

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์อัตราบิดผิดพลาดของระบบเซลล์ลู่ลาร์วายเบนต์ ซีดีเอ็มเอ
บนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบนาคากามิ

BER ANALYSIS OF W-CDMA CELLULAR SYSTEM OVER NAKAGAMI
MULTIPATH FEDING CHANNEL



กมลสัน กอชัชวาล

KOMSAN KORCHATCHAWARN

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **61613**

วัน,เดือน,ปี **19 ก.ค. 2549**

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พ.ศ.2549

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-15-2486-2

**BER ANALYSIS OF W-CDMA CELLULAR SYSTEM OVER NAKAGAMI
MULTIPATH FADING CHANNEL**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2486-2



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์อัตราบิดคผลผลิตของระบบเซลล์สุลาร์ววยแบนด์ ซิติเอ็มเอ บนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดคิงแบบนาคากามิ
นักศึกษา	นายคมสัน กอชชวาล
รหัสนักศึกษา	44061742
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สมยศ จุณณะปิยะ

บทคัดย่อ

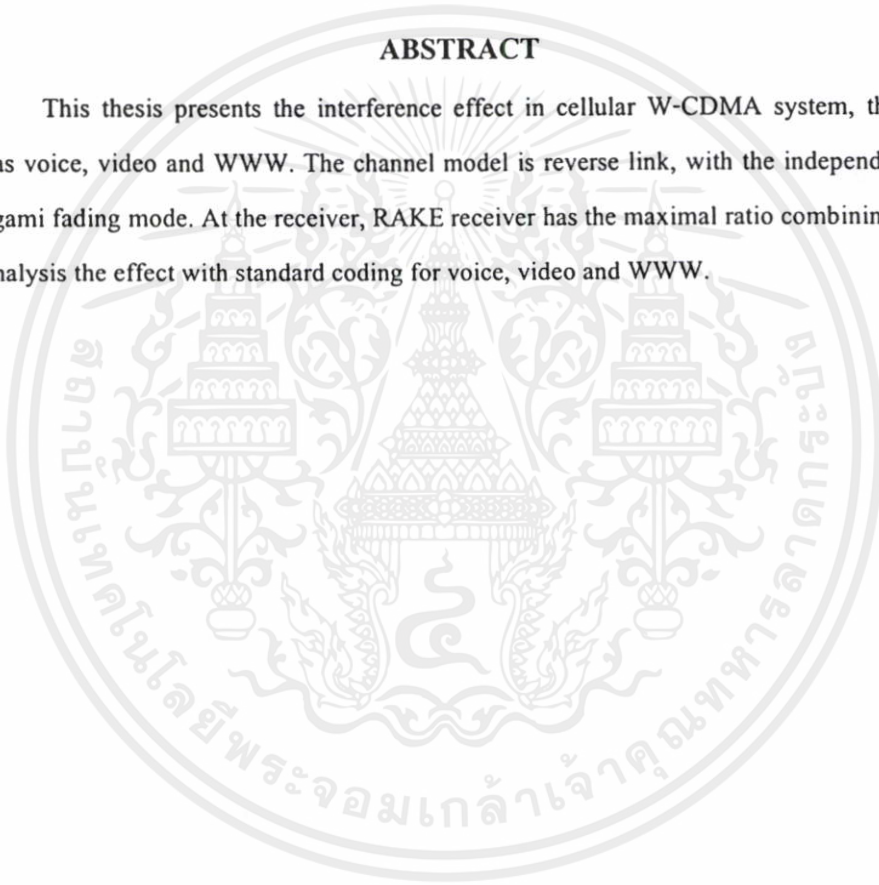
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลกระทบที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ในลักษณะต่าง ๆ ของระบบเซลล์สุลาร์ ววยแบนด์ ซิติเอ็มเอ เมื่อมีการใช้งานบริการด้านเสียง วิดีโอ หรือเว็ลด์ววยเว็บ โดยพิจารณาการส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดคิงแบบนาคากามิ กำหนดให้แต่ละเส้นทางการแพร่กระจายเป็นอิสระต่อกันทางสถิติ ทางด้านรับใช้จะเครื่องรับแบบเรด ที่มีอัตราวมสูงสุด และทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้งานบริการเสียง วิดีโอ และเว็ลด์ววยเว็บ ตามมาตรฐานการเข้ารหัสข้อมูลแบบต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	BER ANALYSIS OF W-CDMA CELLULAR SYSTEM OVER NAKAGAMI MULTIPATH FADING CHANNEL
Student	Mr. Komsan Korchatchawarn
Student ID.	44061742
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunications Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Somyot Junnapiya

ABSTRACT

This thesis presents the interference effect in cellular W-CDMA system, the service such as voice, video and WWW. The channel model is reverse link, with the independent paths, Nakagami fading mode. At the receiver, RAKE receiver has the maximal ratio combining (MRC), and analysis the effect with standard coding for voice, video and WWW.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่าง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. สมยศ จุณณะปิยะ ซึ่ง เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และ ศศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวล ที่กรุณาให้แนวคิดและคำปรึกษาใน การทำวิจัย ตลอดจนถึงแนะนำในการแก้ไขปัญหาในการทำวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความ อนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ศศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์ ดร.พิพัฒน์ พรหมมี และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณ น้องสมพบ แซ่เจ็๊บ ที่คอยช่วยเหลือเกี่ยวกับโปรแกรม MAT LAB อย่างดี เสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่บริษัท เอ็นเนอร์จี้ทิก อิเล็กทรอนิกส์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด และ บริษัท ทริปเพิล อี ซัพพลาย เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด อีกทั้งที่ บริษัท บี.เค.ส โตร์ จำกัด ที่คอยช่วยเหลือใน เรื่องงานที่รับผิดชอบให้ผ่านพ้นได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คมสัน กอชัชวาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 หลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.1.1) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access : FDMA).....	4
2.1.2) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access : TDMA).....	5
2.1.3) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA).....	6
2.2 โครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ.....	6
2.3 ชนิดของสเปกตรัมแผ่ของสัญญาณ.....	10
2.3.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยวิธีลำดับตรง.....	10
2.3.2 การกระโดดทางความถี่.....	13
2.3.3 การกระโดดทางเวลา.....	18
2.4 คุณลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้ง.....	20
2.4.1 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์และกำลังเชิงสเปกตรัมของช่องสัญญาณ.....	21
2.4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ.....	25
2.4.2.1 แบบจำลองของเรย์ลี (Rayleigh model).....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้ขึ้นสู่สาธารณะทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.2.2	แบบจำลองของไรท์เซียน (Rician model).....	26
2.4.2.3	แบบจำลองแบบนาคากามิ-เอ็ม (Nakagami model).....	26
2.5	เครื่องสร้างรหัส.....	27
บทที่ 3	ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง.....	31
3.1	ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง	31
3.1.1	ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้างในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3.....	31
3.1.2	ความแตกต่างของการสื่อสารทางคลื่นวิทยุระหว่างระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้างกับระบบในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2.....	32
3.1.3	คุณสมบัติของระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง.....	37
3.2	ความจุระบบโทรศัพท์ซีดีเอ็มเอ.....	39
3.3	การตรวจจับสัญญาณเสียง.....	41
3.4	การควบคุมกำลังส่งสัญญาณ.....	42
3.5	มาตรฐานมัลติมีเดียสำหรับ ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง.....	45
บทที่ 4	อัตราบิดพลิ้วของผลกระทบจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ระบบเซลล์ดูว์อาร์วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ บนช่องสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้งแบบนาคากามิ.....	47
4.1	การจางหายของสัญญาณเนื่องจากมัลติพาธ.....	47
4.2	การพิจารณาการลดทอนสัญญาณเนื่องจากระยะทาง ในการแพร่กระจายคลื่น.....	47
4.2.1	การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านธุรกิจ.....	48
4.2.2	การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายในย่านที่อยู่อาศัย.....	48
4.2.3	การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านชานเมือง.....	48
4.3	การพิจารณาในทิศทางจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน.....	48
4.3.1	สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	48
4.3.2	สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	49
4.4	แบบจำลองของเครื่องส่ง.....	49
4.5	แบบจำลองช่องสัญญาณ.....	51
4.6	แบบจำลองเครื่องรับ.....	54
4.7	การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอดกรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.8 การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอด กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์.....	59
4.7 อัตราบิดผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ.....	65
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงเลข.....	68
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	98
เอกสารอ้างอิง.....	100
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	101
ประวัติผู้เขียน.....	102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าอัตราส่วนที่สัมพันธ์ที่มีคุณลักษณะของชุดรหัส.....	29
3.1 ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบ W – CDMA และ GSM.....	34
3.2 ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบ W – CDMA และ IS – 95.....	34
3.3 พารามิเตอร์ในระบบ W – CDMA.....	37
3.4 รายละเอียดรูปแบบการเข้ารหัสสัญญาณ.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชนิดต่างๆของการเข้าถึงหลายทาง คือ แบบแบ่งความถี่(FDMA) แบบแบ่งเวลา(TDMA) และ แบบแบ่งรหัส(CDMA).....	5
2.2 โครงข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ.....	8
2.3 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีโทรออก.....	8
2.4 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีรับสายเข้า.....	9
2.5 เครื่องส่งแบบ DS-CDMA	10
2.6 สัญญาณต่างๆ ของระบบ DS-CDMA ที่ใช้การมอดูเลตรหัสแบบ BPSK.....	11
2.7 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแบบ DS-CDMA.....	12
2.8 เปรียบเทียบลักษณะของเวลา ความถี่ของระบบ DS และ FH.....	14
2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA.....	15
2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA.....	18
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA.....	18
2.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงทางเวลาทางช่องสัญญาณหลายวิถีที่ เกิดจากสัญญาณพัลส์ที่แคบมาก.....	20
2.13 คุณลักษณะของรูปร่างความเข้มของสัญญาณหลายวิถี.....	23
2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi_c(\Delta f)$ และ $\phi_c(\tau)$	24
2.15 แสดงการสร้างรหัส ด้วยจำนวนชิพตรีจิสเตอร์ 4 ตัว.....	28
2.16 ค่าอัตราสัมพันธ์ของชุดรหัสที่มีการเลื่อนของรหัสที่ค่าต่างๆ.....	29
3.1 การจัดสรรแบบคิกซ์ในในระบบ W – CDMA.....	39
3.2 แสดงรูปพัลส์สัญญาณพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์.....	41
3.3 แสดงการรับ-ส่ง สัญญาณระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	43
3.4 แสดงการไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่.....	44
3.5 แสดงการมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่	44
4.1 การแพร่กระจายแบบมัลติพาท.....	47
4.2 รูปแบบของการวางเซลล์.....	49
4.3 แบบจำลองของเครื่องส่ง W-CDMA ของผู้ใช้คนที่ k ที่พิจารณา.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แบบจำลองช่องสัญญาณ	52
4.5 แบบจำลองของภาครับของแต่ละสาขาสายอากาศ.....	55
4.6 เครื่องรับแบบ RAKE.....	55
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $K=20$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $V = 0$, $M = 1$	73
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $K=20$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $V = 0$, $M = 6$	74
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=1,6$, $R=500$ kbps	75
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=1,6$, $R=768$ kbps,	76
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=1,6$, $R=16$ kbps,	77
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=1,6$, $R=8$ kbps	78
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R=28.8$ kbps, 768kbps และพิจารณาการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R=28.8$ kbps, 500kbps และพิจารณาการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์.....	80
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R=16$ kbps และพิจารณาการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์.....	81
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R=8$ kbps และพิจารณาการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์.....	82
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R=768$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor	83
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R=500$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor	84
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R=16$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor	85

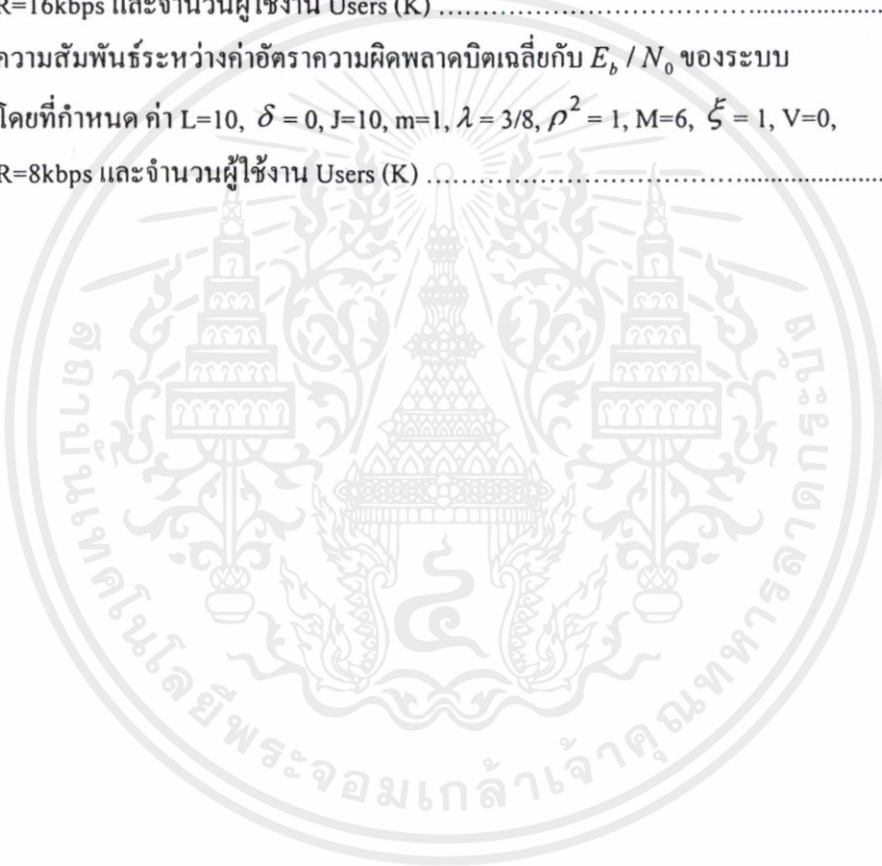
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R=8$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor	86
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R=768$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$	87
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R=500$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$	88
5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R=16$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$	89
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R=8$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$	90
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $\zeta = 1, 2$, $J=4$, และพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลมาตรฐานต่าง ๆ.....	91
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $\zeta = 1, 2$, $J=6$ และพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลมาตรฐานต่าง ๆ.....	92
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $\zeta = 1, 2$, $J=10$ และพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลมาตรฐานต่าง ๆ.....	93
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $J=10$, $m=1$, $\lambda = 3/8$, $\rho^2 = 1$, $M=6$, $\zeta = 1$, $V=0$, $R=500$ kbps และจำนวนผู้ใช้งาน Users(K).....	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10, \delta = 0, J=10, m=1, \lambda = 3/8, \rho^2 = 1, M=6, \zeta = 1, V=0,$ $R=768\text{kbps}$ และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)	95
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10, \delta = 0, J=10, m=1, \lambda = 3/8, \rho^2 = 1, M=6, \zeta = 1, V=0,$ $R=16\text{kbps}$ และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)	96
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10, \delta = 0, J=10, m=1, \lambda = 3/8, \rho^2 = 1, M=6, \zeta = 1, V=0,$ $R=8\text{kbps}$ และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบเซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็มเอ (Cellular CDMA) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท Qualcomm และ ถูกกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานโดย TIA 45.5 Sub-committee ซึ่งเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access หรือ CDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะใช้แบนด์วิดท์เดียวกัน และใช้เวลาเดียวกัน โดยมีรหัสแตกต่างกัน ในการวิจัยและการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ CDMA เริ่มขึ้นเมื่อประมาณต้นปี ค.ศ. 1989 และเพียงไม่กี่ปีต่อมาได้เริ่มนำมาใช้งานกันหลายประเทศทั่วโลก สำหรับในประเทศไทยนั้น การสื่อสารแห่งประเทศไทยได้นำระบบนี้เข้ามาให้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ในราวเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 1998 ซึ่งปัจจุบันดำเนินการโดยบริษัท ฮัทจิสัน (Hutchison) ในเฟสแรก ส่วนในเฟสต่อมานั้นเพิ่งจะประมูลได้โดยบริษัทหัวเหว่ยในปี ค.ศ. 2005

เนื่องจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่โทรคมนาคมในยุคที่สาม (Third Generation Mobile Systems) นั้น วิทยุแบนด์-ซีดีเอ็มเอ (W-CDMA) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานเป็นมาตรฐานที่รองรับการให้บริการมัลติมีเดียได้แก่ เสียง วิดีโอ หรือเว็ลด์วายเว็บ ของผู้ใช้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งการให้บริการด้านมัลติมีเดียนั้นย่อมมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ เช่นการอินเตอร์เฟียร์เรนท์ที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก อีกทั้งอัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการลักษณะต่าง ๆ เมื่ออัตราการส่งข้อมูลเปลี่ยนแปลงไปแต่ระบบยังคงใช้ค่าอัตราชิป (Chip Rate) ที่ 3.84 Mbps : แบนด์วิดท์ 5 MHz เท่าเดิม จะทำให้ค่าอัตราการขยายการประมวลผลระบบ (Processing Gain : G_p) เปลี่ยนแปลง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการ พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการอินเตอร์เฟียร์เรนท์ ที่เกิดจากจากอัตราการส่งข้อมูลที่ต่างกันเมื่อระบบให้บริการลักษณะต่าง ๆ โดยทำการพิจารณาจากค่าความผิดพลาดบิตเฉลี่ย รวมทั้งในความเป็นจริงในระบบเซลล์ลูลาร์ สัญญาณที่แพร่กระจายมีค่าการหน่วงเวลาของ สัญญาณ แต่ละเส้นทางที่แตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ เนื่องจากมีจำนวนหลายวิธี ของเส้นทางที่เดินทางมายังเครื่องรับ ของสถานีฐาน โดยไม่สามารถรับสัญญาณจากเส้นทางตรงได้ โดยจะใช้โมเดลการแพร่กระจายแบบนาคามี ส่วนทางรับจะใช้เรก (Rake) ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานี้มีผลต่อสมรรถนะของระบบ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการอินเตอร์เฟียร์เรนท์ในลักษณะต่าง ๆ ของระบบเซลล์ลูลาร์ วิทยุแบนด์ ซีดีเอ็มเอ เมื่อมีการใช้งานบริการด้านเสียง วิดีโอ หรือเว็ลด์วายเว็บ โดย

เอกสารนี้เป็นของทางลิขสิทธิ์ของบริษัทหรือบุคคลอื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้น ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการอินเตอร์เฟอเรนซ์ภายในเซลล์ที่พิจารณาและจากเซลล์ข้างเคียง ตลอดจนหาค่าความผิดพลาดของระบบ BER

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก โดยวิเคราะห์ในส่วนการเชื่อมโยงสัญญาณขากลับ (Reverse Link) จากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก นอกจากนี้ยังพิจารณาอัตราการส่งข้อมูล เมื่อใช้มาตรฐานการเข้ารหัสมาตรฐานซึ่งรองรับการเข้ารหัสมัลติมีเดียรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง วีดีโอ เสียง และ เวิลด์ไวด์เว็บ การควบคุมกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่สมบูร์น และไม่สมบูร์น ทำการเปรียบเทียบผลกระทบจากค่าถ่วงน้ำหนักผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุดทางเครื่องรับ รวมถึงหาค่าความผิดพลาดของระบบ (BER) เพื่อพิจารณาผลกระทบต่อสมรรถนะการรองรับจำนวนผู้ใช้งานและรูปแบบการส่งสัญญาณข้อมูลมัลติมีเดียต่าง ๆ และนำเสนอการปรับปรุงสมรรถนะของระบบและการรองรับจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ดีขึ้นจากผลกระทบดังกล่าว

1.3 แนวความคิด

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก โดยในความเป็นจริงในระบบเซลล์ดูลาร์ ตัวโทรศัพท์จะเคลื่อนที่ตลอดเวลาและมีผลการเกิดการจางหายของสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพแวดล้อมในเมือง เนื่องจากมีจำนวนหลายวิถีของเส้นทางที่เดินทางมายังเครื่องรับของสถานีฐานโดยไม่สามารถรับสัญญาณจากเส้นทางตรงได้ ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้โมเดลการแพร่กระจายแบบนาคา-กามิ ส่วนทางรับจะใช้เรค (Rake) และใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสาขาเพื่อทำการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังใช้จำนวนฟังก์เจอร์เป็นการช่วยเพิ่มสมรรถนะให้ดีขึ้นอีกด้วย อีกทั้งได้พิจารณาผลกระทบกรณีผู้ใช้งานไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณและมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ อีกทั้งพิจารณาผลกระทบเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยอัตราส่งข้อมูลที่แตกต่างกันตามรูปแบบการเข้ารหัสข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณ เสียง ภาพ หรือ เวิลด์ไวด์เว็บ จะส่งผลทำให้ค่าอัตราการขยายการประมวลผลระบบเปลี่ยนแปลง พร้อมทั้งมีการพิจารณาความผิดพลาดจากค่าถ่วงน้ำหนักผิดพลาดของอัตรารวมสูงสุด ก็จะเป็นปัจจัยที่กระทบต่อสมรรถนะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการอินเทอร์เน็ตเฟอร์เรนท์ที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก ใช้การจำลองทั้งหมด 7 เซลล์ ในแต่ละสถานีฐานใช้สายอากาศแบบมีการกระจายคลื่นสัญญาณเท่ากันทุกทิศทาง รัศมีมีค่าเป็นหนึ่งหน่วยเพื่อง่ายในการพิจารณาและพิจารณาผู้ใช้งานอ้างอิงคนที่หนึ่งในเซลล์แรก และกำหนดให้แบบจำลองช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบ นาคากามิ กำหนดให้ในแต่ละวิถีเป็นอิสระกันเชิงสถิติ ทำการเปรียบเทียบผลกระทบเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยอัตราส่งข้อมูลตามรูปแบบการเข้ารหัสข้อมูล สัญญาณ เสียง ภาพ และเวลาดำวยเวบ จำนวนผู้ใช้งาน การรบกวนจากผู้ใช้งานจากเซลล์ที่พิจารณาและจากผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียง การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ค่า Voice Activity Factor จำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับเรคและจำนวนสาขาของสายอากาศ ว่าส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไร เพื่อพิจารณาผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบและการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้สมรรถนะของระบบดีขึ้น

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยหลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ โครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซีดีเอ็มเอ ชนิดของสเปกตรัมของสัญญาณคุณลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้ง

บทที่ 3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ความจุระบบโทรศัพท์วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ มาตรฐานการเข้ารหัส มัลติมิเดียสำหรับ ระบบเซลล์ดู-ลาร์ วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ

บทที่ 4 อัตราบิตผิดพลาดของผลกระทบจากการ อินเทอร์เน็ตเฟอร์เรนท์ระบบเซลล์ดู-ลาร์ วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ บนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบนาคากามิ

บทที่ 5 เสนอผลการวิเคราะห์เชิงเลขอันเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ เซลล์ดู-ลาร์ วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ เช่นการอินเทอร์เน็ตเฟอร์เรนท์ที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก อีกทั้งอัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการลักษณะต่าง ๆ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ

2.1 บทนำ

ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่างๆ โดยในอดีตกาลได้ใช้ระบบสื่อสารแบบอนาล็อกและต่อมาก็ได้เริ่มเกิดปัญหาในเรื่องของความจุของช่องสัญญาณที่ไม่เพียงพอ ขณะที่มียุคข่ายเพิ่มขึ้นตามลำดับ ต่อมาจึงเริ่มมีการพัฒนาระบบสื่อสารดิจิทัลขึ้นเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณเพื่อรองรับกับลูกข่ายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

เทคนิคต่างๆ เพื่อช่วยในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดวิธีการหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับและนำมาใช้งานในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็คือ การเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access) ซึ่งเป็นวิธีการจัดสรรทรัพยากรความถี่ที่มีอยู่จำกัดให้รองรับการใช้งานให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีการเข้าถึงระบบช่องสัญญาณต่างๆมีดังนี้

2.1.1) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access : FDMA)

การเข้าถึงข้อมูลในระบบอนาล็อกแบบแบ่งความถี่จะกำหนดช่องสัญญาณให้ผู้ใช้แต่ละราย ซึ่งช่องสัญญาณนี้จะถูกแบ่งมาจากแถบความถี่ โดยรูปที่ 2.1 แสดงการกำหนดแถบความถี่หรือช่องสัญญาณเฉพาะเพื่อจัดสรรให้ผู้ใช้แต่ละราย ซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณจะเกิดขึ้นตามการขอใช้บริการของผู้ใช้ และระหว่างช่วงเวลาของการสื่อสารผู้ใช้รายอื่นจะไม่สามารถใช้แถบความถี่เดียวกันนี้ กล่าวคือโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบนี้อาจเปรียบเทียบกับได้กับการมีเครื่องรับและส่งสัญญาณวิทยุอยู่ในตัวเดียวกัน ซึ่งผู้ใช้จะได้รับความถี่สองความถี่เพื่อใช้รับและส่งสัญญาณเสียงโทรศัพท์ระหว่างที่ใช้งานติดต่อโทรศัพท์ที่อยู่จะไม่มีใครสามารถใช้ความถี่นี้ได้นั่นเอง

ระบบ FDMA ที่นิยมใช้มี 3 ระบบคือ

1. ระบบ AMPS ใช้งานเกือบทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา และมีใช้ในประเทศไทยในอดีตคือ DTAC และ การสื่อสารแห่งประเทศไทย ใช้ความกว้างของความถี่ประมาณ 30 kHz ใช้งานที่คลื่นความถี่ 800 MHz ปัจจุบันในประเทศไทยแทบจะไม่ได้ใช้ระบบดังกล่าวแล้ว นอกจากนี้ตัวเครื่องโทรศัพท์มีรูปร่างหน้าตาค่อนข้างใหญ่ หนัก อาจไม่ค่อยสะดวกในการพกพา

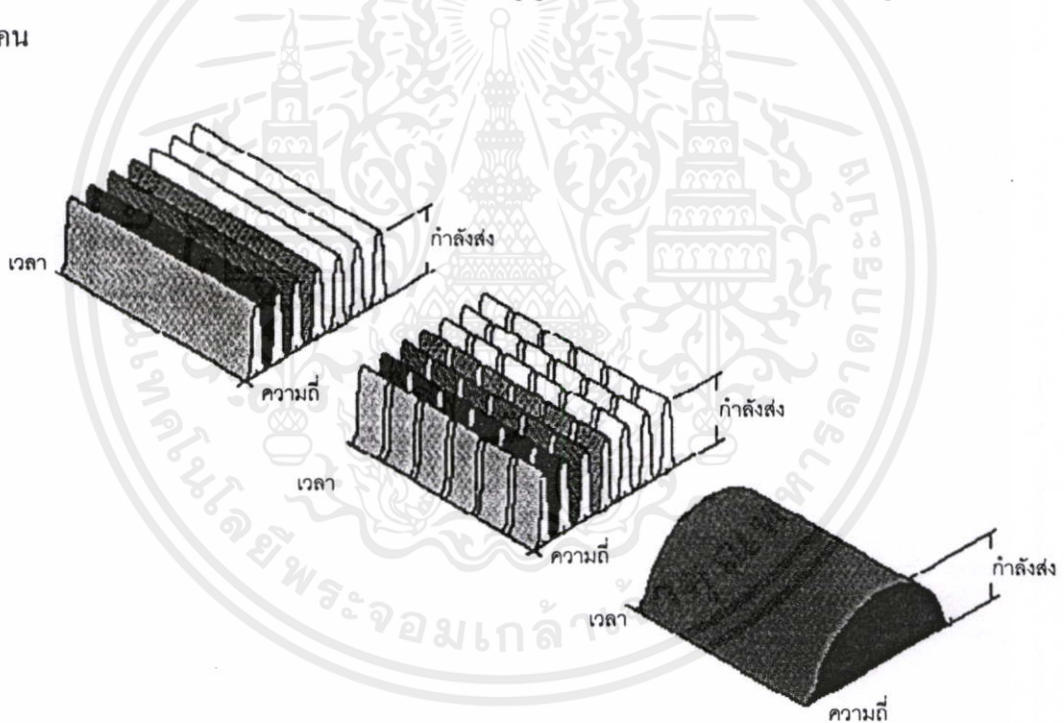
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบ NMT ใช้งานในแถบแสมกนดินเวียที่ควมถี่ 450MHz และ 900MHz ในประเทศไทยก็มิใช้ในอดีต คือ องค์การโทรศัพทแห่งประเทศไทย และ DTAC ปัจจุบันในประเทศไทยแทบจะมิได้ใช้ระบบดังกล่าวแล้วเช่นกัน

3. ระบบคือ TACS (Total Access Communication System) ใช้ในประเทศอังกฤษ แต่ใช้ควมกว้างของควมถี่ประมาณ 25 kHz ใช้งานที่คลื่นควมถี่ 800 MHz

2.1.2) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access : TDMA)

การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาเป็นระบบที่พัฒนาจาก FDMA เพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณให้มากขึ้น โดยในระบบโทรศัพทเคลื่อนที่จะใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาและใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งควมถี่เป็นพื้นฐานด้วย รูปที่ 2.1 จะใช้แต่ละช่องควมถี่มาแบ่งเป็นแต่ละช่องสัญญาณตามช่วงเวลา ทำให้สามารถเพิ่มความจุระบบโทรศัพทเคลื่อนที่ได้ อีก เช่นในระบบโทรศัพทเคลื่อนที่ GSM จะใช้เทคนิค TDMA โดยช่องสัญญาณวิทยุแต่ละช่องจะมีขนาดเท่ากับ 200 kHz และมีการแบ่งช่องสัญญาณสื่อสารเป็น 8 ช่วงเวลาหรือผู้ใช้บริการ 8 คน



รูปที่ 2.1 ชนิดต่างๆของการเข้าถึงหลายทาง คือ แบบแบ่งควมถี่(FDMA) แบบแบ่งเวลา (TDMA) และ แบบแบ่งรหัส(CDMA)

ใน FDMA และ TDMA นี้ใช้งานควมถี่อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพนัก เพราะระหว่างที่ใช้โทรศัพทจะมีเพียงคนเดียวที่พูดและอีกคนเป็นผู้ฟัง แต่เราใช้สองควมถี่ หมายควมว่าระหว่างที่ช่องหนึ่งมีการใช้งานอีกช่องหนึ่งก็จะได้มิได้ใช้ (มีการจัดให้ใช้ 2ช่องแต่ว่าใช้จริง ใช้เพียงทีละ

ช่องระหว่างการสนทนา) แต่เราไม่สามารถจะนำช่องที่ยังไม่ได้ใช้ ไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น จึงมีจุดอ่อนอยู่ที่ช่องสัญญาณมีการใช้ เพียงครึ่งเดียว ระหว่างการสนทนา ครั้งที่ใช้งานนั้นก็ถูกใช้งานจริงเพียง 25% เพราะ Voice Activity ของคน ถ้าหากสามารถนำเอาทรัพยากรความถี่ (Bandwidth) ที่ไม่ได้ใช้มาแบ่งใช้ก็จะสามารถเพิ่มความจุให้มากขึ้นได้

2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA)

ในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสนั้น สัญญาณข้อมูลแถบแคบจะถูกคูณด้วยสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างมากเรียกว่า สัญญาณแผ่ (spreading signal) โดยสัญญาณแผ่นี้คือ ลำดับรหัส ซึ่งลำดับรหัสจะมีอัตราชีพมากกว่าอัตราข้อมูลของสัญญาณที่ต้องการส่ง จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ทุกรายใช้ความถี่พาที่เหมือนกันและส่งสัญญาณไปในเวลาเดียวกัน ผู้ใช้แต่ละรายจะมีรหัส (code) ซึ่งคล้ายสัญญาณสุ่มเป็นของตนเอง โดยรหัสนี้จะประมาณให้ตั้งฉากกับรหัสอื่นๆ แล้วเมื่อสัญญาณถูกส่งออกไปเครื่องรับจะพิจารณาเฉพาะสัญญาณที่มีรหัสเหมือนกัน ส่วนสัญญาณที่มีรหัสอื่นจะถูกพิจารณาให้เป็นสัญญาณรบกวนและอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2 โครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ

ในการออกแบบโครงข่ายระบบซีดีเอ็มเอประการสำคัญประการหนึ่งคือสามารถให้ผู้ใช้ระบบโทรออกหรือรับสายได้ ทั้งภายในโครงข่ายของตัวเองและจากโครงข่ายภายนอก ด้วยเหตุนี้การเชื่อมต่อในส่วนต่างๆจึงต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยตัวอุปกรณ์ที่จะต่อเชื่อมด้วยกันจะอยู่ภายใต้มาตรฐานการกำหนดการเชื่อมต่อเพื่อให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นในส่วนประกอบต่างๆของโครงข่ายจะมีหน้าที่ดูแลดังต่อไปนี้ แสดงดังรูปที่ 2.2

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เกตเวย์ (Gateway : Mobile Service Switching Center GMSC) เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่มีฐานข้อมูลลูกค้าซึ่งทำหน้าที่การเชื่อมต่อและยกเลิกวงจรกับโครงข่ายทั้งภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอเองและโครงข่ายภายนอก อาทิเช่นเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (Public Switching Telephone Network: PSTN) โครงข่ายโทรศัพท์ต่อผ่านระหว่างประเทศและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบต่างๆ (Public Land Mobile Network: PLMN) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์การให้บริการข้ามแดน (International Roaming :IR) อีกทั้งยังสามารถเชื่อมกับฐานข้อมูล โดยการเชื่อมต่อจะต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และฐานข้อมูลท้องถิ่นชั่วคราว (Mobile Service Switching Center / Visitor Location Register : MSC/VLR) ทำหน้าที่เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต่อกับที่เกตเวย์ และฐานข้อมูล อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน โดยเป็นตัวเก็บฐานข้อมูลลูกค้าชั่วคราวในกรณีที่ลูกค้าโทรศัพท์เคลื่อนที่มายังได้บริเวณที่รับผิดชอบ ฐานข้อมูลลูกค้าชั่วคราวนี้จะทราบว่าลูกค้าเบอร์นี้อยู่สถานีฐานใด มีบริการเสริมพิเศษอะไรบ้าง รวมทั้งรู้สถานะว่าลูกค้าเปิดหรือปิด

เครื่องอยู่เป็นต้น นอกจากนั้นชุมสายก็จะทำหน้าที่การเชื่อมต่อและขงเล็กลงจรสื่อสารในรูปแบบของการสวิตซ์วงจร (Circuit Switched: CS) สำหรับการสนทนา ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างเช่น ออกแบบให้มีMSC/VLR 7 ตัว ทั่วประเทศไทย ตั้งอยู่กรุงเทพและภาคกลาง 4 MSC/VLR ภาคเหนือ อีสานและภาคใต้ ใ้ช้อย่างละ 1 MSC/VLR โดยจะขึ้นอยู่กับว่าแต่ละ MSC/VLR จะสามารถรองรับลูกค้าที่เข้ามาอยู่ในบริเวณ MSC/VLR ซึ่งอาจจะมีค่าตั้งแต่ 600,000 ถึง 1,000,000 ราย ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถอุปกรณ์ผู้ผลิตแต่ละราย เป็นต้น

