

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เอจ ทูท และการประวิงของ
ระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA ที่แสดงถึงสหสัมพันธ์ของ
สัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

OUTAGE PROBABILITY THROUGHPUT AND DELAY ANALYSIS OF
CELLULAR DS-CDMA SYSTEM IN THE PRESENCE OF CORRELATED
SIGNAL AND INTERFERENCE

วิเรนทร์ รัตติกช

WIREN RATTANAKOCH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-320-8

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจ ทรูลูท และการประวิงของ
ระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA ที่แสดงถึงสหสัมพันธ์ของ
สัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

OUTAGE PROBABILITY THROUGHPUT AND DELAY ANALYSIS OF
CELLULAR DS-CDMA SYSTEM IN THE PRESENCE OF CORRELATED
SIGNAL AND INTERFERENCE



วิเรนทร์ รัตนคช

WIREN RATTANAKOCH

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49553
วัน, เดือน, ปี 4 ก.พ. 2547

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

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-320-8

OUTAGE PROBABILITY THROUGHPUT AND DELAY ANALYSIS OF
CELLULAR DS-CDMA SYSTEM IN THE PRESENCE OF CORRELATED
SIGNAL AND INTERFERENCE

WIREN RATTANAKOCH

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

2003

ISBN 974-324-320-8

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจ ทูรพุทและการประวิงของระบบ
เซลลูลาร์ DS-CDMA ที่แสดงถึงสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณ
แทรกสอด
OUTAGE PROBABILITY THROUGHPUT AND DELAY ANALYSIS
OF CELLULAR DS-CDMA SYSTEM IN THE PRESENCE OF
CORRELATED SIGNAL AND INTERFERENCE

ชื่อนักศึกษา นายวิเรนทร์ รัตนคช

รหัสประจำตัว 44061733

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.ชม กัมปาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาค	
รศ.ดร.ถวิล	พึ่งมา	
รศ.สมยศ	จุนณะปิยะ	
รศ.ดร.ปัญญา	ฐิติมัทธมา	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 21 เมษายน 2546 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัครชู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....6.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ. 2546

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจ ทราฟฟิค และการ ประวิงของระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA ที่แสดงสหสัมพันธ์ ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด
นักศึกษา	นายวิเรนทร์ รัตนคช
รหัสประจำตัว	44061733
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.ชม กิมปาน

บทคัดย่อ

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลลูลาร์ DS-CDMA ในการเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน เนื่องจากอัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) เป็นเหตุให้คุณภาพของการให้บริการและความจุของระบบลดลง โดยการนำสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด มาพิจารณาในการวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ (Outage probability) ทราฟฟิค (Throughput) และการประวิง (Delay) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด ในการให้บริการทางเสียงและข้อมูล ช่วงระยะเวลาและความถี่ของการเกิดเอาต์เตจ ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ (Outage) ลดลง ค่าของทราฟฟิคเพิ่มขึ้น นั่นก็คือสมรรถนะของระบบสูงขึ้นด้วย

Thesis Title	Outage Probability Throughput and Delay Analysis of Cellular DS-CDMA System in the Presence of Correlated Signal and Interference
Student	Mr.Wiren Rattanakoch
Student ID.	44061733
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Suthichai Noppanakeepong
Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chom Kimpan

ABSTRACT

This thesis proposes analysis of performance of DS-CDMA cellular in the reverse link from mobile to the base station. Because the ratio of signal and interference is lower than required threshold value, quality of service and capacity of system are decreased. Correlated signal and interference is taking in to account of analyzing outage probability, throughput and delay with power controlling errors, supporting voice and data users, time duration and frequency of outage probability. Results from the numerical analysis show that when taking in to account of correlated signal and interference, results decreased outage probability and increased throughput, that is, enhancing performance of the system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาดีพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสและให้ความช่วยเหลือ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือทุกด้านตลอดมา

ขอขอบคุณท่าน รศ.ดร.เอื้อน ปิ่นเงิน และ รศ.ดร.ชม กัมปาน ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนทรัพยากรต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ Information Science, ReCCIT และให้การชี้แนะต่างๆ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปัญญา จิติมัชฌิมา ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนในทุกๆด้าน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่แว่น(ปู) พี่พัฒนา พี่เป็ยก พี่ปิง พี่ชนม์ พี่อำนาจ สมชาย หนูม สัน ยา เอก ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณดวงฤทัย สุคนธปฏิภาค ที่คอยให้กำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด

คุณค่า และประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลมาจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ คุณพ่อ คุณแม่ และ ครู-อาจารย์ ทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

วิเรนทร์ รัตนคช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 หลักการทั่วไประบบซีดีเอ็มเอ (CDMA).....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่.....	6
2.2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง.....	6
2.2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของความถี่.....	10
2.2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของเวลา.....	13
2.2.4 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการไฮบริด.....	14
2.3 ระบบโอสฮา.....	15
2.3.1 ระบบโอสฮาแท้.....	15
2.3.2 ระบบสลีตโอสฮา.....	15
2.4 เซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็มเอ.....	18
2.4.1 สัญญาณแทรกสอดในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์.....	18
2.4.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	18
2.4.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	20

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.2 สัญญาณแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์.....	23
2.4.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	23
2.4.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	24
2.4.3 ความจุในระบบเซลล์ลูลารี่ซีดีเอ็มเอ.....	25
2.5 การควบคุมกำลังส่ง.....	26
2.5.1 เทคนิคการควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารทิศทางรีเวอร์สลิงค์.....	27
2.5.2 เทคนิคการควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารทิศทางฟอร์เวอร์สลิงค์.....	27
บทที่ 3 การวิเคราะห์และแบบจำลองระบบที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและ สัญญาณแทรกสอด.....	29
3.1 การแพร่กระจายของคลื่นบนช่องสัญญาณ.....	29
3.1.1 การสูญเสียทางระยะทาง (Path loss).....	30
3.1.2 การมัลติพาท (Multipath).....	31
3.1.3 การบดบัง (Shadowing).....	31
3.2 ความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าต์เดจ.....	32
3.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าต์เดจที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด.....	34
3.3.1 การพิจารณาการแทรกสอดภายในเซลล์.....	37
3.3.2 การพิจารณาการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	37
3.4 การวิเคราะห์ช่วงระยะเวลาของการเกิดเอ้าต์เดจ.....	40
3.5 การวิเคราะห์ทรูพุทและการประวิง.....	43
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์.....	45
4.1 การวิเคราะห์การแทรกสอดภายในเซลล์.....	45
4.2 การวิเคราะห์การแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	67

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	68
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระยะห่างของเซลล์วงแหวนในระบบเซลล์สุริยะ.....	23
3.1 ตัวชี้กำลังการสูญเสียตามระยะทางสำหรับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน.....	30

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการของการเข้าถึงหลายทางแบบสเปคตรัมแผ่.....	4
2.2 การกำจัดสัญญาณแทรกสอด.....	5
2.3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SSMA.....	6
2.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS.....	7
2.5 การสร้างสัญญาณสเปคตรัมแผ่โดยการโมดูเลตรหัสแบบ BPSK โดยแกนตั้งเป็นขนาดของสัญญาณ.....	8
2.6 เครื่องรับสัญญาณ DS-SS.....	8
2.7 การครอบครองเวลา/ย่านความถี่ของสัญญาณ FH และสัญญาณ DS.....	11
2.8 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA.....	12
2.9 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA.....	13
2.10 การพล็อตระหว่างเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA.....	14
2.11 เครื่องส่งไฮบริด DS-FH.....	15
2.12 แสดงการส่งสัญญาณที่เกิดขึ้นในอโลฮาแท้ (Pure ALOHA).....	16
2.13 ช่วงเวลาที่ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนได้ง่ายของอโลฮาแท้ (Pure ALOHA).....	17
2.14 ช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนได้ง่ายของสลิตตเดี่ยวอโลฮา.....	18
2.15 ระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	22
2.16 ลักษณะและรัศมีเซลล์ในระบบเซลล์ลาร์.....	22
2.17 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (ฟอร์เวิร์ดลิงค์) ในระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ.....	22
2.18 ลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์.....	25
3.1 แสดงการสูญเสียตามระยะทาง การมัลติพาท การบดบัง.....	29
3.2 แสดงรูปแบบส่วนของ q	41
4.1 ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์.....	47
4.2 ค่าของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์.....	48
4.3 ค่าของการประวิงของเสียงที่มีการพิจารณาการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์.....	49

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ค่าของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์น และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	60
4.15 ค่าของการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์นและการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	61
4.16 ผลของทรูพุทของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์นสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์น และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	62
4.17 ค่าของทรูพุทของเสียงที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์น และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	63
4.18 ค่าของการประวิงของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์น และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	64
4.19 ช่วงระยะเวลาของความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าต์เตจที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด.....	65
4.20 ช่วงความถี่ของความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าต์เตจที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด.....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของและปัญหา

ในยุคปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ยุคของข้อมูลข่าวสาร ดังนั้นเทคโนโลยีทางการสื่อสารจึงมีความจำเป็นในการส่งข้อมูลข่าวสาร การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นที่แพร่หลายมากขึ้น และได้ขยายบทบาทเข้าสู่ในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากความต้องการในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น ประกอบกับความต้องการของผู้ใช้ที่ต้องการจะได้รับคุณภาพของการเชื่อมโยงของสัญญาณในการใช้บริการเพิ่มขึ้น ในการติดต่อสื่อสาร

เนื่องจากเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปดังนี้ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access หรือ FDMA) จะทำการแบ่งช่องสัญญาณต่างๆ ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณจะมีความถี่ไม่ตรงกัน ได้แก่ระบบ AMPS (Advanced Mobile Phone Service) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งช่วงเวลา (Time Division Multiple Access หรือ TDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะผลัดเปลี่ยนกันใช้แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่มีช่วงคาบเวลา (Time sharing) ไม่ตรงกัน ได้แก่ระบบ GSM (Global System for Mobile) และ 1800-DCS (1800-Digital Cellular System) การเข้าถึงหลายทางแบบแยกความแตกต่างทางรหัส (Code Division Multiple Access หรือ CDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะใช้แบนด์วิดท์เดียวกัน และใช้ในเวลาเดียวกัน โดยมีรหัสแตกต่างกัน

เนื่องจากในระบบ CDMA สามารถใช้ช่วงความถี่และช่วงเวลาเดียวกันได้ โดยมีรหัสที่แตกต่างกัน ในการพิจารณาคุณภาพของการเชื่อมโยงของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน ถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เมื่ออัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) การสูญเสียเนื่องจากการถูกบดบัง (Shadowing) เป็นเหตุให้คุณภาพของการให้บริการลดลงซึ่งจะถูกเรียกว่าเอาท์เตจ (Outage) ทำให้เกิดการสูญเสียในการส่งข้อมูลข่าวสาร ความจุของระบบเซลลูลาร์ [1-2] ก็สามารถถูกประเมินบนพื้นฐานของเอาท์เตจ ซึ่งทำให้สมรรถนะของระบบในการให้บริการจะลดลง

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์ คุณภาพของการเชื่อมโยงของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน เนื่องจากอัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) โดยนำการสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมาพิจารณาในการวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของการเกิดเอาท์เตจ (Outage) กับการ

ควบคุมกำลังส่งผิดพลาด ในการให้บริการทางเสียงและข้อมูล โดยทำการพิจารณาการแทรกสอดภายในเซลล์ (Intracell interferences) และการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (Othercell interference) และพิจารณาถึงช่วงระยะเวลาของการเกิดเอาต์เตจ และความถี่ของการเกิดเอาต์เตจ เพื่อให้คุณภาพในการให้บริการและความจุของระบบที่ได้สูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการให้บริการของระบบเซลล์ลูลาร์ DS-CDMA

1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนของงานเอกสารหลักของงานวิจัยนี้ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

บทคัดย่อ และAbstract

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงความเป็นมาและปัญหาในการเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 หลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA)

กล่าวถึงการเข้าถึงหลายทางแบบแผ่สเปคตรัมโดยใช้วิธีการต่างๆ โปรโตคอลของการเข้าถึงหลายทาง ระบบเซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็มเอ สัญญาณแทรกสอดในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์ สัญญาณแทรกสอดในทิศทางรีเวิร์ดลิงค์ ความจุของระบบเซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็มเอ และการควบคุมกำลังส่ง

บทที่ 3 การวิเคราะห์และแบบจำลองของระบบที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

กล่าวถึงการวิเคราะห์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่นำสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด มาพิจารณาในการหา ความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ (Outage) ทROUGHPUT และการประวิง (Delay) ช่วงระยะเวลาของการเกิดเอาต์เตจ (Outage) และความถี่ของการเกิดเอาต์เตจ (Outage) ที่ได้นำเสนอ

บทที่ 4 ผลการในการวิเคราะห์

กล่าวถึงผลที่ได้โดยการจำลองแบบระบบทางคณิตศาสตร์จากบทที่ 3 แสดงการพิจารณา สหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดและผลกระทบของระบบที่ได้ทำการเสนอ

บทที่ 5 บทสรุปผลการวิเคราะห์

หลักการทั่วไปของระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA)

