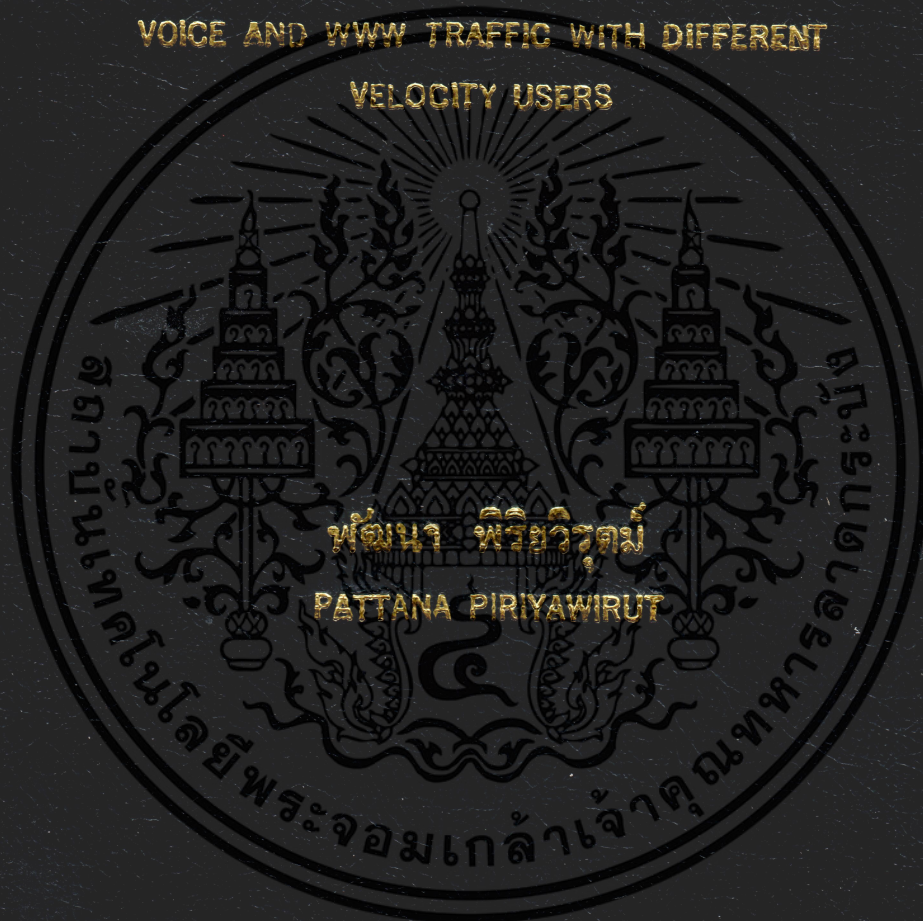


การวิเคราะห์การเชื่อมโยงขากลับของระบบซีดีเอ็มเอซึ่งรองรับ  
ทราฟฟิกเสียงและเว็ลด์วายเว็บด้วยความเร็ว  
ของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน

REVERSE LINK ANALYSIS OF CDMA SYSTEM SUPPORTING  
VOICE AND WWW TRAFFIC WITH DIFFERENT  
VELOCITY USERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1583-9

การวิเคราะห์การเชื่อมโยงขากลับของระบบซีดีเอ็มเอซึ่งรองรับทราฟฟิก  
เสียงและเว็ลด์วายเว็บด้วยความเร็วของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน

REVERSE LINK ANALYSIS OF CDMA SYSTEM SUPPORTING VOICE AND  
WWW TRAFFIC WITH DIFFERENT VELOCITY USERS



พัฒนา ปิริยวิรุตม์  
PATTANA PIRIYAWIRUT

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 60984  
วัน,เดือน,ปี..... 7 ก.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2548  
ISBN 974-15-1583-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVERSE LINK ANALYSIS OF CDMA SYSTEM SUPPORTING VOICE AND  
WWW TRAFFIC WITH DIFFERENT VELOCITY USERS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2005  
ISBN 974-15-1583-9

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	การวิเคราะห์การเชื่อมโยงขากลับของระบบซีดีเอ็มเอซึ่งรองรับ ทราฟฟิกเสียงและวิดีโอด้วยเว็บด้วยความเร็วของผู้ใช้งานที่แตก ต่างกัน
นักศึกษา	นายพัฒนา พิริยวิรุตม์
รหัสนักศึกษา	44611210
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

### บทคัดย่อ

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์ ทฤษฎี และการห้วงทางเวลาบนการเชื่อมโยงแบบขากลับในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่รองรับทราฟฟิกของผู้ใช้งานทางเสียงและผู้ใช้งาน WWW ผลของการวิเคราะห์จะแสดงโดยใช้การประมาณค่าแบบเกาส์ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้ งานทางเสียงที่เพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อการให้บริการ ทราฟฟิกของผู้ใช้งาน WWW ที่ให้บริการในระบบ และเมื่อกำหนดให้ผู้ใช้งานมีความเร็วที่ค่าต่างๆ พบว่าที่ความเร็วต่ำๆ นั้น ค่าทฤษฎี และการห้วงทางเวลาของระบบดีกว่าที่ความเร็วของผู้ใช้งานสูงๆ นอกจากนี้เมื่อคุณลักษณะช่องสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารมีการหลายเส้นทางของสัญญาณที่ส่งจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน จำนวนของเส้นทางของสัญญาณดังกล่าวที่สถานีฐานสามารถรับได้มากขึ้นก็มีผลดีต่อค่าทฤษฎีและการห้วงทางเวลาของระบบด้วยเช่นกัน

Thesis Title	Reverse Link Analysis of CDMA System Supporting Voice and WWW Traffic with Different Velocity Users
Student	Mr. Pattana Piriyawirut
Student ID.	44611210
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Kobchai Dejhan

### ABSTRACT

This thesis, we present an analytical of throughput and delay on reverse link in a cellular CDMA system with integrated voice and World Wide Web (WWW) traffic. Our results show that the Gaussian approximation. Using this approximation it was found that the increasing of voice traffic can have a significant impact on the WWW traffic. It was also found that with slow velocity can achieve higher throughput and less delay than high velocity user. In addition, when the characteristic of channel is multipath channel, the improvement of throughput and delay can occur with increment the numbers of resolvable paths at base station receiver.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสและให้ความช่วยเหลือ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้ให้ความรัก ความเข้าใจ ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุรพันธ์ ยิ้มมั่น ที่ให้โอกาส และสนับสนุนทรัพยากรต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีเทคนิคการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สจพ.ให้การชี้แนะ ตลอดจนความอนุเคราะห์ต่างๆ จากท่าน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ พี่เป๊ยก ปิง ตู อำนวย หนู่ม สัน ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือสนับสนุนต่างๆ แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด

คุณค่า และประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลมาจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอผู้มีพระคุณทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

พัฒนา พิริยวิรุตม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 หลักการของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1 ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น.....	4
2.1.1 การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss).....	4
2.1.2 การบดบัง (Shadowing).....	5
2.1.3 การหลายวิถี (Multipath).....	6
2.2 หลักการของระบบซีดีเอ็มเอ.....	7
2.2.1 หลักการทั่วไปการเข้าถึงหลายทาง.....	7
2.2.1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางความถี่.....	8
2.2.1.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางเวลา.....	8
2.2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส.....	9
2.2.2 เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส (CDMA).....	10
2.3 ระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ.....	12
2.3.1 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	13
2.3.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	13
2.3.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น.....	15
2.3.2 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงกลับ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	18
2.3.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น.....	19
2.4 ความจุของระบบเซลล์ลูลารีซีดีเอ็มเอ.....	20
2.4.1 การควบคุมกำลังแบบลูเปิด (Open Loop Power Control).....	22
2.4.2 การควบคุมกำลังแบบลูปิด (Close Loop Power Control).....	24
2.4.3 การเปลี่ยนถ่ายเซลล์ (Hand-Off).....	26
2.4.4 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ.....	26
บทที่ 3 หลักการพื้นฐานทราฟฟิกของระบบซีดีเอ็มเอ.....	32
3.1 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	32
3.2 ระดับการบริการ (Grade of Service).....	34
3.2.1 เออร์แลง-บี (Erlang-B).....	34
3.2.2 เออร์แลง-ซี (Erlang-C).....	38
3.3 การร้องขอใช้งาน Page .....	41
บทที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเซลล์ลูลารีซีดีเอ็มเอ.....	42
4.1 แบบจำลองของระบบที่พิจารณา.....	42
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ.....	43
4.2.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด (Blocking Probability) ของระบบ.....	43
4.2.2 ทรุษของระบบ.....	46
4.2.3 การหน่วงทางเวลาของระบบ.....	46
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ.....	48
5.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด (Blocking Probability) ของระบบ.....	49
5.1.1 ผลของปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง .....	49
5.1.2 ผลของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูข่ายที่ความเร็วต่างๆ .....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 การวิเคราะห์ทราฟฟิค (Throughput) ของระบบ.....	52
5.2.1 ผลของปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง .....	52
5.2.2 ผลของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายที่ความเร็วต่างๆ .....	53
5.2.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ .....	54
5.3 การวิเคราะห์การหน่วงทางเวลา(Delay) ของระบบ.....	55
5.3.1 ผลของปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง .....	55
5.3.2 ผลของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายที่ความเร็วต่างๆ .....	56
5.3.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ .....	57
บทที่ 6 การวิเคราะห์และสรุปผล.....	58
บรรณานุกรม.....	60
ภาคผนวก.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระยะห่างของเซลล์วงแหวนในระบบเซลล์ลวด	17
4.1 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องลูกข่ายที่ติดต่อกับสถานีฐานที่ต้องการ	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการสูญเสียตามระยะทาง การบดบัง และการหลายวิถี.....	4
2.2 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางความถี่.....	8
2.3 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางเวลา.....	8
2.4 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส.....	9
2.5 แสดงสเปคตรัมที่เปรียบเทียบกันของระบบ FDMA TDMA และ CDMA.....	9
2.6 แสดงภาคส่งของระบบไคเร็กซ์ไคว้นซีดีเอ็มเอที่มีการมอดูเลตแบบ BPSK.....	11
2.7 แสดงภาครับของระบบไคเร็กซ์ไคว้นซีดีเอ็มเอที่มีการมอดูเลตแบบ BPSK.....	12
2.8 แสดงแพทเทิร์นของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ของระบบ FDMA และระบบ CDMA .....	12
2.9 แสดงระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	16
2.10 แสดงลักษณะและรัศมีเซลล์ในระบบเซลล์ลูลาร์.....	17
2.11 แสดงสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (Forward Link) ในระบบเซลล์ลูลาร์ ซีดีเอ็มเอ .....	17
2.12 แสดงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในการสื่อสารการ เชื่อมโยงขากลับ.....	19
2.13 แสดงกำลังจากผู้ให้บริการสองรายในสถานีฐาน โดยผู้ให้บริการที่สองมีค่า SNR มากกว่า ผู้ให้บริการที่หนึ่ง.....	21
2.14 แสดงการควบคุมกำลังส่งที่สมบูรณ์.....	21
2.15 แสดงความจุที่ได้สูงสุดเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ให้บริการทั้งหมดมีค่าเท่ากันที่สถานีฐาน.....	22
2.16 แสดงถึงกำลังของสัญญาณในระบบซีดีเอ็มเอ.....	28
3.1 แสดงสถานะของห่วงโซ่-Markov สำหรับเออร์แลง-บี.....	35
3.2 แสดงสถานะของห่วงโซ่-Markov สำหรับเออร์แลง-บี ที่สภาวะคงตัว.....	36
3.3 แสดงสถานะของห่วงโซ่-Markov สำหรับเออร์แลง-ซี.....	39
5.1 ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบเมื่อจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง( $\lambda/\mu$ ), มีค่า 30 60 และ 90 Erlang .....	53
5.2 ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบเมื่อเครื่องลูกข่ายในระบบมีความเร็ว 10 30 และ 40 Km/h.....	54
5.3 ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของ สถานีฐาน M มีค่า 2 3 และ 4 เส้นทางตามลำดับ.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ทฤษฎีของระบบเมื่อจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง ( $\lambda/\mu$ ), มีค่า 30 60 และ 90 Erlang .....	56
5.5 ทฤษฎีของระบบเมื่อเครื่องลูกข่ายในระบบมีความเร็ว 10 30 และ 40 Km/h.....	57
5.6 ทฤษฎีของระบบเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน M มีค่า 2 3 และ 4 เส้นทาง.....	58
5.7 การห้วงทางเวลาของระบบเมื่อจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง ( $\lambda/\mu$ ), มีค่า 30 60 และ 90 Erlang .....	59
5.8 การห้วงทางเวลาของระบบเมื่อเครื่องลูกข่ายในระบบมีความเร็ว 10 30 และ 40 Km/h.....	60
5.9 การห้วงทางเวลาของระบบเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน M มีค่า 2 3 และ 4 .....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ผู้ใช้งานนั้นจะได้รับการบริการในหลายรูปแบบเช่น เสียง ข้อมูล มัลติมีเดีย และอินเทอร์เน็ต เป็นต้น โดยใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์ที่พัฒนาขึ้นมาที่เรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบการแบ่งทางรหัส (Code Division Multiple Access, CDMA) โดยระบบ CDMA นี้จะทำให้การใช้งานแบนด์วิธมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ FDMA และ TDMA เพราะในระบบซีดีเอ็มเอสามารถให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแบนด์วิธได้ทั้งแบนด์วิธพร้อมๆกันโดยใช้การแบ่งทางรหัส ระบบซีดีเอ็มเอยังจะให้ผลดีต่อความจุของระบบซึ่งค่าความจุซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณทรานส์มิชชันที่สามารถรองรับได้ของระบบ

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบซีดีเอ็มเอที่มีการควบคุมกำลังที่ไม่สมบูรณ์ ในช่วงสัญญาณที่มีการหลายวิถี และเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ โดยในระบบนี้พิจารณาการส่งข้อมูลเป็นแพคเกจ เนื่องจากในการสื่อสารเคลื่อนที่นั้นมีความต้องการใช้งานของอินเทอร์เน็ตผ่านโมบายล์ เมื่อผู้ใช้บริการ WWW ต้องการจะดาวน์โหลดเว็บเพจ จะส่งข้อมูล Page Request มายังสถานีฐาน จากนั้น สถานีฐานจะส่งข้อมูลนี้ต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์จึงจะสามารถดาวน์โหลดเว็บเพจได้ ในระหว่างดาวน์โหลดเว็บเพจนั้น ผู้ใช้บริการจะสามารถส่งข้อมูล Page Request เพื่อดาวน์โหลดเว็บเพจอื่นๆได้อีก ดังนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ WWW เพิ่มขึ้นจำนวน Page Request ก็จะมีจำนวนมากขึ้นด้วยเช่นกัน การเพิ่มของ Page Request มายังสถานีฐานจะทำการกระจายแบบปัวส์ซง ในการคำนวณหาค่าอัตราการเข้ามาเฉลี่ยของ Page Request นั้นจะหาได้จาก

$$\lambda_p = \lambda_w N_p \quad (1)$$

โดยที่  $\lambda_w$  = อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ WWW และ  $N_p$  = จำนวนเฉลี่ยของ Page Request ต่อเซสชัน (Session) ทุก Page Request เราจะกำหนดให้มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 2600 ไบต์ [5] สำหรับเวลาเฉลี่ยในการส่ง Page Request นั้นจะเป็น

$$\frac{1}{\lambda_p} = \frac{8P_r}{R_p} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $P_r$  = จำนวนไบต์เฉลี่ยของ Page Request และ  $R_p$  = อัตราการส่งข้อมูลของ Page Request กำหนดให้  $N$  เป็นจำนวนข้อมูลที่ส่งออกในระบบโดยกำหนดเป็นตัวแปรสุ่มแบบปัวส์ของด้วยค่าเฉลี่ยจะได้

$$P(N = n) = \frac{A^n \exp(-A)}{n!} \quad (3)$$

โดยที่  $A = \frac{\lambda_p}{\mu_p}$  คือความจุเออร์แลงของเว็บเพจ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบคือ ความน่าจะเป็นของการติดขัด ทรุษุท และการหน่วงทางเวลา

1. เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการข้อมูล  $(\lambda/\mu)_d$  ที่มีต่อจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการ WWW  $(\lambda/\mu)_w$  ที่บริการได้โดยระบบ
2. เพื่อศึกษาผลจากการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายที่ความเร็วค่าต่างๆ
3. เพื่อศึกษาผลที่ได้จากจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path)

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด ทรุษุท และการหน่วงทางเวลาของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่รองรับผู้ใช้บริการเสียงและ WWW ในช่องสัญญาณที่มีการหลายวิถี ภายใต้การควบคุมกำลังส่งแบบไม่สมมาตรในการเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link) ซึ่งค่าความจุของระบบจะขึ้นกับค่าของสัญญาณแทรกสอด (interference)

## 1.4 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ดังนี้  
บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงปัญหาและความเป็นมาของการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการติดขัด ทรุษุท และการหน่วงทางเวลา ของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่รองรับผู้ใช้บริการเสียงและ WWW วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 หลักการของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

กล่าวถึงลักษณะต่างๆ ไปของระบบซีดีเอ็มเอที่น่าสนใจในการทำการศึกษานิตยสารฉบับนี้

บทที่ 3 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกของระบบซีดีเอ็มเอ

กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่จะนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

กล่าวถึงรายละเอียดของการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด ทรุษุท และการหน่วงทางเวลา ที่พิจารณาผลของของทราฟฟิกของเสียงและWWW ความเร็วของเครื่องลูกข่าย และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ

กล่าวถึงผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ 4

บทที่ 6 บทสรุป

เป็นการสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# หลักการของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

### 2.1 ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น

ในการสื่อสารไร้สายนั้นเมื่อสัญญาณถูกส่งผ่านช่องสัญญาณ สัญญาณนั้นจะได้รับผลกระทบจากการเดินทางผ่านช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากทั้ง ต้นไม้ ตึกอาคาร และสิ่งแวดล้อม ภูมิประเทศต่างๆ จะส่งผลให้เกิดการจางหาย (Fading) ของสัญญาณ ซึ่งเราจะพิจารณาเป็น 3 ประเภทคือ การสูญเสียตามระยะทาง (Path loss) การบดบัง (Shadowing) และการหลายวิถี (Multipath)



รูปที่ 2.1 แสดงการสูญเสียตามระยะทาง การบดบัง และการหลายวิถี

#### 2.1.1 การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss)

การสูญเสียตามระยะทางนั้นเมื่อพิจารณาในกำลังเฉลี่ยของสัญญาณ  $P_0$  ที่มีระยะห่าง  $d$  จากเครื่องส่งซึ่งจะพบว่ากำลังเฉลี่ยนั้นจะลดลงเป็นฟังก์ชันของระยะ  $d$  นั้น และฟังก์ชันนี้จะแสดงโดยกฎของกำลังการสูญเสียตามระยะทาง (path-loss-power law) ตามสมการ

$$P_0 \approx d^{-\gamma} \tag{2.1}$$

เมื่อ  $\gamma$  เป็นตัวชี้กำลังของกฎของการสูญเสียตามระยะทาง ค่าของ  $\gamma$  จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการแพร่ผ่าน เมื่อสภาพแวดล้อมเป็นอวกาศ (free space)  $\gamma$  จะมีค่าเป็น 2 และในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพแวดล้อมของระบบเซลลูลาร์ในเมืองที่มีทั้งตึก และเกิดการถูกบดบังค่าของ  $\gamma$  มีค่าอยู่ในช่วง 3-6 โดยจะเห็นได้จากสมการว่าเมื่อระยะ  $d$  มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณลดลงไปตามกฎการสูญเสียตามระยะทาง จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (near-far effect) ขึ้นในระบบซีดีเอ็มซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่กำลังเฉลี่ยที่ถูกรับได้ที่สถานีฐานที่ถูกส่งจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐานจะมีค่าสูงกว่ากำลังเฉลี่ยที่ถูกรับได้จากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในระยะทางไกลกว่าซึ่งจะส่งผลให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณที่ใช้ช่องสัญญาณร่วมกันในระบบซีดีเอ็มเอ

### 2.1.2 การบดบัง (Shadowing)

เมื่อมีการแพร่ผ่านของสัญญาณผ่านบริเวณที่มีพื้นที่ใหญ่ๆ อาจได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศ เช่น เนิน ต้นไม้ ไร่ไม้ เป็นต้น ซึ่งอยู่ในช่วงจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจึงส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างช้าๆ จะเห็นได้ว่าทางภาครับจะถูกแสดงออกถึงการถูกบดบัง(Shadowing) จากสภาพภูมิประเทศดังกล่าว โดยการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลจะอธิบายถึงปรากฏการณ์บดบัง(Shadowing) แบบสุ่มซึ่งเกิดขึ้นเหนือตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการวัด โดยมีช่วงของภาครับ-ภาคส่งเดียวกัน แต่หลายเส้นทางของการแพร่ผ่าน เมื่อกำหนดให้  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ย  $m$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  จะนิยามตัวแปรสุ่ม  $R$  ที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล โดยมีความสัมพันธ์  $R = e^X$  หรือ  $X = \ln R$  เพราะฉะนั้นจะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ  $R$  ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่มีการแจกแจงเป็นล็อกนอร์มอล

$$p(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma r}} \exp\left(-\frac{(\ln r - m)^2}{2\sigma^2}\right), \quad r \geq 0 \quad (2.2)$$

จากความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล  $R = e^X$  เมื่อ  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ย  $m$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  โดย  $X = G(m, \sigma^2)$  เมื่อพิจารณาในการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนผ่านที่วัดได้จากภาครับในหน่วย dB ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน [H/B]  $L(\text{dB}) = L_0(\text{dB}) + \sigma_c(\text{dB}) \times G(0,1) = G(L_0, \sigma_c^2)(\text{dB})$  เมื่อ  $L_0(\text{dB})$  เป็นค่ามัธยฐาน (Median value) ของการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนผ่าน  $\sigma_c(\text{dB})$  เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถเขียนได้เป็น  $L(\text{dB}) = L_0(\text{dB}) + \sigma_c(\text{dB}) \times X$  เมื่อ  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยศูนย์และมีความแปรปรวนเป็นหนึ่งหน่วย เพราะฉะนั้นสามารถเขียนการสูญเสียที่เป็นตัวแปรสุ่ม  $L_a$  เป็น

$$L_a = 10^{L(\text{dB})/10} = 10^{[L_0(\text{dB}) + \sigma_c(\text{dB})X]/10} = L_{0a} * 10^{\sigma_c X/10} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= L_{0a} * V$$