ฐานข้อมูลหลัก (Home location Register :HLR) เป็นฐานข้อมูลหลักโดยทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้แต่ละราย ตัวอย่างฐานข้อมูลได้แก่ เลขหมาย IRM (International roaming Mobile Identification Number) เป็นหมายเลขอ้างอิงผู้ใช้บริการเฉพาะระบบจีดีเอ็มเอ เลขหมาย MDN (Mobile Directory Number) ใช้ในการโทรออกหรือรับสาย มีค่า ESN (Electronic series number) และจัดถูกเก็บไว้ในซิมการ์ดเพื่อยืนยันข้อมูลที่ต้องการและให้ตรงกัน มีกฎตรวจสอบรายบุคคล(Authentication : AUC) ซึ่งส่วนใหญ่ AUC มักเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกันใน HLR เพราะเนื่องจากหากแยกตัวอุปกรณ์ดังกล่าวมันจะเปลืองเนื้อที่ในการติดตั้ง โดยรายการให้บริการต่างๆที่อนุญาตให้ผู้บริการใช้งานทั้งในด้านเสียง (Voice call) ด้านข้อมูลได้ (Data call) การให้บริการรับ-ส่งข้อความ (Short Message service) รวมทั้งอนุญาตให้ลูกค้าสามารถใช้บริการเรียกรับสาย ซ้อน บริการโอนสายอัตโนมัติ (Call Forwarding) อีกทั้งมีบริการอนุญาตให้ลูกค้าสามารถโทรข้ามพรมแดนได้(International Roaming) เป็นต้น นอกจากนี้ฐานข้อมูลหลักสามารถเก็บข้อมูลลูกค้าอาจตั้งแต่ 600,000 ถึง 1,000,000 ราย หรืออาจมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ผู้ผลิต

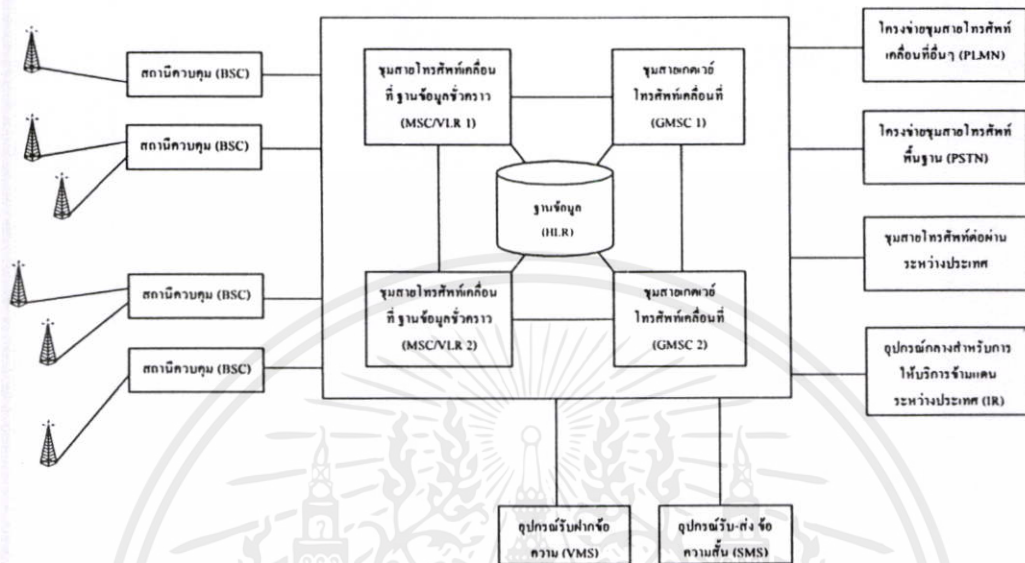
อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน (Base Station Control :BSC) ทำหน้าที่ตรวจสอบและควบคุมการทำงานของสถานีฐานหลายๆตัว โดยแต่ละตัวของอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานจะสามารถควบคุมสถานีฐานได้มากที่สุดตั้งแต่หลายสิบถึงหลักร้อย ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์ของเครือข่าย นอกจากนี้มีหน้าที่เชื่อมต่อวงจรและแลกเปลี่ยนข้อมูลทั้งส่วนสถานีฐานและตัวชุมสาย

สถานีฐาน (Base Station :BTS) ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานและตัวเครื่องโทรศัพท์โดยใช้คลื่นวิทยุ ซึ่งโดยปกติแล้วสถานีฐานจะมีตำแหน่งที่อยู่ภายในกึ่งกลางของเซลล์ในกรณีทีเซลล์เป็นแบบ omni มีการกระจายคลื่นเท่ากันทุกทิศทาง หรืออาจจะแบ่งเป็นเซกเตอร์ก็ได้ ปัจจัยอีกประการหนึ่งคือคอยควบคุมกำลังส่งที่ได้รับคำสั่งมาจากอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานไม่ให้มากหรือน้อยเกินไป

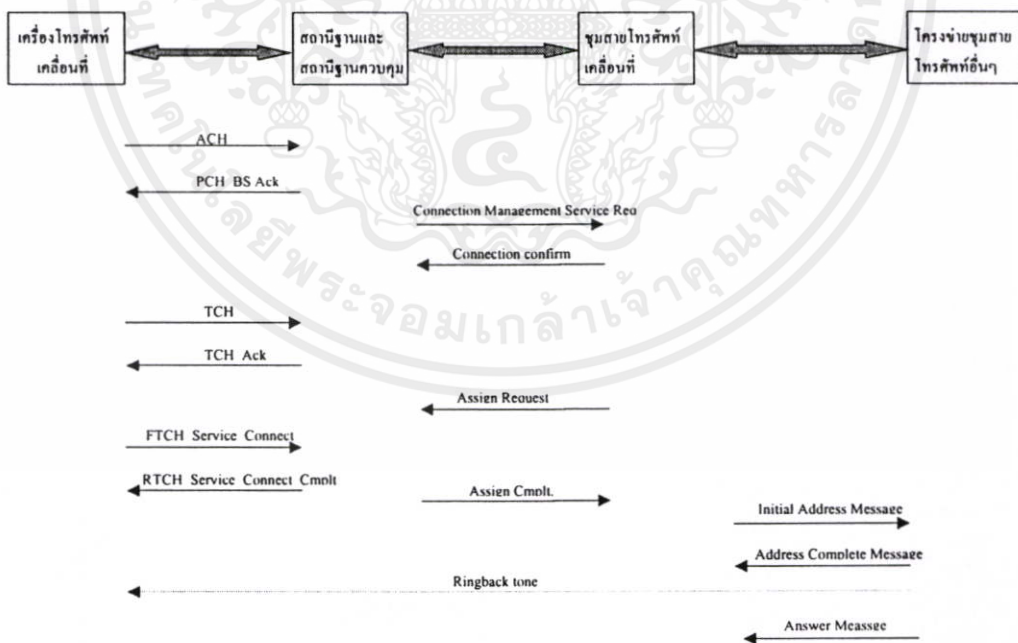
อุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลสั้น (Short Message Center :SMS) เป็นรูปแบบบริการชนิดหนึ่งซึ่งปัจจุบันนิยมใช้กันมาก ทำหน้าที่รับและส่งข้อความแก่ลูกค้าโดยจะเชื่อมต่อกับชุมสายใช้ระบบสัญญาณแบบหมายเลข 7 ใช้โปรโตคอล MAP(Mobile Application Part) หรือ เชื่อมต่อแบบ TCP/IP

อุปกรณ์รับฝากข้อความ (Voice Mail Service: VMS) เป็นรูปแบบการบริการชนิดหนึ่ง เช่นลูกค้ารายหนึ่งโทรไปหาลูกค้าอีกราย แต่ลูกค้าอาจจะปิดเครื่องและได้มีการลงทะเบียนโอน

ข้ามสายไป VMS ลูกค้าที่โทรเข้ามาสามารถฝากข้อความได้ ขณะที่ลูกค้าเปิดเครื่องขึ้นมาก็จะมีข้อความส่งมาบอกว่ามีใครฝากข้อความด้านเสียงไว้ ซึ่งสามารถกดเข้าไปฟังได้เป็นต้น นอกจากนี้ระบบจะใช้สัญญาณแบบหมายเลข 7 และใช้โปรโตคอล ISUP (Integrated Service Digital Network User Part) ในการเชื่อมโยงวงจรให้สามารถสนทนาได้



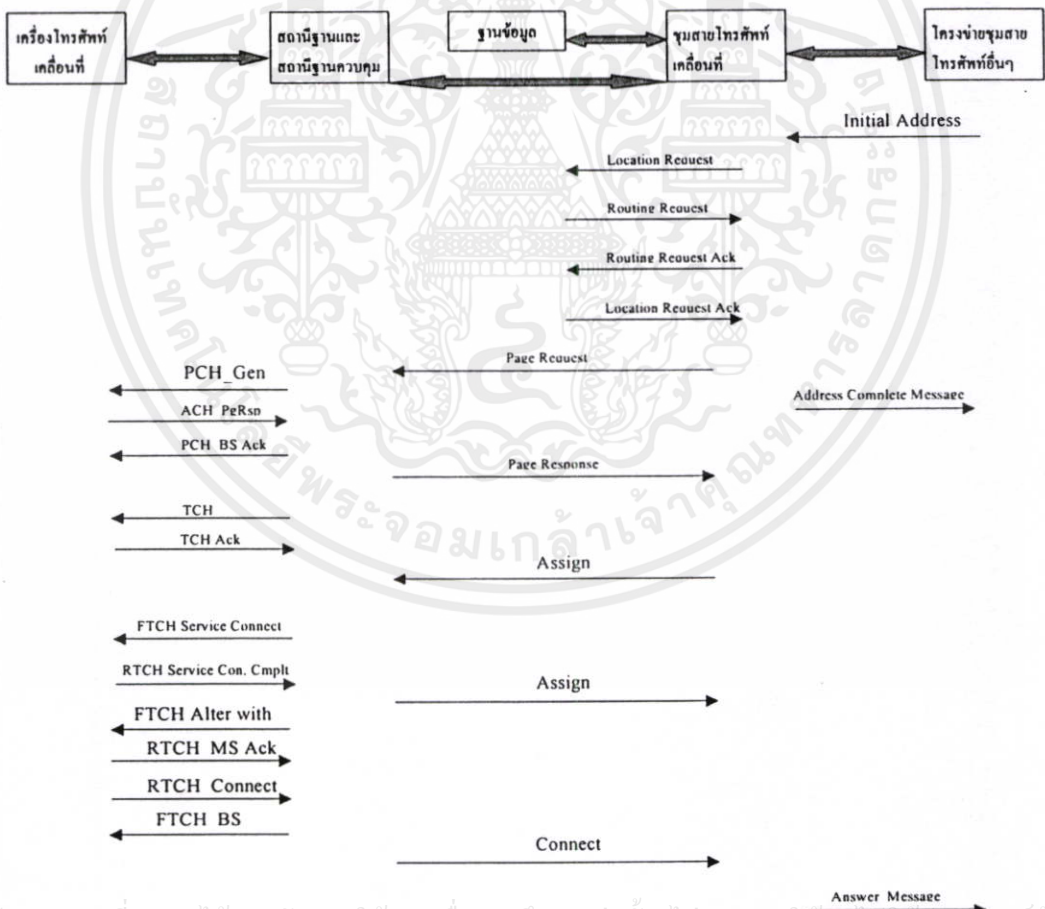
รูปที่ 2.2 โครงข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผลเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนาในกรณีโทรออก

จากรูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างการโทรออกไปยังโครงข่ายอื่น ในขั้นตอนแรกตัวเครื่องโทรศัพท์จะร้องขอช่องสัญญาณ (Access Channel :ACH) กับสถานีฐาน และจะส่งค่า IRM ESN เลขหมายต้นทางกับปลายทาง ขั้นตอนต่อมาสถานีฐานจะส่งสัญญาณเพจจิง (Paging Channel :PCH)เพื่อขึ้นชั้น และอุปกรณ์ควบคุมสถานีส่งสัญญาณการเชื่อมต่อซึ่งส่งจะมีค่า IRM ESN เลขหมายต้นทางกับปลายทาง ตำแหน่งเซลล์ที่อยู่ให้ทางชุมสายและชุมสายส่งสัญญาณตอบรับขึ้นชั้นความถูกต้อง จากนั้นเครื่องโทรศัพท์จะขอช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic Channel :TCH) และจะถูกกำหนดช่องสัญญาณให้จากสถานีฐาน ต่อมาชุมสายขององไขว้วงจรเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีและถูกขึ้นชั้นวงจรเชื่อมกลับและเครื่องโทรศัพท์ขอเชื่อมต่อช่องสัญญาณ หลังจากนั้นชุมสายจะส่งสัญญาณไปขอองวงจรรกับโครงข่ายที่เชื่อมต่อโดยมีทั้งหมดเลขต้นทางกับปลายทางโดยมีการตอบรับขึ้นชั้นจากโครงข่ายที่เชื่อมต่อ ซึ่งในช่วงเวลานี้ผู้เรียกจะได้ยินเสียงโทนจากชุมสาย สุดท้ายเริ่มการสนทนาและองวงจรรเชื่อมต่อดาวร แต่หลังจากนั้นหากฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งยกเลิกการสนทนาทางชุมสายก็จะยกเลิกวงจรรเชื่อมต่อนั้นให้ผู้ใช้รายอื่นใช้วงจรรเชื่อมโยงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเป็นเจ้าแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการสร้างวงจรรสนทนาในกรณีรับสายเข้า

ในรูปที่ 2.4 แสดงการรับสายจากโครงข่ายภายนอก โดยชุมสายอื่นจะส่งสัญญาณมายังชุมสายโทรศัพท์ซีดีเอ็มเอประกอบไปด้วยหมายเลขต้นทางและปลายทางอีกทั้งของวงจรเชื่อมต่อ หลังจากนั้นชุมสายซีดีเอ็มเอจะส่งข้อมูลไปตามฐานข้อมูลโดยที่ฐานข้อมูลจะทราบถึงผู้ใช้ที่อยู่ในชุมสายแห่งใด (ในทางปฏิบัติจะมีชุมสายมากกว่าหนึ่งชุมสาย) และชุมสายนั้นๆ จะส่งหมายชั่วคราวไปอีกชุมสายที่ลูกค้าอยู่เพื่อวงจรเชื่อมโยง ขั้นตอนต่อไปชุมสายจะส่งสัญญาณเพจจิงไปยังเครื่องโทรศัพท์และหากมีการยืนยันตอบรับสัญญาณก็จะขอช่องสัญญาณโทรศัพท์ไปยังเครื่องโทรศัพท์อีกครั้ง หลังจากนั้นชุมสายจะขอวงจรกับตัวควบคุมสถานีฐาน และหากผู้ใช้รับสายก็จะมีการใช้วงจรสนทนาเกิดขึ้นอย่างถาวรจนกว่าจะมีการวางสายจากฝ่ายใด ฝ่ายชุมสายก็จะยกเลิกวงจรนั้นให้ว่างตามปกติเพื่อให้ผู้ใช้รายอื่นใช้ช่องวงจรต่อไป ทั้งหมดนี้เป็นตัวอย่างการสร้างวงจรสนทนาเบื้องต้นในการทำงานโครงข่ายซีดีเอ็มเอ

2.3 ชนิดของสเปกตรัมแผ่ของสัญญาณ

การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่สามารถแบ่งตามวิธีการคือ วิธีการจัดลำดับโดยตรง (direct- sequence) วิธีการกระโดดของความถี่ (frequency hopping) วิธีการกระโดดของเวลา (time hopping) มีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

2.3.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยวิธีลำดับตรง (Direct Sequence: DS)

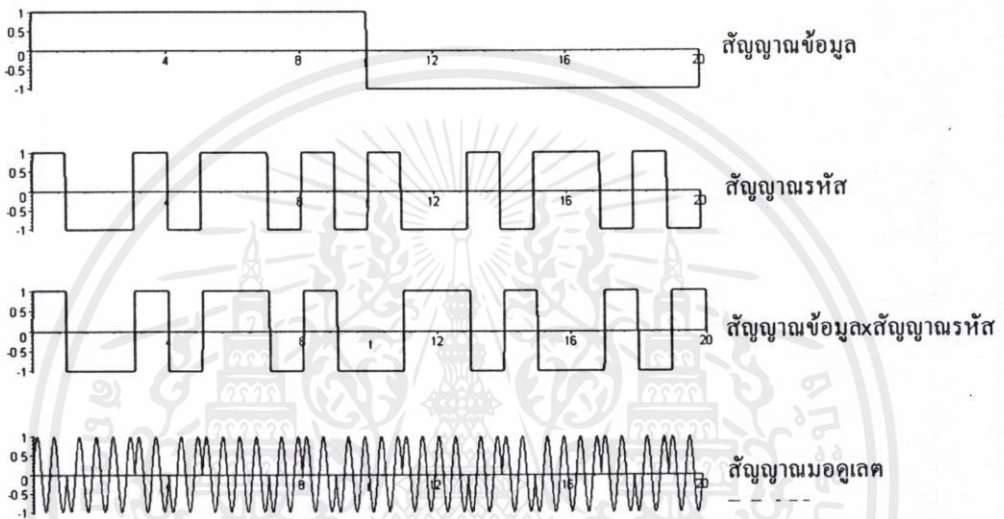
สำหรับการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence Code Division Multiple Access : DS-CDMA) สัญญาณข้อมูลไบนารีจะถูกนำไปคูณโดยตรงกับสัญญาณรหัส โดยสัญญาณข้อมูลไบนารีและรหัสสัญญาณนี้จะประกอบด้วยบิตต่างๆ ของรหัสหรือเรียกว่าชิพ ก็ได้ ซึ่งอาจจะมีค่าเป็น +1 หรือ -1 เพื่อที่จะให้ได้การแผ่ของสัญญาณตามต้องการ อัตราชิพ (Chip Rate) และใช้เทคนิคการมอดูเลตได้หลายวิธีเช่น BPSK QPSK โดยในรูปที่ 2.5 เป็นการมอดูเลตแบบ BPSK ฉะนั้นจึงเรียกวิธีการนี้ว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยวิธีลำดับตรง หรือ DS-CDMA นั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก รูปที่ 2.5 เครื่องส่งแบบ DS-CDMA เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเป็นการส่งสัญญาณรหัส 10 บิตต่อสัญญาณข้อมูล 1 บิต (อัตราชีพของรหัสเป็น 10 เท่าของอัตราชีพของข้อมูล) ดังนั้นจะได้อัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain : Gp) เป็น 10 แสดงดังสมการที่ 2.1 ในทางปฏิบัติอัตราขยายการประมวลผลจะมีค่ามากกว่านี้มาก (อาจจะมามีค่าเป็น 10^2 ถึง 10^3 หรือมากกว่า)

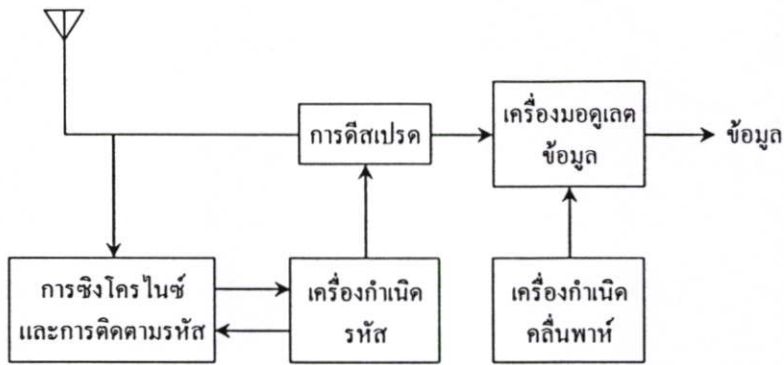
$$G_p = \frac{T_b}{T_c} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.6 สัญญาณต่างๆ ของระบบ DS-SS ที่ใช้การมอดูเลตรหัสแบบ BPSK

หลังจากการส่งสัญญาณ ที่เครื่องรับดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะใช้การดีมอดูเลตแบบร่วม (coherent demodulation) เพื่อดีสเพรคสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้การ สร้างลำดับรหัสที่ใช้เครื่องรับ การที่กระบวนการดีสเพรคจะสำเร็จได้นั้นไม่เพียงแต่เครื่องรับจะต้องรู้ลำดับรหัสที่ใช้ในการแผ่สัญญาณเท่านั้น แต่รหัสของสัญญาณที่รับได้และรหัสที่สร้างขึ้นที่เครื่องรับต้องซิงโครไนซ์กันด้วย ซึ่งการซิงโครไนซ์นี้จะต้องสมบูรณ์ตั้งแต่เริ่มรับสัญญาณไปจนถึงสิ้นสุดการรับสัญญาณ โดยกระบวนการนี้อยู่ในบล็อกของการซิงโครไนซ์และการติดตามรหัส (code synchronization/ tracking) ตามรูปที่ 2.7 และหลังจากการดีสเพรคและการดีมอดูเลตแล้วก็จะได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแบบ DS-SS

จากที่ได้กล่าวมาได้พูดถึงคุณสมบัติอันเป็นประโยชน์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของระบบ CDMA คือความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบแคบ และคุณสมบัติของการมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ระบบการสื่อสารมีความปลอดภัยและมีความเป็นส่วนตัวมากขึ้น คุณสมบัติอธิบายดังนี้

1) การเข้าถึงหลายทาง

ถ้ามีผู้ใช้หลายๆ คนใช้ช่องสัญญาณในเวลาเดียวกันจะทำให้มีสัญญาณ DS หลายๆ สัญญาณที่มีการเหลื่อมทับ (overlap) กันในทางเวลาและความถี่ ที่เครื่องรับจะใช้การดีโมดูเลตแบบร่วมนับเพื่อกำจัดผลของการ โมดูเลตและรหัสออกไป กระบวนการดังกล่าวจะเป็นการรวมกำลังของผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคให้อยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ข้อมูล ถ้าค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการและรหัสของผู้ใช้อื่นๆ ที่เข้ามาแทรกสอดมีค่าน้อย การดีเทคแบบร่วมนับจะทำให้มีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดอยู่ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ถ้าขบวนการรหัสมีฟังก์ชันสหสัมพันธ์ตามอุดมคติแล้ว ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ที่อยู่ภายนอกช่วง $[-T_c, T_c]$ จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อ T_c เป็นช่วงกว้างของชิพ แสดงว่าถ้าทำการรับสัญญาณที่ต้องการดีเทคและสัญญาณเดียวกันนี้ที่ถูกหน่วงเวลาไปมากกว่า $2T_c$ เมื่อใช้การดีโมดูเลตแบบร่วมนับจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่ถูกหน่วงเวลาไปถูกมองว่าเป็นสัญญาณแทรกสอดและจะมีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดนี้อยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ของข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3) สัญญาณแทรกสอดแบบแคบ

การดีเทคแบบร่วมนับที่เครื่องรับทำได้โดยการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยลำดับของรหัสที่ถูกสร้างขึ้นที่เครื่องรับ ผลของกระบวนการดังกล่าวก็จะเหมือนกับการคูณสัญญาณแบบแคบด้วยลำดับของรหัสแบนด์กว้างที่เครื่องส่ง นั่นคือจะทำให้สเปกตรัมของสัญญาณแบบแคบมีการ

แผ่กว้างออก ดังนั้นกำลังงานของสัญญาณแบนด์แคบซึ่งอยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณ ข้อมูลจะมีค่าลดลงด้วยค่าแฟคเตอร์ที่เท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

4) ความน่าจะเป็นในการถูกดงจับสัญญาณต่ำ

เนื่องจากสัญญาณ DS นั้นจะใช้สเปกตรัมของสัญญาณทั้งหมดตลอดเวลา ทำให้มีกำลัง ส่งต่อเฮิร์ตต์ค่ามาก จึงเป็นการยากที่จะทำการตีเทคสัญญาณ DS นี้

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้วระบบ DS-CDMA ยังมีคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆ อีก ซึ่งสามารถแยก เป็นทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดีของระบบ DS-CDMA

- 1) การสร้างสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสสามารถทำได้ง่ายโดยใช้กระบวนการคูณธรรมดา
- 2) วงจรสังเคราะห์ความถี่จะเป็นวงจรง่ายๆ เนื่องจากใช้ความถี่พาห้เพียงความถี่เดียว
- 3) สามารถดีโมดูเลตสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้การดีโมดูเลตแบบร่วมนัยได้
- 4) ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครไนซ์ระหว่างผู้ใช้

ข้อเสียของระบบ DS-CDMA

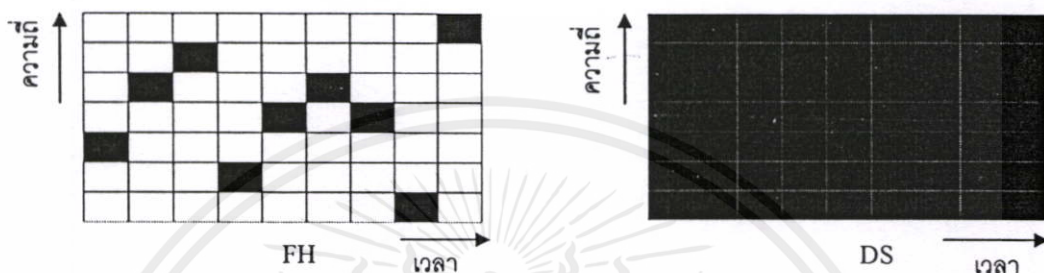
- 1) การเริ่มต้นและรักษาการซิงโครไนซ์ระหว่างรหัสของสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณ รหัสที่สร้างขึ้นทางด้านรับทำได้ยาก ซึ่งกระบวนการซิงโครไนซ์นี้จะต้องเกิดขึ้น ภายในช่วงเวลาของชิพ
- 2) การที่จะรับสัญญาณ ได้อย่างถูกต้อง ขบวนการรหัสที่สร้างขึ้นต้องซิงโครไนซ์กับ ขบวนการรหัสที่รับได้ภายในช่วงเวลาของชิพ ซึ่งส่งผลให้ขนาดของแบนด์วิดท์ในทาง ปฏิบัติถูกจำกัดอยู่ในช่วง 10-20 MHz
- 3) กำลังงานของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะมีค่ามากกว่ากำลัง ของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไปมาก เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะส่ง สัญญาณ โดยใช้แบนด์วิดท์ที่มีทั้งหมด ดังนั้นผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะทำให้เกิด การแทรกสอดอย่างมากต่อผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐาน ทำให้ไม่สามารถทำการรับ สัญญาณจากผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานได้ ผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของความ ใกล้-ไกลของสัญญาณ (near-far effect) นี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้กระบวนการ ควบคุมกำลังงาน (power control) ซึ่งทำให้สถานีฐานทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ ทั้งหมดด้วยกำลังงานเฉลี่ยที่เท่ากัน

2.3.2 การกระโดดทางความถี่ (Frequency Hopping : FH)

วิธีการนี้ความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณข่าวสารที่ถูกมอดูเลตจะไม่คงที่แต่จะเปลี่ยน ไป

ในลักษณะที่มีคาบช่วงเวลา T กล่าวคือ ความถี่คลื่นพาห้จะคงที่แต่จะเปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่ง รูปแบบการกระโดดนี้จะเป็นไปตามสัญญาณรหัสซึ่งเซตของความถี่ที่เป็นไปได้จะเรียกว่าเซต ของการกระโดด ซึ่งความถี่จะแตกต่างกันกับกรณีของวิธีการจัดลำดับโดยตรง โดยวิธีดังกล่าวจะ

ใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมดเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแต่ในขณะทีวิธีนี้จะใช้แบนด์วิดท์เพียงส่วนเล็กๆเพื่อใช้ในการส่งแต่ความถี่จะเปลี่ยนไปในเวลาที่แตกต่างกัน สมมุติว่าวิธีการกระโดดความถี่ส่งในความถี่ที่สอง ในช่วงคาบเวลาแรกดังรูปที่ 2.8 หากแต่ระบบการจัดลำดับโดยตรงจะส่งในช่วงเวลาเดียวกันตลอดช่วงความถี่ ดังนั้นค่ากำลังงานที่ส่งในช่วงความถี่หนึ่ง ตลอดช่วงเวลา แต่วิธีการกระโดดความถี่ มันจะส่งในช่วงความถี่เฉพาะในช่วงเวลาเท่านั้น ในระบบทั้งสองจะมีค่ากำลังงานในช่วงความถี่เท่ากัน



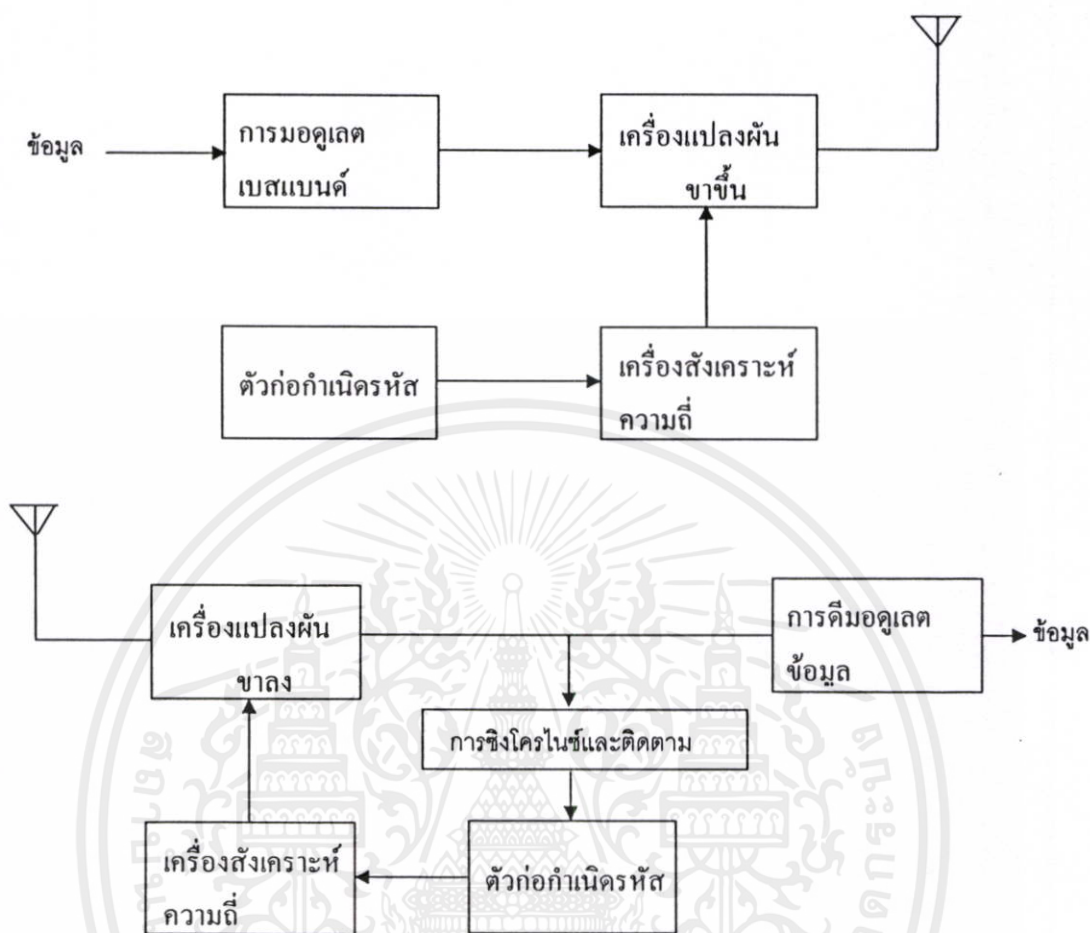
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบลักษณะของเวลา ความถี่ของระบบ DS และ FH

สัญญาณข้อมูลจะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ (baseband) ที่ถูก โมดูเลตกับสัญญาณพาห้โดยสามารถใช้เทคนิคการ โมดูเลตได้หลายวิธี แต่ในการประยุกต์ใช้งานระบบ FH จริงๆ ไม่สามารถใช้ได้ทุกวิธี โดยมักจะใช้การ โมดูเลตแบบ FM สำหรับสัญญาณอนาล็อกและใช้การ โมดูเลตแบบ GSK สำหรับสัญญาณดิจิทัล จากรูปจะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้อย่างรวดเร็วโดยการควบคุมจากสัญญาณรหัส ดังนั้นความถี่พาห้จะถูกแปลงความถี่ให้สูงขึ้นเป็นความถี่ในการส่งสัญญาณ เครื่องรับจากรูปที่ 2.9 ก็จะใช้วิธีกลับกับทางด้านส่ง โดยใช้วงจรกำเนิดขบวนรหัสเพื่อนำมาใช้ในการแปลงความถี่ของสัญญาณที่รับได้ให้ต่ำลงมาเป็นความถี่พาห้ซึ่งใช้ในการ โมดูเลตสัญญาณเบสแบนด์ทางด้านส่ง หลังจากนั้นก็จะทำการดี โมดูเลตจึงได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา วงจรซิงโครไนซ์/การติดตาม (synchronize/tracking) จะถูกนำมาใช้ในการทำให้การกระ โดคของความถี่พาห้ที่สร้างขึ้นทางด้านรับเป็นไปอย่างซิงโครไนซ์กับรูปแบบการกระ โดคของสัญญาณพาห้ที่รับได้ ดังนั้นจึงสามารถทำการดีสเปลสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

ระบบ FH-CDMA นี้สามารถจำแนกความแตกต่างโดยใช้อัตราการกระ โดคของความถี่พาห้ได้ ดังนี้ ถ้าจำนวนของการกระ โดคมีค่ามากกว่าอัตราข้อมูลมากๆ จะเรียกว่าเป็นการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการกระ โดคของความถี่อย่างรวดเร็ว(Fast Frequency Hopping (F-FH) CDMA) สำหรับกรณีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่พาห้หลายครั้งในช่วงเวลาของการส่งข้อมูล 1 บิต นั่นคือข้อมูล 1 บิตจะถูกส่งออกไปในหลายๆ ความถี่ แต่ถ้าจำนวนของการกระ โดคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ค่าน้อยกว่าอัตราข้อมูลหลายๆจะเรียกว่าการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส โดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างช้า (Slow Frequency Hopping (S-FH) CDMA)



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA

สำหรับกรณีนี้จะมีบิตข้อมูลหลายบิตถูกส่งที่ความถี่เดียวกัน การครอบครองย่านความถี่ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของสัญญาณที่มีการกระโดดและความถี่ในการกระโดดอีกด้วย ถ้าความถี่ในการกระโดดมีค่าน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลมากๆ (กรณี S-FH) ปัจจัยสำคัญที่จะควบคุมการครอบครองย่านความถี่คือแบนด์วิดท์ของข้อมูล แต่ถ้าความถี่ในการกระโดดมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูลมากๆ รูปร่างพัลส์ของสัญญาณที่มีการกระโดดจะเป็นปัจจัยในการควบคุมการครอบครองย่านความถี่ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ ถ้ารูปร่างพัลส์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (เป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็ว) ย่านความถี่ที่ครอบครองจะมีแบนด์วิดท์แผ่กว้างออกมา เป็นผลทำให้จำกัดจำนวนความถี่ในการกระโดด ถ้าทำให้การเปลี่ยนแปลงของความถี่เป็นไปอย่างราบเรียบ (smooth) แบนด์วิดท์ของสัญญาณในแต่ละความถี่

ในการกระโดดจะมีค่าประมาณ $1/T_h$ เท่าของแบนด์วิดท์ของความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด เมื่อ T_h มีค่าเท่ากับความถี่ในการกระโดด การจะทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ นั้นทำได้ โดยการลดกำลังก่อนที่จะมีการกระโดดของความถี่แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความถี่ในการกระโดดได้เปลี่ยนแปลงไปแล้ว

สำหรับระบบ FH-CDMA นั้นจะมีคุณสมบัติในเรื่องของความสามารถในการเข้าถึงหลายทางการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง การกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบค้ำและ การมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ ดังนี้

