวและวงจรบวกเลขฐาน 2

จำนวน chip ที่เลื่อนออกจากกัน	ลำดับสัญญาณ(Output)
0	000100110101111
1	100010011010111
2	110001001101011
3	111000100110101
4	111100010011010
5	011110001001101
6	101111000100110
7	010111100010011
8	101011110001001
9	110101111000100
10	011010111100010
11	001101011110001
12	100110101111000
13	010011010111100
14	001001101011110
15	000100110101111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downlink CDMA Channel (Transmitted by Base Station)

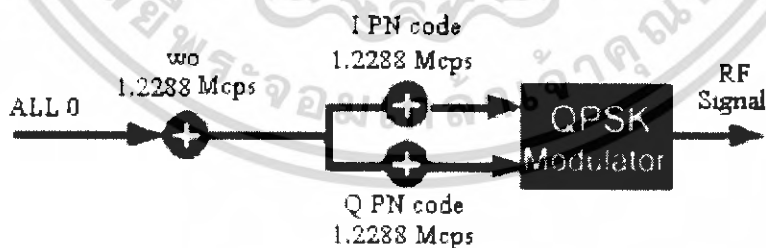
Structure of downlink CDMA channel



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการแบ่งช่องสัญญาณ Walshcode 64 ชุด

1. Forward Pilot Channel

pilot signal เป็นสัญญาณคลื่นพาห้อ้างอิงสำหรับการคีมอดูเลตแบบ coherent โดยไม่มีข้อมูลจากผู้ใ้ช้อยู่ด้วยและเพื่อให้เครื่องลูกข่ายตรวจจับสัญญาณได้ง่าย pilot signal จะใช้ Walsh code ที่เป็นศูนย์ 64 บิต (W_0) ดังนั้นข้อมูลของสัญญาณนี้จะมีอย่างเดีวคือ Short PN code ของ I และ Q ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่า pilot signal นี้ส่งออกมาจากสถานีฐานใด ทุกสถานีฐานจะใช้ Short PN code ชุดเดียวกัน เพียงแต่จะมีการเลื่อน chip ออกไปเป็นจำนวนที่แตกต่างกันเท่านั้น ปกติแล้วเมื่อเปิดเครื่องลูกข่ายตัวเครื่อง จะทำการวัดระดับสัญญาณ pilot ก่อนเป็นอันดับแรกและจะเลือกติดต่อกับสถานีฐานที่มีระดับสัญญาณแรงที่สุด นอกจากนี้ทุกสถานีฐานจะใช้ Short PN code ชุดเดียวกันหมดแต่จะมีการเลื่อน chip ออกไปที่ละ 64chip หรือที่เรียกว่า PN Offset ดังนั้นจะมี code ใช้งาน ทั้งหมด $32,768/64=512$ ชุด code ชุดหนึ่งสามารถนำมาใช้ซ้ำได้ในหลายๆ cell ได้หาก cell เหล่านั้นอยู่ห่างกันมาก พอที่สัญญาณจะไม่รบกวนซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.13 Forward Pilot Channel

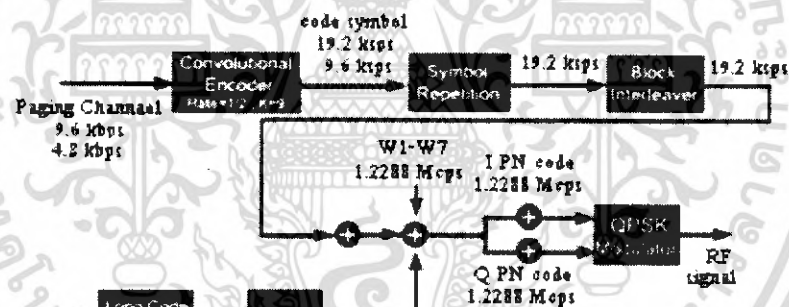
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Forward Synchronization Channel

เมื่อเครื่องลูกข่ายตรวจพบ pilot signal แล้วก็จะตรวจหา sync signal เป็นลำดับที่สอง โดยที่ sync channel ใช้ Walsh code ชุดที่ 32 และใช้ PN code ชุดเดียวกับ pilot channel ช่องสัญญาณนี้มีไว้เพื่อส่งข้อมูลที่จำเป็นต่อการติดต่อในช่วงแรก เพื่อให้เครื่องลูกข่ายจะสามารถ synchronize กับสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐานได้อย่างถูกต้อง โดยข้อมูลนี้จะประกอบด้วย cell site identification pilot transmit power ทำให้เครื่องลูกข่ายทราบ system time กำลังสัญญาณที่ควรส่งในระยะแรกได้

3. Forward Paging Channel

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ตรวจพบ sync signal แล้วก็จะตรวจหา page signal เป็นลำดับที่สาม paging channel มีไว้สำหรับให้สถานีฐานใช้ในการเพจ (page) หรือค้นหาตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายที่ต้องการจะติดต่อด้วย และหลังจากที่สถานีฐานสามารถติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ที่ต้องการได้แล้ว ก็จะจัดสรรช่องสัญญาณทราฟฟิก สำหรับใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลต่อไป โดยปกติหากไม่ใช่ page channel ก็จะจัดสรรช่องสัญญาณให้เป็น traffic channel แทน ชุด Walsh code ที่ใช้คือ W1-W7



รูปที่ 2.14 Forward Paging Channel

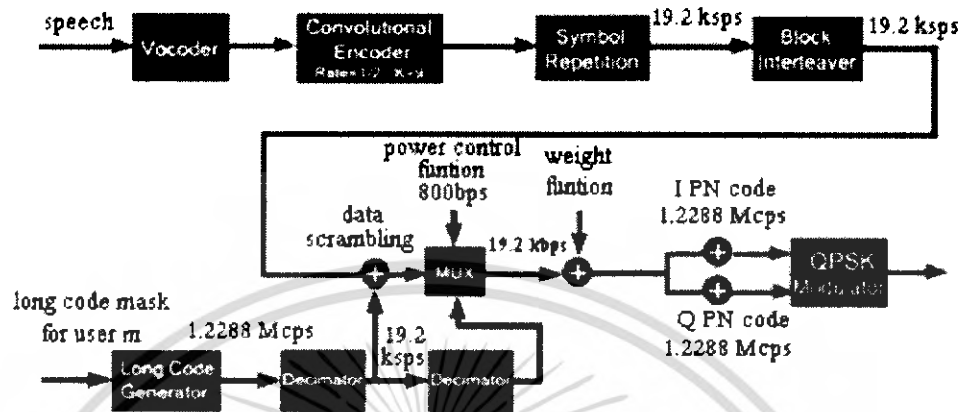
4. Forward Traffic Channel

ช่องสัญญาณนี้มีไว้สำหรับส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆตลอดช่วงเวลาที่มีการติดต่อสื่อสาร โดย Walsh code ชุดที่สามารถนำมาใช้ได้คือ W8-W31 W33-W63 W1-W7 ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะได้รับการแบ่งช่องสัญญาณไม่ซ้ำกันหรือ Walsh code ต่างกันนั่นเอง การสร้างสัญญาณนี้เริ่มจากการเข้า convolution code การทำ symbol repetition การทำ interleaving จากนั้นจึงนำมาทำ data scrambling เพื่อเพิ่ม security ให้แก่ผู้ใช้เหมือนกรณีช่องสัญญาณ paging แต่จะใช้ long code mask ต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังมีการทำ power control โดย Puncturing data bits ที่ MUX นั่นคือดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอาข้อมูลออก 1 bit ทุกๆ bit ข้อมูล 800 bits แล้วแทรก bit พิเศษลงไปแทนโดยที่ 0 แสดงถึงให้
โทรศัพท์เพิ่มกำลังส่ง 1 แสดงว่าให้ลดกำลังส่งลง



รูปที่ 2.15 Forward Traffic Channel

Adaptive Filter

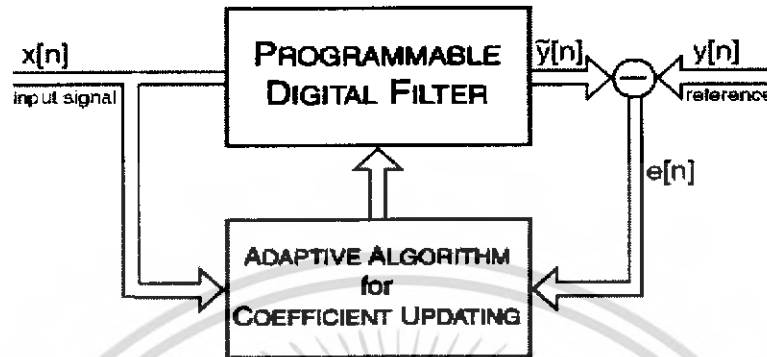
ในระบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Channel) เป็นตัวอย่างหนึ่งของการนำตัวกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter) ขึ้นมาใช้ งาน ซึ่งการศึกษาและสร้างตัวกรองแบบปรับตัวนี้ขึ้นมาใช้งานในการกำจัดเสียงสะท้อนนี้ ก็มีวิธีการศึกษาและสร้างอยู่หลายวิธีสำหรับวิธีการที่นิยมนำมาใช้ศึกษาวิธีหนึ่งก็คือ การศึกษาถึงเรื่องการสร้างตัวกรอง โดยอาศัยค่าเกรเดียนท์ของสัญญาณเข้ามาทำการลดค่าผิดพลาด (Mean Square Error) ในการนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบปรับตัวที่จะนำเสนอต่อไปนี้ ก็คือวิธีการ Least Mean Square ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่พิจารณาถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Adaptive Filter โดยอาศัยค่าเกรเดียนท์เพื่อมาทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของ Adaptive Filter เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณจริงกับสัญญาณจาก Adaptive Filter น้อยที่สุด

Structure of Adaptive Filter

ในระบบสื่อสาร Adaptive filter มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา digital filter จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนค่า coefficient ให้เหมาะสม สมตามสัญญาณขาเข้าที่แต่ละเวลาได้ โครงสร้างของ Adaptive filter มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดเปลี่ยนแปลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

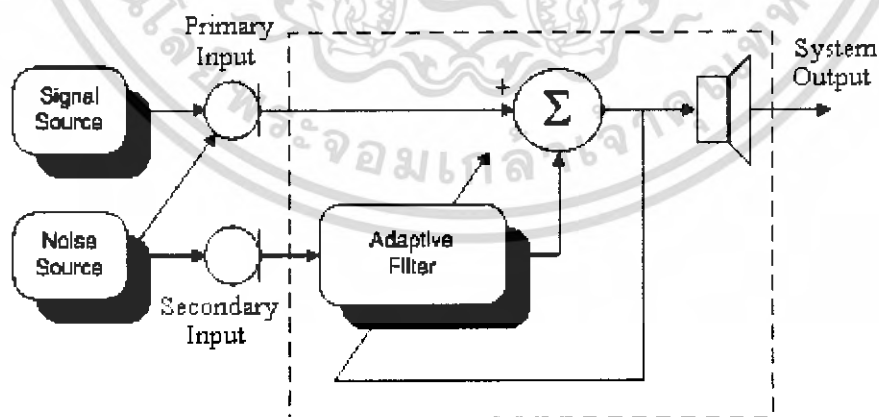
1. Digital filter ที่มี coefficient ปรับค่าได้
2. Adaptive algorithm ที่ใช้ปรับ coefficient ของ filter



รูปที่ 2.16 General form of Adaptive Filter

Concept of Adaptive Filter for Noise Cancellation

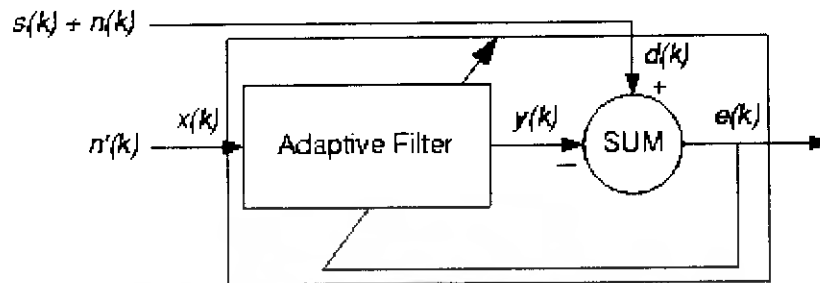
โครงสร้างของ Adaptive filter สำหรับ noise cancellation เป็นดังรูปที่ 2 ระบบที่พิจารณาเป็น Dual-channel Systems (ไมโครโฟน 2 อัน) โดย Adaptive filter ที่ใช้มีจุดมุ่งหมายเพื่อขจัดสัญญาณรบกวน จากรูป primary input เป็นสัญญาณที่ต้องการ (desired signal) รวมกับ noise และ secondary input คือ noise source เพื่อกำเนิด noise ที่มีความสัมพันธ์กับ noise ใน primary input เพื่อทำการหักล้างกับสัญญาณจาก primary input ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2.17 Adaptive filter for Noise cancellation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อพิจารณาง่ายขึ้นจะเป็นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Adaptive filter for Noise cancellation

Adaptive algorithm

หลักการปรับค่าเปลี่ยนค่า coefficient ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นไปดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} \text{New} \\ \text{Parameter} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Old} \\ \text{Parameter} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Step} \\ \text{Size} \\ \mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Function} \\ \text{of Input} \\ f(x[n]) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Function} \\ \text{of Error} \\ f(e[n]) \end{bmatrix}$$

coefficient ตัวใหม่ ขึ้นกับ coefficient ที่เวลาก่อนหน้า รวมถึง การให้ความสำคัญกับ สัญญาณเข้าตัวใหม่ที่เข้ามา กับ error

