

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลกระทบของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุของระบบเซลล์คู่ถี่ดีเอ็มเอ

THE IMPACT OF REPEATER ON CAPACITY CDMA SYSTEM



ประพันธ์ มุนี

PRAPAN MUNEE

วท.  
๒/๒๑๕  
๒๕๔๘

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 60484  
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ย. 2549

b. 41586710  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1528-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE IMPACT OF REPEATER ON CAPACITY CDMA SYSTEM**

**PRAPAN MUNEE**

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

**2005**

**ISBN 974-15-1528-6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุของ ระบบเซลล์คู่ ล่าซี ดีเอ็มเอ
นักศึกษา	นายประพันธ์ มณี
รหัสนักศึกษา	43061414
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.พิพัฒน์ เถาหงคราม

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงด้านช่องสัญญาณขาขึ้นของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ เพื่อให้พื้นที่บริการภายในเซลล์สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทุกพื้นที่ การประมาณค่าใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลอกนอมอน ตามลำดับ ผลลัพธ์เชิงเลขแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความจุเออร์แลงที่ลดลงเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของตัวทวนสัญญาณ การใช้งาน AOS (Automatic ON/OFF Switching) ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น

<b>Thesis Title</b>	The impact of Repeater on Capacity CDMA System
<b>Student</b>	Mr.Prapan Munee
<b>Student ID.</b>	43061414
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Instrumentation Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof. Phipat Laowhasongkram

### ABSTRACT

This thesis presents an evaluation of the Erlang capacity of a CDMA cellular system on the reverse link channel which employs repeater for all mobile within cell. The approximation methods will be based on Gaussian and Lognormal respectively. Numerical results show a decrease of the Erlang capacity as the number of repeaters increase. The Automatic On-Off Switching (AOS) repeater improvement increase the Erlang capacity.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.พิพัฒน์ เลาหสงคราม ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบบ้างในความกรุณาและขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิดและเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่มอบความรัก ความห่วงใย และกำลังใจรวมถึงให้การสนับสนุนช่วยเหลือในหลายๆด้านมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณพิทักษ์ แก้วบุญส่ง ที่ให้แนวคิดและให้คำปรึกษาในหลายๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจที่ดี คุณณรงค์ ณรงค์รัตน์ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ บริษัท ทศท.คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท

ขอขอบคุณ คุณจินตนา สุขสุวรรณ ผู้ที่คอยเป็นห่วง และดูแลคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายขอขอบคุณ เพื่อนๆ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ด้วย ที่ให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาอยู่

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ประพันธ์ มณี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่น.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นบนช่องสัญญาณสี่สายไร้สาย.....	4
2.2.1 การสูญเสียตามระยะทาง.....	4
2.2.2 การสูญเสียเนื่องจากการถูกบดบัง.....	10
2.2.3 การสูญเสียจากการจางหายหลายเส้นทาง.....	13
2.3 ช่องสัญญาณการจางหายหลายเส้นทาง.....	18
2.3.1 รูปแบบช่องสัญญาณ.....	18
2.3.2 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์และความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน.....	20
2.3.3 สัญญาณดิจิทัลบนช่องสัญญาณการจางหายแบบเจาะจงความถี่.....	24
บทที่ 3 ระบบเซลล์คู่สี่ซีดีเอ็มเอและตัวทวนสัญญาณ.....	28
3.1 บทนำ.....	28
3.2 ระบบเซลล์คู่สี่ซีดีเอ็มเอ.....	28
3.3 เทคนิคการใช้สเปกตรัมแม่โดยวิธีการจัดลำดับโดยตรง.....	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การแทรกสอดในระบบเซลล์สุล่าซีดีเอ็มเอ.....	33
3.4.1 การแทรกสอดภายในเซลล์.....	33
3.4.2 การแทรกสอดภายนอกเซลล์.....	33
3.4.3 แฟคเตอร์การแทรกสอด.....	36
3.5 การควบคุมกำลัง.....	37
3.5.1 วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดบนช่องสัญญาณขาขึ้น.....	38
3.5.2 วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปปิดบนช่องสัญญาณขาขึ้น.....	39
3.6 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ.....	42
3.6.1 ลักษณะทราฟฟิกของระบบ.....	42
3.6.2 ความจุของระบบ.....	44
3.7 ตัวทวนสัญญาณ.....	46
3.7.1 รูปแบบระบบตัวทวนสัญญาณ.....	46
3.7.2 ระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ.....	47
3.7.3 สมการรูปแบบระบบ.....	48
บทที่ 4 การวิเคราะห์หาค่าความจุเออร์แลง.....	51
4.1 รูปแบบระบบ.....	51
4.1.1 ความไม่สมบูรณ์ในการควบคุมกำลัง.....	51
4.1.2 แฟคเตอร์ MIP.....	52
4.1.3 ค่าเฉลี่ยอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น.....	54
4.2 ค่าความจุเออร์แลง.....	57
4.2.1 สมการความน่าจะเป็นการติดขัด.....	57
4.2.2 วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน.....	60
4.2.3 วิธีการประมาณแบบลอกนอมน.....	60
บทที่ 5 การวิเคราะห์และแสดงผลพัลซ์เชิงเลข.....	62
5.1 บทนำ.....	62

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การวิเคราะห์ความจุเออร์แลง.....	63
5.2.1 อิทธิพลของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุเออร์แลงในระบบที่มีการ เชื่อมต่อกับสถานีฐานตลอดเวลา.....	63
5.2.2 อิทธิพลของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุเออร์แลงของระบบกรณี ที่มีการใช้งานระบบ AOS.....	64
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	68
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	81



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้งานกับสถานีฐานที่ต้องการ และที่สถานีฐานใกล้เคียง.....	51
4.2 แสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ย $G$ , ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนจำนวนอีทีเอ็มของ สายอากาศ Smart แบบ LES อารีย์ที่สถานีฐาน.....	57
5.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	62



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเดินทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน.....	7
2.2 แสดงสัญญาณถูกคบบัง.....	10
2.3 การกระจายความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบลือกนอมอน ที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1,2,4,6 และ 8 dB.....	13
2.4 แสดงเส้นทางการแพร่กระจายของคลื่นหลายเส้นทาง.....	13
2.5 การกระจายแบบแบบเรย์ลีที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 1,2,4,6 และ 8 dB.....	17
2.6 แสดงตัวอย่างการตอบสนองของช่องสัญญาณการจายหลายเส้นทางที่แปรผันตามเวลา..	18
2.7 แสดง MIP แบบเอกรูป.....	21
2.8 แบบจำลองสายการประวิงเวลาแบบจุดต่อแยกของช่องสัญญาณแบบเจาะจงความถี่.....	26
3.1 แสดงโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า.....	29
3.2 แสดงเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบ FDMA และ TDMA.....	30
3.3 แสดงเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบ CDMA.....	30
3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-CDMA รูปแบบที่ 1.....	31
3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-CDMA รูปแบบที่ 2.....	32
3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ DS-CDMA รูปแบบที่ 1.....	32
3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ DS-CDMA รูปแบบที่ 2.....	33
3.8 แสดงรูปแบบเรขาคณิตของการแทรกสอดบนช่องสัญญาณขาขึ้น.....	34
3.9 แสดงหลักการทํางานของวิธีการควบคุมกำลังแบบลูบเปิด.....	38
3.10 แสดงกระบวนการเข้าถึงของวิธีการควบคุมกำลังแบบลูบเปิด.....	39
3.11 แสดงเฟรมสัญญาณตรวจสอบการควบคุม.....	39
3.12 แสดงการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังแบบลูบปิด.....	40
3.13 แสดงลำดับการส่งบิตควบคุมกำลังตามระดับความแรงสัญญาณ.....	41
3.14 แสดงการเปิด-ปิดช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามอัตราการส่ง.....	41
3.15 แสดงรูปแบบระบบของสถานีฐานและตัวทวนสัญญาณ.....	46
3.16 แสดงรูปแบบระบบ AOS.....	47
4.1 แสดงช่วงของค่า MIP Shape Factor ( $\zeta$ ).....	54
4.2 แสดงโครงสร้างเรขาคณิตระบบเซลลูล่า.....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ.....	63
5.2 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอมอน เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ.....	63
5.3 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.6, 0.1$ ) และ ( $N_r = 1$ ).....	64
5.4 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอมอน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 1$ ).....	64
5.5 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ย ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 3$ ).....	65
5.6 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอมอน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานที่ค่าเฉลี่ย ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 3$ ).....	65
5.7 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานที่ค่าเฉลี่ย ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 5$ ).....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ค่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบลือกนอนมอน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานที่ค่าเฉลี่ย ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 5$ ).....	66
5.9 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ค่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานที่ค่าเฉลี่ย ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.4$ ) และ ( $N_r = 1, 5, 10, 15$ ).....	67
5.10 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ค่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบลือกนอนมอน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานที่ค่าเฉลี่ย ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.4$ ) และ ( $N_r = 1, 5, 10, 15$ ).....	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีความสะดวกและคล่องตัวในการใช้งาน สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทุกที่ทุกเวลาที่ความสามารถของโครงข่ายให้บริการได้ การให้บริการของระบบเคลื่อนที่ (Mobile Telephone) ซึ่งปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในวงการค้าธุรกิจ อุตสาหกรรม และวงการอื่นๆอีกมาก จนไม่อาจที่จะปฏิเสธได้ว่า ระบบโทรศัพท์มีส่วนสำคัญที่ช่วยผลักดันให้เกิดการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศในช่วงที่ผ่านมา ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระยะแรกเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอนาล็อก หรือรู้จักกันในระบบ AMPS (Advance Mobile Phone Service) ซึ่งใช้การเข้าถึงสัญญาณหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple access : FDMA) ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานและมีคุณภาพในการให้บริการที่สูงขึ้นจนปัจจุบันนี้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ได้เปลี่ยนมาเป็นระบบดิจิทัล โดยใช้เทคนิคในการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access : TDMA) เช่นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ GSM (Global System for Mobile), 1800-DCS (1800-Digital Cellular System) ซึ่งสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้มากขึ้น ต่อมามีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถให้บริการทั้งเสียงพูดและข้อมูล โดยที่ผู้ใช้งานแต่ละช่องสัญญาณจะถูกแบ่งด้วยรหัสที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ เป็นการให้บริการของระบบมีจุดประสงค์หลัก คือ การเพิ่มความจุของช่องสัญญาณให้บริการแก่ผู้ใช้งานบนทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัด เนื่องช่องสัญญาณระบบซีดีเอ็มเอ จะไม่ถูกกำหนดแน่นอนเช่นเดียวกับเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบอื่น ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอผู้ใช้งานช่องสัญญาณสามารถใช้ช่องความถี่และช่องเวลาร่วมกันได้ โดยผู้ใช้งานแต่ละผู้ใช้งานสามารถแยกออกจากกันได้ โดยใช้รหัสที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องควบคุมระดับของกำลังส่งของผู้ใช้งานแต่ละผู้ใช้งานให้มีค่าเท่ากันและมีค่าน้อยสุดที่รับได้ที่สถานีฐาน เพราะสัญญาณเหล่านั้นจะปรากฏเป็นสัญญาณแทรกสอด เป็นสัญญาณรบกวนกับผู้ใช้งานอื่นๆ แต่ในทางปฏิบัติแล้วค่าของกำลังส่งที่รับได้จะมีค่าไม่เท่ากัน อันเป็นผลสืบเนื่องจากระบบการควบคุมกำลังส่งที่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ (Imperfect Power Control) เนื่องจากเครื่องรับจะได้รับกำลัง

ของสัญญาณจากเครื่องส่งหรือ เครื่องลูกข่ายของผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้ มีค่าสูงกว่ากำลังของสัญญาณที่อยู่ห่างออกไปจากสถานีฐาน ซึ่งบางกรณีเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้งานอยู่ไกลจากสถานีฐานที่กำลังส่งจะสามารถครอบคลุมได้ หรือผลจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง เช่น ภูเขา หรือตามอุโมงค์ต่างๆ เป็นผลให้ไม่สามารถใช้งานได้

ตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบโทรศัพท์เซลล์ลูล่า CDMA เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเขตบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณให้สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ เพื่อช่วยลดกำลังส่งของสถานีฐาน และทำให้ไม่เกิดการแฮนด์ออฟ (Handoffs) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่จากสถานีฐานไปยังพื้นที่ของตัวทวนสัญญาณ

## 1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย

เพื่อลดระดับการแทรกสอดของสัญญาณ เทคนิควิธีการควบคุมกำลังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบเซลล์ลูล่าซีดีเอ็มเอ โดยทำการควบคุมระดับกำลังของสัญญาณที่รับได้จากแต่ละผู้ใช้งานที่สถานีฐานให้มีค่าเท่ากัน แต่การควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ มีความผิดพลาดในการควบคุมกำลังเกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะแวดล้อมของการติดต่อสื่อสารบนช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นผลให้ผู้ใช้งานบางส่วนไม่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้ อาจมีสาเหตุมาจาก ตัวผู้ใช้งานอยู่ห่างจากสถานีฐานมากเกินไปกว่าสัญญาณของสถานีฐานครอบคลุมได้ หรือเกิดจากสัญญาณของผู้ใช้งานถูกบดบัง หรือมีสิ่งกีดขวางต่างๆ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้้นำตัวทวนสัญญาณมาประยุกต์ใช้งานในระบบ เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเขตบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณ ให้จำนวนผู้ใช้งานในบริเวณดังกล่าวสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ โดยการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลูล่าซีดีเอ็มเอ จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด (Blocking Probability) โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลอกนอมอน กรณีตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าความจุ การใช้งาน AOS (Automatic ON/OFF Switching) ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบมีการเปลี่ยนแปลง

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลูล่าซีดีเอ็มเอ จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลอกนอมอน กรณีตัวทวนสัญญาณได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบและทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าความจุ การใช้งาน AOS ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลต่อค่าความจุของระบบอย่างไร โดยมีรายละเอียดดังนี้

- บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึงการสูญเสียของระดับสัญญาณตามรูปแบบกาแพร่กระจายคลื่นบนช่องสัญญาณสื่อสารไร้สาย และคุณลักษณะของช่องสัญญาณการจางหายหลายเส้นทาง
- บทที่ 3 กล่าวถึงโครงข่ายของระบบเซลล์ลูต้าซีดีเอ็มเอ แฟลคเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของระบบ และเทคนิควิธีการควบคุมกำลังด้านช่องสัญญาณขาขึ้น และตัวทวนสัญญาณ
- บทที่ 4 กล่าวถึงสมการสำหรับการวิเคราะห์ค่าความจุของระบบ กรณีนำตัวทวนสัญญาณมาประยุกต์ใช้ในระบบ
- บทที่ 5 การวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์เชิงเลข
- บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่น

### 2.1 บทนำ

ในการสื่อสารระบบเซลลูลาร์ โดยอาศัยคลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการรับส่งข่าวสาร มีปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นบนช่องสัญญาณที่มีผลต่อคุณภาพของระบบ สภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น เนินเขา อาคาร สิ่งปลูกสร้างต่างๆ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ การเคลื่อนที่ของเครือข่ายในระหว่างการสื่อสาร เป็นต้น

กลไกของคลื่นเมื่อเดินทางผ่านช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

การสะท้อน (Reflection) เกิดขึ้นจากสัญญาณตกกระทบสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นแล้วมีสัญญาณบางส่วนหรือทั้งหมดสะท้อนกลับไปยังตัวรับ

การหักเห (Diffraction) เกิดขึ้นจากสัญญาณกระทบสิ่งกีดขวางที่ทำให้เกิดเงาทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนั้น สัญญาณบริเวณพื้นที่เงาเป็นคลื่นหักเหที่เกิดหลังจากตกกระทบ

การแตกกระเจิง (Scattering) เกิดขึ้นจากเมื่อคลื่นสัญญาณตกกระทบวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นหรือสัญญาณตกกระทบวัตถุผิวหยาบ

### 2.2 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นบนช่องสัญญาณสื่อสารไร้สาย

สามารถพิจารณาค่าการสูญเสียจากลักษณะเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นได้ 3 ประเภท คือ

- การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss)
- การสูญเสียเนื่องจากสัญญาณถูกบดบัง (Shadowing)
- การสูญเสียจากการจางหายหลายเส้นทาง (Multipath Loss)

#### 2.2.1 การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะใช้การสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศ ถ้ากำหนดให้กำลังงานของเครื่องส่งที่ป้อนไปยังสายอากาศมีค่า  $P_t$  วัตต์ มีอัตราขยายกำลังของสายอากาศ (Antenna Gain) เป็น  $G_t$  ระยะห่างจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ  $d$  เมตร ค่าความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางแพร่กระจายคลื่นต่อหน่วยพื้นที่ในอากาศช่วง  $P_{fs}$  จะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{fs} = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์ต่อตารางเมตร} \quad (2.1)$$

ผลกระทบของสัญญาณเมื่อตกกระทบลงบนพื้นผิวโลกจะพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าในรูปอาร์เอ็มเอส (RMS : Root Mean Square) กำหนดโดย

$$E_{fs} = \sqrt{Z_{fs} P_{fs}} \quad \text{โวลต์ต่อเมตร} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $Z_{fs}$  คือ อิมพีแดนซ์ของอากาศว่าง มีค่า  $120\pi$  และสมการที่ (2.1) นำไปแทนค่าลงในสมการที่ (2.2) จะได้ความเข้มสนามไฟฟ้าในอากาศว่าง

$$\begin{aligned} E_{fs} &= \sqrt{120\pi \frac{P_t G_t}{4\pi d^2}} \\ &= \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{d} \quad \text{โวลต์ต่อเมตร} \end{aligned} \quad (2.3)$$

ส่วนทางด้านรับสัญญาณ พิจารณาเป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง (Nonisotropic Antenna) ที่มีแกนกำลังสายอากาศเท่ากับ  $G_r$  และมีความเข้มสนามไฟฟ้าทางด้านรับกำหนดโดย

$$E_{rec} = \sqrt{Z_{fs} P_{rec}} \quad \text{โวลต์ต่อเมตร} \quad (2.4)$$

ซึ่ง  $E_{rec}$  คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าที่สายอากาศตัวรับ

$P_{rec}$  คือ กำลังที่สายอากาศตัวรับ

และกำลังงานที่รับได้ทางด้านรับคือ

$$P_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} P_{rec} G_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{E_{rec}^2}{Z_{fs}} G_r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \left( \frac{E_{rec} \lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{G_r}{120} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) สามารถหาอัตราส่วนกำลังงานที่รับได้ต่อกำลังงานที่ส่ง คือ

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_t} &= \frac{\left( \frac{E_{rec} \lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{G_r}{120}}{\frac{(E_{fs} d)^2}{30G_t}} \\ &= \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \left( \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right)^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) เป็นสมการการสูญเสียของสัญญาณในรูปแบบทั่วไป อัตราส่วนกำลังงานที่รับได้ต่อกำลังงานที่ส่งในอากาศว่าง หรือ สมการการสูญเสียของสัญญาณในอากาศว่าง คือ

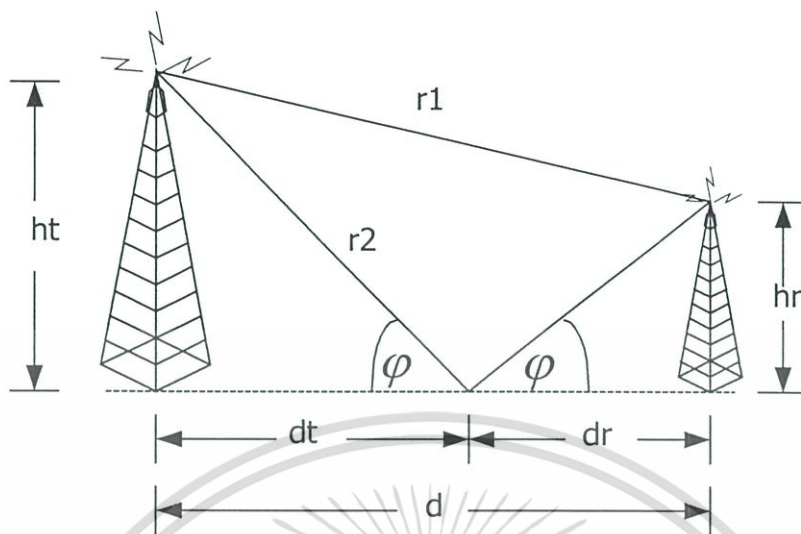
$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \left( \frac{P_{rec}}{P_{fs}} \right) \quad (2.7)$$

แทนสมการที่ (2.2) และ (2.4) ลงในสมการ (2.7) จะได้สมการในรูปความเข้มสนามไฟฟ้า

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \left( \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right)^2 \quad (2.8)$$

ในกรณีที่พิจารณาการแพร่กระจายของคลื่นในสภาพภูมิประเทศที่ราบเรียบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีรัศมีเซลล์เป็นระยะทางไม่กี่กิโลเมตร สัญญาณจากเครื่องส่งที่สายอากาศของเครื่องรับสามารถรับได้ประกอบด้วย คลื่นที่รับได้โดยตรง (Direct Wave) และคลื่นที่สะท้อนกับพื้นดิน (Reflection Wave) ดังนั้นสัญญาณที่ได้รับจึงเป็นผลรวมของสัญญาณทั้งสอง การสูญเสียสัญญาณจากคลื่นตรงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) ส่วนสัญญาณจากคลื่นสะท้อนจะมีแฟคเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาคือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นดิน พิจารณารูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการเดินทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน

ซึ่ง

$h_t$  คือ ความสูงสายอากาศของสถานีฐาน

$h_r$  คือ ความสูงสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่

$r_1$  คือ สัญญาณที่รับได้โดยตรง

$r_2$  คือ สัญญาณที่ตกกระทบที่รับได้

$\phi$  คือ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนกลับ

$d_t$  คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับมุมตกกระทบ

$d_r$  คือ ระยะทางระหว่างมุมตกกระทบกับโทรศัพท์เคลื่อนที่

$d$  คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่

ค่าผลต่างของความยาวเส้นทางระหว่างสัญญาณคลื่นตรงและสัญญาณคลื่นสะท้อน จะได้

$$\Delta r = r_1 - r_2$$

$$= \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\approx d \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h_t + h_r}{d} \right)^2 \right] - d \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h_t - h_r}{d} \right)^2 \right]$$

$$= \frac{2h_t h_r}{d} \quad (2.9)$$

ผลต่างความยาวเส้นทางของสัญญาณทั้งสอง ทำให้เกิดความแตกต่างของเฟส ( $\Delta$ ) จะได้ว่า

$$\Delta = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (2.10)$$

สัญญาณคลื่นสะท้อนมีมุมสะท้อนกำหนดโดย  $\psi$

$$\tan \psi = \frac{h_r}{d_t} = \frac{h_r}{h_t d} \frac{h_t + h_r}{h_t + h_r}$$

$$= \frac{h_t + h_r}{d} \quad (2.11)$$

อัตราส่วนความเข้มสนามไฟฟ้าที่รับได้ต่อความเข้มสนามไฟฟ้าที่ส่งในอวกาศว่างมีขนาดกำลังสอง จะได้ว่า

$$\left| \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right|^2 \approx |1 + \text{Re}^{j\Delta}|^2$$

$$= 1 + |R|^2 + 2|R| \cos(\Delta + \zeta) \quad (2.12)$$

กำหนดให้สัมประสิทธิ์การสะท้อน  $R$  มีความสัมพันธ์กับมุมสะท้อนและกราวด์อิมพีแดนซ์ ( $Z$ ) กำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \frac{\sin \psi - Z}{\sin \psi + Z}$$

$$= |R|e^{j\zeta} \quad (2.13)$$

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลู่ลู่มีมุมสะท้อนกับพื้นดินที่ต่ำมาก จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน  $R \approx -1$  ดังนั้นจากสมการที่ (2.12) จะได้

$$\left| \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right|^2 \approx 2(1 - \cos \Delta) = 4 \sin^2 \left( \frac{\Delta}{2} \right)$$

$$= 4 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad (2.14)$$

นำสมการที่ (2.14) แทนลงในสมการที่ (2.8) จะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = 4 \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \sin^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad (2.15)$$