1) การเข้าถึงหลายทาง

ในระบบ F-FH นั้น 1 บิตข้อมูลจะถูกส่งไปในช่วงความถี่ต่างๆ กัน ถ้าผู้ใช้ต้องการ เป็นเพียงผู้ใช้เดียวที่จะทำการส่งสัญญาณไปในช่วงความถี่ทั้งหมด กำลังงานที่รับได้ของสัญญาณที่ต้องการดีเทคจะมีค่ามากกว่ากำลังงานของสัญญาณแทรกสอดมาก ดังนั้นจึงสามารถรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

สำหรับระบบ S-FH หลายๆ บิตจะถูกส่งไปโดยใช้ความถี่เดียวกัน ถ้าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้อื่นทำการส่งสัญญาณในช่วงความถี่เดียวกันมีค่าต่ำเพียงพอ สัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการ จะถูกรับได้อย่างถูกต้องตลอดช่วงเวลาที่ทำการส่ง ในช่วงเวลาดังกล่าวถ้ามีสัญญาณแทรกสอดที่ส่งมาจากผู้ใช้อื่นในช่วงความถี่เดียวกัน จะใช้รหัสตรวจสอบความผิดพลาด (error correcting code) ในกานำสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาในช่วงเวลานั้นกลับคืนมาได้

2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ระบบ F-FH CDMA ความถี่พาห้จะมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้งในช่วงของการส่ง 1 บิตข้อมูลความถี่ของสัญญาณที่ถูกโมดูเลตแล้วจะถูกนำมาโมดูเลตและส่งออกไปด้วยความถี่พาห้ที่ต่างๆ กัน ซึ่งสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีความถี่ต่างกันจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณหลายเส้นทาง (multipath) ที่ต่างกันเป็นผลทำให้ความถี่ของสัญญาณที่ถูกโมดูเลตข้างต้นอาจจะถูกขยายที่ความถี่ความถี่หนึ่งแต่จะถูกลดทอนที่ความถี่พาห้หรืออีกความถี่หนึ่งหรือในทางกลับกัน ที่เครื่องรับผลตอบสนองที่ความถี่ในการกระโดดต่างๆ กันจะถูกเฉลี่ยและทำให้ผลของการแทรกสอดแบบหลายเส้นทางลดลง

3) สัญญาณแทรกสอดแบบค้ำ

สมมติว่ามีสัญญาณแบบค้ำเข้ามาแทรกสอดที่ความถี่ในการกระโดด ถ้ามีความถี่ในการกระโดด G_p ความถี่ (เมื่อ G_p เป็นอัตราขยายการประมวลผล) ผู้ใช้ที่ต้องการ (โดยเฉลี่ย) จะใช้ความถี่ในการกระโดดซึ่งจะมีการแทรกสอดอยู่เพียง $1/G_p$ เปอร์เซนต์ของเวลา ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดจะถูกทำให้ลดลงด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น G_p

4) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยากในการดักจับสัญญาณ FH ไม่ได้อยู่ที่การใช้กำลังส่งที่ต่ำ ในช่วงระหว่างการส่งสัญญาณระบบ FH-CDMA จะใช้กำลังส่งคือเฮิร์ตสูงพอๆ กับการส่งแบบต่อเนื่อง แต่ความถี่ที่

สัญญาณจะถูกส่งออกไปนั้นไม่สามารถทราบได้จากระบบอื่น นอกจากนี้ช่วงเวลาของการส่งสัญญาณที่แต่ละความถี่ก็ยังสั้นมากอีกด้วย ดังนั้นแม้ว่าสัญญาณ FH จะถูกดักจับได้ง่ายกว่าสัญญาณ DS แต่ก็ยังคงต้องใช้กระบวนการที่ยุ่งยากมากที่จะทราบความหมายของสัญญาณ ระบบ FH-CDMA สามารถแยกเป็นได้ทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดีของระบบ FH-CDMA

- 1) การชิงโครไนซ์ของระบบ FH-CDMA สามารถทำได้ง่ายกว่าระบบ DS-CMDA มาก การชิงโครไนซ์ของระบบ FH-CDMA นั้นจะต้องทำภายในช่วงของเวลาในการกระโดด (hop time) เนื่องจากการแผ่ของสเปกตรัมไม่สามารถทำได้โดยการใช้การกระโดดของความถี่ด้วยความเร็วมากๆ แต่จะใช้การจัดให้มีเซตของการกระโดดขนาดใหญ่ ดังนั้นเวลาในการกระโดดจะมากกว่าเวลาของชีพของระบบ DS-CDMA มาก ทำให้ระบบ FH-CDMA อนุญาตให้มีค่าความผิดพลาดในการชิงโครไนซ์ที่มากกว่า
- 2) แบนด์วิดท์ที่ความถี่ในการกระโดดต่างๆ ที่สัญญาณ FH สามารถครอบครองใช้งานไม่จำเป็นต้องอยู่ติดกัน เนื่องจากสามารถสร้างวงจรสังเคราะห์ความถี่ให้สังเคราะห์ความถี่กระโดดข้ามส่วนของสเปกตรัมทางความถี่ที่แน่นอนได้ เมื่อประกอบกับมีการชิงโครไนซ์ที่ง่าย ทำให้สามารถมีแบนด์วิดท์สเปกตรัมที่กว้างขึ้นมาก
- 3) เนื่องจากระบบ FH-CDMA เป็นระบบสเปกตรัมแผ่แบบหลีกเลี่ยง (avoidance SS) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้หลายคนจะส่งสัญญาณในย่านความถี่เดียวกันในขณะเวลาเดียวกันจะมีค่าน้อย ถ้าผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานทำการส่งสัญญาณ สัญญาณดังกล่าวก็จะถูกรับได้ที่สถานีฐานแม้ว่าผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานกำลังทำการส่งสัญญาณอยู่ก็ตาม เนื่องจากผู้ใช้เหล่านั้นอาจจะกำลังส่งสัญญาณที่ความถี่อื่นๆ อยู่ก็ได้ ด้วยเหตุนี้สมรรถนะในเรื่องของ near-far effect จะดีกว่าระบบ DS-CDMA มาก
- 4) ระบบ FH-CDMA มีความเป็นไปได้ที่จะลดผลของสัญญาณแทรกสอดแบบแคบได้ดีกว่าระบบ DS-CDMA เนื่องจากความเป็นไปได้ในการที่จะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า

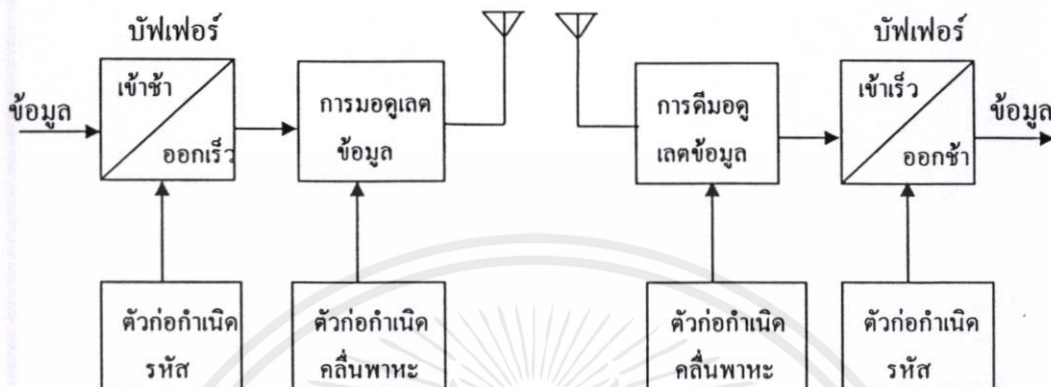
ข้อเสียของระบบ FH-CDMA

- 1) จำเป็นต้องใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่มีความสลับซับซ้อนมาก
- 2) การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสัญญาณในการเปลี่ยนแปลงย่านความถี่จะทำให้การครอบครองแบนด์วิดท์ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ เพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าวสัญญาณจะต้องถูกปิดและเปิดใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่
- 3) การโมดูเลตแบบร่วมนับทำได้ยาก เนื่องจากปัญหาของการรักษาความสัมพันธ์ของเฟสในช่วงเวลาของการกระโดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การกระโดดทางเวลา (Time Hopping : TH)

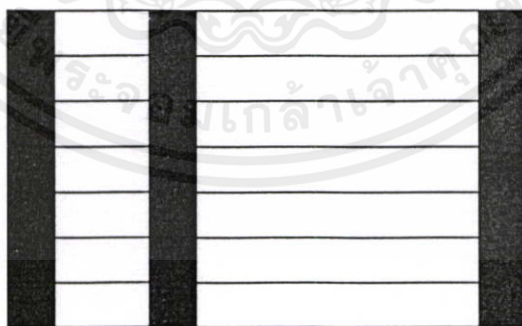
สัญญาณข้อมูลไม่ได้ถูกส่งไปอย่างต่อเนื่อง แต่จะถูกส่งออกไปเป็นเบิร์สต์สั้นๆ โดยช่วงเวลาของเบิร์สต์สั้นๆนั้นจะถูกกำหนดโดยรหัสการแผ่ กล่าวคือ สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปใน burst ภายในช่วงเวลาที่กำหนดรหัสของผู้ใช้แต่ละคน



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA

ในแกนของเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรมและแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น M ไทม์สล็อต ผู้ใช้งานระบบแต่ละคนจะส่งเฟรมใน ไทม์สล็อตใน M โดยจะขึ้นอยู่กักรหัสที่กำหนดให้ในแต่ละคนเมื่อผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลทั้งหมดภายใน 1 ไทม์สล็อต แทนที่จะทำการส่งข้อมูลไปในทั้งหมด M ไทม์สล็อต ดังนั้นความถี่ที่ใช้ในการส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น M

ความถี่



เวลา

รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และเวลาที่ใช้ในระบบ TH-CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) การเข้าถึงหลายทาง

ความสามารถในการเข้าถึงหลายทางของสัญญาณ TH-SS สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับสัญญาณ FH-SS คือการทำให้ความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆ คนที่ย่านความถี่เดียวกันและในขณะเดียวกันให้มีค่าน้อยเพียงพอ สำหรับกรณีการกระโดดของเวลา การส่งสัญญาณทั้งหมดจะส่งไปในช่วงความถี่เดียวกัน ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้มากกว่า 1 คนในเวลาเดียวกันจะต้องมีค่าน้อย ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดรหัสต่างๆ กันให้กับผู้ใช้แต่ละคน ถ้ามีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆ คนเกิดขึ้นจริง ก็สามารคมั่นใจได้ว่าสามารถรับสัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการ ได้อย่างถูกต้องโดยการใช้อรหัส ตรวจสอบความผิดพลาด ถ้ามีการชิงโครไนซ์กันระหว่างผู้ใช้ทั้งหมด และรหัสที่กำหนดให้แกผู้ใช้แต่ละคนทำให้ไม่มีผู้ใช้ในระบบทำการส่งสัญญาณในไทม์สล็อตเดียวกันมากกว่า 1 คน ดังนั้น จะทำให้ระบบ TH-CDMA สามารถลดรูปเป็นระบบ TDMA ได้เมื่อไทม์สล็อตที่ผู้ใช้ทำการส่งไม่ได้ถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบเฟรมต่อเฟรม

2) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

สัญญาณ TH-CDMA จะถูกส่งออกไปในลักษณะถูกลดเวลา ส่วนที่ลดลงนี้คือ $1/G_p$ เมื่อ G_p เป็นอัตราขยายการประมวลผล ที่เครื่องรับสัญญาณแทรกสอดจะถูกรับเข้ามาเพียงแคในช่วงเวลาที่ทำการรับสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงรับสัญญาณแทรกสอดเข้าเพียง $1/G_p$ เปรอ์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดเท่านั้น จึงเป็นการลดกำลังของสัญญาณแทรกสอดลงด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น G_p

3) ความน่าจะเป็นในการถูกคักจับสัญญาณต่ำ

สำหรับระบบ TH-CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ที่คงที่ แต่เวลาที่ผู้ใช้แต่ละคนทำการส่งนั้นไม่สามารถทราบได้จากระบบอื่นและช่วงเวลาในการส่งยังสั้นมาก นอกจากนี้สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนจะมีลักษณะเฉพาะในเรื่องของเวลาที่ทำการส่ง ดังนั้นแม้ว่าเครื่องรับจากระบบอื่นจะทำการคักจับสัญญาณได้ แต่ก็เป็นการยากที่จะแบ่งแยกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการส่งได้ นอกจากนั้นยังไม่สามารถทราบได้ว่าการส่งใดเป็นของผู้ใช้คนใด นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว ระบบ TH-CDMA สามารถแยกเป็นได้ทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดีของระบบ TH-CDMA

- 1) การนำไปสร้างใช้งานทำได้ง่ายกว่าระบบ FH-CDMA
- 2) เมื่อเครื่องส่งมีกำลังเฉลี่ยจำกัดแต่มีกำลังสูงสุดไม่จำกัดระบบ TH-CDMA จะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน เนื่องจากข้อมูลได้ถูกส่งออกไปใน burst สั้นๆ ด้วยกำลังงาน

สูง

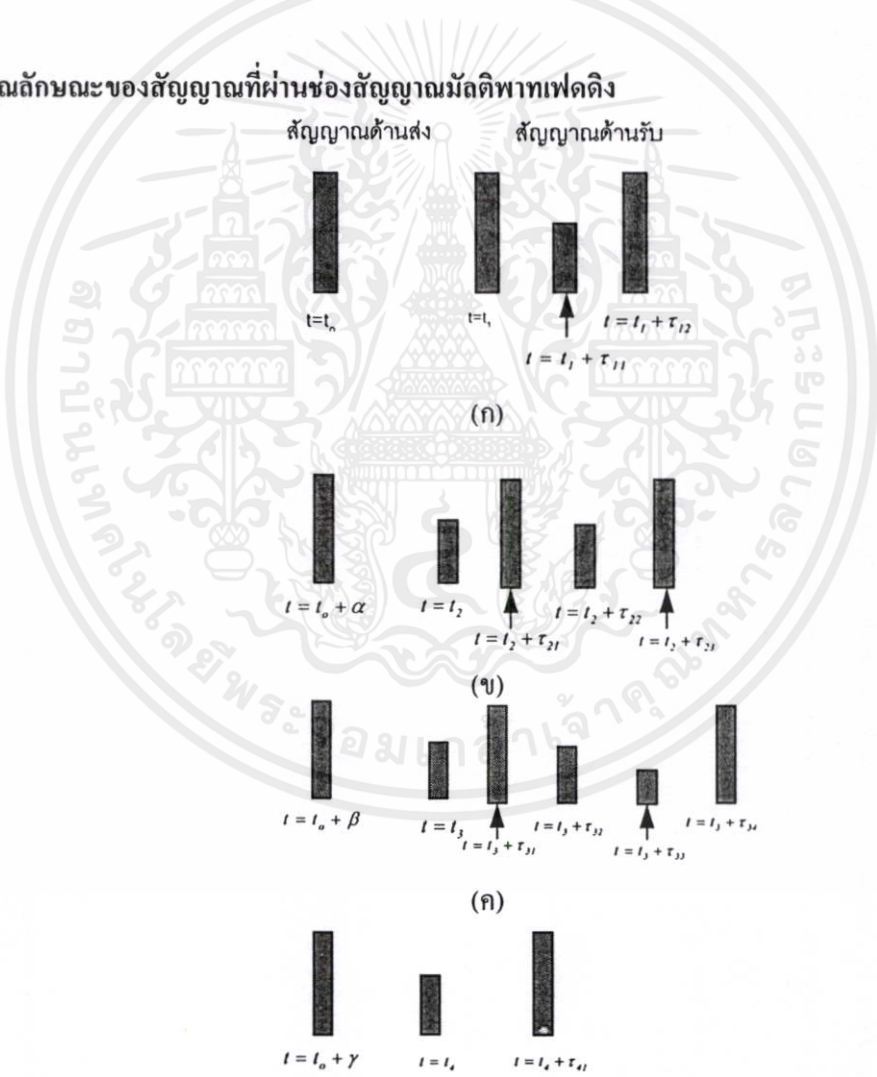
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) มีปัญหาจาก near-far effect น้อยมากเช่นเดียวกับระบบ FH-CDMA เนื่องจากเป็นระบบแบบมีการหลีกเลี่ยง ดังนั้นตลอดเวลาเครื่องปลายทางที่อยู่ไกลจากสถานีฐานจะทำการส่งสัญญาณเพียงเครื่องเดียว โดยไม่ถูกรบกวนจากการส่งสัญญาณจากสถานีที่อยู่ใกล้

ข้อเสียของระบบ TH-CDMA

- 1) ต้องใช้เวลาก่อนที่รหัสจะซิงโครไนซ์กัน แต่เครื่องรับต้องรักษาการซิงโครไนซ์ไว้เพียงช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น
- 2) ถ้ามีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้นหลายๆ คนเกิดขึ้น จะทำให้บิตข้อมูลจำนวนมากเกิดความเสียหาย ดังนั้นจะต้องใช้รหัสตรวจสอบความผิดพลาดที่ดีและจำเป็นต้องมีการวางสลับทางบิต
- 3) สัญญาณการกวนป้อนกลับ (error in the feedback channel) และเงื่อนงำของกราฟฟิก

2.4 คุณลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้ง



รูปที่ 2.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงทางเวลาทางช่องสัญญาณหลายวิถีที่เกิดจากสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ

ในการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีแบบไร้สาย ทางด้านส่งเมื่อส่งสัญญาณออกไปผ่านไปยังช่องสื่อสารต่างๆ จะเกิดการแทรกสอด การสะท้อนและการลดทอน สัญญาณที่มาถึงทางด้านรับ จะเกิดการรวมกันของสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง ซึ่งอาจเป็นการเสริมกันหรือหักล้างกัน

หากทำการส่งพัลส์สัญญาณที่มีคาบสั้นๆ ไปบนช่องสัญญาณหลายวิถีที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา สัญญาณที่รับได้จะเป็นขบวนการของพัลส์แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งจะเห็นว่าคุณลักษณะอย่างหนึ่งของตัวกลางแบบหลายวิถีคือ การแผ่กว้างทางเวลา (time spread) ของสัญญาณเมื่อผ่านช่องสัญญาณ

2.4.1 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์และกำลังเชิงสเปกตรัมของช่องสัญญาณ

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเวลาในโครงสร้างของตัวกลาง ถ้าเราทำการส่งพัลส์ไปเรื่อยๆ ซึ่งจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของขบวนการพัลส์ที่ได้รับ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในขนาดของพัลส์ การประวิงเวลาระหว่างพัลส์ และการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพัลส์ ดังรูปที่ 2.12 โดยที่การเปลี่ยนแปลงของพัลส์ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้

เมื่อพิจารณาผลกระทบของช่องสัญญาณต่อสัญญาณที่ถูกส่งไป โดยที่สัญญาณที่ส่งออกไปแสดงได้ดังสมการ (2.2)

$$s(t) = \text{Re} [s_r(t) e^{j2\pi f_c t}] \quad (2.2)$$

โดยที่ $s(t)$ เป็นสัญญาณทางด้านส่ง มีค่าเท่ากับ
 $s_r(t)$ เป็น equivalent low pass signal
 f_c คือความถี่คลื่นพาห้

กำหนดให้เส้นทางในการแพร่กระจายหลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางสอดคล้องกับเวลาประวิงที่แพร่กระจาย (propagation delay) และตัวประกอบการลดทอน (attenuation factor) โดยทั้งสองตัวประกอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวกลางเป็นแถบผ่านของสัญญาณที่รับได้ดังสมการ

$$x(t) = \sum_n \alpha_n(t) s(t - \tau_n(t)) \quad (2.3)$$

โดย $\alpha_n(t)$ เป็นอัตราการลดทอนของสัญญาณในวิถีที่ n

เอกสารนี้เป็นเอกสาร $\tau_n(t)$ เป็นเวลาของสัญญาณที่ถูกหน่วงของวิถีที่ n ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น $x(t)$ เป็นสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่า $s(t)$ จากสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.3) จะได้

$$x(t) = \text{Re} \left(\left\{ \sum_n \alpha_n(t) e^{-2\pi f_c \tau_n(t)} s_l [t - \tau_n(t)] \right\} e^{j2\pi f_c t} \right) \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.4) จะแสดงได้ว่าสัญญาณทางด้านรับ แสดงได้ดังสมการ (2.5)

$$r_l(t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} s_l(t - \tau_n(t)) \quad (2.5)$$

โดยที่ $r_l(t)$ คือ ผลตอบสนองของช่องสัญญาณผ่านตัวสมมูลต่อสัญญาณแบบผ่านตัวสมมูล

ช่องสัญญาณแบบผ่านตัวสมมูล (equivalent low pass channel) แสดงในรูปผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ที่มีการแปรผันตามเวลาแสดงดังในสมการ (2.6)

$$c(\tau, t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} s_l(t - \tau_n(t)) \quad (2.6)$$

คุณลักษณะของช่องสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้งโดยใช้ค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์และฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมเมื่อพิจารณาผลตอบสนองต่ออิมพัลส์แบบผ่านตัวสมมูล โดยกำหนดให้ $c(\tau; t)$ เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ที่เป็นกระบวนการสุ่มที่มีค่าเป็นเชิงซ้อนแบบเกาส์ (complex-valued Gaussian stationary) ในตัวแปร t กำหนดให้ $c(\tau; t)$ เป็นช่องสัญญาณที่มีลักษณะคงที่แบบกว้าง (wide-sense-stationary) ดังนั้นค่าฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation function) ของ $c(\tau; t)$ แสดงได้ดังสมการ (2.7)

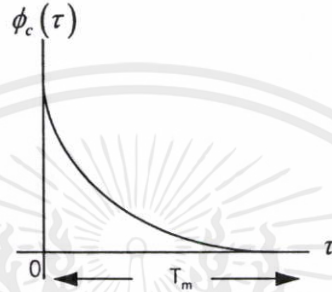
$$\phi_c(\tau_1, \tau_2; \Delta t) = \frac{1}{2} E [c^*(\tau_1; t) c(\tau_2; t + \Delta t)] \quad (2.7)$$

ตัวกลางในการรับส่งสัญญาณวิทยุส่วนมากมีการลดทอน (attenuation) และมุมเฟสที่มีการประวิงเวลา (phase shift) ของช่องสัญญาณที่มีค่าหน่วงเวลา τ_1 และ τ_2 มีลักษณะเป็นอิสระจากกันไม่สหสัมพันธ์กัน (uncorrelate) ดังนั้นสมการ (2.7) สามารถเขียนได้เป็นสมการ (2.8)

$$\frac{1}{2} E [c^*(\tau_1; t) c(\tau_2; t + \Delta t)] = \phi_c(\tau_1; \Delta t) \delta(\tau_1 - \tau_2) \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา $\Delta t = 0$ ค่าฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ $\phi_c(\tau; 0) \equiv \phi_c(\tau)$ คือค่ากำลังงานเอาต์พุตเฉลี่ยของช่องสัญญาณที่มีค่าการประวิงเวลา τ โดย $\phi_c(\tau; \Delta t)$ เป็นความเข้มของสัญญาณหลายวิถี (multipath intensity profile: MIP) ของช่องสัญญาณที่มีการประวิงเวลา โดยทั่วไป $\phi_c(\tau; \Delta t)$ ค่ากำลังงานเอาต์พุตเฉลี่ยที่ขึ้นกับค่าการประวิงเวลา τ และความแตกต่างในการสังเกต Δt ปกติฟังก์ชัน $\phi_c(\tau)$ จะมีขนาดที่ลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อเวลาประวิงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น τ ที่ทำให้ $\phi_c(\tau)$ มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ เรียกว่า การแผ่หลายวิถี (multipath spread) ของช่องสัญญาณแทนด้วย T_m ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 คุณลักษณะของรูปร่างความเข้มของสัญญาณหลายวิถี

ลักษณะของช่องสัญญาณเป็นดังสมการ

$$C(f; t) = \int c(\tau; t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2.9)$$

เมื่อกำหนดให้ช่องสัญญาณมีลักษณะกว้างแบบคงที่ (Wide-sense-stationary) การหาค่าฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์เป็นดังสมการ

$$\phi_c(f_1, f_2; \Delta t) = \frac{1}{2} E[C^*(f_1, t) C(f_2, t + \Delta t)] \quad (2.10)$$

แทนสมการ (2.9) ในสมการ (2.10) ดังนั้น

$$\phi_c(f_1, f_2; \Delta t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E[C^*(\tau_1, t) C(\tau_2, t + \Delta t)] e^{j2\pi(f_1\tau_1 - f_2\tau_2)} d\tau_1 d\tau_2 \quad (2.11)$$

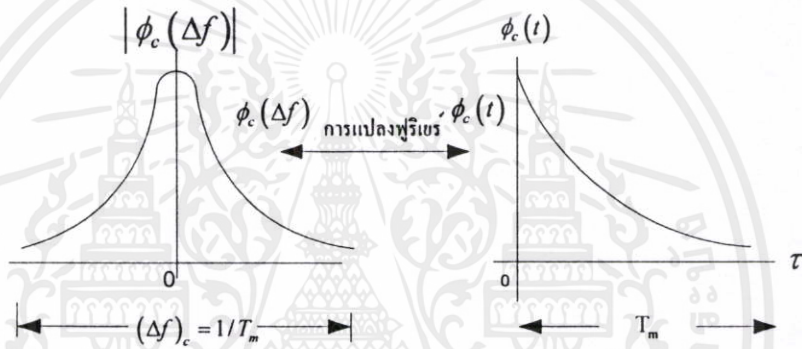
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $\Delta f = f_2 - f_1$ จากสมการ (2.11) เห็นว่า $\phi_c(\Delta f; \Delta t)$ คือผลการแปลงฟูริเยร์ของ MIP เรียก $\phi_c(\Delta f; \Delta t)$ ว่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของการกระจายทางความถี่และทางเวลาของช่องสัญญาณ

แทนค่า $\Delta t = 0$ ในสมการ (2.11) จะได้ $\phi_c(\Delta f; 0) \equiv \phi_c(\Delta f)$ และ $\phi_c(\tau; 0) \equiv \phi_c(\tau)$ ดังนั้น

$$\phi_c(\Delta f) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_c(\tau) e^{-j2\pi\Delta f\tau} d\tau \quad (2.12)$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.14 จากรูปค่าโคฮีเรนต์แบนด์วิดท์ (coherent bandwidth) แสดงได้โดย



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi_c(\Delta f)$ และ $\phi_c(\tau)$

เมื่อ $(\Delta f)_c$ เป็นค่าโคฮีเรนต์แบนด์วิดท์ถ้าค่า $(\Delta f)_c$ มีค่าน้อยกว่าค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ส่งออกมา ช่องสัญญาณดังกล่าวจะเรียกว่าเป็นช่องสัญญาณแบบเปลี่ยนแปลงตาม

$$(\Delta f)_c \approx \frac{1}{T_m} \quad (2.13)$$

ความถี่ ในทางกลับกันถ้า $(\Delta f)_c$ มีค่ามากกว่าค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่งออกมา ช่องสัญญาณดังกล่าวจะเรียกว่าเป็นช่องสัญญาณแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่

2.4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณสามารถแทนได้ด้วยแบบจำลองช่องสัญญาณต่างๆ ซึ่งจะมีค่าของผลตอบสนองอิมพัลส์ (impulse response) ของวงจรกรองความถี่ต่ำในกรณีทั่วไป สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$c(\tau; t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_n(t) e^{-j\gamma_n} \delta(t - \tau_n(t)) \quad (2.14)$$

- โดยที่ α_n เป็นอัตราการลดทอนทางด้านแอมพลิจูดของสัญญาณ (Amplitude distortion factor) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็น แสดงด้วยการแจกแจงแบบต่างๆ
- τ_n เป็นประวิงเวลา (time delay) ในเส้นทางต่างๆ ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มบนช่วง $[0, T]$
- γ_n เป็นการประวิงเฟส (phase delay) ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มบนช่วง $[0, 2\pi]$
- L เป็นจำนวนเส้นทาง ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของการจางหายหลายวิถี (multipath fading) เป็นผลเนื่องมาจากการสะท้อน การหักเห และการกระเจิงของสัญญาณภายในช่องสัญญาณ

2.4.2.1 แบบจำลองของเรย์ดี (Rayleigh model)

แบบจำลองของ Rayleigh นั้นสามารถอธิบายการแจกแจงของความหนาแน่นกำลังของสัญญาณในสภาพแวดล้อมในเมืองและเหมาะสมกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากพบปัญหาซึ่งมีผลกระทบต่อระดับความแรงของสัญญาณซึ่งเรียกว่าการจางหายในหลายวิถี เมื่อสัญญาณเดินทางมากกว่าหนึ่งเส้นทางจากทางส่งไปยังด้านรับและไม่สามารถรับสัญญาณโดยตรงจากด้านส่งแต่จะได้รับการส่งจากทิศทางอื่นๆทำให้สัญญาณอ่อนลง ซึ่งจะตกกระทบมาจาก เช่น บ้านเรือน อาคารสูงต่างๆ จึงเป็นการยากมากที่ของการส่งสัญญาณในระดับสายตา (line-of-sight) ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ดังนั้นสัญญาณอาจจะเดินทางไปถึงเครื่องรับโดยผ่านการสะท้อนกับอาคารสูงและใหญ่หลายครั้ง เราสามารถแสดงด้วยค่าความหนาแน่นของฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังสมการ (2.15)

$$\rho(\alpha) = \frac{2\alpha}{\alpha^2} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{\alpha^2}\right] \quad \text{เมื่อ } \alpha \geq 0 \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 แบบจำลองของไรท์เซียน (Rician model)

แบบจำลองของ Rician เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับสถานะแวดล้อมในชนบท ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ค่า ใช้จำลองเส้นทางในการกระจายสัญญาณประกอบด้วยส่วนหลักคือ ส่วนของ เส้นทางหลัก direct line-of-sight และส่วนประกอบในเส้นทางรอง ที่มีความแรงของสัญญาณแรงลงมา แสดงด้วยฟังก์ชันค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นดังสมการ (2.16)

$$\rho(\alpha) = \frac{2\alpha}{\alpha^2} \exp\left[-\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha^2}\right] I_0\left[\frac{a\alpha}{\alpha^2}\right] \quad \text{เมื่อ } \alpha \geq 0 \quad (2.16)$$

เมื่อ $I_0(x)$ คือ ฟังก์ชันเบสเซลล์ (Bessel Function)

2.4.2.3 แบบจำลองแบบนาคากามิ-เอ็ม (Nakagami model)

แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการเกิดการจางแบบ นาคากามิ-เอ็ม แบบเลือกความถี่ (Frequency-selective Nakagami-m fading) มีฟังก์ชันค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function : PDF) เป็น

$$p(\alpha_{lk}) = M(\alpha_{lk}, m_{lk}, \Omega_{lk})$$

$$M(R, m, \Omega) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{-(m/\Omega)R^2} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$\Gamma(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันแกมมา
 m_{lk} คือ พารามิเตอร์เฟดดิ้งแบบนาคากามิ-เอ็ม ของวิถีที่ l ในผู้ใช้ที่ k
 Ω_{lk} คือ โมเมนต์อันดับสองของ α_{lk} หรือ $\Omega_{lk} = E[(\alpha_{lk})^2]$

สมมติให้โครงสร้างความแรงของกำลังเฉลี่ยหลายวิถี (Multipath Intensity Profile : MIP) ลดลงเอกซ์โพเนนเชียลเชิงลบ

โดยที่

$$\Omega_{lk} = \Omega_{lk} e^{-\eta(l-1)} ; \eta \geq 0$$

เมื่อ Ω_{lk} คือ ความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่วิถีแรกในผู้ใช้ที่ k
 η คือ อัตราการลดทอนกำลังเฉลี่ย

พารามิเตอร์เฟดดิ้งแบบนาคากามิ-เอ็ม m_{lk} ในสมการที่ (2.17) เขียนสมการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = \frac{E^2[(\alpha_{fk})^2]}{\text{Var}[(\alpha_{fk})^2]} \quad (2.18)$$

เมื่อ m เป็นการแจกแจงของแอมพลิจูดซึ่งแสดงถึงความรุนแรงของการเฟดดิ้งในวิถีที่ l โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า m จะได้แจกแจงในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

$m = 0.5$ คือ เฟดดิ้งแบบเกาส์ข้างเดียว (One-sided Gaussian fading)

$m = 1$ คือ เฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh fading)

$m \rightarrow \infty$ คือ ไม่มีการเฟดดิ้ง

แต่เมื่อ $m > 1$ จะสอดคล้องกับการแจกแจงแบบไรเซียน (Ricean) และล็อกนอร์มอล (Lognormal)

โดยความสัมพันธ์ของไรซ์แฟกเตอร์ (Rice factor : k) กับพารามิเตอร์ m แสดงได้ดังสมการ

$$m = \frac{1}{1 - \left(\frac{k}{1+k}\right)^2} \quad (2.19)$$

เมื่อ k คือ อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณจากวิถีตรงเฉลี่ย
ต่อกำลังของสัญญาณจากวิถีกระจายเฉลี่ย

2.5 เครื่องสร้างรหัส

ในหัวข้อนี้เราจำเป็นต้องเข้าใจถึงแนวทางการสร้างรหัส และ คุณสมบัติของรหัสที่เรียกว่า PN โค้ด (Pseudorandom noise) มันถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน หากแต่รหัสที่ได้นั้นจะมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณ Random มากโดยรหัสชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่นนำมาใช้การ ซิงโครไนซ์สัญญาณ (Signal Synchronization) การเข้ารหัสลับข้อมูล (Cryptography) และการทำสเปกตรัมแผ่กระจาย (Spread Spectrum)

การสร้างรหัสหรือชิปจะถูกสร้างขึ้นจากชิฟต์รีจิสเตอร์ (Shift Register) จำนวนหนึ่ง โดยมาต่อเชื่อมกันแบบอนุกรมและมีการป้อนกลับของสัญญาณจากตัวชิฟต์รีจิสเตอร์ เป็นจำนวนอย่างน้อยสองตำแหน่งกลับไปยังที่ขาเข้าของชิฟต์รีจิสเตอร์ตัวแรก โดยนิยาม แล้วรหัสชนิดนี้สามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวได้มากที่สุด คือ $2^n - 1$ เมื่อกำหนดให้ n เป็นจำนวนของชิฟต์รีจิสเตอร์ที่ใช้ ชุดรหัสทุกชุดที่สร้างขึ้นจะต้องมีคุณสมบัติเฉพาะดังต่อไปนี้