โดย Algorithm ที่ใช้ในการปรับค่า coefficient ของ adaptive filter มีใช้หลาย algorithm ซึ่ง ในที่นี้จะกล่าวถึง Basic algorithm (Wiener algorithm) , LMS algorithm , NLMS ได้แก่

1. Wiener algorithm (basic algorithm)

วิธีที่ใช้หา optimum coefficient คือ mean square error (MSE) , J

ข้อจำกัดของ Wiener filter

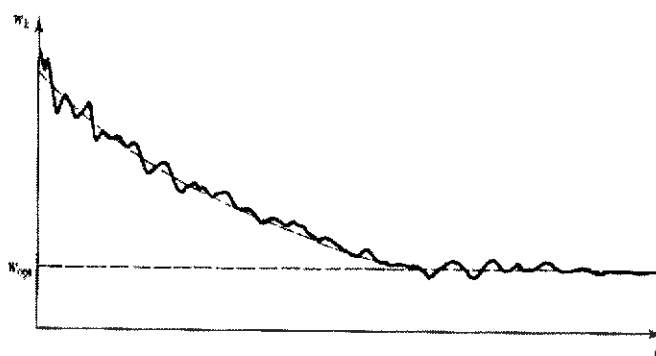
- ต้องการรู้ autocorrelation matrix (R) และ cross correlation matrix (P)
- ใช้เวลาในการคำนวณผลนานเนื่องจากต้องทำ Inverse matrix
- ค่า autocorrelation matrix (R) และ cross correlation matrix (P) เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นจะต้องมีการคำนวณใหม่เรื่อยๆ
- ใช้เวลาในการคำนวณนาน

2. LMS algorithm

สมการ update coefficient ของ LMS algorithm เป็นดังนี้

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + \mu u(n)e^*(n)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W_{optimum} กับ W_k

ข้อดีของ LMS คือ ไม่ต้องรู้ autocorrelation matrix (R) และ cross correlation matrix (P)

มัลติพาท (Multipath)

มัลติพาทเกิดขึ้นเมื่อตัวถ่ายทอดสัญญาณหรือทรานสมิตเตอร์แผ่รังสีทุกทิศทางทำการสะท้อนผลจากวัตถุ เช่น ดึก หรือ ต้นไม้ ดังนั้นรังสีทั้งโดยตรงและสะท้อนกลับมาจากตัวรับด้วยค่าแอมพลิจูดอิสระ และ เฟสที่ได้รับผลกระทบทั้งมีและไม่มีรูปแบบ เนื่องจากผลสะท้อนสามารถสร้างให้เกิดโพลาไรเซชัน (Polarization) พลังงานที่ได้รับจากสองแนวโพลาไรเซชันอาจจะแตกต่างกันอย่างอิสระ จากผลดังกล่าว สัญญาณแสดงสีเดียวจะค่อย ๆ จางหายไปทางสถิติจะขึ้นอยู่กับความหลายหลายของเวลาและเส้นทาง หากเส้นแนวการเดินทาง (line-of-sight path) สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน การสะท้อนจะเกิดแค่ fluctuations เพียงเล็กน้อยเป็นหลัก ในส่วนของการใช้งานมือถือต่างจังหวัด (Urban cellular phones) มักจะไม่มีปัญหาโดยตรงจากแนวของสายสัญญาณแต่จะมีปัญหาเรื่องการสะท้อนและการเลี้ยวเบน โดยมัลติพาทสามารถช่วยให้การที่สัญญาณเลื่อนหรือจางหายไปทำได้ชัดเจนตัวคงที่เวลาที่อาจจะกำหนดลักษณะได้เช่นการจางไปขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางหรือพาทที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ นอกจากนี้ $\lambda/2$ เส้นทางที่ยาวกว่าจะมีผลต่อความยาวของคลื่น หากเส้นทางยังยาวขึ้น ยังต้องการการแบ่งความยาวออกเป็นส่วน ๆ ย่อยให้เล็กลงจะต้องการให้ถึง $\lambda/2$ และทำการให้การจางหายไปเร็วขึ้น นอกจากการที่สัญญาณจะเลื่อนไปอย่างชัดเจนเมื่อเข้าไปในอุโมงค์หรือลิฟท์ยังมีในส่วนของหายไปของสัญญาณวิทยุ FM เมื่อยานพาหนะเครื่องที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ที่ไม่มีความสำคัญ

ยกตัวอย่างเช่นจุดเริ่มต้นที่ชัดเจนของสัญญาณวิทยุ FM ระหว่างรีเซฟชั่นที่ทำให้วิทยุทำหน้าที่เป็นเครื่องดักจับที่ดีมาก ของสัญญาณนั้น หรือ สัญญาณว่าง ไม่แปลกอะไรที่ในเมืองจะมีมัลติพาท FM รีเซฟชั่น ที่กำหนดโดยสองหรือสามรังสี ที่เทียบกันได้ในส่วนของแมกนิจูด ในที่นี้เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ไประยะหนึ่ง หรือ อาจจะช่วงสัญญาณไฟหนึ่งความยาวของคลื่นจะสามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้ชัดเจนในระยะนั้น ($\sim \lambda$) โดยยานพาหนะจะเคลื่อนที่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งหนึ่งเมื่อเร็วที่สุด ผลลัพธ์จะยิ่งเห็นได้ชัดเจน โดยเป็นคลิกเสมือนเป็นคาบในส่วนของสัญญาณ FM พิจารณาในเชิงเรขาคณิตอย่างง่ายจะพบว่า การขึ้นแก่กันของระยะทาง และทิศทางของการมาถึงของแกนหลายแกนที่มีผลต่อกัน

ถ้าตัวส่งและตัวรับ หรือตัวสะท้อนกลางเคลื่อนที่ ความยาวของเส้นทาง L จะเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเป็นไปได้ว่า เมื่อครอปเปอร์อันเล็กเปลี่ยนแปลงความถี่ f_D

$$f_D [\text{Hz}] = \left(\frac{dL}{dt} \right) / \lambda [\text{cycle_per_second}] = \frac{v}{\lambda} = f_0 \frac{v}{c} [\text{Hz}], \text{ so} \quad 2.1$$

$$f_D = f_0 \left(1 - \frac{v}{c} \right) [\text{Hz}] \quad 2.2$$

เมื่อครอปเปอร์เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ในบางครั้งเราอาจจะเรียกว่า สัญญาณมีลักษณะเป็น บลูชิฟ (“blue-shifted”) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเรียกว่า เรดชิฟ (“red-shifted”) โดยทอมดังกล่าวมีจุดเริ่มจากเรื่องดาราศาสตร์ ซึ่งจะอ้างอิงถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่เห็นได้ชัดเจนจากวัตถุในอวกาศที่พยายามจะเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีออก จากโลกส่วนใหญ่ของสัญญาณของสิ่งที่น่าสนใจไม่ใช่ส่วนที่เป็นสี่เหลี่ยม ทว่าเป็นขนาดช่องสัญญาณหรือแบนวิธ (bandwidth) ที่อาจจะมีผลมาจากมัลติพาธที่แตกต่างกันจากความถี่ที่แตกต่างกัน

พิจารณาส่งสัญญาณที่ส่งผลที่ตัวรับสัญญาณ และมีความยาวเส้นทางที่แตกต่างกัน D [m] ความถี่ที่จุดใกล้เคียงกับ f_0 โคนแยกไป Δf โดยจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าว่างอย่างต่อเนื่องถ้า $D/\lambda = f_0/\Delta f$

โดยทั่วไป เราสามารถนำเสนอสัญญาณที่มีลักษณะเป็นมัลติพาธได้ในรูปแบบของระบบเส้นตรงด้วย ผลตอบสนองจากการการกระตุ้นที่คิดได้หลายอัน ยกตัวอย่างเช่น การสนองตอบของความถี่ของระบบ $H(f)$ สำหรับระบบตอบสนองการกระตุ้น $h(t)$ และตรงกับสองสัญญาณแอมพลิจูดเท่ากันที่คิดได้ไป t_1 และ t_2 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} [\delta(t-t_1) + \delta(t-t_2)] e^{j\omega t} dt = e^{-j\omega t_1} + e^{-j\omega t_2} \quad 2.3$$

$$= e^{-j\omega(t_1+t_2)/2} \left[e^{j\omega(t_1-t_2)/2} + e^{-j\omega(t_1-t_2)/2} \right] \text{ and} \\ H(f)^2 = [2 \cos(\omega[t_1-t_2]/2)]^2 \quad 2.4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าว่างเมื่อ $\omega n(t_1 - t_2)/2 = (2n + 1)\pi/2$ และค่าว่างสามารถเกิดขึ้นได้ที่ความถี่ $f_n = \omega n / 2\pi = (n + 1/2)/(t_1 - t_2)$ และเมื่อเส้นทางทั้งสองตรงกับการดีเลย์ที่ t_1 และ t_2 วินาที จะได้ว่า Δf มีค่าเท่ากับ

$$\Delta f = 1/(t_2 - t_1) \text{ Hz}$$

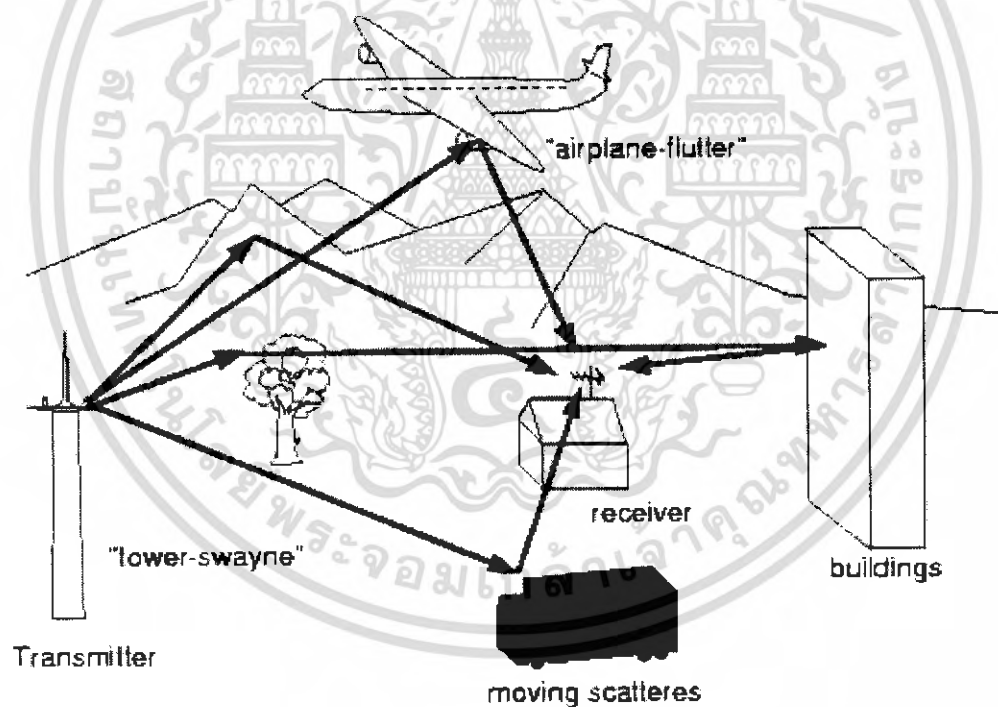
2.5

Multipath Propagation: การแพร่กระจายคลื่นหลายเส้นทาง

Reflection: การสะท้อน เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณเคลื่อนที่ไปชนกับพื้นผิววัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า ความยาวคลื่นของ สัญญาณ

Diffraction: เกิดขึ้นที่ขอบหรือมุมของวัตถุ หรือ สิ่งก่อสร้างที่คลื่นไม่สามารถผ่านได้ และวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าความคลื่นของสัญญาณ

Scattering: เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณชนกับวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับความยาวคลื่น