2.1 บทนำ

คุณสมบัติของการเข้าถึงหลายทางสามารถทำได้โดยการเข้ารหัสซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะถูกกำหนดรหัส (code sequence) ให้ เครื่องรับที่รู้ลำดับรหัสของผู้ใช้แต่ละคนเท่านั้นจึงจะสามารถรับสัญญาณและทำการถอดรหัสเพื่อให้ได้ข้อมูลเดิมกลับมา เนื่องจากแบนด์วิดท์ของสัญญาณรหัสดังกล่าวมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลมากๆ ทำให้กระบวนการเข้ารหัสนั้นมีผลทำให้เกิดการแผ่กว้างของสเปกตรัมของสัญญาณ ดังนั้นจึงเรียกกระบวนการนี้ว่าการโมดูเลตแบบแผ่กว้างทางสเปกตรัม (spread-spectrum modulation) นอกจากนี้ยังเรียกสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสว่าสัญญาณสเปกตรัมแผ่ (spread-spectrum signal) และมักจะเรียกการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA) นี้ว่า การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ (spread-spectrum multiple access)

การโมดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่จะทำการเข้ารหัสสัญญาณข่าวสารด้วยสัญญาณรหัสที่มีความเป็นอิสระไม่ขึ้นกับสัญญาณข้อมูลและมีความกว้างของสเปกตรัมมากกว่าสัญญาณข้อมูลมาก การทำเช่นนี้จะเป็นผลทำให้กำลังของสัญญาณข้อมูลมีการแผ่กว้างออกไปตลอดช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่นั้น เป็นผลทำให้สัญญาณสเปกตรัมแผ่มีความหนาแน่น (density) ของกำลังงานลดลง อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ต่อแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลจะถูกเรียกว่า อัตราขยายการประมวลผล (processing gain: G_p) ของระบบสเปกตรัมแผ่

$$G_p = \frac{W}{B} \quad (2.1)$$

เมื่อ W เป็นแบนด์วิดท์ของการส่งสัญญาณ และ

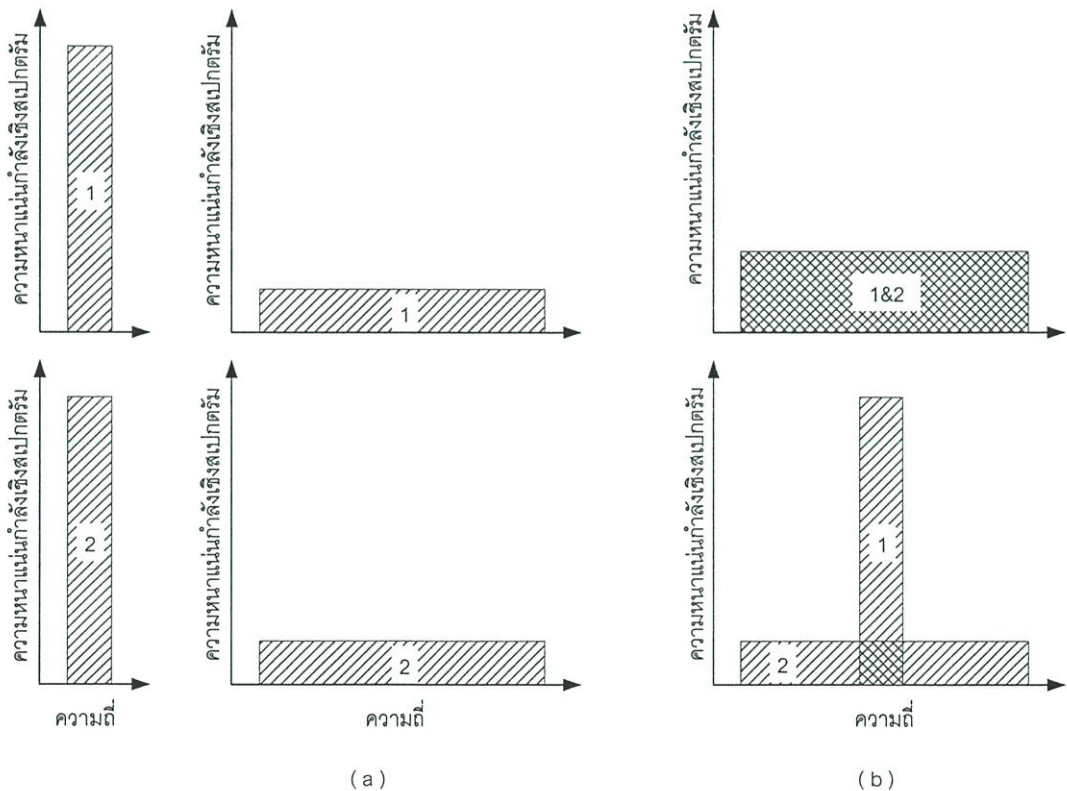
B เป็นแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล

เครื่องรับจะทำการสหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้ด้วยสัญญาณรหัสที่เหมือนกับทางด้านส่ง ซึ่งถูกสร้างขึ้นอย่างซิงโครไนซ์กับรหัสของสัญญาณที่รับได้เพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมานั้นแสดงว่า เครื่องรับจะต้องรู้สัญญาณรหัสที่ใช้ในการโมดูเลตข้อมูลจากทางด้านส่ง

เนื่องจากการเข้ารหัสทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นมาก ดังนั้นสเปกตรัมแผ่จึงมีคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากคุณสมบัติของสัญญาณแบนด์แคบ (narrowband) คุณสมบัติที่สำคัญของการใช้เทคนิคสเปกตรัมแผ่ มีดังนี้

1) ความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง (multiple access capability)

ถ้ามีผู้ใช้หลายๆคนทำการส่งสัญญาณสเปกตรัมแผ่ในเวลาเดียวกัน เครื่องรับจะยังคงสามารถแยกความแตกต่างระหว่างผู้ใช้แต่ละคนได้ โดยการให้ผู้ใช้แต่ละคนใช้รหัสที่มีค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation) ระหว่างรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการกับรหัสของผู้ใช้คนอื่นๆที่ต่ำเพียงพอ ดังนั้นเมื่อทำสหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้ด้วยรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคก็จะเป็นการดีสเปรด (despread) สัญญาณของผู้ใช้คนดังกล่าวกลับมาเท่านั้น ในขณะที่สัญญาณสเปกตรัมแผ่จากผู้ใช้อื่นๆจะยังคงมีลักษณะของสเปกตรัมที่แผ่กว้างดังเดิม ด้วยเหตุนี้ ภายในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลจะมีกำลังของสเปกตรัมที่เป็นสัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคมากกว่ากำลังของสัญญาณแทรกสอด (interfering power) จากผู้ใช้คนอื่นๆมาก ดังนั้นจึงสามารถทำการดีเทคสัญญาณที่ต้องการออกมาได้ ความสามารถในการเข้าถึงหลายทางนี้แสดงดังรูปที่ 2.1 ในรูปที่ 2.1a แสดงการสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่ของผู้ใช้ 2 คนจากสัญญาณข้อมูลเดิมที่เป็นสัญญาณแบนด์แคบ ส่วนรูปที่ 2.1b แสดงการส่งสัญญาณสเปกตรัมแผ่ของผู้ใช้ทั้ง 2 คนในเวลาเดียวกันที่เครื่องรับจะมีเพียงสัญญาณของผู้ใช้คนที่ 1 เท่านั้นที่ถูกดีสเปรด และได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา



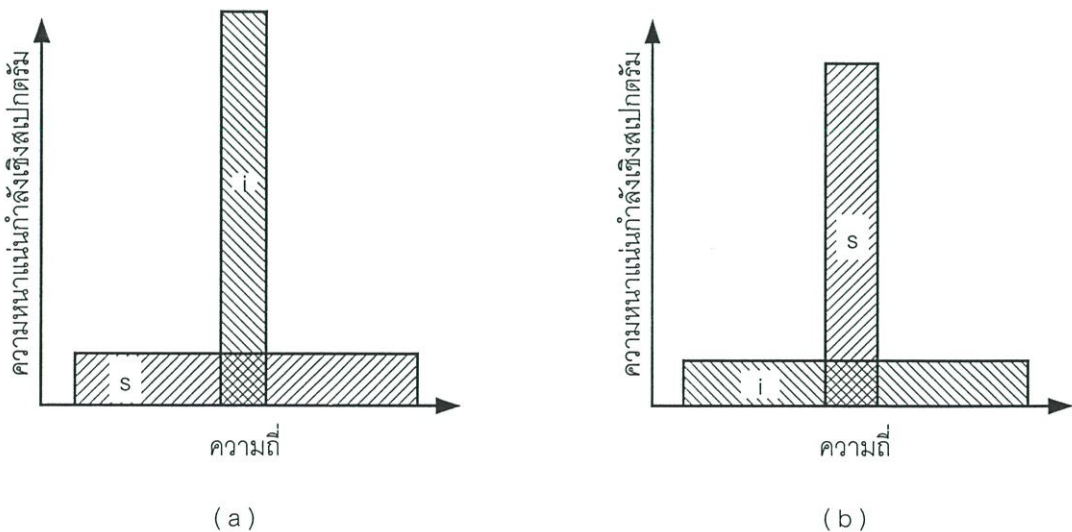
รูปที่ 2.1 หลักการของการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่

2) การป้องกันสัญญาณแทรกสอดหลายเส้นทาง (multiple interference)

สำหรับช่องสัญญาณวิทยุ นั้น เส้นทางเดินของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับไม่ได้มีเพียงเส้นทางเดียว เนื่องจากการสะท้อน (และการหักเห) ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับจะมาจากเส้นทางต่างๆกัน สัญญาณจากเส้นทางต่างๆนั้นจะเป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากเครื่องส่งเหมือนกันแต่มีความแตกต่างกันทางแอมพลิจูดและเฟส การรวมสัญญาณเหล่านี้เข้าด้วยกันที่เครื่องรับนั้นอาจจะเป็นการรวมแบบเสริมกันที่บางความถี่และเป็นการรวมแบบหักล้างกันที่ความถี่อื่นๆในโดเมนของเวลา เหตุการณ์ดังกล่าวจะเป็นผลทำให้เกิดสัญญาณที่ถูกกระจายออก (dispersed signal) ทางเวลา ซึ่งการโมดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่สามารถจะแก้ปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทางนี้ได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับชนิดของการโมดูเลตที่ใช้อย่างมากทีเดียว

3) การกำจัดสัญญาณแทรกสอด (Interference rejection)

การสหสัมพันธ์ข้าม (cross-correlate) ของสัญญาณรหัสด้วยสัญญาณแบนด์แคบจะทำให้กำลังของสัญญาณแบนด์แคบนั้นถูกแผ่ออก เป็นการลดกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดที่อยู่ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลลง แสดงดังรูปที่ 2.2 สัญญาณสเปกตรัมแผ่ (S) ซึ่งถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ (I) จะถูกดีสเปอร์ดที่เครื่องรับในขณะที่สัญญาณแทรกสอดจะถูกแผ่กว้างทางสเปกตรัม ทำให้สัญญาณแทรกสอดดังกล่าวปรากฏเป็นสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกดีสเปอร์ด



รูปที่ 2.2 การกำจัดสัญญาณแทรกสอด

4) ความสามารถในการป้องกันการแทรกแซงจากผู้อื่น (anti-jamming capability)

การแทรกแซงแบนด์แคบ (narrowband jamming) คุณสมบัตินี้คล้ายกับการกำจัดสัญญาณแทรกสอดเพียงแต่สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในกรณีนี้เป็นไปโดยเจตนาให้เกิดขึ้นแก่ระบบ จากคุณสมบัติข้อนี้และข้อถัดไปทำให้การโมดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่เป็นที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านการทหาร

5) ความน่าจะเป็นในการถูกตรวจจับสัญญาณต่ำ (Low Probability of Intercept: LPI)

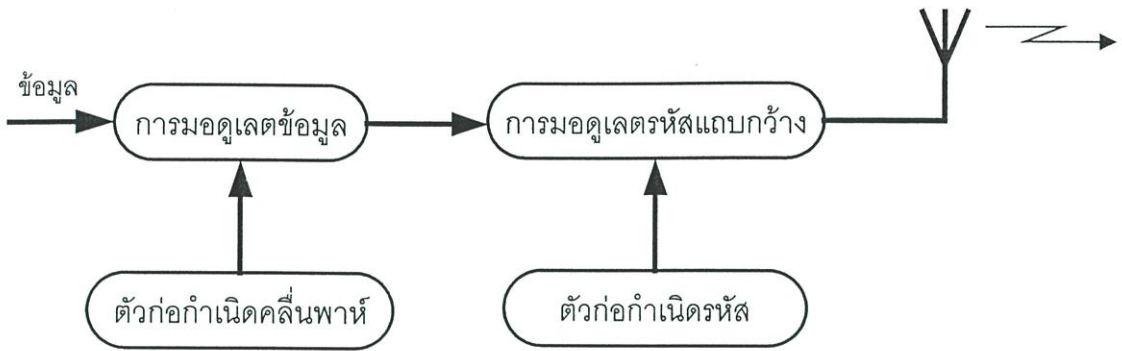
เนื่องจากสัญญาณสเปกตรัมแผ่มีความหนาแน่นของกำลังงานที่ต่ำจึงทำให้เป็นการยากที่จะถูกตีเทค

2.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่

การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่สามารถตามวิธีการโมดูเลตได้เป็น วิธีการจัดลำดับโดยตรง (direct-sequence) วิธีการกระโดดของความถี่ (frequency hopping) วิธีการกระโดดของเวลา (time hopping) และวิธีการไฮบริด (hybrid) โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

2.2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (DS-SS-SSMA)