1) ความยาวรหัสมีมากที่สุดเท่ากับ $L = 2^n - 1$

2) มีคุณสมบัติการสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

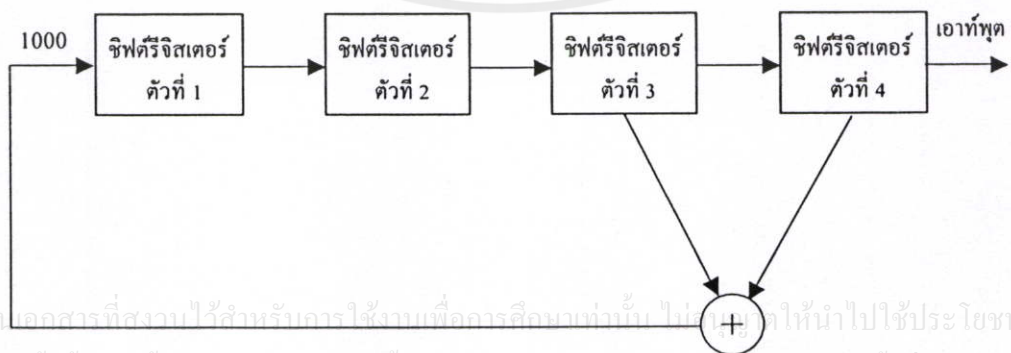
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสที่มีค่าเป็นหนึ่งจะต้องมีจำนวนมากกว่ารหัสที่มีค่าเป็นศูนย์ อยู่หนึ่งเสมอ ยกตัวอย่าง เช่น กำหนดให้มีชิพตรีจิสเตอร์เป็น 4 ตัว ดังนั้น มีความยาวรหัสสูงสุด คือ $2^n - 1$ เท่ากับ 15 ชิพ โดยจะประกอบไปด้วยรหัสที่มีค่าเป็นหนึ่งเท่ากับ 8 ชิพ และรหัสที่มีค่าเป็นศูนย์เท่า 7 ชิพ

3) ภายในลำดับรหัสแต่ละชุดจะมีช่วงของชิพที่มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งต่อเนื่องกันจำนวนหนึ่ง ส่วนที่ต่อเนื่องกันนี้เราจะเรียกว่าการวิ่ง(run) โดยความยาวของแต่ละการวิ่งจะมีขนาดที่แตกต่างกันไป ในการวิ่งจะมีค่าศูนย์และหนึ่งขนาด P ชิพเกิดขึ้นในลำดับของสัญญาณทั้งสิ้น $2^{n-(p+2)}$ ครั้ง โดย P จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง $n-2$ เมื่อ n เป็นจำนวนชิพตรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลำดับของสัญญาณชิพ นอกจากนี้จะมีการวิ่งของศูนย์ขนาด $n-1$ จำนวนหนึ่ง การวิ่ง ยกตัวอย่างเช่น n เท่ากับ 4 ดังนั้นค่าศูนย์จะมีเท่ากับค่าหนึ่งที่ต่อเนื่องกันของแต่ละลำดับสัญญาณ

4) คุณสมบัติอัตโนมัติสัมพันธ์ (Autocorrelation) เป็นการเทียบคุณสมบัติเมื่อรหัสเทียบกับตัวมันเอง โดยในการเลื่อนของชุดรหัสทั้งสองชุดที่เหมือนกันทุกประการ มีขนาดห่างกันมากกว่า ± 1 ชิพ แต่ถ้าหากการเลื่อนของชุดรหัสทั้งสองชุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเลื่อนไปของชุดรหัสมีทั้งสองอย่างเป็นเชิงเส้น โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 2^{n-1} เราสามารถแสดงดังรูป 2.16 ซึ่งจากรูปเป็นการหาค่าอัตโนมัติสัมพันธ์สามารถกระทำได้โดยนำค่าชิพจากลำดับ สัญญาณ 2 ชุด ที่ตำแหน่งเดียวกันมาคูณกัน แล้วนำผล คูณ ที่ได้ของแต่ละตำแหน่งมาบวก รวมกันทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือค่าอัตโนมัติสัมพันธ์ ทั้งนี้ในการ คูณ กันนั้นจะกำหนดให้ใช้ค่า -1 แทนชิพที่มีค่าเป็นศูนย์ และค่า $+1$ แทนชิพที่มีค่าเป็นหนึ่ง ในการหาค่าอัตโนมัติสัมพันธ์นั้นจะต้องใช้ลำดับของสัญญาณสองชุดที่เหมือนกัน แต่อาจมีการเลื่อนชิพของลำดับรหัสสัญญาณชุดหนึ่งให้ต่างจากลำดับสัญญาณของอีกชุดหนึ่งด้วยระยะทางต่างๆตามต้องการ

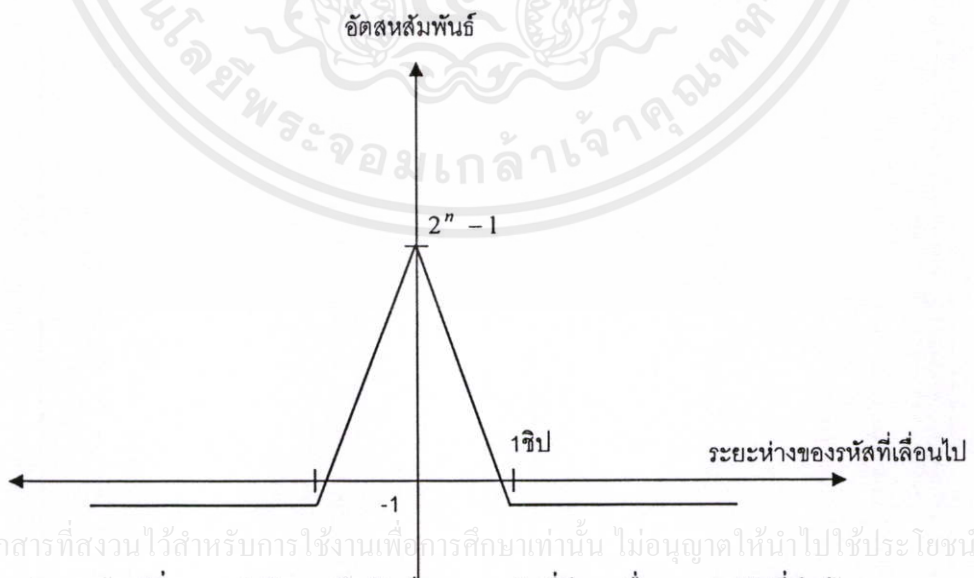
จากรูป 2.15 เป็นการแสดงตัวอย่างการสร้างรหัสโดยการใช้จำนวนชิพตรีจิสเตอร์ 4 ตัว และกำหนดให้ตำแหน่งชิพตรีจิสเตอร์ตัวที่ สามกับสี่ ทำการโมดูโลแล้วป้อนย้อนกลับไปขาเข้าของชิพตรีจิสเตอร์ ตัวแรก ให้สัญญาณที่เข้ามามีค่าเท่ากับ 1000 จากตาราง 2.1 และรูปที่ 2.16 แสดงค่าอัตโนมัติสัมพันธ์ของชุดรหัส ดังนั้นจำนวนชิพตรีจิสเตอร์ 4 ตัวที่ใช้จะได้เอาท์พุตเป็นจำนวน $2^n - 1$ เท่ากับ 15 ชิพ โดยคุณสมบัติต่างๆสามารถเทียบด้วยข้อกำหนดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.15 แสดงการสร้างรหัส ด้วยจำนวนชิพตรีจิสเตอร์ 4 ตัว

จำนวนปีที่เลื่อนจากกัน	ลำดับของสัญญาณ	อัตราสัมพันธ์
0	000100110101111	15
1	100010011010111	-1
2	110001001101011	-1
3	111000100110101	-1
4	111100010011010	-1
5	011110001001101	-1
6	101111000100110	-1
7	010111100010011	-1
8	101011110001001	-1
9	110101111000100	-1
10	011010111100010	-1
11	001101011110001	-1
12	100110101111000	-1
13	010011010111100	-1
14	001001101011110	-1
15	000100110101111	15

ตาราง 2.1 ค่าอัตราสัมพันธ์ที่มีคุณลักษณะของซุกรหัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.16 ค่าอัตราสัมพันธ์ของซุกรหัสที่มีการเลื่อนของรหัสที่ค่าต่างๆมีการนำไปใช้

หากพิจารณาค่าของชิฟต์รีจิสเตอร์แต่ละตัว ณ จังหวะเวลาใดเวลาหนึ่ง จะพบว่าค่าหรือสถานะของของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านั้น จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปจากจังหวะเวลาอื่นๆ ทั้งหมด เมื่อพิจารณาภายในช่วงเวลา 1 คาบ ของลำดับสัญญาณ นั่นคือรูปแบบสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านี้จะไม่เกิดซ้ำภายใน 1 คาบสัญญาณ อีกทั้งจะไม่เกิดกรณีที่สถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์หมด เพราะในสถานะดังกล่าววงจรชิฟต์รีจิสเตอร์จะไม่สามารถสร้างลำดับสัญญาณขึ้นได้ ดังนั้นในการสร้างลำดับสัญญาณนั้นจะต้องแน่ใจว่าค่าตั้งต้นของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าที่ไม่เป็นศูนย์พร้อมกันหมด

จากคุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมาทำให้รหัสประเภทนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติเช่น การที่รหัสมีจำนวนชิปเป็นศูนย์ใกล้เคียงกับชิปที่เป็นหนึ่ง ทำให้เวลานำสัญญาณดังกล่าวกับระบบสื่อสารบางประเภทเช่น ระบบที่มีการมอดูเลตสัญญาณ โดยการ Suppress Carrier นั้นปัญหาดังกล่าวก็จะยิ่งลดลงตามไปด้วย

นอกจากนี้ คุณสมบัติดังกล่าวได้นำไปใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ ยกตัวอย่างเช่นการใช้ตัวชิฟต์รีจิสเตอร์ จำนวน 15 ตัว ในการสร้างรหัส ในมาตรฐาน ระบบโทรศัพท์ ซีดีเอ็มเอ ที่เป็น IS-95 เพื่อที่จะใช้ระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐาน ดังนั้น การสร้างรหัสนี้มีความยาวเท่ากับ $2^{15}-1$ เท่ากับ 32,768 ชิปซึ่งสถานีฐานแต่ละสถานีแต่ละแห่งจะใช้วงจรรหัสแบบเดียวกัน แต่จะมีการเลื่อนชิปของลำดับสัญญาณออกไปทีละ 64 ชิป ด้วยเหตุนี้ การใช้งานทั้งหมดคือ 32,768 ชิป หากด้วย 64 ชิป จะมีค่าเท่ากับ 512 ชุดรหัส ซึ่งจะมีสถานีฐานได้ถึง 512 สถานีฐานหากพิจารณาสายอากาศแบบอสมมิเซกเตอร์ ส่วนในกรณีตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีการสร้างรหัส $2^{42}-1$ เท่ากับ 4.39×10^{12} ชิปโดยที่แต่ละผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์จะมี 42 ชิป ซึ่งใน 42 ชิป จะมีค่าเท่าที่เราเรียก ESN (Electronic Serial Number) ในแต่ละคนจะมีค่า ESN นี้จะถูกจัดเก็บไว้ในซิมการ์ดหรือเครื่องโทรศัพท์ในกรณีตัวเครื่องไม่มีซิมการ์ดใส่และจะจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล (HLR) ด้วย เพื่อยืนยันตรวจสอบข้อมูลที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง

(Wideband Code Division Multiple Access : W – CDMA)

3.1 ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง (Wideband Code Division Multiple Access : W – CDMA)

3.1.1 ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้างในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

ในยุคแรกของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ระบบที่ใช้จะเป็นแบบอนาล็อก แต่ต่อมาเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 ได้พัฒนาให้ระบบเป็นแบบดิจิทัล ทำให้เพิ่มความสามารถในการใช้งานได้มากขึ้น โดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้น ทำให้สามารถสร้างบริการเสริมรูปแบบต่าง ๆ และเพิ่มคุณภาพของสัญญาณให้ดีขึ้นด้วย และต่อมาความต้องการในการสื่อสารทางโทรศัพท์เคลื่อนที่มีรูปแบบที่มากขึ้น และซับซ้อนขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เข้าสู่ยุคที่ 3 ซึ่งเป็นการพัฒนาครั้งสำคัญทางด้านเทคนิค โดยระบบจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงขึ้น และมีความสามารถในการสื่อสารที่ซับซ้อนขึ้น ซึ่งถือว่าเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 นี้เป็นยุคของการสื่อสารแบบมัลติมีเดียอย่างแท้จริง

การพัฒนาเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เริ่มขึ้นจากการประชุมการจัดการคลื่นวิทยุโลก (World Administrative Radio Conference : WARC) ของสหพันธ์โทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunications Union : ITU) โดยมีการประกาศแผนการศึกษาวิจัยและพัฒนาภายใต้ชื่อโครงการว่า ระบบสื่อสาร โทรคมนาคมนานาชาติผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2000 (International Mobile Telecommunications – 2000 : IMT – 2000) ซึ่งเป็นการวางข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 โดยระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง (Wideband Code Division Multiple Access : W – CDMA) เป็นระบบหนึ่งในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ภายได้มาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS หรือ Universal Mobile Telecommunications System ซึ่งเป็นผลจากโครงการ IMT – 2000 นั้นเอง

เพื่อเป็นการวางแผนและกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ สำหรับการใช้งานในระดับนานาชาติให้แก่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 คณะกรรมาธิการแห่งสหภาพยุโรป (European Commission) จึงได้ก่อตั้งโครงการที่ชื่อว่า ACTS (Advanced Communication Technologies and Services) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ขึ้น และภายใต้โครงการ ACTS นี้

ก็มีโครงการย่อยอีกหลายโครงการ ซึ่งในจำนวนนั้นก็มีโครงการหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับข้อกำหนดทางเทคนิคของการเชื่อมต่อทางอากาศของมาตรฐาน UMTS โดยโครงการดังกล่าวมี

ชื่อว่า FRAMES (Future Radio Wideband Multiple Access System) ซึ่งคณะทำงานของโครงการ ประกอบด้วยผู้ผลิต อุปกรณ์โทรคมนาคม ผู้ให้บริการระบบเครือข่าย ผู้ประกอบการขนาดย่อม (Small Medium Enterprises : SME) และสถาบันวิจัยด้านโทรคมนาคม จุดประสงค์หลักของโครงการ FRAMES คือ การศึกษาและพัฒนามาตรฐานและความต้องการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ดังนั้น โครงการ FRAMES จึงสร้างมาตรฐาน FMA (FRAMES Multiple Access Scheme) ขึ้น เพื่อรองรับความต้องการดังกล่าว โดยมาตรฐาน FMA ประกอบด้วย FMA1 ซึ่งเป็น Wideband TDMA แบบแผ่นและแบบไม่แผ่นแถบความถี่ และ FMA2 ซึ่งเป็น Wideband CDMA

ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2541 โครงการ FRAMES ได้นำแนวคิด UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) ของสถาบันมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standard Institute : ETSI) มาประกอบการพิจารณาเพื่อกำหนดมาตรฐานด้านต่าง ๆ โดยให้ความสำคัญต่อการเข้ารหัสช่องสัญญาณ การมอดูเลตสัญญาณ อัลกอริทึมที่ใช้ในเครื่องรับฮาร์ดแวร์ และระบบเครือข่าย รวมถึงพิจารณาเทคนิคการดูเพลกซ์สัญญาณทั้งแบบ FDD (Frequency Division Duplex) และ TDD (Time Division Duplex) เพื่อหาความเหมาะสมในการนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้งาน

ภายหลังหน่วยงาน ETSI ได้จัดตั้งโครงการ IMT – 2000 / UMTS เพื่อรับผิดชอบเรื่องการกำหนดมาตรฐานเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 แต่ต่อมาระบบ W – CDMA ถูกนำมาใช้ในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 อย่างกว้างขวาง ดังนั้น คุณสมบัติต่าง ๆ จึงได้ถูกศึกษาและพัฒนาในโครงการ 3GPP (Third Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นโครงการร่วมในการกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ จากยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี สหรัฐอเมริกา และจีน ภายใต้โครงการ 3GPP นี้ มีการกำหนดทางเทคนิคของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS โดยเรียกเป็น UTRA FDD และ UTRA TDD ซึ่งสัมพันธ์กับมาตรฐาน FMA

3.1.2 ความแตกต่างของการสื่อสารทางคลื่นวิทยุระหว่างระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้างกับระบบในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2

เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างหลักระหว่างการสื่อสารทางคลื่นวิทยุของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 และยุคที่ 3 จึงได้พิจารณาระบบ W – CDMA เทียบกับระบบ GSM และระบบ IS – 95 (มาตรฐานของระบบ cdmaOne) ซึ่งเป็นการสื่อสารทางคลื่นวิทยุของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 ส่วนระบบอื่นในเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 นั้น จะไม่กล่าวถึงเพราะคล้ายกับระบบที่จะกล่าวถึงนี้ และเพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างการสื่อสารทางคลื่นวิทยุของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 และยุคที่ 3 อย่างชัดเจน จึงพิจารณาถึงความต้องการปัจจัยต่างๆ ของระบบเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ดังนี้ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีอัตราบิตสูงถึง 2 เมกะบิตต่อวินาทีจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราบิดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามแบนด์วิดท์
 - มีการมัลติเพิล็กซ์ของบริการต่าง ๆ ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันบนการเชื่อมต่อเดียว เช่น เสียงวีดีโอ และกลุ่มข้อมูล
 - ต้องการคิวเล็งตั้งแต่การสื่อสารแบบเวลาจริงที่ไวต่อการดีเลย์ จนถึงข้อมูลแบบแพ็กเก็ตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
 - ต้องการคุณภาพช่วงอัตราความผิดพลาดเฟรม 10% ถึงความผิดพลาดบิต 10^{-6}
 - สามารถรองรับการใช้งานร่วมกันของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 และยุคที่ 3 ได้ โดยมีการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างระบบ ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ให้บริการและทำให้โหลดสมดุล
 - สนับสนุนการสื่อสารที่ไม่สมดุลระหว่างการเชื่อมโยงขาขึ้น และการเชื่อมโยงขาลง เช่น ในเว็บไซต์ ซึ่งมีการโหลดข้อมูลมากกว่าการส่งข้อมูล
 - มีประสิทธิภาพของสเปกตรัมสูง
 - สามารถรองรับการใช้งานร่วมกันของ FDD และ TDD
- จากตารางที่ 3.1 แสดงข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบ W – CDMA และระบบ GSM ส่วนตารางที่ 3.2 แสดงข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบ W – CDMA และระบบ IS – 95 โดยในการเปรียบเทียบนี้จะพิจารณาเฉพาะการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	W – CDMA	GSM
ความกว้างแถบความถี่	5 เมกะเฮิร์ตซ์	200 กิโลเฮิร์ตซ์
แฟกเตอร์การใช้ความถี่ซ้ำ	1	1 – 18
ความถี่ที่ใช้ควบคุมกำลังส่ง	1500 เฮิร์ตซ์	2 เฮิร์ตซ์ หรือต่ำกว่า
การควบคุมคุณภาพ	ใช้อัลกอริทึม การบริหารทรัพยากร คลื่นวิทยุ	ใช้การออกแบบ วางแผนเครือข่าย (ออกแบบวางแผนความถี่)
ไดเวอร์ซิตีทางความถี่	แบนด์วิดท์ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ จะให้ไดเวอร์ซิตีหลายวิถี โดยใช้เครื่องรับแบบ Rake	ใช้เทคนิคการกระโดด ทางความถี่
ข้อมูลแบบแพ็กเกต	ส่งข้อมูลแบบแพ็กเกต ที่กำหนดไว้	ส่งข้อมูลไปในช่องเวลาที่ กำหนดไว้ โดยใช้เทคโนโลยี GPRS
ไดเวอร์ซิตีการส่งสัญญาณ ของการเชื่อมโยงขาลง	สนับสนุนการปรับปรุง ความจุการเชื่อมโยงขาลง	ไม่สนับสนุน แต่สามารถประยุกต์ใช้ได้

ตารางที่ 3.1 ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบ W – CDMA และ GSM

	W – CDMA	IS – 95
ความกว้างแถบความถี่	5 เมกะเฮิร์ตซ์	1.25 เมกะเฮิร์ตซ์
อัตราชีพ	3.84 เมกะชิบต่อวินาที	1.2288 เมกะชิบต่อวินาที
ความถี่ที่ใช้ควบคุมกำลัง	1500 เฮิร์ตซ์ ทั้งการเชื่อมโยงขาขึ้น และการเชื่อมโยงขาลง	800 เฮิร์ตซ์ ในการเชื่อมโยงขาขึ้น ส่วนการเชื่อมโยงขาลง เป็นการควบคุมกำลังแบบซ้ำ
การชิงโครโมสที่สถานีฐาน	ไม่ต้องการ	ปกติได้มาโดยใช้ GPS
การแฮนด์โอเวอร์ ระหว่างความถี่	ใช่ ใช้โหมดแบบช่องในการวัด	เป็นไปได้ แต่ไม่กำหนดวิธีการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ตารางที่ 3.2 ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบ W – CDMA และ IS – 95 ที่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	W – CDMA	IS – 95
อัลกอริทึมการบริหารทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มีประสิทธิภาพ	ใช่ เพื่อให้ได้คุณภาพของบริการที่ต้องการ	ไม่ต้องการสำหรับการสนทนา ต้องการเพียงในเครือข่าย
ข้อมูลแบบแพ็กเกต	ส่งข้อมูลแบบแพ็กเกตที่กำหนดไว้	ข้อมูลแบบแพ็กเกตจะถูกส่งเป็นการเรียกแบบสวิตซ์วงจร
ไคเวอร์ซิตีการส่งสัญญาณของการเชื่อมโยงขาลง	สนับสนุนการปรับปรุงความจุการเชื่อมโยงขาลง	ตามมาตรฐาน ไม่สนับสนุน

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

จากตารางแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการใหม่ ๆ ในระบบเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เช่น มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นเป็น 5 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อสนับสนุนอัตราบิตที่สูงขึ้น มีไคเวอร์ซิตีทางภาคส่งในระบบ W – CDMA โดยเป็นการปรับปรุงความจุในการเชื่อมโยงขาลง เพื่อสนับสนุนความต้องการความจุแบบไม่สมมาตรระหว่างการเชื่อมโยงขาลง และการเชื่อมโยงขาขึ้น ซึ่งไคเวอร์ซิตีทางภาคส่งนี้ จะไม่มีในมาตรฐานของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 มีการผสมของอัตราบิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากความต้องการบริการและคุณภาพในระบบเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ต้องการอัลกอริทึม การบริหารทรัพยากรคลื่นวิทยุที่ดีขึ้นเพื่อรับรองคุณภาพของบริการ และทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด และมีการสนับสนุนความสามารถในข้อมูลแบบแพ็กเกตที่ไม่ใช่เวลาจริง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในบริการใหม่

แม้ว่าระบบ W – CDMA และระบบ IS – 95 จะใช้หลักการของ DS – CDMA แต่ในด้านอื่น ๆ นั้น จะแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างหลัก ๆ ระหว่างระบบ W – CDMA และระบบ IS – 95 คือ ในระบบ W – CDMA มีอัตราชิป 3.84 เมกะชิปต่อวินาที ซึ่งมากกว่าอัตราชิปในระบบ IS – 95 ที่มี 1.2288 เมกะชิปต่อวินาที ทำให้ในระบบ W – CDMA มีไคเวอร์ซิตีหลายวิถี (Multipath Diversity) มากกว่า โดยเฉพาะในเซลล์แบบในเมืองขนาดเล็ก โดยการเพิ่มขึ้นของไคเวอร์ซิตีหลายวิถีจะเป็นการปรับปรุงพื้นที่ให้บริการ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในระบบที่ต้องการ และโดยเฉพาะในอัตราบิตที่มากขึ้น อัตราชิปที่มากจะทำให้อัตราขยายการส่งผ่าน (Trunking Gain) มากขึ้นกว่าในระบบเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 ซึ่งมีแถบความถี่ที่แคบ

ในระบบ W – CDMA มีการควบคุมกำลังวงปิดแบบเร็ว (Fast Closed – Loop Power Control) ทั้งในการเชื่อมโยงขาขึ้นและการเชื่อมโยงขาลง ขณะที่ระบบ IS – 95 จะใช้การควบคุมกำลังแบบเร็วในการเชื่อมโยงขาขึ้นเท่านั้น ในการเชื่อมโยงขาลงนั้นการควบคุมกำลังแบบเร็วจะ

ปรับปรุงสมรรถนะของการเชื่อมโยง และทำให้ความจุของการเชื่อมโยงขาลงมากขึ้น และในระบบ W – CDMA นั้น ต้องการฟังก์ชันใหม่ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น การประมาณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio : SIR) และการควบคุมกำลังวงนอก (Outer Loop Power Control) ขณะที่ในระบบ IS – 95 นั้นจะไม่ต้องถ่วง

เป้าหมายหลักของระบบ IS – 95 จะใช้กับระบบเซลล์ลูลาร์ขนาดใหญ่ ซึ่งเซลล์ขนาดใหญ่ (Macro Cell) นั้น จะมีสถานีฐานอยู่ที่เสาวิทยุหรือหลังคาที่รับสัญญาณ GPS (Global Positioning System) ได้ง่าย โดยสถานีฐานของระบบ IS – 95 จำเป็นต้องทำการซิงโครไนซ์ และการซิงโครไนซ์ที่ปกติจะได้อาจการใช้ GPS ซึ่งความต้องการสัญญาณ GPS นี้เป็นปัญหาอย่างมากในการพัฒนาเซลล์ในอาคารและเซลล์ขนาดเล็ก (Micro Cell) เพราะการรับสัญญาณ GPS นั้น จะทำได้ยากหากไม่มีการมองเห็นในแนวสายตา (Line-of-Sight) ต่อดาวเทียมของ GPS ดังนั้น ในระบบ W – CDMA จึงถูกออกแบบมาให้ทำงานแบบอะซิงโครนัสที่สถานีฐาน ซึ่งจะไม่ต้องการการซิงโครไนซ์จาก GPS และการอะซิงโครนัสที่สถานีฐานของระบบ W – CDMA นี้ จะทำให้การแฮนด์โอเวอร์นั้นแตกต่างจากระบบ IS – 95 เล็กน้อย

การแฮนด์โอเวอร์ระหว่างความถี่นั้นมีความสำคัญในระบบ W – CDMA เพราะทำให้มีการใช้คลื่นพาห์มากที่สุดในสถานีฐานหนึ่ง ซึ่งในระบบ IS – 95 นั้น การวัดระหว่างความถี่จะไม่ มีรูปแบบที่แน่นอน ทำให้ยากในการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างความถี่

จะเห็นได้ว่าประสบการณ์ต่าง ๆ จากเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 นั้น มีความสำคัญในการพัฒนาไปเป็นเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เป็นอย่างมาก แต่ก็มีข้อแตกต่างหลายประการระหว่างเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งสองยุค ดังตัวอย่างที่กล่าวไว้ข้างต้น

3.1.3 คุณสมบัติของระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง

พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในระบบ W – CDMA เป็นไปตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

วิธีการเข้าถึงหลายทาง	DS – CDMA
วิธีการดูเฟลคซ์	การดูเฟลคซ์แบบแบ่งความถี่ / การดูเฟลคซ์แบบแบ่งเวลา
การชิงโครไนซ์ที่สถานีฐาน	อะซิงโครนัส
อัตราชิป	3.84 เมกะชิปต่อวินาที
ความยาวเฟรม	10 มิลลิวินาที
การมัลติเพล็กซ์บริการ	มีบริการที่หลากหลาย โดยการมัลติเพล็กซ์บริการ ซึ่งต้องการคุณภาพของบริการที่แตกต่างกันในการเชื่อมต่อเดียว
หลักการหลายอัตรา	ใช้แฟกเตอร์การแผ่ที่เปลี่ยนค่าได้ และใช้รหัสหลายรหัส
การดีเทกต์	การร่วมนัย (Coherent) โดยใช้สัญลักษณ์นำ (Pilot Symbols) หรือ สัญลักษณ์นำร่วม (Common Pilot)
การดีเทกต์ผู้ใช้หลายราย สายอากาศแบบสมาร์ต	มีมาตรฐานสนับสนุน และมีเครื่องมือเสริมอื่น ๆ เป็นทางเลือก

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ในระบบ W – CDMA

คุณสมบัติของระบบ W – CDMA

- W – CDMA หรือระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส โดยวิธีลำดับตรง (DS – CDMA) ในความถี่แถบกว้าง คือ บิตข้อมูลของผู้ใช้ที่ถูกแผ่บนแบนด์วิดท์ที่กว้าง โดยการคูณข้อมูลของผู้ใช้กับบิตรหัสที่สุ่ม (เรียกว่า ชิป) ซึ่งได้มาจากรหัสการแผ่แบบ CDMA และเพื่อให้สนับสนุนอัตราบิตที่สูงมาก ๆ (ถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที) จึงใช้แฟกเตอร์การแผ่ที่เปลี่ยนค่าได้ และใช้การเชื่อมต่อแบบรหัสหลายรหัส โดยตัวอย่างการจัดสรรแบนด์วิดท์แสดงดังรูปที่ 3.1

- ใช้อัตราชิป 3.84 เมกะชิปต่อวินาที ในแบนด์วิดท์ประมาณ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ในขณะที่ระบบ DS – CDMA ที่มีแบนด์วิดท์ประมาณ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือ IS – 95 จะเป็นระบบ CDMA แถบแคบ โดยแบนด์วิดท์ที่กว้างของ W – CDMA นี้ สามารถสนับสนุนอัตราข้อมูลของผู้ใช้ที่มีค่ามากและทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นด้วย เช่น การเพิ่มขึ้นของโคแวลอร์ซิตีหลายวิถี โดยวัตถุประสงค์ของการทำงาน คือ ผู้ควบคุมเครือข่ายสามารถใช้แบนด์วิดท์ที่กว้าง เพื่อเพิ่มความจุของระบบ ซึ่งเป็นไปได้ตามรูปแบบลำดับชั้นของเซลล์ โดยจากรูปที่ 3.1 ได้แสดงคุณสมบัตินี้ ซึ่งแบนด์วิดท์ที่ใช้สามารถเลือกใช้ความกว้างระหว่าง 4.4 ถึง 5 เมกะเฮิร์ตซ์โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณแทรกสอดระหว่างคลื่นพาห์

- ระบบ W – CDMA สนับสนุนอัตราข้อมูลของผู้ใช้ที่มีค่ามาก หรือกล่าวในอีกนัยหนึ่งว่าระบบ W – CDMA สนับสนุนแนวคิดของการใช้แบนด์วิดท์ตามความต้องการ (Bandwidth

on Demand : BoD) เป็นอย่างดี โดยกำหนดให้ผู้ให้บริการแต่ละรายมีความกว้างของเฟรมเป็น 10 มิลลิวินาที ขณะที่อัตราข้อมูลของผู้ใช้คงที่ อย่างไรก็ตาม ความจุข้อมูลของผู้ใช้สามารถเปลี่ยนไปได้เป็นเฟรมต่อเฟรม โดยจากรูปที่ 3.1 ได้แสดงคุณสมบัตินี้ ซึ่งการจัดสรรความจุคลื่นวิทยุแบบเร็ว นั้น โดยปกติจะถูกควบคุมโดยเครือข่ายเพื่อให้ได้ความสามารถสูงสุดสำหรับการให้บริการข้อมูลแบบแพ็คเกจ

- ระบบ W – CDMA สนับสนุนรูปแบบการทำงานพื้นฐาน 2 รูปแบบ คือ การดูเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Duplex : FDD) และการดูเพลกซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Duplex : TDD) โดยรูปแบบ FDD จะแบ่งความถี่แบนด์วิดท์ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ที่ใช้ไปใช้เป็นการดูเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ของการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง ตามลำดับ ในขณะที่รูปแบบ TDD จะใช้เวลาในการแยกการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงที่ใช้ความถี่แบนด์วิดท์ทั้ง 5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยการเชื่อมโยงขาขึ้นจะเป็นการสื่อสารจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน ส่วนการเชื่อมโยงขาลงจะเป็นการสื่อสารจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่

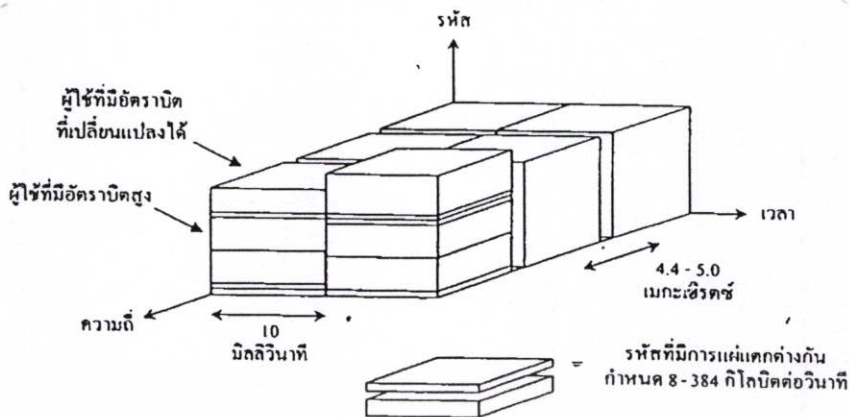
- ระบบ W – CDMA สนับสนุนการทำงานแบบอะซิงโครนัสที่สถานีฐาน ซึ่งต่างจากระบบ IS – 95 ที่ทำงานแบบซิงโครนัส โดยระบบ W – CDMA จะไม่ต้องการเวลาอ้างอิง เช่น ในระบบ GPS ทำให้ง่ายต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบภายในอาคารและสถานีฐานขนาดเล็ก

- ระบบ W – CDMA ใช้การตีเทกต์แบบร่วมนัยในการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง โดยใช้สัญลักษณ์นำ (Pilot Symbols) หรือสัญญาณนำร่วม (Common Pilot) ซึ่งได้มีการใช้ในการเชื่อมโยงขาลงของระบบ IS – 95 อยู่ก่อนแล้ว แต่การตีเทกต์แบบร่วมนัยในการเชื่อมโยงขาขึ้นนี้ เพิ่งเริ่มนำมาใช้ในระบบ CDMA ซึ่งวิธีการนี้ทำให้พื้นที่การให้บริการและความจุในการเชื่อมโยงขาขึ้นโดยรวมนั้นเพิ่มขึ้น

- ระบบ W – CDMA ได้มีการพัฒนาแนวคิดของเครื่องรับ เช่น การตีเทกต์ผู้ใช้หลายราย และใช้สายอากาศแบบสมาร์ต ทำให้พื้นที่การให้บริการและ/หรือความจุเพิ่มขึ้น ซึ่งในระบบของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 ส่วนมากไม่มีการให้ความสำคัญกับแนวคิดของเครื่องรับ ดังนั้น ผลที่ได้จึงแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของระบบยังเพิ่มขึ้นอย่างจำกัด

- ระบบ W – CDMA ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับระบบ GSM ที่ใช้อยู่ได้ ดังนั้น การทำงานจึงรองรับการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างระบบ GSM และ W – CDMA เพื่อให้สามารถเปลี่ยนระบบการทำงานจากพื้นที่การให้บริการที่เป็นระบบ GSM ไปสู่ระบบ W – CDMA ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การจัดสรรแบนด์วิดท์ในระบบ W - CDMA

3.2 ความจุระบบโทรศัพท์ซีดีเอ็มเอ

จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงในระบบ FDMA กล่าวคือแต่ละความถี่ย่อยสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เพียง 1 รายเท่านั้น ขณะที่ TDMA สำหรับมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM กำหนดให้แต่ละความถี่ย่อยสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เป็นจำนวน 8 ราย ซึ่งหากพิจารณาด้านความจุของระบบที่กล่าวไปแล้วการคำนวณหาขนาดความจุค่อนข้างง่าย แต่สำหรับในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอขนาดความจุขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณรบกวนแทรกสอดเป็นหลัก กล่าวคือระบบมันจะทำงานได้ตามปกติหากระดับของสัญญาณรบกวนจากผู้ใช้โทรศัพท์อยู่ในระดับที่ไม่สูงจนเกินไปในบริเวณรอบข้างที่มีการใช้งานที่ความถี่เดียวกัน