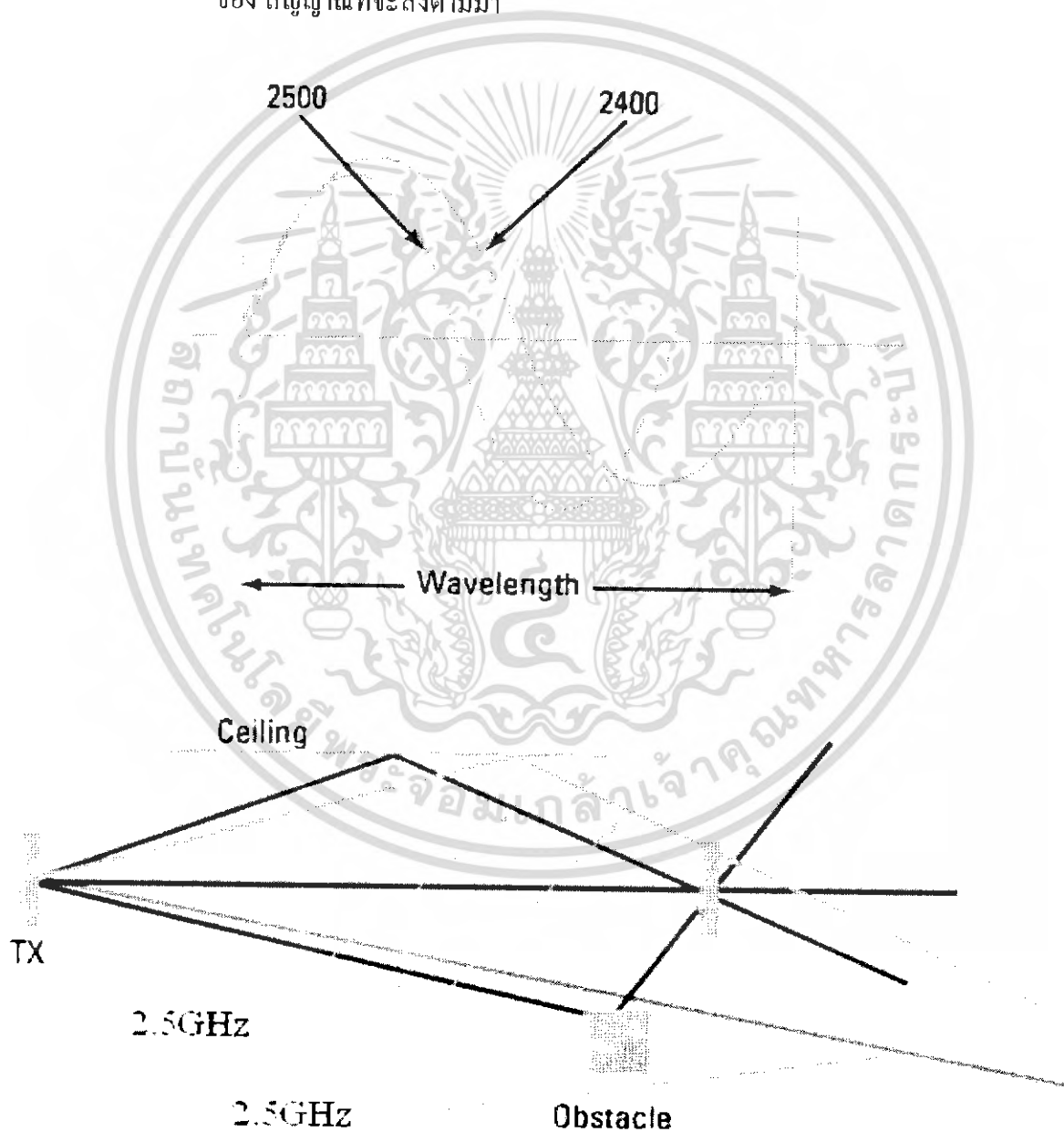


รูปที่ 2.20 Multipath Propagation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของ Multipath Propagation

1. เกิดสำเนาของสัญญาณที่อาจจะเคลื่อนที่มาถึงเครื่องรับด้วยเฟสที่ต่างไป
 - ถ้าหากว่าเฟสนั้นหักล้างกันอัตราส่วนของสัญญาณต่อค่า noise จะลดลง ทำให้การตรวจจับสัญญาณยากขึ้น
2. เกิดการรบกวน หรือแทรกสอดภายในสัญลักษณ์ (Intersymbol Interference)
 - pulse จากสำเนาของสัญญาณอาจจะเคลื่อนที่มาถึงในเวลาเดียวกันกับ pulse แรกของ สัญญาณที่จะส่งตามมา

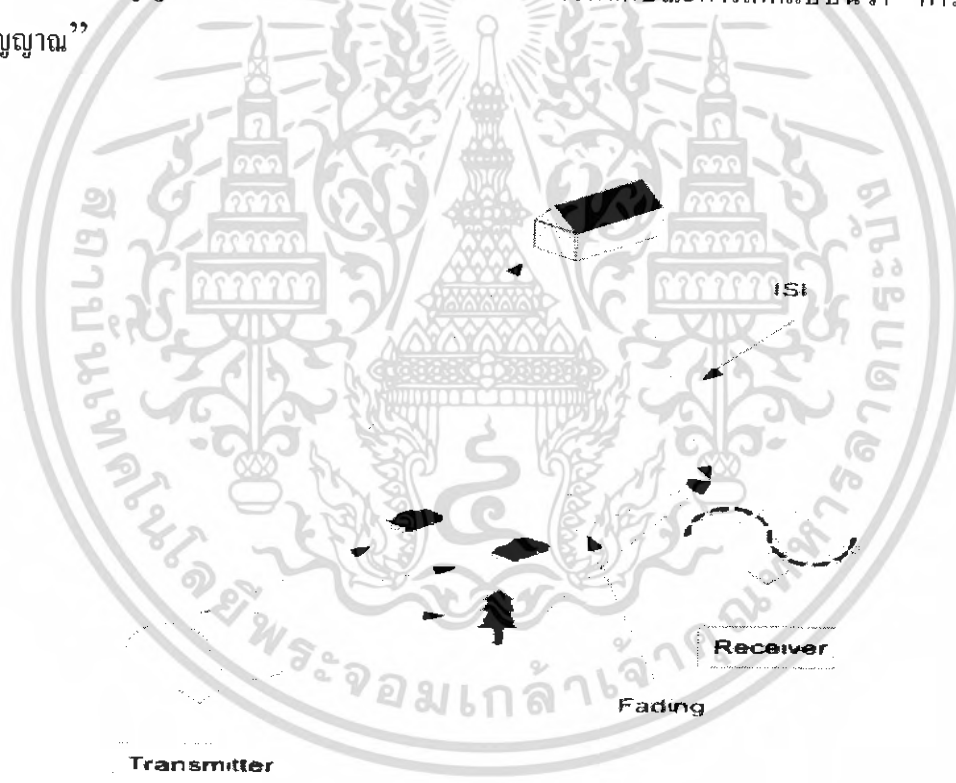


รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดการกระจายคลื่นแบบหลายวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีการจางหายบนช่องสัญญาณ

ในการส่งสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกไปยังเครื่องรับ ช่วงที่คลื่นเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะต้องผ่านสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบบริเวณนั้น ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีสภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆ สภาพแวดล้อมก็จะเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นสาเหตุให้ระดับสัญญาณในแต่ละจุดไม่คงที่ เราสามารถแยกคลื่นที่เดินทางไปถึงยังเครื่องรับได้ 2 ประเภท คือ คลื่นตรง(Direct Wave) และคลื่นสะท้อน (Reflected Wave) เครื่องรับจะได้รับคลื่นตรงจากทิศทางเดียว และเป็นคลื่นที่มีสัญญาณแรงที่สุด ส่วนคลื่นสะท้อนจะได้รับการรับจากทุกทิศทางที่เข้ามาแต่จะมีสัญญาณที่อ่อนกว่า มีเฟสของคลื่นที่แตกต่างกันและเหมือนกัน ซึ่งจะเป็นการเสริมหรือหักล้างกับคลื่นตรง ทำให้สัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลง เราเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า “การเฟดดิ้งของสัญญาณ”

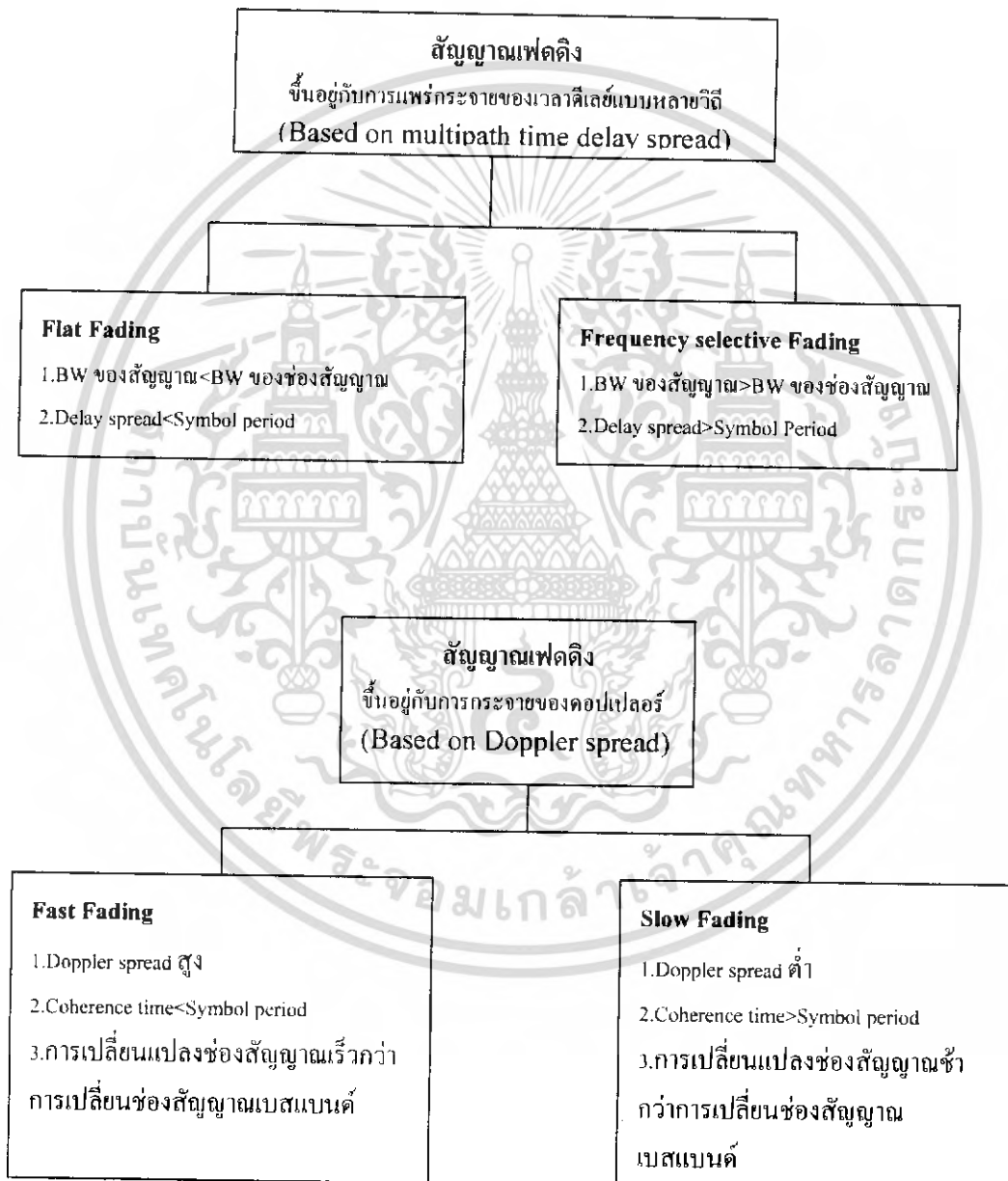


รูปที่ 2.22 การเกิดการจางหายของสัญญาณ

ชนิดของการจางหายของสัญญาณ

ในการเฟดดิ้งของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รากของกำลังสองเฉลี่ยของเวลาเฉลี่ยที่แพร่กระจาย (RMS Delay Spread) การกระจายของดอปเพลอร์ (Doppler Spread) ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ถูกส่งออกไปนั้นมีลักษณะการเฟดดิ้งที่ต่างกัน กลไกการแพร่กระจายทางเวลา(Time Dispersion) และการแพร่กระจายทางความถี่ (Frequency Dispersion) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของช่องสัญญาณ จะทำให้เกิดผลกระทบที่แตกต่างกัน 4 แบบ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณ และความเร็ว โดยที่การกระจายของเวลาดีเลย์ที่มีหลายวิถี (multipath time delay spread) จะทำให้เกิดการแพร่กระจายทางเวลา และสัญญาณเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ (Frequency Selective Fading) ส่วนการกระจายดอปเปลอร์ ก็จะทำให้เกิดการแพร่กระจายทางความถี่ และสัญญาณเฟดดิ้งแบบเลือกเวลา (Time selective Fading)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจางหายของช่องสัญญาณที่เกิดจากการแพร่กระจายของเวลาตีเลยแบบหลายวิธี

- สัญญาณเฟดดิ้งแบบไม่เลือกความถี่(Frequency Non-Selective Fading or Flat Fading)

ถ้าให้ช่องสัญญาณมีอัตราการขยายคงที่ และมีการตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้น โดยที่ความกว้างของแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่ง จะมีผลให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับนั้นเกิดการเฟดดิ้งแบบไม่เลือกความถี่ การเฟดดิ้งชนิดนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของช่องสัญญาณ เพราะคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา การมัลติพาทเป็นสาเหตุทำให้อัตราการขยายของช่องสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติของการเฟดดิ้งแบบไม่เลือกความถี่แสดงดังรูปที่... ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า ถ้าอัตราการขยายของช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา แอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ้าเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลง สัญญาณที่รับได้ $r(t)$ ก็จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการขยาย แต่สเปกตรัมของการส่งยังคงเดิม ซึ่งหากแอมพลิจูดมีการกระจายมากๆ นั่นก็คือการกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution) ถ้าให้ช่องสัญญาณเกิดการเฟดดิ้งแบบไม่เลือกความถี่ที่มีการกระจายแบบเรย์ลี จะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยสรุปก็คือ

$$B_s < B_c$$

และ

$$T_s > \sigma_r$$

โดยที่ B_s คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่ง, B_c คือ แบนด์วิดท์แบบรวมนัยของสัญญาณ (coherent bandwidth), T_s คือ ช่วงความกว้างทางเวลา (Reciprocal Bandwidth) เช่น คาบเวลาของซิมโบล และ σ_r คือ รากของกำลังสองเฉลี่ยของเวลาตีเลยที่แพร่กระจาย

- สัญญาณเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่(Frequency Selective Fading) ถ้าช่องสัญญาณมีอัตราการขยายที่คงที่ การตอบสนองของเฟสเป็นเชิงเส้นตลอดทั้งแบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่ง ช่องสัญญาณนั้นก็จะเกิดสัญญาณเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ขึ้นที่ช่องสัญญาณ ภายใต้เงื่อนไขที่การตอบสนองของพัลส์ของช่องสัญญาณมีการกระจายตีเลยหลายวิธีมากกว่าคาบเวลาของซิมโบลของสัญญาณที่ส่ง ดังนั้น สัญญาณที่รับได้จึงเป็นสัญญาณรวมของสัญญาณในวิธีต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้สัญญาณมีการลดทอนและเกิดคิเลีย รูปร่างของสัญญาณที่รับได้จึงมีการผิดเพี้ยนไป การที่สัญญาณมีการจางหายแบบเลือกความถี่จะมีผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ส่งมีการแผ่กว้างออกไป ดังนั้นในช่องสัญญาณจึงเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Intersymbol Interference: ISI) ขึ้น

สำหรับการเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่นั้น สเปกตรัม $S(f)$ ของสัญญาณที่ส่งจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าแบนด์วิดท์แบบร่วมนัย B_c ของช่องสัญญาณ ถ้าพิจารณาในเชิงความถี่ช่องสัญญาณจะกลายเป็นช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ โดยที่การเปลี่ยนแปลงความถี่จะทำให้อัตราขยายมีการเปลี่ยนแปลง การเกิดเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่มีสาเหตุมาจากค่าเวลาเฉลี่ยแบบหลายวิถีมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่าคาบเวลาของซิมโบลที่ช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณจึงคล้ายกับช่องสัญญาณแบนด์กว้าง (Wideband Channels) เพราะแบนด์วิดท์ของสัญญาณ $S(f)$ กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ก็จะทำให้เกิดอัตราขยาย และการข้ามเฟส ทำให้สเปกตรัมของ $S(f)$ มีการเปลี่ยนแปลง ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลานี้ทำให้สัญญาณที่รับได้ $r(t)$ ผิดเพี้ยนไป สรุปก็คือสัญญาณจะเกิดเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ก็ต่อเมื่อ

$$B_s > B_c$$

และ

$$T_s < \sigma_r$$

โดยปกติแล้วถ้า $\sigma_r > 0.1 T_s$ ช่องสัญญาณก็จะเกิดการเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่แม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ก็ตาม

การจางหายของช่องสัญญาณที่เกิดจากการกระจายของคอปเพลอร์

-การเฟดดิ้งแบบเร็ว (Fast Fading) คือช่องสัญญาณที่เมื่อมีการตอบสนองของพัลส์แล้วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลาของซิมโบล หมายความว่าเวลาร่วมนัยของช่องสัญญาณน้อยกว่าคาบเวลาของซิมโบลของสัญญาณที่ส่ง เป็นสาเหตุให้ความถี่มีการแผ่กว้างออก จึงทำให้เกิดการกระจายของคอปเพลอร์ สัญญาณจึงเกิดการผิดเพี้ยนไป ซึ่งการเกิดเฟดดิ้งของสัญญาณแบบเร็วนี้มีเงื่อนไขดังสมการ

$$B_s > B_D$$

และ

$$T_s > T_c$$

ในทางปฏิบัตินั้นเฟดดิ้งแบบเร็วจะเกิดขึ้นเฉพาะกับการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งที่ต่ำเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

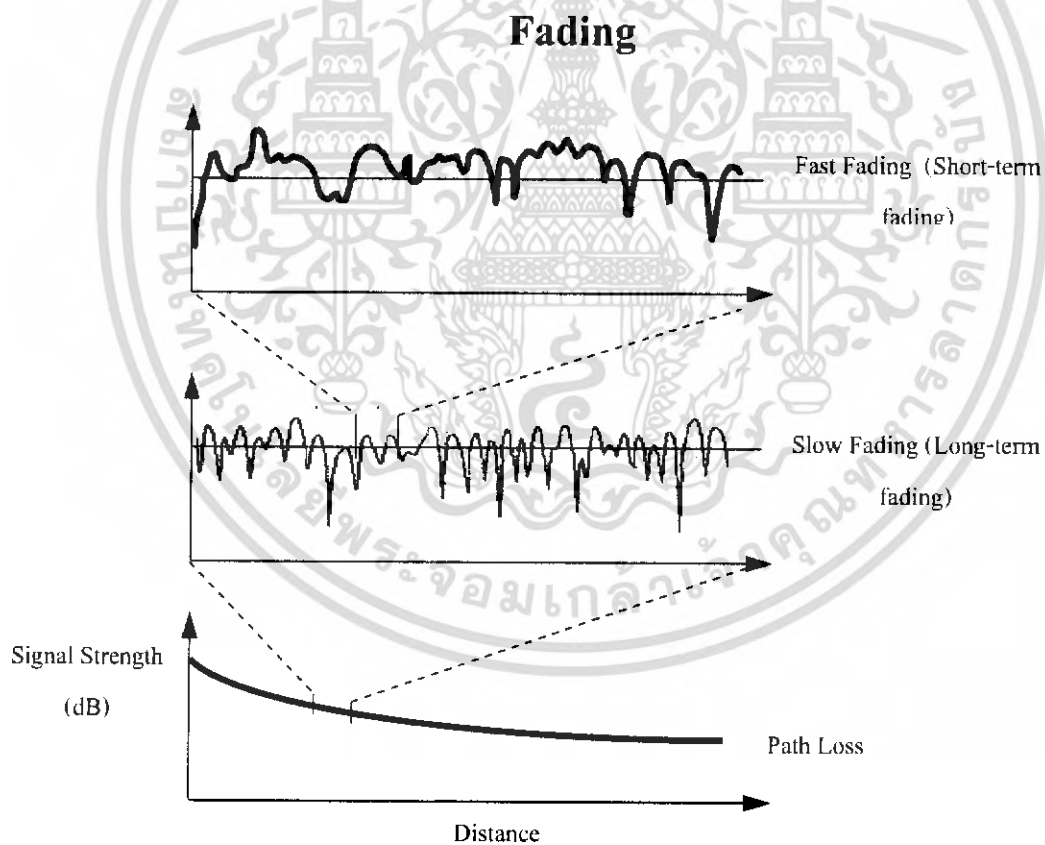
-การเฟดดิ้งแบบช้า(Slow Fading) ในช่องสัญญาณแบบนี้ อัตราการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ตอบสนองต่อพัลส์จะช้ากว่าสัญญาณเบสแบนด์ $S(f)$ ที่ถูกส่งออกไป หากพิจารณาในทางความถี่แล้วจะพบว่าความถี่ที่เกิดจากการกระจายของคอปเพลอร์ของช่องสัญญาณจะน้อยกว่าแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์อยู่มาก ดังนั้นสัญญาณที่เกิดเฟดดิ้งแบบช้าจะมีเงื่อนไขดังสมการ

$$B_s \gg B_D$$

และ

$$T_s \ll T_c$$

สิ่งสำคัญของการเกิดเฟดดิ้งแบบเร็วและแบบช้า นั้น ก็คือความสัมพันธ์กันระหว่างการเปลี่ยนอัตราเวลาในช่องสัญญาณกับสัญญาณที่ถูกส่งออกไป และไม่เกี่ยวกับ โมเดลการสูญเสียเนื่องจากระยะทาง



รูปที่ 2.23 fast and slow fading

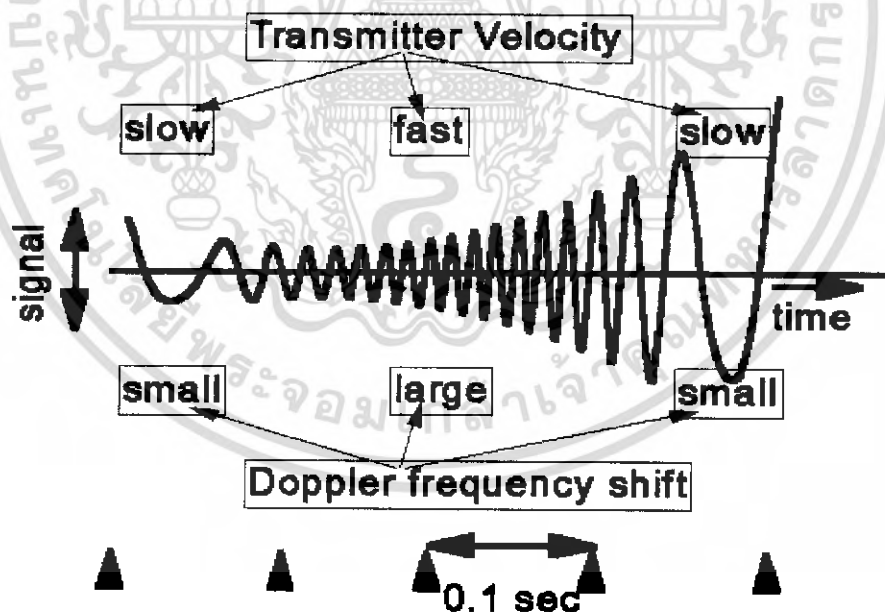
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลื่อนดอปเพลอร์

การเฟดคิงอย่างหนึ่งที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาก็คือเฟดคิงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสายอากาศและการเคลื่อนที่ของสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัว ซึ่งในที่นี้ก็คือการเฟดคิงที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดดอปเพลอร์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่คลื่นมีความเร็วไม่คงที่ โดยสามารถคำนวณหาความถี่ดอปเพลอร์ได้จากสมการ

$$f_d = \frac{V_d}{\lambda}$$

เมื่อ f_d คือ ความถี่ดอปเพลอร์, V_d คือความเร็วของดอปเพลอร์ และ λ คือค่าความยาวคลื่น ซึ่งจะพบว่าหากสายอากาศของโทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องส่งในทิศทางที่คลื่นเดินทางมาถึง การเลื่อนของดอปเพลอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าสายอากาศมีการเคลื่อนที่ออกจากเครื่องส่ง การเลื่อนของดอปเพลอร์ก็จะมีค่าลดลง



รูปที่ 2.24 Doppler frequency shift

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MIMO Technology

แนวความคิดเริ่มต้นของการสร้างระบบ MIMO คือ ผลรวมของสัญญาณจากภาคส่งหรือภาครับอันเนื่องมาจากสายอากาศหลายต้นทำให้คุณภาพของข้อมูลหรือบิดผิดพลาดน้อยลง อีกนัยหนึ่งคือทำให้อัตรารับส่งข้อมูลสูงขึ้น

ระบบ MIMO มีความสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการชดเชยสัญญาณที่ขาดหายไปด้วยสายอากาศต้นอื่นได้ โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบ MIMO สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.25



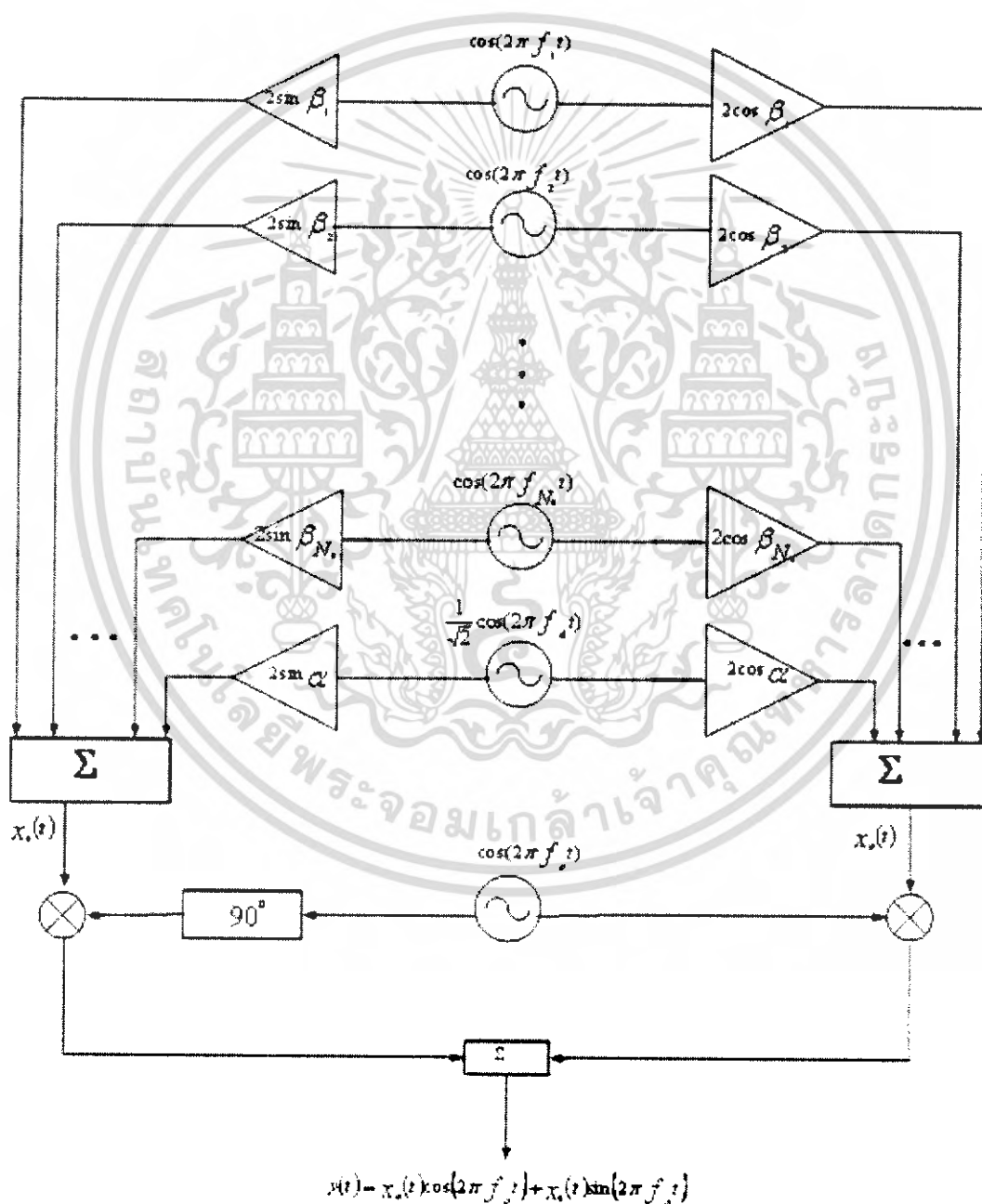
รูปที่ 2.25 บล็อกไดอะแกรมระบบสื่อสารไร้สายแบบ MIMO