และจะประมาณสมการที่ (2.14) ได้เป็น

$$\left| \frac{E_{rec}}{E_{fs}} \right|^2 \approx \left( \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \right)^2 \quad (2.16)$$

นำสมการที่ (2.16) แทนในสมการที่ (2.15) จะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \left( \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \right)^2$$

$$\approx \frac{(h_t h_r)^2}{d^4} \quad (2.17)$$

ดังนั้นการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่นระดับสายตา (Line of Sight) พิจารณาในหน่วยเดซิเบล จะได้

$$L_{path} = 20 \log_{10} (h_t h_r)_m - 40 \log_{10} d_{km} \quad (2.18)$$

### 2.2.2 การสูญเสียเนื่องจากการถูกบดบัง (Shadowing)

ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการถูกบดบัง คือสภาพแวดล้อมที่ทำการสื่อสารอยู่ในขณะนั้นมีสิ่งกีดขวาง เช่น เนินเขา ต้นไม้ สิ่งปลูกสร้างต่างๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นมาบังเส้นทางการแพร่กระจายของคลื่นทำให้เกิดเงาด้านหลังสิ่งกีดขวางนั้นขึ้น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณถูกบดบังจากสิ่งกีดขวาง

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เดินทางผ่านสิ่งกีดขวางเหล่านี้ สัญญาณที่รับได้จะหักเหไปจากสัญญาณเดิม ทำให้ระดับกำลังของสัญญาณลดลง เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกจากบริเวณนั้นแล้วระดับของสัญญาณที่รับได้จะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของระดับกำลังสัญญาณในลักษณะนี้ สมมุติให้เป็นฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอโมล (Lognormal Distribution) แต่สัญญาณที่วัดได้เมื่อพิจารณาในหน่วยเดซิเบล (dB) มีการกระจายแบบล็อกนอโมล จะได้การสูญเสียเนื่องจากการถูกบดบัง  $L_{dB}$  คือ

$$L_{dB} = m_{dB} + \sigma_{dB} X \quad (2.19)$$

ซึ่ง

$m_{dB}$  คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้

$\sigma_{dB}$  คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณที่รับได้

$X$  คือ ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง

เมื่อการสูญเสียพิจารณาในรูปของวัตต์ (Watt) จะได้

$$L_{Watt} = 10^{\frac{(m_{dB} + \sigma_{dB} X)}{10}} = uy \quad (2.20)$$

กำหนดให้

$$u = 10^{\frac{m_{dB}}{10}} \quad y = e^{\beta \sigma_{dB} X} \quad (2.21)$$

ซึ่ง

$\beta = \frac{\ln 10}{10}$  เนื่องจากทราบความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอโมด

คือ

$$P_y(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{X^2}{2}} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.21) จะได้ค่าตัวแปรสุ่ม  $X$

$$X = \frac{\ln y}{\sigma_{dB} \beta} \quad (2.23)$$

เมื่อความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอโมด ซึ่งอาศัยฟังก์ชันการกระจายแบบล็อกนอโมด คือ

$$P_y(y) = \frac{1}{\left| \frac{dg(x)}{dx} \right|} P_x(x) \quad (2.24)$$

กำหนดให้  $y = g(x)$  ดังนั้นจะได้

$$\frac{dg(x)}{dx} = \sigma_{dB} \beta e^{\beta \sigma_{dB} x} \quad (2.25)$$

นำสมการที่ (2.25) แทนในสมการที่ (2.24) จะได้

$$P_y(y) = \frac{1}{\sigma_{dB} \beta e^{\beta \sigma_{dB} x}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.26)$$

กำหนดให้

$$e^{\beta \sigma_{dB} x} = y$$

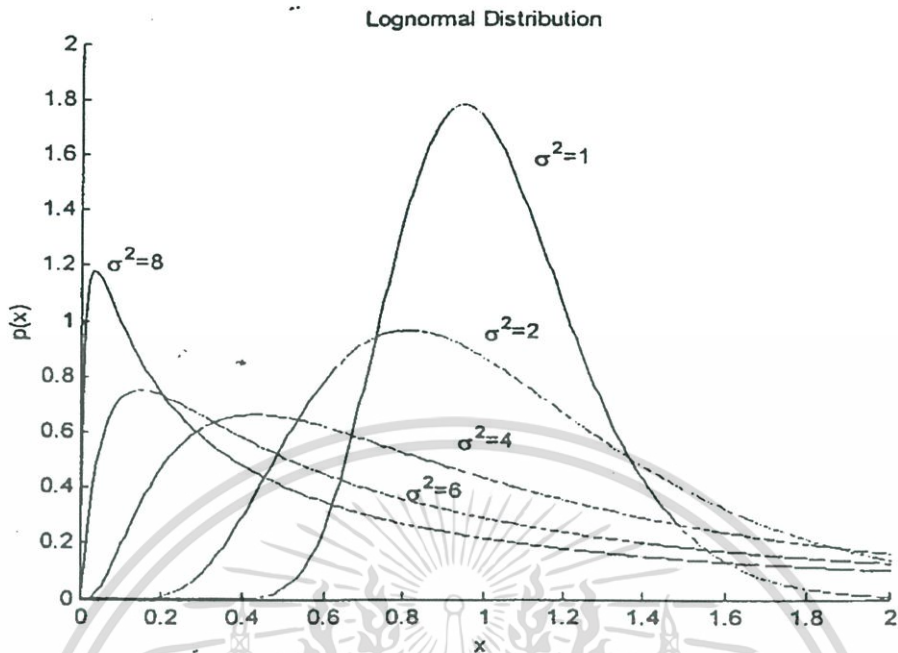
$$x = \frac{\ln y}{2\sigma_{dB} \beta}$$

แทนค่า  $x$  ให้อยู่ในเทอม  $y$  จะได้

$$P_y(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{dB} \beta y} e^{-\frac{\ln^2 y}{2\beta^2 \sigma_{dB}^2}}, y \geq 0 \quad (2.27)$$

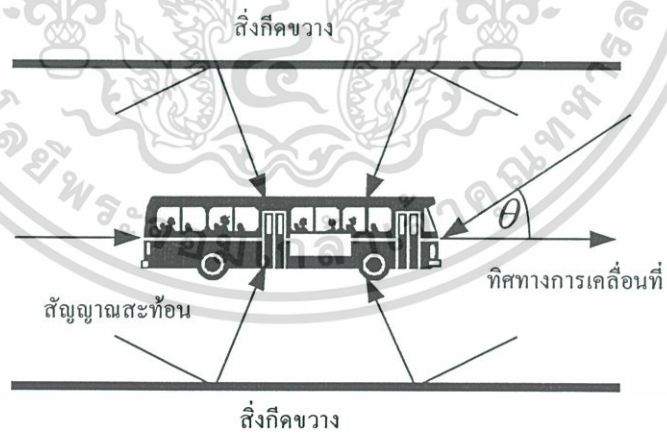
จากสมการที่ (2.27) เป็นสมการความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบสีกอนอมอด และกราฟแสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การกระจายความน่าจะเป็นแบบล็อกนอร์มอล ที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 1,2,4,6 และ 8dB

### 2.2.3 การสูญเสียจากการจางหลายเส้นทาง (Multipath Fading)



รูปที่ 2.4 แสดงเส้นทางการแพร่กระจายของคลื่นหลายเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านทางคลื่นวิทยุ ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางมาบดบังจำนวนมาก เช่น ในพื้นที่เขตเมืองเป็นสิ่งปลูกสร้างจำนวนมาก ซึ่งทำให้บังเส้นทางคลื่นระดับสายตา (Line of sight) และทำให้สัญญาณที่รับได้เป็นสัญญาณแตกกระจายหลายเส้นทาง (Multipath) ซึ่งมีขนาด (Amplitude) เฟส (Phase) และเวลาประวิง (Delay) แตกต่างกัน

สัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่รับได้อาจจะมีการเสริม หรือหักล้างกัน ทำให้สัญญาณเกิดการแกว่งไม่แน่นอน และเมื่อสมมุติให้สัญญาณคลื่นพาห้ที่ทำการส่ง คือ

$$s(t) = \text{Re}\{b(t)e^{j\omega_c t}\} \quad (2.28)$$

กำหนดให้

$s(t)$  คือ สัญญาณคลื่นพาห้

$b(t)$  คือ สัญญาณข้อมูลข่าวสาร

$\omega_c$  คือ ความถี่คลื่นพาห้เชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที) มีค่า  $2\pi f_c$

สัญญาณที่รับได้ผ่านช่องสัญญาณสื่อสารไร้สาย คือ ผลรวมของสัญญาณแต่ละเส้นทาง จะได้สมการ

$$R(t) = \text{Re}\left\{\sum_{i=1}^N [A_i b(t) e^{j\omega_c t + \phi_i}]\right\} \quad (2.29)$$

เมื่อ

$N$  คือ จำนวนเส้นทางสัญญาณ

$A_i$  คือ ขนาดของสัญญาณเส้นทางคลื่นที่  $i$

$\phi_i$  คือ เวลาประวิงเส้นทางคลื่นที่  $i$

เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่ก่อให้เกิดความถี่ดอปเปลอร์ มีผลให้ความถี่เคลื่อนที่ออกไป ซึ่งความถี่ขึ้นอยู่กัมุมตกกระทบระหว่างสัญญาณที่มาถึงตัวรับกับทิศทางในการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ถ้าทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาคลื่นที่เข้ามากการเคลื่อนดอปเปลอร์ มีค่าเป็นบวก แต่ถ้าทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาคลื่นที่ตรงข้ามกับคลื่นที่เข้ามากการเคลื่อนดอปเปลอร์ มีค่าเป็นลบ และการเคลื่อนดอปเปลอร์ที่เกิดขึ้นเท่ากับ

$$f_i = f_d \cos(\theta_i) \quad (2.30)$$

$$f_d = \frac{v}{c} f_c \quad (2.31)$$

เมื่อ  $f_d$  คือ ความถี่ดอปเปลอร์สูงสุด  
 $v$  คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ (เมตรต่อวินาที)  
 $c$  คือ ความเร็วแสง ( $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที)  
 $\omega_d$  คือ ความถี่ดอปเปลอร์เชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที) มีค่า  $2\pi f_d$   
 เนื่องจากเกิดความถี่ดอปเปลอร์ขึ้น ดังนั้นสัญญาณคลื่นพาห์ที่รับได้ คือ

$$\begin{aligned} R(t) &= \operatorname{Re} \left\{ \sum_{i=1}^N [A_i b(t) e^{j(\omega_c + \omega_d \cos \theta_i t) + \phi_i}] \right\} \\ &= \operatorname{Re} \{ x(t) b(t) e^{j\omega_c t} \} \end{aligned} \quad (2.32)$$

พิจารณาในเทอมจำนวนเชิงซ้อนการเสริมเฟส จะได้

$$x(t) = x_I(t) + jx_Q(t) \quad (2.33)$$

โดย

$$x_I(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_d \cos \theta_i t + \phi_i) \quad (2.34)$$

$$x_Q(t) = \sum_{i=1}^N A_i \sin(\omega_d \cos \theta_i t + \phi_i) \quad (2.35)$$

เนื่องจากมีเส้นทางคลื่นสัญญาณสะท้อนไปมามีจำนวนมาก และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและเฟสของแต่ละสัญญาณเป็นไปในลักษณะสุ่ม (Random) จึงสามารถพิจารณาให้เป็นตัวแปรสุ่มได้และการรวมกันของสัญญาณเหล่านี้ ใช้ทฤษฎีเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem : CLT) โดยสมมติให้เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ที่เป็นอิสระต่อกัน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$  ความหนาแน่นความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Density) ที่เป็นอิสระต่อกันของ  $x_I(t)$  และ  $x_Q(t)$  คือ

$$\begin{aligned}
 p(x_1, x_2) &= p(x_1)p(x_2) \\
 &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x_1^2 + x_2^2}{2\sigma^2}}
 \end{aligned}
 \tag{2.36}$$

กรอปกว้าง (Envelop) ของสัญญาณที่รับได้ คือ

$$r(t) = \sqrt{x_1(t)^2 + x_2(t)^2} \tag{2.37}$$

และ

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left[ \frac{x_1(t)}{x_2(t)} \right] \tag{2.38}$$

จัดรูปสมการใหม่ จากตัวแปร  $x_1(t), x_2(t)$  ให้อยู่ในรูป  $r(t), \theta(t)$  จะได้

$$x_1(t) = r(t) \cos \theta \tag{2.39}$$

$$x_2(t) = r(t) \sin \theta \tag{2.40}$$

แปลงความหนาแน่นความน่าจะเป็นร่วม โดยใช้ทฤษฎีการทรานส์ฟอร์มของจาโคเบียน (Jacobian) จะได้

$$|J| = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial r} & \frac{\partial x_2}{\partial r} \\ \frac{\partial x_1}{\partial \theta} & \frac{\partial x_2}{\partial \theta} \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} \cos \theta & -r \sin \theta \\ \sin \theta & r \cos \theta \end{vmatrix}$$

$$= r \tag{2.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความหนาแน่นความน่าจะเป็นร่วมที่มีการกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าความแปรปรวน  $\sigma^2$  จะได้

$$p(r, \theta) = |J| p_{x_1, x_2}(r)$$

$$= \frac{r}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (2.42)$$

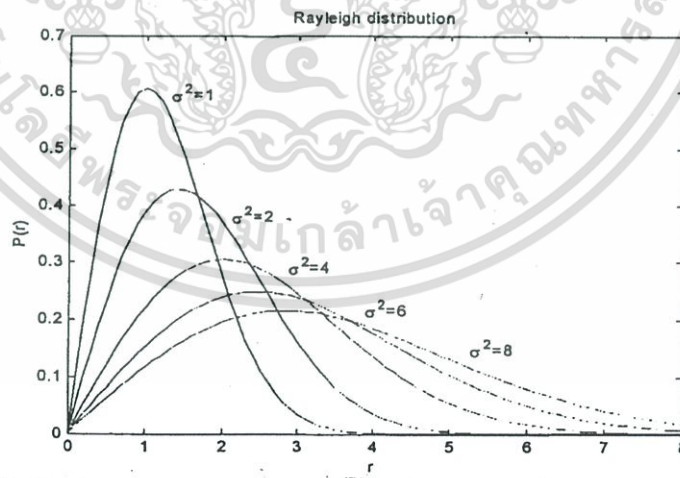
ซึ่งมีการกระจายของกรอบคลื่นแบบเรย์ลี คือ

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (2.43)$$

และมีการกระจายของเฟสอย่างสม่ำเสมอในช่วง 0 ถึง  $2\pi$  คือ

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi} \quad (2.44)$$

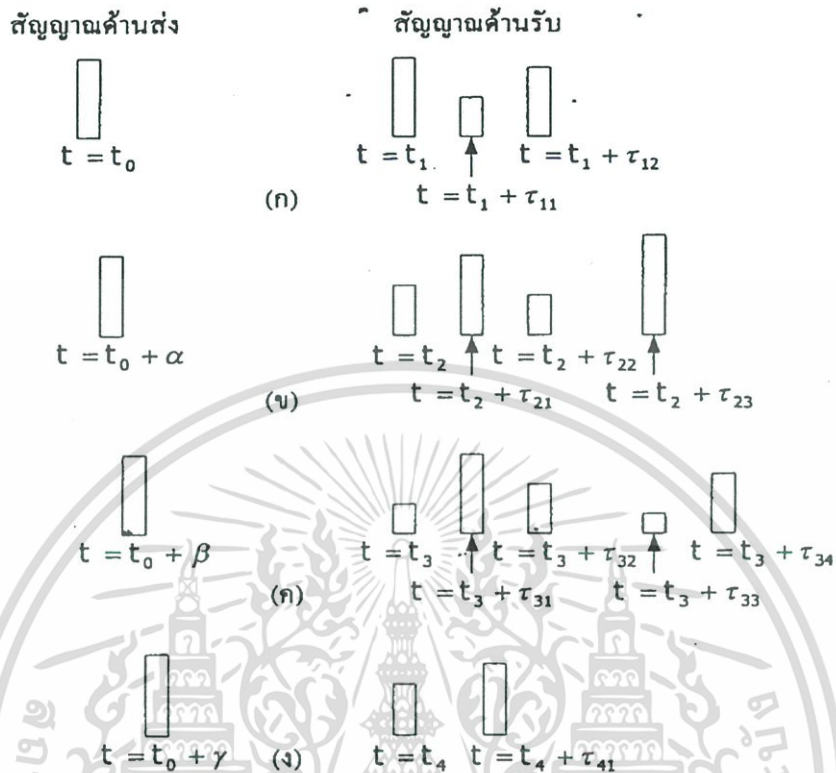
จากสมการ (2.43) เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของกรอบคลื่น ที่มีการกระจายแบบเรย์ลี แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การกระจายแบบเรย์ลีที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 1,2,4,6 และ 8 เดซิเบล

## 2.3 ช่องสัญญาณการจางหลายเส้นทาง (Multipath Fading Channel)

### 2.3.1 รูปแบบช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการตอบสนองของช่องสัญญาณการจางหลายเส้นทางที่แปรผันตามเวลา

ในการสื่อสารไร้สายเมื่อส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่มีการเฟดดิ้งหลายวิถี (Multipath Fading) ที่แปรผันตามเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สัญญาณที่รับได้จะเป็นขบวนพัลส์ ที่มีการประวิงเวลา (Delay Time) และเกิดการลดทอนทางแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า คุณสมบัติของสัญญาณที่ถูกส่งผ่านช่องสัญญาณการจางหลายเส้นทาง จะมีการแผ่กว้างทางเวลา (Time Spread) ของสัญญาณ และคุณสมบัติของช่องสัญญาณจะมีความแปรผันทางเวลาในโครงสร้างของตัวกลาง ซึ่งทำให้สามารถกำหนดคุณสมบัติของช่องสัญญาณการจางหลายเส้นทางที่แปรผันตามเวลาในเชิงสถิติได้ และหากพิจารณาผลกระทบของช่องสัญญาณต่อสัญญาณที่ถูกส่งออกไป ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกไป  $s(t)$  สามารถเขียนสมการได้

$$S(t) = \text{Re}\{S_l(t) e^{j2\pi f_c t}\} \quad (2.45)$$

เมื่อ	$S(t)$	คือ สัญญาณที่ทำการส่งออกไป
	$S_l(t)$	คือ สัญญาณแถบความถี่ต่ำสมมูล (Equivalent lowpass signal)
	$f_c$	คือ ความถี่ของสัญญาณพาห้

กำหนดให้มีเส้นทางในการแพร่กระจายหลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางสอดคล้องกับการหน่วงเวลาของการแพร่กระจาย (Propagation Delay) และตัวประกอบการลดทอน (Attenuation Factor) โดยทั้งสองตัวประกอบนี้จะมีการแปรผันตามเวลา ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวกลางซึ่งสัญญาณผ่านแถบ (Band Pass Signal) ที่รับ ได้ดังสมการ

$$x(t) = \sum_n \alpha_n(t) S[t - \tau_n(t)] \quad (2.46)$$

โดย

$\alpha_n(t)$  คือ ตัวประกอบการลดทอนของสัญญาณที่รับ ได้บนเส้นทางที่  $n$   
 $\tau_n(t)$  คือ การประวิงเวลาในการแพร่กระจายของเส้นทางที่  $n$

เมื่อแทนค่า  $S(t)$  จากสมการที่ (2.45) ในสมการที่ (2.46) จะได้

$$x(t) = \text{Re} \left\{ \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} S_l[t - \tau_n(t)] e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (2.47)$$

จากสมการที่ (2.47) จะแสดงได้ว่าสัญญาณแถบความถี่ต่ำสมมูลทางด้านการรับ (Equivalent low pass Received signal) แสดงได้ดังสมการ

$$r_l(t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} S_l[t - \tau_n(t)] \quad (2.48)$$

โดยที่  $r_l(t)$  เป็นผลตอบสนองของช่องสัญญาณแถบความถี่ต่ำสมมูล (Equivalent lowpass Channel) ต่อสัญญาณแถบความถี่ต่ำสมมูล  $S_l(t)$  ดังนั้นช่องสัญญาณแถบความถี่ต่ำสมมูลจะแสดงได้ในรูปของผลตอบสนองทางอิมพัลส์ที่มีการแปรผันตามเวลา คือ

$$c(\tau; t) = \sum_n \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} \delta[t - \tau_n(t)] \quad (2.49)$$

เมื่อผลตอบสนองอิมพัลส์  $c(\tau; t)$  ถูกจำลองเป็นกระบวนการสุ่มเชิงซ้อนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และกรอบคลื่น  $|c(\tau; t)|$  ที่เวลา  $t$  ใดๆ มีการแจกแจงแบบเรย์ลี ช่องสัญญาณนี้จะเป็นช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading Channel) หากกรณี  $c(\tau; t)$  ไม่สามารถจำลองให้มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ กรอบคลื่น  $|c(\tau; t)|$  จะมีการแจกแจงแบบไรเซียนและช่องสัญญาณจะเป็นช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบไรเซียน (Ricean Fading Channel)

### 2.3.2 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์และความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน

ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Correlation Function) และฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density) สามารถใช้เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่มีการจางหายหลายเส้นทางได้ เมื่อพิจารณาผลตอบสนองอิมพัลส์แถบความถี่ต่ำสมบูรณ์  $c(\tau; t)$  ซึ่งเป็นกระบวนการสุ่มเชิงซ้อนแบบเกาส์เซียน ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ สมมติว่า  $c(\tau; t)$  มีลักษณะคงที่แถบกว้าง (Wide-Sense Stationary) สามารถหาฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation Function) ของ  $c(\tau; t)$  ได้เป็น

$$\phi_c(\tau_1, \tau_2, \Delta t) = \frac{1}{2} E[c(\tau_1; t) c^*(\tau_2; t + \Delta t)] \quad (2.50)$$

ตัวกลางในการรับส่งสัญญาณวิทยุส่วนมากนั้น การลดทอน (Attenuation) และการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ของช่องสัญญาณที่สัมพันธ์กับการประวิง  $\tau_1$  นั้น จะไม่สัมพันธ์กับการลดทอนและการเลื่อนเฟสที่สัมพันธ์กับการหน่วง  $\tau_2$  ซึ่งกรณีเรียกว่า การกระจัดกระจายแบบไม่สหสัมพันธ์ (uncorrelated scattering) หากสมมติว่าการเกิดการกระจัดกระจายที่เวลาประวิงทั้งสองไม่สัมพันธ์กัน สมการที่ (2.50) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2} E[c(\tau_1; t) c^*(\tau_2; t + \Delta t)] = \phi_c(\tau_1; \Delta t) \delta(\tau_1 - \tau_2) \quad (2.51)$$

พิจารณาที่  $\Delta t = 0$  ผลของฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์  $\phi_c(\tau_1; \Delta t) = \phi_c(\tau)$  ซึ่งก็คือ กำลังงานเอาท์พุทเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาประวิง  $\tau$  แล้ว  $\phi_c(\tau)$  จึงถูกเรียกว่า รูปร่างความเข้มหลายเส้นทาง (Multipath Intensity Profile : MIP) ของช่องสัญญาณ โดยทั่วไปแล้ว  $\phi_c(\tau, \Delta t)$  จะ

แสดงกำลังงานเอาท์พุทเฉลี่ยในรูปฟังก์ชันของเวลาประวิง  $\tau$  บนความแตกต่างของเวลา  $\Delta t$  ในการพิจารณาถึง MIP เมื่อช่องสัญญาณที่ใช้ในการพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นแบบการจางหายช้าแบบเรย์ลีและเป็นช่องสัญญาณที่เจาะจงความถี่ (Slowly-Varying Frequency Selective Rayleigh Fading channel) ที่มีการตอบสนองของช่องสัญญาณตามสมการ

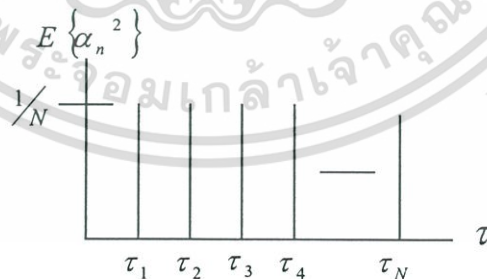
$$c(\tau; t) = \sum_{n=1}^N \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau} \delta[t - \tau_n(t)] \quad (2.52)$$