พิจารณาในเซลล์เดียวกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานทั้งสิ้นเป็นจำนวน k ราย และกำหนดให้ค่าพลังงานของสัญญาณต่อบิต (E_b) ต่อ ค่าความหนาแน่นสัญญาณรบกวน (N_o) มีค่าเท่ากับ

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P}{I} \cdot (G_p) \tag{3.1}$$

โดยที่

P คือค่ากำลังสัญญาณที่ต้องการ

I คือค่ากำลังสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากผู้ใช้งานอื่นในเซลล์เดียวกัน

G_p คือค่าอัตราขยายประมวลผล (Processing gain) มีค่าเท่ากับ W/R โดย W เป็น

แบนด์วิดท์การกระจาย (spreading bandwidth) R เป็นอัตราข้อมูล (data rate) เช่น ถ้าต้องการส่งข้อมูล 127 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) โดยมีการกระจายแบนด์วิดท์ 127 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) จะได้ว่า $G_p = 1000$ (เนื่องจาก $1 \text{ MHz} = 1000 \text{ kHz}$)

ในการพิจารณากรณีผู้ใช้งานรายอื่นๆที่ส่งกำลังสัญญาณมารบกวนผู้ใช้ที่อ้างอิงจะมีค่าเท่ากับ K-1 ราย สามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

$$I = P(K - 1) \quad (3.2)$$

นำสมการที่ (3.2) ลงแทนในสมการที่ (3.1) จะได้

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P}{P(k - 1)} \cdot (G_p) \quad (3.3)$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าขนาดความจุของระบบได้ ดังนี้

$$K = \frac{(G_p)}{E_b / N_o} + 1 \quad (3.4)$$

หากเราต้องการให้ระบบมีขนาดความจุเพิ่มขึ้นนั้นก็คือการใช้ค่า voice activity factor (λ) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยให้มีการรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น นอกจากนี้หากพิจารณาผู้ใช้จากเซลล์อื่นที่ส่งกำลังสัญญาณมารบกวนเซลล์อ้างอิง เราเรียกว่าค่า Loading factor (η) จากผู้ใช้งานรายอื่น โดยมีค่าตั้งแต่ 0 % ถึง 100% หากค่า η เท่ากับศูนย์ หมายถึงไม่มีผู้ใช้จากเซลล์อื่นมารบกวน นั่นคือพิจารณาเซลล์หนึ่งเซลล์นั้น ดังนั้นจากสมการที่ (3.4) จะกลายเป็น

$$K = \frac{(G_p)}{E_b / N_o} \frac{1}{\lambda} \frac{1}{1 + \eta} + 1 \quad (3.5)$$

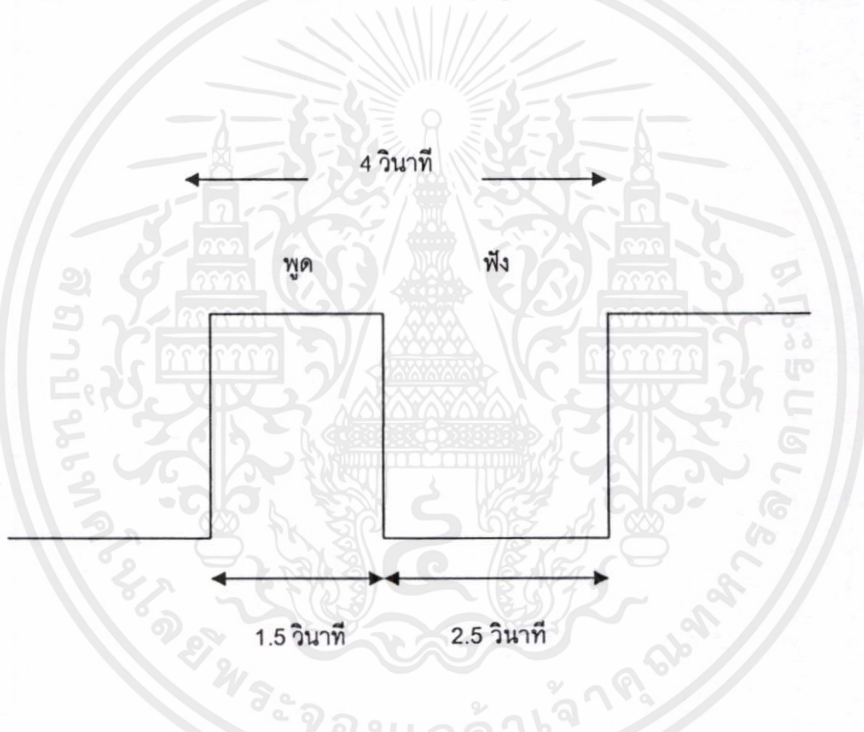
จากสมการที่ (3.5) สามารถสรุปในความจุของระบบดังต่อไปนี้ ประการแรก ความจุก็หมายถึงการรองรับผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ ซึ่งมีผลโดยตรงกับค่าอัตราการใช้ทรัพยากร กล่าวคือการเพิ่มความจุให้มากขึ้นจำเป็นต้องใช้แบนด์วิดท์ที่กว้าง แม้การออกแบบดังกล่าวจะสิ้นเปลืองของเครือข่ายไป แต่ก็ถือว่าเป็นการชดเชยกับขีดความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนและยังทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลแบบมัลติมีเดียซึ่งจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลได้สูงขึ้นหากเราเทียบที่ตั้งแต่แบนด์วิดท์ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ประการที่สอง ค่าพารามิเตอร์ของพลังงานบิดต่อความหนาแน่นสัญญาณรบกวน ในทางปฏิบัติจะเป็นตัวบอกค่าอัตราความผิดพลาดในระบบ กล่าวคือเป็นตัวบอกข้อดีหรือข้อด้อยของสมรรถนะระบบ ประการสุดท้ายการให้ความจุเพิ่มขึ้นจะต้องทำการลดค่า Loading Factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจจับสัญญาณเสียง (Voice Activity)

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบที่ซีดีเอ็มเอ จะมีวิธีการระบุให้ใช้อุปกรณ์ปรับอัตราการเข้ารหัสข้อมูลโดยทำงานสัมพันธ์กับอุปกรณ์การตรวจจับเสียงพูด ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะลดอัตราการส่งข้อมูลลง กล่าวคือหากผู้ใช้ที่ใช้โทรศัพท์หยุดพูดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งตัวอุปกรณ์นี้ก็จะไม่ส่งสัญญาณออกไป ดังนั้น วิธีการนี้จึงเป็นวิธีการหนึ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอที่ช่วยเพิ่มความจุช่องสื่อสาร เป็นการรองรับผู้ใช้โทรศัพท์ให้เพิ่มขึ้น โดยหากวิเคราะห์ตามหลักทางสถิติแล้วจะพบว่า วิธีดังกล่าวเป็นการช่วยลดปริมาณสัญญาณรบกวนด้วย

พฤติกรรมการใช้โทรศัพท์ของมนุษย์โดยทั่วไปแล้ว คู่สนทนาแต่ละฝ่ายจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 37.5 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมดไปกับการพูด เวลาที่เหลืออีกประมาณ 62.5 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ในการฟัง รวมถึงการที่แต่ละฝ่ายหยุดพูดไปพร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงรูปพล็อตสัญญาณพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์

สำหรับค่าพารามิเตอร์การตรวจจับเสียงพูด (Voice activity factor; λ) จะนำมาใช้ในการคำนวณในบทที่ 4 ต่อไป ในการวิเคราะห์สมรรถนะระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การควบคุมกำลังส่งสัญญาณ

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการสื่อสารทางคลื่นวิทยุระบบซีดีเอ็มเอ นั่นก็คือปัญหาของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ (Power control) ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีขนาดเหมาะสม โดยให้สัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน ซึ่งในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์มีตำแหน่งการใช้งานที่อยู่ห่างจากสถานีฐาน จำเป็นต้องทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงกว่าเครื่องโทรศัพท์ที่อยู่ใกล้กับบริเวณสถานีฐาน จุดประสงค์ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณให้มีความเหมาะสมนั้น มีอยู่ด้วยกัน สามประการ

ประการแรก ก็เพื่อเป็นการควบคุมระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในอากาศให้มีขนาดต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะการที่เครื่องโทรศัพท์เครื่องหนึ่งทำการส่งสัญญาณออกไปด้วยกำลังส่งที่สูงเกินไปจะก่อให้เกิดการรบกวนต่อการ รับ-ส่ง สัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ เครื่องอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการอธิบายการทำงานของเทคโนโลยีซีดีเอ็มเอ

ประการที่สอง ก็คือเพื่อเป็นการรักษาระดับคุณภาพของการรับส่งข้อมูลให้คงที่ โดยอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ระดับความแรงของสัญญาณมีส่วนสำคัญต่อการรักษาคุณภาพของข้อมูลที่ถูกส่งบนคลื่นความถี่วิทยุหากสามารถควบคุมกำลังส่งสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยให้มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากสถานีฐานก็จะเป็นการควบคุมคุณภาพของข้อมูลได้เช่นเดียวกัน

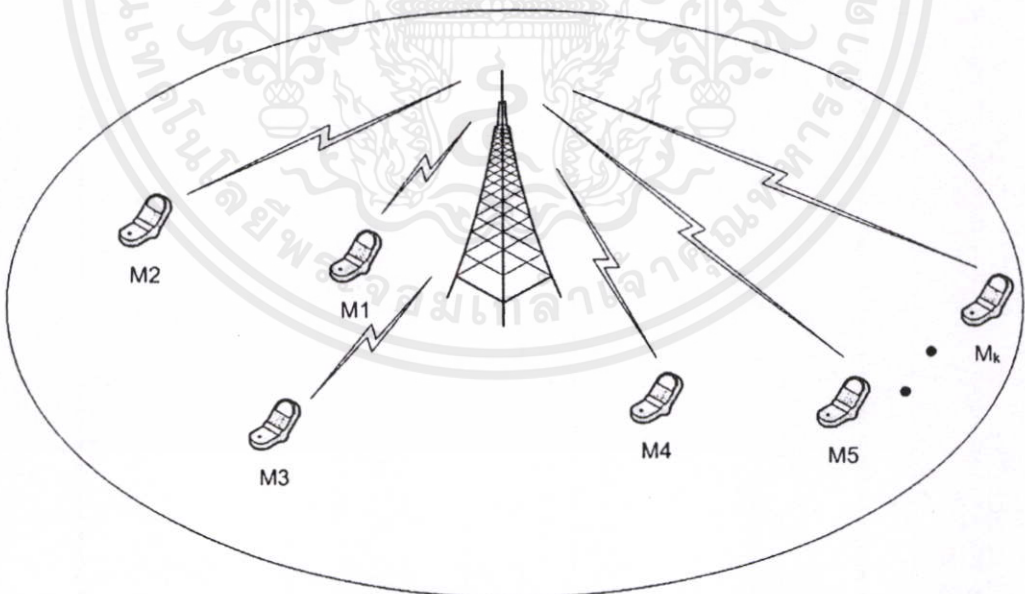
ประการสุดท้ายของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณก็คือ การรักษาระดับพลังงานของอุปกรณ์เครื่องโทรศัพท์ให้สามารถใช้งานได้นานที่สุด ซึ่งเครื่องโทรศัพท์มีความจำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ทำให้ต้องกรออกแบบกระบวนการควบคุมกำลังส่งสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์ให้มีพลังงานต่ำที่สุดเท่าที่จำเป็น แม้กลไกควบคุมกำลังส่งจะสามารถทำได้ทั้งเครื่องโทรศัพท์และสถานีฐาน แต่ในกรณีของสถานีฐานการใช้การควบคุมกำลังส่งสัญญาณเพื่อจุดประสงค์ คือ ลดอัตราการเกิดการรบกวนของสัญญาณเท่านั้น

สำหรับมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ มีการออกแบบให้สนับสนุนการควบคุมกำลังสัญญาณ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ การควบคุมกำลังส่งแบบเปิดวงจร (Open-Loop Power Control) และการควบคุมกำลังส่งแบบปิดวงจร (Closed-Loop Power Control) โดยในกรณีแรกนั้น เครื่องโทรศัพท์จะทำการส่งสัญญาณออกด้วยกำลังสูงสุด ในช่วงแรกของการขอสร้างวงจรเชื่อมต่อกับสถานีฐาน แล้วจะทำการปรับกำลังส่งออกโดยอัตโนมัติให้มีระดับความแรงที่เหมาะสมกับระยะห่างจากสถานีฐาน ทั้งนี้ด้วยการคำนวณจากระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับกลับมาจากสถานีฐาน โดยนำระดับความแรงของสัญญาณที่ถูกส่งจากสถานีฐาน ซึ่งมีการระบุค่าความแรงดังกล่าวในข่าวสารข้อมูลที่สถานีฐานกระจายข่าวไปทั่วพื้นที่ครอบคลุม สำหรับ

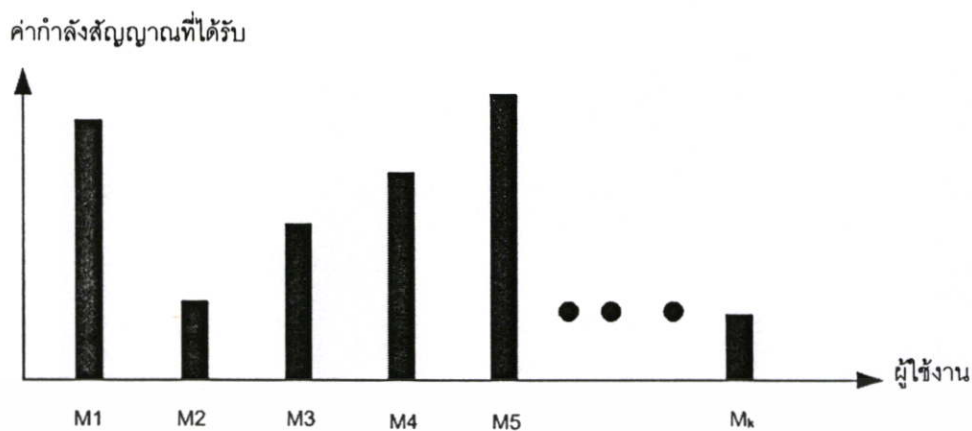
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

สำหรับการควบคุมกำลังส่งแบบปิดวงจรมัน ถือเป็นมาตรฐานสำคัญสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ โดยจะทำหน้าที่ควบคุมให้เครื่องโทรศัพท์ทั้งหมดภายในบริเวณพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานทำการส่งสัญญาณออกมา โดยให้มีระดับความแรงของสัญญาณที่มาถึงทางภาครับสถานีฐานให้มีค่าเฉลี่ยที่เท่าๆกัน และในทางกลับกันสถานีฐานก็จะต้องทำการรักษา ระดับกำลังส่งอย่างเหมาะสม เพื่อให้ระดับความแรงของสัญญาณที่ไปปรากฏ ณ ภาครับของเครื่องโทรศัพท์มีค่าใกล้เคียงกัน

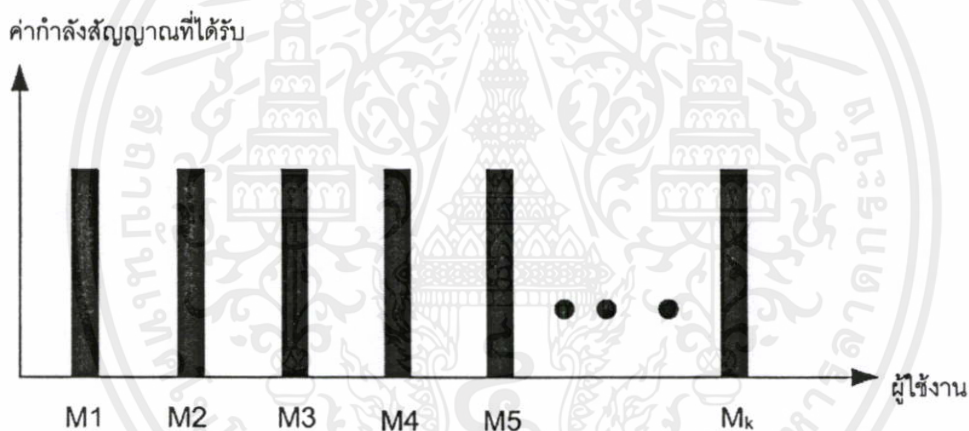
ในข้อแตกต่างจากการควบคุมกำลังส่งแบบปิดก็คือ การควบคุมชนิดนี้จะมีการรับส่งของสัญญาณซึ่งระบุระดับความแรงที่ต้องการ จากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์ซึ่งไม่จำเป็นต้องรอให้ เครื่องโทรศัพท์ทำการคำนวณระดับความแตกต่างของระดับสัญญาณความแรง เหมือนกับ ในกรณีการควบคุมกำลังส่งแบบเปิด ทำให้การปรับแต่งกำลังสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็ว สาเหตุที่ต้องมีการออกแบบการควบคุมในลักษณะนี้ก็คือ เทคนิคการสื่อสารบนพื้นฐานแบบซีดีเอ็มเอ นั้นมีความอ่อนไหว ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสูงมาก ประกอบกับความจริงที่ว่า การเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์ในการปฏิบัติ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดความแรงของสัญญาณต่อภาครับสถานีฐานสูงมาก จากการวิจัยพบว่า การเคลื่อนที่ของโทรศัพท์จะทำให้ระดับความแรงของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปถึง 15 เดซิเบล ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมกำลังส่งที่รวดเร็วนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.3 แสดงการรับ-ส่ง สัญญาณระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการไม่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.5 แสดงการมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.3 แสดงผู้ใช้บริเวณที่แตกต่างกันโดยมีการรับ-ส่งสัญญาณกับสถานีฐาน ดังนั้นเราสามารถอธิบายในรูปแบบง่ายๆเพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจว่า หากผู้ใช้ในบริเวณต่างๆมีการส่งกำลังสัญญาณที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 3.4 ผู้ใช้ที่อยู่บริเวณใกล้สถานีฐานอาจส่งกำลังที่แรงเกินไปและผู้ใช้งานที่ไกลออกไปอาจส่งกำลังที่อ่อนเกินไปหรือผู้ใช้คนที่ไกลกว่าส่งสัญญาณมารบกวนผู้ใช้ที่ใกล้สถานีฐาน ซึ่งปัญหาทั้งหมดเหล่านี้ล้วนเป็นผลที่จะทำให้สมรรถนะระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอแอลส่งผลให้การรองรับผู้ใช้ก็ลดลงด้วยเหตุผลดังกล่าว แต่หาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M1 จนถึง M_k ราย มีค่ากำลังส่งสัญญาณที่เท่ากันแล้วจะทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้เพิ่มขึ้นนั้นเอง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือระบบสมรรถนะที่ดีขึ้นนั่นเอง

3.5 มาตรฐานการเข้ารหัส มัลติมีเดีย สำหรับ ระบบซีดีเอ็มเอแถบกว้างปัจจุบันถูกกำหนดโดยสององค์กรหลักๆ คือ

- MPEG (Moving Picture Expert Group)
- ITU-T (The ITU Telecommunication Standardization Sector) เป็นหน่วยที่มีหน้าที่ออกมาตรฐานทางโทรคมนาคม ของ ITU (International Telecom Union)

มาตรฐานที่ออกโดย MPEG กับ ITU-T มีบางอย่างซ้อนทับกัน แต่จะยึดตาม MPEG เป็นหลักดังนี้

MPEG-1 เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับวิดีโอ กำเนิดอย่างเป็นทางการในช่วงปี 93 นำไปใช้ในวีซีดี MPEG-2 ปีค.ศ. 1994 มาตรฐาน MPEG-2 ถูกใช้กับดีวีดี ความแตกต่างกับ MPEG-1 ก็มีไม่มากนัก ยกเว้นเรื่องการเข้ารหัส/ถอดรหัสที่ใช้วิธีทันสมัยมากขึ้น

MPEG-3 เป็นมาตรฐานที่เตรียมใช้กับ HDTV (High Definition Television หรือ โทรทัศน์ความละเอียดสูง) แต่สุดท้ายไม่ได้ใช้ เพราะพบว่าแค่เทคโนโลยี MPEG-2 ที่มีอยู่เดิมเพียงพอสำหรับ HDTV แล้ว

MPEG-4 เป็นส่วนขยายของ MPEG-1 เพื่อรับรูปแบบมัลติมีเดียต่างๆ เช่น 3D หรือการเข้ารหัสที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น รองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ เหมาะกับการใช้งานทางการส่งสัญญาณผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยที่อัตราการส่งข้อมูลนั้น จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของภาพเช่น Frame rate/s, ขนาดของภาพและความละเอียดของภาพหรือเสียง

H.261 เป็นรูปแบบที่สนับสนุน Videophone และ Video-conferencing ผ่าน ISDN

H.263 เป็นรูปแบบที่ได้พัฒนามาจาก H.261 ต้องการใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ โดยที่ H.263 จะเป็นมาตรฐานที่เทียบเท่ากับ MPEG-4 รองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ เหมาะกับการใช้งานทางการส่งสัญญาณผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยที่อัตราการส่งข้อมูลนั้น จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของภาพเช่น Frame rate/s, ขนาดของภาพและความละเอียดของภาพหรือเสียง

โดยมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compression Format	Target Bandwidth (bps)	Typical Resolution (pixels)	Application
H.261	384k - 2M	176 x 144 or 352 x 288	Video-conferencing low delay
H.263	28.8k - 768 k	128 x 96 or 720 x 480	Video-conferencing
MPEG-1	400k - 1.5M	352 x 288	CD-ROM
MPEG-2	1.5M - 15M	720 x 480	Broadcast Television ,DVD
MPEG-4	28.8k - 500 k	176 x 144 or 352 x 288	Multimedia

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดรูปแบบการเข้ารหัสสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

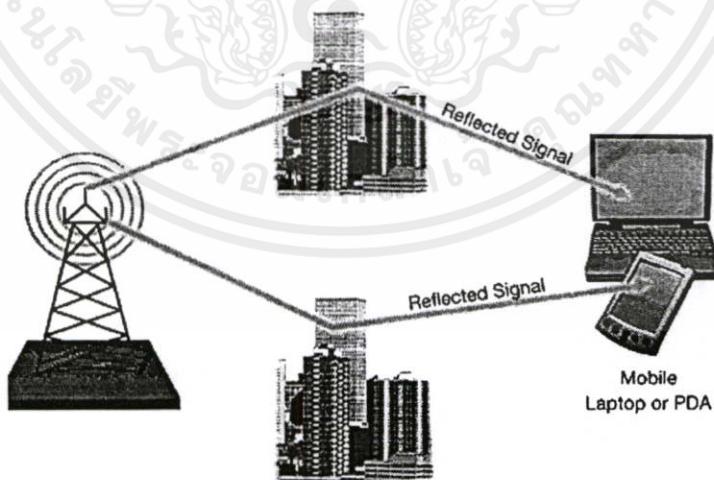
บทที่ 4

อัตราบิดพลิ้วของผลกระทบจากการอินเทอร์เน็ตเฟอร์เรนทร์ระบบ เซลล์ลู่ลู่ร่วยแบนด์ ซีดีเอ็มเอ บนช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้ง แบบนาคากามิ

เนื้อหาในบทนี้พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการอินเทอร์เน็ตเฟอร์เรนทร์ในลักษณะต่าง ๆ ของระบบเซลล์ลู่ลู่ร่วยแบนด์ ซีดีเอ็มเอ โดยพิจารณาการส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้งแบบนาคากามิ กำหนดให้แต่ละเส้นทางการแพร่กระจายเป็นอิสระต่อกันทางสถิติ ทางด้านรับใช้จะเครื่องรับแบบเรค ที่มีอัตราวมสูงสุด และศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้งานบริการ ตามมาตรฐานการเข้ารหัสข้อมูลแบบต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

4.1 การจางหายของสัญญาณเนื่องจากมัลติพาท

การจางหายของสัญญาณอันเนื่องมาจากการแพร่กระจายในช่องสัญญาณ แบบมัลติพาท จะเห็นได้ว่าการประมาณการเกิดการจางหายของสัญญาณ เนื่องจากมัลติพาทนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ ซึ่งการจางหายนี้จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งตกกระทบสิ่งปลูกสร้าง หรือ อาคาร หรือ พื้นดินแล้วสะท้อนไปยังเครื่องรับในหลายทิศทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 การแพร่กระจายแบบมัลติพาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นจริงนั้น การคาดเดาจำนวนเส้นทางของสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการแพร่กระจายแบบรอบทิศทางของสายอากาศและสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดมลพิษทางในแต่ละพื้นที่นั้นแตกต่างกัน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับขนาดแถบความถี่ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารอีกด้วย ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการแพร่กระจายแบบแถบความถี่กว้าง

4.2 การพิจารณาการลดทอนสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบ เซลล์ลูตาร์ วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร ดังนั้นจะพิจารณาถึงลักษณะการแพร่กระจายภายนอกอาคารเป็นหลัก

4.2.1 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านธุรกิจ

สภาพแวดล้อมของการให้บริการในย่านธุรกิจ สมมติให้เป็นการแพร่กระจายที่ไม่มีสัญญาณในแนวระดับสายตา เนื่องจากในย่านธุรกิจนั้นจะประกอบไปด้วยอาคาร สิ่งปลูกสร้างจำนวนมากที่เป็นสิ่งกีดขวาง จึงทำให้สัญญาณในแนวระดับสายตานั้นสามารถเกิดขึ้นได้ยาก การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการใช้งานในย่านธุรกิจจริง ๆ นั้น เซลล์สเตชันที่ใช้จะเป็นเซลล์ขนาดเล็กหรือ ไมโครเซลล์ ที่มีกำลังส่งต่ำ ครอบคลุมพื้นที่เป็นวงแคบ

4.2.2 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายในย่านที่อยู่อาศัย

สำหรับการลดทอนสัญญาณในย่านที่อยู่อาศัยนั้น เป็นที่แน่นอนว่าความความสูงสายอากาศที่สถานีฐานสำหรับการให้บริการในย่านที่อยู่อาศัย ส่วนมากแล้วจะมีความสูงมากกว่าความสูงของอาคารบ้านเรือน (นอกจากในกรณีที่ทำกรติดตั้งเซลล์ชนิด ไมโครเซลล์บริเวณเสาไฟฟ้าริมถนน) ซึ่งความสูงจะอยู่ในระดับใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของสิ่งกีดขวาง

4.2.3 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านชานเมือง

สำหรับการลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านชานเมืองนั้น ให้สภาพพื้นที่เป็นพื้นที่โล่ง โดยมีระดับความสูงเฉลี่ยของสิ่งกีดขวางที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นพื้นที่ลักษณะนี้จะมีรัศมีการแพร่กระจายคลื่นของสถานีฐานที่กว้าง

4.3 การพิจารณาในทิศทางจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน

4.3.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

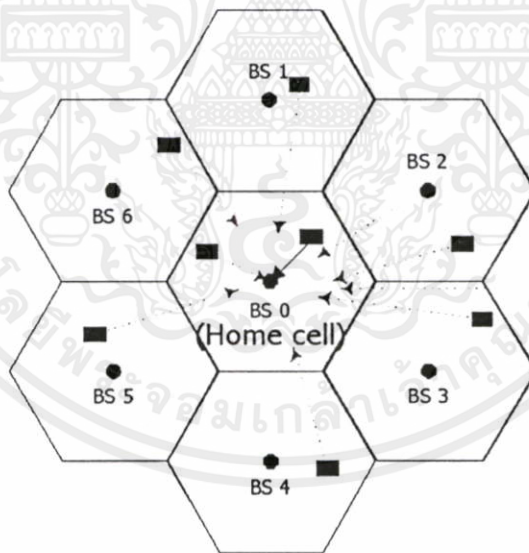
สำหรับสัญญาณแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ของระบบเซลล์ลูตาร์ วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ คือ สัญญาณจากเครื่องลูกข่ายอื่น ๆ ที่พยายามติดต่อสื่อสารกับสถานีฐานเดียวกัน

4.3.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

สำหรับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ จะเกิดจากสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียง ส่งสัญญาณมารบกวนในสถานีฐานหลักที่กำลังพิจารณาอยู่ได้ โดยสัญญาณเหล่านี้จะมีระดับความเข้มสัญญาณที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์ที่พิจารณา ซึ่งทำให้ปริมาณสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงเหล่านี้มีค่าอยู่ที่ระดับหนึ่ง แต่ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายเหล่านี้อยู่บริเวณรอยต่อของเซลล์ จะทำให้เครื่องลูกข่ายเหล่านี้อยู่ในสภาวะเตรียมการแฮนด์ออฟ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ เครื่องลูกข่ายเหล่านี้มีระดับกำลังส่งที่ใกล้เคียงกับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์พิจารณา ที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบมากขึ้น

4.4 แบบจำลองของเครื่องส่ง

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้มีรูปแบบการวางเซลล์ของสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน ประกอบด้วยจำนวนเซลล์ทั้งหมด 7 เซลล์ สถานีฐานตั้งอยู่ตรงกลางของแต่ละเซลล์และกำหนดรัศมีเซลล์เท่ากับหนึ่ง จากรูปที่ 4.2 พิจารณากรณีสัญญาณส่งจากตัวเครื่องโทรศัพท์ผู้ใช้มายังสถานีฐาน

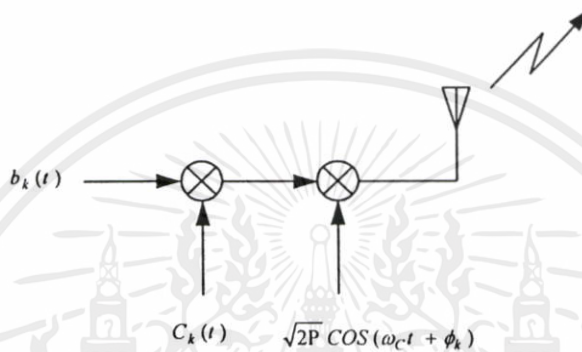


- Mobile Station (MS)
- Base Station (BS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้แบบเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.2 รูปแบบของการวางเซลล์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ เส้นประ คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์จากเซลล์อื่นและภายในเซลล์อ้างอิง (Home Cell) เส้นทึบแสดงสัญญาณของผู้ใช้ที่อ้างอิงที่เราสนใจ

ระบบ W-CDMA ที่พิจารณานั้น ในแต่ละเซลล์มีการกำหนดให้มีผู้ใช้งานพร้อมกันจำนวน K คน นั่นก็คือจะส่งสัญญาณของผู้ใช้หลายคนไปในช่องสัญญาณเดียวกัน ได้พร้อมกัน โดยมีลำดับรหัส (Code sequence) เป็นตัวแบ่งแยกผู้ใช้แต่ละคนที่แตกต่างกัน และกำหนดให้ข้อมูลและรหัสการแผ่สเปกตรัมพิจารณาเป็นเลขฐานสอง โดยมีการคูณกันระหว่างลำดับข้อมูล (data sequence) และลำดับรหัส (Code sequence) กำหนดให้ใช้การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสฐานสอง (Binary Phase Shift Keying : BPSK) แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แบบจำลองของเครื่องส่ง W-CDMA ของผู้ใช้คนที่ k ที่พิจารณา

จากรูปที่ 4.3 ลำดับข้อมูล (Data sequence) ของผู้ใช้แต่ละคน $b_k(t)$ จะถูกคูณด้วยกับลำดับรหัส $c_k(t)$ ด้วยอัตราชิป (Chip Rate) 3.84 Mbit/s : Wide band CDMA จากนั้นจึงผ่านการมอดูเลตแบบ Binary Phase Shift Keying (BPSK) ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกไปมีค่าตามสมการที่ 4.1

$$s_k(t) = \sqrt{2P} b_k(t) c_k(t) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (4.1)$$

โดยที่

- $s_k(t)$ คือสัญญาณส่งของผู้ใช้คนที่ k
- P คือกำลังงานของผู้ใช้งานแต่ละราย
- ω_c คือความถี่เชิงมุมของคลื่นพาห์ (5 MHz : Wide Band CDMA)
- ϕ_k แสดงถึงมุมเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ ผู้ใช้คนที่ k และกำหนดให้มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $[0, 2\pi]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$b_k(t)$ คือลำดับข้อมูล (Data sequence) ของผู้ใช้คนที่ k ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์เลขฐานสอง ที่มีค่าแอมพลิจูดเป็น $(-1,+1)$ ด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

$$b_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_{jk} p_{T_b}(t - jT_b) \quad ; b_{jk} \in \{-1,+1\} \quad (4.2)$$

$c_k(t)$ คือลำดับรหัส (Code sequence) ของผู้ใช้คนที่ k ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์เลขฐานสอง ที่มีค่าแอมพลิจูดเป็น $(-1,+1)$ ด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน อัตราชิป (Chip Rate) 3.84 Mbit/s : Wide band CDMA

$$c_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_{jk} p_{T_c}(t - jT_c) \quad ; c_{jk} \in \{-1,+1\} \quad (4.3)$$

โดยที่ $p_{T_b}(t)$ และ $p_{T_c}(t)$ คือพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีความสูงหนึ่งหน่วยและมีค่าความกว้างเท่ากับ T_b และ T_c
 T_b คือความกว้างของบิตลำดับข้อมูลรหัส
 T_c คือความกว้างของชิพลำดับรหัส
 G_p คือค่าอัตราการขยายการประมวลผล (Processing gain) มีค่าเท่ากับ T_b / T_c

4.5 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการเกิดการจางหายแบบ นาคากามิ-เอ็ม แบบเลือกความถี่ (Frequency-selective Nakagami-m fading) ซึ่งสัญญาณแบบขนานจำนวน L หรือ $s_k(t) = [s_{1k}(t) s_{2k}(t) \dots s_{Lk}(t)]$ ซึ่งถูกส่งออกไปโดยสายอากาศจำนวน L ชุด ผ่านช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่ (frequency-selective fading channel) โดยแต่ละสัญญาณแบบขนานจะได้รับเฟดดิ้งนาคากามิ-เอ็มแบบเลือกความถี่ ซึ่งผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของวงจรกรองความถี่ต่ำเชิงซ้อน (complex low-pass equivalent impulse response) สำหรับสัญญาณแบบขนานของผู้ใช้ที่ k แสดงได้ดังสมการ

$$h_k(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_{lk} \exp(j\theta_{lk}) \delta(t - \tau_{lk}) \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้ $h_k(t)$ ที่อธิบายการกระจายของสัญญาณที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