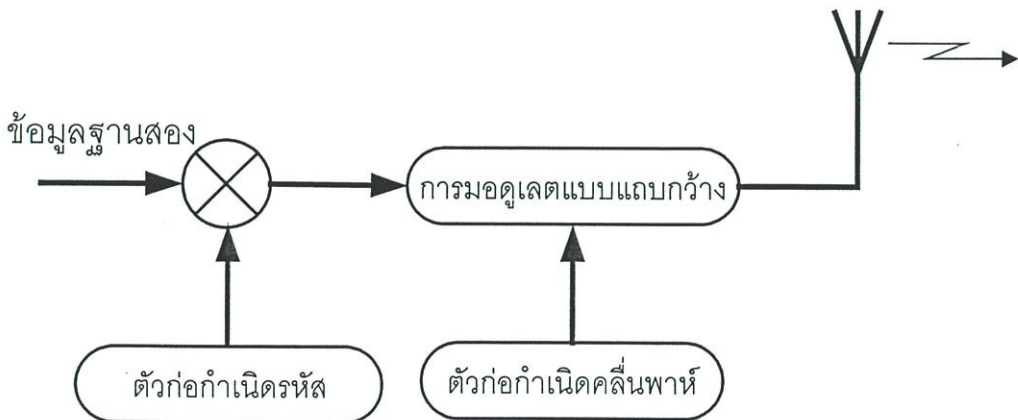
สำหรับการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรงนั้น สัญญาณข้อมูลที่ผ่านการโมดูเลตกับสัญญาณพาห้มาแล้ว จะถูกโมดูเลตโดยตรงกับสัญญาณรหัสดิจิทัล โดยที่สัญญาณข้อมูลดังกล่าวอาจจะเป็นได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกหรือสัญญาณดิจิทัล แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งกรณีที่สัญญาณข้อมูลเป็นแบบดิจิทัลนี้มักจะทำการคูณสัญญาณดิจิทัลนั้นด้วยสัญญาณรหัสโดยตรงแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปโมดูเลตกับสัญญาณพาห้แบบกว้าง ด้วยเหตุผลจากการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณรหัสโดยตรงนี้เอง จึงเรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SSMA

ในรูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SSMA สัญญาณข้อมูลไบนารีจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ หลังจากนั้นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วนี้จะถูกนำไปมอดูเลตด้วยสัญญาณรหัส สัญญาณรหัสนี้ประกอบด้วยบิตต่างๆของรหัส หรือเรียกว่า ชิพ ซึ่งอาจจะมีค่าเป็น +1 หรือ -1 และเพื่อที่จะให้ได้รับการแผ่ของสัญญาณตามต้องการ อัตราชิพ (chip rate) ของสัญญาณรหัสจะต้องสูงกว่าอัตราชิพของสัญญาณข้อมูลมากๆ สำหรับวิธีการมอดูเลตรหัส (code modulation) นั้นสามารถใช้เทคนิคการมอดูเลตได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กัน คือ การมอดูเลตแบบ PSK อย่างเช่น BPSK, DBPSK, QPSK หรือ MSK (Minimum shift keying)

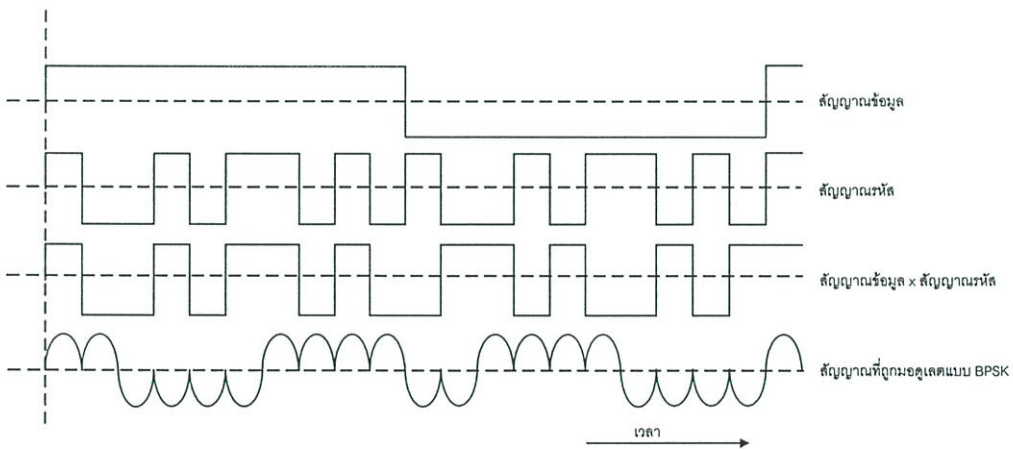
ถ้าทำการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณรหัสโดยตรงโดยไม่ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลนั้นก่อน และใช้วิธีการมอดูเลตรหัสแบบ BPSK จะสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.4



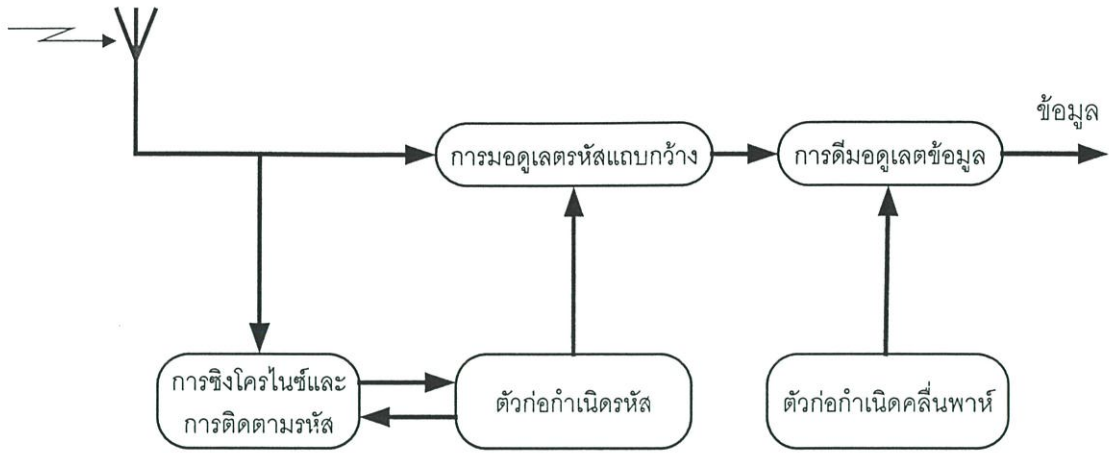
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS

สัญญาณ DS-SS ที่ได้จากเครื่องส่งนี้แสดงดังรูปที่ 2.5 จากรูปจะเห็นว่าเป็นการส่งสัญญาณรหัส 10 บิตต่อสัญญาณข้อมูล 1 บิต (อัตราชีพของรหัสเป็น 10 เท่าของอัตราชีพของข้อมูล) ดังนั้นจะได้อัตราขยายการประมวลผลเป็น 10 ในทางปฏิบัติอัตราขยายการประมวลผลจะมีค่ามากกว่านี้มาก (จะมีค่าเป็น 10^2 ถึง 10^3)

ที่เครื่องรับ (แสดงดังรูปที่ 2.6) จะใช้การดีโมดูเลตแบบร่วมนัย และใช้ลำดับรหัสที่สร้างขึ้นทางด้านรับในการดีสเปรดสัญญาณสเปกตรัมแผ่ การที่กระบวนการดีสเปรดจะทำได้สำเร็จนั้นไม่เพียงแต่เครื่องรับจะต้องรู้ลำดับรหัสที่ใช้ในการสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่ทางด้านส่งเท่านั้น แต่ยังต้องทำให้รหัสของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องมีการซิงโครไนซ์กันกับสัญญาณรหัสที่ถูกสร้างขึ้นที่เครื่องรับด้วย ซึ่งการซิงโครไนซ์นี้จะต้องทำได้สำเร็จตั้งแต่เริ่มต้นการรับสัญญาณและต้องรักษาการซิงโครไนซ์ไปจนกระทั่งรับสัญญาณได้ทั้งหมด จากรูปที่ 2.6 ส่วนของการซิงโครไนซ์ดังกล่าวแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมของการซิงโครไนซ์/การติดตาม (tracking) ภายหลังจากทำการ despread สัญญาณข้อมูลและทำการดีโมดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา



รูปที่ 2.5 การสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการมอดูเลตรหัสแบบ BPSK โดยแกนตั้งเป็นขนาดของสัญญาณและแกนนอนเป็นเวลา



รูปที่ 2.6 เครื่องรับสัญญาณ DS-SS

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงคุณสมบัติอันเป็นประโยชน์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของระบบ CDMA คือ ความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ และคุณสมบัติของการมีความน่าจะเป็นในการถูกตรวจจับสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ระบบการสื่อสารมีความปลอดภัยและมีความเป็นส่วนตัวมากขึ้น ต่อไปจะได้อธิบายคุณสมบัติทั้ง 4 นี้ในกรณีของ DS-CDMA

1) การเข้าถึงหลายทาง

ถ้ามีผู้ใช้หลายคนใช้ช่องสัญญาณในขณะเวลาเดียวกันจะทำให้มีสัญญาณ DS หลายๆ สัญญาณที่มีการเหลื่อมทับ (overlap) กันในทางเวลาและความถี่ ที่เครื่องรับจะใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยเพื่อกำจัดผลของการมอดูเลตและรหัสออกไป กระบวนการดังกล่าวจะเป็นการรวมกำลังของผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคให้อยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ข้อมูล ถ้าหากค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการและรหัสของผู้ใช้อื่นๆ ที่เข้ามาแทรกสอดมีค่าน้อย การดีเทคแบบร่วมนัยจะทำให้มีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดอยู่ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ถ้าขบวนการหาค่าสหสัมพันธ์ตามอุดมคติแล้ว ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ที่อยู่ภายนอกช่วง $[-T_c, T_c]$ จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อ T_c เป็นช่วงกว้างของชิพ แสดงว่าถ้าทำการรับสัญญาณที่ต้องการดีเทคและสัญญาณเดียวกันนี้ที่ถูกหน่วงเวลาไปมากกว่า $2T_c$ เมื่อใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่ถูกหน่วงเวลาไปถูกมองว่าเป็นสัญญาณแทรกสอด และจะมีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดนี้อยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ของข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

การดีเทคแบบร่วมนัยที่เครื่องรับทำได้โดยการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยลำดับของรหัสที่ถูกสร้างขึ้นที่เครื่องรับ ผลของกระบวนการดังกล่าวก็จะเหมือนกับการคูณสัญญาณแบนด์แคบด้วยลำดับของรหัสแบนด์กว้างที่เครื่องส่ง นั่นคือ จะทำให้สเปกตรัมของสัญญาณแบนด์แคบมีการแผ่กว้างออก ดังนั้นกำลังงานของสัญญาณแบนด์แคบซึ่งอยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลจะมีค่าลดลงด้วยค่าแฟคเตอร์ที่เท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

4) ความน่าจะเป็นในการถูกตรวจจับสัญญาณต่ำ

เนื่องจากสัญญาณ DS นั้นจะใช้สเปกตรัมของสัญญาณทั้งหมดตลอดเวลา ทำให้มีกำลังส่งต่อเฮิรตซ์ที่ต่ำมาก จึงเป็นการยากที่จะทำการศึกษาดีเทคสัญญาณ DS นี้

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว ระบบ DS-CDMA ยังมีคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆอีก ซึ่งสามารถแยกเป็นทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดีของระบบ DS-CDMA

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

ข้อเสียของระบบ DS-CDMA

- 1) การเริ่มต้นและรักษาการซิงโครไนซ์ระหว่างรหัสสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรหัสที่สร้างขึ้นทางด้านรับทำได้ยาก ซึ่งกระบวนการซิงโครไนซ์นี้จะต้องเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาของชิพ
- 2) การที่จะรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง ขบวนการรหัสที่สร้างขึ้นจะต้องซิงโครไนซ์กับขบวนการรหัสที่รับได้ภายในช่วงเวลาของชิพ ซึ่งส่งผลให้ขนาดของแบนด์วิดท์ในทางปฏิบัติถูกจำกัดอยู่ในช่วง 10 – 20 MHz
- 3) กำลังงานของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะมีค่ามากกว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไปมาก เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะส่งสัญญาณโดยใช้แบนด์วิดท์ที่มีทั้งหมด ดังนั้นผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะทำให้เกิดการแทรกสอดอย่างมากต่อผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐาน ทำให้ไม่สามารถทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานได้ ผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของความใกล้-ไกลของสัญญาณ (near-far effect) นี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้กระบวนการควบคุมกำลังงาน (power control) ซึ่งทำให้สถานีฐานทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ทั้ง

หมดด้วยกำลังงานเฉลี่ยที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ดีกระบวนการควบคุมกำลังงานนั้นทำได้ยากในทางปฏิบัติ