โดยกำหนดให้จำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้  $N$  เส้นทาง (N-Resolvable Paths) และกำหนดให้สถิติของการจางหาย (Fading Statistics) ของแต่ละผู้ใช้งานของช่องสัญญาณเหมือนกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยกำลังงานที่รับได้ในแต่ละเส้นทางที่แก้ไขได้ของผู้ใช้งานทั้งหมดจะเท่ากัน สามารถเรียกได้ว่า MIP นั้น เป็นแบบเอกรูป (Uniform) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อกำหนดให้ไม่มีการสูญเสียของกำลังส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้น จะได้

$$\sum_{n=1}^N E\{\alpha_n^2\} = 1 \quad (2.53)$$

จากคุณสมบัติของ MIP แบบเอกรูป โดยค่าเฉลี่ยของกำลังสัญญาณที่รับได้ ในแต่ละเส้นทางที่แก้ไขได้จะเท่ากันของแต่ละเส้นทาง จะได้

$$E\{\alpha_n^2\} = \frac{1}{N} \quad (2.54)$$



รูปที่ 2.7 แสดง MIP แบบเอกรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติฟังก์ชัน  $\phi_c(\tau; \Delta t)$  จะวัดได้โดยการส่งพัลส์ช่วงแคบมากๆ หรือสัญญาณแบนด์กว้าง (Wideband Signal) และทำการสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-Correlation) สัญญาณที่รับได้ด้วยตัวสัญญาณนั่นเองที่ถูกประวิงเวลาออกไป โดยปกติแล้วฟังก์ชัน  $\phi_c(\tau)$  ที่วัดได้จะปรากฏเป็นลักษณะเอ็กโปเนนเชียล นั่นคือ ขนาดของ  $\phi_c(\tau)$  จะมีค่าลดลงในลักษณะเอ็กโปเนนเชียลเมื่อค่า  $\tau$  มีค่าเพิ่มขึ้น ช่วงของค่า  $\tau$  ซึ่ง  $\phi_c(\tau)$  มีค่าไม่เป็นศูนย์ จะเรียกว่า การแผ่หลายเส้นทาง (Multipath Spread) ของช่องสัญญาณ แทนด้วย  $T_m$  การแสดงคุณลักษณะของช่องสัญญาณการจางหายหลายเส้นทางที่แปรผันตามเวลาในโดเมนของความถี่ สามารถทำได้โดยใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ของ  $c(\tau; t)$  จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่แปรผันตามเวลา  $c(f; t)$  เมื่อ  $f$  เป็นตัวแปรของความถี่ดังนี้

$$c(f; t) = \int_{-\infty}^{\infty} c(\tau; t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2.55)$$

เนื่องจาก  $c(\tau; t)$  เป็นกระบวนการสุ่มเชิงซ้อนแบบเกาส์เซียน ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ในตัวแปร  $t$  ดังนั้น  $c(f; t)$  ก็จะมีคุณลักษณะทางสถิติเหมือนกัน ด้วยเหตุนี้ภายใต้การสมมุติว่าช่องสัญญาณมีลักษณะคงที่ในแนวกว้าง จึงสามารถหาฟังก์ชันออสซิลโลแกรมได้เป็น

$$\phi_c(f_1, f_2; \Delta t) = \frac{1}{2} E(C^*(f_1; t) C(f_2; t + \Delta t)) \quad (2.56)$$

แทนสมการที่ (2.55) ลงในสมการที่ (2.56) จะได้

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

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_c(\tau_1; \Delta t) e^{-j2\pi\Delta f\tau_1} d\tau_1 \equiv \phi_c(\Delta f; \Delta t) \quad (2.57)$$

เมื่อ  $\Delta f = f_2 - f_1$  จากสมการที่ (2.57) สังเกตว่า  $\phi_c(\Delta f; \Delta t)$  เป็นการแปลงฟูเรียร์ของ MIP และจากการสมมติว่าเป็นการกระเจิงแบบไม่สัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ของ  $C(f; t)$  เป็นเพียงฟังก์ชันความแตกต่างทางความถี่  $\Delta f = f_2 - f_1$  ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะเรียก  $\phi_c(\Delta f; \Delta t)$  ว่า ฟังก์ชันสหสัมพันธ์สเปซความถี่-สเปซเวลา (Space-Frequency Space-Time Correlation) ของช่องสัญญาณ สมมติว่า  $\Delta f = 0$  ในสมการที่ (2.57) รวมทั้ง  $\phi(\Delta f; 0) \equiv \phi_c(\Delta f)$  และ  $\phi_c(\tau; 0) \equiv \phi_c(\tau)$  จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\phi_c(\Delta f) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_c(\tau) e^{-j2\pi\Delta f\tau} d\tau \quad (2.58)$$

ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.58) ที่  $\phi_c(\Delta f)$  เป็นฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ในตัวแปรของความถี่เป็นการแสดงให้เห็นถึงการวัดความถี่ร่วมนัย (Coherence Frequency) ของช่องสัญญาณ ผลของความสัมพันธ์ในการแปลงฟูเรียร์ระหว่าง  $\phi_c(\Delta f)$  และ  $\phi_c(\tau)$  จะเป็นแบบเดียวกันว่า การแผ่กว้างหลายเส้นทางนั้นเป็นการวัดแบนด์ร่วมนัย (Coherence Bandwidth) ของช่องสัญญาณ คือ

$$(\Delta f)_c \approx \frac{1}{T_m} \quad (2.59)$$

เมื่อ  $(\Delta f)_c$  แสดงแบนด์วิธร่วมนัย เป็นผลให้สัญญาณชายน์ 2 สัญญาณที่มีความถี่ต่างกันมากกว่า  $(\Delta f)_c$  จะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณต่างกัน เมื่อทำการส่งสัญญาณข่าวสารผ่านช่องสัญญาณ ถ้า  $(\Delta f)_c$  มีค่าน้อยกว่าแบนด์วิธของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจะเรียกช่องสัญญาณนั้นว่า ช่องสัญญาณแบบเจาะจงความถี่ (Frequency Selective Channel) ซึ่งช่องสัญญาณนี้จะทำให้สัญญาณที่ส่งออกไปมีความผิดเพี้ยนอย่างรุนแรง แต่ถ้า  $(\Delta f)_c$  มีค่ามากกว่าแบนด์วิธของสัญญาณที่ถูกส่งไป จะเรียกช่องสัญญาณนั้นว่า ช่องสัญญาณไม่เจาะจงความถี่ (Frequency Nonselective Channel)

### 2.3.3 สัญญาณดิจิทัลบนช่องสัญญาณการกระจายแบบเจาะจงความถี่

เมื่อแบนด์วิทของสัญญาณของผู้ใช้  $W > (\Delta f)_c$  สามารถพิจารณาได้ว่า ช่องสัญญาณนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อยๆ ที่มีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexed (FDM) Subchannel) หลายๆช่องสัญญาณซึ่งมีความถี่กลางแยกจากกันอย่างน้อย  $(\Delta f)_c$  ดังนั้นสัญญาณของผู้ใช้จะถูกส่งไปบนช่องสัญญาณย่อยแบบ FDM

การวิเคราะห์สัญญาณบนช่องสัญญาณการกระจายแบบเจาะจงความถี่ ใช้สัญญาณแบนด์กว้างที่ครอบคลุมแบนด์วิท  $W$  ถ้าสมมติว่าช่องสัญญาณมีการกระจายที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆและสมมติว่า  $W$  เป็นแบนด์วิทของสัญญาณแถบผ่าน ดังนั้นแบนด์วิทของสัญญาณแถบความถี่ต่ำสมมูล  $s_1(t)$  จะเป็น  $|f| \leq \frac{W}{2}$  เนื่องจาก  $s_1(t)$  ได้ถูกจำกัดอยู่ในช่วง  $|f| \leq \frac{W}{2}$  ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการสุ่ม จะสามารถแสดงสัญญาณ ได้เป็น

$$s_1(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_1\left(\frac{n}{W}\right) \frac{\sin[\pi W(t - n/W)]}{\pi W(t - n/W)} \quad (2.60)$$

และการแปลงฟูเรียร์ของ  $s_1(t)$  คือ

$$s_1(f) = \begin{cases} \frac{1}{W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_1\left(\frac{n}{W}\right) e^{-j2\pi n/W} & (|f| \leq \frac{1}{2}W) \\ 0 & |f| > \frac{1}{2}W \end{cases} \quad (2.61)$$

สัญญาณที่รับได้จากช่องสัญญาณการกระจายแบบเจาะจงความถี่ โดยไม่มีสัญญาณรบกวนจะอยู่ในรูป สมการ

$$r_1(t) = \int_{-\infty}^{\infty} C(f; t) S_1(f) e^{j2\pi ft} df \quad (2.62)$$

เมื่อ  $C(f; t)$  เป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนที่มีการแปรผันตามเวลา แทน  $S_1(f)$  ในสมการที่ (2.62)

$$\begin{aligned}
 r_1(t) &= \frac{1}{W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_1\left(\frac{n}{W}\right) \int_{-\infty}^{\infty} C(f;t) e^{j2\pi f(t-n/W)} df \\
 &= \frac{1}{W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_1\left(\frac{n}{W}\right) C\left(t - \frac{n}{W}; t\right)
 \end{aligned} \tag{2.63}$$

โดย  $C(\tau; t)$  เป็นการตอบสนองอิมพัลส์ที่มีการแปรผันตามเวลา สมการที่ (2.63) จะอยู่ในรูปของผลรวมของการคอนโวลูชัน (Convolution) ดังนั้นสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$r_1(t) = \frac{1}{W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_1\left(t - \frac{n}{W}\right) C\left(\frac{n}{W}; t\right) \tag{2.64}$$

เป็นการสะดวกในการวิเคราะห์กำหนดให้สัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณที่แปรผันตามเวลาเป็น

$$C_n(t) = \frac{1}{W} C\left(\frac{n}{W}; t\right) \tag{2.65}$$

ดังนั้นสมการที่ (2.64) สามารถเขียนในเทอมของสัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ ได้

$$r_1(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n(t) S_1\left(t - \frac{n}{W}\right) \tag{2.66}$$

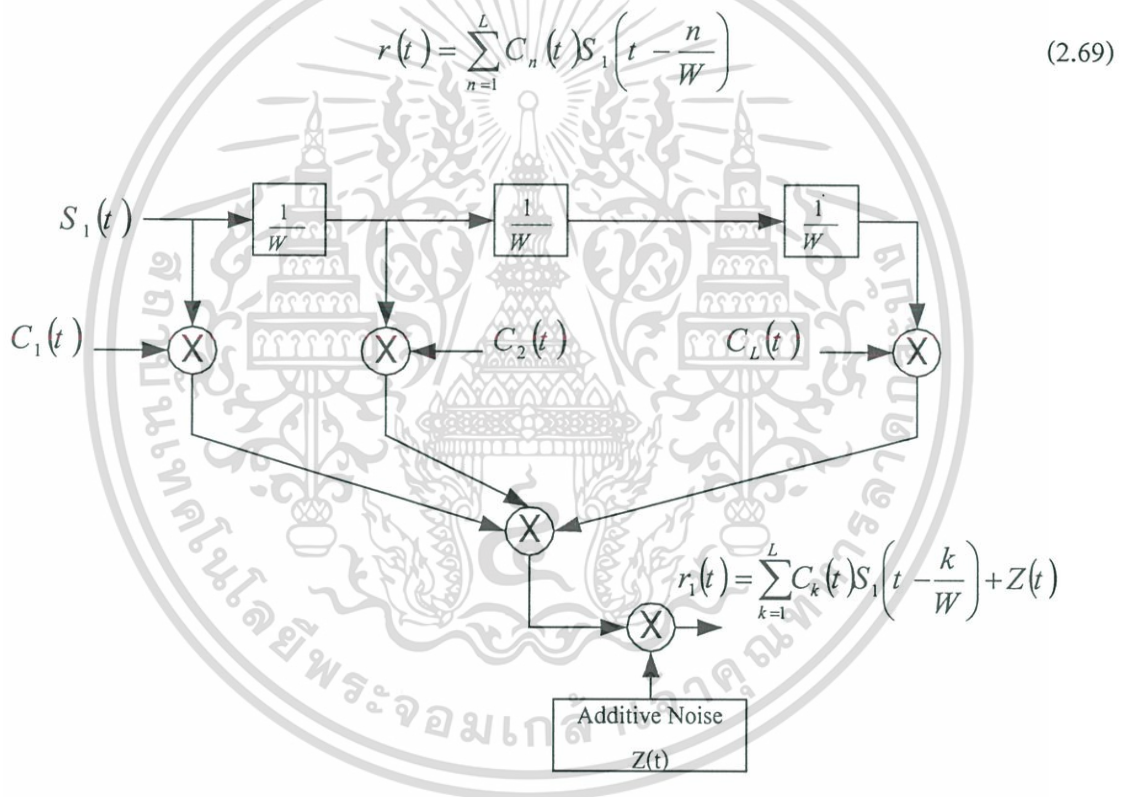
ในรูปแบบของสมการสัญญาณที่ได้รับแสดงให้เห็นว่า ช่องสัญญาณการจางหายแบบเจาะจงความถี่ที่แปรผันตามเวลา สามารถจำลองได้เป็นสายการประวิงเวลาแบบจุดต่อแยก (Tapped Delay Line) โดยมีช่วงกว้างของจุดต่อแยกเป็น  $1/W$  และมีค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักของจุดต่อแยก (Tap Weight Coefficient) เป็น  $\{C_n(t)\}$  และสมการที่ (2.66) สามารถแสดงผลตอบสนองอิมพัลส์แบบแถบความถี่ผ่าน (Lowpass Impulse Response) ของช่องสัญญาณได้เป็น

$$C(\tau; t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n(t) \delta\left(\tau - \frac{n}{W}\right) \tag{2.67}$$

และสอดคล้องกับฟังก์ชันการถ่ายโอนที่มีการแปรผันตามเวลาเป็น

$$C(f; t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n(t) e^{-j 2\pi f n / W} \quad (2.68)$$

ดังนั้นเมื่อสัญญาณแถบความถี่ต่ำผสมมอดูมีแบนด์วิธ  $W/2$  และ  $W \gg (\Delta f)_c$  จะได้รับการแยกความละเอียดของ MIP เป็น  $1/W$  เนื่องจากการแผ่กว้างหลายเส้นทางทั้งหมดเป็น  $T_m$  ดังนั้นในทางปฏิบัติแบบจำลองสายการประวิงเวลาแบบจุดต่อแยก (Tap) ของช่องสัญญาณจะมีจำนวนจุดต่อแยกจำกัดอยู่ที่  $L = \lceil T_m W \rceil + 1$  และสัญญาณที่รับได้โดยไม่มีสัญญาณรบกวนสามารถแสดงได้



รูปที่ 2.8 แบบจำลองสายการประวิงเวลาแบบจุดต่อแยกของช่องสัญญาณแบบเจาะจงความถี่

แบบจำลองสายการประวิงเวลาแบบจุดต่อแยกที่มีจำนวนจุดต่อแยกจำกัดเป็น  $L$  ดังรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าสัญญาณในแต่ละเส้นทางที่มีการหน่วงเวลาเป็นจำนวนเต็มเท่าของ  $1/W$  จะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าถ่วงน้ำหนักจุดต่อแยกที่แปรผันตามเวลา  $\{c_n(t)\}$  จะเป็นกระบวนการสุ่มแบบเชิงซ้อนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ขนาดของ  $\{C_n(t)\}$  คือ  $|C_n(t)| \equiv \alpha_n(t)$  มีการแจกแจงเป็นแบบเรย์ลี และเฟส  $\phi_n(t)$  มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ เนื่องจาก  $\{c_n(t)\}$  เป็นค่าถ่วงน้ำหนักจุดต่อแยกซึ่งสอดคล้องกับเวลาประวิง  $\tau = n/W$  ของเส้นทางต่างๆ ทั้งหมด  $L$  เส้นทาง เมื่อ  $n = 1, 2, \dots, L$  เมื่อสมมติว่าเป็นการกระเจิงแบบไม่สหสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่า  $\{C_n(t)\}$  ของแต่ละเส้นทางจะไม่สัมพันธ์กันด้วย แต่เนื่องจาก  $\{C_n(t)\}$  เป็นกระบวนการสุ่มแบบเกาส์เซียน ดังนั้น  $\{C_n(t)\}$  ของแต่ละเส้นทางจึงมีความเป็นอิสระต่อกันเชิงสถิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

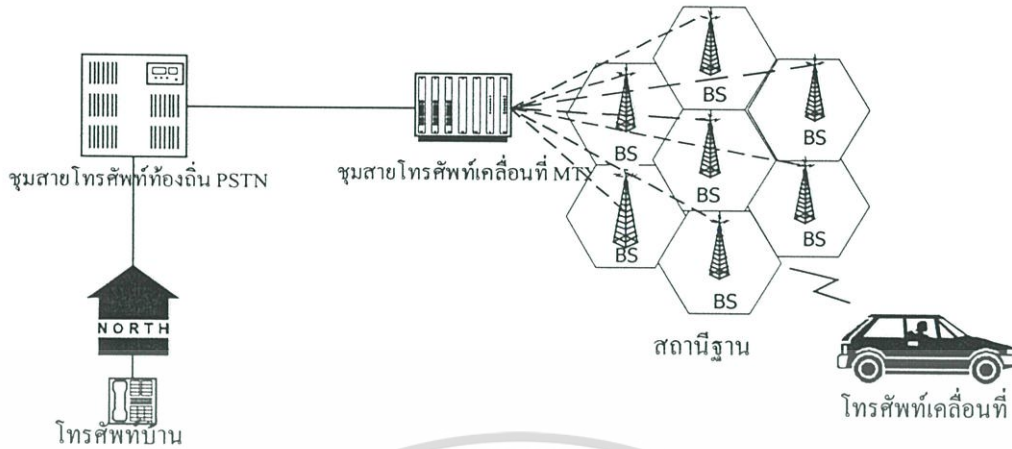
# ระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ และตัวทวนสัญญาณ

### 3.1 บทนำ

หลักการเบื้องต้นของระบบซีดีเอ็มเอ (Code Division Multiple Access :CDMA) ในมาตรฐาน IS-95 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2-2.5 ซึ่งความแตกต่างระหว่างการสื่อสารยุคที่หนึ่งและสองคือรูปแบบของการสื่อสารข้อมูล โดยการสื่อสารระบบเซลลูลาร์ในยุคที่สองนั้นจะเป็นการสื่อสารด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับยุคที่หนึ่งที่เป็นการสื่อสารแบบอนาล็อก ตัวอย่างของระบบการสื่อสารในยุคที่หนึ่ง คือ ระบบ Advanced Mobile Telephone System (AMPS) ที่ใช้การเข้ารหัสการเข้าถึงและการมอดูเลชันท่งความถี่ Frequency Modulation : FM) ส่วนระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่สองตั้งในมาตรฐาน IS-54 นั้นจะใช้การเข้ารหัสช่องสัญญาณด้วยช่วงเวลา หรือ Time Division Multiple Access (TDMA) ซึ่งเปลี่ยนรูปแบบการสื่อสารข้อมูลเสียงจากระบบอนาล็อกเดิมเป็นระบบดิจิทัลที่ 10 kbps และส่งสัญญาณด้วยการมอดูเลชันแบบ  $\pi/4$  Differentially encoded quadrature phaseshift keying ( $\pi/4$  DQPSK) ซึ่งต่อมาได้มีการนำเสนอมารฐาน IS-95 ที่ใช้การเข้ารหัสการเข้าถึงด้วยรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA) โดยใช้เทคนิคการขยายสเปกตรัม (Spread spectrum) ที่ทำให้ความจุของผู้ใช้ในหนึ่งเซลล์เพิ่มขึ้นและสามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้มากกว่าการสื่อสารในยุคที่ 1 และ 2 ซึ่งในหนึ่งสื่อหรือเอกสารบางเล่ม จะเรียกระบบซีดีเอ็มเอว่าเป็นระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 2.5

### 3.2 ระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

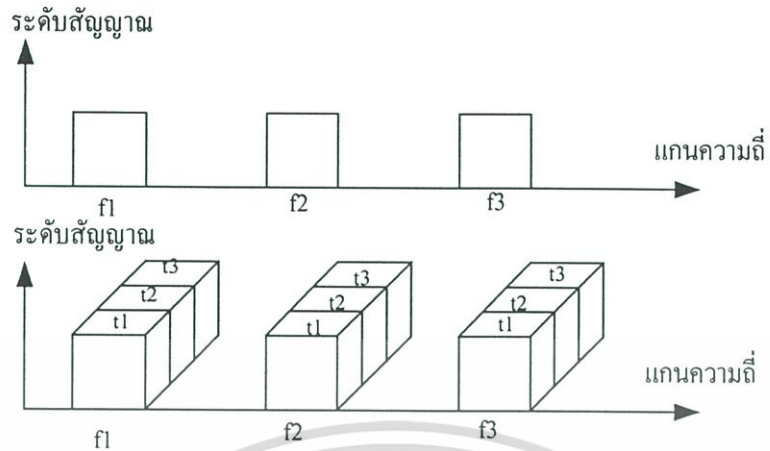
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ หมายถึง การให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีการแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่เล็กๆ และต่อเนื่องกัน ซึ่งพื้นที่เล็กๆนั้นเรียกว่า เซล (Cell) ในแต่ละเซลล์จะมีการติดตั้งฐาน BS : Base Station) ที่มีเครื่องรับ-ส่งสัญญาณทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MTX : Mobile Telephone Exchange) โดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำหน้าที่ควบคุมฟังก์ชันการทำงานทั้งหมดของโครงข่าย รวมถึงการติดต่อกับโครงข่ายภายนอก แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์

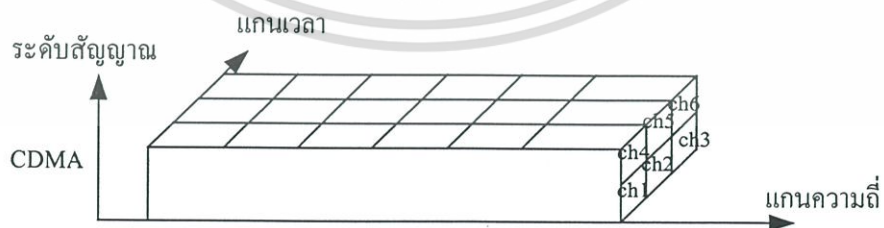
การติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน อาศัยการรับส่งสัญญาณผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทาง (Multiple Access) ทั้งนี้เพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณการให้บริการของระบบรองรับจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จีเอสเอ็ม (GSM : Global System Mobile) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน จะใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งความถี่ / แบ่งเวลา FDMA/TDMA : Frequency Division Multiple Access / Time Division Multiple Access) โดยแบนด์วิธความถี่ที่จำกัดจะถูกแบ่งออกเป็นแถบความถี่ย่อยๆ หรือช่องสัญญาณเล็กๆ ขนาดเท่าๆ กัน จากนั้นนำแถบความถี่ย่อยแต่ละแถบมาแบ่งเป็นช่องสัญญาณตามเวลา โดยแต่ละช่องสัญญาณจะผลัดเปลี่ยนกันใช้แถบความถี่ย่อยที่มีช่วงคาบเวลาที่ไม่ตรงกัน หรือพิจารณาตามแกนเวลาเป็นการแบ่งเฟรม Frame) ออกเป็นช่วงเวลาเท่าๆ กัน แต่ละเฟรมแบ่งเป็นจำนวนช่องเวลา หรือ ไทม์สล็อต (Time Slot) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบ FDMA และ TDMA

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัส หรือ ซีดีเอ็มเอ (CDMA : Code Division Multiple Access) ได้ถูกนำมาใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมีจุดประสงค์หลัก คือการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณการให้บริการแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณจะใช้แบนด์วิธเดียวกันและใช้เวลาเดียวกันพร้อมๆ กันได้ โดยผู้ใช้แต่ละรายจะถูกกำหนดลำดับรหัส (Code Sequence) ผู้รับที่รู้ลำดับรหัสผู้ใช้แต่ละคนเท่านั้น จึงจะสามารถรับสัญญาณและทำการถอดรหัสรับข้อมูลได้ และเนื่องจากแบนด์วิธของสัญญาณรหัส จะมีค่ามากกว่าแบนด์วิธของสัญญาณข้อมูลมาก ทำให้กระบวนการเข้ารหัสนั้นมีผลทำให้เกิดการแผ่กว้างทางสเปกตรัมของสัญญาณ จึงเรียกสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสนี้ว่า สัญญาณสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum Signal) และเรียกการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัสว่า การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ (SSMA : Spread Spectrum Multiple Access)