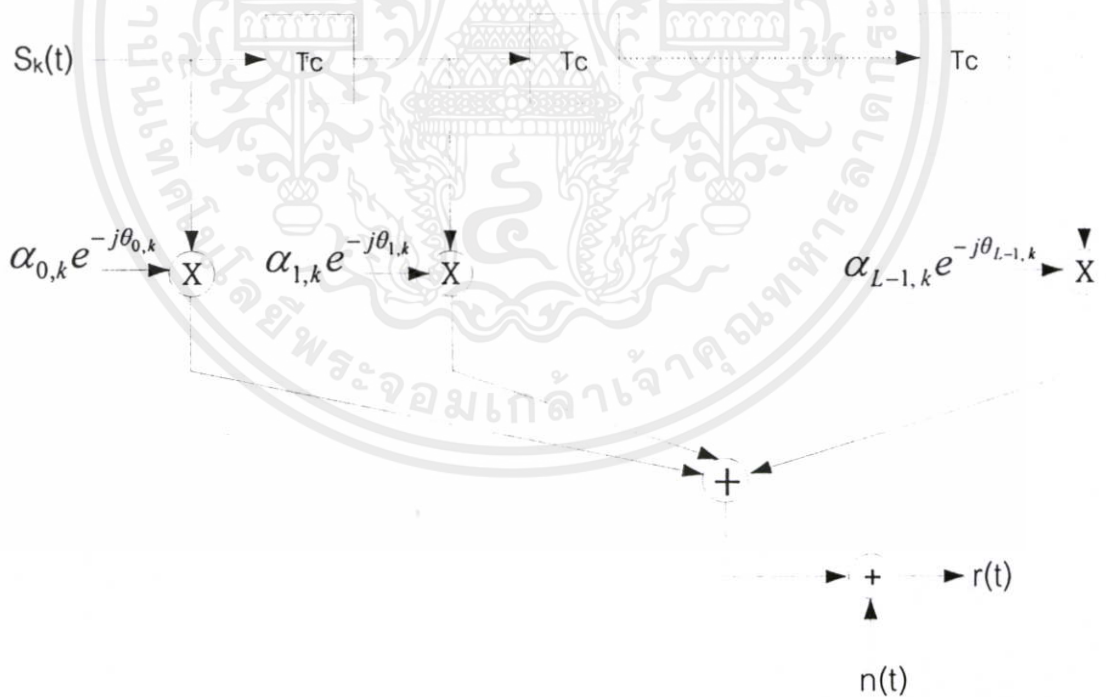
เมื่อ

- α_{lk} คือ แฟกเตอร์การลดทอนสัญญาณ
 θ_{lk} คือ เฟส ซึ่งมีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) ในช่วง $[0, 2\pi)$
 τ_{lk} คือ คีลส์ ซึ่งมีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) $[0, T_s)$
 L_k คือ จำนวนวิถี
 $\delta(t)$ คือ Kronecker Delta-Function

จำนวนวิถี L_k ในสมการที่ (4.4) มีสมการเป็น

$$L_k = \left\lceil \frac{T_m}{T_c} \right\rceil + 1 \quad (4.5)$$

- เมื่อ $[x]$ คือ ค่ามากที่สุดน้อยกว่าหรือเท่ากับ x
 T_m คือ การคีลส์ที่มากที่สุดของช่องสัญญาณ
 T_c คือ ความกว้างชิปของลำดับการแผ่ตั้งฉาก



รูปที่ 4.4 แบบจำลองช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนสัญญาณ α_{lk} ในสมการที่ (4.4) เป็นตัวแทนสุ่มอิสระแบบนาคากามิ ซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function : PDF) เป็น

$$p(\alpha_{lk}) = M(\alpha_{lk}, m_{lk}, \Omega_{lk})$$

$$M(R, m, \Omega) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{-(m/\Omega)R^2} \quad (4.6)$$

เมื่อ

- $\Gamma(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันแกมมา
 m_{lk} คือ พารามิเตอร์เฟดดิ้งแบบนาคากามิ-เอ็ม ของวิถีที่ l ในผู้ใช้ที่ k
 Ω_{lk} คือ โมเมนต์อันดับสองของ α_{lk} หรือ $\Omega_{lk} = E[(\alpha_{lk})^2]$

สมมติให้โครงร่างความแรงของกำลังเฉลี่ยหลายวิถี (Multipath Intensity Profile : MIP) ลดลงเอกซ์โพเนนเชียลเชิงลบ

โดยที่

$$\Omega_{lk} = \Omega_{lk} e^{-\eta(l-1)} ; \eta \geq 0$$

- เมื่อ Ω_{lk} คือ ความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่วิถีแรกในผู้ใช้ที่ k
 η คือ อัตราการลดทอนกำลังเฉลี่ย

พารามิเตอร์เฟดดิ้งแบบนาคากามิ-เอ็ม m_{lk} ในสมการที่ (4.6) เขียนสมการได้

$$m = \frac{E^2[(\alpha_{lk})^2]}{\text{Var}[(\alpha_{lk})^2]} \quad (4.7)$$

เมื่อ m เป็นการแจกแจงของแอมพลิจูดซึ่งแสดงถึงความรุนแรงของการเฟดดิ้งในวิถีที่ L โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า m จะได้แจกแจงในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

- $m = 0.5$ คือ เฟดดิ้งแบบเกาส์ข้างเดียว (One-sided Gaussian fading)
 $m = 1$ คือ เฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh fading)
 $m \rightarrow \infty$ คือ ไม่มีการเฟดดิ้ง

แต่เมื่อ $m > 1$ จะสอดคล้องกับการแจกแจงแบบไรเซียน (Rician) และล็อกนอร์มอล (Lognormal)

โดยความสัมพันธ์ของไรซ์แฟกเตอร์ (Rice factor : k) กับพารามิเตอร์ m แสดงได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = \frac{1}{1 - \left(\frac{k}{1+k}\right)^2} \quad (4.8)$$

เมื่อ k คือ อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณจากวิถีตรงเฉลี่ย
ต่อกำลังของสัญญาณจากวิถีกระจายเฉลี่ย

4.6 แบบจำลองเครื่องรับ

ให้ระบบที่พิจารณาเป็นแบบอะซิงโครนัสที่มีผู้ใช้หลายคน โดยสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะผ่านช่องสัญญาณที่มีการเฟดดิ้ง ซึ่งส่งผลให้ช่องสัญญาณที่พิจารณามีฟังก์ชันการลดทอนของแอมพลิจูด และมีการหน่วงเวลา ดังนั้นสัญญาณข้อมูลที่รับได้จะเกิดการลดทอนแอมพลิจูดด้วยอัตราลดทอน α และเกิดการหน่วงเวลาจาก $d(t)$ เป็น $d(t - \tau)$ ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้งานหลายคนจากภายในเซลล์และภายนอกเซลล์มีค่าตามสมการที่ (4.9)

$$\begin{aligned} r^{(q)}(t) = & \sqrt{2P} \sum_{k=1}^K \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk}^{(q)} c_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) b_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{lk}^{(q)}) \\ & + \sqrt{2P} \sum_{m=1}^M \sum_{l=0}^{L_m-1} \sum_{i=1}^K \alpha_{li}^{(q)} \left(\frac{d_{m,i}}{d_{0,i}} \right)^\beta c_i(t - \tau_{li}^{(q)}) b_i(t - \tau_{li}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{li}^{(q)}) \\ & + n(t) \end{aligned} \quad (4.9)$$

โดยที่

$r^{(q)}(t)$ คือสัญญาณที่รับได้

P คือกำลังงานของผู้ใช้งานแต่ละราย ที่ส่งจากตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่มายังสถานีฐาน

$\alpha_{lk}^{(q)}$ คืออัตราลดทอนของแอมพลิจูดของผู้ใช้คนที่ k วิถีที่ l

$b_k(t)$ คือข้อมูลไบนารีของผู้ใช้คนที่ k โดยมีความกว้างของบิตเป็น T_b

$c_k(t)$ คือรหัสที่ใช้ในการแผ่สเปกตรัมของผู้ใช้คนที่ k โดยมีความกว้างของบิตเป็น T_c

τ_{lk} แสดงถึงการหน่วงเวลา ผู้ใช้คนที่ k วิถีที่ l

M เป็นจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน

$\varphi_{lk}^{(q)} = \phi_k + \theta_{lk} - \omega_c \tau_{lk}^{(q)}$ แสดงถึงเฟสของสัญญาณคลื่นพาห้ ผู้ใช้คนที่ k วิถีที่ l และ

กำหนดให้มีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอในช่วง $[0, 2\pi)$

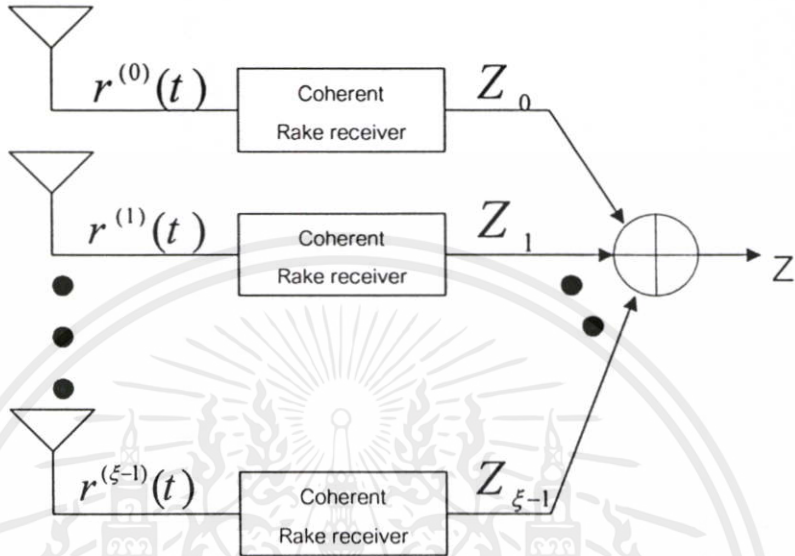
β เป็นระยะทางการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นและกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนบุคคลในวงจำกัดการเผยแพร่ของหน่วยงานไปให้บุคคลภายนอกโดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

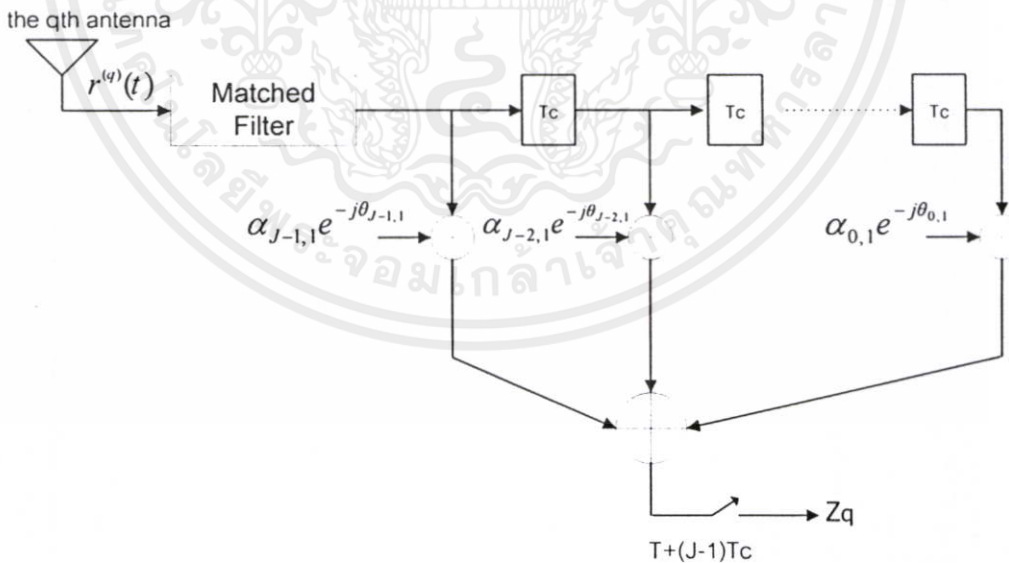
$d_{0,i}$ เป็นระยะทางของผู้ใช้รายที่ i ที่ไปรับคลื่นเซลล์อ้างอิงที่ 0

$d_{m,i}$ เป็นระยะทางของผู้ใช้รายที่ i อยู่ตำแหน่งเซลล์ที่ m

$n(t)$ คือสัญญาณรบกวนขาวแบบบวก (Additive White Gaussian Noise) ซึ่งมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณเท่ากับ $N_0/2$



รูปที่ 4.5 แบบจำลองของภากรับของแต่ละสาขาสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.6 เครื่องรับแบบ RAKE อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาครับจะใช้จำนวนสายอากาศ ξ สาขาแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยในแต่ละสาขาของสายอากาศจะใช้เครื่องรับแบบเรซ[4] ด้วยเทคนิคอัตรารวมสูงสุด(MRC) บนจำนวน J ฟิงเกอร์ (finger) ดังรูปที่ 4.6 ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจะเป็น

$$\begin{aligned} Z &= \sum_{q=0}^{\xi-1} z_q \\ &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \left\{ \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{j1}^{(q)} \int_{jTc}^{T+jTc} r^{(q)}(t) c_1(t-jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt \right\} \\ &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \left\{ \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{j1}^{(q)} S_j^{(q)} + \sum_{j=0}^{J-1} (I_{SI,j}^{(q)} + I_{MAI,j}^{(q)} + I_{OCI,j}^{(q)} + I_{NI,j}^{(q)}) \right\} \end{aligned} \quad (4.10)$$

โดยที่

$S_j^{(q)}$ คือองค์ประกอบของสัญญาณที่ต้องการ

$\alpha_j^{(q)}$ คือค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor)

$I_{SI,j}^{(q)}$ คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดจากตัวเอง (Self Interference : SI) ของผู้ใช้งานอ้างอิงและเซลล์ที่อ้างอิง

$I_{MAI,j}^{(q)}$ คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดแบบเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Interference : MAI) จากผู้ใช้งานคนอื่นตั้งแต่รายที่ k เท่ากับ 2 จนถึงที่ K ราย สำหรับเซลล์ที่อ้างอิง

$I_{OCI,j}^{(q)}$ คือสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่น (Other Cell Interference : OCI) ที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิง ตั้งแต่จำนวนเซลล์ที่ m เท่ากับ 1 จนถึงที่ M เซลล์

$I_{NI,j}^{(q)}$ สัญญาณรบกวนแทรกสอดเนื่องจากสัญญาณรบกวนขาวแบบววกที่ผ่านเอาต์พุตภาครับ

สัญญาณที่ต้องการสามารถหาได้โดยการแทนเงื่อนไข ที่ k เท่ากับ 1 กล่าวคือเป็นสัญญาณของผู้ใช้งานที่อ้างอิง ลงในสมการที่(4.10) ดังนี้

$$\begin{aligned} S_j^{(q)} &= \sqrt{2P} \int_{jTc}^{T+jTc} \left\{ \alpha_{j1}^{(q)} c_1(t - \tau_{j1}^{(q)}) b_1(t - \tau_{j1}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) \right\} c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt \\ &= \sqrt{2P} \alpha_{j1}^{(q)} \int_{jTc}^{T+jTc} (c_1(t))^2 b_1(t) \cos^2(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt \\ &= \sqrt{2P} \alpha_{j1}^{(q)} \int_{jTc}^{T+jTc} b_1(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\omega_c t + 2\varphi_{j1}^{(q)}) \right] dt \\ &= \frac{\sqrt{2P}}{2} T b_0^1 [\alpha_{j1}^{(q)}] \end{aligned} \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนการแทรกสอดที่เกิดจากตัวเองของผู้ใช้งานอ้างอิง ลงในสมการที่ (4.10) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{SI,j}^{(q)} &= \sqrt{2P} \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{l1}^{(q)} c_1(t - \tau_{j1}^{(q)}) b_1(t - \tau_{l1}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{l1}^{(q)}) \\
 &\quad \times c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{l1}^{(q)} c_1(t - \tau_{j1}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_1(t - \tau_{l1}^{(q)}) \\
 &\quad \times \frac{\cos(\varphi_{l1}^{(q)} - \varphi_{j1}^{(q)})}{2} dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{l1}^{(q)} \frac{1}{2} \cos(\varphi_{j,l,1}^{(q)}) \int_{jTc}^{T+jTc} c_1(t - \tau_{j1}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_1(t - \tau_{l1}^{(q)}) dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{j1}^{(q)} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_j-1} \alpha_{l1}^{(q)} \cos(\varphi_{j,l,1}^{(q)}) [b_{-1}^1 R_{l1}(\tau_{j1}^{1,(q)}) + b_0^1 \hat{R}_{l1}(\tau_{j1}^{1,(q)})] \tag{4.12}
 \end{aligned}$$

สัญญาณรบกวนการแทรกสอดแบบเข้าถึงหลายทางจากผู้ใช้อื่น สำหรับเซลล์ที่อ้างอิง ลงในสมการที่(4.10) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{MAI,j}^{(q)} &= \sqrt{2P} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \lambda \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{lk}^{(q)} c_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) b_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \varphi_{lk}^{(q)}) \\
 &\quad \times c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{lk}^{(q)} \frac{1}{2} \cos(\varphi_{j,l,1}^{(q)}) \lambda \int_{jTc}^{T+jTc} c_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_k(t - \tau_{lk}^{(q)}) dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{j1}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk}^{(q)} \cos(\varphi_{j,l,1}^{(q)}) \lambda [b_{-1}^k R_{lk}(\tau_{j1}^{k,(q)}) + b_0^k \hat{R}_{lk}(\tau_{j1}^{k,(q)})] \tag{4.13}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$R_{lk}^{(q)}(\tau_{j1}^{k,(q)})$ และ $\hat{R}_{lk}^{(q)}(\tau_{j1}^{k,(q)})$ คือค่า Cross-correlation function [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิง ลงในสมการที่ (4.10) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{OCI,j}^{(q)} &= \sqrt{2P} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \lambda \int_{jTc}^{T+jTc} \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{li}^{(q)} \left(\frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta c_i(t - \tau_{li}^{(q)}) b_i(t - \tau_{li}^{(q)}) \cos(\omega_c t + \phi_{li}^{(q)}) \\
 &\quad \times c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \phi_{j1}^{(q)}) dt \\
 &= \sqrt{2P} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{L_k-1} \lambda \alpha_{j1}^{(q)} \alpha_{li}^{(q)} \left(\frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta \frac{1}{2} \cos(\phi_{j1,l}^{(q)}) \\
 &\quad \times \int_{jTc}^{T+jTc} c_i(t - \tau_{li}^{(q)}) c_1(t - jTc) b_i(t - \tau_{li}^{(q)}) dt \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \lambda \alpha_{j1}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{li}^{(q)} \left(\frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta \cos(\phi_{j1,l}^{(q)}) [b_{-1}^i R_{li}(\tau_{j1}^{i,(q)}) + b_0^i \hat{R}_{li}(\tau_{j1}^{i,(q)})]
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

สัญญาณรบกวนแทรกสอดเนื่องจากสัญญาณรบกวนขาวแบบบวกที่ผ่านเอาทีพุทภาครับ จะได้

$$I_{NI,j}^{(q)} = \int_{jTc}^{T+jTc} n(t) \alpha_{j1}^{(q)} c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \phi_{j1}^{(q)}) dt \tag{4.15}$$

นำสมการที่ (4.11) ถึง (4.15) มาแทนในสมการ (4.10) จะได้

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_{q=0}^{\xi-1} Z_q \\
 &= \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} T b_0^1 [\alpha_{j1}^{(q)}]^2 \\
 &\quad + \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{j1}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{li}^{(q)} \cos(\phi_{j1,l}^{(q)}) [b_{-1}^1 R_{li}(\tau_{j1}^{1,(q)}) + b_0^1 \hat{R}_{li}(\tau_{j1}^{1,(q)})]
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ฟรีกับหน่วยงานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
& + \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{k=2}^K \sum_{j=0}^{J-1} \alpha_{j1}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_k-1} \alpha_{lk}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,1}^{(q)}) \lambda [b_{-1}^k R_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)}) + b_0^k \hat{R}_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)})] \\
& + \frac{\sqrt{2P}}{2} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \sum_{j=0}^{J-1} \lambda \alpha_{j1}^{(q)} \sum_{l=0}^{L_i-1} \alpha_{li}^{(q)} \left(\frac{d_{m,i}}{d_{1,i}} \right)^\beta \cos(\varphi_{jl,1}^{(q)}) [b_{-1}^i R_{li}(\tau_{jl}^{i,(q)}) + b_0^i \hat{R}_{li}(\tau_{jl}^{i,(q)})] \\
& + \int_{jTc}^{T+jTc} n(t) \alpha_{j1}^{(q)} c_1(t - jTc) \cos(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt
\end{aligned} \tag{4.16}$$

ดังนั้น จากสมการ (4.16) เราสามารถสรุปได้ว่า เทอมแรกเป็นสัญญาณที่เราต้องการ เทอมที่สองคือสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดจากมันตัวเอง เทอมที่สามเป็นสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากผู้ใช้งานอื่น สำหรับเซลล์ที่อ้างอิง เทอมที่สี่เป็นสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิงและเทอมสุดท้ายเป็นสัญญาณรบกวนขาวแบบบวก

4.7 การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอด

(Signal to Interference Ratio : SIR) กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

การหาค่า SIR ก็คือ การหาค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณที่เราต้องการต่อผลรวมของค่าสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่ด้านเครื่องรับ นั่นก็คือ

$$SIR = \frac{P_{Signal}}{\sigma_{Total}^2} \tag{4.17}$$

กำหนดให้เทอมของสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่ใช้ในการประมาณแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ดังนั้นเทอมของสัญญาณรบกวนแทรกสอดทั้ง SI MAI OCI และ NI ตามลำดับ และมีค่าความแปรปรวน (Variance) ดังนี้

$$\sigma^2(I) = E(I^2) - E^2(I)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากใช้การประมาณแบบเกาส์เซียน ดังนั้น การคำนวณค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนแทรกสอด จะมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง $E(I) = 0$ จะกลายเป็น

$$\sigma^2(I) = E(I^2)$$

เทอมของการหาค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากตัวเองจากสมการ(4.16) ได้

$$\begin{aligned} \sigma^2_{SI,j} &= E(I_{SI,j}^2) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_1-1} E(\alpha_{ll}^{(q)} \cos(\varphi_{jl}^{1,(q)}))^2 E[b_{-1}^1 R_{ll}(\tau_{jl}^{1,(q)}) + b_0^1 \hat{R}_{ll}(\tau_{jl}^{1,(q)})]^2 \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_1-1} (E(\alpha_{ll}^{(q)})^2) E(\cos^2(\varphi_{jl}^{1,(q)})) (T^2 / Gp) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} T^2 \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L_1-1} (E(\alpha_{ll}^{(q)})^2) (1/2Gp) \end{aligned} \quad (4.18)$$

เทอมของการหาค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอดเข้าถึงหลายทางจากผู้ใช้อื่น สำหรับเซลล์ที่อ้างอิงจากสมการ (4.16) จะได้

$$\begin{aligned} \sigma^2_{MAI,j} &= E(I_{MAI,j}^2) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{K=2}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_1-1} E(\alpha_{lk}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,k}^{(q)}))^2 E[b_{-1}^k R_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)}) + b_0^k \hat{R}_{lk}(\tau_{jl}^{k,(q)})]^2 \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{K=2}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_1-1} (E(\alpha_{lk}^{(q)})^2) E(\cos^2(\varphi_{jl,k}^{(q)})) (2T^2 / 3Gp) \\ &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} T^2 \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{K=2}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{jl}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_1-1} (E(\alpha_{lk}^{(q)})^2) (1/3Gp) \end{aligned} \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเทอมของการหาค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอดของผู้ใช้งานจากเซลล์อื่นที่เข้ามารบกวนเซลล์ที่อ้างอิงจากสมการ (4.16) จะเป็น

$$\begin{aligned}
 \sigma_{OCI,j}^2 &= E(I_{OCI,j}^2) \\
 &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_i-1} E(\alpha_{li}^{(q)} \cos(\varphi_{jl,i}^{(q)}))^2 E \left[\left(\frac{d_{m,i}}{d_{0,i}} \right)^\beta \right]^2 \\
 &\quad \times E[b_{-1}^i R_{li}(\tau_{jl}^{1,(q)}) + b_0^i \hat{R}_{li}(\tau_{jl}^{1,(q)})]^2 \\
 &= \frac{(\sqrt{2P})^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_i-1} (E(\alpha_{li}^{(q)})^2) E(\cos^2(\varphi_{jl,i}^{(q)})) \frac{1}{9} (2T^2 / 3Gp) \\
 &= \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2}{4} \frac{1}{9} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \sum_{l=0}^{L_i-1} (E(\alpha_{li}^{(q)})^2) (1/3Gp)
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

เทอมสุดท้ายคือค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนขาวแบบบวกรบกวนจากสมการ (4.16) นั่นคือ

$$\begin{aligned}
 \sigma_{NI,j}^2 &= E(I_{NI,j}^2) \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} E \left\{ \int_{jTc}^{T+jTc} n^2(t) (\alpha_{j1}^{(q)})^2 c_{(1)}^2 (t-jTc) \cos^2(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)}) dt \right\} \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} E \left\{ \int_{jTc}^{T+jTc} n^2(t) (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \left(\frac{1 + \cos 2(\omega_c t + \varphi_{j1}^{(q)})}{2} \right) dt \right\} \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} E \left(\frac{1}{2} T (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \frac{N_0}{2} \right) \\
 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \frac{N_0}{4} T (\alpha_{j1}^{(q)})^2
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลรวมของค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนแทรกสอด จากสมการที่ (4.18) ถึง (4.21) นั้นคือ

$$\begin{aligned} \sigma_{Total}^2 &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} ((E(I_{SI,j}^2) + E(I_{MAI,j}^2) + E(I_{OCI,j}^2) + E(I_{NI,j}^2))) \\ &= \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j,1}^{(q)})^2 \left\{ \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2}{4} \sum_{l=0, l \neq j}^{L-1} (E(\alpha_{l,1}^{(q)})^2) + \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2}{4} \sum_{k=2}^K \lambda \sum_{l=0}^{L_k-1} (E(\alpha_{l,k}^{(q)})^2) \right. \\ &\quad \left. + \frac{(\sqrt{2P})^2 T^2}{4} \frac{1}{9} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^K \lambda \sum_{l=0}^{L_i-1} (E(\alpha_{l,i}^{(q)})^2) + \frac{N_o T}{4} \right\} \end{aligned} \quad (4.22)$$

ในการพิจารณาการควบคุมกำลังสัญญาณที่สมบูรณ์ก็คือ การควบคุมให้ระดับของสัญญาณผู้ใช้งาน ไม่ว่าจะผู้ใช้จะอยู่ใกล้สถานีฐานหรือไกลออกไปมีค่าเฉลี่ยของกำลังสัญญาณของผู้ใช้งานทุกรายมีค่าเฉลี่ยที่เท่าๆกัน ซึ่งกำหนดให้ $(\sqrt{2P}) = A$ กล่าวคือ ค่า A ผู้ใช้งานทุกรายมีค่ากำลังเฉลี่ยสัญญาณที่เท่าๆกันนั่นเอง ดังนั้นนำสมการที่ (4.14) ในเทอมแรกมาทำการยกกำลังสองเพื่อให้ได้ค่ากำลังสัญญาณที่ต้องการและนำสมการที่ (4.22) แทนในสมการ (4.17) จะได้

$$\begin{aligned} SIR &= \frac{P_{signal}}{\sigma_{Total}^2} \\ &= \frac{\frac{A^2 T^2}{4} \left\{ \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j,1}^{(q)})^2 \right\}^2}{\frac{A^2 T^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j,1}^{(q)})^2 \left\{ \frac{1}{2Gp} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{l,1}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \sum_{k=2}^K \lambda \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{l,k}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \frac{MK}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{l,i}^{(q)})^2 + \frac{N_o}{2Eb} \right\}} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2}{\frac{1}{2Gp} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \sum_{k=2}^K \lambda \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 + \frac{1}{3Gp} \frac{MK\lambda}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{No}{2Eb}} \\
&= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2}{\Omega_0 \left\{ \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \frac{1}{2Gp} + \frac{(K-1)\lambda}{3Gp} \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} + \frac{K\lambda}{3Gp} \frac{M}{9} \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} + \frac{No}{2EbK\Omega_0} \right\}} \quad (4.23)
\end{aligned}$$

4.8 การวิเคราะห์ค่า อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอด

(Signal to Interference Ratio : SIR) กรณีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์

จากสมการ (4.23) เป็นการแสดงในกรณีการควบคุมกำลังสัญญาณที่สมบูรณ์ แต่หากระดับกำลังสัญญาณของผู้ใช้งานทุกราย ทั้งภายในเซลล์ที่อ้างอิงและภายนอกเซลล์มีค่าเฉลี่ยที่ไม่เท่ากันแล้ว ค่าระดับกำลังสัญญาณของตัวแปร A จะกลายเป็น A_k ของผู้ใช้งานทั้งหมด K ราย โดยกำหนดให้ A_k เป็นตัวแปรสุ่มและมีการแจกแจงอย่างสม่ำเสมอในช่วง $[A-V, A+V]$ ดังนั้นเราสามารถทราบค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น [1] ดังแสดงในสมการที่ (4.24)

$$p(A_k) = \frac{1}{2V} ; A - V \leq A_k \leq A + V \quad (4.24)$$

เมื่อ V เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณ ดังนั้นค่า SIR จากสมการที่ (4.23) จะเป็น

$$SIR = \frac{\frac{A^2 T^2}{4} \left\{ \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2 \right\}^2}{\frac{A^2 T^2}{4} \sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{ji}^{(q)})^2 \left\{ \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \sum_{k=2}^K \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 \right.} \\
\left. + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \frac{MK}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{No}{2Eb} \right\}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2}{\left\{ \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{l1}^{(q)})^2 + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \sum_{k=2}^K \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{lk}^{(q)})^2 \right. \\ \left. + \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{\lambda}{3Gp} \frac{MK}{9} \sum_{l=0}^{L-1} E(\alpha_{li}^{(q)})^2 + \frac{N_0}{2Eb} \right\}}$$

$$= \frac{\sum_{q=0}^{\xi-1} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2}{\Omega_0 \left\{ \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} + \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \frac{(K-1)\lambda}{3Gp} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \right. \\ \left. + \sum_{l=0}^{L-1} e^{-l\delta} \frac{K\lambda}{3Gp} \frac{M}{9} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) + \frac{N_0}{2E_b \Omega_0} \right\}} \quad (4.25)$$

กำหนดให้

$$Y = \frac{1}{\Omega_0} \sum_{j=0}^{J-1} (\alpha_{j1}^{(q)})^2 \quad (4.26)$$

และ

$$H = \frac{\xi}{\left\{ \sum_{l=0}^L e^{-l\delta} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \frac{1}{2Gp} + \sum_{l=0}^L e^{-l\delta} \frac{(K-1)\lambda}{3Gp} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) \right. \\ \left. + \sum_{l=0}^L e^{-l\delta} \frac{K\lambda}{3Gp} \frac{M}{9} \left(1 + \frac{V^2}{3A^2}\right) + \frac{N_0}{2E_b \Omega_0} \right\}} \quad (4.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบ

การวิเคราะห์สมรรถนะและผลกระทบ จากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของระบบเซลล์กูลาร์แบบวายแบนด์ ซีดีเอ็มเอในวิทยานินท์นี้ เราสามารถหาได้จากค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดบิตข้อมูล (Probability of Error) แสดงได้โดย[3]

$$P_e(\sqrt{HY}) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{HY}) \quad (4.28)$$

โดยที่
$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt \quad (4.29)$$

เพื่อหาผลสำเร็จของ $P_e(Y)$ ได้ง่ายขึ้น จึงแปลงสมการ (4.29) โดยพิจารณาจากอินทิเกรตต่อไปนี้

$$\int_x^{\infty} e^{-at^2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{2a} \operatorname{erfc}(ax) \Big|_x^{\infty} \quad (4.30)$$

และจากการอินทิเกรตสองชั้น

$$\int_0^{\infty} \int_x^{\infty} e^{-(u^2+v^2)} dudv = \int_0^{\infty} e^{-u^2} du \int_x^{\infty} e^{-v^2} dv \quad (4.31)$$

เพื่อพิจารณา พจน์ทางด้านซ้ายของสมการที่ (4.31) ร่วมกับสมการ (4.28) และ (4.29) จะได้ว่า

$$\int_0^{\infty} e^{-u^2} du + \int_x^{\infty} e^{-v^2} dv = \frac{\pi}{2} P_e(x) \quad (4.32)$$

พิจารณาพจน์ทางด้านซ้ายของสมการ (4.31) โดยเปลี่ยนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว โดยกำหนดให้

$$u = r \cos \theta$$

$$v = r \sin \theta$$

และ

$$dudv = r dr d\theta \quad (4.33)$$

นำสมการ (4.33) ไปแทนในสมการการอินทิเกรตสองชั้น ในสมการที่ (4.31) จะได้

$$\int_0^{\infty} \int_x^{\infty} e^{-(u^2+v^2)} dudv = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_{\frac{x}{\sin \theta}}^{\infty} e^{-r^2} r dr d\theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp\left[-\frac{x^2}{\sin^2 \theta}\right] d\theta \quad (4.34)$$

จากสมการที่ (4.32) และ (4.34) จะได้ว่า

$$P_e(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp\left[-\frac{x^2}{\sin^2 \theta}\right] d\theta \quad (4.35)$$

สำหรับ Y_j คือการลดทอนสัญญาณหลายวิถีที่มีการกระจายแบบ นาคากามิ ยกกำลังสอง และถูกนอร์มอลไลซ์ สามารถแสดงได้เป็น

$$Y_j = \frac{\alpha_j^2}{\Omega_0}$$

โดย Y_j มี PDF เป็น

$$P_{y_j}(Y_j) = \frac{Y_j^{(m-1)}}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\lambda_j}\right)^m e^{(-m/\lambda_j)Y_j}; Y_j \geq 0 \quad (4.36)$$

เมื่อ

$$\lambda_j = e^{(-\alpha)}$$

และ $\Gamma(\cdot)$ คือฟังก์ชันแกมมา

และเมื่อสมมติให้ตัวแปรสุ่ม Y_j ทั้งหมดไม่ขึ้นกับค่าทางสถิติ จะได้

$$P_{y_1, y_2, \dots, y_j}(Y_1, Y_2, \dots, Y_j) = \prod_{j=1}^J p_{y_j}(Y_j) \quad (4.37)$$

การหาค่าอัตราบิดผิดพลาด P_e สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P_e = \int_0^\infty \int_0^\infty \dots \int_0^\infty P_e\left(\sqrt{H \sum_{j=0}^{J-1} Y_j}\right) p_{y_1, y_2, \dots, y_j}(Y_1, Y_2, \dots, Y_j) dy_1 dy_2 \dots dy_j$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 P_e &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty P_e \left(\sqrt{H \sum_{j=1}^J Y_j} \right) \prod_{j=1}^J P_{y_j}(Y_j) dy_1 dy_2 \dots dy_J \\
 P_e &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp \left[-\frac{H \sum_{j=1}^J Y_j}{\sin^2 \theta} \right] d\theta \cdot \prod_{j=1}^J P_{y_j}(Y_j) dy_1 dy_2 \dots dy_J \\
 P_e &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \prod_{j=1}^J I_j(\theta) d\theta
 \end{aligned} \tag{4.38}$$

เมื่อ

$$I_j(\theta) = \int_0^\infty \exp \left(-\frac{H Y_j}{\sin^2 \theta} \right) P_{y_j}(Y_j) dY_j \tag{4.39}$$

แทน (4.35) ลงในสมการ (4.38) จะได้

$$I_j(\theta) = \left(\frac{m \sin^2 \theta}{H e^{-\sigma(L-1)} + m \sin^2 \theta} \right)^m \tag{4.40}$$

ดังนั้นเมื่อแทน สมการ (4.39) ลงในสมการ (4.37) จะได้

$$P_e = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \prod_{j=1}^J \left(\frac{m \sin^2 \theta}{H e^{-\sigma(L-1)} + m \sin^2 \theta} \right)^m d\theta \tag{4.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์เชิงเลข