เมื่อนิยามให้  $V$  เป็น  $10^{\sigma_c X/10}$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอลและให้  $L_{0a}$  มีค่าเป็น  $10^{L_0(dB)/10}$  โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ  $L_a$  นั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากหลายปัจจัยรวมถึงการบดบังด้วย จาก pdf ของตัวแปรสุ่ม  $X$  ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีค่าความแปรปรวนเป็น 1 เพราะฉะนั้นได้ตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล  $V$  เป็น

$$V = 10^{\sigma_c X/10} = e^{\beta \sigma_c X} \quad (2.4)$$

โดย  $\beta = (\ln 10)/10 = 0.2303$

เมื่อต้องการหาค่าโมเมนต์ของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล ที่แสดงถึงการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนผ่าน ( $L_{0a}$ ) ได้เป็น

$$L_a = L_{0a} V = L_{0a} e^{\beta \sigma_c X} = e^{\beta(L_0 + \sigma_c X)} \quad (2.5)$$

จะได้โมเมนต์อันดับ  $k$  ของ  $L_a$  เป็น  $E\{L_a^k\} = \exp\left(k\beta L_0 + \frac{1}{2}k^2\beta^2\sigma_c^2\right)$  เพราะฉะนั้น

$$E\{L_a\} = L_{0a} e^{\beta^2\sigma_c^2/2} \quad (2.6)$$

$$E\{L_a^2\} = L_{0a}^2 e^{2\beta^2\sigma_c^2} \quad (2.7)$$

$$\text{Var}\{L_a\} = E\{L_a^2\} - [E\{L_a\}]^2 = L_{0a}^2 e^{\beta^2\sigma_c^2} (e^{\beta^2\sigma_c^2} - 1) \quad (2.8)$$

เป็นโมเมนต์อันดับ 1 โมเมนต์อันดับ 2 และความแปรปรวนของ  $L_a$  ตามลำดับ

### 2.1.3 การหลายวิถี (Multipath)

ในการแพร่ผ่านของสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่เป็นสภาวะแวดล้อมที่มีวัตถุที่ทำให้เกิดการสะท้อน การหักเห และการกระเจิง ทำให้สัญญาณเกิดการหลายเส้นทาง และเมื่อมีการหลายเส้นทางดังกล่าวโดยอาจจะมีเฟสของสัญญาณที่ต่างกันซึ่งส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีการลดทอนโดยในการหลายเส้นทางดังกล่าวนี้ เมื่อในจำนวนของเส้นทางเหล่านี้เป็นเส้นทางที่เกิดจากการหลายวิถีทั้งสิ้น โดยไม่ได้มีเส้นทางที่เป็น Line-of-Sight จะได้ฟังก์ชันของการแจกแจงแบบเรย์ลี(Rayleigh) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้านจากผู้เกี่ยวข้องไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

distribution) ส่วนเมื่อในจำนวนของเส้นทางเหล่านี้มีเส้นทางที่เป็น Line-of-Sight จะแสดงได้ด้วยค่าฟังก์ชันความหนาแน่นที่มีการแจกแจงแบบไรเซียน (Rician distribution)

ในการลดทอนของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจะสามารถพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ large-scale fading และ small-scale fading เมื่อมีการลดทอนกำลังของสัญญาณเฉลี่ย หรือ Path Loss เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใหญ่ๆ จะเป็นในลักษณะที่รับผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศระหว่างภาคส่งและภาครับ แล้วจะส่งผลให้เกิด large-scale fading จะให้การลดทอนของกำลังเฉลี่ยที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง ดังนั้นในลักษณะนี้จะเป็นการอธิบายโดยการสูญเสียเฉลี่ยตามระยะทาง (mean-path-loss) และการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลการเปลี่ยนแปลงในแอมพลิจูด และเฟสของสัญญาณที่ได้รับจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงส่วนการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหลายวิถีที่มีการจางหายแบบเร็วขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเฟดดิ้งแบบ Small-scale fading

## 2.2 หลักการพื้นฐานของซีดีเอ็มเอ

หลักการเบื้องต้นของระบบซีดีเอ็มเอ (Code Division Multiple Access: CDMA) ในมาตรฐาน IS-95 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2-2.5 ซึ่งความแตกต่างระหว่างการสื่อสารยุคที่หนึ่งและสองคือรูปแบบของการสื่อสารข้อมูล โดยการใช้ระบบเซลลูลาร์ในยุคที่สองนั้น จะเป็นการสื่อสารด้วยระบบดิจิทัลซึ่งแตกต่างกับยุคที่หนึ่งที่เป็นการใช้ระบบอนาล็อก ตัวอย่างของระบบการสื่อสารในยุคที่หนึ่ง คือ ระบบ Advanced Mobile Telephone System (AMPS) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ส่วนระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่สองดังในมาตรฐาน IS-54 นั้นจะใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) ซึ่งเปลี่ยนรูปแบบการสื่อสารข้อมูลเสียงจากระบบอนาล็อกเดิมเป็นระบบดิจิทัล ซึ่งต่อมาได้มีการนำเสนามาตรฐาน IS-95 ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) โดยใช้เทคนิคการขยายสเปกตรัม (Spread Spectrum) ที่ทำให้ความจุของผู้ใช้ในหนึ่งเซลเพิ่มขึ้นและสามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้มากกว่าการสื่อสารในยุคที่ 1 และ 2 ซึ่งในหนังสือหรือเอกสารบางเล่ม [1] จะเรียกระบบซีดีเอ็มเอว่าเป็นระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 2.5

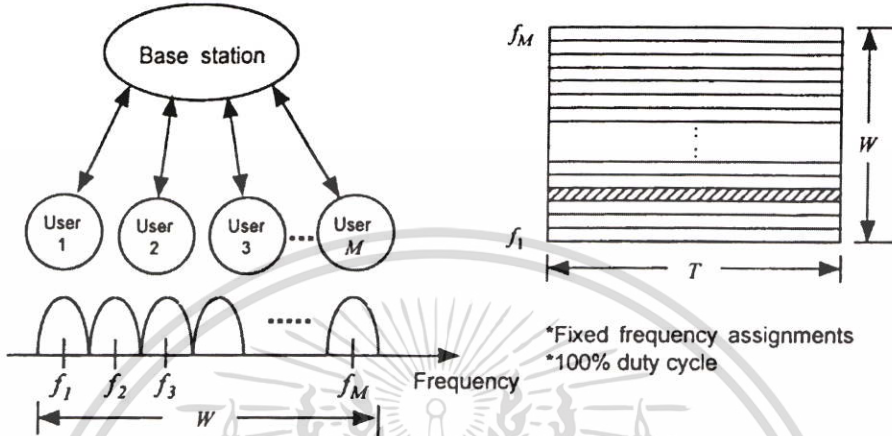
### 2.2.1 หลักการทั่วไปการเข้าถึงหลายทาง

ระบบการสื่อสารเซลลูลาร์ตามมาตรฐานของระบบ AMPS, IS-54 และ IS-95 จะมีวิธีการจัดสรรการเข้าถึงพื้นฐานที่แตกต่างกันสามชนิดคือ

#### 2.2.1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางความถี่ (FDMA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

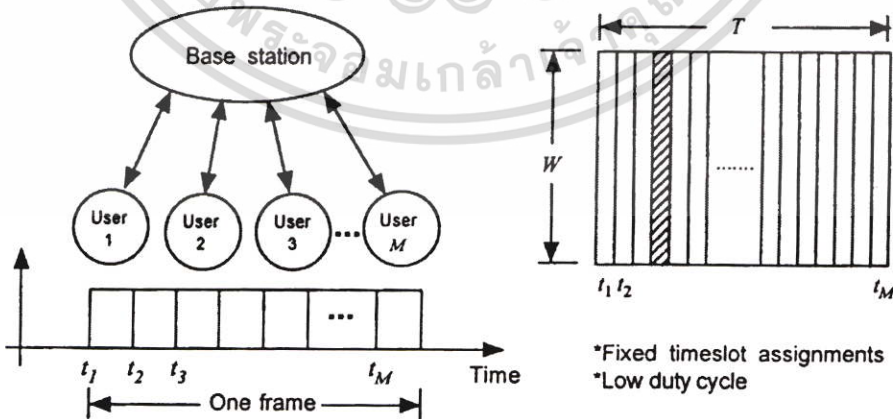
ผู้ใช้งานจะถูกกำหนดให้เข้าถึงในเวลาที่จัดสรรไว้ให้ ดังนั้นผู้ใช้งานแต่ละรายจะครอบครองช่วงความถี่ดังกล่าว ดังในรูป 2.2 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาหนึ่งๆ ผู้ใช้งานจะส่งสัญญาณเต็มในช่องสัญญาณของช่วงความถี่ดังกล่าว นั่นคือ 100 Duty Cycle



รูปที่ 2.2 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางความถี่

2.2.1.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางเวลา (TDMA)

ผู้ใช้งานจะถูกกำหนดให้สามารถใช้ช่องสัญญาณในช่วงความถี่หนึ่งๆที่กำหนดให้ โดยสามารถใช้ได้ตลอดเวลาใน timeslot ที่กำหนดให้นั่นเอง ดังรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาหนึ่งสัญญาณจะถูกส่งใน timeslot ด้วย duty cycle ที่ค่าต่ำๆ

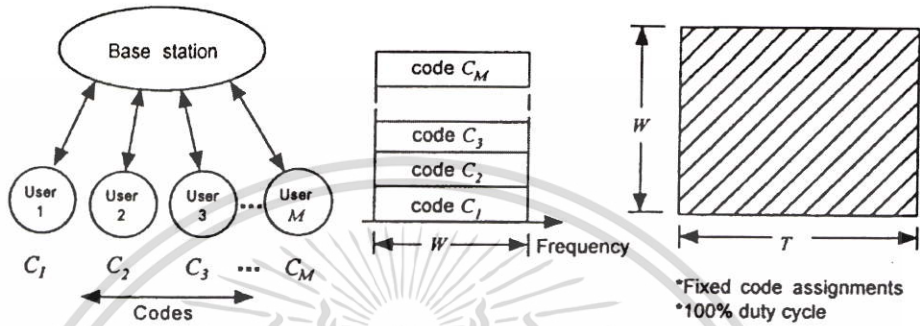


รูปที่ 2.3 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางเวลา

2.2.1.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส (CDMA)

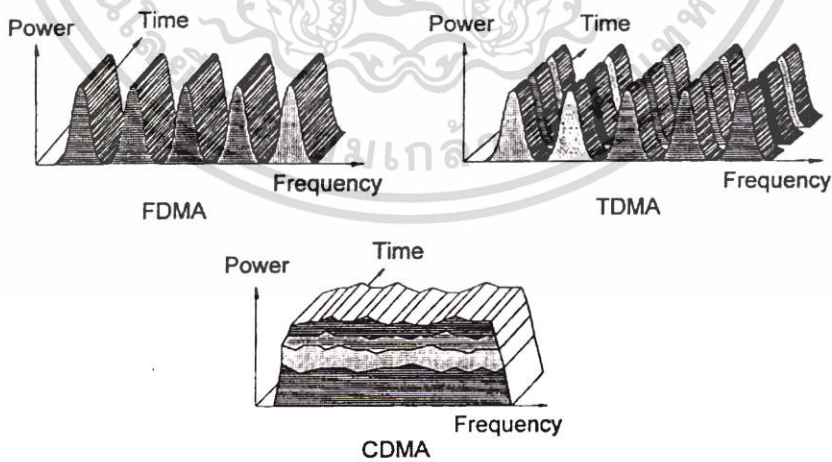
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้งานนั้นสามารถที่จะส่งสัญญาณได้อย่างต่อเนื่องและทั่วถึงทั้งในระนาบของเวลาและความถี่ ดังในรูป 2.4 จะเห็นได้ว่าในรูปแบบนี้ผู้ใช้งานจะไม่ถูกแบ่งทรัพยากรทางเวลา หรือความถี่ แต่สามารถใช้ร่วมกันได้ทั้งหมด โดยในรูปแบบการเข้าถึงหลายทางแบบนี้ผู้ใช้งานจะถูกกำหนดรหัสให้แต่ละผู้ใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.4 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส

โดยการเข้าถึงหลายทางเหล่านี้เป็นเทคนิคที่แข่งขันกันในจุดมุ่งหมายอยู่ที่การแจกแจงของพลังงานของสัญญาณต่อเทคนิคการเข้าถึงที่สามารถจะใช้ได้ภายในระนาบของทรัพยากรทางเวลา - ความถี่



รูปที่ 2.5 แสดงสเปกตรัมที่เปรียบเทียบกันของระบบ FDMA TDMA และ CDMA

2.2.2 เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส (CDMA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอเกี่ยวข้องกับกำลังสัญญาณของสัญญาณวิทยุที่มีความถี่มากกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูล โดยเมื่อก่อนนั้นได้รับความสนใจเฉพาะในวงการทหาร เทคนิคการกระจายสเปกตรัมนั้นได้มีการปรับเพื่อให้เข้ากับทางการพาณิชย์ในเวลาต่อมาเพราะในเทคนิคดังกล่าวนี้มีข้อดีหลายประการ

วิธีการของการกระจายสเปกตรัมของสัญญาณ เป็นกระบวนการที่ได้ผลประโยชน์จากการแจมมิงที่ถูกหักล้างออกไป โดยพิจารณาได้จากตัวแปรซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

$S$  = กำลังของสัญญาณที่รับได้สำหรับสัญญาณที่ต้องการในแบนด์วิดท์  $W$

$J$  = กำลังของสัญญาณที่รับได้สำหรับสัญญาณที่ไม่ต้องการในแบนด์วิดท์  $W$  (เป็นสัญญาณการแจมมิง ผู้ใช้งานรายอื่น หรือ การหลายเส้นทาง เป็นต้น)

$R$  =  $1/T_b$  = อัตราข้อมูล

$W$  = แบนด์วิดท์ที่กระจาย

$E_b$  = พลังงานต่อบิตสำหรับสัญญาณที่ต้องการ

$N_0$  = ความหนาแน่นกำลังของสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนสมมูล

ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณที่ต้องการสมมูล  $J/S$  เป็น

$$\frac{J}{S} = \frac{N_0 W}{E_b / T_b} = \frac{W T_b}{E_b / N_0} = \frac{W / R}{E_b / N_0} \quad (2.9)$$

เมื่อให้  $E_b / N_0$  เป็นค่าที่ต้องการเพื่อให้สมรรถนะของระบบยังคงสามารถยอมรับได้อยู่ ดังนั้น  $J/S$  จึงแสดงเป็น jamming margin

$$\frac{J}{S} = \frac{W / R}{(E_b / N_0)_{req}} \quad (2.10)$$

หรือ

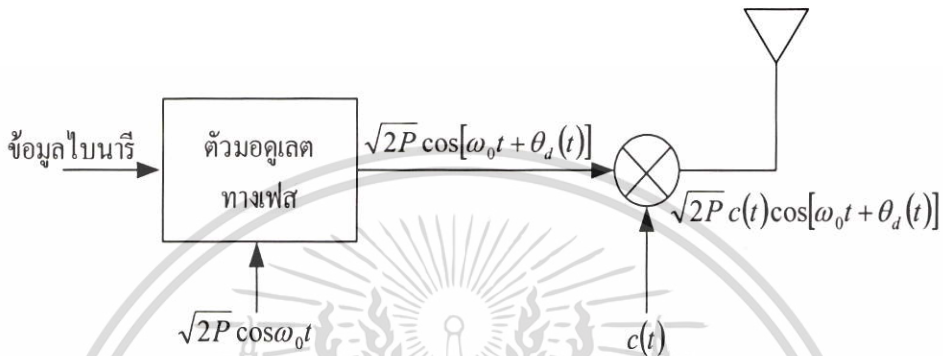
$$M \text{ argin}(dB) = \frac{W}{R} (dB) - \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{req} (dB) \quad (2.11)$$

ปริมาณของ  $W/R$  จะถูกเรียกว่าอัตราขยายการประมวลผลของการกระจายสเปกตรัม จะเห็นได้ว่าในกรณีของระบบที่ไม่มีการกระจายแบนด์วิดท์ ( $W = R$ ) นั้นค่าของ  $E_b / N_0$  จะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ( $SNR$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการของการกระจายสเปกตรัมนั้นเป็นการนำเอาสัญญาณข้อมูลที่มีอัตราบิตข้อมูล  $R_b$  ไปทำการคูณด้วยขบวนชิปที่มีอัตราเร็ว  $R_c$  โดย  $R_c$  ได้สัญญาณที่มีการกระจายสเปกตรัมที่มีอัตรา

$$R = R_b * R_c \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.6 แสดงภาคส่งของระบบโคเรลซีเคว้นซีดีเอ็มเอที่มีการมอดูเลตแบบ BPSK

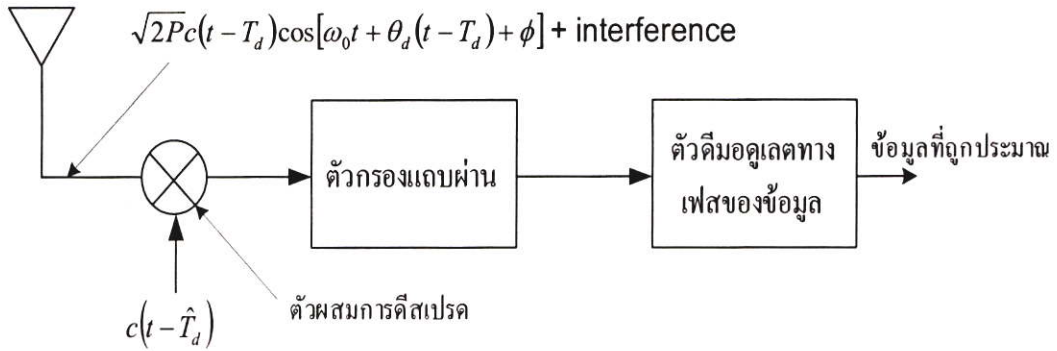
ในกระบวนการทางภาคส่งของสัญญาณที่มีรูปแบบการมอดูเลตทางเฟสเชิงเลขฐานสอง (Binary Phase-Shift Keying) ในรูปที่ (2.6) แสดงสัญญาณที่ถูกมอดูเลตดังสมการ

$$s_d(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2.13)$$

เมื่อสัญญาณที่ถูกมอดูเลตนั้นผ่านการกระจายสเปกตรัม (Spreading) โดยขบวนชิป  $c(t)$  ทำให้สัญญาณที่ถูกส่งออกไปในระบบโคเรลซีเคว้นซีดีเอ็มเอแสดงได้ดังสมการ

$$s_r(t) = \sqrt{2P} c(t) \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2.14)$$

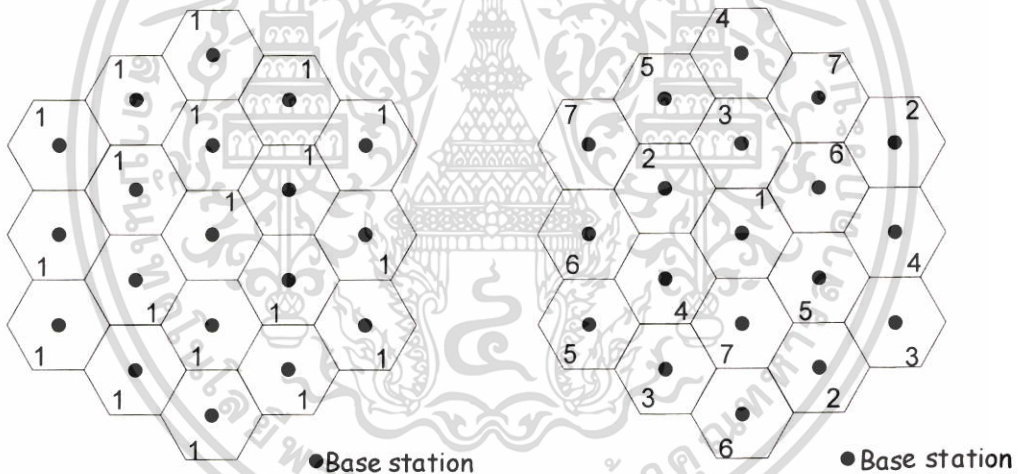
เมื่อทางภาครับของระบบที่แสดงได้ดังรูปที่ (2.7) จากรูปทางภาครับนั้นการตีมอดูเลตจะเป็นการบวนการเหมือนการกระจายสเปกตรัมอีกครั้ง (Despreading) จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่รับได้จะประกอบด้วยสัญญาณที่ถูกส่งที่มีการหน่วงของเวลาบวกกับสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน ดังนั้นจะได้สัญญาณทางออกที่ส่วนของตัวผสมการดีสเปรด (despreading mixer) เป็น



รูปที่ 2.7 แสดงภาครับของระบบโคเรชันซีควันซ์ซีดีเอ็มเอที่มีการมอดูเลตแบบ BPSK

เมื่อ  $\hat{T}_d$  เป็นการประมาณค่าการหน่วงเวลาที่เหมาะสม

### 2.3 ระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ



รูปที่ 2.8 แสดงแพทเทิร์นของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ของระบบ FDMA และระบบ CDMA

ในการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางความถี่นั้นจะมีค่าตัวแปรที่แสดงถึงการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 7 (Frequency Reuse = 7) แต่เนื่องจากในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัสนั้น ในเซลล์ที่อยู่ติดกันสามารถที่จะใช้ความถี่เดียวกันได้ ดังนั้นการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 1 ซึ่งจะแสดงได้ดังในรูป. (2.8) ในการพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานที่ระบบสามารถที่จะรองรับได้นั้น จะมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อจำนวนความจุของระบบ เช่น ปริมาณการแทรกสอดในระหว่างผู้ใช้งานด้วยตนเอง ความถูกต้องของการควบคุมกำลังของเครื่องลูกข่ายอื่นเนื่องจากปัญหาความไกล-ไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (Forward Link)