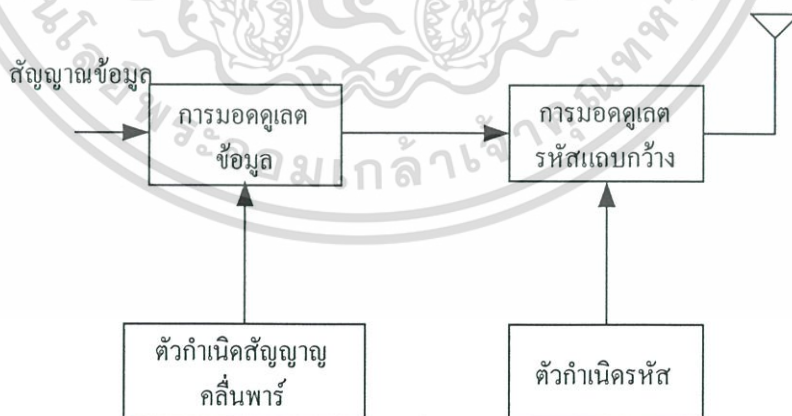
รูปที่ 3.3 แสดงเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบ CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

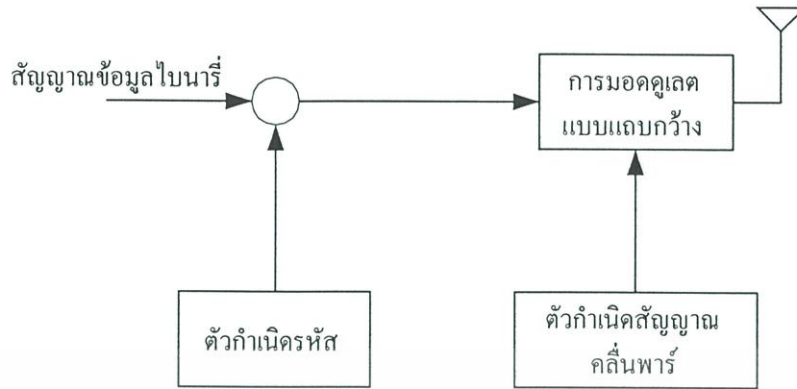
### 3.3 เทคนิคการใช้สเปกตรัมแผ่ โดยวิธีการจัดลำดับโดยตรง (DS-SS)

การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ สามารถแบ่งตามวิธีการมอดูเลตได้เป็น วิธีการจัดลำดับโดยตรง (DS : Direct Sequence) วิธีการกระโดดของความถี่ (FH : Frequency Hopping) วิธีการกระโดดของเวลา TH : Time Hopping) และวิธีการแบบผสม (Hybrid) สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการจัดลำดับโดยตรง

การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง หรือแบบ DS-SS สัญญาณข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาหามาแล้วจะถูกมอดูเลตโดยตรงกับสัญญาณลำดับดิจิทัล โดยที่สัญญาณข้อมูลดังกล่าว สามารถเป็นได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกหรือสัญญาณดิจิทัล แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณดิจิทัล กรณีที่ข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล มักจะทำการคูณสัญญาณดิจิทัลนั้นด้วยสัญญาณลำดับรหัสโดยตรง แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาหู่แบนด์กว้าง เหตุผลจากการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณลำดับรหัสโดยตรงนี้ จึงเรียกว่า การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัสวิธีการลำดับโดยตรงและสามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ โดยบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 สัญญาณข้อมูลจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาหู่ หลังจากนั้นสัญญาณที่มอดูเลตแล้ว จะถูกนำไปมอดูเลตด้วยสัญญาณลำดับรหัสพีเอ็น (PN : Pseudonoise Code Signal) ที่ประกอบด้วยบิตต่างๆ ของรหัส หรือเรียกว่าชิพ (Chip) ซึ่งอาจจะมีค่าเป็น +1 หรือ -1 เพื่อที่จะให้ได้การแผ่กว้างทางสเปกตรัมของสัญญาณตามต้องการ โดยอัตราชิพของสัญญาณข้อมูลหลายๆ รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมเครื่องส่ง DS-SS รูปแบบที่ 2 ที่ทำการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณลำดับโดยตรงก่อน แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาหู่

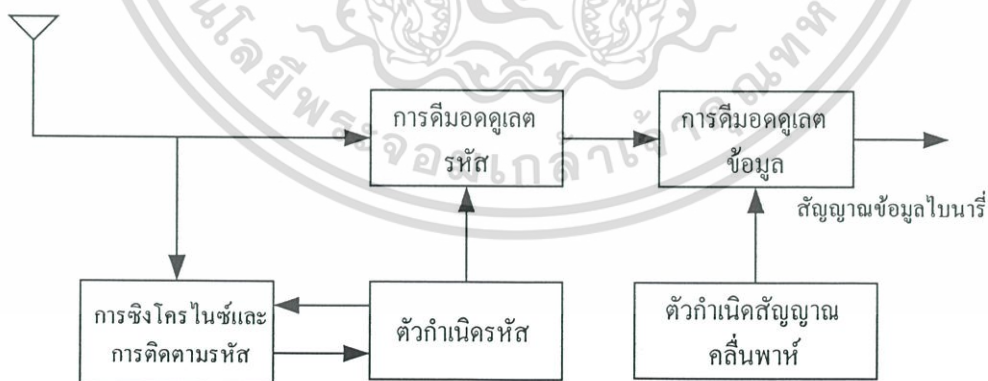


รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS รูปแบบที่ 1



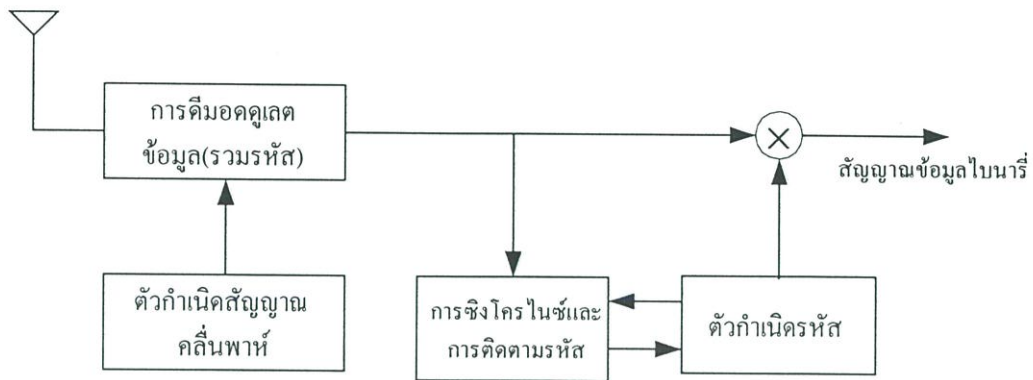
รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS รูปแบบที่ 2

เครื่องรับระบบ DS-SS รูปแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.6 หลังจากการรับสัญญาณแล้วจะทำการดีมอดูเลตแบบร่วมนัย (Coherent Demodulation) และใช้ลำดับรหัสที่สร้างขึ้นมาทางด้านรับในการตีสเปรคสัญญาณสเปกตรัมแผ่ การที่กระบวนการตีสเปรคสัญญาณจะทำให้สำเร็จนั้นเครื่องรับจะต้องรู้ลำดับรหัสที่ถูกใช้ในการสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่ทางด้านส่ง และจะต้องทำให้ลำดับรหัสที่รับได้ที่เครื่องรับ มีการซิงโครไนซ์กันกับสัญญาณลำดับรหัสที่สร้างขึ้นที่เครื่องรับด้วย ซึ่งการซิงโครไนซ์จะต้องทำเริ่มต้นตั้งแต่การรับสัญญาณและต้องรักษาการซิงโครไนซ์ไปจนกระทั่งรับสัญญาณได้ทั้งหมด รูปที่ 3.7 จะทำการดีมอดูเลตสัญญาณคลื่นพาห์ออกก่อน แล้วจึงนำไปทำการคูณกับสัญญาณลำดับรหัสเพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ DS-SS รูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ DS-SS แบบที่ 2

### 3.4 การแทรกสอดในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

#### 3.4.1 การแทรกสอดภายในเซลล์

การแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องหนึ่งภายในเซลล์บนช่องสัญญาณขาขึ้นเมื่อพิจารณาที่เครื่องรับของสถานีฐาน จะเกิดจากสัญญาณทุกสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ ภายในเซลล์ เมื่อกำหนดให้จำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซลล์เท่ากับ  $M$  ระดับกำลังงานการแทรกสอด  $I_{sc}$  ที่เครื่องรับของสถานีฐานจะได้

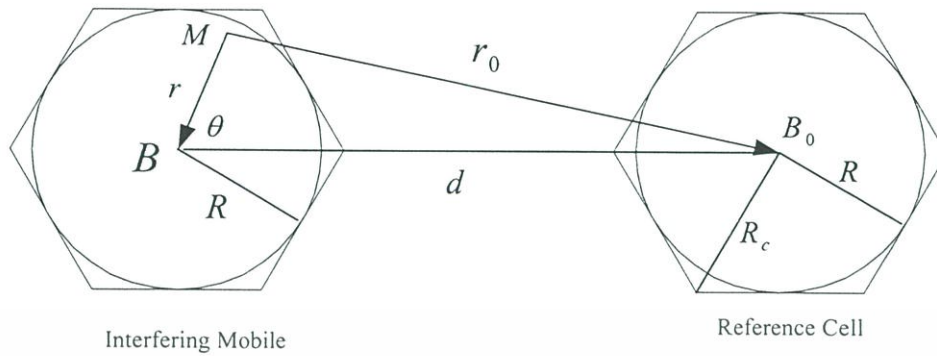
$$I_{sc} = (M - 1)S \quad (3.1)$$

เมื่อ  $S$  คือ กำลังงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ

#### 3.4.2 การแทรกสอดภายนอกเซลล์

เมื่อพิจารณาการแทรกสอดจากเซลล์ภายนอกบนช่องสัญญาณขาขึ้น สมมติให้แต่ละเซลล์มีขนาดเท่ากัน มีการใช้การควบคุมกำลังและเป็นไปตามกฎการแพร่กระจายคลื่นยกกำลังสี่ ( $P_{4th}$ ) กำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ส่งไปยังสถานีฐาน  $B$  ซึ่งเป็นสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น คือ

$$\text{ระดับกำลังที่ต้องการที่สถานีฐาน B * อัตราขยายที่การชดเชยของการแพร่ผ่าน} = S \cdot r^4 \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบเรขาคณิตของการแทรกสอดบนช่องสัญญาณขาขึ้น

เมื่อ  $r$  คือระยะห่างของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่กับสถานีฐาน  $U$  และเป็นโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่ในเซลล์ที่มีการแทรกสอดส่งผลไปยังสถานีฐานอ้างอิง  $B_0$  ที่ระยะห่าง  $r_0$  มีกำลัง

$$P_0 = S \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^4 \quad (3.3)$$

มุม  $\theta$  ที่เกิดจากระยะห่างของเซลล์ภายนอก  $d$  กับระยะห่างของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่กับสถานีฐานสามารถหาระยะห่างไปยังเซลล์อ้างอิงได้เป็น

$$r_0 = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd \cos \theta} \quad (3.4)$$

สมมติให้โทรศัพท์ที่เคลื่อนที่จำนวน  $M$  ในเซลล์ที่มีการแทรกสอด มีฟังก์ชันการกระจายแบบเอกรูปและทำการประมาณพื้นที่ที่หกเหลี่ยมของเซลล์ด้วยวงกลมที่มีรัศมี  $R$  จะให้ความหนาแน่นของผู้ใช้คือ

$$\rho = \frac{M}{\pi R^2} \quad (3.5)$$

กำลังงานรวมทั้งหมดของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน อ้างอิงจากผู้ใช้งานในเซลล์ที่มีการแทรกสอด ประมาณได้ ดังนี้

$$P(d) = 2 \int_0^\pi d\theta \int_0^R r \cdot \frac{M}{\pi R^2} \cdot S \left( \frac{r}{r_0} \right)^4 dr \quad (3.6)$$

เมื่อ  $d = kR$  และทำการอินทิเกรต  $P(d)$  ได้ดังนี้

$$P(d) = 2MS \left[ 2k^2 \ln \left( \frac{k^2}{k^2 - 1} \right) - \frac{4k^2 - 6k^2 + 1}{2(k^2 - 1)^2} \right] \quad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.7) ใช้ระบบพิกัดเชิงขั้ว  $(n, i)$  บ่งบอกการแทรกสอดจากเซลล์  $60^\circ$  ของเซลล์ตามจำนวนวงรอบ  $(n = 1, 2, \dots)$  และ  $(i = 0, 1, \dots, n - 1)$  คือตัวชี้เซลล์ของเซลล์ สามารถแทนระยะห่างเซลล์ที่ทำให้เกิดการแทรกสอด คือ

$$k_{n,i} = \frac{d(n,i)}{R} = 2\sqrt{n^2 + i^2 - ni}, i < n \quad (3.8)$$

เมื่อ  $R = \frac{\sqrt{3}R_c}{2}$  คือ รัศมีจากจุดศูนย์กลางถึงขอบของเซลล์ สามารถเขียนสมการที่ (3.7) ใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} P[d(n,i)] &= \frac{P[d(n,i)]}{M.S} \\ &= 2 \left[ 2k^2 \ln \left( \frac{k^2}{k^2 - 1} \right) - \frac{4k^2 - 6k^2 + 1}{2(k^2 - 1)^2} \right]_{k=k_{n,i}} \quad (3.9) \end{aligned}$$

จากวิธีการใช้ระยะห่างแสดงเซลล์ที่ทำให้เกิดการแทรกสอด สามารถหากำลังงานการแทรกสอดรวมทั้งหมดจากเซลล์อื่นๆ คือ

$$\begin{aligned}
I_{oc} &= 6 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n P[d(n, i)] \\
&= (MS) \cdot 6 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n P'[d(n, i)] \\
&\approx (MS) \cdot 6 \sum_{n=1}^{100} \sum_{i=1}^n P'[d(n, i)] \\
&= (MS)f
\end{aligned} \tag{3.10}$$

เมื่อ  $f$  คือ อัตราส่วนกำลังงานรวมที่รับได้จากเซลล์ภายนอก ต่อกำลังงานที่รับได้ภายในเซลล์ และสมการที่ (3.10) เป็นสมการหาลำดับงานการแทรกสอดรวมจากเซลล์ภายนอก

### 3.4.3 แฟกเตอร์การแทรกสอด

จากสมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.10) สามารถหาลำดับงานเฉลี่ยรวม  $I_T$  บนช่องสัญญาณขาขึ้น คือ

$$\begin{aligned}
I_T &= I_{sc} + I_{oc} \\
&= (M-1)S + fMS \\
&= [(1+f)M-1]S
\end{aligned} \tag{3.11}$$

และสามารถเขียนได้เป็น

$$I_T = \left( \frac{M}{F_e} - 1 \right) S \tag{3.12}$$

โดยที่

$$F_e = \frac{1}{1+f} \tag{3.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $F_c$  คือ อัตราส่วนกำลังงานรวมภายในเซลล์ ต่อ กำลังงานรวมภายในเซลล์บวกกับกำลังงานรวมจากภายนอกเซลล์ มีค่าน้อยกว่า 1 หรือเรียกว่า สัมประสิทธิ์การนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ซีดีเอ็มเอ (CDMA Reuse Frequency Coefficiency) ซึ่งหากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลาร์เป็นระบบที่สมบูรณ์ ไม่มีการแทรกสอดของกำลังงานจากเซลล์ข้างเคียงเกิดขึ้น ดังนั้นสัมประสิทธิ์การนำความถี่กลับมาใช้ใหม่จะเท่ากับ 1

หากกำหนดให้  $F$  คือ แฟกเตอร์การกลับมาใช้ใหม่ (Reuse Factor) โดยพารามิเตอร์การกลับมาใช้ใหม่นี้จะสัมพันธ์กับความจุระบบ และสมการที่ (3.13) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F = \frac{1}{F_c} = 1 + f \quad (3.14)$$

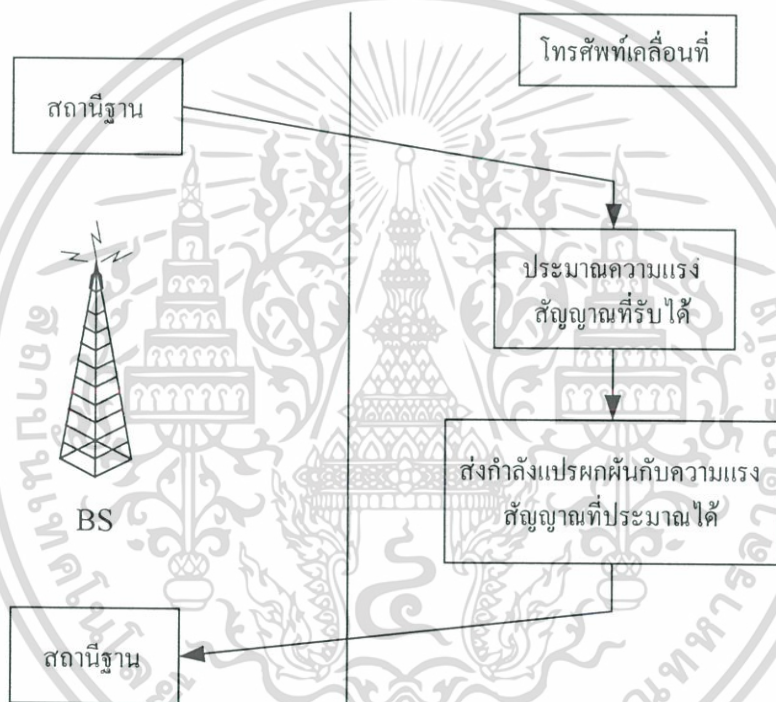
### 3.5 การควบคุมกำลัง

ในระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ นั้นทุกข่ายทั้งหมดสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ในเวลาเดียวกัน ได้ จึงมีโอกาที่จะเกิดการแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ด้วยกันเองได้ แม้ว่าแต่ละผู้ใช้จะถูกแบ่งแยกด้วยรหัสที่ได้กำหนดไว้เฉพาะสำหรับแต่ละผู้ใช้แล้วก็ตาม สัญญาณแทรกสอดเกิดขึ้นเมื่อสถานีฐานรับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงได้ด้วยระดับกำลังสัญญาณแรงกว่าสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในตำแหน่งที่อยู่ไกลสถานีฐานส่งผลให้สัญญาณที่แรงแทรกสัญญาณอ่อนกว่า ทำให้สถานีฐานอาจรับสัญญาณที่อ่อนกว่าได้ ไม่ถูกต้อง หรือรับไม่ได้เลย ส่งผลให้ความจุระบบลดลง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปัญหาเนื่องจากความใกล้เคียง (Near Far Problem) นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียที่เกิดบนช่องสัญญาณไร้สายเป็นปัจจัยสำคัญต่อระบบ สูญเสียเนื่องจากการถูกบัง (Shadowing) การจางหายของสัญญาณหลายวิถี (Multipath Fading) การเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

วิธีการควบคุมกำลัง (Power Control) ได้ถูกนำมาใช้งานเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวโดยมีหลักการทำงาน คือ ทำการควบคุมระดับกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ให้ส่งกำลังไปยังสถานีฐานด้วยระดับกำลังที่เหมาะสม ระดับกำลังส่งของโทรศัพท์ของแต่ละผู้ใช้งานจะต้องมาถึงสถานีฐานด้วยระดับที่เท่ากันซึ่งจะมีการแทรกสอดเกิดขึ้นระหว่างกันให้น้อยที่สุด ทำให้ได้ความจุของระบบ คุณภาพการให้บริการที่ดีที่สุด วิธีการควบคุมกำลังบนช่องสัญญาณขาขึ้นสามารถแบ่งได้เป็น วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Open Loop Power Control) และวิธีการควบคุมแบบลูปปิด (Close Loop Power Control) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงวิธีการควบคุมกำลังของระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ บนช่องสัญญาณขาขึ้นตามมาตรฐาน IS-95

### 3.5.1 วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดบนช่องสัญญาณขาขึ้น

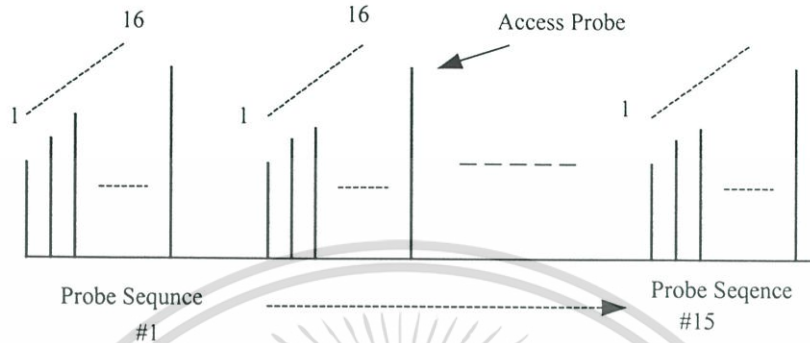
วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด อาศัยการประมาณระดับกำลังของสัญญาณที่รับได้บนช่องสัญญาณการเข้าถึง (Access Channel) โดยโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นตัวตัดสินใจในการส่งระดับกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่กลับไปยังสถานีฐาน เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับสัญญาณของช่องสัญญาณการเข้าถึงจากสถานีฐานด้วยระดับกำลังส่งที่สูง ก็จะส่งสัญญาณข่าวสารกลับไปด้วยระดับกำลังส่งต่ำ เพื่อลดการแทรกสอดระหว่างผู้ใช้งาน แต่ถ้าสัญญาณที่รับได้มีระดับกำลังที่ต่ำ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งสัญญาณข่าวสารกลับไปด้วยกำลังส่งสูง โดยหลักการการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจะเห็นว่าสถานีฐานไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.9 แสดงหลักการการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด

วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด สามารถที่จะตอบสนองไปยังสถานีฐานได้รวดเร็ว ซึ่งกระบวนการการเข้าถึงของวิธีการควบคุมกำลังนั้น โทรศัพท์เคลื่อนที่อาศัยการส่งระดับสัญญาณ (Step Size) ที่ละระดับ ไปบนช่องสัญญาณการเข้าถึงในการเริ่มต้นติดต่อกับสถานีฐานแล้วค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งได้รับการตอบสนองที่เหมาะสมจากสถานีฐาน ระดับกำลังสัญญาณแต่ละระดับ ที่ส่งไปบนช่องสัญญาณการเข้าถึงเรียกว่า โพรบเข้าถึง (Access Probe) ซึ่งถูกจัดออกเป็นกลุ่มๆ แต่แต่ละกลุ่มเรียก

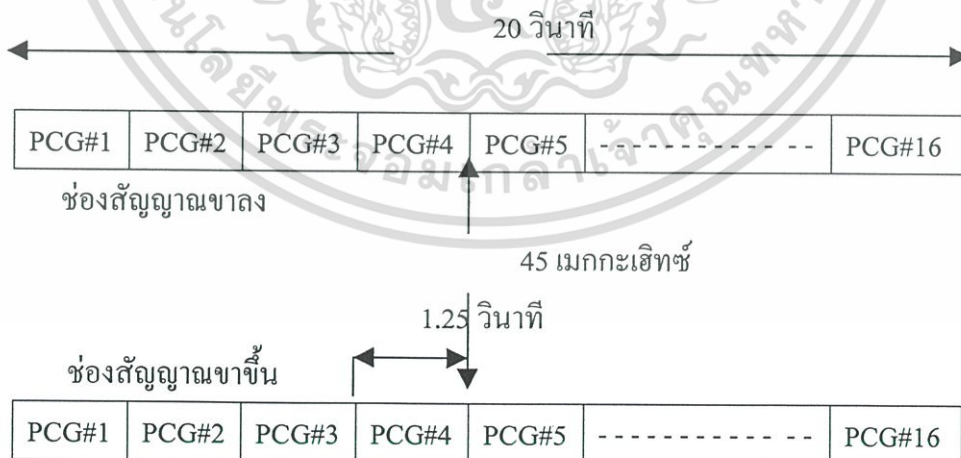
ว่า ลำดับโพรบ (Probe Sequence) ในการติดต่อ 1 ครั้งจะใช้ลำดับโพรบ จำนวน 16 ชุด ในการส่งและรับข่าวสาร 1 ข่าวสารได้สำเร็จเรียกว่า ความพยายามเข้าถึง (Access Attempt) แต่ถ้าหากไม่สามารถส่งและรับข่าวสารได้สำเร็จใน 1 ความพยายามเข้าถึงโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเริ่มต้นการติดต่อใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 3.10 แสดงกระบวนการเข้าถึงของวิธีการควบคุมกำลังแบบลูเปิด