ในบทนี้เสนอผลการวิเคราะห์เชิงเลขอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ เซลล์ลูตาร์วายแบนด์ ซีดีเอ็มเอ เช่นการอินเตอร์เฟียร์เรนทที่เกิดจากภายในเซลล์พิจารณา และจากเซลล์ภายนอก อีกทั้งอัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการลักษณะต่าง ๆ เมื่ออัตราการส่งข้อมูลเปลี่ยนแปลงไปแต่ระบบยังคงใช้ค่าอัตราชิป (Chip Rate) ที่ 3.84 Mbps : แบนด์วิดท์ 5 MHz เท่าเดิม จะทำให้ค่าอัตราการขยายการประมวลผลระบบ (Processing Gain : G_p) เปลี่ยนแปลง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการ พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการอินเตอร์เฟียร์เรนทที่เกิดจากจากอัตราการส่งข้อมูลที่ต่างกันเมื่อระบบให้บริการลักษณะต่าง ๆ โดยทำการพิจารณาจากค่าความผิดพลาดบิตเฉลี่ย (Average Probability of Bit Error) โดยใช้โปรแกรม MATLAB สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.41 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งมีผลต่อสมรรถนะของระบบ โดยพารามิเตอร์ที่พิจารณาคือ ค่า E_b/N_0 จำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ลูตาร์ (K) อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณ (δ) การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ ($V=0$) การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ ($V=0.7071A$ และ A) จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน (M) อัตราการขยายการประมวลผล (G_p) ค่า Voice activity factor (λ) จำนวนวิถี (L) จำนวนฟิงเกอร์ (J) จำนวนสาขาสายอากาศ (ζ) ซึ่งแบ่งตามหัวข้อต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และค่า E_b/N_0 โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบ MPEG-1 (1.5Mbps), MPEG-2 (15Mbps) MPEG-4 (500kbps) , H.261 (2Mbps), H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุดของอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสและ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน

5.1.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการสูงสุดของ แต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1 เซลล์

5.1.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการสูงสุดของ แต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนเพื่อการค้าเท่านั้น มิใช่สาธารณสมบัติหรือสาธารณประโยชน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูตาร์ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลล์ข้างเคียง

5.2.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์

5.2.2 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสแบบ H.263 (768kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์

5.2.3 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสแบบ WWW (16.0 kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์

5.2.4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสแบบ Voice (8.0 kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์

5.3 พิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัสต่าง ๆ โดยมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

5.3.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 ที่อัตราการส่งข้อมูล 28.8 kbps และ 768 kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 ที่อัตราการส่งข้อมูล 28.8kbps และ 500 kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

5.3.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เว็ดด้วยเว็บ ที่อัตราการส่งข้อมูล 16.0k kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

5.3.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เสียง ที่อัตราการส่งข้อมูล 8.0k kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

5.4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลูลาร์ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ค่า Voice activity factor

5.4.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 ที่อัตราการส่งข้อมูล 768 kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

5.4.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 ที่อัตราการส่งข้อมูล 500 kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

5.4.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เว็ดด้วยเว็บ ที่อัตราการส่งข้อมูล 16.0k kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

5.4.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เสียง ที่อัตราการส่งข้อมูล 8.0k kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟิงเกอร์ ให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ลู่ดาร์

5.5.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 (768kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 4,6 และ 10

5.5.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 (500kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 4,6 และ 10

5.5.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส WWW (16.0 kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 4,6 และ 10

5.5.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส Voice (8.0 kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 4,6 และ 10

5.6 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ดาร์ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส พิจารณาการปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนของสายอากาศ เมื่อการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์

5.6.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 (500kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟิงเกอร์ และสาขาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดูดาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.6.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 (768kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์ และสาขาของสายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดูดาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.6.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส WWW (16.0 kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์ และสาขาของสายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดูดาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.6.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส Voice (8.0 kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์ และสาขาของสายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดูดาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.7 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบกับค่า Eb/No และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูดาร์ ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ โดยพิจารณาในอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส เมื่อการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.7.1 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูดาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 500kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.7.2 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูดาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ H.263 ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 768kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

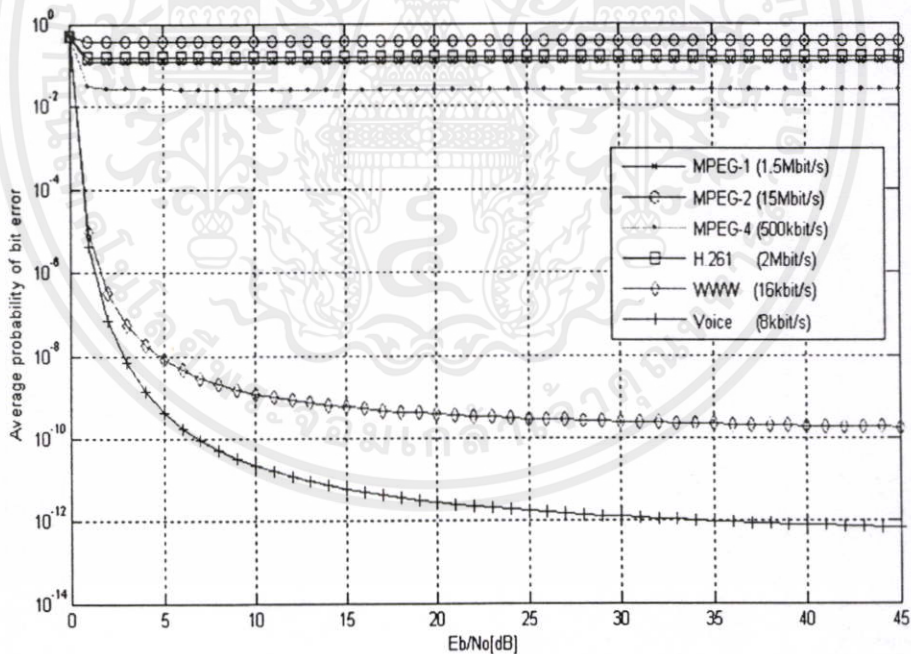
5.7.3 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูดาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ WWW ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 16kbps เมื่อมีการ

เอกสารนี้เป็นความลับ กวคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.4 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์คู่ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ Voice ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 8kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

5.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และค่า E_b/N_0 โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบ MPEG-1 (1.5Mbps), MPEG-2 (15Mbps) MPEG-4 (500kbps) , H.261 (2Mbps), H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุดของอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสและ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน

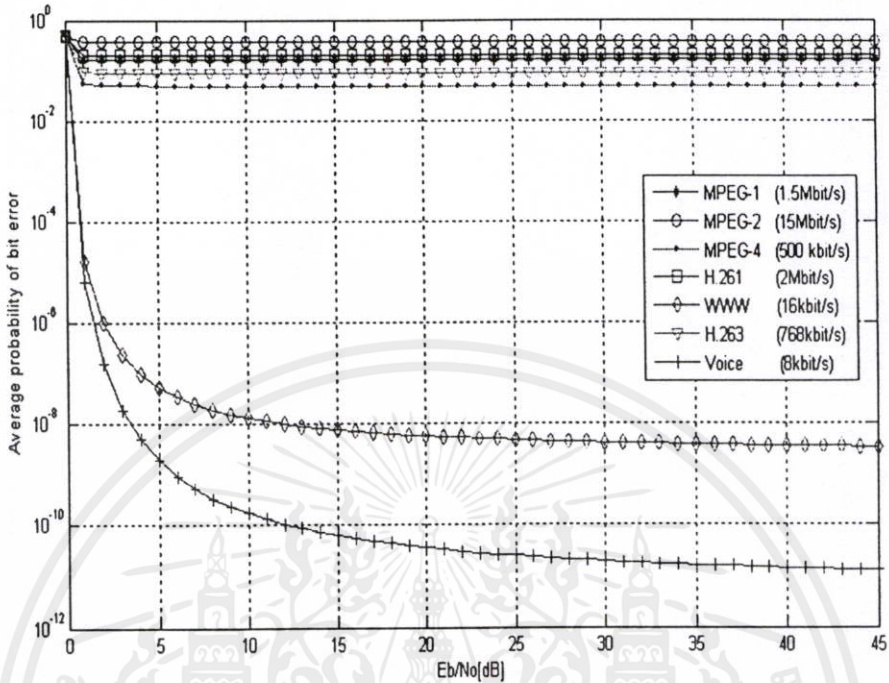
5.1.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการสูงสุดของ แต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1 เซลล์



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $K=20$, $\lambda = 3/8$, $V = 0$, $M = 1$ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการสูงสุดของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

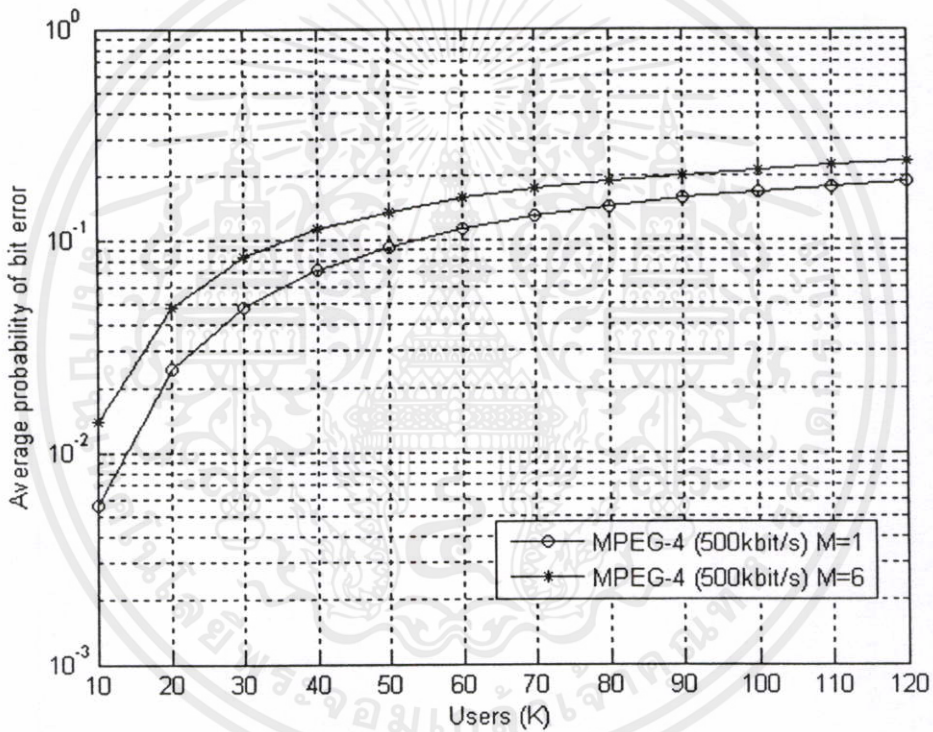


รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $K=20$, $\lambda = 3/8$, $V = 0$, $M = 6$

รูปที่ 5.1 และ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลเพื่อการให้บริการสูงสุดของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส จะเห็นว่าเมื่อระบบมีอัตราการข้อมูลที่สูงขึ้น จะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบเพิ่มมากขึ้น และจากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าระบบมีอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นกว่า กราฟในรูปที่ 5.1 เนื่องจากผลกระทบรบกวนจากเซลล์ข้างเคียงนั่นเอง อย่างไรก็ตามจากรูปทั้งสองจะพบว่าผลที่ได้ นั้นเมื่อเราเพิ่มค่า E_b / N_0 จะทำให้ค่าความผิดพลาดบิตเฉลี่ยลดลงได้ระดับหนึ่งแต่หากเส้นกราฟเริ่มเข้าใกล้เส้นตรง ถึงแม้จะเพิ่มค่า E_b / N_0 มากขึ้น ก็ไม่ทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากระบบถูกรบกวนจากผู้ใช้อื่นมากเกินไป

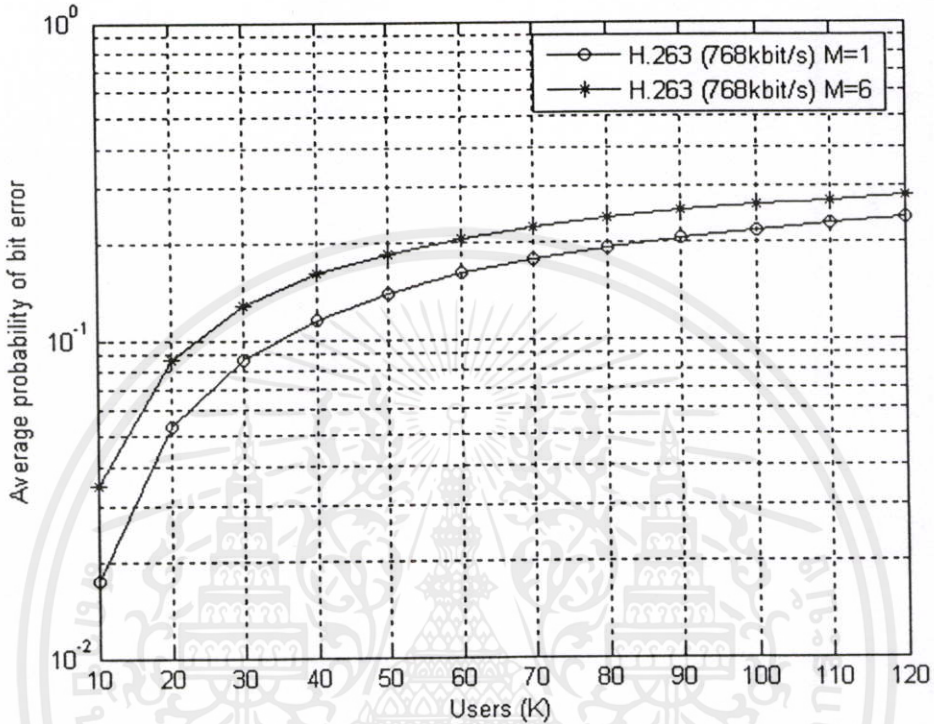
5.2 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียง

5.2.1 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R = 500$ kbps, $M=1,6$

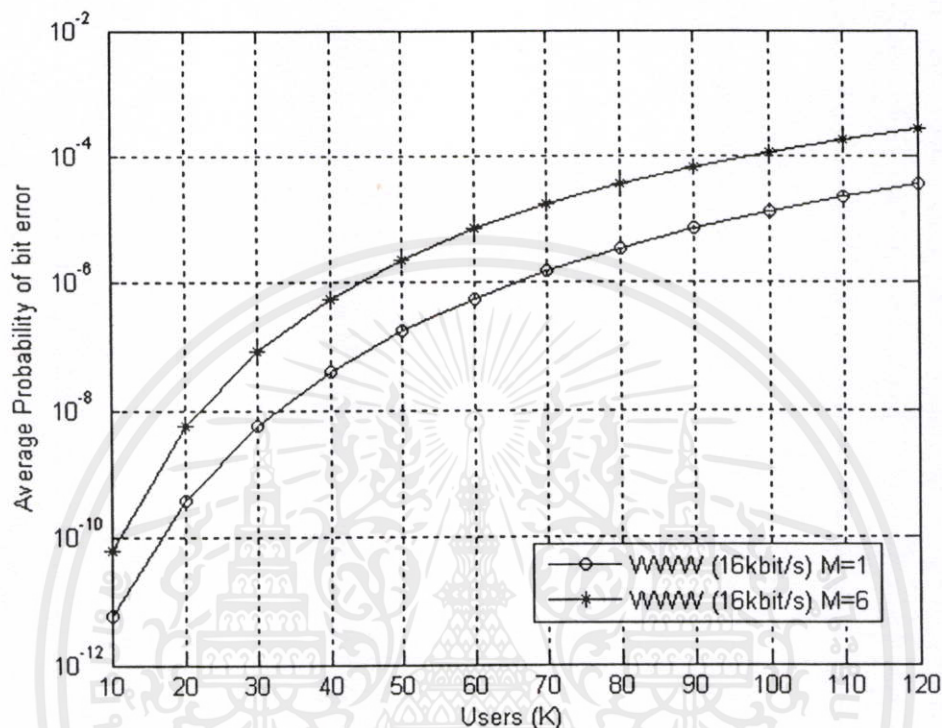
5.2.2 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสแบบ H.263 (768kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R = 768$ kbps, $M=1,6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

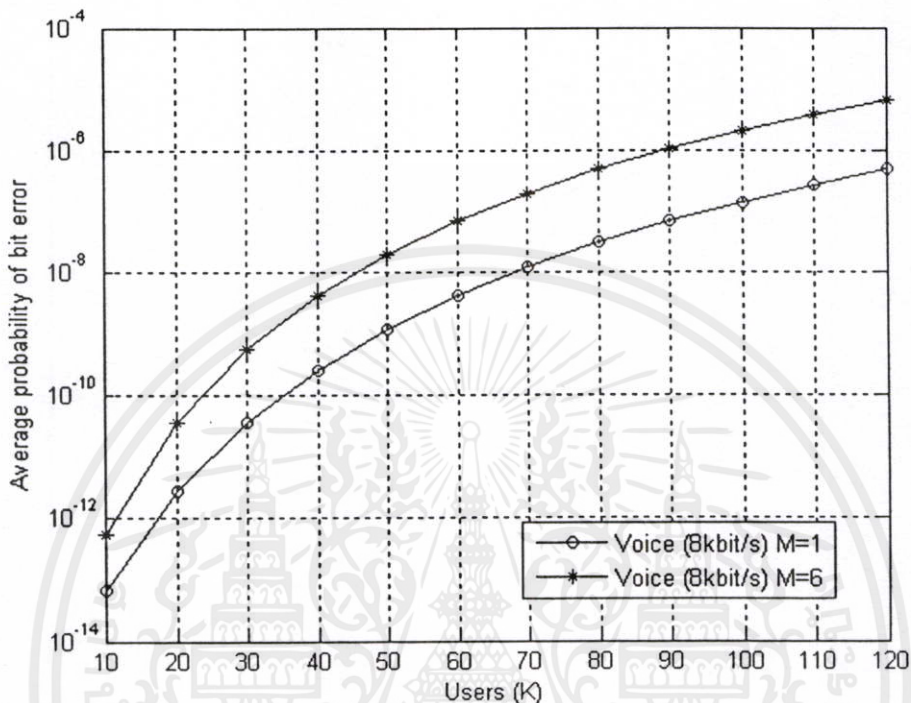
5.2.3 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสแบบ WWW (16.0 kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R = 16$ kbps, $M=1,6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสแบบ Voice (8.0 kbps) พิจารณาผลจำนวนผู้ใช้งานที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 1,6 เซลล์



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $V = 0$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $R = 8$ kbps, $M=1,6$

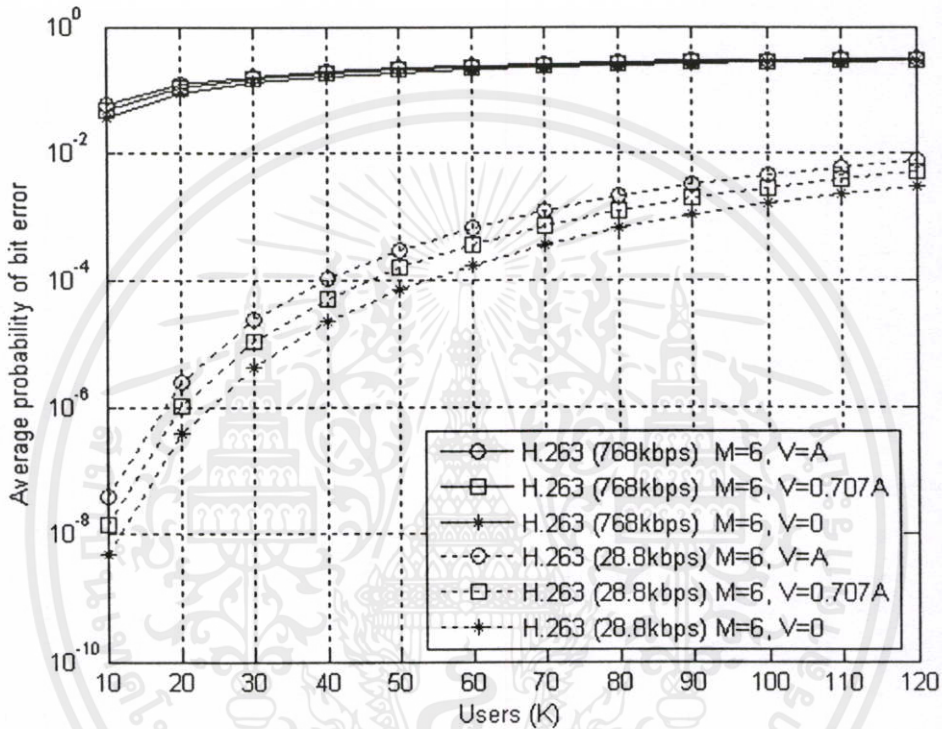
จากรูปที่ 5.3 ถึง 5.6 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณและพิจารณากรณีระบบมีการรบกวนจากผู้ใช้งานภายในเซลล์ที่พิจารณาและกรณีระบบมีการรบกวนจากผู้ใช้งานอื่นจากเซลล์ข้างเคียง การวิเคราะห์ เมื่อมีผู้ใช้งานในระบบเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบเพิ่มมากขึ้น และหากมีการรบกวนจากผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงด้วยแล้วนั้นยิ่งทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย กล่าวคือระบบมีการรองรับผู้ใช้งานได้ลดลง และจากรูปที่ 5.3 และ 5.4 จะพบว่ากราฟจะเริ่มเป็นเส้นตรงเร็วกว่ารูปที่ 5.5 และ 5.6 เนื่องจากความต้องการใช้อัตราการส่งสัญญาณข้อมูลที่มากขึ้นกรณีข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียจะมากกว่าการกรณีการส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นแบบ เวิลด์ด้วยเว็บ หรือ เสียง นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เป็นเหตุผลที่อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 พิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัสต่าง ๆ โดยมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

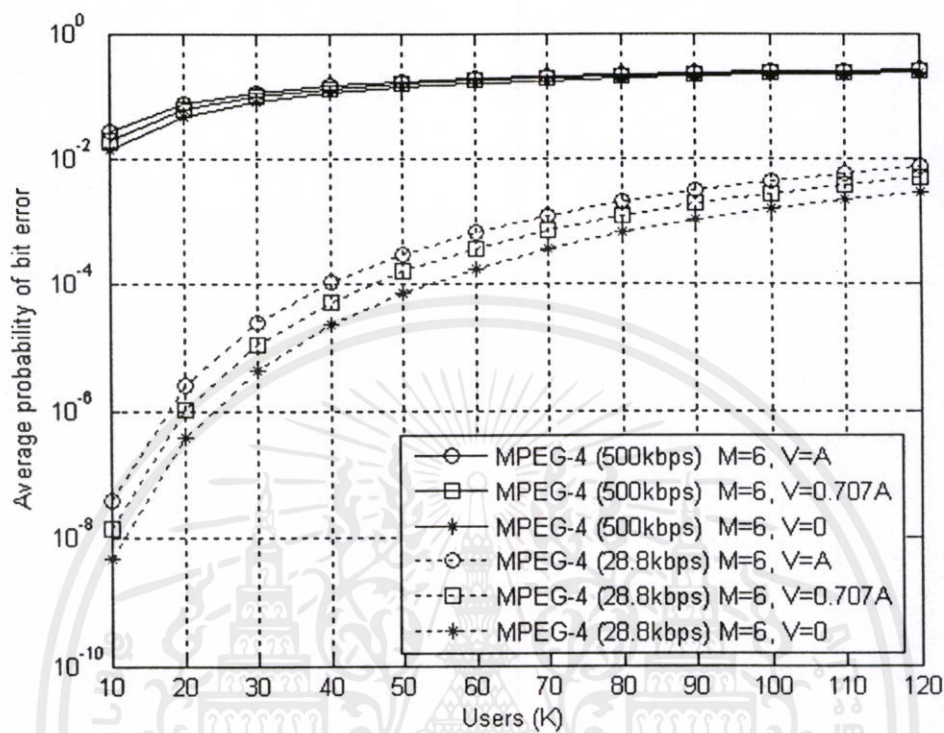
5.3.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 ที่อัตราการส่งข้อมูล 28.8 kbps และ 768 kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R = 28.8$ kbps, 768 kbps และพิจารณาที่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

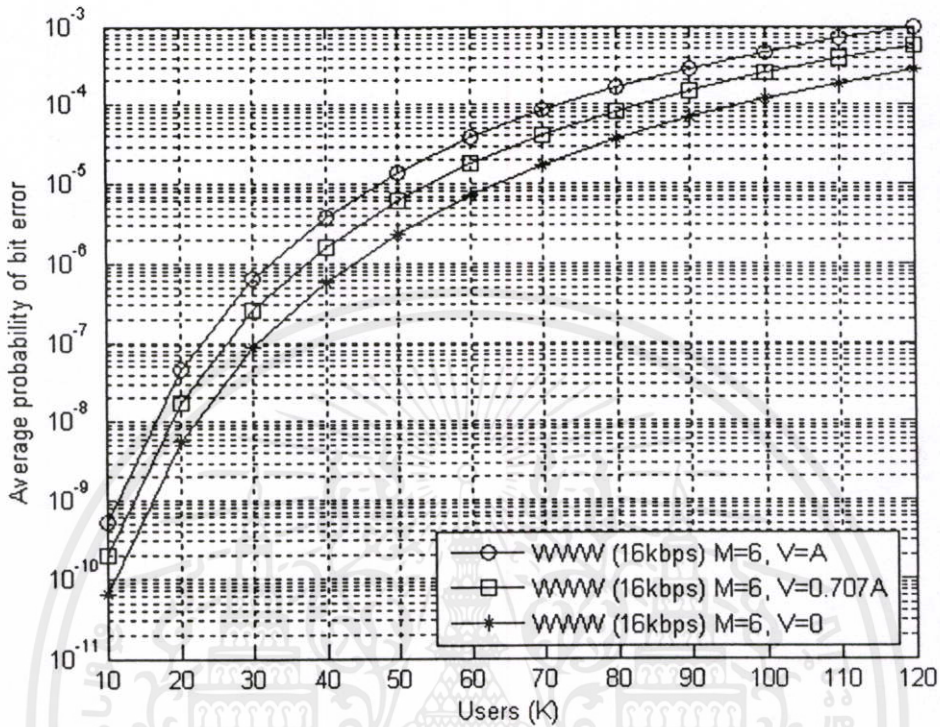
5.3.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 ที่อัตราการส่งข้อมูล 28.8kbps และ 500kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R = 28.8$ kbps, 500 kbps และพิจารณาที่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

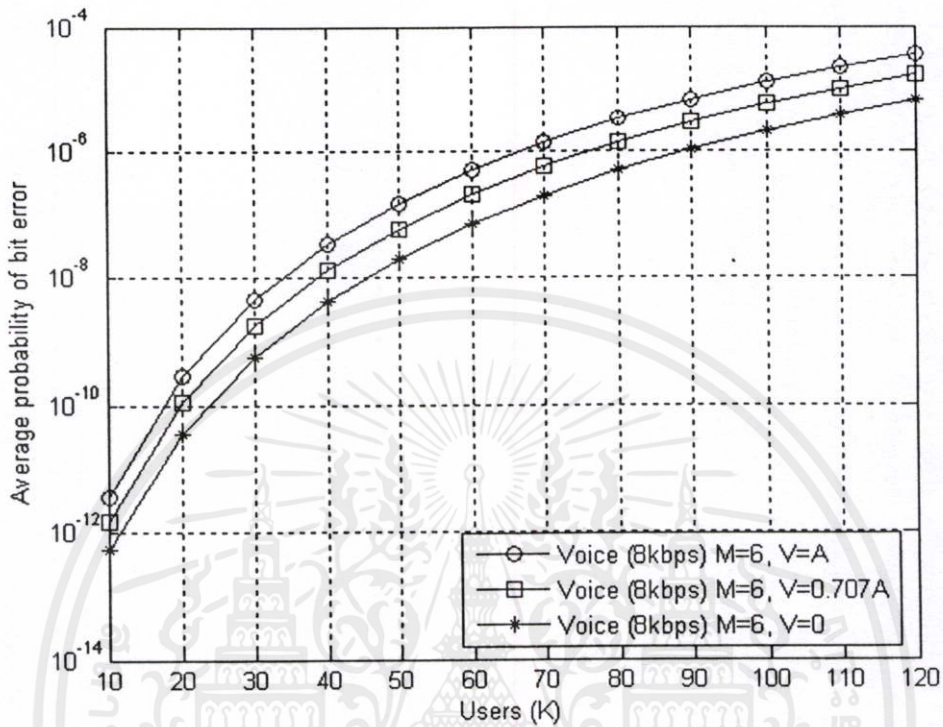
5.3.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เวิลด์วายเว็บ ที่อัตราการส่งข้อมูล 16.0k kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R = 16$ kbps และพิจารณาที่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เสียง ที่อัตราการส่งข้อมูล 8.0k kbps ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์ และมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์



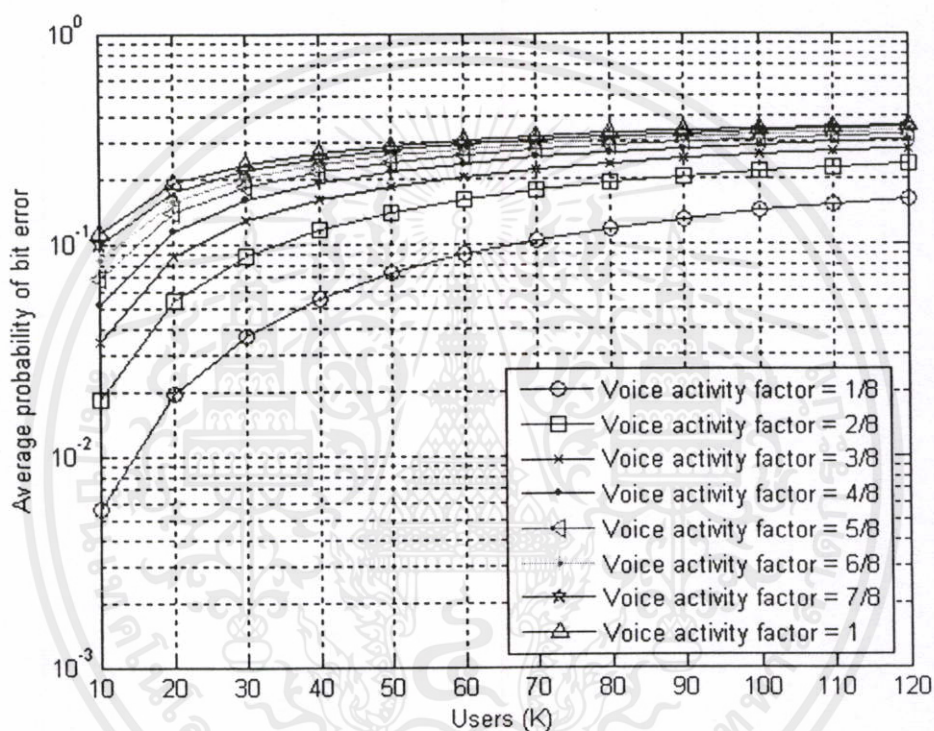
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $M=6$, $R = 8$ kbps และพิจารณาที่มีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์

จากรูปที่ 5.8 ถึง 5.10 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณ และพิจารณากรณีเมื่อระบบมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ จากการวิเคราะห์จะเมื่อระบบมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ดี ($V=0$) จะช่วยให้อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบดีขึ้น ซึ่งการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของระบบนั้นเป็นการชดเชยการรบกวนสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานด้วยกันเองเมื่อผู้ใช้งานอยู่ใกล้หรือไกลจากสถานีฐานนั่นเอง ดังนั้นหากระบบมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ดีแล้วนั้นจะช่วยลดผลกระทบจากการรบกวนและเป็นการเพิ่มสมรรถนะให้ระบบรองรับผู้ใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบและจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ อัตราการลดทอนของสัญญาณ จำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวน ค่า Voice activity factor

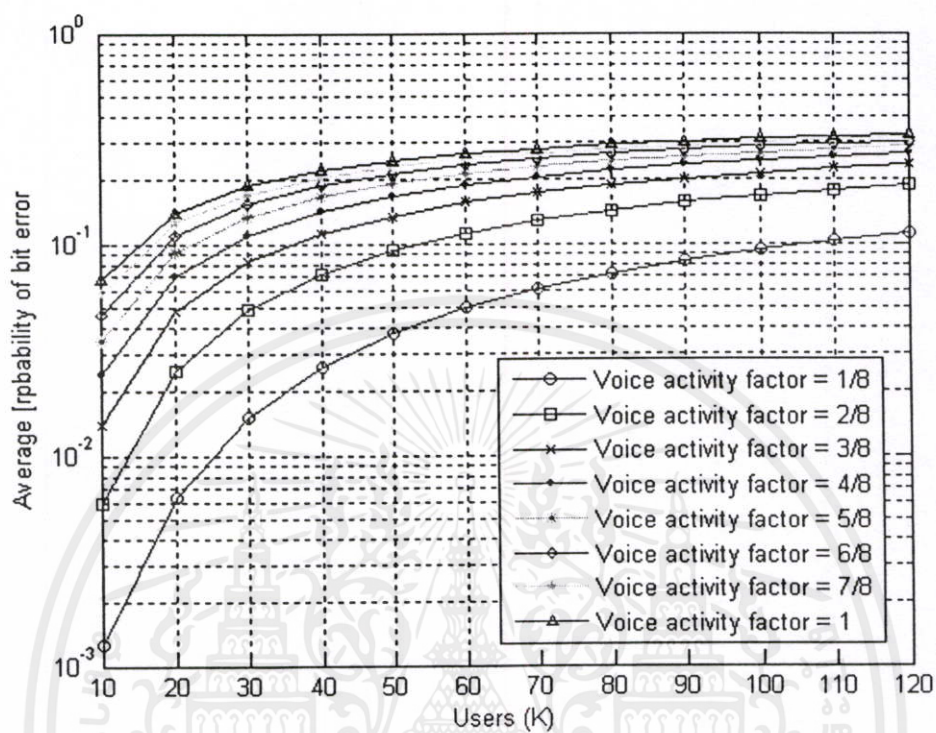
5.4.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 ที่อัตราการส่งข้อมูล 768 kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R = 768$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

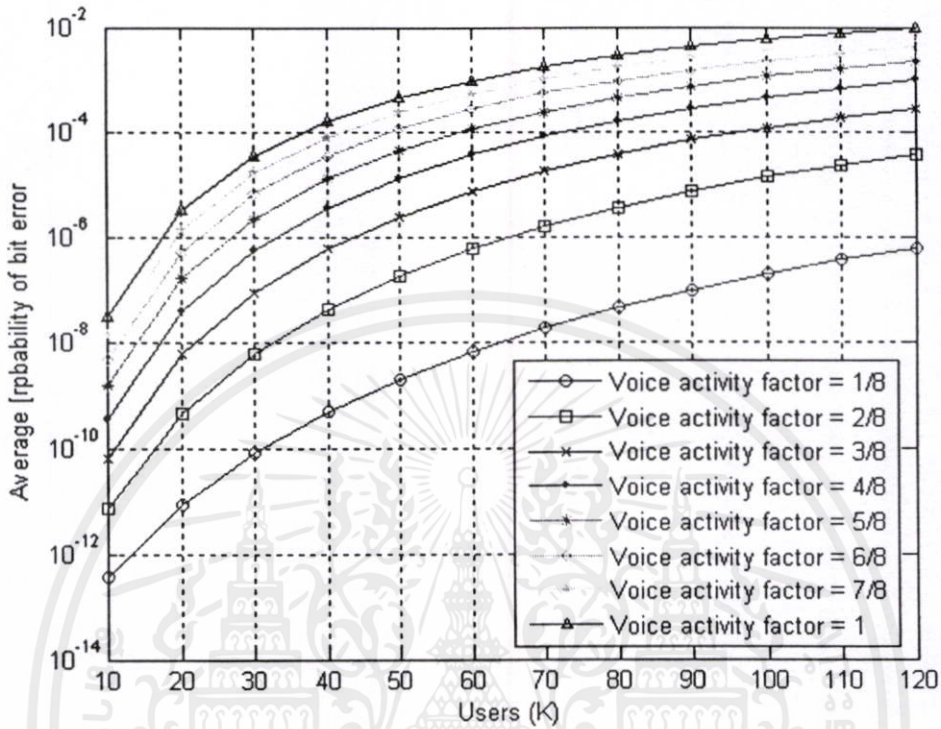
5.4.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 ที่อัตราการส่งข้อมูล 500 kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R = 500$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