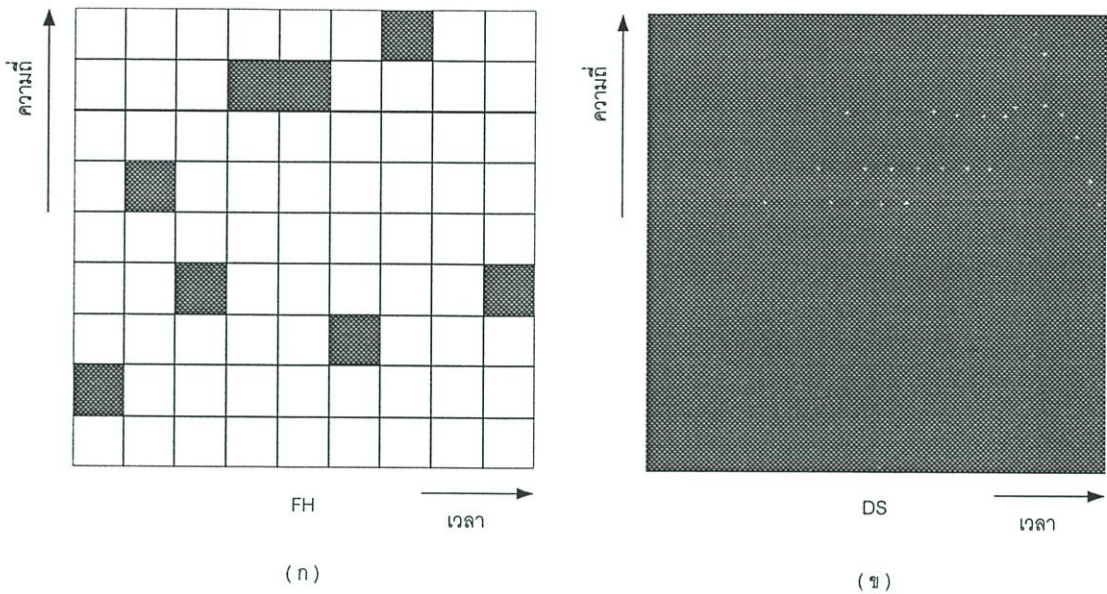
2.2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของความถี่ (FH-SS)

สำหรับระบบ CDMA ที่ใช้วิธีการกระโดดของความถี่นั้น ความถี่พาห้ของสัญญาณข้อมูลที่ถูกโมดูเลตจะมีค่าไม่คงที่แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นคาบเวลา นั่นคือในช่วงเวลา T ความถี่พาห้จะมีค่าคงที่แต่ในช่วงเวลา T ต่อมาความถี่พาห้จะกระโดดไปยังความถี่อื่น (หรืออาจจะเป็นความถี่เดิมก็ได้) รูปแบบ (pattern) ของการกระโดดจะเป็นไปตามการควบคุมจากสัญญาณรหัสกลุ่มของความถี่พาห้ ที่มีทั้งหมดเรียกว่า เซตของการกระโดด (hop set)

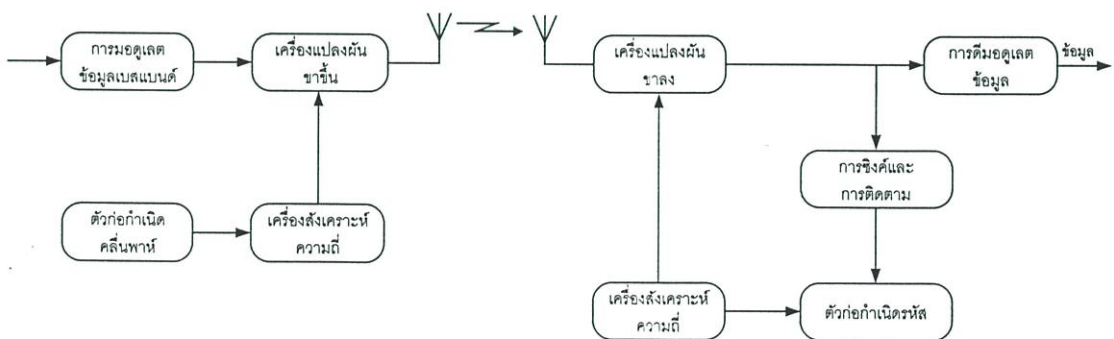
การใช้ย่านความถี่ของระบบ FF-SS จะแตกต่างจากระบบ DS-SS สำหรับระบบ DS นั้นเมื่อทำการส่งสัญญาณจะใช้อ่านความถี่ทั้งหมด ในขณะที่ระบบ FH จะใช้อ่านความถี่เพียงส่วนเล็กๆของแบนด์วิดท์เท่านั้นเมื่อมีการส่งสัญญาณแต่จะมีตำแหน่งของย่านความถี่ดังกล่าวแตกต่างกันในแต่ละเวลา

สมมติว่าระบบ FH ทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ในย่านความถี่แบนด์ 2 ในคาบเวลาแรก (ดูรูปที่ 2.7) แต่ระบบ DS จะทำการส่งสัญญาณในคาบเวลาเดียวกันด้วยการแผ่กำลังของสัญญาณไปน้อยกว่าระบบ FH มาก แต่อย่างไรก็ดีระบบ DS นั้น จะทำการส่งสัญญาณในย่านความถี่แบนด์ 1 ในช่วงเวลาทั้งหมดของคาบเวลา ในขณะที่ระบบ FH จะใช้อ่านความถี่นี้เพียงช่วงหนึ่งของเวลาเท่านั้น ดังนั้นโดยเฉลี่ยแล้ว ทั้ง 2 ระบบจะทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังงานที่เท่ากันในย่านความถี่ใช้งานทั้งหมด

ข้อแตกต่างระหว่างการครอบครองย่านความถี่ของระบบ FH-SS และระบบ DS-SS แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การครอบครองเวลา/ย่านความถี่ของสัญญาณ FH และสัญญาณ DS
บล็อกไดอะแกรมของระบบ FH-CDMA แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA

สัญญาณข้อมูลจะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ (baseband) ที่ถูกโมดูเลตกับสัญญาณพาห้ โดยสามารถใช้เทคนิคการโมดูเลตได้หลายวิธี แต่ในการประยุกต์ใช้งานระบบ FH จริงๆไม่สามารถใช้ได้ทุกวิธี โดยมักจะใช้การโมดูเลตแบบ FM สำหรับสัญญาณอนาล็อกและใช้การโมดูเลตแบบ GSK สำหรับสัญญาณดิจิทัล จากรูปจะใช้วงจрсังเคราะห์ความถี่ที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้อย่างรวดเร็วโดยการควบคุมจากสัญญาณรหัส ดังนั้นความถี่พาห้จะถูกแปลงความถี่ให้สูงขึ้นเป็นความถี่ในการส่งสัญญาณ (transmission frequency)

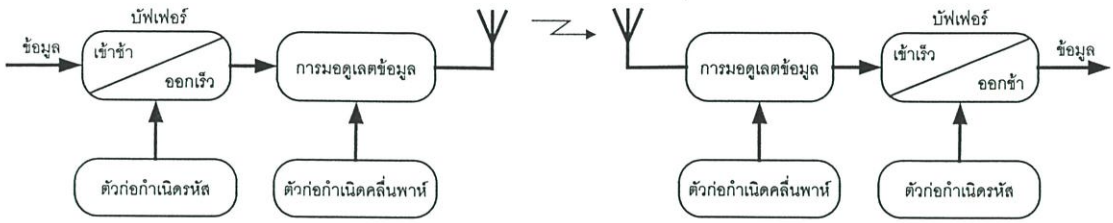
ที่เครื่องรับก็จะใช้วิธีกลับกับทางด้านส่ง โดยใช้วงจรกำเนิดขบวนรหัสเพื่อนำมาใช้ในการแปลงความถี่ของสัญญาณที่รับได้ให้ต่ำลงมาเป็นความถี่พาห้ซึ่งใช้ในการโมดูเลตสัญญาณเบสแบนด์ทางด้านส่ง หลังจากนั้นก็จะทำการดีโมดูเลตจึงได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา วงจрсิงโครไนซ์/การติดตาม (synchronize/tracking) จะถูกนำมาใช้ในการทำให้การกระโดดของความถี่พาห้ที่สร้างขึ้นทางด้านรับเป็นไปอย่างซิงโครไนซ์กับรูปแบบการกระโดดของความถี่พาห้ที่รับได้ ดังนั้นจึงสามารถทำการดีสเปรดสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

ระบบ FH-CDMA นี้สามารถจำแนกความแตกต่างโดยใช้อัตราการกระโดดของความถี่พาห้ได้ดังนี้ ถ้าจำนวนของการกระโดดมีค่ามากกว่าอัตราข้อมูลมากๆ จะเรียกว่าเป็นการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Hopping (F-FH) CDMA) สำหรับกรณีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่พาห้หลายครั้งในช่วงเวลาของการส่งข้อมูล 1 บิต นั่นคือข้อมูล 1 บิตจะถูกส่งออกไปในหลายๆความถี่ แต่ถ้าจำนวนของการกระโดดมีค่าน้อยกว่าอัตราข้อมูลมากๆ จะเรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างช้า (Slow Frequency Hopping (S-FH) CDMA) สำหรับกรณีนี้จะมีบิตข้อมูลหลายบิตถูกส่งที่ความถี่เดียวกัน

การครอบครองย่านความถี่ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆ ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของสัญญาณที่มีการกระโดดและความถี่ในการกระโดดอีกด้วย

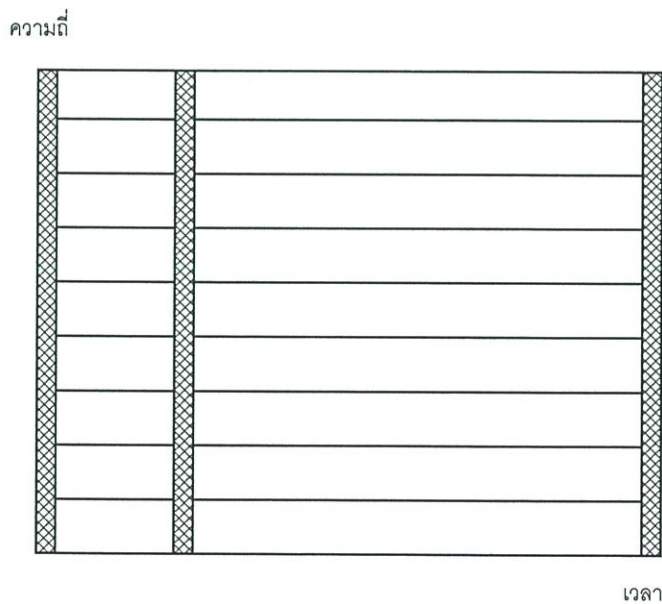
2.2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของเวลา (TH-SS)

ในระบบที่มีการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการกระโดดของเวลา สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปใน burst ภายในช่วงเวลาที่กำหนดรหัสของผู้ใช้แต่ละคน



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA

ในแกนของเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรมและแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็นไทม์สล็อตจำนวน M ไทม์สล็อต ในช่วงเวลาของแต่ละเฟรมผู้ใช้ระบบสามารถจะส่งสัญญาณไปในไทม์สล็อตใดไทม์สล็อตหนึ่งจากทั้งหมด M ไทม์สล็อตและแต่ละไทม์สล็อตก็จะถูกส่งออกไปโดยขึ้นอยู่กับสัญญาณรหัสที่กำหนดให้แก่ผู้ใช้งานระบบแต่ละคน เนื่องจากผู้ใช้คนหนึ่งจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดภายใน 1 ไทม์สล็อตแทนที่จะทำการส่งข้อมูลไปในทั้งหมด M ไทม์สล็อตดังนั้นความถี่ที่ใช้ในการส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น M บล็อกไดอะแกรมของระบบ TH-CDMA แสดงดังรูปที่ 2.10



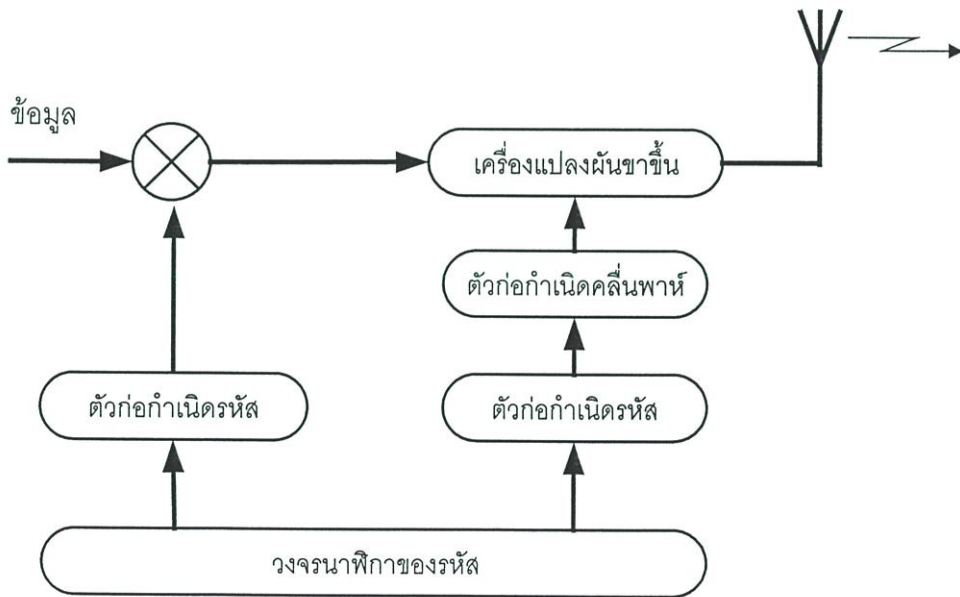
รูปที่ 2.10 การแสดงผลระหว่างเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA

รูปที่ 2.10 แสดงการพล็อตระหว่างเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปที่ 2.10 กับรูปที่ 2.7 จะเห็นว่า ระบบ TH-CDMA นั้นใช้สเปกตรัมแบนด์กว้างทั้งหมดสำหรับในช่วงเวลาสั้นๆ แทนที่จะใช้ส่วนหนึ่งของสเปกตรัมตลอดช่วงเวลาทั้งหมด