#### 2.3.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-cell Interference)

ทางอุดมคติแล้วจะไม่มีสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปเนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นออกโหนดกันและกัน ทุกๆช่องสัญญาณรวมทั้งช่องสัญญาณนำร่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้น จะสามารถแยกแยะออกจากกันได้โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยขบวนชิปที่พอเหมาะแล้วทำการรวมหรืออินทิเกรตชิปในช่วง 64 ชิปของวอลซ์ฟังก์ชัน (Walsh Function) ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือ สัญญาณขบวนข้อมูลเบสแบนด์ของช่องสัญญาณที่ต้องการโดยปราศจากสัญญาณแทรกสอดใดๆ จากการสื่อสารในทิศทาง การสื่อสารเชื่อมโยงขาไป แต่อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายคลื่นในโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำให้เกิดการแทรกสอดในทิศทาง การสื่อสารเชื่อมโยงขาไปเนื่องจากการเกิดการหลายวิถี (Multipath) นั้นเอง

สมมติว่า  $I_{0,f}$  คือความหนาแน่นกำลังสัญญาณทั้งหมดที่รับได้ที่เครื่องรับจากสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่ ซึ่งสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากหลายวิถี (Multipath) ซึ่งกำลังของสัญญาณในเส้นทางที่  $k$  กำหนดให้เป็น  $\beta_k$  เมื่อ  $0 \leq \beta_k \leq 1$  ซึ่งสัดส่วนของสัญญาณ  $I_{0,f}$  อันเนื่องมาจากเส้นทางที่  $k$  คือ

$$I_{0,f} = \text{ความหนาแน่นสเปกตรัมของเส้นทางที่ } k = \beta_k I_{0,f} \quad (2.15)$$

และถ้าในการแพร่กระจายประกอบด้วยสัญญาณจำนวน  $k$  เส้นทาง จะได้ว่า

$$I_{0,f} = \sum_{k=1}^k I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k=1}^k \beta_k \quad (2.16)$$

$$\text{หรือ } \sum_{k=1}^k \beta_k = 1$$

หากสมมติว่าที่เครื่องรับมีวงจรรับสัญญาณจำนวน  $k$  วงจร โดยแต่ละวงจรตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณแต่ละเส้นทางใน  $k$  เส้นทาง ให้  $E_{bj}$  เป็นพลังงานบิตข้อมูลทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐานแล้วพลังงานบิตข้อมูลอินพุตของวงจรรับสัญญาณอันดับที่  $j$  จะมีค่าเป็น

$$E_{bj} \triangleq \text{พลังงานบิตข้อมูลจากเส้นทางที่ } j = \beta_k E_{bo} \quad (2.17)$$

กำหนดให้  $I_{scj}$  เป็นความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดจากภายในเซลล์ต่อเส้นทางอันดับ  $j$  ซึ่งหาได้จาก

$$I_{scj} = \sum_{k \neq j} I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k \neq j} \beta_k = I_{0,f} (1 - \beta_j) \quad (2.18)$$

ซึ่งจะได้อัตราส่วนความสัมพันธ์ของพลังงานบิตข้อมูลข่าวสารต่อสัญญาณรบกวน (ที่รวมทั้งสัญญาณแทรกสอดด้วย) ของวงจรมอดูเลเตอร์ที่ตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณจากเส้นทาง  $j$  เป็น

$$\frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \frac{E_{b0} \beta_j}{N_0 + I_{0,\infty} + I_{0,f} (1 - \beta_j)} \quad (2.19)$$

เมื่อ  $N_0$  คือ กำลังสเปกตรัมของเทอร์มอลนอยซ์

$I_{0,\infty}$  คือ กำลังสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

$I_{0,f}$  คือ กำลังสเปกตรัมรวมของสัญญาณที่รับได้จากเซลล์ภายใน

$(N_{0,T})_j$  คือ ความหนาแน่นรวมสัญญาณรบกวนซึ่งรวมทั้งสัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงเข้าไปหากที่เครื่องลูกข่ายใช้การรวมสัญญาณแบบ maximum ratio combining จากเส้นทางทั้ง  $k$  เส้นทางแล้ว จะได้ว่า

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} = \sum_{k=1}^k \frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \sum_{k=1}^k \frac{E_{b0} \beta_j}{N_0 + I_{0,\infty} + I_{0,f} (1 - \beta_j)} \quad (2.20)$$

สำหรับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานแล้ว สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนชนิดอื่นๆ ซึ่งจะสามารถตัดสัญญาณรบกวนอื่นๆ ที่ทิ้งไปได้สมการ (2.20) จึงสามารถประมาณได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} \approx \sum_{k=1}^k \frac{E_{b0} \beta_j}{I_{0,f} (1 - \beta)} = \frac{E_{b0}}{I_{0,f}} \sum_{k=1}^k \frac{\beta_j}{1 - \beta_j} = \frac{E_{b0}}{I_{0,sc}} \quad (2.21)$$

เมื่อ  $I_{0,\infty}$  คือส่วนที่เป็นสัญญาณแทรกสอดของความหนาแน่นสัญญาณรวมที่รับได้ภายในเซลล์ ( $I_{0,f}$ ) ดังนั้นความหนาแน่นกำลังสเปกตรัมที่มีผลกระทบต่อเครื่องรับของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์จะมีนิยามเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{0,sc} = \frac{I_{0,f}}{\sum_{j=1}^i \frac{\beta_j}{1-\beta_j}} \quad (2.22)$$

### 2.3.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-cell Interference)

ในระบบซีดีเอ็มเอ นั้น สัญญาณที่รับได้จากเซลล์อื่นๆ จะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องลูกข่าย ซึ่งกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าเป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal) นั่นคือกำลังของสัญญาณแทรกสอดจะเป็นตัวแปรสุ่มชนิดเกาส์เซียน (Gaussian)

กำลังของสัญญาณแทรกสอด(dBm) = ค่าเฉลี่ย(dBm) + ค่าศูนย์ - เฉลี่ยตัวแปรสุ่มชนิดเกาส์เซียน

ค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณแทรกสอดจะสามารถคาดเดาได้โดยการใช้โมเดลของการลดทอนในการแพร่กระจายคลื่น ตัวอย่างเช่น การลดทอนสัญญาณในการแพร่กระจายจะเป็นสัดส่วนกับกำลังอันดับที่  $\gamma$  ของระยะทางเป็นต้น ซึ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้ว สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นในทิศทางการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปจะสามารถหาค่าได้ในรูปของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังของสัญญาณแทรกสอด (dB)} &= 10 \log_{10} I_i \\ &= 10 \log_{10} \bar{I}_i + \sigma_{dB} W_i \end{aligned}$$

เมื่อ  $W_i$  ตัวแปรสุ่มเกาส์เซียน

หรือ

$$I_i = \bar{I}_i \times 10^{\sigma_{dB} W_i / 10} = Const X \frac{1}{r_i^\gamma} \times 10^{\sigma_{dB} W_i / 10} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $\bar{I}_i$  = ค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐาน  $i$

$r_i$  = ระยะทางจากเครื่องลูกข่ายถึงสถานีฐาน  $i$

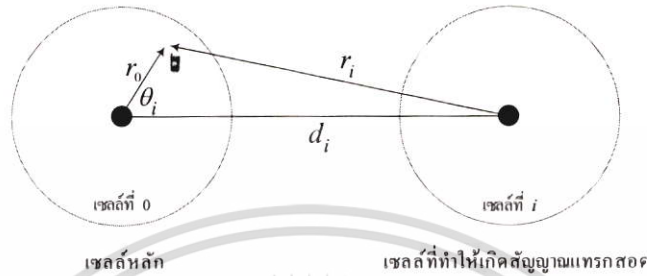
$\gamma$  = กฎของกำลังการลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่น

$W_i$  = ค่าศูนย์-เฉลี่ย หน่วยความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มเกาส์เซียน

$\sigma_{dB}$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแปรปรวนข้อมูลในช่วง 6 ถึง 13 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมากที่สุดสำหรับวิเคราะห์สัญญาณรบกวนจากเซลล์ข้างเคียง คือ ค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอด  $\bar{I}_i$  ในสมการที่ 2.17 และตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย หรือ พารามิเตอร์  $r_i$  เพราะตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายจะเป็นตัวกำหนดปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น

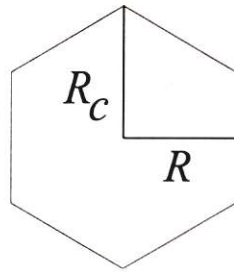


รูปที่ 2.9 แสดงระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

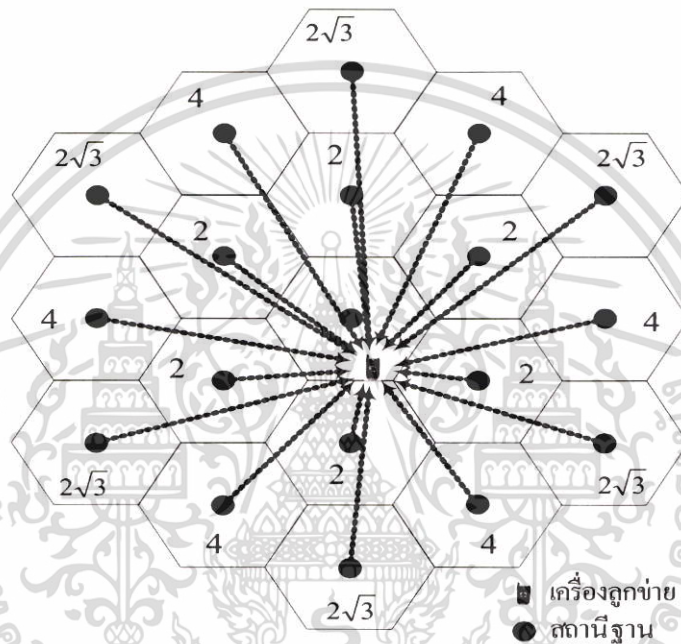
หากสมมติว่ามีเซลล์สมมาตรดังแสดงในรูปที่ 2.9 เพื่อใช้ในการหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง  $(r, \theta_i)$  ในเซลล์หลักซึ่งจากรูปที่ 2.9 จะสามารถหาระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์  $i$  ได้เป็น

$$r_i(r, d_i, \theta_i) = \sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \theta_i} \quad (2.24)$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างเซลล์หลักกับเซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด ซึ่งรูปที่ 2.9 จะเป็นรูปแสดงการวางเซลล์อย่างง่าย และรูปที่ 2.10 จะแสดงการหาระยะทางทั้งในเทอมของรัศมีเซลล์จากมุม-ถึง-มุม ( $R_c$ ) หรือรัศมีเซลล์จากศูนย์กลางถึงด้าน  $R$  โดย  $R = \sqrt{3}R_c / 2$  เพื่อความสะดวกในการหาระยะห่างระหว่างเซลล์ แต่ทว่าในระบบเซลล์ลูลาร์นั้นจะมีการวางเซลล์แบบรวงผึ้งที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยจะมีเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในลักษณะ "วงแหวน" รอบเซลล์หลัก ซึ่งระยะห่างระหว่างเซลล์หลักกับวงแหวนเหล่านี้จะแสดงในตารางที่ 2.1 และเมื่อนำค่าระยะห่างเซลล์ที่ได้จากตารางที่ 2.1 มาวาดเป็นระบบเซลล์ลูลาร์แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ที่แสดงให้เห็นถึงการเกิดสัญญาณแทรกสอดที่เครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง  $(r, \theta_i)$



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะและรัศมีเซลล์ในระบบเซลล์ูลาร์



รูปที่ 2.11 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (Forward Link) ในระบบเซลล์ูลาร์ซีดีเอ็มเอ

วงที่	ตำแหน่งที่	ระยะห่าง	จำนวน	วงที่	วงที่	ระยะห่าง	จำนวน
1	1	$2R = R_c \sqrt{3}$	6	4	1	$2R\sqrt{13} = R_c \sqrt{39}$	6
2	1	$2R\sqrt{3} = 3R_c$	6		2	$4R\sqrt{3} = 6R_c$	6
	2	$4R = 2R_c \sqrt{3}$	6		3	$2R\sqrt{13} = R_c \sqrt{39}$	6
3	1	$2R\sqrt{7} = R_c \sqrt{21}$	6	4	$8R = 4R_c \sqrt{3}$	6	
	2	$2R\sqrt{7} = R_c \sqrt{21}$	6	:	:	:	
	3	$6R = 3R_c \sqrt{3}$	6	n	I	$2R\sqrt{n^2 + i^2 - ni}$	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากสมมติว่าการแพร่กระจายคลื่นเป็นสัดส่วนกับกำลัง  $\gamma$  นั่นคือ

$$\text{การลดทอนจากการแพร่กระจาย, } L(r_i) = \frac{\text{กำลังสัญญาณแทรกสอดที่รับได้}}{\text{กำลังส่ง}} = \frac{I_i}{P_i} = \text{const.} \times r_i^{-\gamma}$$

เมื่อ  $P_i$  คือ กำลังส่งของสถานีฐาน

$i$  และ  $r_i$  คือ ระยะห่างของสถานีฐาน  $i$  ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.21) แล้วจะได้ค่ากลางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมดในรูปของผลรวมของค่ากลางจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมดนั่นคือ

$$I_\alpha = \sum_i I_i = \sum_i P_i \times L(r_i) = P_i \sum_i L(r_i) = \text{Const} \times P_i \sum_i [r_i(r, d_i, \theta_i)]^{-\gamma} \quad (2.25)$$

### 2.3.2 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link Interference)

#### 2.3.2.1 การแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference)

ในการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้ จะประกอบด้วยการรวมของสัญญาณจากผู้ให้บริการรายอื่นๆ ที่ภาครับในสถานีฐานเดียวกัน สำหรับระบบซีดีเอ็มเอเมื่อสัญญาณดังกล่าวเหล่านี้มีการใช้ความถี่เดียวกันในเวลาเดียวกัน ดังนั้นการแทรกสอดทั้งหมดจึงเป็นแบบจำลองที่เป็นจุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์เป็นสัญญาณรบกวนขาวที่มีแถบจำกัด โดยเกือบทั้งหมดของสัญญาณรบกวนที่ภาครับของสถานีฐานจะเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแทรกสอดของสัญญาณจากเครื่องลูกข่าย จำนวนของผู้ใช้บริการที่เข้ามาใช้งานขณะใดขณะหนึ่งในการส่งของการเรียก จะถูกทำให้มีจำนวนสูงสุดได้โดยการทำให้กำลังที่รับได้ของแต่ละผู้ใช้ที่สถานีฐานนั้นมีค่าเท่ากัน และให้มีค่าต่ำเท่าที่เป็นไปได้ในขณะที่ยังสอดคล้องกับสมรรถนะของการเชื่อมโยง การควบคุมแบบไดนามิกของกำลังที่ส่งของเครื่องลูกข่ายจึงเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการออกแบบส่วนการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ เพราะเมื่อมีการใช้ของการควบคุมกำลังสำหรับ  $M$  ของผู้ใช้งานในเซลล์ แล้วปริมาณของกำลังของการแทรกสอดที่ภาครับของสถานีฐานเนื่องจากเซลล์เดียวกันจะถูกสมมติโดย

$$I_{sc} = (M - 1)S\alpha_r \quad (2.26)$$

เมื่อ  $S$  เป็นกำลังของแต่ละเครื่องลูกข่ายที่ภาครับ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\alpha_r$  เป็นค่าเฉลี่ยของแฟคเตอร์ของ voice activity ของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

### 2.3.2.2 การแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)

ในรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในการสื่อสารการเชื่อมโยงขากลับโดยสมมติว่าแต่ละเซลล์มีขนาดเท่ากัน และมีการใช้เทคนิคในการควบคุมกำลังส่ง ซึ่งกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ต่างเซลล์ (เซลล์ B) จะมีค่าเป็น

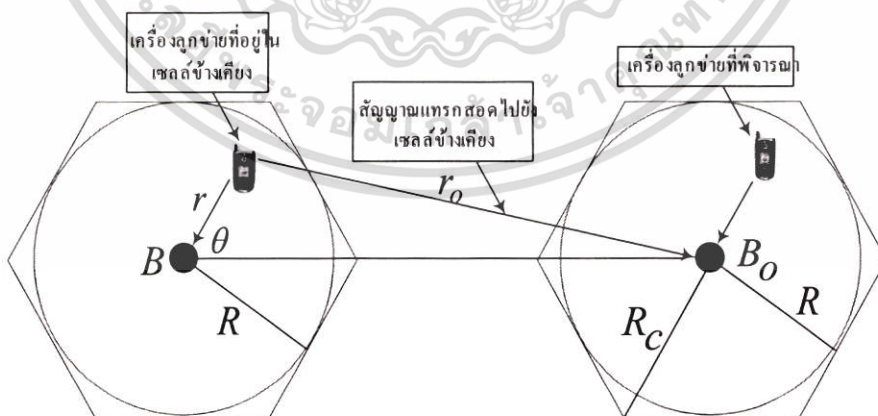
ระดับกำลังที่ต้องการที่สถานีฐาน B \* อัตราขยายที่การชดเชยของการแพร่ผ่าน =  $S * r^4$

เมื่อ  $r$  คือระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในสถานีฐาน B

ดังนั้นกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายนี้ที่ไปรบกวนสถานีฐาน  $B_0$  จะมีค่าเป็น

$$P_0 = \alpha_r S \left( \frac{r^4}{r_0^4} \right) \quad (2.27)$$

ปริมาณของสัญญาณแทรกสอดจะขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องลูกข่ายที่ใช้งานภายในเซลล์ B โดยจะมีค่าเป็นค่าผลรวมของกำลังสัญญาณแทรกสอดของเครื่องลูกข่ายจำนวน  $M$  เครื่อง



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในการสื่อสารการเชื่อมโยงขากลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ความจุของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

ในการสื่อสารระบบซีดีเอ็มเอนั้นการควบคุมกำลังส่งมีความจำเป็นต่อระบบมาก เนื่องจากผู้ใช้บริการทั้งหมดนั้นใช้ความถี่ทั้งหมดร่วมกันโดยผ่านทางรหัส PN ดังนั้นผู้ใช้แต่ละรายจึงดูเหมือนเป็นสัญญาณรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่น ดังนั้นกำลังของผู้ใช้แต่ละรายจะต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้มีผู้ใช้บริการรายใดรายหนึ่งเป็นสัญญาณที่ไปรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่นๆที่ใช้ความถี่ร่วมกันอยู่

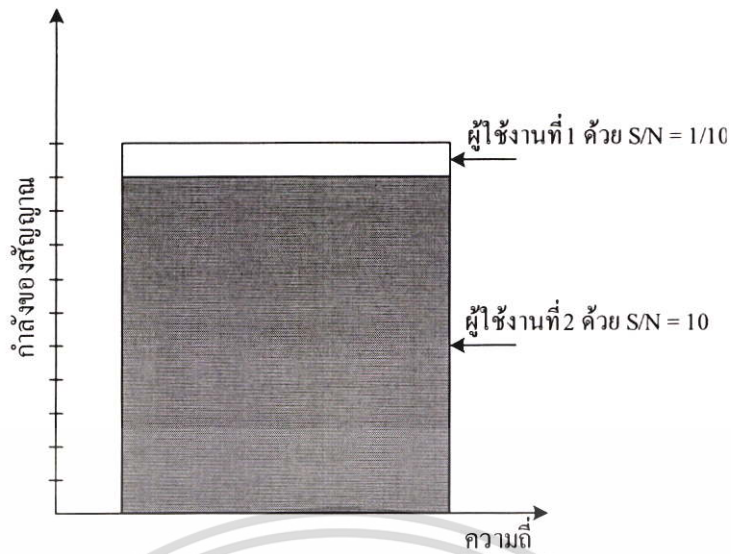
ในการแสดงถึงว่าการควบคุมกำลังส่งนั้นมีความจำเป็นต่อระบบซีดีเอ็มเออย่างไร เราจะทำการพิจารณาในเซลล์เดียวที่มีการสมมติให้มีผู้ใช้บริการอยู่สองราย โดยจะมีการอธิบายในการเชื่อมโยงขาขึ้นซึ่งเป็นส่วนการเชื่อมโยงที่เป็นตัวจำกัดของระบบซีดีเอ็มเอ ผู้ใช้บริการที่สองเป็นผู้ใช้บริการที่อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่งถ้าในกรณีที่ไม่มี การควบคุมกำลังส่งผู้ใช้บริการทั้งคู่จะมีกำลังส่งที่มีค่าแน่นอนซึ่งเท่ากับ  $p$  อย่างไรก็ตามเพราะว่าความแตกต่างของระยะทางจะส่งผลให้กำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่สองจะมีค่ามากกว่ากำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ถ้าเราสมมติให้ความแตกต่างของระยะทางของผู้ใช้บริการที่สองมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่งเป็นสิบเท่า ดังนั้นผู้ใช้บริการที่หนึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

ถ้าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ  $(S/N)_{required}$  มีค่าเท่ากับ  $1/10$  ดังนั้นเราสามารถจะเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของทั้งสองผู้ใช้บริการ จากรูป 2.13 แสดงให้เห็นในจุดนี้ ถ้าเราไม่ได้คิดสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) ดังนั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่สอง  $(S/N)_2$  จะมีค่าเท่ากับ 10 และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่หนึ่ง  $(S/N)_1$  จะมีค่าเท่ากับ  $(1/10)$  นั่นคือผู้ใช้บริการที่สองจะมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าก็จะส่งผลให้คุณภาพสัญญาณดีกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ซึ่งความไม่เท่ากันนี้จะถูกเรียกว่า ปัญหาความใกล้-ไกล (near-far problem) ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางรหัส

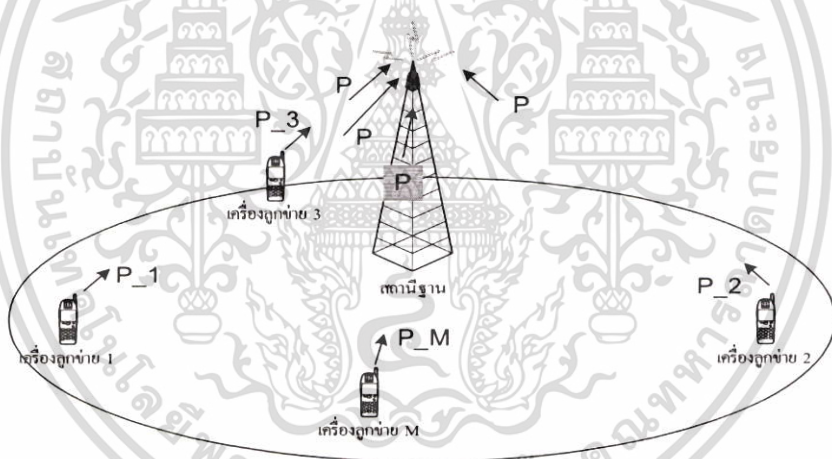
ระบบในจุดดังกล่าวนี้จะเป็นการกล่าวถึงขอบเขตของความจุ เพราะเนื่องจากเหตุผลที่ว่าเราพยายามที่จะเพิ่มผู้ใช้บริการที่สามเข้าไปซึ่งส่งด้วยกำลัง  $p_3$  ณ ตำแหน่งใดๆ ในเซลล์ ดังนั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่สามไม่สามารถจะถึง  $(S/N)_{required}$  ได้ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราให้ผู้ใช้งานสามเข้าไปใช้งาน ไม่เพียงแต่ที่ผู้ใช้ที่สามใช้งานไม่ได้เพราะว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนไม่ถึง  $(S/N)_{required}$  แต่จะส่งผลถึงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ที่สองให้ลดลงต่ำกว่า  $(S/N)_{required}$  อีกด้วย

การควบคุมกำลังนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาความใกล้-ไกลและเพื่อให้ได้ความจุที่สูงที่สุด การควบคุมกำลังจะกระทำโดยให้กำลังที่ถูกส่งมาจากแต่ละผู้ใช้จะถูกควบคุมให้มีการรับได้ของกำลังดังกล่าวที่สถานีฐานมีค่าเท่ากัน ดังในรูปที่ 2.14 แสดงแนวความคิดดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



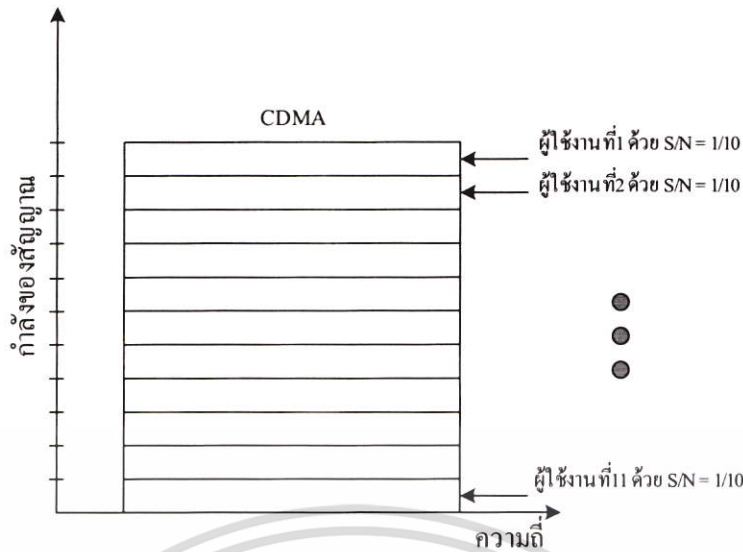
รูปที่ 2.13 แสดงกำลังจากผู้ให้บริการสองรายในสถานีฐาน โดยผู้ให้บริการที่สองมีค่า SNR มากกว่าผู้ให้บริการที่หนึ่ง



รูปที่ 2.14 แสดงการควบคุมกำลังส่งที่สมบูรณ์

ภายในเซลล์ถ้ากำลังที่ส่งของแต่ละผู้ให้บริการถูกควบคุม จะทำให้กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานของแต่ละผู้ใช้นั้นมีค่าเท่ากันคือ  $p_r$  ดังนั้นจะทำให้สามารถรองรับผู้ให้บริการได้มากขึ้น จากตัวอย่างที่ผ่านมามาถ้า  $(S/N)_{required}$  ยังคงเป็น  $(1/10)$  ดังนั้นจำนวนของผู้ให้บริการทั้งหมดจะเท่ากับ 11 ที่สามารถรองรับได้โดยระบบซีดีเอ็มเอ แล้วความจุจะถูกเพิ่มได้มากที่สุดจากการใช้การควบคุมกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงความจุที่ได้สูงสุดเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ใช้บริการทั้งหมดมีค่าเท่ากันที่สถานีฐาน

#### 2.4.1 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Open Loop Power Control)

ในรูปแบบของการควบคุมกำลังแบบนี้ ตัวเครื่องลูกข่ายจะเป็นตัวจัดการกระบวนการเองทั้งสิ้นไม่ได้เกี่ยวข้องกับสถานีฐานเลย กระบวนการของการควบคุมแบบเปิดจะเป็นกระบวนการที่กระทำอย่างต่อเนื่องหลังจากที่ทางสถานีฐานนั้นรับรู้การร้องขอเข้าใช้งานช่องสัญญาณของเครื่องลูกข่าย และหลังจากที่เครื่องลูกข่ายเริ่มส่งในช่องสัญญาณทราฟฟิก

หลังจากที่มีการเรียกเข้า เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ไปรอบๆ ภายในเซลล์ แล้วการสูญเสียเชิงระยะทางระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จากผลดังกล่าว กำลังที่ถูกรับได้ที่เครื่องลูกข่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดจะทำการตรวจสอบสัญญาณกำลังที่ถูกรับที่เครื่องลูกข่ายอย่างต่อเนื่อง และจะมีการปรับกำลังของสัญญาณที่ถูกลงออกไป

กล่าวได้ว่าการควบคุมกำลังแบบเปิดจะอยู่บนพื้นฐานของการประมาณการสูญเสียเชิงระยะทางในทิศทางไปยังสถานีฐาน การควบคุมกำลังนี้เป็นการชดเชยในส่วนของปรากฏการถูกบดบังแบบลึกลับนอร์มอล และการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ โดยเป็นการสลับสัมพันธ์ระหว่างการจางหายในส่วนของเชื่อมโยงไปข้างหน้ากับส่วนของเชื่อมโยงย้อนกลับ อย่างไรก็ตามความถี่ของการเชื่อมโยงขาไปและขากลับนั้นก็ใช้ความถี่ที่ต่างกัน การควบคุมกำลังแบบเปิดจึงไม่เพียงพอและมีความซ้ำเกินไปที่จะสามารถชดเชยการจางหายเร็วแบบเรยลีสได้ หรือในอีกแง่หนึ่งเมื่อมีการจางหายเร็วแบบเรยลีส จะไม่สามารถใช้การควบคุมกำลังแบบเปิดมาชดเชยการจางหายเร็วแบบเรยลีสได้

เนื่องจากในการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดนั้นได้ทำการวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ นั้น

คือเป็นการหาค่าของการสูญเสียในการเชื่อมโยงขาไป แล้วมีการสมมติให้มีค่าการสูญเสียดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในกรณีใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นที่ทิศทางการเชื่อมโยงขากลับที่คล้ายๆ กันจึงได้ยกตัวอย่างของสมการแสดง Link budget ของการเชื่อมโยงขากลับ

$$SNR_r(dB) = P_m(dBm) - L_r(dB) - I_r(dBm) \quad (2.28)$$

เมื่อ  $SNR_r$  เป็นค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่รับได้

$P_m$  เป็นกำลังของเครื่องลูกข่ายที่ส่งมา

$L_r$  เป็นการสูญเสียในทิศทางกลับสุทธิ

$I_r$  เป็นการแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของทิศทางขากลับทั้งหมด

ดังนั้นกำลังของเครื่องลูกข่ายที่จะถูกส่งจึงสามารถหาได้โดย

$$P_m(dBm) = SNR_r(dB) + L_r(dB) + I_r(dBm) \quad (2.29)$$

โดย  $L_r$  จะคิดรวมถึงค่าของการสูญเสียเชิงระยะทางและการสูญเสียอื่นที่ถูกชดเชยจากอัตราขยายของสายอากาศ สำหรับการเชื่อมโยงขาไปแล้ว กำลังที่รับได้ที่สถานีสถานนั้นสามารถแสดงได้เป็น

$$P_r(dBm) = P_b(dBm) - L_f(dB) \quad (2.30)$$

เมื่อ  $P_r$  คือกำลังที่ถูกรับได้

$P_b$  คือกำลังถูกส่งจากสถานีสถาน

$L_f$  เป็นการสูญเสียในทิศทางไปข้างหน้าสุทธิ

ดังนั้นเราสามารถหาค่าของการสูญเสียสุทธิในทิศทางไปข้างหน้า

$$L_f(dB) = P_b(dBm) - P_r(dBm) \quad (2.31)$$

จากสมการดังกล่าวเราไม่ได้คำนึงถึงความเป็นจริงที่ว่าการวัดค่ากำลังของสถานีสถานที่รับได้ของเครื่องลูกข่ายนั้นถูกทำให้ลดลงได้โดยการแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในทิศทางไปข้างหน้า สุดท้ายเราจะได้ค่าของกำลังของเครื่องลูกข่ายที่ส่งออกไปเป็น

$$\begin{aligned} P_m(dBm) &= SNR_{target}(dB) + P_b(dB) + I_r(dBm) - P_r(dBm) \\ &= C(dB) - P_r(dBm) \end{aligned} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $C$  เป็นค่าคงที่

$$\text{โดย } C(\text{dB}) = \text{SNR}_{\text{target}}(\text{dB}) + P_B(\text{dB}) + I_r(\text{dBm})$$

#### 2.4.2 การควบคุมกำลังแบบลูปปิด (Close Loop Power Control)

การควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นถูกใช้สำหรับการชดเชยสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกำลัง เนื่องจากการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีแบบรวดเร็ว โดยเป็นลูปปิดเพราะว่ากระบวนการจะเกี่ยวข้องกับทั้ง สถานีฐานและเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับช่องสัญญาณทราฟฟิกและเริ่มการสื่อสารกับ สถานีฐาน กระบวนการของการควบคุมกำลังแบบปิดจะกระทำร่วมกันไปด้วยการควบคุมกำลัง แบบลูปเปิด ในการควบคุมกำลังแบบลูปปิด ทางสถานีฐานจะทำการตรวจวัดทั้งสัญญาณของทาง การสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link) และคุณภาพของการเชื่อมโยง ถ้าคุณภาพการเชื่อมโยง เริ่มที่จะไม่ดี ทางสถานีฐานจะมีคำสั่งไปยังเครื่องลูกข่ายผ่านการเชื่อมโยงขาไป (Forward Link) ให้ทำการเพิ่มกำลังของสัญญาณขึ้น ถ้าในกรณีที่คุณภาพของสัญญาณดีเกินไป นั่นคือการที่ มีกำลังของสัญญาณสูงเกินไปในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีนี้ทางสถานีฐานจะสั่งให้ทาง เครื่องลูกข่ายลดกำลังที่ส่งลงมา ในอุดมคติอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นจะเป็นตัววัดคุณภาพ ของการเชื่อมโยงที่ดี แต่เพราะว่าจะทำให้ใช้เวลานานสำหรับสถานีฐานที่ใช้จำนวนบิตที่จะมา คำนวณให้ถูกต้อง ดังนั้น  $E_b/N_0$  จึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดของคุณภาพการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

การควบคุมกำลังแบบลูปปิดมีกระบวนการในการกระทำดังนี้

1. สถานีฐานจะทำการตรวจวัด  $E_b/N_0$  อย่างต่อเนื่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ
2. ถ้า  $E_b/N_0$  นั้นมีค่าสูงไป (เช่นเป็นการเกินกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่ง ให้เครื่องลูกข่ายลดกำลังส่งลงมา
3. ถ้า  $E_b/N_0$  นั้นมีค่าต่ำไป (เช่นเป็นการต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่ง ให้เครื่องลูกข่ายเพิ่มกำลังส่งขึ้นไป

สถานีฐานจะส่งคำสั่งของการควบคุมกำลังไปยังเครื่องลูกข่ายโดยใช้การเชื่อมโยงขาไป โดย คำสั่งในการควบคุมกำลังจะเรียกว่าเป็น บิตของการควบคุมกำลัง (Power Control Bit: PCBs) ปริมาณของกำลังของเครื่องลูกข่ายที่ถูกสั่งให้เพิ่มหรือลดลงนั้นโดยทั่วไปจะมีค่า 1dB และ -1dB

เนื่องจากว่าการควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นหมายความว่า จะเป็นการชดเชยการเฟดดิ้งแบบ เรย์ลีอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการตอบสนองของเครื่องลูกข่ายต่อคำสั่งในการควบคุมกำลังจึงต้องมีความเร็วมาก จากเหตุผลดังกล่าวบิตของ PCBs เหล่านี้จะถูกส่งตรงผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิก แต่เมื่อมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับบิตเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อ การควบคุมกำลังเกิดขึ้น เช่นกัน

ในการควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นจะมีอยู่ 3 จุดที่เราต้องกล่าวถึงเพิ่มเติมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. บิตของการควบคุมกำลังส่งนั้นไม่ได้ถูกป้องกันจากความผิดพลาด

ดังที่เราสามารถเห็นได้จากรูป.... จะเห็นได้ว่า PCBs นั้นถูกมัลติเพล็กซ์ไปบนช่องสัญญาณไปข้างหน้าหลังจากตัวเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน ดังนั้นจึงไม่ได้มีการป้องกันความผิดพลาดให้แก่บิตดังกล่าว ซึ่งเป็นการกระทำเพื่อลดการหน่วงเวลาในการถอดรหัสและดึงเอาออกมาของบิตที่ป้องกันความผิดพลาด และเนื่องจากการควบคุมกำลังส่งแบบลูปิดนั้นถูกใช้ชดเชยการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีอย่างรวดเร็ว ทำให้ PCBs จึงไม่ได้ป้องกันความผิดพลาดเพื่อที่จะให้เครื่องลูกข่ายสามารถนำบิตดังกล่าวมาให้เร็วและทำการปรับกำลังที่ส่งให้ได้ตามนั้น จากเหตุผลดังกล่าวความน่าจะเป็นของความผิดพลาดบิตสำหรับช่องสัญญาณย่อยของการควบคุมกำลังอาจจะสูงกว่าช่องสัญญาณทราฟฟิกถ้าไม่มีการจัดการเป็นพิเศษ

### 2. การควบคุมกำลังแบบลูปิดจะมีลูปิดใน (inner loop) และลูปิดนอก (outer loop)

ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะลูปิดภายในของกระบวนการควบคุมกำลังแบบลูปิด การมีอยู่ของลูปิดภายในคือการมีของตัว Predetermined SNR threshold โดยการตัดสินใจให้มีการเพิ่มขึ้นและลดของกำลัง เมื่อเราพยายามที่จะรักษาให้มีค่าของอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นคงที่ไว้ที่ค่าที่เราสามารถยอมรับได้ และเมื่อสิ่งแวดล้อมของตัวเครื่องลูกข่ายไม่ได้เป็นความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 ระหว่าง FER และ  $E_b/N_0$  ดังนั้น ค่า threshold ของ  $E_b/N_0$  จะมีการปรับแบบไดนามิกเพื่อรักษาให้ค่า FER มีค่าคงที่ซึ่งเราสามารถยอมรับได้ การปรับของค่า threshold ของ  $E_b/N_0$  นี้จะกระทำโดยอ้างอิงจากลูปิดภายนอกของ การควบคุมกำลังแบบลูปิด(รูป.4.13) โดยกระบวนการลูปิดภายนอกของการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นไม่ได้นิยามสำหรับมาตรฐาน IS-95 โดยกระบวนการผลิตที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานจะมีอิสระที่จะสร้างอัลกอริทึมของลูปิดนอกได้เอง

### 3. การควบคุมกำลังแบบลูปิดในระหว่างการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล(soft handoff)

ระบบ IS-95 ซีดีเอ็มเอ จะมีการใช้การเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล(soft handoff) เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 หรือ 3 เซลล์ โดยการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล (soft handoff) เป็นกระบวนการโดยที่เครื่องลูกข่ายยังคงรักษาการติดต่อกับสถานีฐาน 2 หรือ 3 สถานีที่เครื่องลูกข่ายนั้นมีการเคลื่อนที่อยู่ ในระหว่างการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล(soft handoff) เครื่องลูกข่ายจะรับเฟรมของช่องสัญญาณทราฟฟิก จาก 2 หรือ 3 สถานี และบนช่องสัญญาณทราฟฟิกดังกล่าวนี้อาจจะมีความขัดแย้งกันเองในส่วนของบิต PCBs ในสถานการณ์เหล่านี้ ตัวเครื่องลูกข่ายจะกระทำตามกฎต่อไปนี้ ถ้าเพียงสถานีฐานใดสถานีหนึ่งมีคำสั่งให้ลดในกำลังลงมา เครื่องลูกข่ายก็จะลดกำลังลงมา และเครื่องลูกข่ายจะเพิ่มกำลังเมื่อสถานีฐานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล (soft handoff) มีคำสั่งจากทุกสถานีฐานให้เพิ่มในกำลังเท่านั้น

### 2.4.3 การเปลี่ยนถ่ายเซลล์ (Handoff)

การเปลี่ยนถ่ายเซลล์ (Handoff) นั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบเซลลูลาร์ เพราะว่าการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายในเครือข่ายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปริมาณรบกวนที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับโครงข่าย ซึ่งบางครั้งการเคลื่อนที่นี้อาจจะเปลี่ยนสถานีฐานที่ให้บริการอยู่เลยทีเดียว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่รู้จักกันในนามของการถ่ายโอน (Handoff) โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบนุ่มนวล (Soft Handoff) เพื่อให้เข้าใจถึงข้อดี ข้อเสีย และการนำการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบนุ่มนวล (Soft Handoff) มาใช้งานในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

ในการนำการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบนุ่มนวล (Soft Handoff) นั้นจะใช้เพื่อบ่งบอกให้แตกต่างไปจากการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบรุนแรง (Hard Handoff) ซึ่งเป็นกระบวนการการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบเก่า โดยในการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบรุนแรง (Hard Handoff) นั้นจะมีการตัดสินใจว่าจะทำการเปลี่ยนถ่ายเซลล์หรือไม่เท่านั้น ถ้าตัดสินใจทำการการเปลี่ยนถ่ายเซลล์กระบวนการการเปลี่ยนถ่ายเซลล์จะทำภายในระบบโดยที่ไม่มีการพยายามที่จะทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถติดต่อกับสองสถานีได้พร้อมกัน สำหรับการนำการเปลี่ยนถ่ายเซลล์แบบนุ่มนวล (Soft Handoff) นั้น การตัดสินใจว่าจะทำการเปลี่ยนถ่ายเซลล์หรือไม่นั้นจะเป็นการตัดสินใจแบบมีข้อแม้ที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของสัญญาณนำร่อง (pilot signal) จากสถานีฐานสองสถานีหรือมากกว่าที่รายล้อมผู้ใช้นั้นๆ อยู่

### 2.4.4 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ

ความจริงของระบบนั้นขึ้นกับหลายๆ ปัจจัย เช่น การตีמודูเลตของภาครับ ความถูกต้องของการควบคุมกำลัง กำลังของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจริง อันเนื่องมาจากผู้ใช้งานอื่นทั้งจากภายในเซลล์เดียวกัน และจากเซลล์อื่นข้างเคียง

ในการสื่อสารดิจิทัล เราได้มีความสนใจในค่าของ  $E_b/N_0$  หรือ พลังงานต่อบิตต่อความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน โดย  $E_b/N_0$  สามารถที่จะเรียกเป็นอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยที่พลังงานต่อบิตจะเท่ากับกำลังของสัญญาณมอดูเลตเฉลี่ยในช่วงเวลาคาบบิตดังสมการ

$$E_b = ST \quad (2.33)$$

เมื่อ  $S$  เป็นกำลังสัญญาณมอดูเลตเฉลี่ย และ  $T$  เป็นคาบเวลาบิตของข้อมูล เราสามารถแทนค่าอัตราบิต  $R$  ได้ในสมการข้างต้นเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_b = \frac{S}{R} \quad (2.34)$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{RN_0} \quad (2.35)$$

ซึ่งเมื่อจะนำไปแสดงความสัมพันธ์กับความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน  $N_0$  กำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมด และความถี่  $w$  เป็นดังสมการ

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S W}{N R} \quad (2.36)$$

จะได้ว่า  $\frac{E_b}{N_0}$  นั้นจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน  $S/N$  ของการเชื่อมโยงและอัตราส่วนของแบนด์วิดท์ที่ใช้ส่ง  $w$  และอัตราข้อมูล  $R$  โดยเราเรียกรัตราส่วนนี้ว่า อัตราการขยายการประมวลผล (Processing gain) ของระบบ

เมื่อเราพิจารณาในส่วนของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link) ของระบบซีดีเอ็มเอ ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงส่วนที่จำกัดในเทอมของความจุ การสื่อสารเชื่อมโยงขากลับนี้เป็นการเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายที่ติดต่อไปยังสถานีฐาน เราสมมติให้ระบบนั้นเป็นการควบคุมกำลังส่งที่สมบูรณ์ก่อนในการพิจารณา ซึ่งหมายความว่ากำลังที่ถูกส่งจากเครื่องลูกข่ายทั้งหมดจะถูกควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ที่ภาครับของสถานีฐาน โดยกำลังที่รับได้ของเครื่องลูกข่ายทั้งหมดจะมีค่าเท่ากันภายใต้สมมติฐานดังกล่าว ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของแต่ละผู้ใช้จะมีค่าเป็นดังสมการ

$$\frac{S}{N} = \frac{1}{M-1} \quad (2.37)$$

โดย  $M$  เป็นจำนวนของผู้ใช้ทั้งหมดในขณะนั้น ที่ได้ค่าดังกล่าวเนื่องจากกำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมดในกลุ่มนี้จะเท่ากับผลรวมของกำลังจากแต่ละผู้ใช้นั้นเองมีค่าเท่ากับ  $M-1$  ซึ่งในรูปที่ 2.15 จะแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว จากสมการข้างบนเราจะไม่ได้คิดค่าของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) เมื่อเราแทนสมการที่ 2.37 ในสมการที่ 2.36 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