การมอดูเลตด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying), M-QAM (Multilevel-Quadrature Amplitude Modulation) หรือวิธีการอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดการแยกสัญญาณ โดยที่แต่ละสัญญาณจะได้รับการจับคู่กับแต่ละสายอากาศ และการจับคู่จะมีการถ่วงน้ำหนักแก่สายอากาศแต่ละต้น

เมื่อปรับความถี่ให้สูงขึ้น กรองและขยายสัญญาณ แล้วนำสัญญาณส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยที่ภาครับสัญญาณจะถูกดึงออกโดยสายอากาศแต่ละต้นตามค่าถ่วงน้ำหนัก ดีมอดูเลต และถอดรหัสเพื่อให้ได้สัญญาณเดิมกลับมา ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการเข้ารหัสและวิธีการจับคู่มีได้หลากหลายขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน

แบบจำลองของเจ็ก(Jake's Model)

ปกติการสร้างแบบจำลองของช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบหลายวิธีโดยใช้วิธีการสร้างฮาร์ดแวร์ (Hardware) หรือ ซอฟต์แวร์ (software) นั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก วิธีการสร้างแบบจำลองของสัญญาณโดยส่วนใหญ่จะใช้หลักการมอดูเลตแบบอินเฟส และ คอแควเรเจอร์ ลักษณะสัญญาณที่ใช้จะใช้การสร้างแบบจำลองจะต้องมีสเปกตรัมและคุณสมบัติต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณที่ได้จากการวัด



รูปที่ 2.26 โครงสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิธีตามแบบของเจ็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวิธีการของเจ็คนั้น จะอาศัยโครงสร้างของแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีตามรูปที่ 2.29 เมื่อพิจารณาจะเห็นว่าแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วยวงจรรอสซิลเลเตอร์ความถี่ต่ำจำนวน N_0 ชุด ที่มีค่าความถี่เท่ากับ คอปเพลอร์ชิฟต์ต่างๆ กัน และวงจรรอสซิลเลเตอร์อีกหนึ่งตัวที่ความถี่คอปเพลอร์ชิฟต์สูงสุดมีค่าเท่ากับ f_u องค์ประกอบทางความถี่ทั้งหมดนี้มีหน้าที่จำลองสัญญาณความถี่ที่เลื่อนไปจากความถี่คลื่นพาห้ f_0 สังเกตว่าองค์ประกอบทางความถี่ของออสซิลเลเตอร์ N_0 ชุดจะกำหนดให้มีแอมพลิจูดเป็น 1 ทั้งหมด ส่วนองค์ประกอบทางความถี่ตัวสุดท้ายจะมีแอมพลิจูดเท่ากับ $1/\sqrt{2}$ สำหรับค่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์แต่ละตัวกำหนดให้มีความถี่เท่ากับ [6,9]

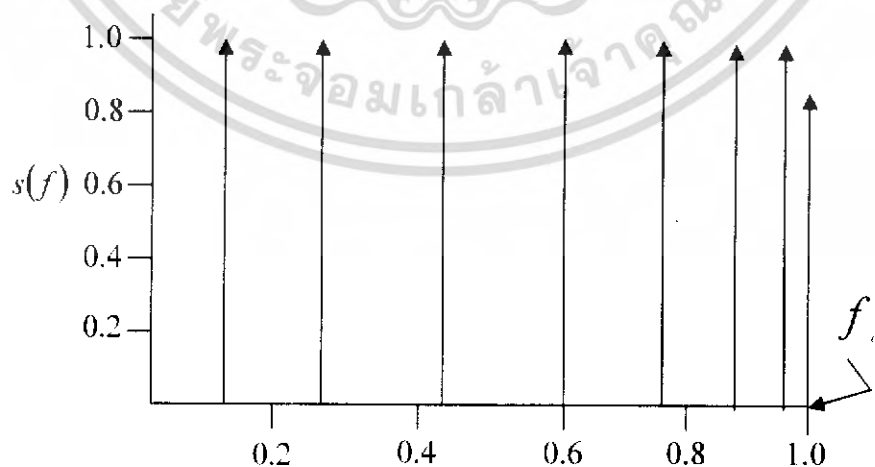
$$f_n = f_u \cos(2\pi n/N) \quad 2.6$$

โดย $f_u = \frac{v}{d}$ ซึ่งเป็นค่าคอปเพลอร์ชิฟต์สูงสุดและ N มีความสัมพันธ์กับ N_0

$$N_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \quad 2.7$$

โดยมีข้อกำหนดอีกด้วยว่า $N/2$ ต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็มเลขคี่

เมื่อนำองค์ประกอบความถี่ทั้งหมดที่ได้มาว่าเป็นตัวอย่างรูปสเปกตรัมความถี่จะมีลักษณะดังในรูปที่ 2.30 ซึ่งในกรณีนี้จะเป็นลักษณะที่กำหนดให้ $N_0 = 8$ และ $N = 34$



รูปที่ 2.27 สเปกตรัมความถี่ของออสซิลเลเตอร์สำหรับกรณี $N_0=8$ และ $N=34$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าของเฟส β_n จะได้รับการกำหนดให้มีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับสภาพที่ต้องการคือ กำหนดให้แต่ละเฟสมีการกระจายแบบยูนิฟอร์มระหว่าง $0-2\pi$ คือมีความน่าจะเป็นในการเกิดของเฟสแต่ละค่าเท่า ๆ กันซึ่งเท่ากับ $\frac{1}{2\pi}$ ดังนั้น β_n จึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $\frac{\pi n}{N_0}$ สำหรับ $n=1, 2, \dots, N_0$

จากรูปที่ 2.29 แสดงให้เห็นว่า $x_c(t)$ และ $x_s(t)$ มีค่าเท่ากับ [6,19]

$$x_c(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos(2\pi f_n t) + \sqrt{2} \cos \alpha \cos(2\pi f_d t) \quad 2.8$$

$$x_s(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos(2\pi f_n t) + \sqrt{2} \sin \alpha \cos(2\pi f_d t) \quad 2.9$$

ในการสร้างสัญญาณ $y(t)$ ให้มีเฟสเป็นแบบแรนดอมและมีการกระจายแบบยูนิฟอร์มระหว่าง $0-2\pi$ จะต้องทำให้เงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริงนั่นคือ $\langle x_c^2 \rangle \approx \langle x_s^2 \rangle$ และ $\langle x_s x_c \rangle \approx 0$ จากสมการ 2.8 และ 2.9 เราสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ของค่า $\langle x_c^2 \rangle$, $\langle x_s^2 \rangle$ และ $\langle x_s x_c \rangle$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \langle x_c^2 \rangle &= 2 \sum_{n=1}^{N_0} \cos^2 \beta_n + \cos^2 \alpha \\ &= N_0 + \cos^2 \alpha + \sum_{n=1}^{N_0} \cos 2\beta_n \end{aligned}$$

$$\langle x_s^2 \rangle = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin^2 \beta_n + \sin^2 \alpha$$

$$= N_0 + \sin^2 \alpha + \sum_{n=1}^{N_0} \cos 2\beta_n$$

$$\langle x_s x_c \rangle = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos \beta_n + \sin \alpha \cos \alpha$$

จากความสัมพันธ์ที่ได้นี้เราสามารถกำหนดค่า β_n และ α ที่เหมาะสมเพื่อให้เงื่อนไขทั้งสองข้อข้างต้นเป็นจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interleave

การ Interleave ข้อมูลนั้นเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงข้อมูลดิจิทัล ให้มีลักษณะที่แตกต่างออกไปจากเดิม ซึ่งถูกนำมาใช้ในระบบสื่อสารเพื่อป้องกันการผิดพลาดของข้อมูลในรูปแบบของ Burst Error โดยจะเป็นการนำข้อมูลดิบที่จะทำการเข้ารหัสในวงจรเข้ารหัสต่างๆ มาผ่านการ Interleave เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูล (permutation) เพื่อให้ข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน

สำหรับวิธีการที่ใช้ในการ Interleave ข้อมูลนั้น จะมีรูปแบบในการทำงานอยู่หลายวิธีการด้วยกันและในการทำงานแต่ละวิธีการนั้น จะให้ผลลัพธ์ในการทำงานที่แตกต่างกัน โดยสำหรับตัวอย่างของรูปแบบในการ Interleave ข้อมูล ได้แก่ วิธีการ Interleave ข้อมูลแบบ Block Interleave และ Random Interleave

Block Interleave

สำหรับการ Interleave ข้อมูลด้วยวิธีการ Interleave ข้อมูลแบบ Block Interleave นั้น จะเป็นวิธีที่

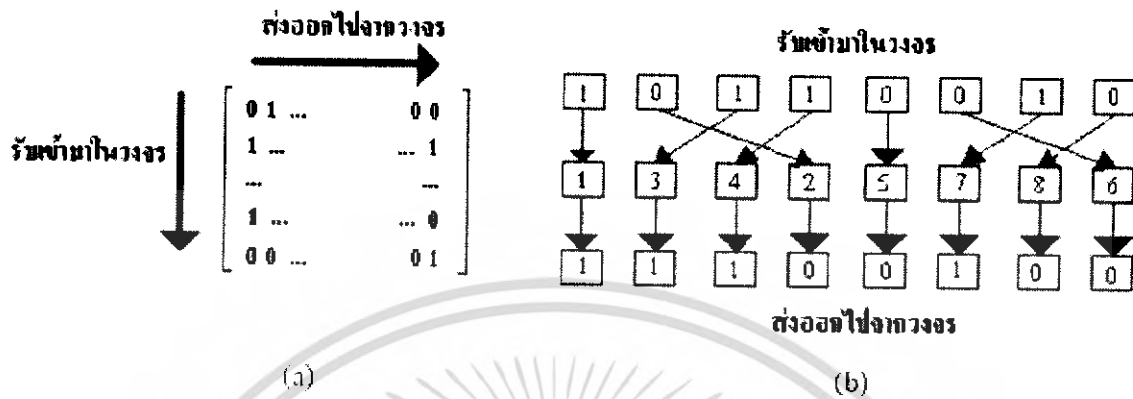
การมีการนิยมนำมาใช้สำหรับระบบสื่อสาร โดยในการทำงานเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลนั้น จะมีลักษณะการทำงานที่สามารถแสดงการทำงานโดยใช้เมตริกดังรูปที่ 9(a) โดยในการทำงานนั้น จะเป็นการดึงข้อมูลที่จะทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเข้ามาเก็บไว้ในเมมโมรี่ โดยจะมีการเก็บข้อมูลเรียงจากบนลงล่างและ ช้ายไปขวา โดยจะมีการเก็บข้อมูลในลักษณะนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเมมโมรี่ในวงจรมีการเก็บข้อมูลไว้ทุกตำแหน่งแล้ว จากนั้นจึงส่งข้อมูลออกจากวงจรโดยการเรียงลำดับการส่งจากซ้ายไปขวา และ บนลงล่าง และจะมีการส่งข้อมูลในลักษณะนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลทุกตำแหน่งในเมมโมรี่ถูกส่งออกจากวงจรแล้ว จากนั้นจึงมีการรับข้อมูลชุดต่อไปเข้ามาในวงจรเพื่อทำงานในครั้งต่อไป โดยจะมีการทำงานในลักษณะนี้ จนกระทั่งข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านกระบวนการ Interleave แล้ว จึงสิ้นสุดการทำงาน

Random (Pseudo-Random) Interleave

ในการ Interleave ข้อมูลด้วยวิธีการแบบ Random Interleave นั้น จะมีการใช้การสุ่มตัวเลขขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับกำหนดรูปแบบในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของข้อมูล โดยในการนำงานนั้น จะมีการนำข้อมูลมาครั้งละ 1 ชุด เพื่อทำการสลับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่ในตำแหน่งต่างๆตามรูปแบบของค่าที่ได้จากการสุ่มโดยจะมีลักษณะในการทำงานดังตัวอย่างในรูปที่ 8(b) ที่เป็นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการ Interleave แบบ RandomInterleave ที่มีการดึงข้อมูลเข้ามาภายในวงจรครั้งละ 8 บิตเพื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของข้อมูล