### 3.5.2 วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปิดบนช่องสัญญาณขาขึ้น

วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปิด เป็นการดำเนินงานร่วมกันระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ อาศัยการใช้ช่องสัญญาณขาลง (Forward Link) และช่องสัญญาณขาขึ้น (Reverse Link) โดยจะแบ่งสัญญาณตรวจสอบสำหรับการควบคุมออกเป็นเฟรม แต่ละเฟรมมีความยาว 20 มิลลิวินาที เรียกว่า กลุ่มการควบคุมกำลัง (PCG : Power Control Group) ดังแสดงในรูปที่ 3.11

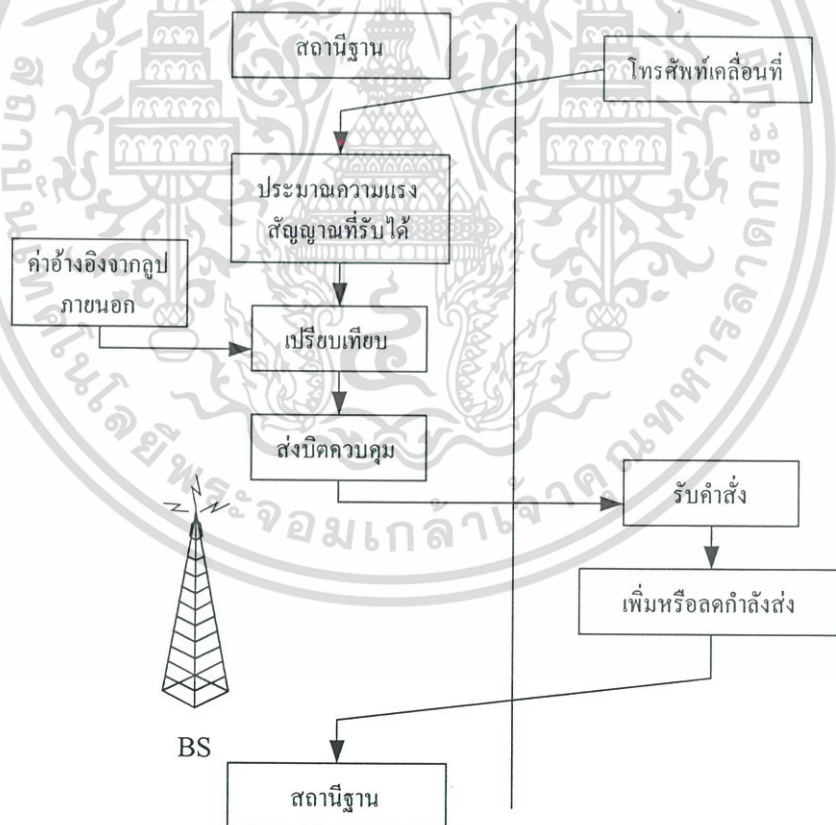


รูปที่ 3.11 แสดงเฟรมสัญญาณตรวจสอบการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการควบคุมกำลังแบบลูปปิด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมกำลังลูปภายนอก (Outer Loop Power Control) ทำหน้าที่กำหนดค่าอัตราพลังงานบิตต่อการแทรกสอด ( $E_b/I_o$ ) เพื่อให้ได้สมรรถนะของระบบเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และการควบคุมกำลังลูปภายใน (Inner Loop Power Control) ทำหน้าที่ส่งคำสั่งให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อปรับระดับกำลังส่งให้เหมาะสมกับสภาวะให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด

กระบวนการทำงานของการควบคุมกำลังแบบลูปปิด สถานีฐานเฝ้าตรวจสอบคุณภาพการเชื่อมต่อ (Link) ของช่องสัญญาณทุกๆ 1.25 มิลลิวินาที หรือทุกๆ PCG อย่างต่อเนื่อง โดยการวัด  $E_b/I_o$  และประมาณระดับความแรงสัญญาณที่รับได้จากแต่ละผู้ใช้งาน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ  $E_b/I_o$  อ้างอิงจากลูปภายนอก ถ้าระดับความแรงสัญญาณที่รับได้น้อยกว่าค่าอ้างอิง สถานีฐานจะส่งคำสั่งบิตควบคุมบิต 0 ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อทำการเพิ่มกำลังส่ง แต่ถ้าระดับความแรงสัญญาณที่รับได้มากกว่าค่าอ้างอิง สถานีฐานจะส่งคำสั่งบิตควบคุมบิต 1 ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อทำการลดกำลังส่ง การทำงานแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังแบบลูปปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีฐานใช้ช่องสัญญาณควบคุมกำลังย่อย (PCS : Power Control Sub-Channel) ส่งบิตควบคุมกำลังไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่บนช่องสัญญาณจราจรกลาง (Forward Traffic Channel) ด้วยอัตรา 800 บิตต่อวินาที หรือส่งทุกๆ 1.25 วินาที บิตควบคุมแต่ละบิตสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในเครือข่ายเปลี่ยนแปลงกำลังส่งครั้งละ 1 เดซิเบล ซึ่งบิต 0 หมายถึงให้เพิ่มกำลังส่ง และบิต 1 หมายถึงให้ลดกำลังส่ง และเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่รับคำสั่งบิตควบคุมกำลังจากช่องสัญญาณจราจรกลาง การส่งข่าวสารกลับไปยังสถานีฐาน มีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เสมือนประตู เปิด-ปิด ช่องสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละผู้ใช้งาน อัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานบนช่องสัญญาณขาขึ้นของโทรศัพท์เคลื่อนที่มี 9,600 4,800 2,400 และ 1,200 บิตต่อวินาที



**รูปที่ 3.14** แสดงการเปิด-ปิดช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามอัตราการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผู้ใช้งานส่งข้อมูลที่อัตรา 9600 บิตต่อวินาที ช่องสัญญาณจะเปิดให้ส่งข้อมูลได้ 100 % หมายความว่า ใน 1 เฟรมสัญญาณตรวจสอบ ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลได้ทุกๆ PCG หรือส่งได้ตลอดทั้งเฟรม ถ้าส่งข้อมูลที่อัตรา 4800 บิตต่อวินาที ช่องสัญญาณจะเปิดให้ส่งข้อมูลได้ 50 % หมายความว่าใน 1 เฟรม ผู้ใช้งานสามารถส่งข้อมูลได้ 8 PCG หรือประมาณครึ่งหนึ่งของเฟรม หากส่งข้อมูลที่อัตรา 2400 บิตต่อวินาที ช่องสัญญาณจะเปิดให้ส่งข้อมูลได้ 25% หมายความว่า ใน 1 เฟรม ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลได้ 4 PCG และการส่งข้อมูลที่ 1200 บิตต่อวินาที ช่องสัญญาณจะเปิดให้ส่งข้อมูลแต่ละอัตราขึ้นอยู่กับ การเกิดขึ้นของสัญญาณเสียง (Voice Activity) หรือรูปแบบการพูดของผู้ใช้งาน ถ้าการเกิดขึ้นของสัญญาณเสียงมีค่ามากก็จะส่งข้อมูลด้วยอัตราสูงตามไปด้วย รูปที่ 3.14 แสดงแต่ละเฟรมของการส่งข้อมูลที่อัตรา จำนวนบิตไม่เท่ากัน และตำแหน่งของแต่ละ PCG ซึ่งวางในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน หรืออยู่ในรูปแบบการสุ่ม

### 3.6 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ

#### 3.6.1 ลักษณะทราฟฟิกของระบบ

ระบบทราฟฟิก (Traffic) หรือการจราจรของระบบนั้น รูปแบบของแต่ละระบบจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดการกับความหนาแน่นของจำนวนผู้ใช้งานในช่วงของเวลาขณะนั้น หรืออาจจะเรียกว่า การจัดการกับปริมาณทราฟฟิกของระบบ มีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย (BCC : Block-Call-Cleared) และระบบการเรียกที่มีการรอคอย BCD : Block-Call-Delay) ระบบ BCC นั้นจะทำการตัดสายทิ้งโดยไม่ให้บริการหรือรอคอย เช่น ระบบเครือข่ายโทรศัพท์แบบวงจรสวิตซ์ (Circuit Switching) หากมีจำนวนผู้ใช้งานอย่างหนาแน่นจะใช้สัญญาณสายไม่ว่างเป็นการปฏิเสธการให้บริการของระบบ ระบบ BCD จะทำการจัดคิวสายที่ใช้และสามารถให้บริการเมื่อสามารถทำได้ และการรอรับบริการจะเป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการความต้องการของผู้ใช้บริการในระบบ เรียกว่า โหลดขอบริการ (Offered Load) หรือความต้องการของผู้ใช้บริการ (Call) จะอยู่ในรูปการเรียกของโทรศัพท์ โหลดขอบริการจะถูกนิยามโดยสองกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม คือ  $\lambda$  อัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ร้องขอรับบริการ (Average Arrival) และ  $T$  อัตราระยะเวลาเฉลี่ยที่ผู้ให้บริการต้องการใช้บริการ (Average Holding Time) ถ้าสมมติให้จำนวนผู้ให้บริการ  $n$  คน ที่ทำการต่อเชื่อมหรือเรียกเข้าระบบ ระบบที่สมบูรณ์จะต้องไม่มีการรอคอยของผู้ใช้บริการ และสามารถเชื่อมต่อให้กับผู้ให้บริการโดยตรงตามสมการ  $n(n-1)/2$  ซึ่งไม่สามารถเป็นไปได้ การออกแบบระบบโทรศัพท์ที่จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบให้มีการรอคอยที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่ทราฟฟิกปกติ และตัดสายในช่วงเวลาที่ทราฟฟิกหนาแน่น สำหรับระบบการให้บริการใดๆ ที่มีผู้บริการ (Service) เพียงพอที่จะสามารถให้

บริการผู้ใช้บริการได้ทันทีที่ร้องขอ ค่าเฉลี่ยจำนวนของผู้บริการที่ไม่ว่าง ได้มาจากผลคูณของ  $\lambda$  และ  $T$  หากกำหนดให้  $a$  แทนโหลดขอบริการ จะได้

$$a = \lambda T \quad (3.15)$$

ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าช่วงเวลา 1 ชั่วโมง มีลูกค้าต้องการรับบริการ 300 คนต่อ 1 นาที และลูกค้าแต่ละคนใช้บริการคนละ 2 นาที จะได้ โหลดขอบริการ  $a = 600$  แต่ถ้าหากช่วงเวลาที่มีคนใช้บริการมากที่สุดนั้น มีค่าเกินกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นในระบบการให้บริการส่วนใหญ่ ทำให้ค่าที่ได้ดังกล่าวไม่ชัดเจน

โหลดขอบริการที่เกิดขึ้นใน 1 ชั่วโมงของการใช้โทรศัพท์ (การใช้สายพร้อมกันในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง) เรียกว่า ความเข้มทราฟฟิก (Traffic Intensity) จากตัวอย่างที่แล้วจะได้ค่าความเข้มทราฟฟิกคือ 300/60 นาที เท่ากับมีการโทร 5 สายพร้อมกัน ใน 1 ชั่วโมง ซึ่งจะแตกต่างกับค่าความหนาแน่นทราฟฟิก (Traffic Density) หมายถึงจำนวนสายของการเรียกเข้าที่พร้อมกัน ณ ช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนดให้ โดยความเข้มทราฟฟิกจะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นทราฟฟิกในช่วงเวลาหนึ่งๆ และโหลดขอบริการก็จะแตกต่างกับโหลดรับบริการ (Carried Load) โดยทั่วไปค่าเฉลี่ยการเข้ามาและค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้บริการจะแสดงเป็นหน่วยของเวลา และจำนวนปริมาณจะแสดงในหน่วยของเออร์แลง (Erlang) ซึ่ง A K Erlang นักคณิตศาสตร์ชาวเดนมาร์กเป็นผู้คิดค้นขึ้น ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ทั้งหมด 200 ราย ทำให้เกิดการโทร 60 ครั้งระหว่างช่วงสายไม่ว่างในชั่วโมงที่เร่งด่วน (Busy Hour) ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้บริการ (Holding Time) คือ 240 วินาที ดังนั้นค่าเฉลี่ยการได้รับบริการ (Arrival Rate) คือ

$$\frac{60}{3600} = 1 \text{ request/วินาที}$$

ค่าเออร์แลงคำนวณได้จาก

$$\frac{60 \text{ call}}{3600 \text{ sec ond}} \cdot \frac{240 \text{ sec ond}}{\text{call}} = 4 \text{ เออร์แลง}$$

นอกจากหน่วยเออร์แลงแล้วระบบโทรศัพท์จะวัดค่าหน่วยเป็น CCS ต่อชั่วโมง (ปริมาณการใช้สายเป็นเวลา 100 วินาที) โดย CCS คำนวณจาก

$$CCS = NCBH.HT / 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$NCBH$  = จำนวนการโทรใน 1 ชั่วโมงที่เร่งด่วน

$HT$  = ค่าเฉลี่ยเวลาที่ให้บริการ

โดย 1 ชั่วโมงมี 3600 วินาที ดังนั้นทราฟฟิกขอบริการ (Traffic Load) ที่ต่อเนื่องกันใน 1 ชั่วโมงจะมีค่าเท่ากับ 36 CCS หรือ 1 เอร์แลง หน่วย CCS เป็นหน่วยที่ใช้ทั่วไปสำหรับการวัดทราฟฟิกของระบบโทรศัพท์ จากตัวอย่างปริมาณการใช้สายเป็นเวลา 100 วินาที คือ

$$\frac{60.240}{100} = 144 \text{ CCS}$$

ทราฟฟิกต่อผู้โทร 1 คนคือ

$$4 \text{ เอร์แลง} / 200 \text{ คน} = 0.02 \text{ เอร์แลง} / \text{ผู้โทร 1 คน}$$

$$\text{หรือคิดเป็น } 144 / 200 = 0.72 \text{ CCS} / \text{ผู้โทร 1 คน}$$

### 3.6.2 ความจุของระบบ

ความจุของระบบ หมายถึง ความสามารถของระบบที่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้ โดยที่ความจุจริงของระบบเซลล์คู่สายซีดีเอ็มเอขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การดิมอดคูเลตของภากรับ ความสมบูรณ์ในการควบคุมกำลัง ระบบสายอากาศ กำลังของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจริงทั้งภายในเซลล์และเซลล์อื่นๆ เป็นต้น

ในระบบการสื่อสารดิจิทัลของ  $E_b/N_0$  หรืออัตราส่วนของพลังงานบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน โดย  $E_b/N_0$  สามารถเรียกได้ว่าเป็นค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยที่พลังงานบิตจะเท่ากับกำลังของสัญญาณมอดคูเลตเฉลี่ยในช่วงคาบเวลาบิต คือ

$$E_b = ST \tag{3.16}$$

โดย  $S$  คือกำลังสัญญาณมอดคูเลตเฉลี่ย และ  $T$  คือคาบเวลาบิตของข้อมูล สมการที่ (3.16) สามารถแทนด้วยค่าอัตราบิตของข้อมูล  $R_b$  ได้ คือ

$$E_b = \frac{S}{R_b} \quad (3.17)$$

ดังนั้น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{R_b N_o} \quad (3.18)$$

หากพิจารณากำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมดและแบนด์วิด  $W$  ของระบบ สมการที่ (3.18) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{N} \cdot \frac{W}{R} \quad (3.19)$$

จากสมการที่ (3.19) จะเห็นว่า  $E_b/N_o$  จะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของการสื่อสารเชื่อมโยง และอัตราส่วนของแบนด์วิด  $W$  ที่ใช้ในการส่งอัตราบิตของข้อมูล  $R_b$  เรียกว่า อัตราขยายประมวลผล (PG: Processing Gain) ของระบบ

เมื่อพิจารณาด้านช่องสัญญาณขาขึ้นของระบบเซลล์ลู่ลาร์ซีดีเอ็มเอ และสมมุติให้ระบบมีการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ หมายความว่ากำลังที่ถูกส่งจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานนั้น ถูกควบคุมโดยสมบูรณ์ สถานีฐานสามารถปรับระดับกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายได้เท่ากัน ภายใต้สมมุติฐานดังกล่าว ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่สถานี  $P_r$  และกำลังที่รับได้ทั้งหมดเฉลี่ย  $S$  จะมีค่าเป็น

$$S = P_r M \quad (3.20)$$

โดย  $M$  คือจำนวนของผู้ใช้งานทั้งหมด ดังนั้นสมการที่ (3.19) จะได้

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P_r}{N} M PG \quad (3.21)$$

เมื่อต้องการหาความจุของระบบ คือ

$$M = \frac{PG}{(E_b/N_o)_{req}} \frac{P_r}{N} \quad (3.22)$$

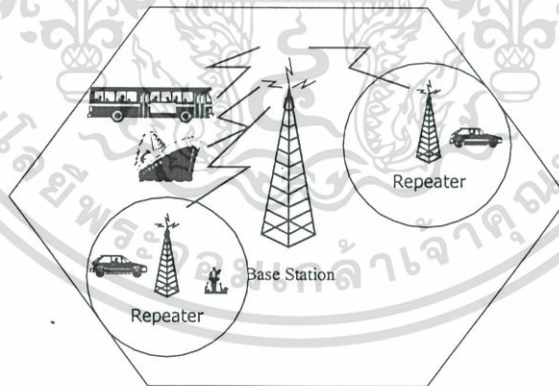
กรณีระบบมีจำนวนผู้ใช้งานมากๆ สมการที่ (3.22) สามารถประมาณได้เป็น

$$M \approx \frac{PG}{(E_b/N_o)_{req}} \quad (3.23)$$

### 3.7 ตัวทวนสัญญาณ (Repeater)

#### 3.7.1 รูปแบบระบบตัวทวนสัญญาณ

เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ CDMA เพื่อที่ใช้ในการแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเขตบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณให้สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะมีข้อดีคือ ช่วยในการลดกำลังส่งของสถานีฐาน เนื่องจากหากไม่มีตัวทวนสัญญาณสถานีฐาน (Base Station) จะต้องส่งกำลังส่งในระดับที่สูงเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่จุดอับสัญญาณนั้น และจะทำให้ในระบบไม่เกิดการแฮนด์ออฟ (Handoffs) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่จากสถานีฐานไปยังพื้นที่ของตัวทวนสัญญาณ



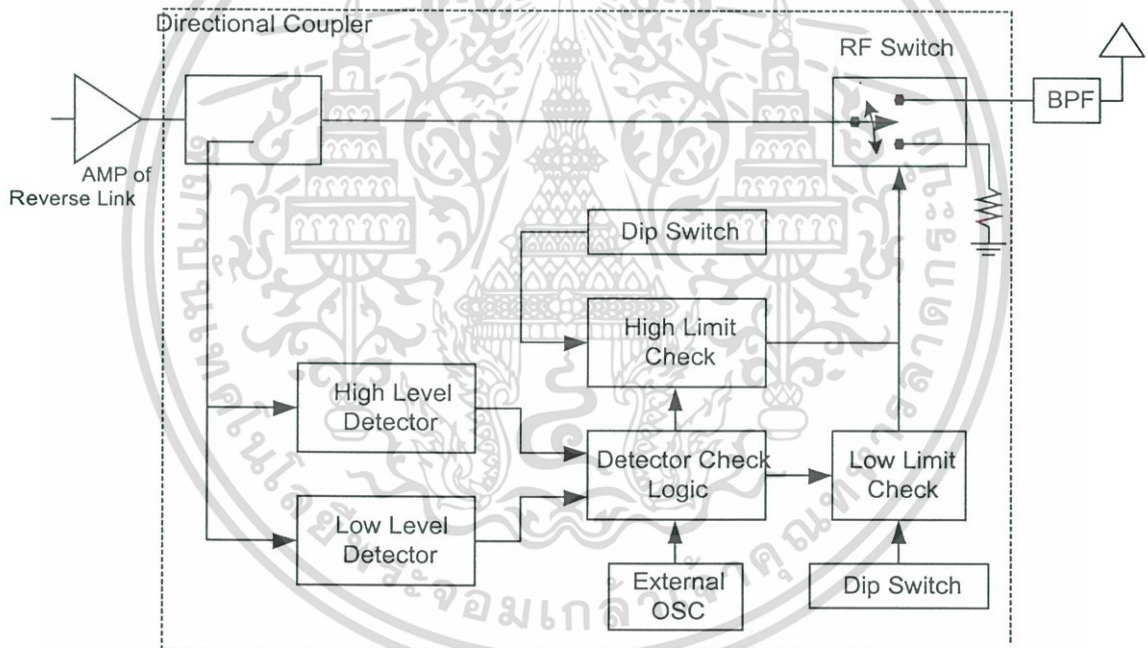
รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบระบบของสถานีฐานและตัวทวนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหน้าที่ของตัวทวนสัญญาณด้านช่องสัญญาณขาลง (Forward Link) ตัวทวนสัญญาณจะรับสัญญาณจากสถานีฐานและขยายสัญญาณส่งต่อไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ และในด้านช่องสัญญาณขาขึ้น (Reverse Link) ตัวทวนสัญญาณจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่และขยายสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีฐาน [3] มีรูปแบบของระบบแสดงดังรูปที่ 3.15

### 3.7.2 ระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ

ระบบ AOS (Automatic ON/OFF Switching) ของตัวทวนสัญญาณ จะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับกำลังสัญญาณที่รับได้บนช่องสัญญาณขาขึ้น (Reverse Link) ที่ตัวทวนสัญญาณ เพื่อที่จะทำการ OFF เส้นทางเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานกับตัวทวนสัญญาณ หากไม่มีจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ ซึ่งเป็นการลดการขยายสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ รูปแบบระบบ AOS จาก [2] มีหลักการการทำงานตามบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงรูปแบบระบบ AOS

### 3.7.3 สมการรูปแบบระบบ

เมื่อพิจารณาด้านของสัญญาณขาขึ้นที่สถานีฐาน เมื่อ  $S$  คือ พลังงานที่รับได้ที่สถานีฐาน  $E_b/I_t$  คือพลังงานบิตที่รับได้ต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณแทรกสอด  $R_b$  คือ อัตราการส่งบิตข้อมูล จะได้  $E_b/I_t$  ที่รับได้ที่สถานีฐาน คือ ตาม [2]

$$\frac{E_b}{I_t} = \frac{(S/R_b)}{I_t} \quad (3.24)$$

โดยทั่วไปสมมติให้  $E_b/I_t$  เป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีค่าเฉลี่ยที่ใช้สำหรับการประมาณความจุของระบบ เมื่อระบบเซลล์คู่ค่า CDMA ใช้งานตัวทวนสัญญาณ และตัวทวนสัญญาณประยุกต์ใช้งานระบบ AOS สามารถเขียนสมการค่าเฉลี่ย  $E_b/I_t$  ได้ [2]

$$E[E_b/I_t] = \frac{(S/R_b)}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} \alpha G_{r_i}^{\alpha} L_{r_i,b} N_{th}F_{r_i} + \frac{(1+f)vS(N_b + v_r N_{rm} \alpha N_r - 1)}{W}} \quad (3.25)$$

โดย  $N_{th}$  คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณรบกวนเทอร์มอล (Thermal Noise)

$F_b$  คือ สัญญาณน้อยสปีกเกอร์ (Noise Figures) ของสถานีฐาน

$\alpha$  คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ของตัวทวนสัญญาณ (Repeater Activity)

$G_b$  คือ อัตราขยายด้านรับของสถานีฐาน

$G_{r_i}^{\alpha}$  คือ อัตราขยายของสายอากาศด้านส่งและวงจรรขยายของตัวทวนสัญญาณ

$L_{r_i,b}$  คือ การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss) ระหว่างตัวทวนสัญญาณลำดับที่  $i$  กับสถานีฐาน