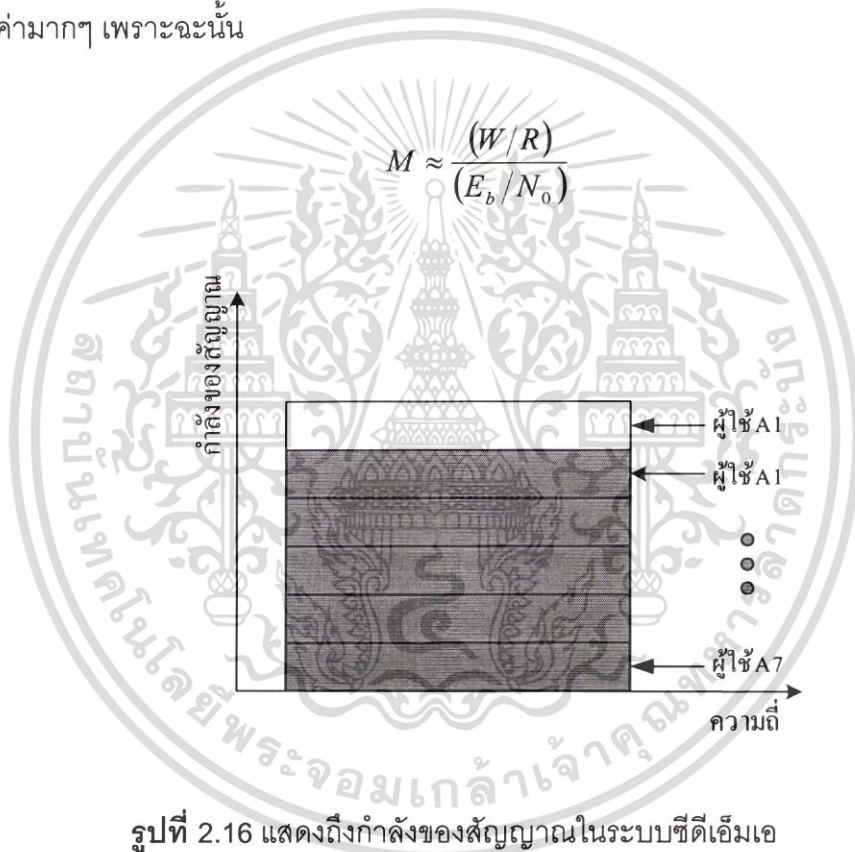
$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{M-1} \frac{W}{R} \quad (2.38)$$

จากสมการที่ 2.38 จะได้

$$M - 1 = \frac{(W/R)}{(E_b/N_0)} \quad (2.39)$$

เมื่อ  $M$  มีค่ามากๆ เพราะฉะนั้น

$$M \approx \frac{(W/R)}{(E_b/N_0)} \quad (2.40)$$



รูปที่ 2.16 แสดงถึงกำลังของสัญญาณในระบบซีดีเอ็มเอ

ผลของการโหลดดึง Loading ที่มีต่อความจุ

จากสมการข้างบน เราสามารถใช้เป็นแบบจำลองในการอธิบายความสามารถในการรองรับผู้ใช้ในเซลล์เดียว โดยเซลล์เดียวนั้นเป็นลักษณะรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว(omni-directional) และไม่ได้คิดเซลล์ข้างเคียง และใช้การส่งเต็ม 100 % ของเวลา ในความเป็นจริงจะมีเซลล์อยู่หลายเซลล์มากในระบบของการสื่อสารส่วนบุคคล หรือ ระบบเซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็มเอ เมื่อพิจารณาในรูปแบบ... แสดงผลของผู้ใช้ในเซลล์อื่น แม้ว่าผู้ใช้จากเซลล์อื่นดังกล่าวเหล่านี้จะถูกควบคุมกำลังโดยเซลล์ของมันเอง แต่กำลังของสัญญาณจากผู้ใชดังกล่าวก็ยังคงเกิดการแทรกสอดต่อเซลล์อ้างอิงตั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นเซลล์ข้างอิงจะถูกไหลดโดยผู้ใช้จากเซลล์อื่นๆ โดยสมการข้างบนจะสามารถแสดงผลของการถูกไหลดดังได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{M-1} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \quad (2.41)$$

เมื่อ  $\eta$  เป็นแฟคเตอร์ของการไหลด โดยค่าของ  $\eta$  จะอยู่ในช่วง 0 - 100% ในตัวอย่างแสดงดังรูปนั้น แฟคเตอร์การไหลดมีค่า 0.5 ซึ่ง  $(1 + 0.5)$  หรือ 150 % ที่มีการเพิ่มขึ้นของการแทรกสอดที่เกิดขึ้นที่เซลล์ข้างอิง

โดยส่วนกลับของแฟคเตอร์  $(1+\eta)$  นั้น บางครั้งเราเรียกว่าเป็นแฟคเตอร์ของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (frequency reuse factor) โดยจะมีค่าเป็น

$$F = \frac{1}{1+\eta} \quad (2.42)$$

จะเห็นได้ว่าแฟคเตอร์ของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่นั้นจะมีค่าอุดมคติเป็น 1 ในเซลล์เดียว ( $\eta = 0$ ) ส่วนในแบบหลายเซลล์นั้นค่าของ  $\eta$  จะมีค่าเพิ่มขึ้น แล้วจะส่งผลให้  $F$  มีค่าลดลงตามความสัมพันธ์ดังกล่าว

ผลของการไหลดถึง sectorization ที่มีต่อความจุ

การแทรกสอดจากผู้ใช้อื่นในเซลล์อื่นที่เกิดขึ้นที่เซลล์ข้างอิงสามารถจะถูกทำให้ลดลงได้ เมื่อเซลล์ข้างอิงดังกล่าวถูกทำการเซกเตอร์ แทนที่จะใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional antenna) ซึ่งมีแพทเทิร์นของสายอากาศเป็น 360 องศา เซลล์ข้างอิงสามารถจะถูกแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ ดังนั้นแต่ละเซกเตอร์จะมีการรับสัญญาณ 120 องศา ในปรากฏการณ์นี้สายอากาศที่เซกเตอร์จะปฏิเสธการแทรกสอดจากผู้ใช้อื่นที่ไม่ได้อยู่ในแพทเทิร์นของสายอากาศการจัดดังกล่าวนี้จะลดผลของการไหลดถึงโดยแฟคเตอร์ประมาณค่าเท่ากับ 3 ถ้าเซลล์ที่ถูกแบ่งเซกเตอร์เป็น 6 เซกเตอร์จะส่งผลให้ผลของการไหลดถึงลดลงโดยแฟคเตอร์ ประมาณ 6 โดยแฟคเตอร์ดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่าเป็น sectorization gain  $\lambda$  โดย

$$\lambda = \frac{\int_0^{2\pi} I(\theta) d\theta}{\int_0^{2\pi} \left( \frac{G(\theta)}{G(0)} \right) I(\theta) d\theta} \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $G(\theta)$  เป็นแพทเทิร์นของสายอากาศแบบระนาบของสายอากาศเซกเตอร์  $G(0)$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศสูงสุด ซึ่งสมมติให้เกิดขึ้นที่แนวเล็ง (boresight,  $\theta = 0$ ) และ  $I(\theta)$  เป็นกำลังของการแทรกสอดที่รับได้จากผู้ใช้ในเซลล์อื่นโดยเป็นฟังก์ชันของ  $\theta$  การอินทิเกรตในสมการข้างบนนั้นกระทำในช่วง 0 ถึง 360 องศา จากสมการดังกล่าวสามารถคำนวณค่าอัตราขยายของการเซกเตอร์ออกมาตรงๆ นั้นซึ่งขึ้นโดยตรงกับอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้เช่นเดียวกับการแจกแจงในระยะและระยะทางของผู้ใช้ที่เป็นการแทรกสอดจากเซลล์อื่น จะเห็นได้ว่าในสมการดังกล่าวไม่ได้พิจารณาในแพทเทิร์นทางแนวเส้นตรงขึ้นไป ในความเป็นจริง  $\lambda$  นั้นมีค่าโดยทั่วไปเป็น 2.5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ และมีค่าเป็น 5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเป็น 6 เซกเตอร์

โดยเราสามารถปรับสมการโดยมีผลจากการเซกเตอร์ได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{M-1} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \quad (2.44)$$

ผลของ voice activities ที่มีต่อความจุ

จากสมการข้างบนเราได้สมมติให้ผู้ใช้งานส่งในเวลาเต็มที่เต็ม 100 % คือส่งตลอดเวลา แต่ในทางปฏิบัติตัวเข้ารหัสทางเสียงที่ระบบ IS-95 ใช้นั้นจะใช้เป็นอัตราที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งหมายความว่าอัตราของทางออกของตัวเข้ารหัสทางเสียงจะถูกปรับได้ให้สอดคล้องกับแพทเทิร์นในการพูดของผู้ใช้บริการ ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ใช้บริการไม่ได้พูดในช่วงของการสนทนา แล้วอัตราการเข้ารหัสของตัวเข้ารหัสทางเสียงจะถูกทำให้ต่ำลง เป็นการป้องกันกำลังงานจากการส่งที่ไม่สำเร็จผล จากอัตราการเข้ารหัสทางเสียงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้นี้ เราสามารถลดในกำลังงานที่ถูกส่งออกไปได้ และนั่นก็เป็นการลดลงของการแทรกสอด ในทางสถิติของการพูดนั้น โดยทั่วไปการสนทนาจะเกิดขึ้นอยู่ในระหว่าง 40 % ถึง 50% ของเวลาทั้งหมดโดยการใช้การเข้ารหัสเสียงที่มีอัตราเปลี่ยนแปลงได้ ระบบจะสามารถลดกำลังของการแทรกสอดโดยแฟคเตอร์ของ voice activity นี้

ดังนั้นจึงมีการแสดงสมการที่มีการ voice activity เป็น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{M-1} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \frac{1}{v} \quad (2.45)$$

โดย  $V$  เป็นแฟคเตอร์ของ voice activity จะเห็นได้ว่าผลของ voice activity จะเป็นการทำให้ส่วนของการแทรกสอดลดลง

เพราะฉะนั้นเราจะแสดงค่าของ  $m$  ได้เป็นดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = 1 + \frac{(W/R)}{(E_b/N_0)} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \frac{1}{\nu} \quad (2.46)$$

ซึ่งเมื่อ  $M$  มีค่ามากๆ ดังนั้น

$$M \approx \frac{(W/R)}{(E_b/N_0)} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \frac{1}{\nu} \quad (2.47)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกของระบบซีดีเอ็มเอ

### 3.1 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปัญหาในการให้บริการระบบโทรศัพท์คือ จะทำอย่างไรที่จะให้ระบบการให้บริการโทรศัพท์ บริการที่ดีกับผู้ใช้บริการโดยใช้ต้นทุนที่เหมาะสม สิ่งที่ต้องพิจารณาถึงคือการพัฒนาระบบให้มีความจุสูงสุดโดยการคำนึงถึงต้นทุนต่างๆ และสร้างระบบให้รองรับความต้องการตามที่ได้ประมาณเอาไว้ได้เทคนิคนี้เรียกว่า "วิศวกรรมทราฟฟิก" (Traffic engineering) การใช้เทคนิคดังกล่าวจะอยู่บนพื้นฐานในหลักการของหลักความน่าจะเป็นและทฤษฎีการรอ(Queuing Theory)

วิศวกรรมทราฟฟิก(Traffic engineering) จะแตกต่างกันที่ระบบแต่ละระบบนั้นจะจัดการกับความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกอย่างไร ซึ่งมีวิธีการอยู่ 2 วิธีด้วยกัน อย่างแรกคือ ระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย ซึ่งจะทำการตัดสายทิ้งโดยไม่ให้บริการ วิธีนี้เรียกว่า block-call-cleared (BCC) อย่างที่สองคือ ระบบการเรียกที่มีการรอคอย ซึ่งจะทำการจัดคิวสายที่ใช้และให้บริการเมื่อสามารถทำได้ วิธีนี้เรียกว่า block-call-delay (BCD) ระบบเครือข่ายโทรศัพท์แบบ circuit switching ทั่วไปนั้น จะใช้ระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย เช่น เครือข่ายระบบโทรศัพท์ที่มีการใช้ อย่างหนาแน่นจะใช้สัญญาณสายไม่ว่างเป็นการปฏิเสธไม่ให้บริการ ในทางตรงข้ามเครือข่ายข้อมูลหลายเครือข่ายจะใช้ระบบการเรียกที่มีการรอคอย

ในสถานการณ์ใดๆ ที่การรอรับการบริการซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนในกระบวนการ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความต้องการของผู้ใช้บริการในระบบซึ่งเรียกว่า "โหลดขอบริการ" (offered load) หรือความต้องการของผู้ใช้บริการ และสามารถอยู่ในรูปของการเรียกของโทรศัพท์ โหลดขอบริการ(offered load) จะถูกนิยามโดยสองกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบสุ่มดังนี้ 1. อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ร้องขอรับบริการ  $\lambda$  (average arrival) และ 2. อัตราเฉลี่ยของระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการต้องการใช้บริการ (average holding time)  $T$

ระบบที่สมบูรณ์จะต้องไม่มีการรอคอย(delay) ถ้าจำนวนผู้ใช้บริการ  $n$  คน ต่อเชื่อมเข้าระบบ การทำระบบไม่มีการรอคอยจะต้องมีการเชื่อมต่อโดยตรงโดยใช้สูตร  $n(n-1)/2$  ซึ่งเป็นไปไม่ได้อย่างแน่นอน ดังนั้นระบบโทรศัพท์จึงได้รับการออกแบบเพื่อให้มีการรอคอย(delay) ที่เหมาะสมในระหว่างช่วงทราฟฟิกเป็นปกติ และตัดสายในช่วงเวลาที่มีทราฟฟิกมาก

สำหรับระบบการให้บริการใดๆ ก็ตามที่มีผู้บริการ (servers) เพียงพอที่จะสามารถให้บริการผู้ใช้บริการได้ทันทีที่ร้องขอ ค่าเฉลี่ยจำนวนผู้บริการ (servers) ที่ไม่ว่างได้มาจากผลคูณของ  $\lambda$  และ

$T$  เสมอ โดยความสัมพันธ์นี้จะอิสระจากการเข้ามาและเวลาที่ให้บริการ(holding time) จากผลของการตั้งสมมุติฐาน offered load ( $a$ ) (จำนวนสายที่ขอใช้บริการ) ถูกกำหนดจาก

$$a = \lambda * T \quad (3.1)$$

โดยทั่วไปค่าเฉลี่ยการเข้ามา และค่าเฉลี่ยเวลาที่ให้บริการนั้นจะแสดงหน่วยของเวลา ซึ่งจำนวนปริมาณจะแสดงในหน่วยของเออร์แลง (Erlangs)

ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าผู้ใช้โทรศัพท์ทั้งหมด 200 ราย ทำให้เกิดการโทร 60 ครั้ง ระหว่างชั่วโมงใช้สูงสุด(busy hour) ค่าเฉลี่ยเวลาที่ให้บริการ(holding time) คือ 240 วินาที ดังนั้นค่าเฉลี่ยการได้รับบริการ(arrival rate) คือ

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

เออร์แลงคำนวณได้จาก

$$\frac{60 \text{ calls}}{3600 \text{ sec.}} * \frac{240 \text{ sec.}}{\text{call}} = 4 \text{ เออร์แลง}$$

นอกจากเออร์แลงแล้วระบบโทรศัพท์จะวัดค่าหน่วยเป็น CCS ต่อชั่วโมง (ปริมาณการใช้สายเป็นเวลา 100 วินาที) โดย CCS คำนวณจาก

$$CCS = NCBH * HT / 100$$

$NCBH$  = จำนวนการโทรใน 1 ชั่วโมงที่ชั่วโมงใช้สูงสุด(busy hour)

$HT$  = ค่าเฉลี่ยเวลาที่ให้บริการ(holding time)

1 ชั่วโมง มี 3600 วินาที ดังนั้นกราฟฟิกขอบริการ (Traffic load) ที่ต่อเนื่องกันใน 1 ชั่วโมง จะมีค่าเท่ากับ 36 CCS หรือหนึ่งเออร์แลง โดยหน่วย CCS เป็นหน่วยที่ใช้ทั่วไปสำหรับการวัดกราฟฟิกของระบบโทรศัพท์ ซึ่งจากตัวอย่างปริมาณการใช้สายเป็นเวลา 100 วินาทีคือ

$$(60 * 240) / 100 = 144 \text{ ccs}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราฟฟิคต่อผู้โทร 1 คน คือ

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

หรือคิดเป็น

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

### 3.2 ระดับการบริการ (Grade of Service)

อัตราการติดขัด และความน่าจะเป็นของการติดขัดนั้นจะมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งอัตราการติดขัดหาได้จากการคำนวณปริมาณที่เกิดขึ้นที่สถานีฐาน ในส่วนของความน่าจะเป็นของการติดขัดเป็นความน่าจะเป็นที่การเรียกเกิดการบล็อกเนื่องจากช่องสัญญาณไม่ว่าง โดยจะขึ้นอยู่กับโหลดขอบริการ (Offered Load) และจำนวนของช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นของการติดขัด ดังนั้นระดับการบริการ(Grade of Service) สามารถพิจารณาได้จากเทอมของความน่าจะเป็นของการติดขัด [cdma RF enginee]

ความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เกิดจากโหลดขอบริการ(offered load) ในระหว่างชั่วโมงใช้โทรศัพท์สูงสุด ซึ่งเกิดขึ้นจากโหลดให้บริการ(carried load) สูงสุดในระหว่างหนึ่งชั่วโมงซึ่งเกิดขึ้นที่สถานีฐาน ดังนั้นการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับชั่วโมงใช้สูงสุดจะต้องให้อัตราการติดขัดที่ต้องการในระหว่างเวลาที่ใช้สูงสุดสัมพันธ์กับในระหว่างเวลาที่ใช้ต่ำสุด

เออร์แลง-บี และเออร์แลง-ซีเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งจะเกี่ยวข้องกันระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัด โหลดขอบริการ(offered load) และจำนวนของช่องสัญญาณ

#### 3.2.1 เออร์แลง-บี (Erlang-B)

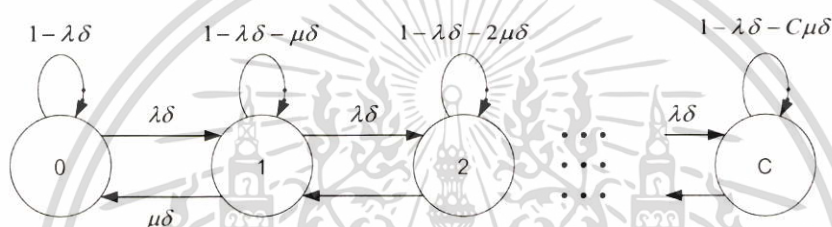
ในรูปแบบของเออร์แลง-บี โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเรียกจะถูกบล็อก(blocked)และใช้วัฏระดับของการให้บริการของระบบโดยที่การเรียกที่ถูกบล็อกจะไม่มีกรรอเข้าคิว(block-call-cleared) ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

- การเรียกจะเป็นแบบไม่มีความจำ ทุกๆผู้ให้บริการ และผู้ให้บริการที่ถูกบล็อกจะสามารถเรียกขอใช้ช่องสัญญาณได้ตลอดเวลา
- ทุกช่องสัญญาณที่ว่างสามารถให้บริการได้ทุกช่องสัญญาณ
- ความน่าจะเป็นของการใช้ช่องสัญญาณหรือเวลาในการบริการจะมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้มีจำนวนจำกัด
- ทราฟฟิกที่ต้องการอธิบายโดยความสัมพันธ์ของการเข้าใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซงและระยะเวลาในการใช้บริการที่เป็นการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล
- ระยะเวลาของการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานจะเป็นอิสระต่อกัน

เมื่อพิจารณาเออร์แลง-บีในระบบของการเข้าคิวจะเป็นระบบคิวแบบ  $M/M/C/C$  โดยที่  $M$  ตัวแรกจะหมายถึงการเรียกเข้าซึ่งมีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปัวส์ซง  $M$  ตัวที่สองจะหมายถึงอัตราการบริการซึ่งมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล  $C$  ตัวแรกหมายถึงจำนวนของช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้  $C$  ตัวที่สองหมายถึงจำนวนสูงสุดของการให้บริการ



รูปที่ 3.1 แสดงสถานะของห่วงโซ่-Markov สำหรับเออร์แลง-บี

จากรูปที่ 3.1 จะเป็นรูปห่วงโซ่ของ Markov (Markov chain) ซึ่งสามารถใช้อธิบายเออร์แลง-บีได้ โดยพิจารณาสถานะให้อยู่ในรูปแบบของกระบวนการสุ่ม  $\{X_n | n = 0, 1, 2, \dots\}$  ดังนั้นสถานะของกระบวนการที่จะเป็นไปได้คือ  $i=0, 1, 2, \dots$  และถ้ามีการเปลี่ยนสถานะจาก  $i$  ไปเป็น  $i+1$  โดยที่สถานะ  $i+1$  จะขึ้นอยู่กับสถานะ  $i$  และจะไม่ขึ้นอยู่กับสถานะก่อนหน้านี้นี้ เมื่อพิจารณาช่วงเวลาสั้นๆ  $\delta$  ถ้า  $N_k$  คือจำนวนการเรียกที่เวลา  $k\delta$  จะได้

$$N_k = N(k\delta) \quad (3.2)$$

โดยที่  $N$  คือจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานซึ่งได้จากกระบวนการสุ่มแบบดิสครีต (discrete random process) และ  $N_k$  เป็น discrete time Markov chain ด้วยความน่าจะเป็นที่สถานะคงตัวโดยลำดับของสถานะเป็น  $0, 1, 2, \dots, C$

โดยลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของ  $P_{i,j}$  คือ

$$P_{i,j} = P_r \{N_{k+1} = j | N_k = i\} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{00} = 1 - \lambda\delta + 0(\delta) \quad (3.4)$$

$$P_{ii} = 1 - \lambda\delta - \mu\delta + 0(\delta) \quad , i \geq 1 \quad (3.5)$$

$$P_{i,i+1} = \lambda\delta + 0(\delta) \quad , i \geq 0 \quad (3.6)$$

$$P_{i,i-1} = \mu\delta + 0(\delta) \quad , i \geq 1 \quad (3.7)$$

$$P_{i,j} = 0(\delta) \quad , j \neq i, j \neq i+1, j \neq i-1 \quad (3.8)$$

จากรูปที่ 3.1 จะได้ว่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ 0 ไปเป็นสถานะ 1 เป็น  $\lambda\delta$  และในทำนองเดียวกันความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ 1 กลับไปเป็น 0 จะเป็น  $\mu\delta$  และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะที่ยังคงเป็นสถานะ 1 เหมือนเดิมคือ  $1 - \lambda\delta - \mu\delta$  และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะทั้งหมดมีค่ารวมกันเท่ากับ 1