รูปที่ 2.28 (a)block interleave (b)random interleave

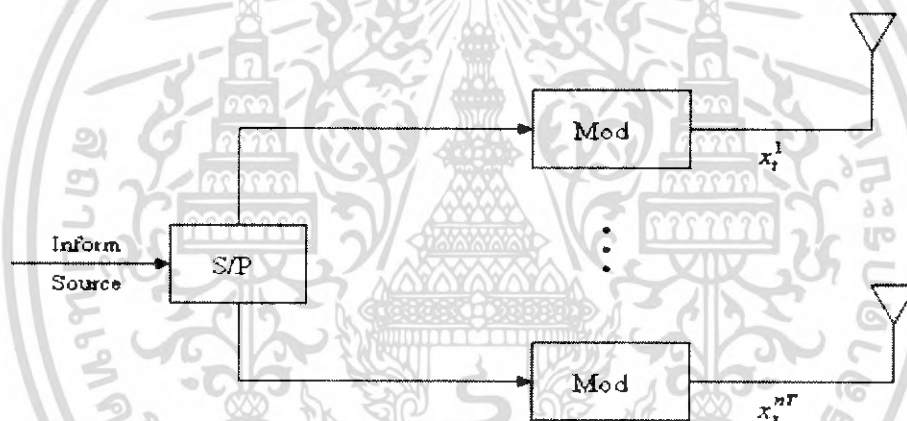
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบงาน

LST Transmitters: Layered space-Time

รูปแบบสถาปัตยกรรมของ LST มีอยู่จำนวนมาก อยู่ที่ว่าจะใช้หรือไม่ใช้การเข้ารหัสควบคุมความผิดพลาด (error control coding) นอกจากนี้ยังแยกออกตามประเภทวิธีการมอดูเลตซิมโบลที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง โครงสร้าง LST ที่ไม่มีการเข้ารหัสคือ VLST (vertical layered spaced-time) หรือ VBLAST (vertical Bell Laboratories layered space-time) ดังที่แสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรม VLST

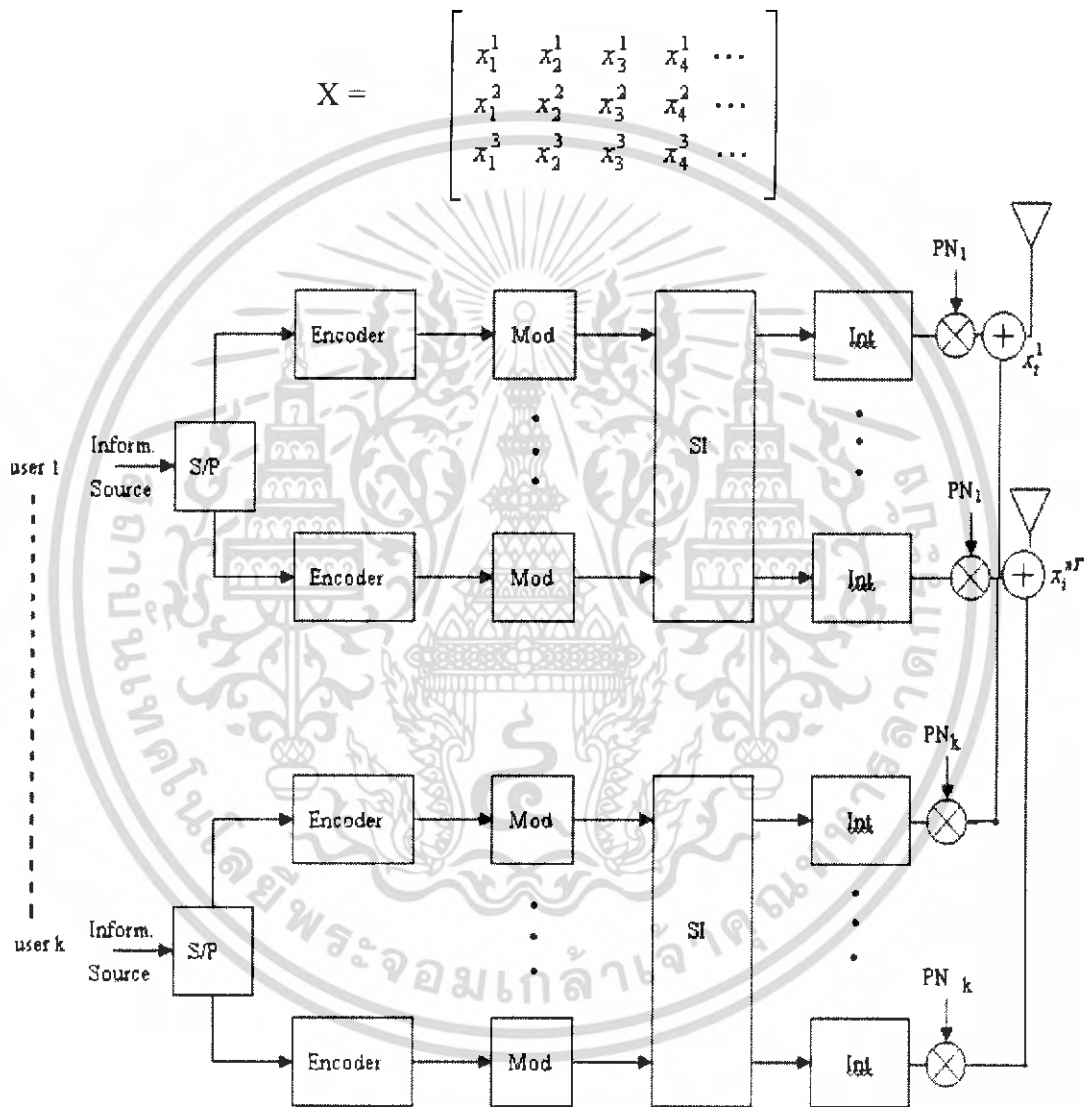
ข้อมูลที่เรียงเข้ามามีรูปที่ 3.1 นั้น กำหนดให้เป็น c

1. ชั้นแรกข้อมูลเหล่านี้จะถูกดีมัลติเพลกซ์ออกเป็นสายข้อมูลย่อย n_T
2. จากนั้นสายข้อมูลย่อยจะถูกมอดูเลตซึ่งการมอดูเลตในชั้นนี้เรียกว่า M-Level modulation
3. เมื่อทำการมอดูเลตเรียบร้อยแล้วสายข้อมูลย่อยเหล่านี้จะถูกส่งออกไปทางสายอากาศ

การประมวลผลสัญญาณซึ่งสัมพันธ์กับแต่ละสายข้อมูลคือ layer ซิมโบลที่ผ่านการมอดูเลตแล้วจะถูกจัดเรียงกันในเมทริกซ์ X (transmission matrix) ซึ่งมีขนาด $n_T \times L$ โดยที่ค่า L คือความยาวของบล็อกข้อมูลที่จะใช้ในการส่งข้อมูล กอสมันท์ที่ t ในเมทริกซ์กำหนดเป็น x_t ประกอบด้วยซิมโบลที่ผ่านการมอดูเลตแล้ว $x_1^t, x_2^t, \dots, x_{n_T}^t$ ซึ่ง $t=1, 2, \dots, L$ ณ เวลา t ภาคส่งจะส่ง l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิมโบลในคอลัมน์ที่ i ของเมทริกซ์ดังกล่าวออกไปด้วยสายอากาศนั้น ๆ นั่นก็คือความหมายของ x_i^j ที่ว่าส่งจากสายอากาศ i ณ เวลา t



รูปที่ 3.2 สถาปัตยกรรมของภาคส่งสัญญาณแบบ TLST

ในปริภูมิตวินพจน์นี้ใช้โครงสร้าง threaded layered space-time (TLST) ดังที่แสดงในรูป 3.2 ซึ่งจะทำการ spatial interleave ก่อน time interleave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & x_3^1 & x_4^1 & \dots \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & x_4^2 & \dots \\ x_1^3 & x_2^3 & x_3^3 & x_4^3 & \dots \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^3 & x_3^2 & x_4^1 & \dots \\ x_1^2 & x_2^1 & x_3^3 & x_4^2 & \dots \\ x_1^3 & x_2^2 & x_3^1 & x_4^3 & \dots \end{bmatrix}$$

ในการส่งสัญญาณที่ใช้ TLST ดังแสดงในรูปที่ 3.2

1. ชั้นแรกข้อมูลของ user ลำดับที่ k (Input Sequence) จะถูกตีมีลติเพลกซ์ออกเป็นสายข้อมูลย่อย n_r สำหรับแต่ละภาคส่ง $1, 2, \dots, k$; k คือลำดับที่ของภาคส่ง
2. จากนั้นแต่ละสายข้อมูลย่อยจะถูกเข้ารหัส
3. ในขั้นตอนนี้จะทำการมอดูเลตสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแล้วจะถูกป้อนเข้าไปเพื่อทำการ Spatial Interleave, หลังจากนั้นผลที่ได้จาก Spatial Interleave จะถูกป้อนเข้าสู่ time interleaver เพื่อลดค่า error เช่น burst error
4. ผลที่ได้จาก Time Interleave จะถูกในคูณกับ PN code ของแต่ละ user ซึ่งเป็นค่าเฉพาะ ทำให้ได้ข้อมูลของแต่ละ user ที่ไม่เหมือนกันตามภาคส่ง $1, 2, \dots, k$
5. ผลที่ได้จากข้อ 4 ข้อมูลสำหรับแต่ละผู้ใช้ จะถูกรวมเข้าด้วยกันและจะถูกส่งออกไปตามสายอากาศดังรูป

LST Receivers

ในส่วนนี้จะพิจารณาโครงสร้างทางด้านภาครับของ LST เพื่อที่จะให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงมีการทำเลเยอร์ขึ้นมาโดยเลเยอร์นี้สมมุติให้เป็นแบบ binary channel code และมีการมอดูเลตแบบ BPSK หลังจากนั้นจะขยายให้เป็นแบบ nonbinary codes และการมอดูเลตแบบ multilevel ต่อไป

เนื่องมาจากการส่งสัญญาณจากหลาย ๆ สายอากาศจึงทำให้เกิด co-channel interference โดยที่สัญญาณที่ถูกส่งจากสายอากาศจะแพร่กระจายอย่างอิสระในหลายเส้นทาง และจะเกิดการรบกวนกันขึ้นที่ภาครับสัญญาณ สัญญาณที่ภาครับนี้สามารถเขียนเป็นสมการในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$r_r = H_r S_r + n_r \quad 3.1$$

r_r คือ เมทริกซ์คอลัมน์ ที่ขนาดแถวเท่ากับ n_r ของสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศ n_r ที่

ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_t คือ คอลัมน์ที่ t ในเมทริกซ์ X (transmission matrix)

S คือ spreading code ของทุก user

n_t คือ คอลัมน์เมทริกซ์ที่มีขนาดแถวเท่ากับ n_r ของ AWGN noise signal ที่เกิดขึ้นที่

สายอากาศภาครับ

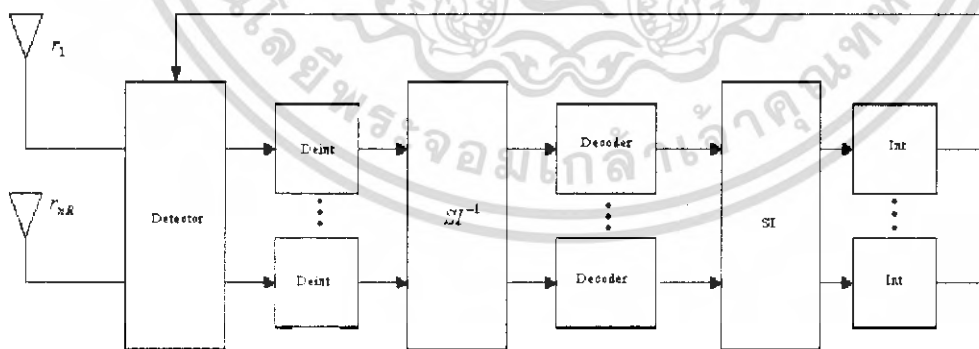
σ^2 คือ ความแปรปรวนของ noise ที่สายอากาศภาครับ

ในโครงสร้างที่มี SI (Spatial Interleaving) เวกเตอร์ x_t คือคอลัมน์ที่ t ของเมทริกซ์ที่ได้จาก Spatial Interleaver ซึ่งกำหนดให้สัญลักษณ์คือ X' เราจะเขียน r_{t,x_t} และ n_t เป็น r_{t,x_t} และ n_t ตามลำดับเพื่อให้สมการดูง่ายขึ้น

Iterative LST Receiver

การออกแบบตัวจับสัญญาณ (Detector) ที่ไม่ซับซ้อนเพื่อใช้ในการตรวจจับ space-time signal ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณนี้สามารถกำจัด multilayer interference (สัญญาณรบกวนเนื่องมาจากโครงสร้างการส่งสัญญาณแบบ multilayer) ซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนลงอย่างมากจนแทบจะเรียกว่าปลอดจากการรบกวนกันของสัญญาณเลยก็ได้ หลักการทำงานของ iterative ที่ใช้ในการเข้ารหัสแบบ turbo ทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณและถอดรหัสได้ ซึ่งตัวรับสัญญาณนี้จะใช้ได้ในระบบของแบบ LST เท่านั้น

บล็อกไดอะแกรมของตัวรับสัญญาณสำหรับ โครงสร้างแบบ LST เป็นดังนี้



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของ TLST

ตัวรับสัญญาณมีการวิเคราะห์หาคัดสินใจที่ไม่ตายตัวในการวิเคราะห์ค่า n_t (transmitted symbol sequences) ตามรูป