$F_{r_i}$  คือ สัญญาณน้อยสปีกเกอร์ของตัวทวนสัญญาณ

$f$  คือ อัตราสัญญาณแทรกสอดภายนอกเซลล์ต่อภายในเซลล์

$v$  คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งาน (Voice Activity) ที่สามารถติดต่อกับสถานีฐานโดยตรง

$N_b$  คือ จำนวนของผู้ใช้งานที่ติดต่อกับสถานีฐานโดยตรง

$N_r$  คือ จำนวนของตัวทวนสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสถานีฐาน

$N_{rm}$  คือ จำนวนของผู้ใช้งานที่ติดต่อกับตัวทวนสัญญาณ

$v_r$  คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ

$W$  คือ แบนด์วิดท์การแผ่กว้างทางสเปกตรัมของระบบ

จากสมการที่ (3.24) และ [2] สามารถหาความจุด้านช่องสัญญาณขาขึ้นเป็นสัดส่วนกับจำนวนตัวทวนสัญญาณได้ดังสมการ

$$C \equiv N_b + \alpha N_r V_r N_{r_m}$$

$$= \frac{W}{1+f} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left\{ \frac{1}{R_b} \left( \frac{E_b}{I_t} \right)^{-1} - \frac{N_{th} F_b}{S} - \sum_{i=1}^{N_r} \frac{\alpha G_b G_{r_i}^{th} L_{r_i,b} N_{th} F_{r_i}}{S} \right\} + 1 \quad (3.26)$$

เมื่อ  $C$  คือ ค่าความจุรวมของระบบ และหากเปรียบเทียบให้  $C$  คือค่าความจุเออร์เลงของระบบ  $C = (\lambda/\mu)$  โดยที่  $\lambda$  คือ อัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ และ  $1/\mu$  คือ เฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้งานช่องสัญญาณ [5] ดังสมการที่ (3.26) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_i = \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_{BS} + \alpha N_r v_r \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_{repeater} \quad (3.27)$$

โดย  $(\lambda/\mu)_{BS}$  คือ ค่าความจุเออร์เลงจากจำนวนผู้ใช้งานที่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้โดยตรง

$(\lambda/\mu)_{repeater}$  คือ ค่าความจุเออร์เลงจากจำนวนผู้ใช้งานที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ

และ กำหนดให้  $(\lambda/\mu)_{BS}$  มีค่ามากกว่า  $(\lambda/\mu)_{repeater}$  เป็นจำนวน  $x$  เท่า

จะได้

$$\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_{BS} = x \cdot \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_{repeater} \quad (3.28)$$

นำสมการที่ (3.28) แทนในสมการที่ (3.27) ได้ดังนี้

$$\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_i = \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_{BS} + \alpha N_r v_r \frac{1}{x} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)_{BS}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\lambda}{\mu} \left( 1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x} \right) \quad (3.29)$$

นำสมการที่ (3.29) ไปวิเคราะห์หาค่าความจุเออร์แลงจากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลือกนอมอล ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์หาค่าความจุเออร์แลง

### 4.1 รูปแบบระบบ

#### 4.1.1 ความไม่สมบูรณ์ในการควบคุมกำลัง

การควบคุมกำลังด้านช่องสัญญาณขาขึ้นของระบบเซลล์ลู่ล่าซีดีเอ็มเอ แต่การควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ หลังจากการดีสเปรดสัญญาณที่สถานีฐาน ระดับกำลังของสัญญาณที่รับได้จากแต่ละผู้ใช้งานมีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย และถูกจำลองให้อยู่ในรูปของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอมนอน โดยที่ระดับกำลังเฉลี่ยของสัญญาณขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมของการติดต่อสื่อสาร ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการปรับเปลี่ยนการควบคุมกำลังให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Hasham และ Sousa [8] ในการวิเคราะห์สมรรถนะและค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลู่ล่าซีดีเอ็มเอด้านช่องสัญญาณขาขึ้น โดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มขึ้นอยู่กับความเร็วของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำนวนสาขาเครื่องรับ และกำลังที่วัดได้ในการติดต่อของโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานแสดงดังตารางที่ 4.1

V(Km/h)	M=2		M=3		M=4	
	$\sigma_s$ dB	$\sigma_0$ dB	$\sigma_s$ dB	$\sigma_0$ dB	$\sigma_s$ dB	$\sigma_0$ dB
5	0.35	4.90	0.33	3.90	0.31	3.1
10	0.67	4.75	0.43	3.81	0.37	3.07
20	1.40	4.40	0.94	3.67	0.6	2.93
30	1.88	3.63	1.40	3.38	0.83	2.70
40	2.20	3.41	1.75	3.25	1.25	2.48

ตารางที่ 4.1 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้งานกับสถานีฐานที่ต้องการและที่สถานีฐานใกล้เคียง

เมื่อ  $\sigma_s$  คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้งานกับสถานีฐานที่ต้องการ

$\sigma_0$  คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้งานที่สถานีฐานใกล้เคียง

#### 4.1.2 แฟกเตอร์ MIP

ในความไม่สมบูรณ์ในการควบคุมกำลังเป็นผลให้ระดับสัญญาณที่รับได้ ที่สถานีฐานมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากการจางหายหลายเส้นทาง สมมติให้กรอบคลื่นของผู้ใช้งานที่  $i$  บนเส้นทาง  $k$  มีการแจกแจงแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution) เป็น  $A_{i,k}$  โดย  $k = 1, 2, \dots, N$  ซึ่งค่าเฉลี่ยพลังงานหนึ่งบิตที่ช่วงเวลา  $T_b$  คือ

$$S_{i,k} = \frac{T_b A_{i,k}^2}{2} \quad (4.1)$$

ดังนั้นพลังงานบิตรวมที่  $N$  เส้นทาง คือ

$$E_{b(i)} = \sum_{k=1}^N S_{i,k} \quad (4.2)$$

ภายใต้การจางหายแบบเรย์ลีให้  $A_{i,k}$ ,  $S_{i,k}$  มีการแจกแจงแบบ Chi-Square ที่มีดีกรีอิสระสองและให้  $f_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) เป็น MIP (Multipath Intensity Profile) สามารถนอร์มอไลซ์ได้เป็น

$$\sum_{k=1}^N f_k = 1 \quad (4.3)$$

เมื่อ  $E_s [ ]$  คือ ค่าเฉลี่ยแบบ Short-term ดังนั้นโมเมนต์อันดับหนึ่งและสองของพลังงานบิตรวมที่รับได้ของผู้ใช้งานที่  $i$  บนเส้นทาง  $k$  คือ

$$E_s [E_{b(i)}] = y \sum_{k=1}^N f_k = y \quad (4.4)$$

$$E_s [E_{b(i)}^2] = 2 \sum_{k=1}^N f_k^2 y^2 = \zeta y^2 \quad (4.5)$$

กำหนดให้  $\zeta$  เป็น MIP shape Factor ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\zeta = 2 \sum_{k=1}^N f_k^2 \quad (4.6)$$

โดย  $y$  เป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ได้รับจากการประวิงเวลาและความผิดพลาดในการควบคุมกำลังซึ่งมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอมอล

$$y = 10^{\frac{x}{10}} = e^{\beta x} \quad (4.7)$$

เมื่อ  $\beta = (\ln 10)/10$ ,  $x$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนมีค่าเฉลี่ย  $m$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  (dB) เมื่อพิจารณาช่วงของ Long-term จะได้โมเมนต์อันดับที่หนึ่งและอันดับที่สองเป็น

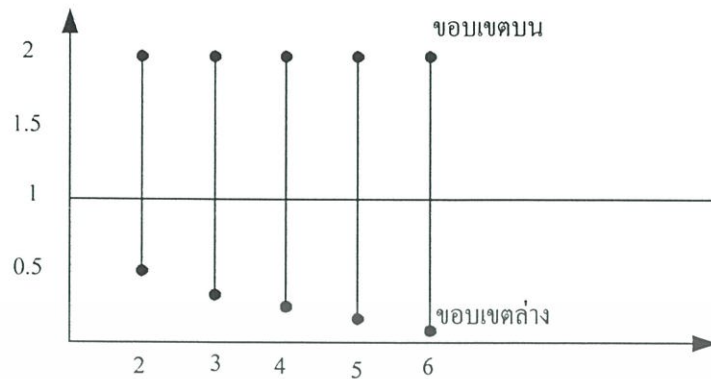
$$\begin{aligned} E_L[E_s[E_{b(i)}]] &= E_L\{y\} \\ &= e^{\beta m + \frac{1}{2}\beta^2\sigma^2} \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} E_L[E_s[E_{b(i)}^2]] &= \zeta E_L\{y^2\} \\ &= \zeta e^{2\beta m + 2\beta^2\sigma^2} \end{aligned} \quad (4.9)$$

โดยที่  $E_L[\ ]$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยแบบ Long-Term

ค่า  $\zeta$  จะมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งจะมีค่าสูงสุดของขอบเขตบนเท่ากับสอง และบริเวณขอบล่างจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง เมื่อจำนวนเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นมีค่ามากกว่าหนึ่ง ซึ่งหมายความว่ามีการแพร่กระจายพลังงานสม่ำเสมอในทุกเส้นทาง [2] แสดงดังรูปที่ 4.1

ช่วงของค่า MIP Shape Factor

รูปที่ 4.1 แสดงช่วงของค่า MIP Shape Factor ( $\zeta$ )

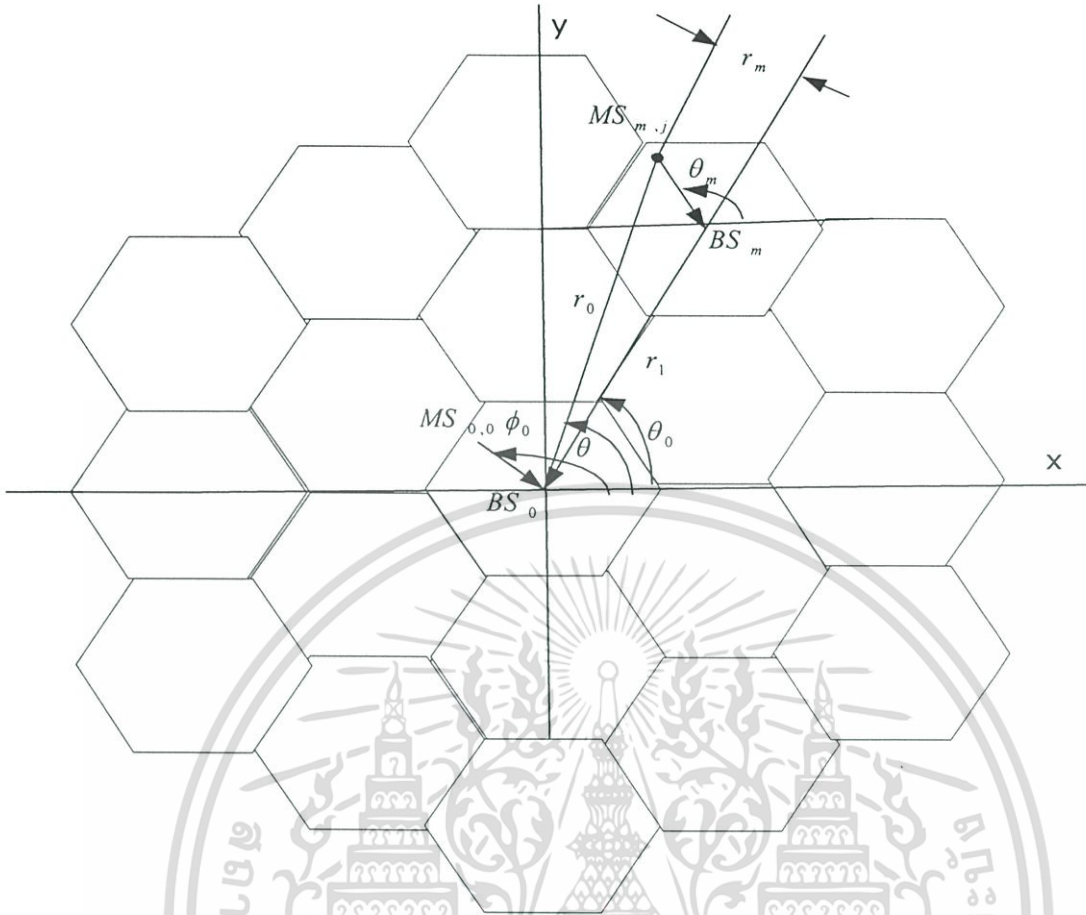
#### 4.1.3 ค่าเฉลี่ยอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

เมื่อสายอากาศ Smart แบบ LES อาร์เรย์ ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบเซลล์ดาร์ซีดีเอ็มเอ ทั้งด้านของสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยสายอากาศมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ  $0.5\lambda$  เมื่อ  $\lambda$  คือความยาวคลื่นของคลื่นพาห์ โดยสายอากาศ Smart แบบ LES อาร์เรย์ จะมีอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็น [3]

$$G(\phi, \theta) = \left[ \frac{\sin(0.5M_k \pi (\sin \phi - \sin \theta))}{M_k \sin(0.5\pi (\sin \phi - \sin \theta))} \right]^2 \quad (4.10)$$

เมื่อ  $M_k$  คือ จำนวนอีลีเมนต์ของสายอากาศอาร์เรย์ มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่ต้องการ คือ  $\theta$

และสามารถปรับเปลี่ยนมุม  $\phi$



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างเรขาคณิตระบบเซลล์คู่ตา

จากรูปที่ 4.2 เมื่อกำหนดให้เซลล์อ้างอิงเป็น  $BS_0$  และเซลล์แทรกสอด  $BS_m$  ประกอบด้วย โทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{0,0}$  และ  $MS_{m,j}$  อยู่ในเซลล์ตามลำดับ โดยให้  $G_t(\theta, \theta_m)$  และ  $G_r(\theta, \phi_0)$  เป็นอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทางด้านส่งและด้านรับตามลำดับ เมื่อ  $\theta_m$  เป็นมุมอิมพิทของโทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{m,j}$  ไปยังสถานีฐาน  $BS_m$ ,  $\theta$  เป็นมุมอิมพิทของโทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{m,j}$  ไปยัง  $BS_0$  และ  $\phi_0$  เป็นมุมอิมพิทของโทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{0,0}$  ไปยังสถานีฐาน  $BS_0$  ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ในช่วง  $0$  ถึง  $2\pi$  และจากรูปที่ 4.2 เมื่อ  $r_1$  เป็นระยะห่างจาก  $BS_m$  ไปยัง  $BS_0$ ,  $r_m$  เป็นระยะห่างจากโทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{m,j}$  ไปยัง  $BS_m$  จะได้

$$\theta = \arctan \left( \frac{r_1 \sin \theta_0 + r_m \sin \theta_m}{r_1 \cos \theta_0 + r_m \cos \theta_m} \right) \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากกำหนดให้  $M_r$  คือ จำนวนอีลีเมนต์สายอากาศด้านส่ง ซึ่งมีอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตามสมการที่ (4.10) ดังนั้นอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศด้านส่งในทิศทางจาก  $MS_{m,j}$  ไปยัง  $BS_0$  คือ

$$G_r(\theta, \theta_m) = \left[ \frac{\sin(0.5M_r \pi(\sin \theta - \sin \theta_m))}{M_r \sin(0.5\pi(\sin \theta - \sin \theta_m))} \right]^2 \quad (4.12)$$

เช่นเดียวกันเมื่อ  $M_r$  คือจำนวนอีลีเมนต์สายอากาศด้านรับที่สถานีฐาน  $BS_0$  จะมีอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศด้านรับในทิศทางจาก  $MS_{m,j}$  ไปยัง  $BS_0$  คือ

$$G_r(\theta, \phi_0) = \left[ \frac{\sin(0.5M_r \pi(\sin \theta - \sin \phi_0))}{M_r \sin(0.5\pi(\sin \theta - \sin \phi_0))} \right]^2 \quad (4.13)$$

เมื่อพิจารณาอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นภายในเซลล์  $BS_0$  โดยกำหนดให้  $\phi_m$  เป็นมุมอิมิตของโทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{0,m}$  ไปยัง  $BS_0$  ซึ่ง  $\phi_m, \phi_0$  กระจายแบบเอกรูปในช่วง  $[0, 2\pi]$  และ  $G_r(\phi_m, \phi_0)$  เป็นอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายที่สถานีฐาน ในทิศทางโทรศัพท์เคลื่อนที่  $MS_{0,m}$  เมื่อให้  $\phi = \sin \phi_m - \sin \phi_0$  จะได้ PDF ของ  $\phi$  ดังนี้

1. กรณีที่  $-2 < \phi < 0$  PDF ของ  $\phi$  คือ

$$f(\phi) = \frac{1}{\pi^2} \int_{\pi^2}^1 \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)(1-(\phi-r)^2)}} dr \quad (4.14)$$

2. กรณีที่  $0 \leq \phi < 2$  PDF ของ  $\phi$  คือ

$$f(\phi) = \frac{1}{\pi^2} \int_{\phi-1}^1 \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)(1-(\phi-r)^2)}} dr \quad (4.15)$$

3. กรณีอื่นๆ

$$f(\phi) = 0 \quad (4.16)$$

และจะได้

$$G_r = E[G_r(\phi_m, \phi_0)]$$

$$= \int_{-2}^2 \frac{\sin^2(0.5M_r \pi \phi)}{M_r^2 \sin^2(0.5\pi \phi)} f(\phi) d\phi \quad (4.17)$$

เมื่อ  $G_r$  คือ ค่าเฉลี่ยอัตราขยายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่สถานีฐานในทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นภายในเซลล์ และจาก [3] โดยการปรับเปลี่ยนจำนวนอีลีเมนต์สายอากาศ Smart แบบ LES อาร์เรย์ ที่สถานีฐาน จะได้ผลการคำนวณเฉลี่ย  $G_r$  แสดงดังตารางที่ 4.2

$M_r, M_r$	(1, 1)	(1, 3)	(1, 5)	(1, 7)	(1, 9)
$G_r$	1	0.3855	0.2487	0.1863	0.1501

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ย  $G_r$  ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนจำนวนอีลีเมนต์ของสายอากาศ Smart แบบ LES อาร์เรย์ ที่สถานีฐาน

## 4.2 ค่าความจุเออร์แลง

### 4.2.1 สมการความน่าจะเป็นการติดขัด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วิเคราะห์การหาค่าความจุเออร์แลงของระบบจากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด เมื่อระบบเซลล์คู่ค่า CDMA ใช้งานตัวทวนสัญญาณ และตัวทวนสัญญาณประยุกต์ใช้งานระบบ AOS โดยการติดขัดในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์คู่ค่าด้านช่องสัญญาณขาขึ้น หมายถึง การที่ผู้ใช้งานพยายามที่จะเข้าใช้บริการช่องสัญญาณ แต่ถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการช่องสัญญาณดังกล่าวจากระบบ ซึ่งหมายความว่า มีการติดขัดเกิดขึ้น (Blocking) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ FDMA และ TDMA นั้น จำนวนช่องสัญญาณจะมีจำนวนจำกัด ทำให้มีปริมาณการติดขัดที่แน่นอนตายตัว แต่ในระบบเซลล์คู่ค่าซีดีเอ็มเอ จำนวนช่องสัญญาณ หรือความจุของระบบจะปรับเปลี่ยนขึ้นอยู่กับระดับสัญญาณการแทรกสอดจากจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดภายในระบบ หากกำลังสัญญาณการแทรกสอดมีค่ามากกว่าระดับจุดเปลี่ยน (Threshold) ที่ได้กำหนดไว้ให้มีค่าอยู่ในระดับคุณภาพของสัญญาณที่

ยอมรับได้แล้วนั้น ผู้ใช้งานรายต่อไปที่พยายามจะใช้บริการช่องสัญญาณจะเกิดการติดขัด หรือถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ โดยปกติค่าระดับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้งานมีค่าประมาณ 1%-2%

พิจารณาระบบเซลล์เดี่ยวซีดีเอ็มเอแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell) หากมีจำนวนผู้กำลังใช้งาน (Active Users)  $N$  และผู้ที่กำลังขอเข้าไปใช้บริการลำดับ  $(N + 1)$  กำลังสัญญาณรวมทั้งหมดของจำนวนผู้กำลังใช้งาน  $N$  และสัญญาณรบกวนเทอร์มอล (Thermal Noise) เป็นกำลังการแทรกสอด (Interference Power) ที่รับได้ด้านช่องสัญญาณขาขึ้นที่สถานีฐาน สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I' = I_0'W = P_1 + P_2 + \dots + P_M + N_0W \quad (4.18)$$

และ

$$I_0' = \frac{I'}{W} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_M}{W} + N_0 \quad (4.19)$$

กำหนดให้

$P_M$  คือ กำลังสัญญาณของจำนวนผู้กำลังใช้งานลำดับ  $I_{th}$

$I'$  คือ ระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectral Density) ของกำลังการแทรกสอดรวมทั้งหมดที่รับได้

$W$  คือ แบนด์วิดธ์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่

ทำการนอร์มอไลซ์สมการที่ (4.18) ด้วย  $I_0'R_b$  เมื่อกำหนดให้  $R_b$  คือ อัตราการส่งบิตข้อมูล จะได้กำลังสัญญาณการแทรกสอดรวม

$$\begin{aligned} \frac{I'}{I_0'R_b} &= \frac{W}{R_b} = \frac{E_{b1}}{I_0'} + \frac{E_{b2}}{I_0'} + \dots + \frac{E_{bM}}{I_0'} + \frac{N_0W}{I_0'R} \\ &= Z + \frac{N_0W}{I_0'R_b} \\ &= Z + \eta \frac{W}{R_b} \end{aligned} \quad (4.20)$$

เมื่อ

$$Z = \sum_{i=1}^M \rho_i = \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \quad (4.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่ } \rho_i = \frac{E_{bi}}{I_0} \text{ และ } \eta = \frac{N_0}{I_0}$$

เมื่อ  $Z$  เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงภาระการให้บริการ (Loading) ของระบบซีดีเอ็มเอ และ  $W/R_b$  คือ อัตราขยายประมวลผล (processing Gain) ของสเปกตรัมแผ่ ค่า  $\eta$  ปริมาณของช่องสัญญาณที่จะสามารถจัดหาให้แก่ผู้ใช้งานลำดับ  $(N + 1)$  ได้ โดยขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของตัวแปรสุ่ม  $Z$  ถ้า  $Z$  มีปริมาณมากกว่าค่าระดับจุดเปลี่ยน ส่งผลให้เกิดการติดขัดแก่ผู้ใช้งาน  $(N + 1)$  และเมื่อพิจารณา  $Z$  ในเทอมของฟังก์ชันการกระจายตัวแปรสุ่ม ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้งาน  $(N + 1)$  เกิดการติดขัด คือ ความน่าจะเป็นของ  $Z$  ที่มีค่ามากกว่าจุดเริ่มเปลี่ยน โดยฟังก์ชันค่าระดับจุดเริ่มเปลี่ยนการแทรกสอด  $\eta_0$  และกำหนดให้  $P_{block}$  คือความน่าจะเป็นการติดขัด (Blocking Probability) จะได้สมการ คือ

$$P_{Block} = P_r \left\{ Z > Z_0 = \frac{W}{R_b} (1 - \eta_0) \right\} \quad (4.22)$$

ถ้ากำหนดให้  $p_Z(x)$  เป็น PDF ของตัวแปรสุ่ม  $Z$  ดังนั้นการหาค่าของ  $B_{CDMA}$  เป็นการรวมกันของ PDF ที่มีขอบเขตกำหนดโดย  $Z > Z_0$

$$P_{Block} = \int_{Z_0}^{\infty} dx p_Z(x) \quad (4.23)$$

ค่า PDF ที่แน่นอนของ  $Z$  ต้องใช้วิธีการประมาณ ดังนั้นความน่าจะเป็นการติดขัดสามารถจัดรูปสมการได้

$$\begin{aligned} P_{Block} &= P_r \{ Z > Z_0 \} \\ &= P_r \left\{ \frac{Z - E[Z]}{\sqrt{\text{var}(Z)}} > \frac{Z_0 - E[Z]}{\sqrt{\text{var}(Z)}} \right\} \\ &= Q_Z \left( \frac{Z_0 - E[Z]}{\sqrt{\text{var}(Z)}} \right) \end{aligned} \quad (4.24)$$