รูปที่ 3.2 แสดงสถานะของห่วงโซ่-Markov สำหรับเฮอร์แดง-บี ที่สภาวะคงตัว

เมื่อพิจารณาระยะเวลานานพอระบบจะอยู่ในสถานะคงตัว (steady state) และมีจำนวนข้อสัญญาเท่ากับ  $n$  ดังในรูปที่ 3.2 ความน่าจะเป็นของสถานะ  $n$  จะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะ  $n-1$  จะได้

$$\lambda\delta P_{n-1} = n\mu\delta P_n \quad , n \leq C \quad (3.9)$$

จากสมการ 3.9 จะเป็น Global Balance Equation [6] และจาก

$$\sum_{n=0}^C P_n = 1 \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda \delta P_{n-1} = P_n n \mu \delta \quad , n = 1, 2, 3, \dots, C \quad (3.11)$$

$$\lambda P_{n-1} = P_n n \mu \quad (3.12)$$

$$P_1 = \frac{\lambda P_0}{\mu} \quad (3.13)$$

จากสมการ 3.11 จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่สถานะ  $n$  ใดๆ เป็น

$$P_n = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} \quad (3.14)$$

โดยที่

$$P_0 = \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_n n! = 1 - \sum_{i=1}^C P_i \quad (3.15)$$

แทนค่าสมการ

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^C \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!}} \quad (3.16)$$

จากสมการที่ 3.14 ความน่าจะเป็นของการติดขัด สำหรับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ  $C$

$$P_c = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^c \frac{1}{C!} \quad (3.17)$$

แทนค่าสมการ 3.16 ลงในสมการ 3.17

$$P_c = \frac{\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^c \frac{1}{C!}}{\sum_{n=0}^C \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!}} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 เออร์แลง-ซี (Erlang-C)

ในรูปแบบของเออร์แลง-ซี จะกำหนดให้ผู้ใช้ที่ถูกบล็อก เกิดการรอคอยในกรณีที่มีผู้ใช้บริการช่องสัญญาณจนเต็ม โดยความน่าจะเป็นของการรอคอยจะเป็น

$$P_r[\text{call delayed}] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!}} \quad (3.19)$$

เมื่อไม่มีช่องสัญญาณใดว่างพอที่จะใช้งานได้ การเรียกจะถูกจัดให้รอคอยอยู่ในระบบคิว ความน่าจะเป็นที่การเรียกที่ต้องรอคอยในคิวในเวลาที่มากกว่า  $t$  วินาทีคือ

$$P_r[\text{wait} > t | \text{delayed}] = e^{-\frac{(C-A)t}{H}} \quad (3.20)$$

โดยที่  $C$  คือจำนวนของช่องสัญญาณทั้งหมดที่สามารถใช้งานได้  $t$  คือเวลารอคอยที่สนใจ และ  $H$  คือค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาของการเรียก ความน่าจะเป็นของการเรียกที่เข้ามาต้องรอคอยในคิวเป็นเวลาที่มากกว่า  $t$  วินาทีเป็น

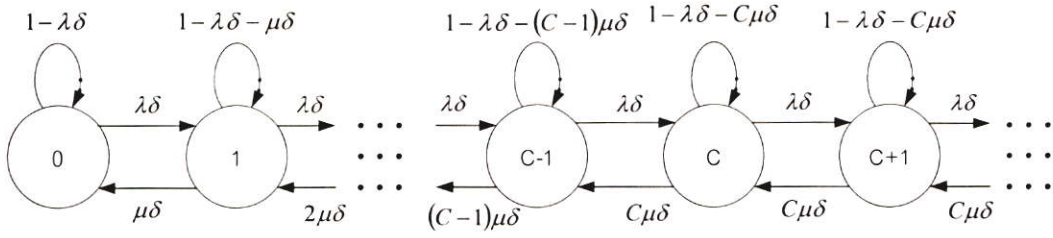
$$\begin{aligned} P_r[\text{wait} > t] &= P_r[\text{call delayed}] P_r[\text{wait} > t | \text{delayed}] \\ &= P_r[\text{call delayed}] e^{-\frac{(C-A)t}{H}} \end{aligned} \quad (3.21)$$

ค่าเฉลี่ย  $D$  ในการรอคอยในคิวของระบบจะเป็น

$$D = \int_0^{\infty} P_r[\text{call delayed}] e^{-\frac{(C-A)t}{H}} dt \quad (3.22)$$

$$D = P_r[\text{call delayed}] \frac{H}{(C-A)} \quad (3.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงสถานะของห่วงโซ่-Markov สำหรับเออร์แลง-ซี

เออร์แลง-ซีสามารถที่จะอธิบายได้ในระบบคิวแบบ  $M/M/C/D$  โดย  $C$  คือจำนวนสูงสุดของผู้ใช้งานที่สามารถใช้งานได้พร้อมกัน  $D$  คือจำนวนขงกองการเรียกที่อยู่ในระบบการรอคิว เมื่อสมมติให้  $D$  มีค่าเป็นอนันต์ระบบคิวจะเป็นแบบ  $M/M/C/\infty$  หรือในรูปแบบทั่วไปคือ  $M/M/C$  ถ้า  $D$  เป็นอนันต์ ดังนั้น  $P_k$  คือความน่าจะเป็นของสถานะ  $k$  ที่สภาวะคงตัว (steady state)

$$P_k = \lim_{k \rightarrow \infty} P_r \{N_r = k\} \quad (3.34)$$

โดยที่  $N_r$  คือจำนวนของการเรียกหรือการรอคอยทั้งหมดในระบบที่เวลา  $t$  ที่สภาวะคงตัวความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจาก  $k$  ไปเป็นสถานะ  $k-1$  จะมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจาก  $k-1$  ไปเป็นสถานะ  $k$  และจากรูปที่ 3.3

$$\lambda \delta P_{k-1} = k \mu \delta P_k, \quad k \leq C \quad (3.35)$$

โดยที่

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \frac{1}{k} P_{k-1}, \quad k \leq C \quad (3.36)$$

และ

$$\lambda \delta P_{k-1} = C \mu \delta P_k, \quad k \leq C \quad (3.37)$$

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \frac{1}{C} P_{k-1}, \quad k \geq C \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_k = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} P_0, & k \leq C \\ \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{C^{k-C}} P_0, & k \geq C \end{cases} \quad (3.39)$$

ในเมื่อ  $\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1$  จะได้

$$P_0 \left[ 1 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) + \dots + \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{C+1} \frac{1}{C^{(C+1)-C}} + \dots \right] = 1 \quad (3.40)$$

$$P_0 \left[ 1 + \sum_{k=1}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} + \sum_{k=C}^{\infty} \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{C^{k-C}} \right] = 1 \quad (3.41)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=1}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} + \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)}} \quad (3.42)$$

ความน่าจะเป็นของการเรียกเข้ามาเมื่อทุกช่องสัญญาณ C ถูกใช้งานจนเต็ม ซึ่งการเรียกในครั้งนี้จะต้องเข้าระบบการรอคิวจะเป็น

$$\begin{aligned} P_r [C \text{ ch. are busy}] &= \sum_{k=C}^{\infty} P_k = \sum_{k=C}^{\infty} \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{C^{k-C}} P_0 \\ &= P_0 \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \sum_{k=C}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k-C} \frac{1}{C^{k-C}} \\ &= P_0 \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)} \end{aligned} \quad (3.43)$$

สำหรับสมการ 3.43 จะใช้ได้สำหรับ  $\frac{\lambda}{\mu C} < 1$  ซึ่ง  $P_0$  เป็นไปตาม 3.42 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 P_r[Ch. are busy] &= \frac{\frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right) \left[ \sum_{k=0}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)} \right]} \\
 &= \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C}{\left[\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C + C! \left(1 - \frac{\lambda}{C\mu}\right) \sum_{k=0}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!}\right]} \quad (3.44)
 \end{aligned}$$

### 3.3 การร้องขอใช้งาน Page (Aggregate Page Request)

เมื่อผู้ใช้บริการต้องการจะดาวน์โหลดเว็บเพจ จะส่งข้อมูล Page Request มายังสถานีฐาน จากนั้น สถานีฐานจะส่งข้อมูลนี้ไปยังเซิร์ฟเวอร์จึงจะเริ่มดาวน์โหลดได้ การส่งข้อมูลของ Page Request มายังสถานีฐานจะใช้การกระจายแบบปัวส์ซอง ในการคำนวณหาค่าอัตราการเข้ามาเฉลี่ยของ Page Request นั้นจะหาได้จาก

$$\lambda_p = \lambda_w N_p \quad (3.45)$$

$\lambda_w$  = อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ WWW

$N_p$  = จำนวนเฉลี่ยของ Page Request ต่อการให้บริการ

ทุก Page Request เราจะกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 2600 ไบต์ สำหรับเวลาเฉลี่ยในการส่ง Page Request นั้นจะเป็น

$$\frac{1}{\mu_p} = \frac{8P_r}{R_p} \quad (3.46)$$

$P_r$  = จำนวนไบต์เฉลี่ยของ Page Request

$R_p$  = อัตราการส่งข้อมูลของ Page Request

กำหนดให้  $N$  เป็นจำนวนข้อมูลที่ส่งออกในระบบโดยกำหนดเป็นตัวแปรสุ่มแบบปัวส์ซองด้วยค่าเฉลี่ยจะได้

$$P(N = n) = \frac{A^n \exp(-A)}{n!} \quad (3.47)$$

โดยที่  $A = \frac{\lambda_p}{\mu_p}$  คือความจุเออร์เลนจ์ของเว็บเพจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

### 4.1 แบบจำลองของระบบที่พิจารณา

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพิจารณาช่องสัญญาณขากลับของระบบเซลลูลาร์แบบเซลล์เดี่ยวที่มีการควบคุมกำลังสำหรับการส่งแพ็คเกจของข้อมูลโดยช่องสัญญาณขากลับและขาไปจะใช้แถบความถี่ที่แยกจากกันจึงทำให้สามารถส่งได้ทั้งสองทิศทาง และเป็นช่องสัญญาณแบบเรย์ลีที่มีการหลายเส้นทางของสัญญาณเกิดขึ้นและจำนวนของเส้นทางความเข้มของกำลังสัญญาณในแต่ละเส้นทางเท่ากันจำนวน  $M$  เส้นทาง ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้โดยเครื่องรับแบบ RAKE ที่ภาครับของสถานีฐานมีค่าเท่ากับ  $M$  เส้นทาง ในทางปฏิบัติการควบคุมกำลังที่สมบรูณ์นั้นเกิดขึ้นได้ยาก ระดับกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากแต่ละผู้ใช้งานจะมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ได้ แบบจำลองของระดับกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานจากแต่ละผู้ใช้งานจึงเป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล ค่าเฉลี่ยของระดับกำลังที่ถูกรับเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมต่างๆของระบบสื่อสาร ค่าดังกล่าวจะถูกปรับโดยกลไกของการควบคุมกำลังเพื่อพยายามให้ระดับของกำลังที่รับได้ที่สถานีของแต่ละผู้ใช้งานมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

ในวิทยานิพนธ์นี้จะอ้างอิงผลการทดลองจากบทความของ Hashem และ Sousa [4] เป็นแบบจำลองของการควบคุมกำลังที่ไม่สมบรูณ์ที่ความเร็วค่าต่างๆ โดยผลดังกล่าวแสดงดังในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในหน่วย dB ของสัญญาณที่รับจากผู้ใช้ที่ติดต่อกับสถานีฐานที่ต้องการพิจารณา  $\sigma$  จากผลในตารางแสดงสำหรับเครื่องลูกข่าย (หรือผู้ใช้งาน) ที่มีความเร็วและจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไข  $M$  ได้ที่ค่าต่างๆ

	M = 2	M = 3	M = 4
V(Km/h)	$\sigma$ dB	$\sigma$ dB	$\sigma$ dB
10	0.67	0.43	0.37
20	1.40	0.94	0.6
30	1.88	1.40	0.83
40	2.20	1.75	1.25

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องลูกข่ายที่ติดต่อกับสถานีฐานที่ต้องการ

## 4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

### 4.2.1 ความน่าจะเป็นของการติดขัด (Blocking Probability)

เนื่องจากในระบบที่เราพิจารณานั้นจะเป็นการรวมจำนวนผู้ใช้บริการเสียงและบริการเว็บเพจ ซึ่งการบริการของแต่ละชนิดนั้นต้องการคุณภาพของการบริการที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นกำลังที่รับได้ทั้งหมดที่สถานีฐานจะเป็น

$$P_t = N_o W + \sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i} P_{v,i} + \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j} P_{w,j} = I_o W \quad (4.1)$$

โดยที่

$P_{v,i}$  เป็นกำลังของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่ใช้บริการเสียง

$P_{w,j}$  เป็นกำลังของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่ใช้บริการเว็บเพจ

เมื่อพิจารณากำลังของสัญญาณการรบกวนแทรกสอดที่เกิดขึ้นที่สถานีฐาน ในช่วงการเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link) ในระบบเซลล์เดียนั้น เมื่อมีผู้ใช้บริการเสียงและข้อมูล เราจะได้กำลังของสัญญาณรบกวนแทรกสอดทั้งหมดที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ

$$I_o W = \sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i} E_{bi}^v R_v + \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j} E_{bj}^w R_w + N_o W \quad (4.2)$$

โดยที่

$E_{bi}^v$  = กำลังบิตของผู้ใช้บริการเสียง

$E_{bj}^w$  = กำลังบิตของผู้ใช้บริการเว็บเพจ

$R_v$  = อัตราบิตข้อมูลของผู้ใช้บริการเสียง

$R_w$  = อัตราบิตข้อมูลของผู้ใช้บริการเว็บเพจ

$I_o$  = กำลังของสัญญาณแทรกสอดทั้งหมด

$N_o$  = สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

$W$  = สเปกตรัมแบนด์วิธ

$K_v$  = เป็นจำนวนผู้ใช้บริการเสียงซึ่งจะเป็นแบบตัวแปรสุ่มแบบปัวส์ซองด้วย

ค่าเฉลี่ย  $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_v$

$K_w$  = เป็นจำนวนผู้ใช้บริการเว็บเพจซึ่งจะเป็นแบบตัวแปรสุ่มแบบปัวส์ซองด้วย

ค่าเฉลี่ย  $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_w$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถพิจารณาสมการที่ 4.2 เป็นกำลังของสัญญาณรบกวนแทรกสอดทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่ภาครับของสถานีฐานได้ โดยจะมีการจัดรูปแบบสมการใหม่เพื่อการพิจารณาในเหตุการณ์ที่ระบบเกิดการติดขัด เกิดขึ้นโดยเป็นดังสมการ

$$\sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i} E_b^{v,i} R_v + \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j} E_b^{w,j} R_w + N_o W \leq I_o W \quad (4.3)$$

จากสมการที่ 4.3 เราจะนิยามให้ตัวแปรสุ่ม  $Z$  เป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอดดังนั้นจะได้

$$Z = \frac{1}{G_v} \sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i} \varepsilon_b^{v,i} + \frac{1}{G_w} \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j} \varepsilon_b^{w,j} \quad (4.4)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$Z = \frac{1}{G_v} \sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i} \varepsilon_b^{v,i} + \frac{1}{G_w} \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j} \varepsilon_b^{w,j} \leq (1-\eta) \quad (4.5)$$

โดยที่

$$\varepsilon_b^{v,i} = \varepsilon_b^{w,j} \text{ เป็นค่าของกำลังสัญญาณที่รับได้}$$

$$(1-\eta) \text{ เป็นค่า Load Factor}$$

เมื่อความน่าจะเป็นของเอาท์เดจคือ ความน่าจะเป็นที่กำลังของสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดซึ่งนิยามเป็นตัวแปรสุ่ม  $Z$  มีค่ามากกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน(Threshold) จากสถานการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ผู้ใช้บริการรายใหม่ที่จะเข้ามาร้องขอใช้ช่องสัญญาณในระบบจะถูกปฏิเสธจากระบบซึ่งทำให้ผู้ใชดังกล่าวไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ซึ่งเราจะแสดงความน่าจะเป็นดังกล่าวได้ดังสมการ

$$P_{outage} = P_r [Z > Z_o = (1-\eta)] \approx Q \left( \frac{Z_o - E(Z)}{\sqrt{Var(Z)}} \right) \quad (4.6)$$

เมื่อ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน(Threshold) มีค่าเป็น  $Z_o = (1-\eta)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราต้องการหาค่าความน่าจะเป็นของเอทต์เตจ ซึ่งเป็นดังสมการที่(4.6) เราจะต้องการหาค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม  $Z$  เนื่องจากตัวแปรสุ่ม  $Z$  นี้เป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอดดังในสมการที่ (4.5) จึงได้มีการหาค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม  $Z$  โดยเมื่อได้มีการนำทฤษฎีเข้าสู่ศูนย์กลาง(Central Limit Theorem) มาใช้ตัวแปรสุ่ม  $Z$  ที่ได้จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเกาส์ให้เป็นตัวแปร  $Z_N$

เมื่อตัวแปรสุ่ม  $Z$  นั้นเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเกาส์ เราจึงมีการหาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ  $Z$  ดังสมการที่ (4.9) และ (4.10) ตามลำดับ

$$E[Z] = \frac{1}{G_v} \sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i} E[\varepsilon_b^{v,i}] + \frac{1}{G_w} \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j} E[\varepsilon_b^{w,j}] \quad (4.7)$$

$$\text{Var}(Z) = \frac{1}{G_v^2} \sum_{i=1}^{k_v} \alpha_{v,i}^2 \text{Var}(\varepsilon_b^{v,i}) + \frac{1}{G_w^2} \sum_{j=1}^{k_w} \alpha_{w,j}^2 \text{Var}(\varepsilon_b^{w,j}) \quad (4.8)$$

เนื่องจาก  $k_v$  และ  $k_w$  เป็นจำนวนผู้ให้บริการเสียงและเว็บเพจนี้เป็นตัวแปรสุ่มแบบปัวส์ของซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น  $\frac{\lambda_v}{\mu_v}$  และ  $\frac{\lambda_p}{\mu_p}$  ตามลำดับดังนั้นจะได้

$$E[Z] = \frac{1}{G_v} \left( \frac{\alpha_v \lambda_v}{\mu_v} \right) E[\varepsilon_b^v] + \frac{1}{G_w} \left( \frac{\alpha_w \lambda_p}{\mu_p} \right) E[\varepsilon_b^w] \quad (4.9)$$

$$\text{Var}(Z) = \frac{1}{G_v^2} \left( \frac{\alpha_v \lambda_v}{\mu_v} \right) \text{Var}(\varepsilon_b^v) + \frac{1}{G_w^2} \left( \frac{\alpha_w \lambda_p}{\mu_p} \right) \text{Var}(\varepsilon_b^w) \quad (4.10)$$

เมื่อ  $\varepsilon_b$  เป็นกำลังสัญญาณที่รับได้ต่อบิต เมื่อเราวัดกำลังสัญญาณนั้นในหน่วยของ dB จะทำให้มีการแจกแจงแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ย  $m$  และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma$  เป็น [1, 2]

$$\varepsilon_i (dB) = 10 \log_{10} \varepsilon_i \quad (4.11)$$

ดังนั้นเมื่อ  $\varepsilon_i = \varepsilon_b^v = \varepsilon_b^w$  เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบลอการิทึมด้วยค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E[\varepsilon_i] = \exp\left[\frac{1}{2}(\beta\sigma)^2\right] \exp(\beta m) \quad (4.12)$$

$$\text{Var}(\varepsilon_i) = \exp[2(\beta\sigma)^2] \exp(2\beta m) \quad (4.13)$$

เมื่อ  $\beta = (\ln 10)/10$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $Z$  ได้เป็น

$$E[Z] = \frac{1}{G_v} \left( \frac{\sigma_v \lambda_v}{\mu_v} \right) \exp\left[\beta m_v + \frac{1}{2}(\beta\sigma)^2\right] + \frac{1}{G_w} \left( \frac{\alpha_w \lambda_p}{\mu_p} \right) \exp\left[\beta m_w + \frac{1}{2}(\beta\sigma)^2\right] \quad (4.14)$$

$$\text{Var}(Z) = \frac{1}{G_v^2} \left( \frac{\sigma_v \lambda_v}{\mu_v} \right)^2 \exp[2\beta m_v + 2(\beta\sigma_v)^2] + \frac{1}{G_w^2} \left( \frac{\alpha_w \lambda_p}{\mu_p} \right)^2 \exp[2\beta m_w + 2(\beta\sigma_w)^2] \quad (4.15)$$

เนื่องจากตัวแปรสุ่ม  $Z$  นี้เป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอด เมื่อนำทฤษฎีเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) มาใช้ ตัวแปรสุ่ม  $Z$  ที่ได้จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเกาส์ ดังนั้นความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เกิดขึ้นจะเป็น

$$P_{\text{blocking}} \approx Q\left(\frac{Z_0 - E[Z]}{\sqrt{\text{Var}(Z)}}\right) \quad (4.16)$$

#### 4.2.2 ทฤษฎีและการหน่วงทางเวลา(Throughput and Delay)

เมื่อพิจารณาระบบแบบช่องเวลา (Time Slot) ซึ่งผู้ใช้แต่ละรายสามารถส่งแพ็กเกจในช่วงเวลาหนึ่ง แพ็กเกจของระบบเครือข่ายนั้นจะมีพารามิเตอร์ที่แยกกันคือค่าทฤษฎี และค่าการประวิงเวลา โดยที่ค่าทฤษฎีจะได้จากจำนวนเฉลี่ยของแพ็กเกจที่รับได้สำเร็จต่อช่องเวลาโดยที่ได้จากจำนวนของ ทราฟฟิกที่แน่นอนซึ่งจะทำให้รู้ถึงค่าเฉลี่ยการประวิงเวลาของแพ็กเกจด้วย ดังนั้นเราสามารถแสดงค่าทฤษฎีได้ดังสมการ

$$S = \sum_{k=1}^N k P_T(k) P_s(k) \quad (4.17)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่  $N$  วนละจำนวนของผู้ใช้ต่อเซลล์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_T(k)$  = ความน่าจะเป็นของ  $k$  แพ็กเกจที่เริ่มส่งในช่วงเวลา