2.2.4 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการไฮบริด

ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ใช้วิธีการไฮบริดจะรวมถึงระบบ CDMA ทั้งหมดที่ใช้เทคนิคการโมดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไปรวมกัน จากเทคนิคการโมดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ทั้ง 3 วิธีที่อธิบายไว้ข้างต้นได้แก่ การโมดูเลตแบบ DS การโมดูเลตแบบ FH และการโมดูเลตแบบ TH ทำให้สามารถสร้างระบบไฮบริดที่อาจเป็นได้ดังนี้ DS/FH, DS/TH, FH/TH และ DS/FH/TH

แนวคิดของระบบไฮบริด คือ เพื่อที่จะรวมข้อดีของเทคนิคการโมดูเลตแต่ละเทคนิคเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ DS/FH จะได้ข้อดีในเรื่องของการต่อต้านผลกระทบจากสัญญาณหลายเส้นทางของระบบ DS รวมกับคุณสมบัติในเรื่องผลกระทบจากความใกล้-ไกลของสัญญาณ (near-far effect) ของระบบ FH แต่ข้อเสียของระบบไฮบริดก็คือเรื่องของเครื่องส่งและเครื่องรับที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS/FH CDMA แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เครื่องส่งแบบไฮบริด DS-FH

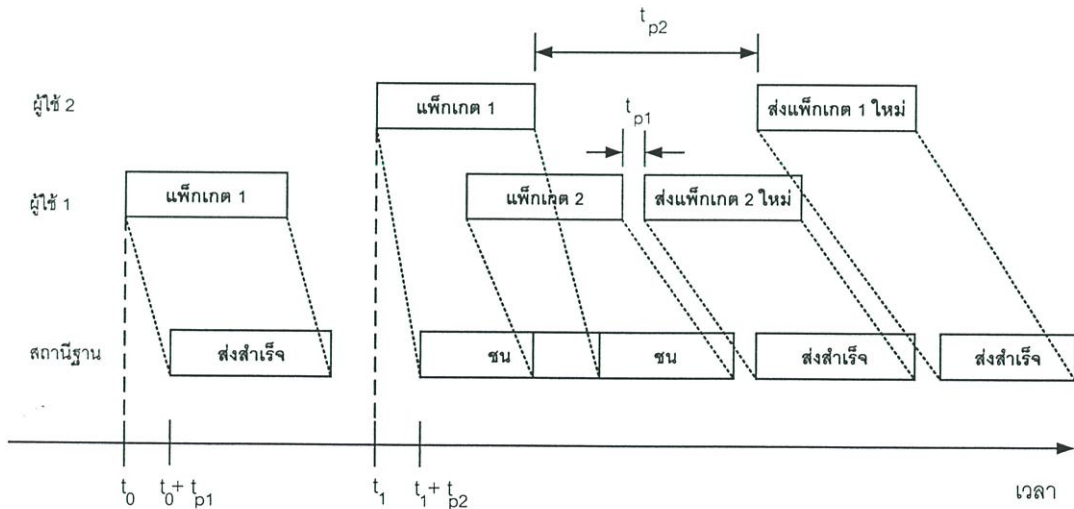
จากรูปเบื้องต้น สัญญาณข้อมูลจะถูกทำให้เป็นสัญญาณสเปกตรัมแม่โดยใช้สัญญาณรหัสลำดับตรงหลังจากนั้นสัญญาณสเปกตรัมแม่จะถูกนำไปใช้โมเดมเลตกับสัญญาณพาหะที่มีการกระโดดของความถี่สอดคล้องกับลำดับรหัสอีกอันหนึ่งโดยใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมรหัส (code clock) เพื่อให้รหัสทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่คงที่ต่อกัน

2.3 ระบบอโลฮา (ALOHA)

2.3.1 ระบบอโลฮาแบบแท้ (pure ALOHA)

เป็นแนวความคิดพื้นฐานของระบบอโลฮาที่จะอนุญาตให้ผู้ให้บริการ สามารถส่งสัญญาณออกมาได้ในทันทีที่ข้อมูลพร้อมที่จะส่ง ถ้าไม่มีผู้ให้บริการรายอื่นทำการส่งสัญญาณ ผู้รับจะสามารถรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง และจะทำการส่งสัญญาณแจ้งว่ารับได้ (Acknowledgement) กลับมายังผู้ส่งในการรับสัญญาณแจ้งว่ารับได้ ผู้ส่งจะสามารถทราบได้ทันทีว่าสามารถส่งสัญญาณได้สำเร็จ ซึ่งสัญญาณที่ทำการส่งออกไปกับสัญญาณที่ส่งกลับมาจะอยู่กันคนละช่องสัญญาณที่มีแถบความถี่ต่างกัน

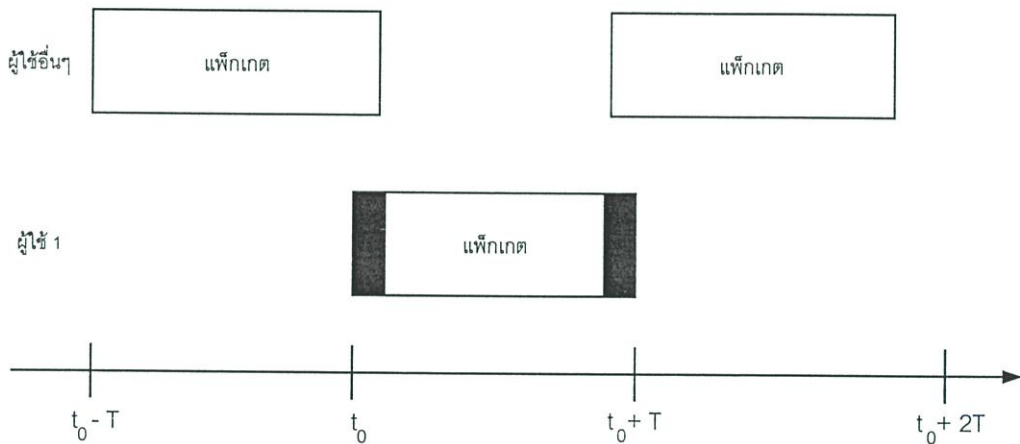
ถ้ามีผู้ให้บริการมากกว่า 2 รายที่เข้าใช้ช่องสัญญาณพร้อมๆกัน การชนกันจะเกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีสัญญาณแจ้งว่ารับได้ ส่งกลับมาผู้ส่งจะทำการส่งซ้ำ เพื่อป้องกันปัญหาการชนกันของสัญญาณ ผู้ให้บริการในแต่ละรายจะกำหนดเวลาในการส่งสัญญาณที่มีค่าไม่แน่นอนและไม่ซ้ำกัน ดังนั้นปัญหาของการชนกันจึงเกิดขึ้นลดลง



รูปที่ 2.12 แสดงการส่งสัญญาณที่เกิดขึ้นในอโลฮาแบบแท้ (pure ALOHA)

2.3.2 ระบบสล็อตเตดอโลฮา (slotted ALOHA)

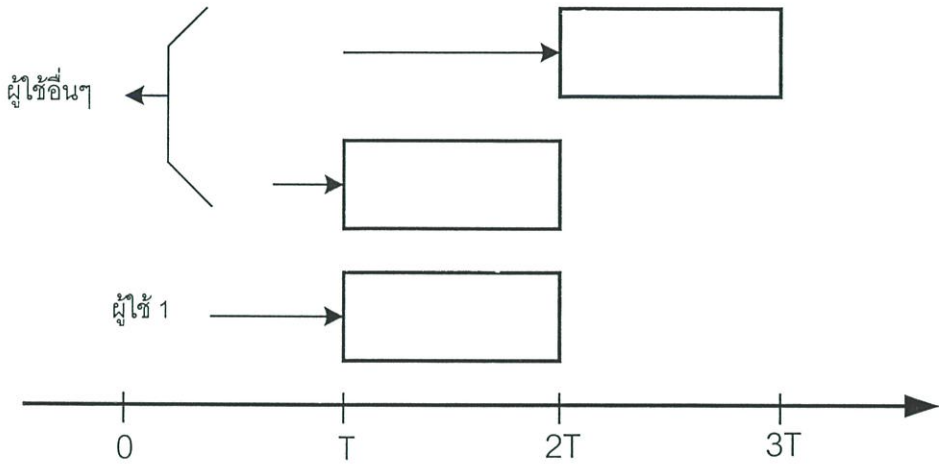
จากอโลฮาแบบแท้เป็นการส่งสัญญาณแบบง่าย ๆ แต่พบว่าประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณต่ำมากประมาณ 18% ซึ่งประสิทธิภาพ 18% นี้เป็นที่ประสิทธิภาพสูงสุดในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ เหตุผลหลักสำหรับการส่งแบบนี้คือความน่าจะเป็นของผู้ใช้บริการที่จะทำการส่งสัญญาณถูกแทรกสอดจากผู้ให้บริการรายอื่นที่ทำการส่งด้วยเหมือนกัน ซึ่งกลายเป็นปัญหาใหญ่ขึ้นถ้าทราฟฟิกในช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 2.5 เราพบว่า ผู้ใช้บริการที่หนึ่งเริ่มทำการส่งสัญญาณที่เวลา $t = t_0$ สมมติว่าเวลาที่ใช้ส่งเป็นเวลา T วินาที ดังนั้นผู้ใช้บริการที่จะส่งสัญญาณเสร็จที่เวลา $t = t_0 + T$ จากรูปพบว่า ถ้ามีผู้ใช้บริการรายอื่นทำการส่งสัญญาณระหว่าง $t_0 - T$ ถึง $t_0 + T$ ดังนั้นปัญหาการชนกันจึงเกิดขึ้นในผู้ใช้บริการที่ 1 แน่นอน



รูปที่ 2.13 ช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนได้ง่ายของอโลฮาแบบแท้ (pure ALOHA)

ดังนั้นช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนได้ง่ายของอโลฮาแบบแท้มีค่าเป็น $2T$ เพื่อที่จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ โดยทำการลดช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนให้น้อยลง ซึ่งสามารถทำได้โดยการแบ่งเวลาในการส่งออกเป็นช่วงเวลาที่สล็อตสัญญาณที่ส่งออกไปในหนึ่งช่วงเวลา ถือว่าเป็นปริมาณข้อมูลข่าวสาร 1 เฟรม ดังรูปที่ 2.17 ถ้าผู้ใช้บริการที่ 1 ส่งสัญญาณระหว่างเวลา 0 ถึง T การส่งสัญญาณมีการประวิงเวลาในการส่ง (Delay) จนกระทั่งเวลา $t = T$ จึงจะส่งสัญญาณ หากมีผู้ใช้บริการรายอื่นพร้อมที่จะส่งข้อมูลระหว่างเวลา 0 ถึง T ด้วยเหมือนกัน การส่งจะเริ่มต้นที่ $t = T$ ด้วยเหมือนกันดังนั้นปัญหาการชนกันกับผู้ใช้บริการที่ 1 จะเกิดขึ้นแน่นอน และหากผู้ใช้บริการรายอื่นพร้อมที่จะทำการส่งสัญญาณ

หลังจากเวลา $t = T$ จะไม่ทำการส่งทันทีจะทำการส่งสัญญาณจนกระทั่งเวลา $t = 2T$ แล้วจะไม่เกิดปัญหาการชนกันกับผู้ใช้บริการที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.14 ช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนได้ง่ายของสล็อตเตจจอลไฮา (Slotted ALOHA)

ช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณซ้อนได้ง่ายของการส่งนี้มีค่าเพียง T เมื่อเทียบกับโไฮาแบบแท้ (pure ALOHA) พบว่าประสิทธิภาพของการเข้าใช้ช่องสัญญาณเพิ่มเป็น 2 เท่า หรือ 36% เราเรียกวิธีการส่งแบบนี้ว่าสล็อตเตจจอลไฮา (Slotted ALOHA)

2.4 เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

2.4.1 สัญญาณแทรกสอดในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์ (Forward Link)

2.4.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

ทางอุดมคติแล้วจะไม่มีสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในฟอร์เวิร์ดลิงค์ เนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณในฟอร์เวิร์ดลิงค์นั้นออโรกอนอลซึ่งกันและกัน ทุกๆช่องสัญญาณรวมทั้งช่องสัญญาณนำร่องในฟอร์เวิร์ดลิงค์นั้น จะสามารถแยกแยะออกจากกันได้โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยขบวนชิปที่พอเหมาะแล้วทำการรวมหรืออินทิเกรตชิปในช่วง 64 ชิป (วอลซ์ฟังก์ชัน) ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ สัญญาณขบวนข้อมูลเบสแบนด์ของช่องสัญญาณที่ต้องการ โดยปราศจากสัญญาณแทรกสอดใดๆ จากการสื่อสารในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์ แต่อย่างไรก็ตาม การ

แพร่กระจายคลื่นในการสื่อสารเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการแทรกสอดในทิสฟอว์เวิร์ดลิงค์เนื่องจากการเกิดมัลติพาทนั่นเอง

สมมติว่า $I_{0,f}$ คือ ความหนาแน่นกำลังสัญญาณทั้งหมดที่รับได้ที่เครื่องรับจากสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่ ซึ่งสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากมัลติพาท ซึ่งกำลังของสัญญาณในเส้นทางที่ k กำหนดให้เป็น β_k เมื่อ $0 \leq \beta_k \leq 1$ ซึ่งสัดส่วนของสัญญาณ $I_{0,f}$ อันเนื่องมาจากเส้นทางที่ k คือ

$$I_{0,f} = \text{ความหนาแน่นสเปกตรัมของเส้นทางที่ } k = \beta_k I_{0,f} \quad (2.2)$$