#### 4.2.2 วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน

เมื่อ  $Z$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน หากพิจารณาระบบในรูปแบบหลายเซลล์ (Multi Cell) ตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ กำหนดให้  $f$  คือ อัตราการแทรกสอดของสัญญาณภายนอกเซลล์ต่อภายในเซลล์ สามารถหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนได้

$$E[Z] = \frac{\lambda}{\mu} \left( 1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x} \right) \bar{v} (1+f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} \quad (4.25)$$

$$\text{Var}(Z) = \frac{\lambda}{\mu} \left( 1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x} \right) \bar{v} (1+f) e^{2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2} \quad (4.26)$$

เมื่อ  $\beta = \frac{\ln 10}{10}$  และ  $m, \sigma$  เป็นค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของฟังก์ชันการกระจายเกาส์เซียนตามลำดับ,  $\bar{v}$  คือ ค่าเฉลี่ยการเกิดขึ้นของสัญญาณเสียงพูด (Voice Activity) และ  $\lambda/\mu$  คือ ความจุเออร์เลขของระบบ มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด คือ

$$P_{\text{Blocking}} = Q \left( \frac{Z_0 - E[Z]}{\sqrt{\text{Var}(Z)}} \right) \quad (4.27)$$

โดยฟังก์ชัน  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$

#### 4.1.3 วิธีการประมาณแบบล็อกนอมอน

เมื่อกำหนดให้  $Z$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอมอน มีฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอมอน  $Z'$  จะมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน

$$E[Z'] = e^{m_N + \frac{1}{2} \sigma^2 N} \quad (4.28)$$

$$\text{Var}(Z') = e^{2m_N + \sigma^2 N} (e^{\sigma^2 N} - 1) \quad (4.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $m_N, \sigma^2_N$  หมายถึงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอมอน  
 ประยุกต์ใช้วิธีการ Wilkinson โดยกำหนดให้  $E[z] = E[Z']$  และ  $Var(z) = Var(Z')$  จะได้

$$\frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}\right)^{-v} (1+f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} = e^{m_N + \frac{1}{2} \sigma^2_N} \quad (4.30)$$

$$\frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \alpha v_r N \frac{1}{x}\right)^{-v} (1+f) e^{2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2} = e^{2m_N + \sigma^2_N} (e^{\sigma^2_N} - 1) \quad (4.31)$$

แก้สมการหาค่า  $m_N$  และ  $\sigma^2_N$  ได้

$$\sigma^2_N = \ln \left[ \frac{e^{\beta^2 \sigma^2}}{\frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}\right)^{-v} (1-f)} + 1 \right] \quad (4.32)$$

$$m_N = \ln \left[ \frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}\right)^{-v} (1+f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} \right] - \frac{1}{2} \sigma^2_N \quad (4.33)$$

มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด คือ

$$P_{Blocking} = Q \left( \frac{\ln(Z_0) - m_N}{\sigma_N} \right) \quad (4.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์และแสดงผลเชิงเลข

#### 5.1 บทนำ

การวิเคราะห์และแสดงผลเชิงเลขของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลอกนอมอน ตามลำดับ ระบบมีการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ ( $\sigma = 0$ ) เปรียบเทียบกรณีตัวทวนสัญญาณถูกนำประยุกต์ใช้งานในระบบ ที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีฐานตลอดเวลา (ไม่มีการประยุกต์ใช้งานระบบ AOS (Automatic ON/OFF Switching) ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลอกนอมอน ตามลำดับ ระบบมีการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ เปรียบเทียบกับตัวทวนสัญญาณ และระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการใช้งาน ซึ่งจะเห็นว่าค่าความจุเออร์แลงกรณีตัวทวนสัญญาณไม่มีการใช้งานในระบบ ( $N_r = 0$ ) มีค่ามากกว่าค่าความจุเออร์แลง กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ( $N_r = 1,3,5$ ) ผลลัพธ์เชิงเลขแสดงความเปลี่ยนแปลงค่าความจุเออร์แลงที่ลดลงเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของตัวทวนสัญญาณ และกรณีที่ตัวทวนสัญญาณมีการใช้งานระบบ AOS มีค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ต่างๆ ( $\alpha = 0.8, 0.6, 0.4$ ) จะเห็นว่าเมื่อค่าการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณมีค่าลดลงเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลลัพธ์เชิงเลขกรณีมีการใช้งานระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้งาน
$W$	1.2288 MHz
$R_b$	9.6 Kbps
$m$	7 dB
$\bar{\nu}$	0.4
$\eta$	0.1
$f$	0.55

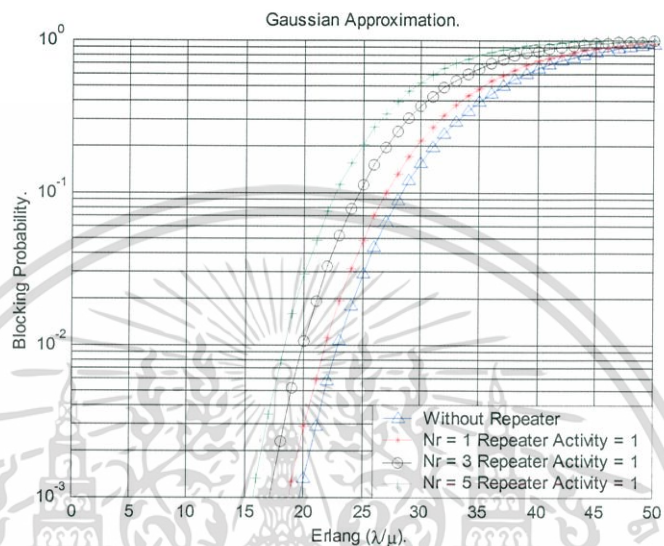
ตารางที่ 5.1 แสดงพารามิเตอร์ระบบที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

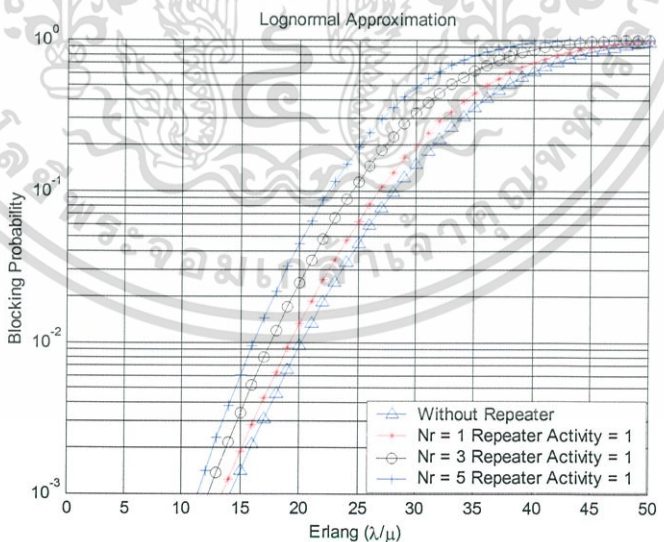
## 5.2 การวิเคราะห์ความจุเจอร์แลง

### 5.2.1 อิทธิพลของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุเจอร์แลงในระบบที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีฐานตลอดเวลา

พารามิเตอร์ระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยใช้สมการที่(4.25) (4.26) และ (4.27) ตามลำดับใช้ในการวิเคราะห์การประมาณแบบเกาส์เซียน และสมการที่ (4.32) (4.33) และ (4.34)ใช้ในการวิเคราะห์การประมาณแบบลอกนอมนอน กรณีระบบมีการควบคุมกำลังที่ สมบูรณ์  $\sigma = 0\text{dB}$



รูปที่ 5.1 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเจอร์แลงของระบบเซลล์คู่ค่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีประมาณแบบเกาส์เซียน เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ

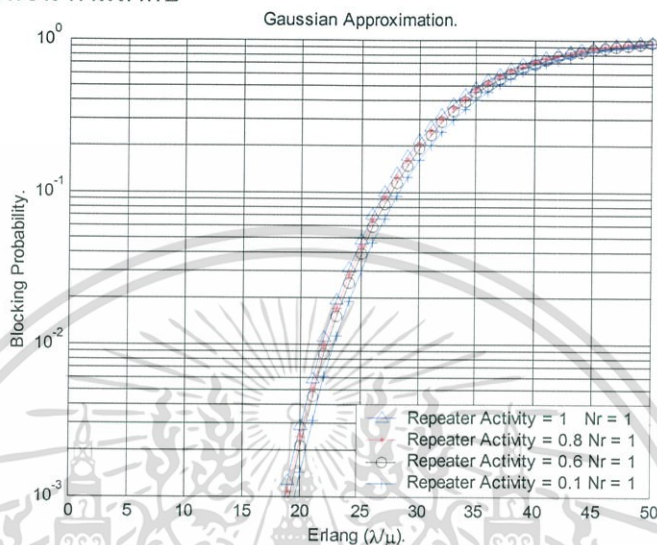


รูปที่ 5.2 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเจอร์แลงของระบบเซลล์คู่ค่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบลอกนอมนอน เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ

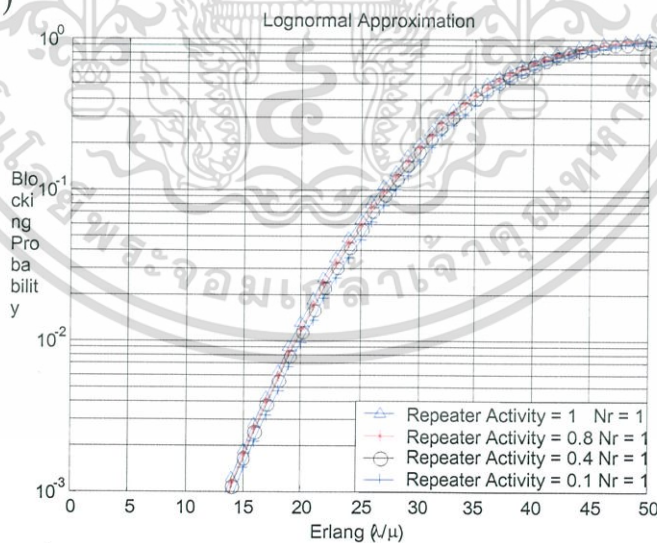
5.2.2 อิทธิพลของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุเออร์แลงของระบบกรณีที่มีการใช้งานระบบ

AOS

พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 5.1 โดยใช้สมการที่ (4.25) (4.26) และ (4.27) ในการประมาณแบบเกาส์เซียน และใช้สมการที่ (4.32) (4.33) และ (4.34) ในการประมาณแบบลอกนอมน ตามลำดับ

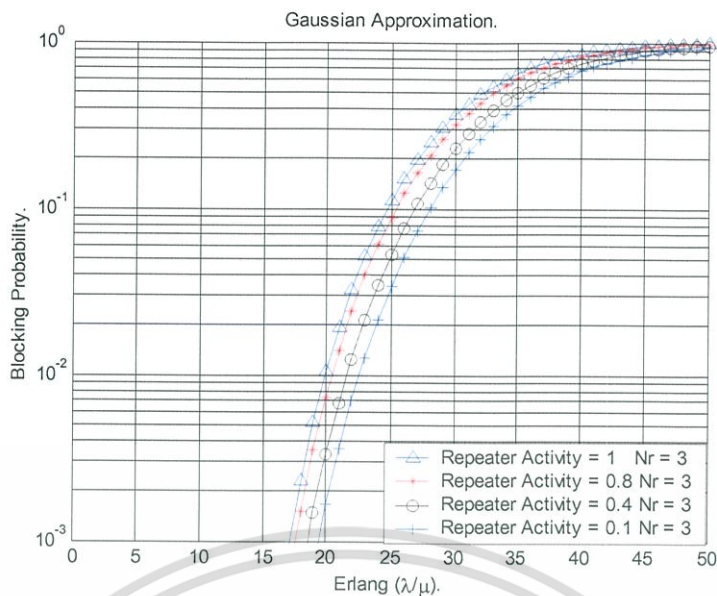


รูปที่ 5.3 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่สถานีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.6, 0.1$ ) และ ( $N_r = 1$ )

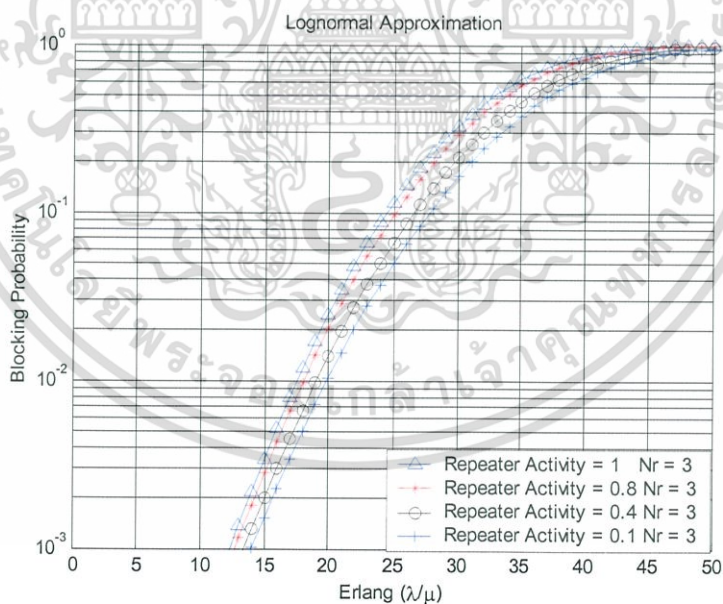


รูปที่ 5.4 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่สถานีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบลอกนอมน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 1$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

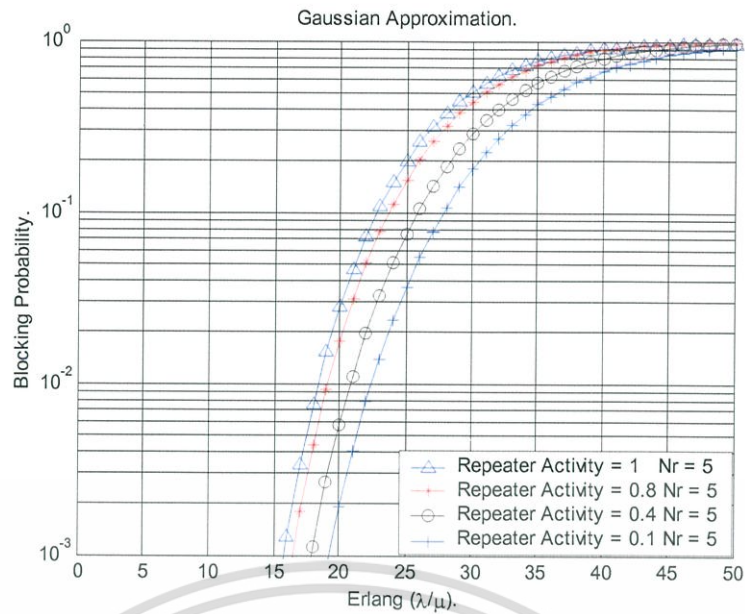


**รูปที่ 5.5** แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 3$ )

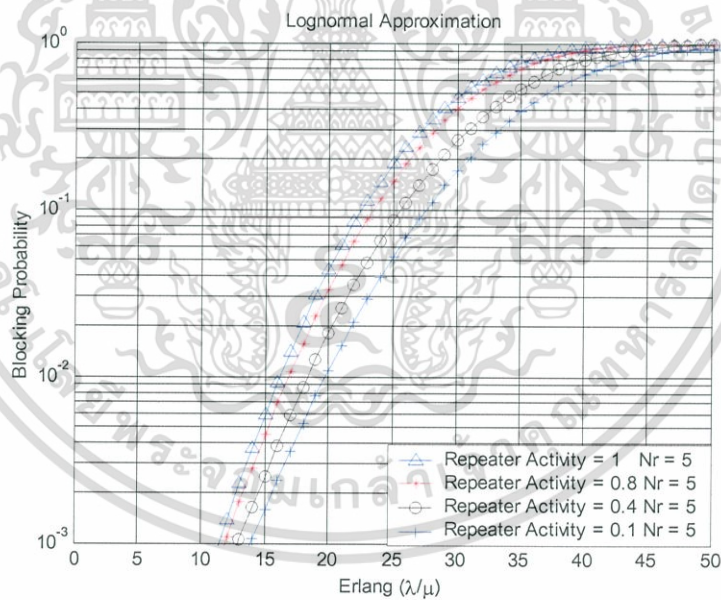


**รูปที่ 5.6** แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มอล กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 3$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

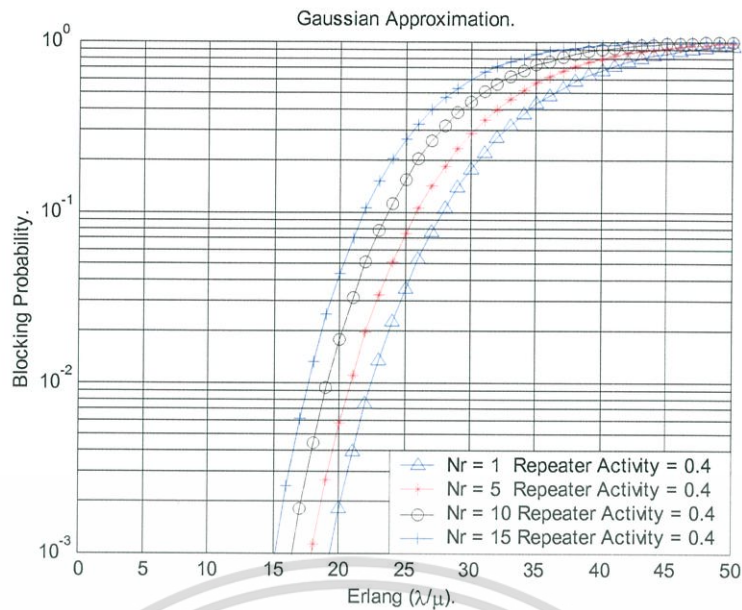


รูปที่ 5.7 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 5$ )

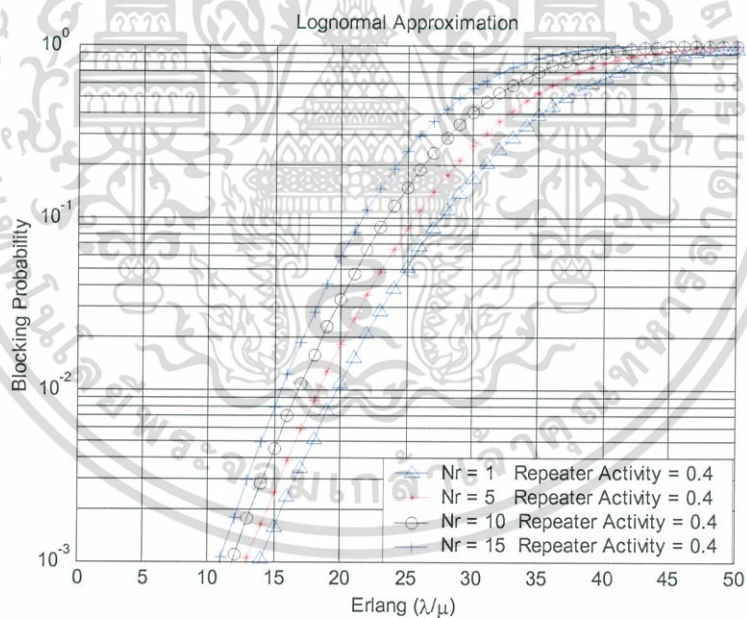


รูปที่ 5.8 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่าซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอมาล กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 1, 0.8, 0.4, 0.1$ ) และ ( $N_r = 5$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 5.9** แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่างซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.4$ ) และ ( $N_r = 1, 5, 10, 15$ )



**รูปที่ 5.10** แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์คู่ล่างซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มอล ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.4$ ) และ ( $N_r = 1, 5, 10, 15$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลของการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลู่ล่าซีดีเอ็มเอ จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลอกนอมอ ตามลำดับ กรณีที่ตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ คือเมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบลดลง หากจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบเพิ่มขึ้นค่าความจุเออร์แลงของระบบก็จะยิ่งลดลง ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าความจุเออร์แลงของระบบเป็นสัดส่วนผกผันกับจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบ การใช้งานระบบ AOS (Automatic ON/OFF Switch) ของตัวทวนสัญญาณ เป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเปลี่ยนแปลง คือ เมื่อค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณมีค่าลดลงจะได้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุเออร์แลงในระบบกรณีที่มิตัวทวนสัญญาณมาประยุกต์ใช้ในระบบ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ค่าความจุเออร์แลงในระบบมีค่าลดลง แต่มีข้อดีคือ มีประโยชน์ในการให้บริการแก่ผู้ใช้งาน ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เครื่องข่ายการส่งสัญญาณที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A.M Viterbi and A.J. Viterbi.1993. "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System"  
IEEE Journal on Selected Area in Communication.11,6(August) :892-899.
- [2] W.Choi,B.Y.Cho,T.W.Ban.2001."Automatic On-Off Switching Repeater for DS/CDMA  
Reverse Link capacity Improvement".IEEE Communications Letters.5,4(April): 138-  
141.
- [3] M.R.Bavafa and H.H.Xia. 1998. "Repeaters for CDMA Systems". Proc.IEEE VTC'98.  
Ottawa,Canada,May 18-21 : 1161-1165.
- [4] W.C.Y.Lee and D.J.Y.Lee. "The Impact of Repeater on CDMA System  
Performance".Proc.IEEE VTC'2000 Spring.Tokyo,Japan,May 15-18 : 1763-1767.
- [5] J.S.Lee and L.E.Miller.1998. CDMA Systems Engineering Handbook,Boston,Artech Hand.
- [6] S.Omsin,A.Manyanon,Chom Kimpan,Ouen Pin-ngern and Suthichai Noppanakepong.  
2002. "Effect of Mulipath Fading on the Erlang Capacity of Imperfect Power Control  
in Cellular CDMA System".IEEE Asia Pacific Conference on Curcuits and System  
2002,Bali Indonesia: pp.433-436.

## ภาคผนวก

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ประพันธ์ มณี พิทักษ์ แก้วบุญส่ง และ พิพัฒน์ เลหาสงคราม, “ผลกระทบของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ”, วิศวกรรมสาร ม.ช., ฉบับที่ 4 ปีที่ 32 ประจำเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม 2548.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ผลกระทบของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

## The impact of Repeater on the Erlang Capacity of a CDMA Cellular System

ประพันธ์ มณี\*

พิทักษ์ แก้วบุญส่ง\*\*

รศ.พิพัฒน์ เลหาสงคราม\*\*\*

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงด้านช่องสัญญาณขาขึ้นของระบบเซลลูลาร์ CDMA กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ เพื่อให้พื้นที่บริการภายในเซลสามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทุกพื้นที่ การประมาณค่าใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนออมอล ตามลำดับ ผลลัพธ์เชิงเลขแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความจุเออร์แลงที่ลดลงเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนตัวทวนสัญญาณ การใช้งาน AOS (Automatic ON/OFF Switching) ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ความจุเออร์แลง      ความน่าจะเป็นการติดขัด  
ตัวทวนสัญญาณ      ระบบ AOS

### Abstract

This paper presents an evaluation of the Erlang capacity of a CDMA cellular system on the reverse link channel which employs repeater for all mobile within cell. The approximation methods will be based on Gaussian and Lognormal respectively. Numerical results show a decrease of the Erlang capacity as the number of repeaters increase. The Automatic On-Off Switching (AOS) repeater improvement increase the Erlang capacity.

\* นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

\*\* วิศวกร ศูนย์วิศวกรรมภาคใต้ อสมท จ.สุราษฎร์ธานี บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

\*\*\* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 1. บทนำ

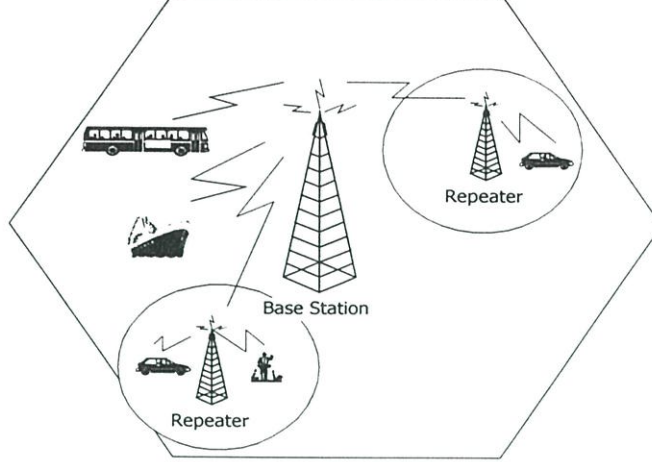
เมื่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ CDMA มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความจุของระบบ ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาโดยนักวิจัยอย่างต่อเนื่องด้วยข้อจำกัดของ CDMA คือการแทรกสอดจากจำนวนผู้ใช้งานในระบบ หมายความว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในระบบเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่าความจุของระบบลดลง เนื่องจากระบบ CDMA ใช้วิธีการแผ่กว้างทางสเปกตรัม (Spread Spectrum) โดยผู้ใช้งานจะได้รับลำดับรหัส (Code Sequence) ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานที่ความถี่และช่วงเวลาเดียวกันได้ [1] ตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเซลบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณ (Dead Spot) เช่น ภายในตึกสูง อุโมงค์หรือบริเวณสถานีรถไฟใต้ดิน เป็นต้น ให้จำนวนผู้ใช้งานในบริเวณดังกล่าวสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ [2]

บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์ค่าความจุเออร์เลนจ์ของระบบเซลลูลาร์ CDMA จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด (Blocking Probability) โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและอีคอนอมอล กรณีตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าความจุ การใช้งาน AOS ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์เลนจ์ของระบบเพิ่มขึ้น

## 2. รูปแบบระบบ

### 2.1 ตัวทวนสัญญาณ

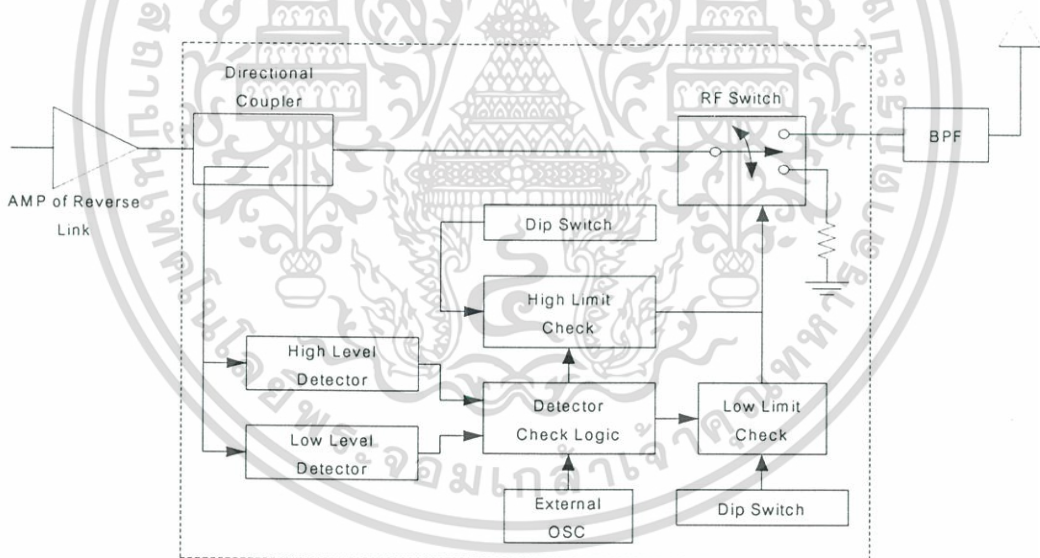
เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ CDMA เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเซลบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณให้สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีข้อดีคือ 1) ช่วยลดกำลังส่งของสถานีฐาน เนื่องจากหากไม่มีตัวทวนสัญญาณสถานีฐานจะต้องส่งกำลังส่งในระดับที่สูงเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่จุดอับสัญญาณนั้น 2) ในระบบไม่เกิดการแฮนด์ออฟ (Handoffs) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่จากสถานีฐานไปยังพื้นที่ของตัวทวนสัญญาณ โดยหน้าที่ของตัวทวนสัญญาณด้านช่องสัญญาณขาลง (Forward Link) ตัวทวนสัญญาณจะรับสัญญาณจากสถานีฐานและขยายสัญญาณส่งต่อไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้านช่องสัญญาณขาขึ้น (Reverse Link) ตัวทวนสัญญาณจะรับสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่และขยายสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีฐาน [3] [4] มีรูปแบบระบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบระบบของสถานีฐานและตัวทวนสัญญาณ

## 2.2 ระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ

ระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ จะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับกำลังสัญญาณที่รับได้บนช่องสัญญาณขาขึ้นที่ตัวทวนสัญญาณ เพื่อที่จะทำการ OFF เส้นทางเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานกับตัวทวนสัญญาณ หากไม่มีจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ ซึ่งเป็นการลดการขยายสัญญาณรบกวนในระบบ รูปแบบระบบ AOS จาก [2] มีหลักการทำงานบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบระบบ AOS

## 2.3 สมการรูปแบบระบบ

พิจารณาด้านช่องสัญญาณขาขึ้นที่สถานีฐาน เมื่อ  $S$  คือ พลังงานที่รับได้ที่สถานีฐาน  $E_b/I_t$  คือ พลังงานบิตที่รับได้ต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดรวม  $R_b$  คือ อัตราการส่งบิตข้อมูล จะได้  $E_b/I_t$  ที่รับได้ที่สถานีฐาน คือ [2]

$$\frac{E_b}{I_t} = \frac{(S/R_b)}{I_t} \quad (1)$$

โดยทั่วไปสมมติให้  $E_b/I_t$  เป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยใช้สำหรับการประมาณความจุระบบ เมื่อระบบเซลล์ลาร์ CDMA ใช้งานตัวทวนสัญญาณ และตัวทวนสัญญาณประยุกต์ใช้งานระบบ AOS สามารถเขียนสมการค่าเฉลี่ย  $E_b/I_t$  ได้เป็น [2]

$$E[E_b/I_t] = \frac{(S/R_b)}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} \alpha G_b G_{r_i}^{\alpha} L_{r_i,b} N_{th} F_{r_i} + \frac{(1+f)vS(N_b + v_r N_{rm} \alpha N_r - 1)}{W}} \quad (2)$$

โดย  $N_{th}$  คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณรบกวนเทอร์มอล (Thermal Noise)  $F_b$  คือ สัญญาณน้อยสปีกเกอร์ (Noise Figures) ของสถานีฐาน  $\alpha$  คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ (Repeater Activity)  $G_b$  คือ อัตราขยายด้านรับของสถานีฐาน  $G_{r_i}^{\alpha}$  คือ อัตราขยายของสายอากาศด้านส่งและวงจรถ่ายของตัวทวนสัญญาณ  $L_{r_i,b}$  คือ การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss) ระหว่างตัวทวนสัญญาณลำดับที่  $i$  กับสถานีฐาน  $F_{r_i}$  คือ สัญญาณน้อยสปีกเกอร์ของตัวทวนสัญญาณ  $f$  คือ อัตราสัญญาณแทรกสอดภายนอกเซลล์ต่อภายในเซลล์  $v$  คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งาน (Voice Activity) ที่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้โดยตรง  $N_b$  คือ จำนวนของผู้ใช้งานที่ติดต่อกับสถานีฐานโดยตรง  $N_r$  คือ จำนวนของตัวทวนสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสถานีฐาน  $N_{rm}$  คือ จำนวนของผู้ใช้งานที่ติดต่อกับตัวทวนสัญญาณ  $v_r$  คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ และ  $W$  คือ แบนด์วิทการแผ่กว้างทางสเปกตรัมของระบบ

จากสมการที่ (2) และ [2] สามารถหาความจุด้านช่องสัญญาณขาขึ้นเป็นสัดส่วนกับจำนวนตัวทวนสัญญาณได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} C &\equiv N_b + \alpha N_r v_r N_{rm} \\ &= \frac{W}{1+f} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left\{ \frac{1}{R_b} \left( \frac{E_b}{I_t} \right)^{-1} - \frac{N_{th} F_b}{S} \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i=1}^{N_r} \frac{\alpha G_b G_{r_i}^{\alpha} L_{r_i,b} N_{th} F_{r_i}}{S} \right\} + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ  $C$  คือ ค่าความจุรวมของระบบ และหากเปรียบเทียบให้  $C$  คือ ค่าความจุเออร์แลงของระบบ  $C = (\lambda/\mu)$ ,  $\lambda$  คือ อัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ  $1/\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้งานช่องสัญญาณ [5] ดังนั้นสมการที่ (3) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_t = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{BS} + \alpha N_r v_r \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{repeater} \quad (4)$$

โดย  $(\lambda/\mu)_{BS}$  หมายถึง ค่าความจุเออร์แลงจากจำนวนผู้ใช้งานที่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้โดยตรง และ  $(\lambda/\mu)_{repeater}$  หมายถึง ค่าความจุเออร์แลงจากจำนวนผู้ใช้งานที่อยู่ภายในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ หากกำหนดให้  $(\lambda/\mu)_{BS}$  มีค่ามากกว่า  $(\lambda/\mu)_{repeater}$  เป็นจำนวน  $x$  เท่า จะได้  $(\lambda/\mu)_{BS} = x \cdot (\lambda/\mu)_{repeater}$  นำไปแทนค่าในสมการที่ (4) ได้

$$\begin{aligned} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_t &= \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{BS} + \alpha N_r v_r \frac{1}{x} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{BS} \\ &= \frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

นำสมการที่ (5) ไปวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงจากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและค็อกนอมอล ตามลำดับ

### 3. ความจุเออร์แลงและความน่าจะเป็นการติดขัด

พิจารณากำลังของสัญญาณที่รับได้บนช่องสัญญาณขาขึ้นในระบบแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell) จะได้ว่าค่าสัญญาณแทรกสอดรวมทั้งหมดเป็น [5]

$$Z = \sum_{i=1}^N v_i \rho_i \leq \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \quad (6)$$

เมื่อ  $Z$  คือ ผลรวมของตัวแปรสุ่ม  $N$  คือ จำนวนผู้ใช้งานในระบบมีลักษณะฟังก์ชันการกระจายแบบพัชองและมีค่าเฉลี่ย  $\lambda/\mu$   $v_i$  คือ แฟกเตอร์การ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งาน  $i$  มีค่าเฉลี่ย  $\bar{v}$   $\rho_i = E_{b(i)}/I_o$  ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนพลังงานบิดที่รับได้ต่อความหนาแน่นสัญญาณแทรกสอด และ  $\eta$  คือ พารามิเตอร์แสดงภาระ (Loading) ของระบบ ดังนั้นความน่าจะเป็นการติดขัดจะเป็นค่าของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold)  $Z_o$  สำหรับผู้ใช้งานที่  $N + 1$  จะถูกปฏิเสธการให้บริการ มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด [5] คือ

$$P_{Blocking} = P_r[Z > Z_o] = \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน

เมื่อ  $Z$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน และพิจารณาแบบรูปแบบหลายเซลล์ (Multi Cell) ตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ สามารถหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มได้ [5]

$$E[Z] = \frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x})^{-1} v (1 + f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} \quad (8)$$

$$Var(Z) = \frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x})^{-1} v (1 + f) e^{2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2} \quad (9)$$

เมื่อ  $\beta = \frac{\ln 10}{10}$  และ  $m, \sigma$  เป็นค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของฟังก์ชันการกระจายเกาส์เซียนตามลำดับ มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด คือ

$$P_{Blocking} = Q\left(\frac{Z_o - E[Z]}{\sqrt{Var(Z)}}\right) \quad (10)$$

โดยฟังก์ชัน  $Q(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$  นำสมการที่ (8) และ (9) แทนในสมการที่ (10) เพื่อวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงโดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน

### 3.2 วิธีการประมาณแบบล็อกนอมอล

เมื่อกำหนดให้  $Z$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอมอล มีฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอมอล  $Z'$  โดยที่ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของฟังก์ชันเป็นไปตามสมการ [5]

$$E[Z'] = e^{m_N + \frac{1}{2} \sigma_N^2} \quad (11)$$

$$Var(Z') = e^{2m_N + \sigma_N^2} (e^{\sigma_N^2} - 1) \quad (12)$$

เมื่อ  $m_N, \sigma_N^2$  หมายถึงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอมอล ประยุกต์ใช้วิธีการ Wilkinson [5] โดยกำหนดให้  $E[Z] = E[Z']$  และ  $Var(Z) = Var(Z')$  จะได้

$$\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x})^{-1} v (1 + f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} = e^{m_N + \frac{1}{2} \sigma_N^2} \quad (13)$$

$$\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x})^{-1} v (1 + f) e^{2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2} = e^{2m_N + \sigma_N^2} (e^{\sigma_N^2} - 1) \quad (14)$$

แก้สมการหาค่า  $m_N$  และ  $\sigma_N^2$  ได้

$$\sigma_N^2 = \ln \left[ \frac{e^{\beta^2 \sigma^2}}{\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) v (1+f)} + 1 \right] \quad (15)$$

$$m_N = \ln \left[ \frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) v (1+f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} \right] - \frac{1}{2} \sigma_N^2 \quad (16)$$

มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด คือ

$$P_{Blocking} = Q \left( \frac{\ln(Z_o) - m_N}{\sigma_N} \right) \quad (17)$$

นำสมการที่ (15) และ (16) แทนในสมการที่ (17) เพื่อวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงโดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอมอล

#### 4. ผลลัพธ์เชิงเลข

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อ้างอิงมาตรฐาน IS-95  $W = 1.2288$  MHz  $R_b = 9.6$  Kbps  $v = 0.4$   $\eta = 0.1$   $f = 0.55$   $m = 7$  dB  $v_r = 0.1$  และกำหนดให้  $(\lambda/\mu)_{BS}$  มีค่ามากกว่า  $(\lambda/\mu)_{repeater}$  เป็นจำนวน 2 เท่า ( $x=2$ ) พิจารณารูปผลลัพธ์เชิงเลขที่ความน่าจะเป็นการติดขัด 1% ( $10^{-2}$ ) [1] รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงในระบบเซลล์ลู่าร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนอมอล ตามลำดับ ระบบมีการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ ( $\sigma=0$ ) เปรียบเทียบกรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีฐานตลอดเวลา (ไม่มีการประยุกต์ใช้งานระบบ AOS) ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha=1$ ) และกรณีตัวทวนสัญญาณไม่มีการใช้งานในระบบ จะเห็นว่าค่าความจุเออร์แลงกรณีตัวทวนสัญญาณไม่มีการใช้งานในระบบ ( $N_r=0$ ) มีค่ามากกว่าค่าความจุเออร์แลงกรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ( $N_r=1, 3, 5$ ) และจะเห็นว่าเมื่อจำนวนตัวทวนสัญญาณเพิ่มขึ้น ค่าความจุเออร์แลงของระบบมีค่าลดลง รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงในระบบเซลล์ลู่าร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ( $N_r=5$ ) และระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณต่างๆ ( $\alpha=0.8, 0.6, 0.4$ ) จะเห็นว่าเมื่อค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณมีค่าลดลงเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น รูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์เชิงเลข

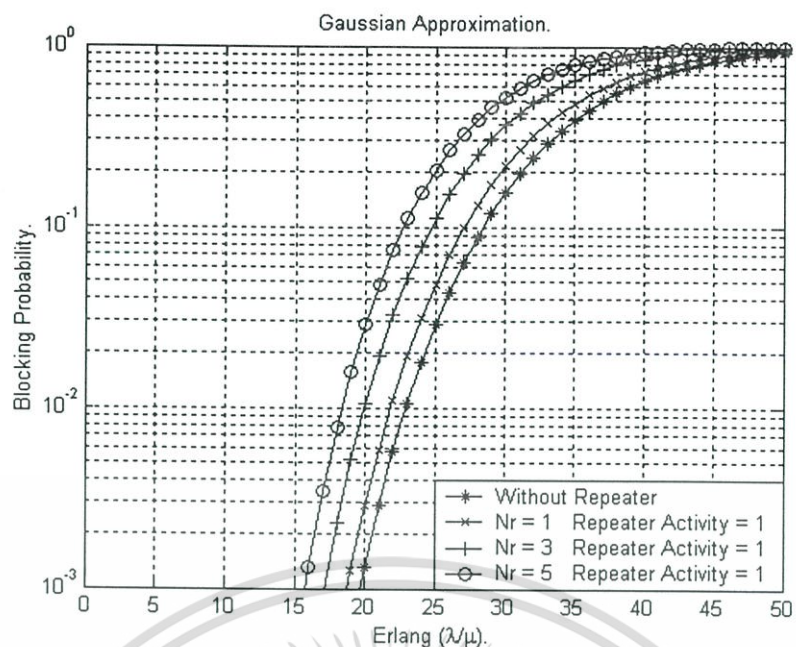
ค่าความจุเออร์แลงในระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ( $N_r = 1, 5, 10, 15$ ) และระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.4$ )

## 5. สรุป

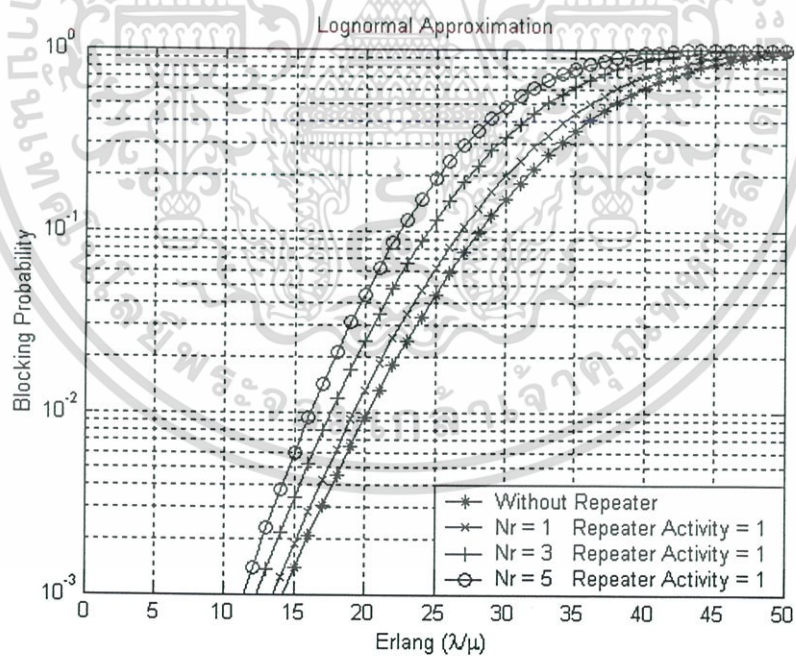
บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและลือกอนอมอล ตามลำดับ กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบลดลง หากจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบเพิ่มขึ้นค่าความจุเออร์แลงของระบบก็จะยิ่งลดลง ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าความจุเออร์แลงของระบบเป็นสัดส่วนผกผันกับจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบ การใช้งานระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ เป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น คือ เมื่อค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณมีค่าลดลงจะได้ค่าความจุเออร์แลงเพิ่มขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.M. Viterbi, A.J. Viterbi "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System", **IEEE Journal on Selected Area in Communications**, VOL.11, NO.6, August 1993, Pp.892-899.
- [2] W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban, "Automatic On-Off Switching Repeater for DS/CDMA Reverse Link Capacity Improvement", **IEEE Communications Letters**, VOL. 5, NO.4 April 2001, Pp. 138-141.
- [3] M.R. Bavafa, H.H. Xia, "Repeaters for CDMA Systems", **Proc. IEEE VTC'98**, Ottawa, Canada, May 18-21 1998, Pp. 1161-1165.
- [4] W.C.Y. Lee, D.J.Y. Lee, "The Impact of Repeater on CDMA System Performance", **Proc. IEEE VTC'2000 Spring**, Tokyo, Japan, May 15-18, 2000, Pp. 1763-1767.
- [5] J.S. Lee and L.E. Miller, **CDMA Systems Engineering Handbook**, Boston, Artech House, 1998.

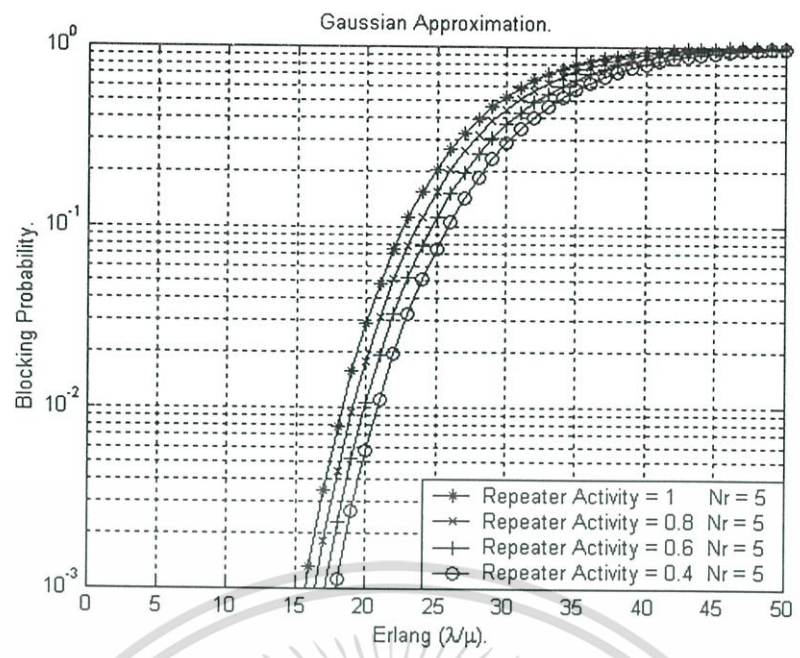


รูปที่ 3 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ

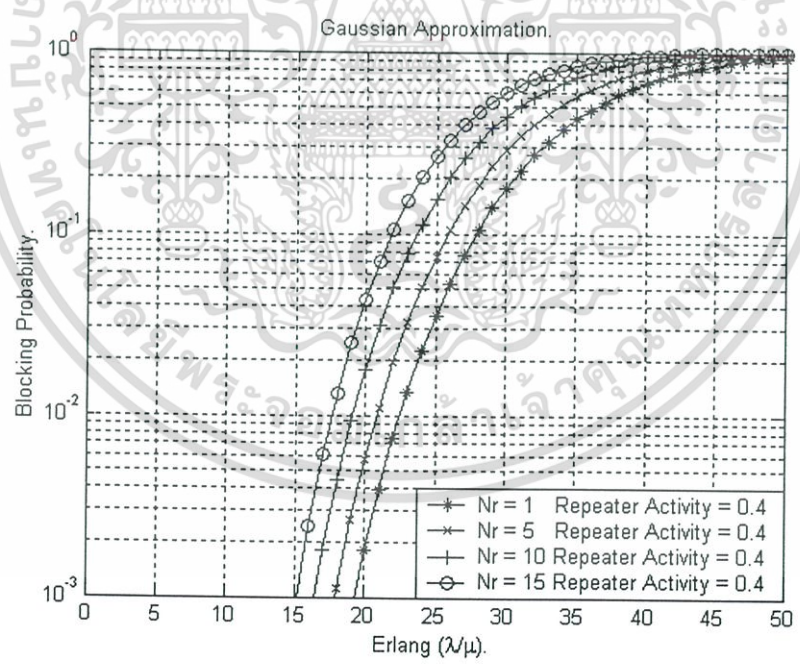


รูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มอล เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.8, 0.6, 0.4$ ) และ ( $N_r = 5$ )



รูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ( $\alpha = 0.4$ ) และ ( $N_r = 1, 5, 10, 15$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายประพันธ์ มูณี เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2513 ที่จังหวัดพัทลุง สำเร็จการศึกษา  
 อุดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการ  
 ศึกษา 2541 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (อิเล็กทรอนิกส์) ปีการศึกษา 2534 จากสถาบัน  
 เทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (อิเล็กทรอนิกส์) ปีการ  
 ศึกษา 2531 จากวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง

ปี พ.ศ. 2538 เข้าทำงานในบริษัท ทศท.คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) จนถึงปัจจุบันนี้  
 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 5 ส่วนบำรุงรักษาอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล บริษัท ทศท.  
 คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้