สมมติให้ทราฟฟิกที่เข้ามา มีการแจกแจงแบบปัวซอง เพราะฉะนั้น  $P_T(k)$  จะได้ดังสมการ

$$P_T(k) = \frac{G^k}{k!} e^{-G} \quad (4.18)$$

ทราฟฟิกที่เข้ามา  $G$  จะได้จากค่าจำนวนเฉลี่ยของแพ็กเกจที่เข้ามาต่อช่วงเวลา ซึ่งในที่นี้จะรวมถึงแพ็กเกจใหม่และแพ็กเกจที่ส่งซ้ำ ในอีกความหมายหนึ่ง  $P_S(k)$  เป็นความน่าจะเป็นที่แพ็กเกจ  $k$  ส่งได้สำเร็จใน Timeslot เพราะฉะนั้นในสถานการณ์ที่เกิดการติดขัดขึ้นในระบบ ทำให้แพ็กเกจที่ส่งเข้ามาไม่สามารถส่งได้ ดังนั้น  $P_S(k)$  จะนิยามได้เป็น

$$P_S(k) = 1 - P_{blocking}(k) \quad (4.19)$$

เมื่อ  $P_{blocking}(k)$  เป็นดังสมการที่ (18) และค่าการประวิงเวลา (Delay,  $D$ ) เป็นค่าเฉลี่ยของเวลาในการส่งและรับแพ็กเกจได้โดยสำเร็จ ตามสมการ

$$D = 1.5 + \left[ \frac{G}{S} - 1 \right] (\lceil \delta + 1 \rceil + 1 + 2d) \quad (4.20)$$

โดย

$\delta$  = ค่าเฉลี่ยของการหน่วงทางเวลาถูกส่งใหม่

$S$  = ทราฟฟิค

$G$  = Offered Traffic

$\lceil X \rceil$  = จำนวนเต็มที่มากที่สุดที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $X$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการวิเคราะห์เชิงเลข

ในบทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด (Blocking Probability) ทroughput และ การหน่วงทางเวลา (Delay) ด้วยการใช้โปรแกรม Matlab เพื่อเลียนแบบการทำงาน วิชยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาผลของตัวแปรที่แสดงถึงปริมาณทราฟฟิกของเสียงและการบริการ WWW ตัวแปรที่แสดงถึงความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายที่ความเร็วต่างๆ และ จำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้โดยภาครับที่สถานีฐานเนื่องจากช่องสัญญาณแบบหลายวิถี โดยได้แบ่งเป็นหัวข้อของการวิเคราะห์ได้ดังนี้

#### 5.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด (Blocking Probability) ของระบบ

5.1.1 ผลของปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียงที่มีต่อความน่าจะเป็นของการติดขัดของการบริการ WWW ของระบบ

5.1.2 ผลของความเร็วของเครื่องลูกข่ายที่ค่าต่างๆ ที่มีต่อความน่าจะเป็นของการติดขัดของการบริการ WWW ของระบบ

5.1.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path) ที่มีต่อความน่าจะเป็นของการติดขัดของการบริการ WWW ของระบบ

#### 5.2 การวิเคราะห์ทroughput (Throughput) ของระบบ

5.2.1 ผลของปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียงที่มีต่อทroughput ของระบบ

5.2.2 ผลของความเร็วที่ค่าต่างๆ ของเครื่องลูกข่ายที่มีต่อทroughput ของระบบ

5.2.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path) ที่มีต่อทroughput ของระบบ

#### 5.3 การวิเคราะห์การหน่วงเวลา (Delay) ของระบบ

5.3.1 ผลของปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียงที่มีต่อการหน่วงเวลาของระบบ

5.3.2 ผลของความเร็วที่ค่าต่างๆ ของเครื่องลูกข่ายที่มีต่อการหน่วงเวลา ของระบบ

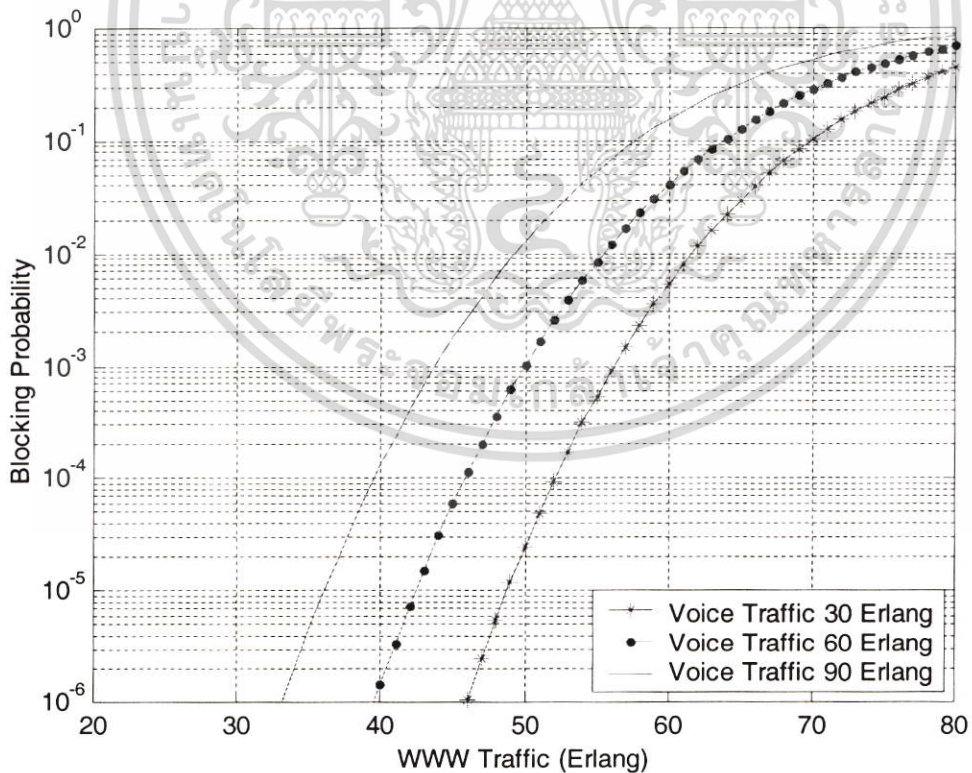
5.3.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path) ที่มีผลต่อการหน่วงเวลา ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด (Blocking Probability) ของระบบ

### 5.1.1 ผลของปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียงที่มีต่อความน่าจะเป็นของการติดขัดของการบริการ WWW ของระบบ

รูปที่ 5.1 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการติดขัดในระบบซีดีเอ็มเอแถบความถี่กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิธของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30, 60 และ 90 เฮอร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่า = 0.83 dB (ค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 30 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 4$  เส้นทาง) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณ ทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  ที่ค่ามากขึ้นจะมีผลทำให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบนั้นสูงขึ้น (เมื่อพิจารณาที่  $(\lambda/\mu)_w$  ที่เท่ากัน) นั่นคือโอกาสที่เครื่องลูกข่ายที่จะเข้ามาร้องขอให้บริการช่องสัญญาณจะถูกปฏิเสธจากระบบมีมากขึ้น สามารถกล่าวในทำนองเดียวกันได้ว่าปริมาณทราฟฟิกการบริการ WWW  $(\lambda/\mu)_w$  จะให้บริการโดยระบบได้น้อยลงเมื่อปริมาณทราฟฟิกของบริการทางเสียงมีค่าสูงขึ้น (พิจารณาที่ความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เท่ากัน)

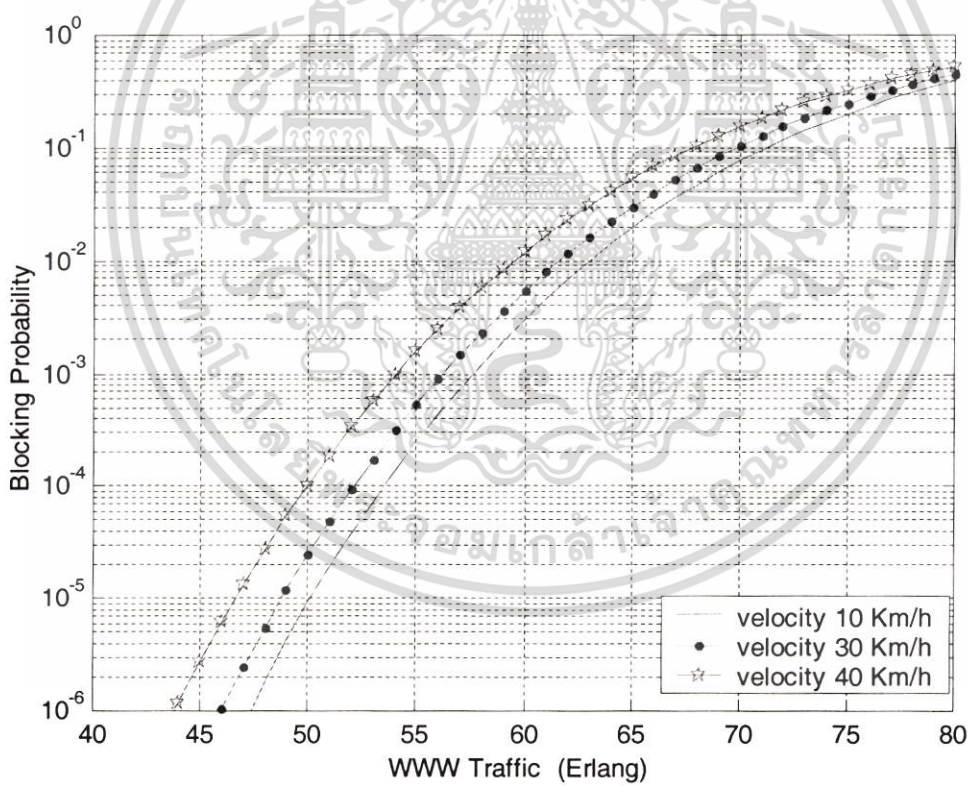


รูปที่ 5.1 ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบเมื่อจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการ

เสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่า 30, 60 และ 90 Erlang ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ผลของความเร็วของเครื่องลูกข่ายที่ค่าต่างๆ ที่มีต่อความน่าจะเป็นของการติดขัดของการบริการ WWW ของระบบ

รูปที่ 5.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการติดขัดในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิทของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30 เฮอร์แลง ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะได้จากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 10, 30 และ 40 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 4$  เส้นทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วของเครื่องลูกข่ายที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบนั้นสูงขึ้น (เมื่อพิจารณาที่  $(\lambda/\mu)_w$  ที่เท่ากัน) นั่นคือโอกาสที่เครื่องลูกข่ายที่จะเข้ามาร้องขอใช้บริการช่องสัญญาณจะถูกปฏิเสธจากระบบมีมากขึ้น สามารถกล่าวในทำนองเดียวกันได้ว่าปริมาณทราฟฟิกการบริการ WWW  $(\lambda/\mu)_w$  จะให้บริการโดยระบบได้น้อยลงเมื่อความเร็วของเครื่องลูกข่ายเร็วขึ้น (พิจารณาที่ความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เท่ากัน)

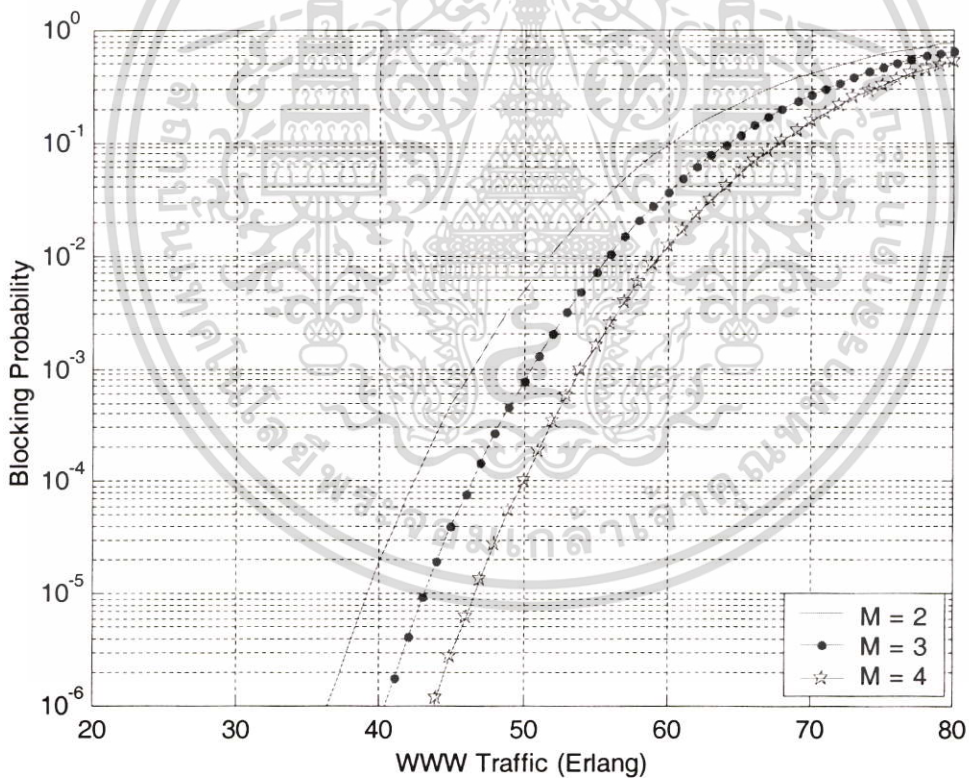


รูปที่ 5.2 ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบเมื่อเครื่องลูกข่ายในระบบมีความเร็ว 10, 30 และ 40 Km/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path) ที่มีต่อการบริการ WWW ของระบบ

รูปที่ 5.3 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการติดขัดในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิธของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30 เฮอร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 30 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 2, 3$  และ 4 เส้นทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่จำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐานที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบนั้นลดลง(เมื่อพิจารณาที่  $(\lambda/\mu)_w$  ที่เท่ากัน) นั่นคือโอกาสที่เครื่องลูกข่ายที่จะเข้ามาร้องขอใช้บริการช่องสัญญาณจะถูกปฏิเสธจากระบบมีน้อยลง สามารถกล่าวในทำนองเดียวกันได้ว่าปริมาณทราฟฟิกการบริการ WWW  $(\lambda/\mu)_w$  จะให้บริการโดยระบบได้มากขึ้นเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้นั้นมีจำนวนมากขึ้น (พิจารณาที่ความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เท่ากัน)

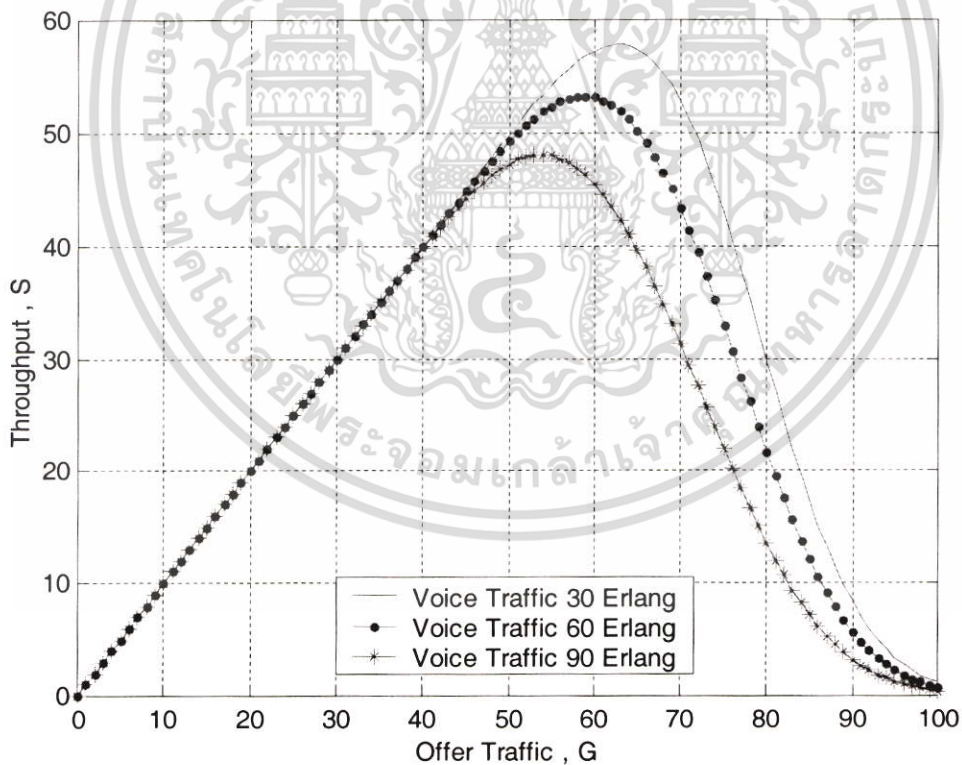


รูปที่ 5.3 ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M$  มีค่า 2, 3 และ 4 เส้นทางตามลำดับ

## 5.2 การวิเคราะห์ทราฟฟิค (Throughput) ของระบบ

### 5.2.1 ผลของปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียงที่มีต่อทราฟฟิคของระบบ

รูปที่ 5.4 แสดงค่าทราฟฟิคในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิทของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30, 60 และ 90 เอรัง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่า = 0.83 dB (ค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 30 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 4$  เส้นทาง) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  ที่ค่ามากขึ้นจะมีผลทำให้ทราฟฟิคของระบบนั้นลดลง นั่นคือจำนวนแพคเกจเฉลี่ยในระบบที่สามารถส่ง - รับได้สำเร็จใน timeslot นั้นลดลงเมื่อปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  ที่ค่ามากขึ้นนั่นเอง

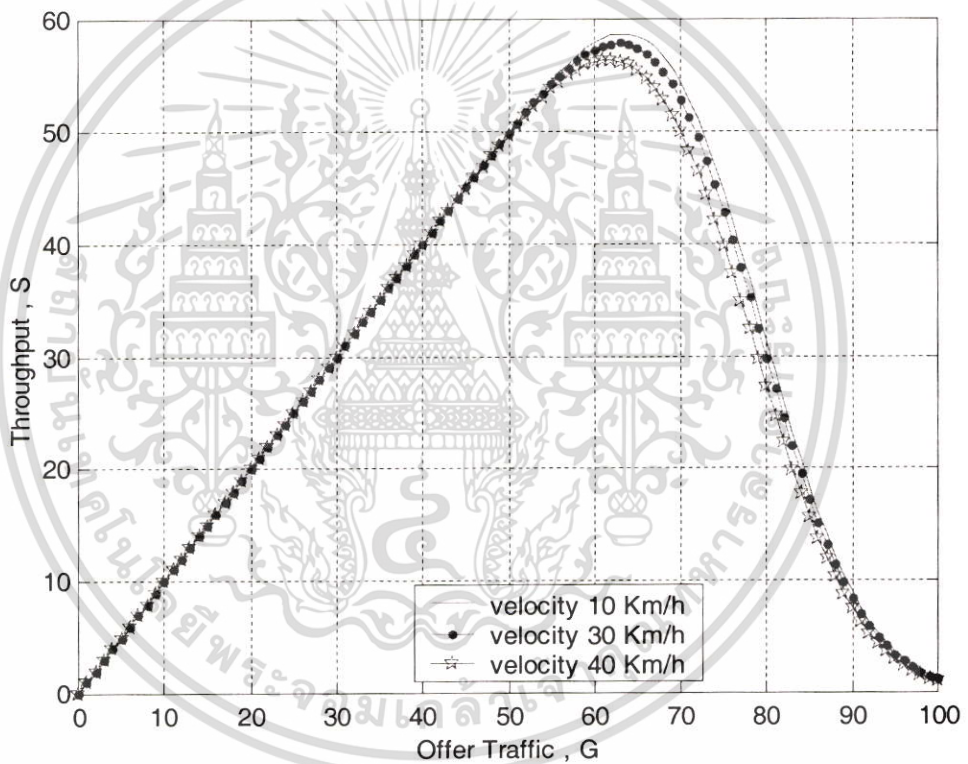


รูปที่ 5.4 ทราฟฟิคของระบบเมื่อจำนวนปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่า 30, 60 และ 90 Erlang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.2 ผลของความเร็วที่ค่าต่างๆ ของเครื่องลูกข่ายที่มีต่อทรูพุทของระบบ

รูปที่ 5.4 แสดงค่าทรูพุทในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิทของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30 เฮอร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 10, 30 และ 40 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 4$  เส้นทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วของเครื่องลูกข่ายที่เร็วขึ้นจะมีผลทำให้ทรูพุทของระบบนั้นลดลง นั่นคือจำนวนแพคเกจเฉลี่ยในระบบที่สามารถส่ง - รับได้สำเร็จใน timeslot นั้นลดลงเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นนั่นเอง

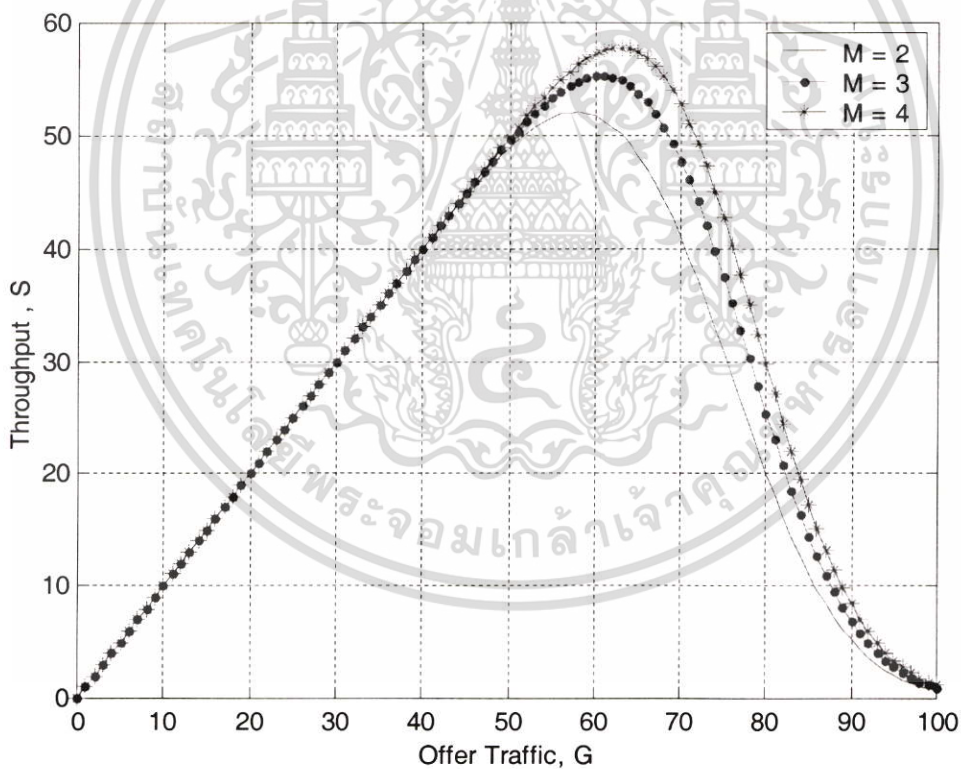


รูปที่ 5.5 ทรูพุทของระบบเมื่อเครื่องลูกข่ายในระบบมีความเร็ว 10, 30 และ 40 Km/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path) ที่มีต่อทราฟฟิคของระบบ