และถ้าในการแพร่กระจายประกอบด้วยสัญญาณจำนวน k เส้นทาง จะได้ว่า

$$I_{0,f} = \sum_{k=1}^k I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k=1}^k \beta_k \quad \text{หรือ} \quad \sum_{k=1}^k \beta_k = 1 \quad (2.3)$$

หากสมมติว่าที่เครื่องรับมีวงจรรับสัญญาณจำนวน k วงจร โดยแต่ละวงจรตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณแต่ละเส้นทางใน k เส้นทาง ให้ E_{b0} เป็นกำลังรวมบิตข้อมูลที่รับได้ที่เครื่องรับ แล้วกำลังบิตข้อมูลอินพุตของวงจรรับสัญญาณอันดับที่ j จะมีค่าเป็น

$$E_{bj} = \text{กำลังบิตข้อมูลจากเส้นทางที่ } j = \beta_j E_{b0} \quad (2.4)$$

กำหนดให้ I_{scj} เป็นความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดจากภายในเซลล์ต่อเส้นทางอันดับ j ซึ่งหาได้จาก

$$I_{scj} = \sum_{k \neq j} I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k \neq j} \beta_k = I_{0,f} (1 - \beta_j) \quad (2.5)$$

ซึ่งจะได้อัตราส่วนความสัมพันธ์ของกำลังบิตข้อมูลข่าวสารต่อสัญญาณรบกวน (ที่รวมทั้งสัญญาณแทรกสอดด้วย) ของวงจรดีโมดูเลเตอร์ที่ตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณจากเส้นทาง j เป็น

$$\frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \frac{E_{b0} \beta_j}{N_0 + I_{0,\infty} + I_{0,f} (1 - \beta_j)} \quad (2.6)$$

เมื่อ N_0 คือ กำลังสเปกตรัมของเทอร์มอลนอยซ์

$I_{0,\infty}$ คือ กำลังสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

$I_{0,f}$ คือ กำลังสเปกตรัมรวมของสัญญาณที่รับได้จากเซลล์ภายใน

$(N_{0,T})_j$ คือ ความหนาแน่นรวมสัญญาณรบกวนรวมทั้งสัญญาณแทรกสอดในฟอร์เวิร์ดลิงค์

หากที่เครื่องลูกข่ายใช้การรวมสัญญาณแบบ Maximum ratio combining จากเส้นทางทั้ง k เส้นทางแล้ว จะได้ว่า

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} = \sum_{k=1}^k \frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \sum_{k=1}^k \frac{E_{b0}\beta_j}{N_0 + I_{0,\infty} + I_{0,f}(1 - \beta_j)} \quad (2.7)$$

สำหรับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานแล้ว สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนชนิดอื่นๆ ซึ่งจะสามารถตัดสัญญาณรบกวนอื่นๆ ทิ้งไปได้ สมการ (2.30) จึงสามารถประมาณได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} \approx \sum_{k=1}^k \frac{E_{b0}\beta_j}{I_{0,f}(1 - \beta)} = \frac{E_{b0}}{I_{0,f}} \sum_{k=1}^k \frac{\beta_j}{1 - \beta_j} = \frac{E_{b0}}{I_{0,sc}} \quad (2.8)$$

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

$$I_{0,sc} = \frac{I_{0,f}}{\sum_{j=1}^j \frac{\beta_j}{1 - \beta_j}} \quad (2.9)$$

2.4.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

ในระบบซีดีเอ็มเอนั้น สัญญาณที่รับได้จากเซลล์ข้างเคียง จะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับ ซึ่งกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าเป็นตัวแปรสุ่มแบบลิกอกรรรมชาติ หรือจะพูดได้ว่ากำลังของสัญญาณแทรกสอดเป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน

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

ค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณแทรกสอดจะสามารถคาดเดาได้โดยใช้โมเดลของการลดทอนในการแพร่กระจายคลื่น ตัวอย่างเช่น การลดทอนสัญญาณในการแพร่กระจายจะเป็นสัดส่วนกับกำลังอันดับที่ γ ของระยะทางเป็นต้น ซึ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้ว สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์จะสามารถหาค่าได้ในรูปของตัวแปรสุ่มแบบลึกลับธรรมชาติ ดังนี้

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

หรือ

$$I_i = \bar{I}_i x 10^{\sigma_{dB} W_i / 10} = \text{Const} X \frac{1}{r_i^\gamma} x 10^{\sigma_{dB} W_i / 10} \quad (2.10)$$

เมื่อ \bar{I}_i = ค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐาน i

r_i = ระยะทางจากเครื่องลูกข่ายถึงสถานีฐาน i

γ = กฎของการลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่น

W_i = ค่าศูนย์-เฉลี่ย, หน่วยความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มเกาส์เสียน

σ_{dB} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแปรปรวนข้อมูลในช่วง 6 ถึง 13 เดซิเบล

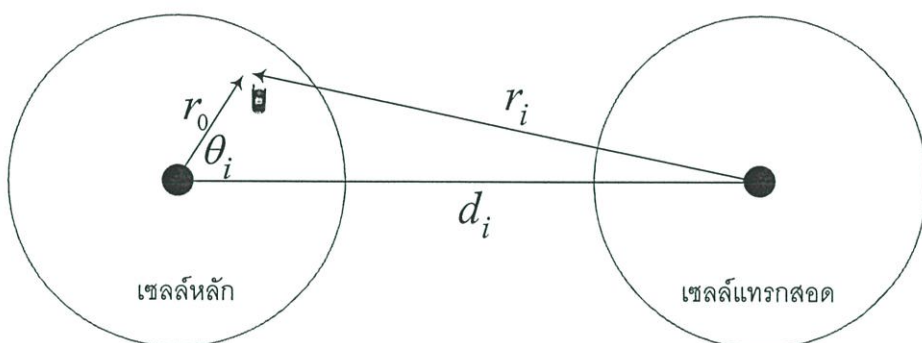
พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมากที่สุดสำหรับวิเคราะห์สัญญาณรบกวนจากเซลล์ข้างเคียงคือ ค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอด \bar{I}_i ในสมการ 2.10 และตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายหรือพารามิเตอร์ r_i เพราะตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายจะเป็นตัวกำหนดปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น

หากสมมติว่ามีเซลล์สมมาตรดังแสดงในรูปที่ 2.16 เพื่อใช้ในการหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง (r, θ_i) ในเซลล์หลัก ซึ่งจากรูปที่ 2.16 จะสามารถหาระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ i ได้เป็น

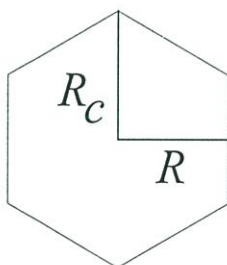
$$r_i(r, d_i, \theta_i) = \sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \theta_i} \quad (2.11)$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างเซลล์หรือระยะห่างระหว่างเซลล์หลักกับเซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด ซึ่งรูปที่ 2.16 จะเป็นรูปแสดงการวางเซลล์อย่างง่าย และรูปที่ 2.17 จะแสดง

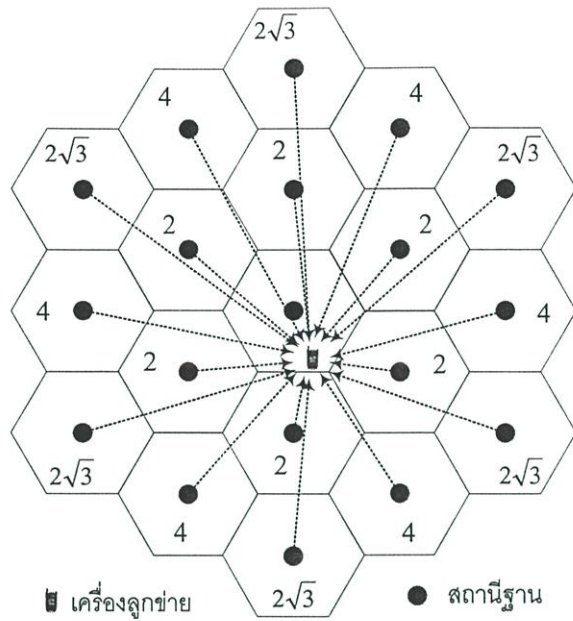
การหาระยะทางทั้งในเทอมของรัศมีเซลล์จากมุม-ถึง-มุม (R_c) หรือรัศมีเซลล์จากศูนย์กลางถึงด้าน R โดย $R = \sqrt{3}R_c/2$ เพื่อความสะดวกในการหาระยะห่างระหว่างเซลล์ แต่ทว่าในระบบเซลล์ลูลาร์นั้นจะมีการวางเซลล์แบบรวงผึ้งที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยจะมีเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในลักษณะ “วงแหวน” รอบเซลล์หลัก ซึ่งระยะห่างระหว่างเซลล์หลักกับวงแหวนเหล่านี้จะแสดงในตารางที่ 2.1 และเมื่อนำค่าระยะห่างเซลล์ที่ได้จากตารางที่ 2.3 มาวาดเป็นระบบเซลล์ลูลาร์แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ที่แสดงให้เห็นถึงการเกิดสัญญาณแทรกสอดที่เครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง (r, θ_i)



รูปที่ 2.15 ระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง



รูปที่ 2.16 ลักษณะและรัศมีเซลล์ในระบบเซลล์ลูลาร์



รูปที่ 2.17 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง(ฟอร์เวิร์ดลิงค์)ในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

ตารางที่ 2.1 ระยะห่างของเซลล์วงแหวนในระบบเซลลูลาร์

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	$2R\sqrt{n^2 + i^2 - ni}$

หากสมมติว่า การแพร่กระจายคลื่นเป็นสัดส่วนกับกำลัง γ นั่นคือ

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

เมื่อ P_t คือ กำลังส่งของสถานีฐาน

i และ r_i คือ ระยะห่างของสถานีฐาน i ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.11) แล้วจะได้ค่ากลางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมดในรูปของผลรวมของค่ากลางจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมด นั่นคือ

$$I_\alpha = \sum_i I_i = \sum_i P_i x L(r_i) = P_i \sum_i L(r_i) = \text{Const} x P_i \sum_i [r_i(r, d_i, \theta_i)]^{-r} \quad (2.12)$$

2.4.2 สัญญาณแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์

2.4.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกันในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ จะประกอบด้วย การซ้อนทับของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายเครื่องอื่นๆ ภายในเซลล์เดียวกันที่รับได้ที่เครื่องรับของสถานีฐานโดยในระบบซีดีเอ็มเอนั้น สัญญาณที่ใช้โดยเครื่องลูกข่ายเครื่องแต่ละเครื่องที่ทำการสื่อสารจะใช้ย่านความถี่เดียวกัน ซึ่งสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณรบกวนชนิดไวท์นอยซ์ที่มีย่านความถี่จำกัดได้ (band-limited white noise)

เมื่อสัญญาณรบกวนแทรกสอดส่วนมากที่รับได้ที่เครื่องรับที่สถานีฐานนั้นจะเกิดจากเครื่องลูกข่ายอื่นๆ ซึ่งจำนวนของเครื่องลูกข่ายที่สามารถติดต่อสื่อสารกับสถานีฐานพร้อมๆ กันนั้น (หรือความจุของระบบ) จะมีค่าสูงสุดได้เมื่อทำให้กำลังสัญญาณแต่ละสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานมีค่าเท่ากันหมด หากสมมติว่าในระบบมีการใช้การควบคุมกำลังส่งของเครื่องลูกข่าย หากว่าภายในเซลล์มีเครื่องลูกข่ายจำนวน M เครื่อง แล้วกำลังสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่รับได้ที่เครื่องรับของสถานีฐานจะมีค่าเป็น

$$I_{sc} = (M - 1) \cdot S \cdot \alpha_r \quad (2.13)$$

เมื่อ S = กำลังของเครื่องลูกข่ายที่รับได้ที่เครื่องรับของสถานีฐาน

α_r = ค่าประมาณการพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้เครื่องลูกข่าย

2.4.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ โดยสมมติว่าแต่ละเซลล์มีขนาดเท่ากัน และมีการใช้เทคนิคในการควบคุมกำลังส่ง ซึ่งกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ต่างเซลล์ (เซลล์ B) จะมีค่าเป็น

ระดับกำลังสัญญาณที่ต้องการที่สถานีฐาน B x การลดทอนสัญญาณจากการแพร่กระจาย = $S \cdot r^4$

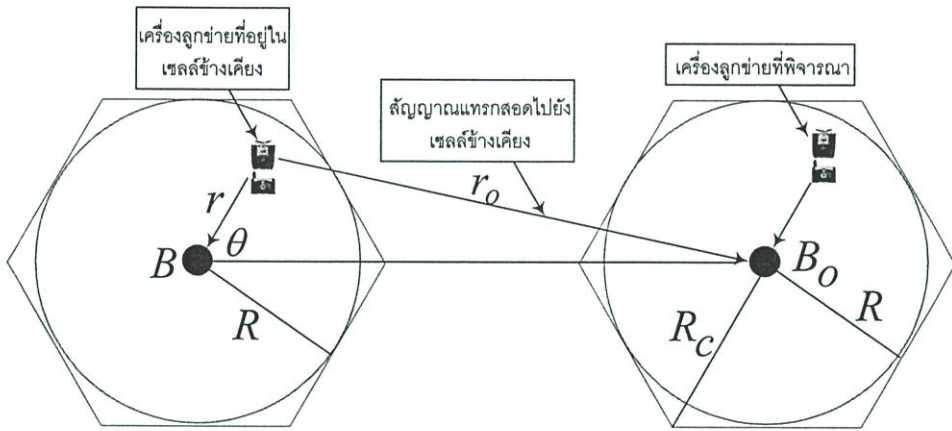
เมื่อ r คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในสถานีฐาน B