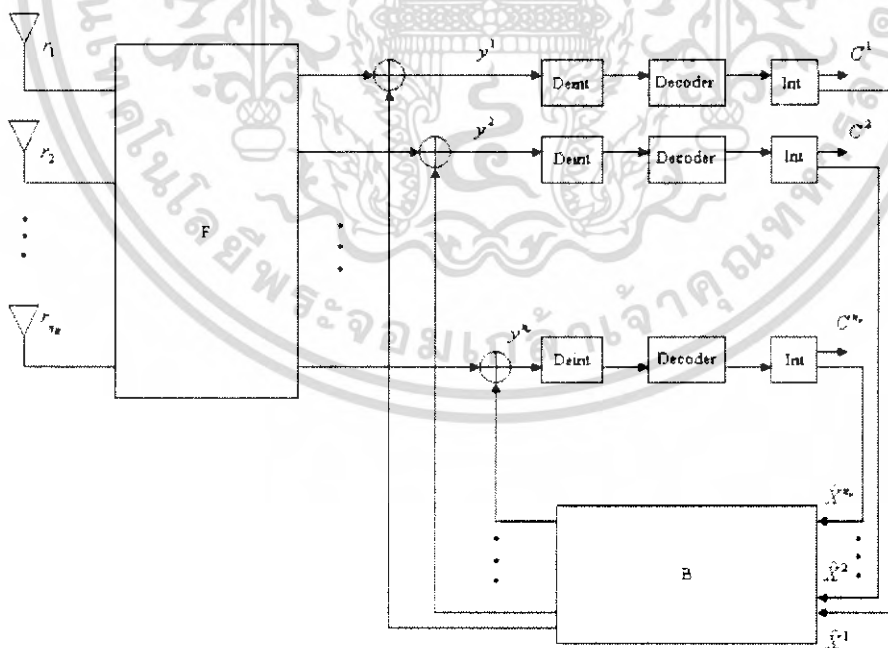
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. detected sequence แต่ละสายจะถูก นำเข้าไปสู่การทำ time deinterleaver and spatial deinterleave (SI^{-1})
2. หลังจากนั้นจะถูกถอดรหัสด้วยตัวถอดรหัสนกนละตัว
3. เมื่อผ่านการถอดรหัสแล้วแต่ละสัญญาณ จะถูก นำเข้าไปสู่การทำ spatial interleave and time interleave เพื่อที่จะป้อนสัญญาณกลับไปยังตัวตรวจจับสัญญาณเพื่อที่จะกำจัดสัญญาณรบกวน

ซึ่งผลจากการประมวลค่าใหม่ที่ตัวจับสัญญาณ(Detector) จะเป็นตัวที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณต่อไป

Iterative MMSE Receiver

พิจารณาตัวรับสัญญาณแบบ Iterative ที่มีตัวตรวจจับสัญญาณแบบ multi-user ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนการทำงาน feed-forward ซึ่งการทำงานส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการกำจัดสัญญาณรบกวนต่อจากส่วน feedback ซึ่งส่วน feedback นี้ก็จะทำการกำจัดสัญญาณรบกวนเหมือนกัน จากที่กล่าวมาทั้งหมดตัวรับสัญญาณชนิดนี้จะเรียกว่า iterative MMSE receiver มีบล็อกไดอะแกรม ดังนี้



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของ Iterative ของ MMSE receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$y_i^{i,k}$ คือ output of detector ณ เวลา t และ เลขอร์ที่ i ในรอบการทำงานที่ k

$$y_i^{i,k} = (w_f^{i,k})^H r + (w_b^{i,k})^H X \quad 3.2$$

$w_f^{i,k}$ คือ เมทริกซ์คอสถัมภ์ของ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ optimized feed-forward filter.

$w_b^{i,k}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเดี่ยวซึ่งแทนค่า cancellation term

$w_f^{i,k}, w_b^{i,k}$ สามารถคำนวณได้โดยลดรูป mean square error ระหว่าง transmitted symbol และค่าประมาณของมัน ดังนี้

$$e = E\{|(w_f^{i,k})^H r + (w_b^{i,k})^H X - x_i^{i,k}|^2\} \quad 3.3$$

กำหนดให้ \underline{x}^i คือเมทริกซ์คอสถัมภ์ซึ่งมีจำนวน $(n_T - 1)$ ซึ่งสมาชิกประกอบด้วย transmitted symbol จากทุกสายอากาศ ยกเว้น สายอากาศที่ i

$$(\underline{x}^i)^T = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{i-1}, x_i^{i+1}, \dots, x_i^{n_T})$$

เราสมมุติว่าในระบบที่พิจารณาเป็นระบบที่ไม่รู้ spreading sequence และสัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ รวมทั้งช่องสัญญาณที่พิจารณาเป็นแบบ fast fading ดังนั้นเราจึงใช้เทคนิคที่เรียกว่า Adaptive Technique ในการ detect สัญญาณดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ w_f^i และ w_b สามารถหาได้ดังสมการ

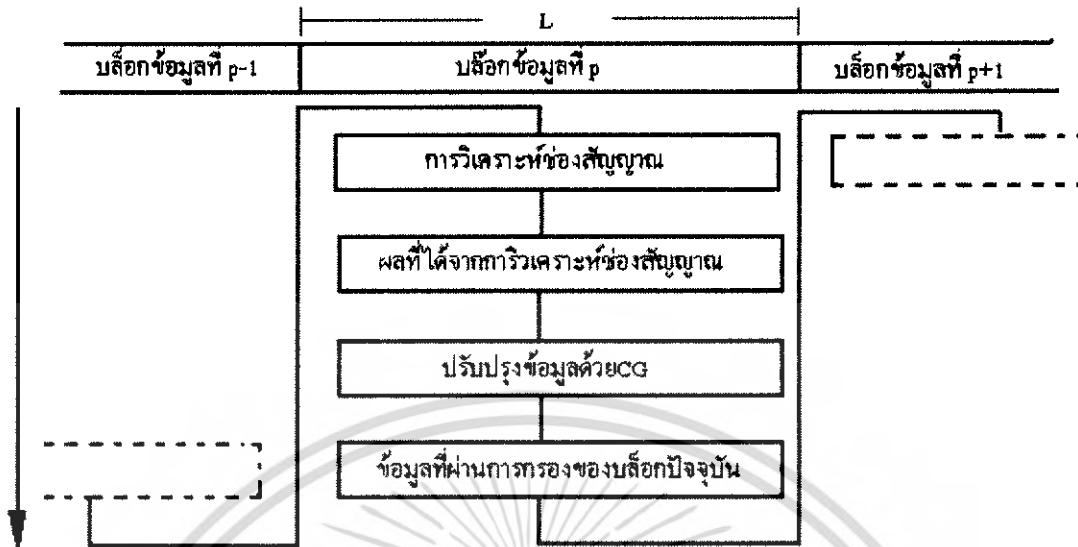
$$w_f(t+1) = w_f(t) + 2\mu e(t) \cdot r \quad 3.4$$

$$w_b(t+1) = w_b(t) + 2\mu e(t) \cdot \underline{x}^{i,k} \quad 3.5$$

ซึ่งเรากำหนด symbol estimate จากสายอากาศอื่น ในรอบการทำงานที่ k เป็น เวกเตอร์ $\hat{\underline{x}}^{i,k}$ ซึ่งสมการของเวกเตอร์ $\hat{\underline{x}}^{i,k}$ สามารถหาได้ดังนี้

$$(\hat{\underline{x}}^{i,k})^T = (\hat{x}_i^{1,k}, \hat{x}_i^{2,k}, \dots, \hat{x}_i^{i-1,k}, \hat{x}_i^{i+1,k}, \dots, \hat{x}_i^{n_T,k}) \quad 3.6$$

เนื่องจากการศึกษามุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาที่เกิดจากสภาวะ fast fading channel จึงมุ่งเน้นการศึกษาไปที่ตัวตรวจจับสัญญาณ(Detector)ใน receiver ซึ่งสิ่งที่จะพิจารณาคือ Chip-Level Linear MMSE Equalizer ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของ weighted sliding window ซึ่งขั้นตอนการทำงานเขียนเป็น block diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของ Chip-Level Linear MMSE Equalizer ที่ใช้ CGA ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของ weighted sliding window

จากบล็อกไดอะแกรมสามารถเขียนลำดับขั้นตอนการทำงานการทำงานได้ดังนี้

1. ที่บล็อกปัจจุบัน p รับข้อมูลมาจากบล็อกก่อนหน้าก็คือ บล็อกที่ $p - 1$ และทำการวิเคราะห์ช่องสัญญาณเพื่อตรวจสอบสัญญาณที่ได้รับมา
2. ได้ผลจากการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ ซึ่งนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป
3. ในขั้นนี้จะประมวลผลข้อมูลที่ได้จากขั้นที่ 2 ใหม่ด้วยอัลกอริทึมของ CG (Conjugate gradient Algorithm)
4. ได้ข้อมูลชุดปัจจุบันสำหรับบล็อกปัจจุบันเพื่อที่จะนำไปประมวลผลต่อไปบล็อกถัดไป

บทที่ 4

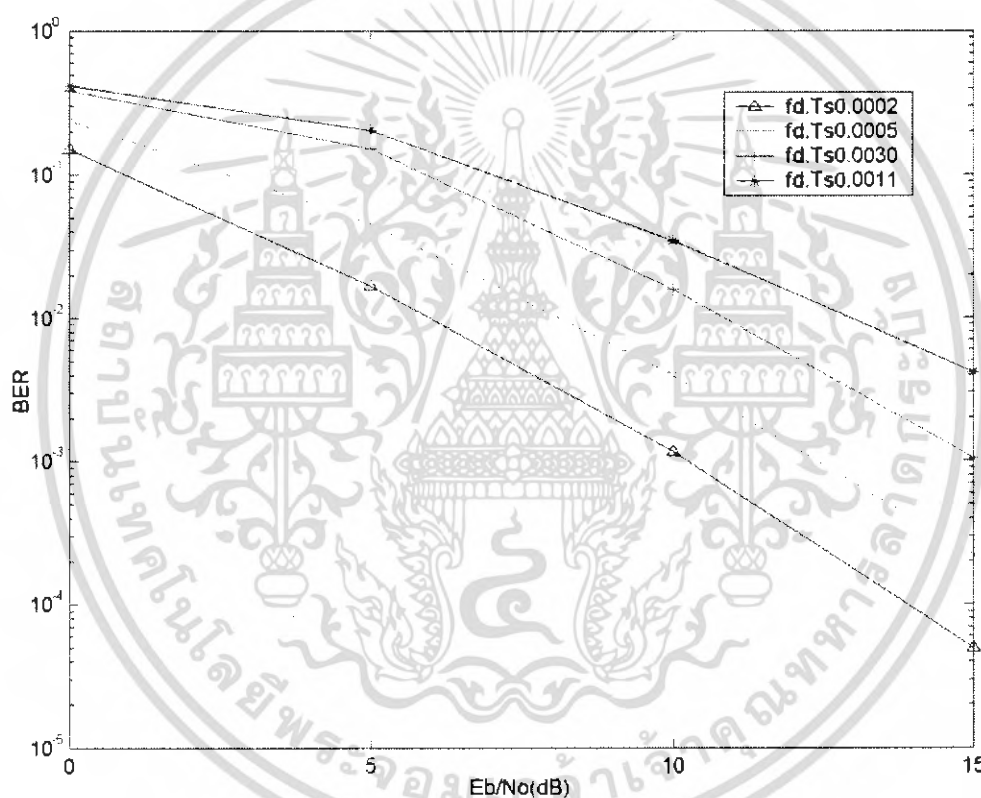
การทดลองการทำงานของระบบ

ในการทดลองการทำงานของระบบที่ได้นำเสนอในปริิญาานิพนธ์เล่มนี้ ส่วนของการทดลองการทำงานเพื่อดูผลเมื่อมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ในระบบ พร้อมกันนี้รวมถึงการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากสภาวะ fast fading และหลังจากที่มีใช้ระบบที่ออกแบบเพื่อปรับปรุงการส่งสัญญาณแล้ว ส่วนของการทดลองเราทำการจำลองระบบที่ออกแบบขึ้น โดยใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.5 ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

- 4.1 ผลการเปรียบเทียบการส่งสัญญาณเมื่อสภาวะช่องสัญญาณเปลี่ยน โดยที่ความถี่คอปเพิลเตอร์สูงขึ้น
- 4.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจากการกำหนดค่าให้เพิ่มจำนวนเสาส่งสัญญาณ
- 4.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้น

4.1 ผลการเปรียบเทียบการส่งสัญญาณเมื่อสถานะช่องสัญญาณเปลี่ยนโดยที่ความถี่ดอปเพลอร์สูงขึ้น

ผลการทดลองในส่วนนี้ เป็นการแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของระบบในรูปแบบของอัตราบิตที่ผิดพลาดที่เกิดขึ้นเทียบกับ fade rate ของ channel ที่เปลี่ยนไป การจำลองการทำงานนี้ กำหนดให้จำนวน user เท่ากันและจำนวนเสาอากาศส่งและรับมีค่าเท่ากันคือ 1 เสาและ 2 เสาตามลำดับ และกำหนดให้ค่า E_b/N_0 อยู่ระหว่าง 0 – 15 dB โดยค่าของ Normalized fade rate ($f_d \cdot T_s$) เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.0002 ไปถึง 0.0011 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