รูปที่ 5.5 แสดงค่าทราฟฟิคในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิธของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิคการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30 เฮอร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 30 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 2, 3$  และ 4 เส้นทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้นั้นมีจำนวนมากขึ้นจะมีผลทำให้ทราฟฟิคของระบบนั้นสูงขึ้น นั่นคือจำนวนแพคเกจเฉลี่ยในระบบที่สามารถส่ง - รับได้สำเร็จใน timeslot นั้นสูงขึ้นเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้จากภาครับที่สถานีฐานมีจำนวนมากขึ้นนั่นเอง



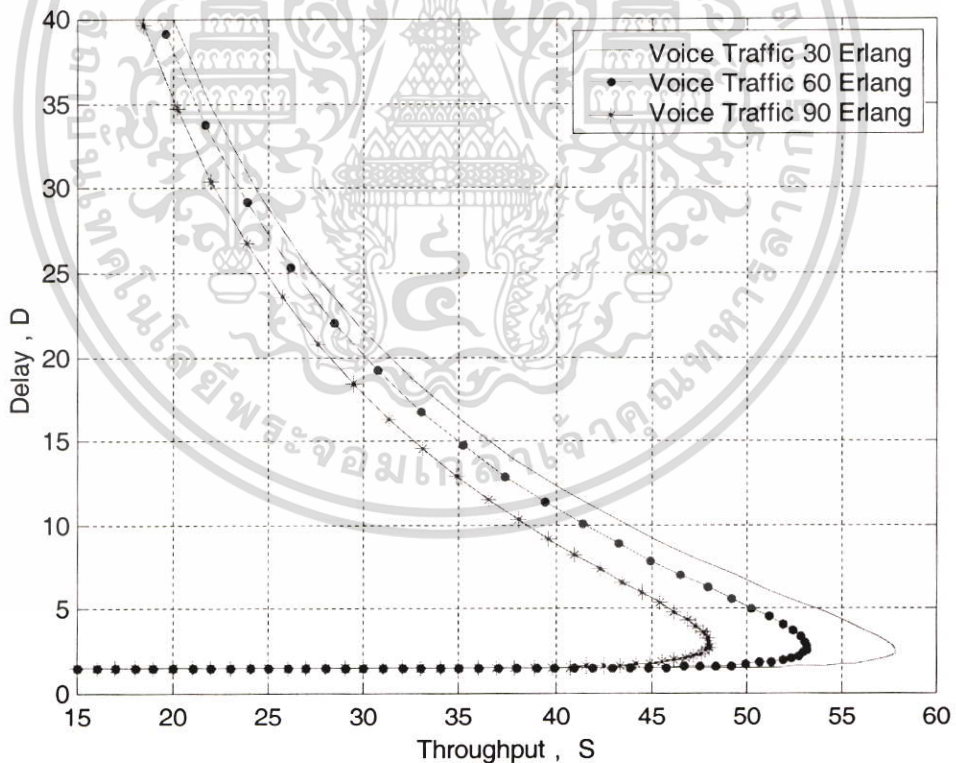
รูปที่ 5.6 ทราฟฟิคของระบบเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M$  มีค่า 2, 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 การวิเคราะห์การหน่วงเวลา (Delay) ของระบบ

### 5.3.1 ผลของปริมาณทราฟฟิกของการบริการทางเสียงที่มีต่อการหน่วงทางเวลาของระบบ

รูปที่ 5.7 แสดงการหน่วงเวลาในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิธของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30, 60 และ 90 เอร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่า = 0.83 dB (ค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 30 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 4$  เส้นทาง) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเนื่องจากปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  ที่ค่ามากขึ้นจะทำให้ทราฟฟิกของระบบนั้นลดลง (รูปที่ 5.4) ส่งผลให้การหน่วงเวลาของระบบนั้นสูงขึ้นสอดคล้องกัน นั่นคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งแพคเกจในระบบที่สามารถส่ง - รับให้สำเร็จนั้นใช้เวลามากขึ้น เมื่อปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  ที่ค่ามากขึ้นนั่นเอง

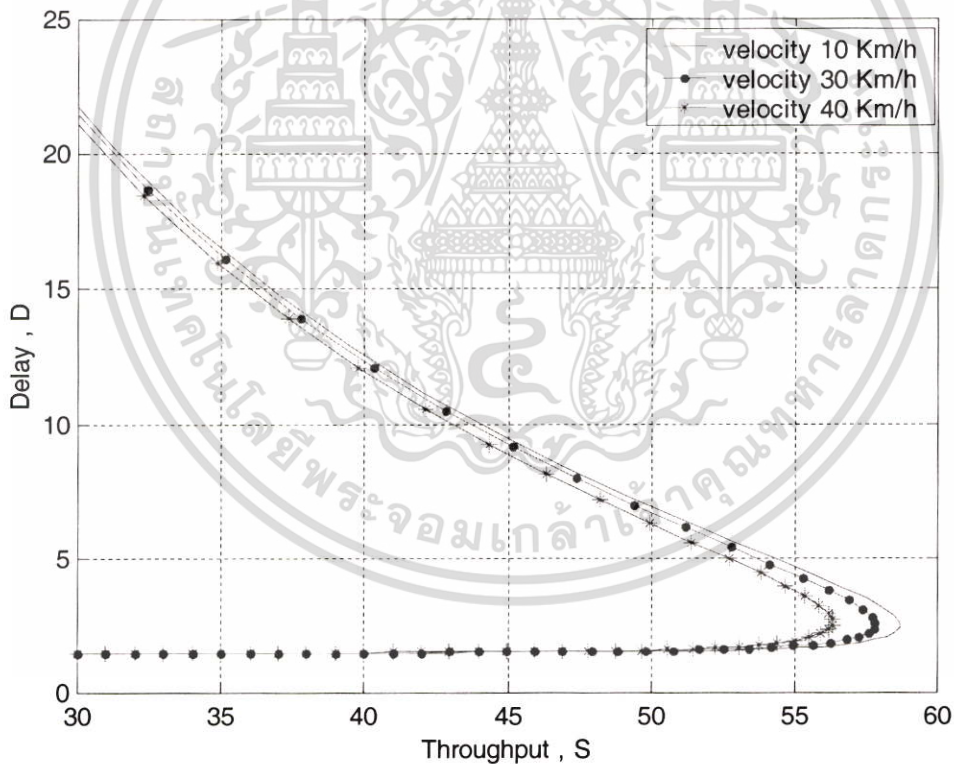


รูปที่ 5.7 การหน่วงเวลาของระบบเมื่อจำนวนปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่า 30, 60 และ 90 Erlang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 ผลของเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ค่าต่าง ๆ ที่มีต่อการหน่วงทางเวลาของระบบ

รูปที่ 5.8 แสดงการหน่วงทางเวลาในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิทของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทรัพยากรบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30 เออร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 10, 30 และ 40 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 4$  เส้นทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเนื่องจากความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายที่ค่าเร็วขึ้นจะทำให้ทรูพุทของระบบนั้นลดลง (รูปที่ 5.5) ส่งผลให้การหน่วงทางเวลาของระบบนั้นสูงขึ้นสอดคล้องกัน นั่นคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งแพคเกจจ็ในระบบที่สามารถส่ง - รับให้สำเร็จนั้นใช้เวลามากขึ้น เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นนั่นเอง

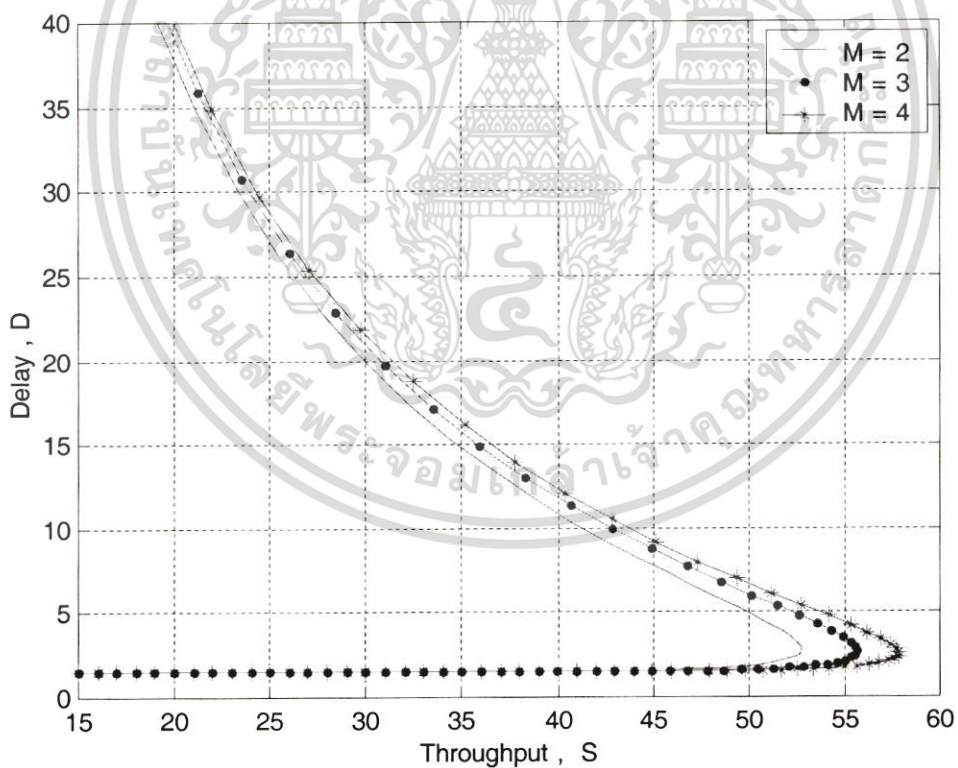


รูปที่ 5.8 การหน่วงทางเวลาของระบบเมื่อเครื่องลูกข่ายในระบบมีความเร็ว 10, 30 และ 40 Km/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.3 ผลของจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ (Resolvable Path) ที่มีต่อการหน่วงทางเวลาของระบบ

รูปที่ 5.9 แสดงการหน่วงทางเวลาในระบบซีดีเอ็มเอแบนด์กว้าง WCDMA โดยมีค่าแบนด์วิทของช่องสัญญาณ 5 MHz โดยเปรียบเทียบกันเมื่อกำหนดปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียง  $(\lambda/\mu)_v$  มีค่าเท่ากับ 30 เออร์แลง โดยที่ค่า  $\sigma_v$  และ  $\sigma_w$  จะมีค่าจากตารางที่ 1 โดยเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 30 Km/h และจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M = 2, 3$  และ 4 เส้นทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเนื่องจากจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐานมีจำนวนมากขึ้นจะทำให้ทราฟฟิกของระบบนั้นดีขึ้น (รูปที่ 5.6) ส่งผลให้การหน่วงทางเวลาของระบบนั้นลดลงซึ่งสอดคล้องกัน นั่นคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งแพ็คเกจในระบบที่สามารถส่ง - รับให้สำเร็จนั้นใช้เวลาน้อยลง เมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐานมีจำนวนมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 5.9 การหน่วงทางเวลาของระบบเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน  $M$  มีค่า 2, 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การวิเคราะห์และสรุปผล

ในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ ผู้ใช้สามารถส่งสัญญาณไปในแบนด์วิดท์เดียวกันในเวลาเดียวกัน โดยใช้ Pseudo-Noise (PN) code ที่ต่างกัน ซึ่งค่าความจุของระบบจะขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้ สัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ และการควบคุมกำลัง ถ้าไม่มีการควบคุมกำลังจะทำให้สัญญาณที่มาถึงเครื่องรับที่สถานีฐานของแต่ละสัญญาณจะมีค่ากำลังไม่เท่ากัน เนื่องจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกล ซึ่งเกิดจากการรับกำลังของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้ได้สูงกว่ากำลังของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ไกลกว่า นอกจากนี้ยังเกิดจากผลของการบดบังซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปจากสภาพแวดล้อมรอบข้างของสถานีฐาน ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษากการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัด ทรุษุท และการหน่วงทางเวลา โดยพิจารณาปริมาณทราฟฟิกของการบริการทางเสียงและการบริการ WWW ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐาน

จากผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบ (รูปที่ 5.1) เมื่อปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียงมีค่าสูงขึ้นไปจะส่งผลกระทบต่อปริมาณทราฟฟิกของ WWW ที่ให้บริการได้ในระบบจะลดลง หรือกล่าวได้ว่าปริมาณทราฟฟิกการบริการเสียงและการบริการ WWW ที่ระบบสามารถจะรองรับได้จะมีผลกระทบซึ่งกันและกัน เมื่อพิจารณาในตัวแปรที่แสดงถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย (รูปที่ 5.2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงระดับความผิดพลาดในการควบคุมกำลังมีความผิดพลาดมากขึ้นเพราะกลไกในการควบคุมกำลังทำได้ยากขึ้น ดังนั้นจะทำให้โอกาสที่เครื่องลูกข่ายนั้นจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้งานจากช่องสัญญาณมีมากขึ้น นั่นคือความน่าจะเป็นของการติดขัดจะสูงขึ้นเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาในจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้จากภาครับที่สถานีฐาน (รูปที่ 5.3) พบว่าเมื่อจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ดังกล่าวมีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดในระบบมีค่าต่ำลง เนื่องจากเมื่อจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้มีจำนวนมากขึ้นจะส่งผลดีต่อค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่ได้จะมีค่าดีขึ้นทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นนั่นเอง

การวิเคราะห์ทรุษุทของระบบ เมื่อทรุษุทของระบบแสดงถึงจำนวนแพคเกจเฉลี่ยที่สามารถส่งและรับแพคเกจได้สำเร็จ ใน Timeslot ในการพิจารณาปริมาณทราฟฟิกของเสียงที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 5.4) พบว่า ทรุษุทของระบบจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของทราฟฟิกของเสียงที่เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าความน่าจะเป็นของการติดขัดในรูปที่ 5.1 นั้นมีความสัมพันธ์กับทรุษุทของระบบในรูป 5.4 โดยเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าจะเป็นของการติดขัดมีค่าสูงขึ้นจะมีผลให้ทรูพุทของระบบมีค่าต่ำลงนั่นเอง และในรูป 5.5 เมื่อเครื่องลูกข่ายมีความเร็วที่สูงขึ้นมีผลทำให้ทรูพุทของระบบที่ได้นั้นมีค่าลดลงนั่นคือบ่งบอกว่าเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นนั้นปริมาณแพคเกจในการส่ง-รับให้สำเร็จนั้นได้น้อยลง และในรูปที่ 5.6 เมื่อจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ที่ภาครับของสถานีฐานมีจำนวนมากขึ้น มีผลทำให้ทรูพุทของระบบดีขึ้นเนื่องจากเมื่อกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวนดีขึ้นจากจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้เพิ่มขึ้นจึงทำให้คุณภาพสัญญาณดีขึ้นจึงมีผลให้ทรูพุทของระบบดีขึ้นสอดคล้องกันนั่นเอง

การวิเคราะห์การหน่วงทางเวลาของระบบ ในรูป 5.7 เมื่อการหน่วงทางเวลาบอถึงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งแพคเกจให้สำเร็จ พบว่าเมื่อทราฟฟิกของการบริการทางเสียงมีปริมาณมากขึ้น มีผลให้ความหน่วงทางเวลาสูงขึ้น และในรูปที่ 5.8 ความเร็วของเครื่องลูกข่ายที่เร็วขึ้นมีผลให้การหน่วงเวลานั้นมากขึ้นสอดคล้องกับผลของทรูพุท โดยทรูพุทจะลดลงเมื่อความเร็วของเครื่องลูกข่ายสูงขึ้นนั่นเอง และสุดท้ายในรูปที่ 5.8 จำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้มีจำนวนมากขึ้นมีผลทำให้การหน่วงทางเวลาของระบบลดลง

จากผลการวิเคราะห์ข้างบนสามารถสรุปได้ว่า

1. ความน่าจะเป็นของการติดขัดของระบบซึ่งบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นที่เครื่องลูกข่ายที่เข้ามาใหม่จะร้องขอใช้บริการช่องสัญญาณแล้วมีโอกาสจะถูกปฏิเสธจากระบบนั้นจะมีผลกระทบจากปริมาณของทราฟฟิกทางเสียงที่เพิ่มขึ้นกล่าวคือ เมื่อมีทราฟฟิกบริการทางเสียงเพิ่มขึ้นความน่าจะเป็นของการติดขัดจะสูงขึ้น แต่สามารถปรับปรุงความน่าจะเป็นของการติดขัดดังกล่าวได้โดยให้เครื่องลูกข่ายมีความเร็วที่ลดลงหรือเพิ่มจำนวนเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้จากภาครับที่สถานีฐาน
2. ทรูพุทของระบบเป็นคุณสมบัติที่บอถึงปริมาณแพคเกจที่สามารถ ส่ง - รับ ได้สำเร็จในช่องเวลา ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะลดลงเมื่อทราฟฟิกของการบริการเสียงมีมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันทรูพุทของระบบจะดีขึ้นเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายลดลง และจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้จากภาครับของสถานีฐานมีจำนวนเพิ่มขึ้น
3. การหน่วงทางเวลาของระบบ เป็นคุณสมบัติที่บอถึงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งแพคเกจให้สำเร็จดังกล่าว พบว่าปริมาณทราฟฟิกของการบริการทางเสียงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การหน่วงเวลาดังกล่าวสูงขึ้น และการหน่วงทางเวลาจะลดลงเมื่อเครื่องลูกข่ายมีความเร็วที่ลดลงและจำนวนของเส้นทางที่สามารถแก้ไขได้ดังกล่าวมีจำนวนมากขึ้น
4. ความน่าจะเป็นของการติดขัด ทรูพุท และ การหน่วงทางเวลาของระบบ มีแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อระบบมีความน่าจะเป็นในการติดขัดที่สูงขึ้น ทรูพุทของระบบจะลดลงและมีผลทำให้การหน่วงเวลานั้นมีมากขึ้นสอดคล้องกันดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Lee J. S. and Miller L. E. *CDMA Systems Engineering Handbook*. Boston, Artech House, 1998.
- [2] Sklar B. *Digital Communications: Fundamental and Applications*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 2001.
- [3] Proakis J. G. *Digital Communications*. Boston, McGraw Hill, 2001.
- [4] Young C. S. *CDMA RF System Engineering*. Boston, Artech House, 1998.
- [5] Viterbi A.M., *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*. Addison-Wesley Publishing Company
- [6] Theodore S. Rappaport., *Wireless Communication*. New Jersey, Prentice Hall PRT
- [7] Molina, M.Castelli, P. Foddis, "Web traffic modeling exploiting TCP connections temporal clustering through HTML-REUCE", *IEEE Network*, 14(3);46-55, May/June2000.
- [8] Assen Golaup, A.H.Aghvami, "Reverse Link Erlang Capacity of a W-CDMA System Supporting Voice and WWW. Users", *VTC 2001 Fall IEEE VTS 54<sup>th</sup>*, volume 2, 7-11 Oct. 2001, pp.605-609.
- [9] J.M. Romero Jerez, M. Uriz Garcia, A. Diaz Estrella, "Performance Analysis of a Cellular Slotted CDMA System with Imperfect Power Control over a Rayleigh Fading Channel", *Multiaccess, Mobility and Teletraffic in Wireless Communications*, E.Biglieri, L. Fratta, B. Jabbari, Eds., pp.253-262 Kluwer Academic Publishers,1999.
- [10] B. Hashem, E. Sousa, "Increasing the DS/CDMA System Reverse link by Equalizing the Performance of different Velocity Users", *IEEE* pp.979-984, 1998.
- [11] Viterbi A.M., Viterbi A.J., "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System", *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol.11, No.6, pp.892-899, August 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Pattana Piriyawirut, Kobchai Dejhan, Surapun Yimman AND Wiren Rattanakoch  
 "Performance Analysis of CDMA System Integrated Voice and WWW Traffic with  
 Different Velocity Users", 2004 International Conference on Control, Automation  
 and Systems, ICCAS 2004, Bangkok ,Thailand.
- [2] Pattana Piriyawirut, Kobchai Dejhan, Surapun Yimman AND Wiren Rattanakoch  
 "Reverse Link Analysis of CDMA System Supporting Heterogeneous Traffic with  
 Different Velocity Users", International Symposium on Communications and  
 Information Technologies, ISCIT 2004, Sapporo, Japan.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพัฒนา พิริยวิรุตม์
วัน เดือน ปีเกิด	6 พฤศจิกายน 2510 ที่ จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่	16/59 ม.2 ถนนพัฒนาการ บางแค บางแค กรุงเทพฯ 10160
ประวัติการศึกษา	2537 อดิศาสตร์ศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบโทรคมนาคม 2.) ระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม
ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2532-2533	ตำแหน่งช่างเทคนิค บริษัทสีโอนิก จำกัด - วิจัยและพัฒนา ระบบโซลิตัสเคท สวิทซ์ - วิจัยและพัฒนา ระบบโพลีเซลล์ อินสทรูเมนต์
พ.ศ.2533-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรบริษัท ทศท.คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) - สํารวจออกแบบ ประมวลการระบบโครงข่ายโทรศัพท์ต่อนอก - ออกแบบพิจารณารายละเอียดวัสดุอุปกรณ์ระบบโครงข่ายโทรศัพท์ ต่อนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้