ดังนั้นกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายนี้ที่ไปรบกวนสถานีฐาน B_0 จะมีค่า

เป็น

$$P_0 = \alpha_r s \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^4 \quad (2.14)$$

โดยระยะทาง r_0 จะสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.34)



รูปที่ 2.18 ลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์

ปริมาณสัญญาณแทรกสอดจะขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องลูกข่ายที่ใช้งานภายในเซลล์ B โดยจะมีค่าเป็นค่าผลรวมของกำลังสัญญาณแทรกสอดของเครื่องลูกข่ายจำนวน M เครื่อง

2.4.3 ความจุในระบบเซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็มเอ

เมื่อพิจารณาระบบที่มีเซลล์เพียงเซลล์เดียวโดยไม่พิจารณาผลกระทบจากสัญญาณรบกวนต่างๆ จะพบว่า ความจุ M_c ของระบบในเทอมของปริมาณผู้ใช้ที่แอคทีฟจะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆในระบบดังนี้

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{req} = SNR_{req} = \frac{\alpha_r S}{(M_c - 1)\alpha_r S} = \frac{1}{M_c - 1} \quad (2.15)$$

หากพิจารณาระบบที่มีหลายเซลล์แล้ว ความจุ M ของแต่ละเซลล์จะมีค่าน้อยกว่าความจุ M_c ที่สามารถให้บริการได้ เนื่องจากสัญญาณรบกวนแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเมื่อไม่พิจารณาค่าการลดทอนจากสัญญาณรบกวนชนิดต่างๆ จะสามารถหาอัตราส่วนกำลังสัญญาณคลื่นพาห်ต่อกำลังสัญญาณแทรกสอดในระบบหลายเซลล์ ในเทอมของความจุ M ได้เป็น

$$SNR_{req} = \frac{\alpha_r S}{(M-1)\alpha_r S + \beta M \alpha_r S} = \frac{1}{(M-1) + \beta M} \quad (2.16)$$

เมื่อ β คือ แฟคเตอร์การแทรกสอดของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

2.5 การควบคุมกำลังส่ง

การควบคุมกำลังส่งมีความสำคัญมากทีเดียวซึ่งจำเป็นสำหรับระบบ DS-CDMA และเป็นส่วนประกอบสำคัญของฟังก์ชันที่เหมาะสม ในกรณีที่ไม่มี การควบคุมกำลังส่งผลของปรากฏการณ์ความใกล้-ไกลจะเป็นปัจจัยที่สำคัญและความจุของระบบโมบายล์ DS-CDMA จะน้อยมากซึ่งน้อยกว่าระบบโมบายล์ FDMA อีกแต่อย่างไรก็ตามเมื่อยังมีการควบคุมกำลังส่งในระบบ DS-CDMA อยู่จะอนุญาตให้ผู้ใช้ใช้ทรัพยากรร่วมกันของระบบได้ ดังนั้นเมื่อมีการควบคุมกำลังที่เหมาะสมจะสามารถเป็นไปได้ที่โมบายล์จะส่งกำลังทั้งหมดต่ำกว่าเดิมและอายุแบตเตอรี่ก็จะยืดยาวขึ้น

เทคนิคการควบคุมกำลังส่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น

- การควบคุมกำลังส่งแบบลูปปิด (closed-loop power control)
- การควบคุมกำลังส่งแบบลูปเปิด (open-loop power control)

การควบคุมกำลังส่งแบบลูปปิด (closed-loop power control) มีความเหมาะสมในระบบเซลลูลาร์เนื่องจากเกิดการจางหายขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นสำหรับการควบคุมกำลังส่งแบบลูปปิดเพื่อที่จะติดตามสัญญาณ จากการดีเลย์การแพร่กระจายคลื่นที่เดินทางไปกลับมาก ในกรณีนี้วิธีการแก้ปัญหาก็คือใช้การควบคุมกำลังส่งแบบลูปเปิด (open-loop power control) ซึ่งเครื่องโมบายล์จะประมาณสภาพช่องสัญญาณบนการสื่อสารเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานและค่าที่ประมาณนี้จะถูกใช้ตามปริมาณที่วัดได้ของสภาพช่องสัญญาณบนการสื่อสารเชื่อมโยงจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย ซึ่งเทคนิคเหล่านี้สามารถชดเชยการสูญเสียตามระยะทางและการบดบัง (shadowing) แต่ไม่สามารถที่จะชดเชยการจางหายหลายวิถีได้เนื่องจากการสื่อสารเชื่อมโยงจาก

ลับและขาไปไม่มีความสัมพันธ์กัน เมื่อมีค่าผิดพลาดจากการควบคุมกำลังส่งแบบลูเปิด 1 dB ความจุลดลง 5 % สำหรับ 2 dB ความจุลดลง 25 % และ สำหรับ 3 dB ความจุลดลง 44 % [15]

ฉะนั้นการปรับปรุง อัลกอริทึมการควบคุมกำลังส่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น

- ขนาดระดับกำลังส่งที่ถูกกำหนดไว้คงที่
- ขนาดระดับกำลังส่งที่ปรับเปลี่ยนตามช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป

โดยเฉพาะตัวอย่างของวิธีการปรับขนาดระดับกำลังส่งจะเป็นอัลกอริทึมสวอนกลับซึ่งอาจจะเพิ่มหรือลดกำลังส่งของผู้ใช้โมบายล์ โดยมีความแตกต่างกันอย่างแท้จริงระหว่างกำลังส่งสัญญาณที่รับได้และกำลังส่งสัญญาณรับที่ต้องการ

คำสั่งควบคุมกำลังส่งในอัลกอริทึมที่กำหนดระดับขนาดไว้คงที่นั้นเป็นคำสั่งอย่างง่ายเพียง 1 บิตเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมสวอนกลับดีกว่าอัลกอริทึมที่กำหนดระดับขนาดไว้คงที่ แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมที่กำหนดระดับขนาดไว้คงที่เป็นวิธีการที่ง่ายกว่าเนื่องจากอัลกอริทึมสวอนกลับจำเป็นต้องร่วมแบนด์วิดท์บนช่องสัญญาณกลับมาเพื่อเป็นคลื่นพาห้ให้กับระดับขนาดการควบคุมกำลังส่ง ซึ่งจะถูกแทนด้วยคำสั่งควบคุม 1 บิต เช่นเดียวกับกับอัลกอริทึมที่กำหนดระดับขนาดไว้คงที่

2.5.1 เทคนิคการควบคุมกำลังส่งสำหรับการสื่อสารทิศทางรีเวอร์ตลิงค์

การควบคุมกำลังส่งสำหรับรีเวอร์ตลิงค์นั้นเป็นการรวมเทคนิคของการควบคุมกำลังส่งแบบลูปิดและการควบคุมกำลังส่งแบบลูเปิด เช่นเดียวกับกับอัลกอริทึมที่กำหนดขนาดระดับกำลังส่งไว้คงที่และอัลกอริทึมกระจายความแรงสัญญาณ เป้าหมายของการควบคุมกำลังส่งแบบลูเปิดนั้นเป็นการประมาณการสูญเสียตามระยะทางและการสูญเสียเนื่องจากการบดบังระหว่างสถานีฐานและโมบายล์ ตามวิธีการนี้โมบายล์จะส่งสัญญาณการควบคุมกำลังส่งตั้งแต่ตอนแรกเริ่ม

แต่อย่างไรก็ตาม การจางหายหลายวิธีในทิศทางรีเวอร์ตลิงค์และฟอร์เวิร์ดลิงค์ นั้นมีการดำเนินการที่เป็นอิสระต่อกันเนื่องจากการแยกความถี่ของการเชื่อมโยงเหล่านี้เป็น 45 MHz และมากกว่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำการควบคุมกำลังส่งแบบลูปิดมาใช้ แต่ละเซลล์ไซต์จะวัดสัญญาณดีมอดูเลเตอร์ที่รับได้ในรูปของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ratio หรือ SNR) จากโมบายล์แต่ละเครื่อง การวัด SNR จะถูกเปรียบเทียบ กับ SNR ที่ต้องการสำหรับเครื่องโมบายล์นั้นและคำสั่งการปรับเปลี่ยนกำลังจะถูกส่งไปยังเครื่องโมบายล์ คำสั่งการปรับเปลี่ยนกำลังนี้จะถูกรวมกันกับการกะประมาณแบบลูเปิดของเครื่องโมบายล์เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งค่าสุดท้ายของกำลังส่งเครื่องโมบายล์ คำสั่งนี้มีขนาดระดับ

กำลังที่ได้กำหนดไว้คงที่เป็น 0.5 dB และจะถูกส่งไปทุกๆ 1.25 ms สถานีฐานจะวัดคุณภาพของสัญญาณ (BER) และกำหนด SNR ที่ต้องการสำหรับเครื่องโมบายล์นั้นโดยเฉพาะ

2.5.2 เทคนิคการควบคุมกำลังส่งสำหรับทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์

ในบางตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย ในกรณีการเชื่อมโยงทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์ ในการรับสัญญาณต่ำ เมื่อเครื่องลูกข่ายไม่สามารถยอมรับความผิดพลาดของเฟรมที่สูงได้ ดังนั้นเครื่องลูกข่ายทำการร้องขอไปยังสถานีฐานให้ส่งกำลังส่งเพิ่มขึ้น

เมื่อการควบคุมกำลังส่งในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์ตอบสนอง สถานีฐานลดคาบเวลาของกำลังส่งถึงเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องเป็นกระบวนการต่อเนื่องจนกระทั่งเครื่องลูกข่ายตอบสนองเพิ่มส่งสัญญาณความผิดพลาดของเฟรมในการเชื่อมโยงในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์ เครื่องลูกข่ายจะรายงานจำนวนเฟรมของความผิดพลาดไปยังสถานีฐาน ด้วยข้อมูลเหล่านี้สถานีฐานสามารถพิจารณาถึงการเพิ่มกำลังครั้งละ 0.5 dB

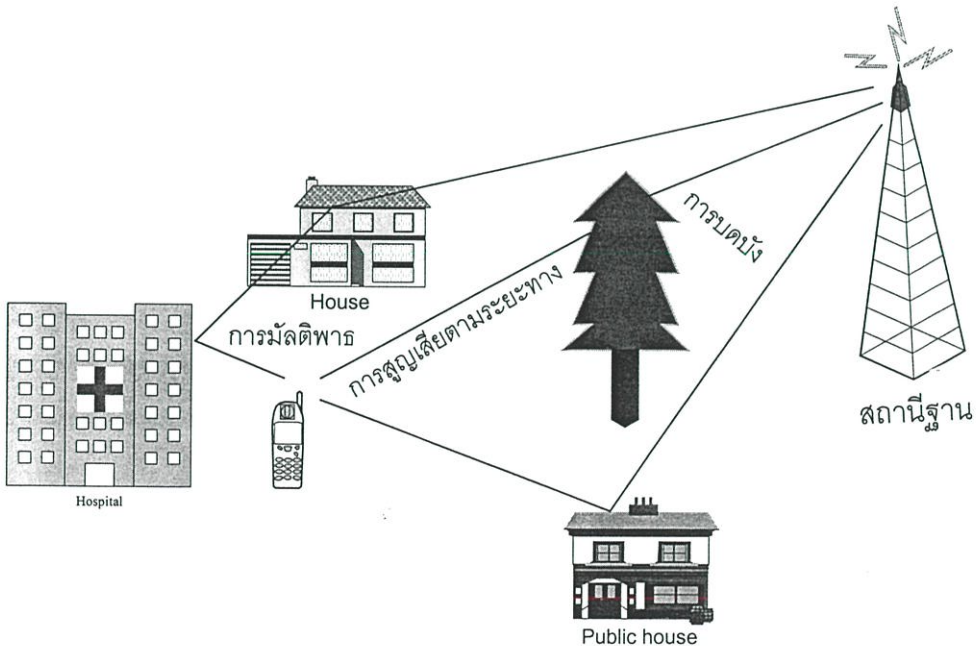
การปรับเปลี่ยนอัตรากำลังของทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์จะช้ากว่าการควบคุมกำลังส่งในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ การเพิ่มขึ้นของอัตรากำลังส่งเริ่มต้นจะกระทำก็ต่อเมื่อช่วงลำดับของเฟรมที่ 20 มิลลิวินาที ความแรงของการปรับเปลี่ยนกำลังส่งในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์จะถูกจำกัดที่ $\pm 6 \text{ dB}$

บทที่ 3

การวิเคราะห์ระบบและแบบจำลองระบบที่มีการพิจารณา สหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