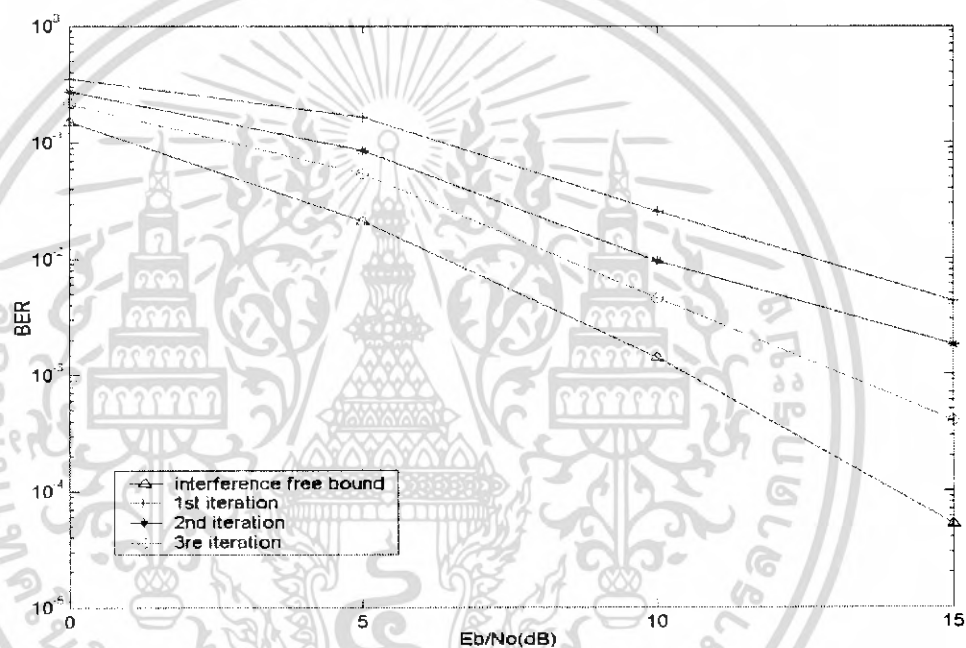
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบการส่งสัญญาณเมื่อสถานะช่องสัญญาณเปลี่ยนโดยที่ fade rate

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้ค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อ $f_d \cdot T_s$ มีค่าต่างๆ เมื่อค่าของ Normalized fade rate มีการเปลี่ยนแปลงจนพบว่า เมื่อ ค่าของ fade rate เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบสูงขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อค่า E_b/N_0 มีค่าสูงขึ้นค่าอัตราบิตผิดพลาดก็จะมีค่าลดลงดังรูป ซึ่งเมื่อค่าอัตราบิตผิดพลาดมีค่าสูงขึ้นดังนั้นเราจะใช้ระบบที่ได้

ออกแบบไว้เพื่อลดค่าอัตราบิตผิดพลาดซึ่งจะ ได้แสดงในการทดลองคือ ไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจากการกำหนดให้เพิ่มจำนวนเสาส่งสัญญาณ

เมื่อมีการเพิ่มเสาสำหรับส่งสัญญาณ แต่เสาสำหรับรับสัญญาณเท่าเดิมเราต้องการทราบว่า อัตราบิดผิดพลาดเป็นอย่างไร เพราะเมื่อเพิ่มเสาสำหรับส่งสัญญาณจะเกิดการรบกวนกันเองภายในช่องสัญญาณ (Co-channel Interference CCI) ซึ่งการทดลองนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ จำนวน user = 1 , จำนวนเสาสำหรับส่งสัญญาณ = 1 และ 2 , จำนวนเสาสำหรับรับสัญญาณ = 2 , SNR อยู่ในช่วง = 0 – 15 dB ค่า Normalized fade rate = 0.0002 ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.2

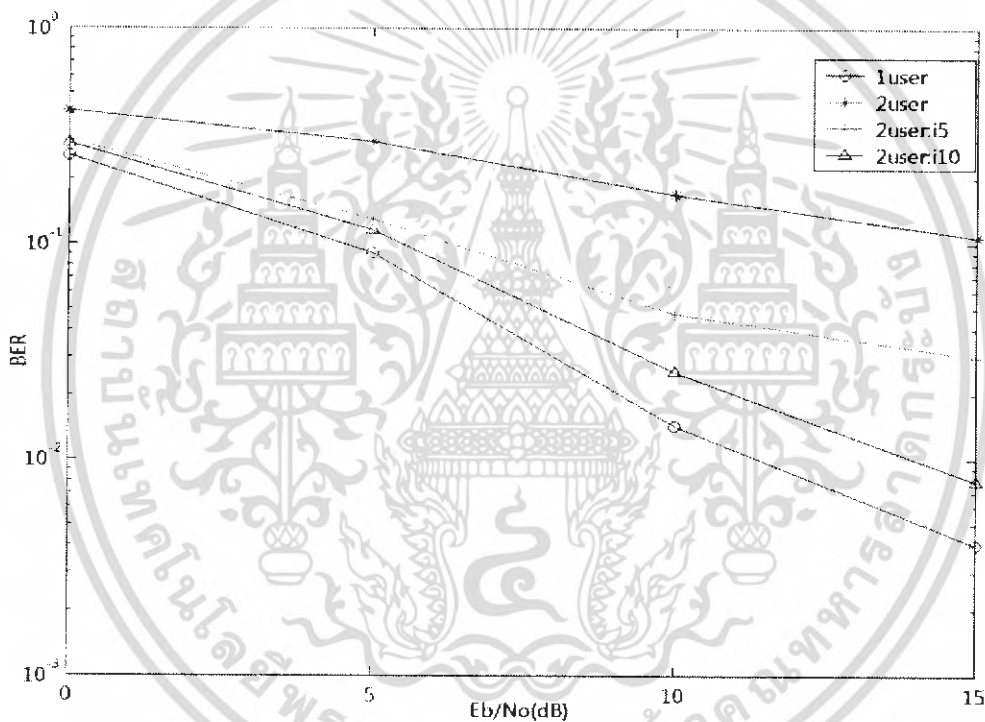


รูปที่ 4.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจากการกำหนดให้เพิ่มจำนวนเสาส่งสัญญาณ

จากรูปกราฟที่ได้นั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดจากระบบการส่งสัญญาณแบบเสาสำหรับส่งสัญญาณ 1 เสา เสาสำหรับรับสัญญาณ 2 เสา และ แบบเสาสำหรับส่ง สัญญาณ 2 เสา เสาสำหรับรับสัญญาณ 2 เสา ซึ่งแบบเสาสำหรับสัญญาณส่ง 2 เสา เสาสำหรับรับสัญญาณ 2 เสา นั้น ในขณะที่ยังไม่ได้ใช้ระบบในการทำซ้ำเพื่อลดสัญญาณรบกวนนั้นการรับสัญญาณจะมีอัตราบิดผิดพลาดสูงกว่าตามที่ได้กล่าวไว้ว่าเกิดการรบกวนสัญญาณกันเองภายในช่องสัญญาณแต่เมื่อใช้ระบบที่ได้ทำการลดสัญญาณรบกวน CCI โดยใช้เทคนิคการทำซ้ำ (Iterative Technique) จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยค่าอัตราบิดผิดพลาดมีค่าลดลงดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนการทำซ้ำจะทำให้ค่าของ BER ลดลง ซึ่งเป็นการลดค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้น

จากการทดลองที่ 4.3 พบว่าเมื่อเสาสำหรับส่งสัญญาณเพิ่มขึ้น มีการรบกวนกันเองของสัญญาณซึ่งการทดลองนี้ ต้องการพิสูจน์ว่าสัญญาณของแต่ละ user นั้นรบกวนกันเองซึ่งจะทำให้ อัตราบิดผิดพลาดในการรับสัญญาณสูงขึ้นหรือไม่ และต้องการทดสอบระบบที่ออกแบบว่าจะสามารถลดอัตราบิดผิดพลาดที่เกิดจากการเพิ่มของจำนวน user ได้หรือไม่ โดยกำหนดให้จำนวนเสาในการส่ง = 2 เสา จำนวนเสาในการรับสัญญาณ = 2 เสา จำนวน user = 1 และ 2 โดยทำการพิจารณาที่ Normalized fade rate = 0.003 ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้น เมื่อ $f_d \cdot T_s = 0.0003$

จากรูปที่ 4.3 เมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราบิดผิดพลาดสูงขึ้น หลังจากใช้ระบบที่ออกแบบทำการปรับปรุงคุณภาพการรับสัญญาณ จะเห็นว่าค่าอัตราบิดผิดพลาดมีค่าลดน้อยลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ได้ทำการทดสอบระบบโดยวิธีการจำลอง (Simulation) และการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อให้สภาวะช่องสัญญาณอยู่ในสภาวะ fast fading โดยจำลองระบบเสาอากาศเป็นแบบ MIMO และระบบการส่งสัญญาณเป็นแบบ CDMA ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้คือ MATLAB 6.5

โดยที่ก่อนทำการทดลองพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าบิตผิดพลาดคือ ค่า fade rate ซึ่งทำให้เกิดสภาวะ fast fading จำนวนเสาอากาศ และจำนวน user ในระบบ ในการทดลองได้แยกพิจารณาเป็นกรณี ๆ ได้ดังนี้

5.1.1 ผลการเปรียบเทียบการส่งสัญญาณเมื่อสภาวะช่องสัญญาณเปลี่ยน โดยที่ความถี่คอปเพลอร์สูงขึ้น

ค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อ fade rate มีค่าสูงขึ้น ค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบจะสูงขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อค่า SNR มีค่าสูงขึ้นค่าอัตราบิตผิดพลาดก็จะมีค่าลดลง

5.1.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจากการกำหนดให้เพิ่มจำนวนเสาส่งสัญญาณ

เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดจากระบบการส่งสัญญาณเมื่อเพิ่มจำนวนเสาส่งมากขึ้น ในขณะที่ยังไม่ได้ใช้ระบบในการปรับปรุงคุณภาพการรับสัญญาณจะมีอัตราบิตผิดพลาดสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการรบกวนสัญญาณกันเองภายในช่องสัญญาณแต่เมื่อใช้ระบบที่ได้ออกแบบไว้ปรับปรุงคุณภาพการรับสัญญาณจะทำให้ค่าอัตราบิตผิดพลาดมีค่าลดลง

5.1.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้น

เมื่อจำนวน user เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราบิตผิดพลาดสูงขึ้น หลังจากใช้ระบบที่ออกแบบทำการปรับปรุงคุณภาพการรับสัญญาณ จะเห็นว่าค่าอัตราบิตผิดพลาดมีค่าลดน้อยลง

เมื่อเพิ่มความถี่คอปเพลอร์ให้สูงขึ้น จนทำให้ช่องสัญญาณเปลี่ยนจากสภาวะ slow fading ไปเป็น fast fading และที่ในสภาวะ fast fading ได้เปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราบิต

ผิดพลาด พบว่าจะทำให้การรับสัญญาณมีอัตราบิดผิดพลาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ระบบที่ได้ออกแบบไว้ ในการปรับปรุงคุณภาพ จะพบว่าระบบสามารถช่วยให้การรับสัญญาณ สามารถรับสัญญาณ ได้ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ถึงแม้ว่าระบบที่ออกแบบมานี้จะสามารถทำให้อัตราบิดผิดพลาดมีค่าลดลง แต่ปัญหาของ การทำงานของระบบคือ การประมวลผลได้ช้า ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบ คือ MATLAB 6.5 โดยเฉพาะเมื่อต้องการประมวลผลในสภาวะ slow fading ซึ่งมีอัตราบิดผิดพลาด ต่ำทำให้ระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมช้ามาก ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาต่อไปคือ ทำการปรับอัลกอริทึมของโปรแกรมให้มีความกะทัดรัดมากขึ้น หรือเลือกนำคอมไพเลอร์ (Compiler) ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ เช่น C/C++ หรือคอมไพเลอร์อื่นๆ เพื่อการประมวลผลที่รวดเร็ว ขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lohninger, Hans (2005-12-17). Direct Sequence CDMA Simulation. *Learning by Simulations*. Retrieved on 2006-04-09
- [2] Poole, Ian (2006). Cellular Telecommunications / Cell Phone Technology. Radio-Electronics.Com. Retrieved on 2006-04-09.
- [3] T.S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and practice*, Second Edition, Prentice Hall
- [4] วรรณรีย์ วงศ์ไครรัตน์. การจำลองแบบการทำงานของระบบเวฟเล็ตมัลติแคร์เรียร์-ซีดีเอ็มเอบนช่องสัญญาณการจางหายด้วยตัวจำลองแบบเจ็ค = Simulation of wavelet-based MC-CDMA systems over fading channels by jakes' simulator. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.(วิศวกรรมโทรคมนาคม)) -- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- [5] ยอดเยี่ยม เงินบำรุง. การเปรียบเทียบผลการมอดูเลตสัญญาณเคโอติกในช่องสัญญาณการจางหายแบบต่างๆ = Comparative performance of chaotic modulation over fading channel, วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.(วิศวกรรมโทรคมนาคม)) -- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- [6] William C. Jakes, Editor (February 1, 1975). *Microwave Mobile Communications*. New York: John Wiley & Sons Inc. ISBN 0-471-43720-4.
- [7] Bernard Sklar (July 1997). "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization". *IEEE Communications Magazine* 35 (7): 90–100.
DOI:10.1109/35.601747 ISSN 0163-6804
- [8] 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition. Chapter 15: A Peek Ahead at 802.11n: MIMO-OFDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] Marzetta, T.L. and Hochwald, B.M. (January 1999). "Capacity of a mobile multiple-antenna communication link in Rayleigh flat fading". *IEEE Transactions of Information Theory* 45 (1): 139–157. DOI:10.1109/18.746779

[10] สุธรรม ศรีเกษม, เมรินทร์ ทรงชัยกุล, สง่า ศรีสุภปรีดา. MATLAB เพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม, ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยรังสิต 2540

[11] เศรษฐกร กาเมือง. การใช้เทคนิคเวฟเล็ททรานสฟอร์มในระบบมัลติแคร์เรียร์ ไคเร็กซ์ ซีควเอนซ์ ซีดีเอ็มเอ = Wavelet transform technique in multicarrier direct sequence CDMA system, วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)) -- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้