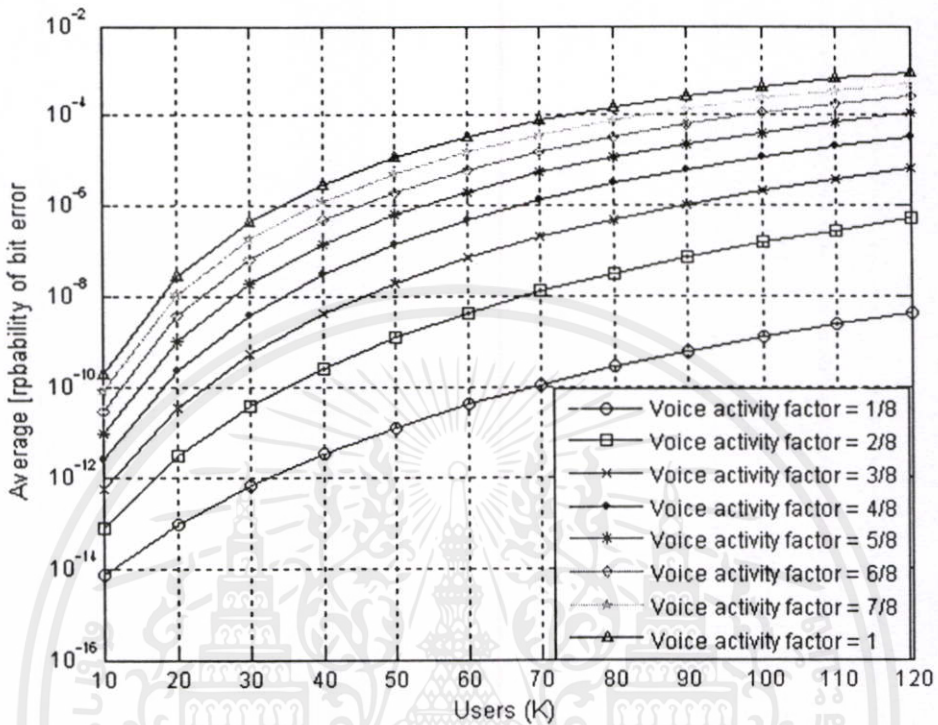
5.4.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เวิลด์วายเว็บ ที่อัตราการส่งข้อมูล 16.0k kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R = 16$ kbps และพิจารณาว่า Voice activity factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส เสียง ที่อัตราการส่งข้อมูล 8.0k kbps ค่า Voice activity factor ที่ลดลงทำให้มีสมรรถนะของระบบดีขึ้น พิจารณาจำนวนผู้ใช้ จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเท่ากับ 6 เซลล์

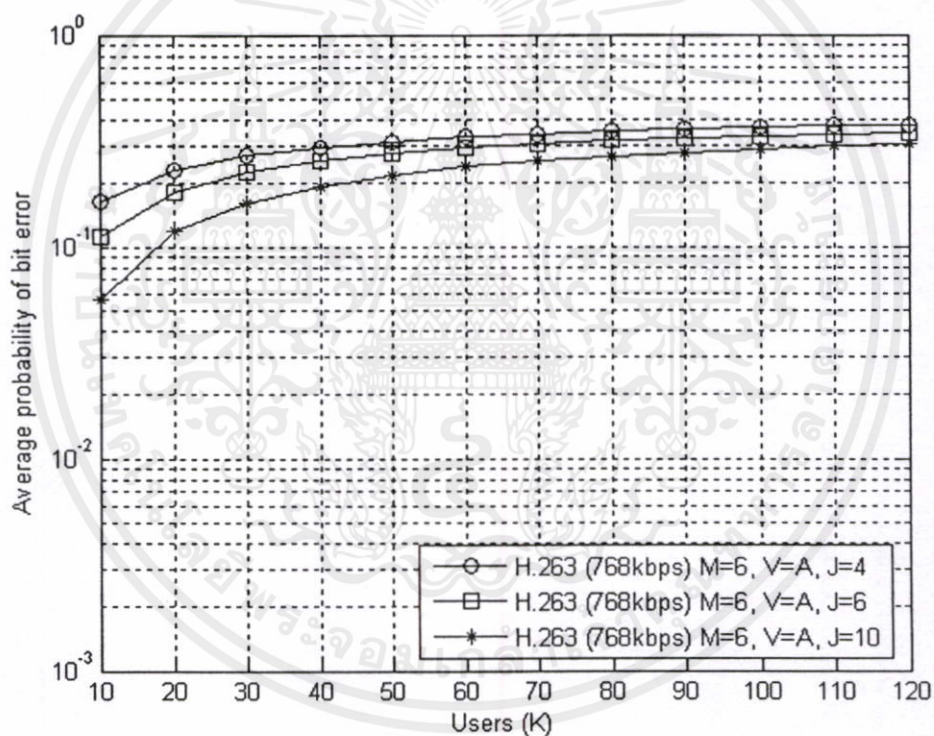


รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $J=10$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $V=0$, $R = 8$ kbps และพิจารณาค่า Voice activity factor

จากรูปที่ 5.11 ถึง 5.14 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณ และพิจารณากรณีเมื่อระบบมีการตรวจจับค่า Voice activity factor จากการวิเคราะห์จะเห็นว่าค่า Voice activity factor ลดลง จะทำให้ระบบมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยดีขึ้นซึ่งทำให้ระบบมีสมรรถนะดีขึ้นนั่นเอง

5.5 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์ ให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดูลาร์

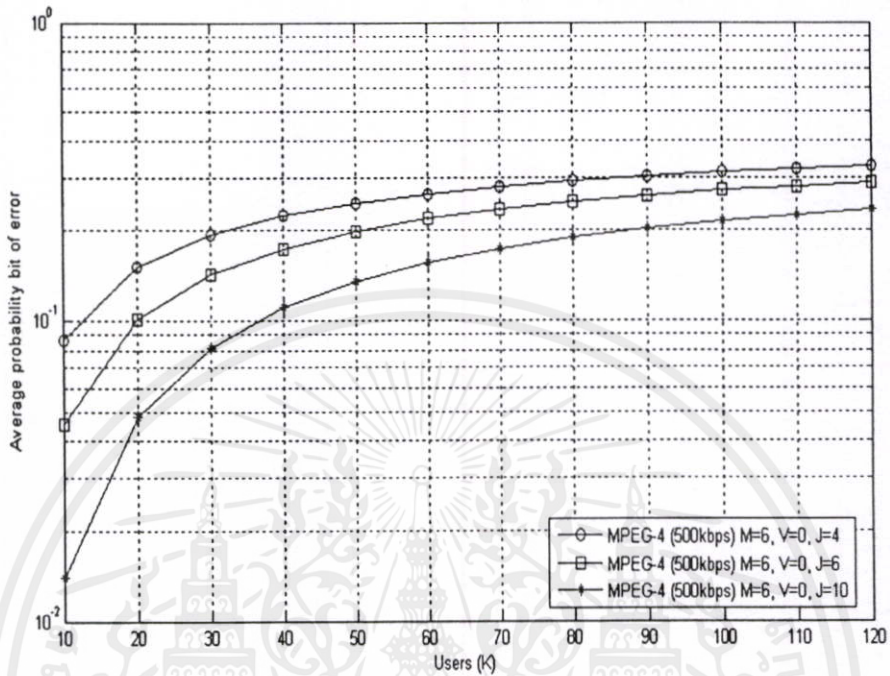
5.5.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส H.263 (768kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการก่อกำล้างส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรทเท่ากับ 4,6 และ 10



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $R = 768$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

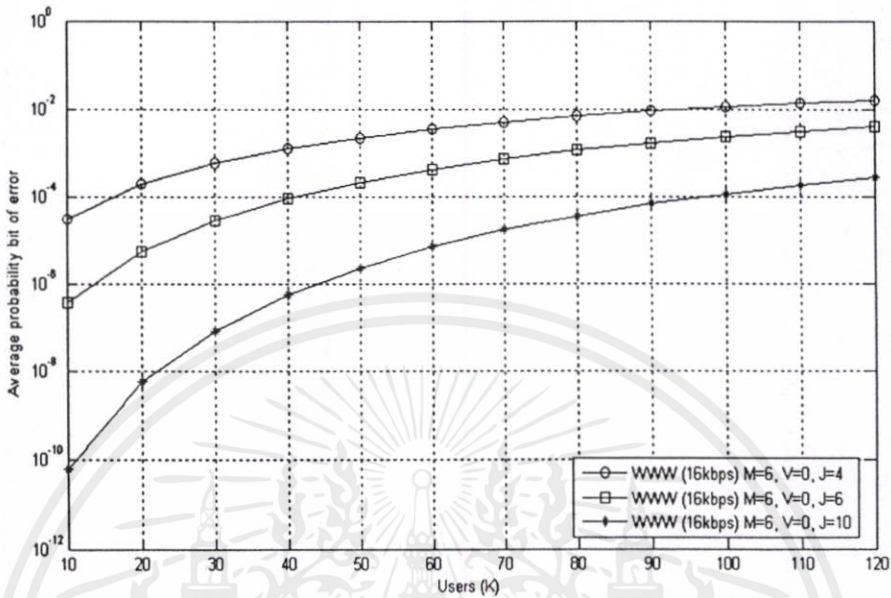
5.5.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส MPEG-4 (500kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และ และจำนวนฟังก์ชันของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 4,6 และ 10



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $R = 500$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

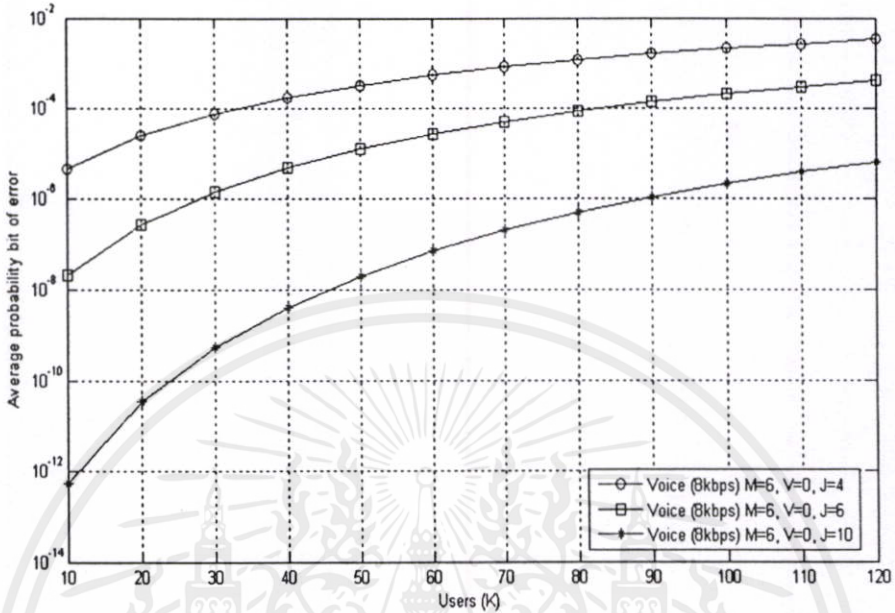
5.5.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส WWW (16.0 kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการรบกวนกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และ และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรกเท่ากับ 4,6 และ 10



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\xi = 1$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $R = 16$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ มาตรฐานการเข้ารหัส Voice (8.0 kbps) เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียง เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคเท่ากับ 4,6 และ 10

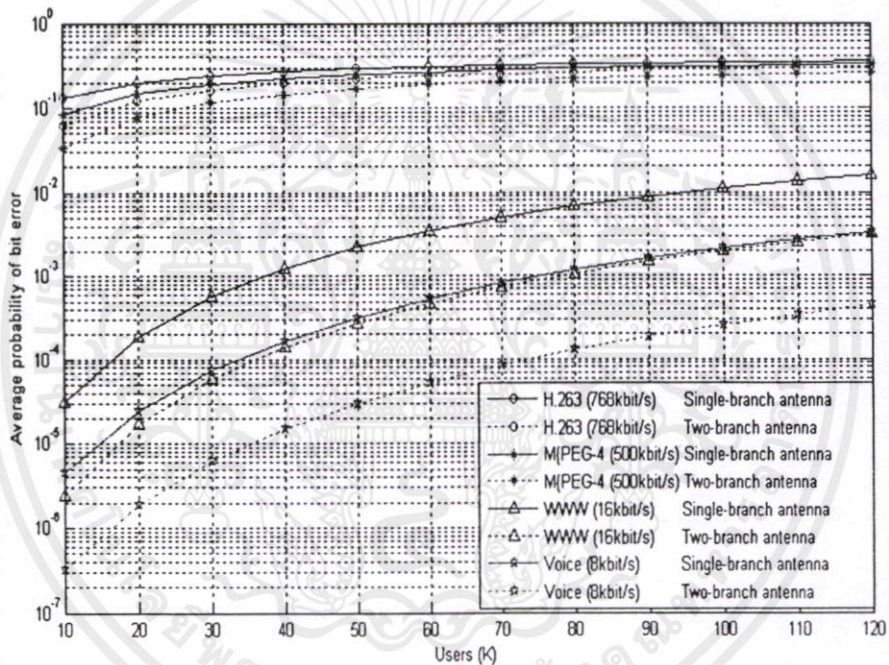


รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนดค่า $L=10$, $\zeta = 1$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $R = 8$ kbps, $V=0$ และ $J=4,6,10$

จากรูปที่ 5.15 ถึง 5.18 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณ พิจารณาจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้น และจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับแบบเรคที่มีผลต่อสมรรถนะต่อระบบ จากการวิเคราะห์จากรูปกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มจำนวนฟังก์เจอร์ของเครื่องรับจะช่วยลดผลกระทบดังกล่าวได้สามารถเพิ่มการรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากขึ้น

5.6 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ที่จะมีส่วนต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส พิจารณาการปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนของสายอากาศ เมื่อการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์

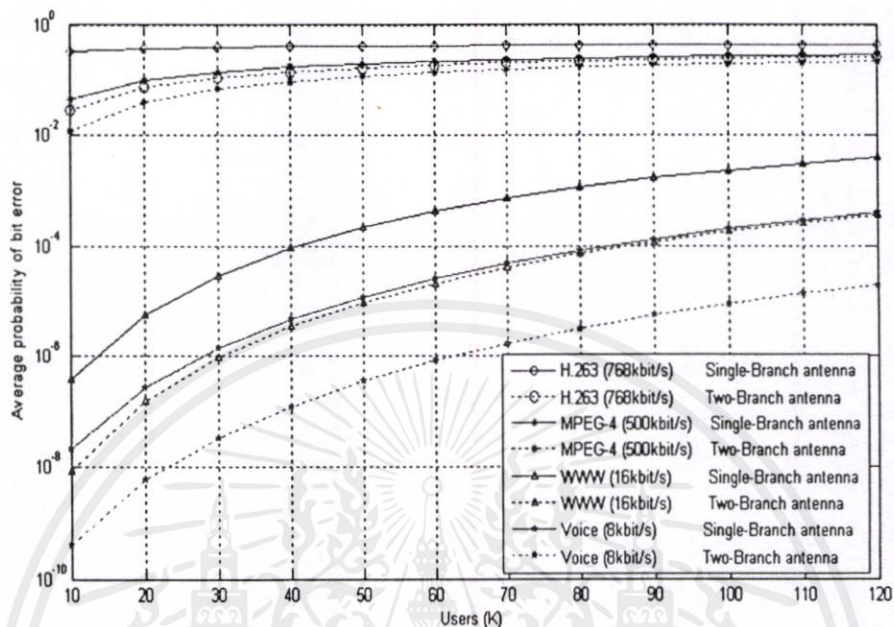
5.6.1 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟังก์เจอร์ และสาขาของสายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์ดูลาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $\zeta = 1, 2$, $J=4$ และ พิจารณาอัตราการส่งข้อมูลมาตรฐานต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

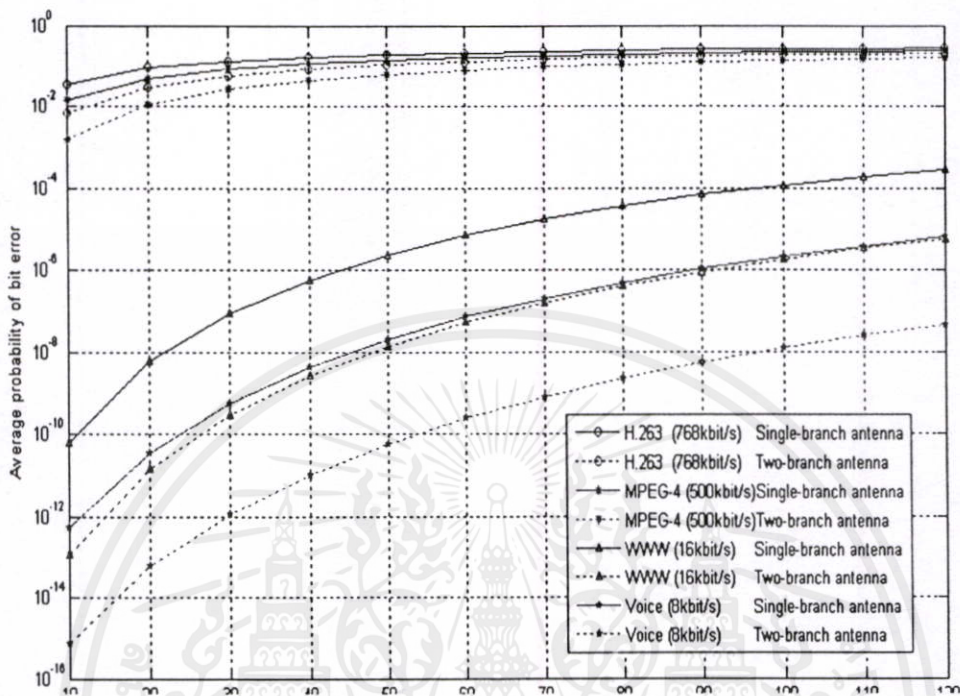
5.6.2 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟิงเกอร์ และสาขาของสายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์คู่ดาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b/N_0 = 20$ dB, $\xi = 1, 2$, $J=6$ และพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลมาตรฐานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.3 อัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการ เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้ที่จากเซลล์ข้างเคียงที่รบกวนเพิ่มขึ้นกับการจำนวนฟิงเกอร์ และสาขาของสายอากาศ ทำให้มีผลต่อการรองรับจำนวนผู้ใช้งานระบบเซลล์คู่ดาร์ เมื่อพิจารณาการคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



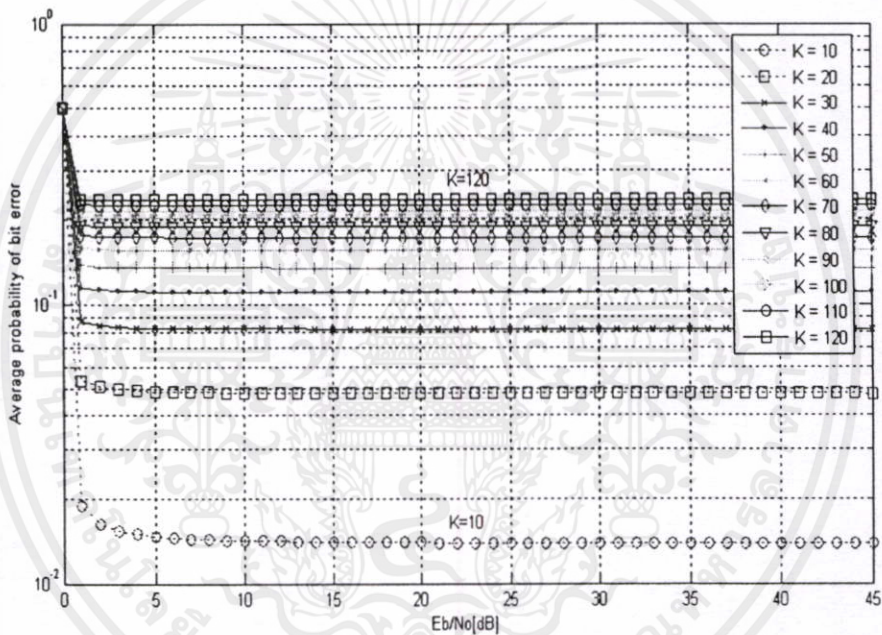
รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับกับจำนวนผู้ใช้งาน Users (K) โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $E_b / N_0 = 20$ dB, $\zeta = 1, 2$, $J=10$, และ พิจารณาอัตราการส่งข้อมูลมาตรฐานต่างๆ

จากรูปที่ 5.19 ถึง 5.21 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้งาน โดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณ และพิจารณาจำนวนสายอากาศและจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับ ที่มีผลต่อสมรรถนะต่อระบบ จากการวิเคราะห์จากรูปกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มจำนวนฟิงเกอร์ของเครื่องรับจะช่วยลดผลกระทบดังกล่าวได้ ทำให้สามารถเพิ่มการรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากขึ้น และเมื่อระบบเพิ่มจำนวนสายอากาศเท่ากับ 2 จะช่วยลดค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยลดลง ทำให้ระบบมีสมรรถนะที่สามารถรองรับผู้ใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบกับค่า E_b/N_0 และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ โดยพิจารณาในอัตราการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 (500kbps) , H.263 (768kbps), WWW (16.0 kbps), Voice (8.0 kbps) ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงที่สุด ของอัตราการส่งข้อมูลแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัส เมื่อการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์

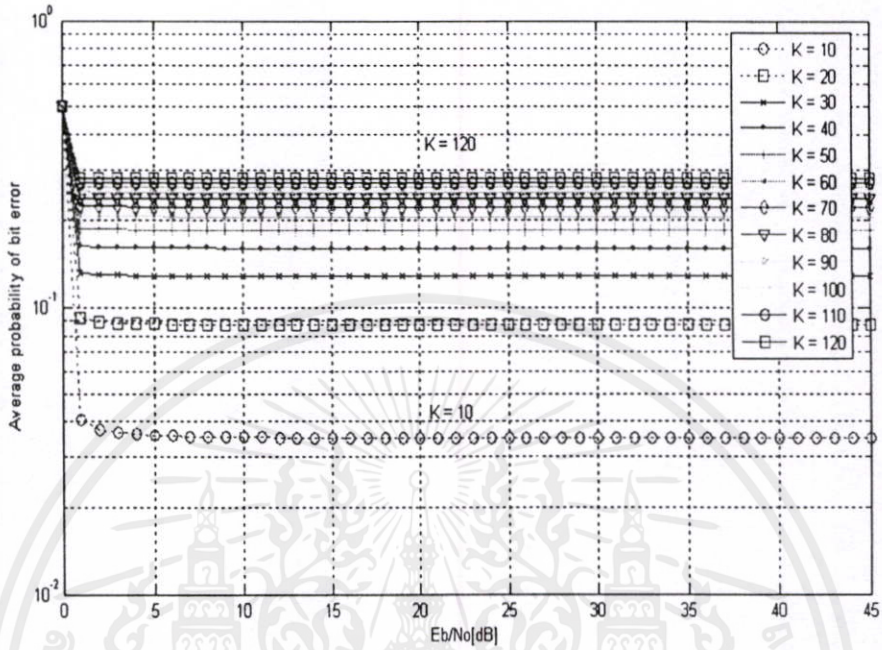
5.7.1 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ MPEG-4 ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 500kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $\zeta = 1$, $V=0$, $R = 500$ kbps และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

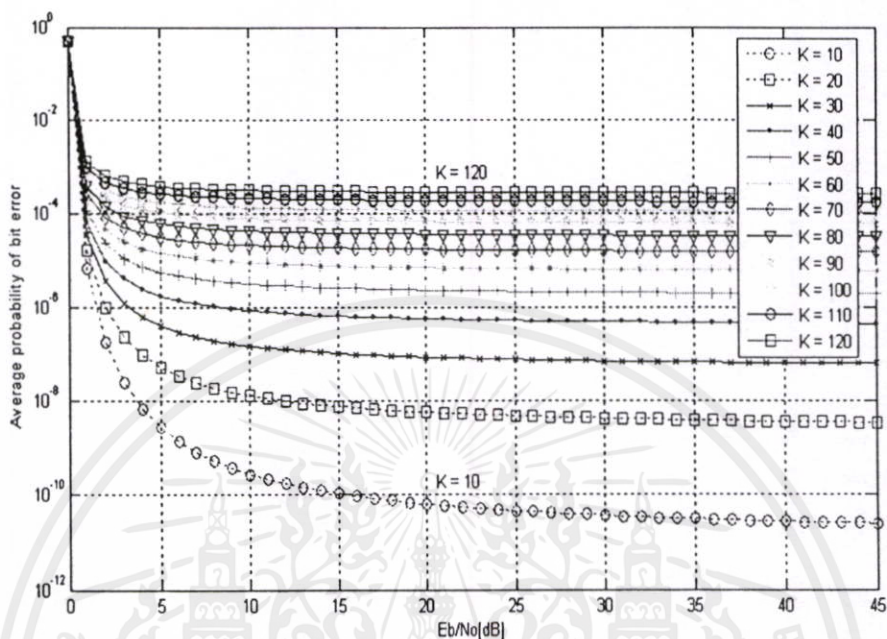
5.7.2 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์คู่ดาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ H.263 ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 768kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า $L=10$, $\delta = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $\zeta = 1$, $V=0$, $R = 768$ kbps และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

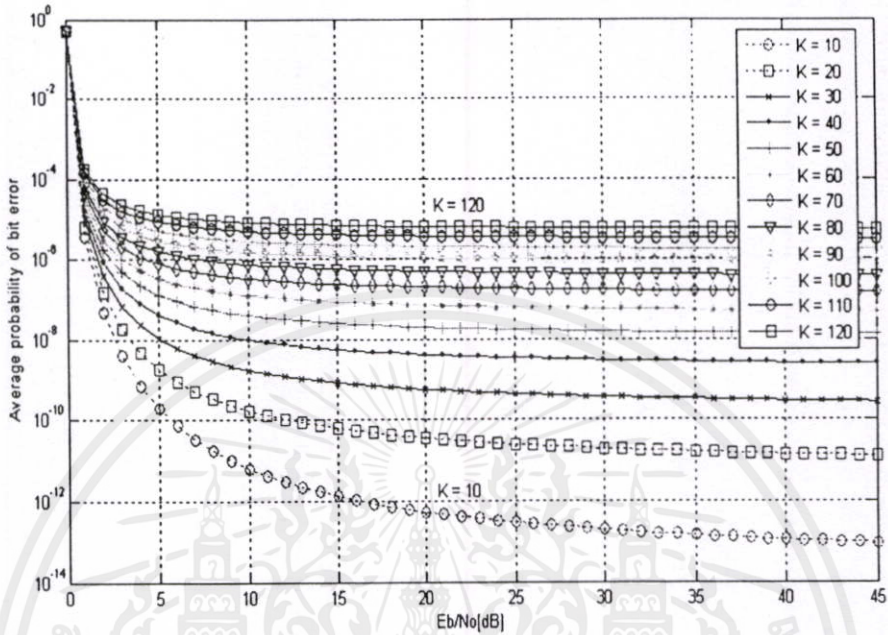
5.7.3 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ดูลาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ WYWV ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 16kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ์



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่กำหนด ค่า $L=10$, $\sigma = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $\xi = 1$, $V=0$, $R = 16$ kbps และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.4 จำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ลาร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบลดลง เมื่อระบบมีการส่งข้อมูลการเข้ารหัสแบบ Voice ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 8kbps เมื่อมีการควบคุมกำลังส่งสัญญาณที่สมบูรณ



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยกับ E_b / N_0 ของระบบ โดยที่ กำหนด ค่า $L=10$, $\sigma = 0$, $J=10$, $\lambda = 3/8$, $M=6$, $\zeta = 1$, $V=0$, $R = 8$ kbps และจำนวนผู้ใช้งาน Users (K)

จากรูปที่ 5.22 ถึง 5.24 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบกับค่า E_b/N_0 และจำนวนผู้ใช้งานในระบบเซลล์ลู่ลาร์ ที่เพิ่มขึ้น พิจารณาอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณ จากการวิเคราะห์ จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้สามารถปรับปรุงค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยลดลงได้ด้วยการเพิ่มจำนวนฟังก์ชันของเครื่องรับ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณ การใช้การตรวจจับ Voice activity factor หรือการเพิ่มสาขาของสายอากาศจากหนึ่งเป็นสองเพื่อเป็นการปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้ดียิ่งขึ้นจากผลกระทบต่าง ๆ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์การวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิตระบบเซลล์ลู่ลู่แบบววยแบนด์ ซีดีเอ็ม เอ เมื่อมีการใช้งานบริการด้านเสียง วิดีโอ หรือเว็ลด์ววยเว็ล โดยพิจารณาการส่งสัญญาณจาก โทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน โดยทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบนาคากามิ ทำให้สัญญาณมีขนาดและการบิดเบี้ยวไปเกิดจากการหน่วงเวลา และมีสัญญาณแทรกสอดจาก ผู้ใช้อื่น ๆ และมีสัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบววกในระบบ แล้วพิจารณาความน่าจะเป็นของการ เกิดความผิดพลาดของบิต

จากสมการที่ 4.27 และ 4.41 นำมาวิเคราะห์เชิงเลขด้วยโปรแกรม MAT-LAB โดย พิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบเซลล์ลู่ลู่ ววยแบนด์ ซีดีเอ็ม เอ และการรองรับจำนวนผู้ใช้งาน

จากผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการส่งสัญญาณข้อมูลเพิ่ม มากขึ้น แต่ระบบยังใช้อัตราชิปสัญญาณคงที่ ที่ 3.84 Mbps คงที่ ส่งผลให้อัตราการขยายการ ประมวลผล (Processing gain) ลดลง ทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยระบบเพิ่มมากขึ้น หาก เพิ่มค่า E_b/N_0 จะทำให้ค่าความผิดพลาดบิตเฉลี่ยลดลงได้ระดับหนึ่งแต่หากเส้นกราฟเริ่มเข้า ใกล้เส้นตรง ถึงแม้จะเพิ่มค่า E_b/N_0 มากขึ้น ก็ไม่ทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นได้ เนื่องจาก ระบบถูกรบกวนจากผู้ใช้งานอื่นมากเกินไป

อีกปัจจัยหลักคือ เมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานในระบบในช่วงเวลาเดียวกันไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้งาน ภายในเซลล์ที่พิจารณาหรือเป็นผู้ใช้งานจากเซลล์ข้างเคียงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดสัญญาณการ อินเตอร์เฟอเรนซ์จากผู้ใช้งานอื่น เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าอัตราบิตผิดพลาดเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น จาก ปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอัตราการส่งข้อมูลหรือปริมาณผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นระยะทางจากเครื่องรับกับ ทางสถานีฐาน ทำให้การอินเตอร์เฟอเรนซ์ของระบบเพิ่มมากขึ้นทั้งสิ้น ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญทำ ให้สมรรถนะโดยรวมและการรองรับปริมาณผู้ใช้งานแย่งลง แต่อย่างไรก็ดีเราสามารถลด ผลกระทบต่าง ๆ โดยการใช้การตรวจจับเสียง (Voice activity factor) และการควบคุมกำลังส่ง สัญญาณที่ดีจะช่วยในลดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ อันเนื่องมาจากความใกล้-ไกลของเครื่องรับกับ สถานีฐาน สำหรับผลกระทบจากการเกิดเฟดดิ้งเราจะสามารถชดเชยถึงผลกระทบดังกล่าว ด้วย การใช้จำนวนฟิงเกอร์ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งเพิ่มจำนวนสาขาสายอากาศ เพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะและ รองรับจำนวนผู้ใช้งานและรูปแบบการส่งสัญญาณข้อมูลจำนวนมาก ๆ ได้

จากผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ เป็นการวิเคราะห์ผลอัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบ โดยพิจารณาการณิการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง เท่านั้น แต่ในการใช้งานจริง นั้น จำเป็นต้องพิจารณาการณิมีการใช้งานในหลายรูปแบบ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ระบบ

รองรับการใช้งานเสียงและ เวิลด์ไวด์เว็บ พร้อม ๆ กัน หรือ ระบบรองรับการใช้งาน มัลติมีเดียต่าง ๆ พร้อมการใช้งานเสียงพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้อัตราความผิดพลาดบิตเฉลี่ยของระบบเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลทำให้ปริมาณผู้ใช้งานลดลง อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของคุณค่าความจุของระบบเมื่อระบบรองรับการใช้งานต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่ง ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ หรือรองรับการใช้งานหลาย ๆ รูปแบบพร้อม ๆ กันต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.S. Gardner and J.A. Orr "Fading effect on the performance of spread spectrum multiple access communication system," Trans. Commun., Vol. COMM-27, pp. 43-49, January 1979.
- [2] G.L. Turin "The effect of multipath and fading on the performance of DS-SSMA system," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.COMM-35, pp. 1189-1198, November 1987.
- [3] L.B. Milstein, T.S. Rappaport and R.Barghouti "Performance evaluation for cellular CDMA," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.10, No.4, pp. 680-689, May 1992.
- [4] T. Eng and L.B. Milstein "Coherent DS-SSMA performance in Nakagami multipath Fading," IEEE Trans. Commun., Vol.43, No.2-4, pp. 1134-1143, February/March/April 1995.
- [5] G. Efthymoglou, V. Aalo and H. Helmken, "Performance analysis of coherent DS-SSMA systems in a Nakagami fading channel with arbitrary parameters," IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol.46, No.2, pp. 289-297, May 1997.
- [6] J.S. Lee and L.E. Miller, CDMA System Engineering Handbook, Boston : Artech House, 1998.
- [7] B.R. Tomiuk, N.C. Beaulieu and A.A. Abu-Dayya "General forms for maximal ratio diversity with weighting errors," IEEE Trans. Commun., Vol.47, No.4, pp. 448-492, April 1999.
- [8] J.G. Proakis, Digital Communications, 2nd ed., New York : McGraw -Hill, 1995.
- [9] M.K. Simon and M.-S. Alouini, Digital Communication over Fading Channels, New York : John wiley & sons, Inc., 2000.
- [10] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series and Products, New York : Academic, 1980.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- 1 กมลสัน กอชัชวาล, สมยศ จุณณะปิยะ และ พิเชฐ ม่วงนวล “ผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดในระบบเซลล์สุลาร์ ซิดีเอ็มเอ แดบกว้าง เมื่อมีการใช้งานบริการลักษณะต่าง ๆ,” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 23 ฉบับที่ 2 เดือนมิถุนายน 2549



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายคมสัน กอชัชวาล เกิดเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร จากมหาวิทยาลัย สยาม ปี พ.ศ. 2540 ปัจจุบันทำงานอยู่บริษัท เอ็นเนอร์จี้ทีก อิลECTRICAL เอ็นจิเนียริง จำกัด และ บริษัท ทริปเพิล อี ซัพพลาย เอ็นจิเนียริง จำกัด ตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ ทำหน้าที่ ควบคุม ออกแบบ ติดตั้ง ระบบไฟฟ้า โทรคมนาคม สื่อสาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้