3.1 การแพร่กระจายของคลื่นบนช่องสัญญาณ

การแพร่กระจายของคลื่นบนช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบไร้สายนั้น เมื่อสัญญาณถูกส่งผ่านช่องสัญญาณ สัญญาณนั้นจะได้รับผลกระทบจากการเดินทางผ่านช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง การเดินทางของคลื่น เช่น อาคาร ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ จะส่งผลให้เกิดการสะท้อน (reflection) การหักเหของคลื่น (diffraction) และการแตกกระจายของคลื่น (scattering) จากอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เมื่อคลื่นตกกระทบส่งเหล่านี้ พลังงานจะมีการแตกกระจายออกไปทุกทิศทาง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้จะทำให้คลื่นเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับด้วยระยะทางที่แตกต่างกัน (Path loss) และใช้เวลาที่แตกต่างกันด้วยเหตุนี้เองทำให้การรับสัญญาณข้อมูลข่าวสารที่ได้รับที่เหมือนกันในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเรียกว่ามัลติพาท (Multipath) มัลติพาทนี้จะทำให้เกิดการจางหาย (Fading) ของสัญญาณ ซึ่งเราจะพิจารณาเป็น 3 ประเภท การสูญเสียตามระยะทาง (Path loss) การบดบัง (Shadowing) และการมัลติพาท (Multipath) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการสูญเสียตามระยะทาง การมัลติพาท และการบดบัง

3.1.1 การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss)

การสูญเสียตามระยะทางนั้นเมื่อพิจารณาในกำลังเฉลี่ยของสัญญาณ P_i ที่มีระยะห่าง d จากเครื่องส่ง พบว่ากำลังเฉลี่ยนั้นจะลดลงเป็นฟังก์ชันของระยะ d นั้น และฟังก์ชันนี้จะแสดงโดย กฎของกำลังการสูญเสียตามระยะทาง (Path-loss-power law) ตามสมการ

$$P_i \approx \frac{1}{d^\gamma} \quad (3.1)$$

เมื่อ γ เป็นตัวชี้กำลังของกฎของการสูญเสียตามระยะทาง ค่าของ γ จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการแพร่ผ่าน เมื่อสภาวะแวดล้อมเป็นอากาศว่าง (free space) ไม่มีสิ่งกีดขวาง γ จะค่าเป็น 2 และในสภาพแวดล้อมของระบบเซลล์ลูลาร์ในเมืองที่มีทั้งตึก และเกิดการกบดบัง ค่าของ γ มีค่าอยู่ในช่วง 3-6 โดยจะเห็นได้จากสมการว่าเมื่อระยะ d มากขึ้น จะส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณลดลงไปตามกฎการสูญเสียตามระยะทาง จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (near-far effect) ขึ้นในระบบซีดีเอ็มเอ เป็นปรากฏการณ์ที่กำลังเฉลี่ยที่ถูกรับได้ที่สถานีฐานที่ถูกส่งจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐาน จะมีค่าสูงกว่ากำลังเฉลี่ยที่ถูกรับได้จากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในระยะทางไกลกว่าซึ่งจะส่งผลให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณที่ใช้ช่องสัญญาณร่วมกันในระบบซีดีเอ็มเอ การสูญเสียตามระยะทางที่อ้างอิงคำนวณมาจากการใช้สูตรการสูญเสียตามระยะทางอวกาศหรือตลอดขอบเขตการวัดที่ระยะทาง d ดังที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวชี้กำลังการสูญเสียตามระยะทางสำหรับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

สภาพแวดล้อม	ตัวชี้กำลังการลดทอนตามระยะทาง n
อากาศว่าง	2
พื้นที่ในเมือง	2.7 – 3.5
พื้นที่ในเมืองมีการจางหาย	3 - 5
ในอาคารแนวระดับสายตา	1.6 – 1.8
ในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง	4 – 6
ในโรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง	2 - 3

3.1.2 การมัลติพาท (Multipath)

ในการแพร่ผ่านของสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่เป็นสภาวะแวดล้อมที่มีวัตถุที่ทำให้เกิดการสะท้อน การหักเห และการกระเจิง ทำให้สัญญาณเกิดการหลายเส้นทาง และเมื่อมีการหลายเส้นทางดังกล่าวโดยอาจจะมีเฟสของสัญญาณที่ต่างกัน ส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีการลดทอน โดยในการหลายเส้นทางดังกล่าวนี้ เมื่อในจำนวนของเส้นทางเหล่านี้ เป็นเส้นทางที่เกิดจากการหลายวิถีทั้งสิ้น โดยไม่ได้มีเส้นทางที่เป็น Line-of-Sight จะได้ฟังก์ชันของการแจกแจงแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution) ส่วนเมื่อในจำนวนของเส้นทางเหล่านี้มีเส้นทางที่เป็น Line-of-Sight จะแสดงได้ด้วยค่าฟังก์ชันความหนาแน่นที่มีการแจกแจงแบบไรเซียน (Rician distribution)

ในการลดทอนของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจะสามารถพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ large-scale fading และ small-scale fading เมื่อมีการลดทอนกำลังของสัญญาณเฉลี่ย หรือ Path Loss เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านใหญ่ ๆ จะเป็นในลักษณะที่รับผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศระหว่างภาคส่งและภาครับ แล้วจะส่งผลให้เกิด large-scale fading จะให้การลดทอนของกำลังเฉลี่ยที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง ดังนั้นในลักษณะนี้จะเป็นการอธิบายโดยการสูญเสียเฉลี่ยตามระยะทาง (mean-path-loss) และการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล การเปลี่ยนแปลงในแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ได้รับจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลง

3.1.3 การบดบัง (Shadowing)

เมื่อมีการแพร่ผ่านของสัญญาณผ่านบริเวณที่มีพื้นที่ใหญ่ๆ ปรากฏการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศ เช่น เนิน อาคาร ต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งอยู่ในช่วงจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับซึ่งจะถูกแสดงถึงการถูกบดบัง (Shadowing) จากสภาพภูมิประเทศดังกล่าว ส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างช้าๆ

เมื่อกำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ย m_0 และความแปรปรวน σ_0^2 เมื่อตัวแปรสุ่ม Y มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log-normal Distribution) โดยมีความสัมพันธ์ $Y = e^X$ หรือ $X = \ln Y$ ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ Y แสดงได้ตามสมการ

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0 x} \exp\left[-\frac{(\ln x - m_0)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (3.2)$$

3.2 ความน่าจะเป็นของการเกิดเอาท์เตจ

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบการสื่อสารไร้สายแบบการเข้าถึงหลายทางโดยแยกทางรหัส เนื่องจากความถี่เดียวกันของช่องสัญญาณถูกใช้อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นคุณภาพการเชื่อมโยงของการสื่อสารไร้สายนั้น จะแสดงถึงอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด อัตราส่วนกำลังของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดที่ภาครับ เมื่อสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดเป็นส่วนประกอบที่อยู่รวมกัน ดังนั้นจึงสนใจในการหาความน่าจะเป็นว่าด้วยอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) R_{th} จะแสดงได้โดย

$$P_{out} = P[SIR < R_{th}] \quad (3.3)$$

ในกรณีนี้ ทั้งคู่ของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดเป็นการซ้อนทับ (Superposition) ของหลายส่วนประกอบ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด จะแสดงได้โดย

$$SIR = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_N}{I_1 + I_2 + \dots + I_M} \quad (3.4)$$

เมื่อ U_i ให้ $i = \{1, 2, \dots, N\}$ และ I_j ให้ $j = \{1, 2, \dots, M\}$ เป็นอัตราส่วนประกอบโดยเฉพาะของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอด การแจกแจงของ U และ I เป็นผลรวมของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (lognormal) เป็นที่รู้กันดีว่าไม่สามารถประมาณค่าเป็นรูปแบบที่ถูกต้องชัดเจนได้ เนื่องจากรูปแบบการประมาณที่หลายที่จะถูกอ้างถึงใน [2-3] รูปแบบ ที่นำเสนอนี้ สมมติว่า U และ I เป็นตัวแปรแบบล็อกนอร์มอล (lognormal variables) เมื่อ $S \cong \ln(U)$ และ $Z \cong \ln(I)$ ดังนั้น S และ Z เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน (Gaussian Random Variables)

ในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแยกทางรหัสด้วยวิธีการจัดลำดับตรง การเปลี่ยนแปลงในระดับกำลังที่ได้รับเนื่องจากการควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ ได้ถูกจำลองแบบโดยอาศัยตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (lognormal) [4] เพราะฉะนั้น ถ้า S_i เป็นระดับของกำลังที่ได้รับของกำลังที่ต้องการ กำลังที่ได้รับจริงสามารถแสดงได้ดังนี้ $S_i e^{\beta X}$ เมื่อ $\beta = \ln(10)/10$ และ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และค่าของความแปรปรวน เป็น σ_x^2

กำหนดให้ ค่าเฉลี่ย (mean) ของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (lognormal) $e^{\beta X}$ เป็น m_i และค่าของความแปรปรวน σ_i^2

$$m_i = e^{\beta m_x + (1/2)\beta^2 \sigma_x^2} \quad (3.5)$$

$$\sigma_i^2 = e^{2\beta m_x + \beta^2 \sigma_x^2} (e^{\beta^2 \sigma_x^2} - 1) \quad (3.6)$$

กำหนดให้เครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องติดต่อสื่อสารกับสถานีฐานเพียงหนึ่งสถานีฐาน โดยไม่คำนึงถึงความแรงของกำลังที่รับได้จากสถานีฐานรอบๆ เมื่อระยะห่างของตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายที่ขอบเซลล์จากสถานีฐานที่แทรกสอด และสถานีฐานที่อ้างถึง สมมติให้การแจกแจงของกำลังส่งที่ได้รับเหมือนกับที่สถานีฐานที่แทรกสอด

การกำหนดความน่าจะเป็นของการเกิดเออร์เตจ ของคุณภาพการบริการด้านเสียงและข้อมูลของผู้ใช้สามารถกำหนดได้โดย[5]

$$P_{out} = \Pr \left[R_{th} > \frac{G_p (e^{\beta X}) S_i}{I_{int} + I_{oth} + \eta} \right] \quad (3.7)$$

I_{int} เป็นการแทรกสอดภายในเซลล์ I_{oth} เป็นการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง และ η เป็นเทอร์มอลนอยซ์ (thermal noise) ซึ่งในที่นี้เราจะไม่นำมาพิจารณา เมื่อ I_{int} และ I_{oth} เป็นตัวแปรสุ่ม กำหนดให้ $J = \frac{R_{th}}{G_p}$ โดยที่ G_p เป็น อัตราการขยายการประมวล และ $H = I_{int} + I_{oth} + \eta$ ดังนั้น สมการที่ 3.7 สามารถจัดให้อยู่ในรูป ดังนี้

$$P_{out} = P \left[\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{J}{S_i} H \right) \right] \quad (3.8)$$

$$= 1 - \int_0^\infty Q \left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{J}{S_i} h \right)}{\sqrt{\sigma_x^2}} \right] f_H(h) dh \quad (3.9)$$

ใน [6] แสดงให้เห็นว่า ถ้า θ เป็นตัวแปรสุ่ม และ $P(\theta)$ เป็นฟังก์ชันจริง (real function) ของ θ

ดังนั้น ค่าเฉลี่ย (mean) $E[P(\theta)]$ ถูกประมาณได้โดย

$$E[P(\theta)] \approx \frac{2}{3}P(\mu) + \frac{1}{6}P(\mu + \sqrt{3}\sigma) + \frac{1}{6}P(\mu - \sqrt{3}\sigma) \quad (3.10)$$

การประมาณเป็นผลจากการกระจายของฟังก์ชัน $P(\theta)$ ในเทอมของความแตกต่าง ตามสูตรของ Stirling การประมาณจะถูกต้องเมื่อฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลดีกรีห้า และ H เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน โดยใช้การประมาณด้วยฟังก์ชัน Q ในสมการที่ 3.9 จะได้เป็น

$$P_{out} = 1 - \frac{2}{3}Q \left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{J}{S_i}\right) m_H}{\sqrt{\sigma_x^2}} \right] - \frac{1}{6}Q \left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{J}{S_i}\right) (m_H + \sqrt{3}\sigma_H)}{\sqrt{\sigma_x^2}} \right] - \frac{1}{6}Q \left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{J}{S_i}\right) (m_H - \sqrt{3}\sigma_H)}{\sqrt{\sigma_x^2}} \right] \quad (3.11)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\begin{aligned} m_H &= E[I_{int}] + E[I_{oth}] \\ \sigma_H^2 &= Var[I_{int}] + Var[I_{oth}] \end{aligned} \quad (3.12)$$

3.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

วิธีการที่นำเสนอจะอยู่บนสมมติฐานของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal random variables) คุณลักษณะโดยคุณสมบัติที่ว่าลอการิทึมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ให้ L_i เป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล และให้

$$X_i = 10 \log_{10} L_i \quad (3.13)$$

ซึ่งถูกแจกแจงแบบปกติ ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function)

$$f_{X_i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{x_i}} \exp\left(\frac{-(x - m_i)^2}{2\sigma_{x_i}^2}\right) \quad (3.14)$$

เมื่อ m_{x_i} และ σ_{x_i} เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ X_i ในสภาวะแวดล้อมแวดล้อมของคลื่นวิทยุแบบเคลื่อนที่ ค่าของตัวแปร σ_{x_i} โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 6 และ 12 เดซิเบล ของช่องสัญญาณในทางปฏิบัติ ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการบดบัง[2] ตัวแปรสุ่ม X_i ในสมการที่ (3.14) มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) ใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (natural logarithm) ของ L_i . ในการกำหนด ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน (Gaussian random variables)

$$Y_i = \ln L_i \quad (3.15)$$

ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น

$$f_{Y_i}(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{y_i}} \exp\left(\frac{-(y - m_{y_i})^2}{2\sigma_{y_i}^2}\right) \quad (3.16)$$

เมื่อ m_{y_i} เป็นค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_{y_i} ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน Y_i และ X_i มีความสัมพันธ์โดย

$$Y_i = \lambda X_i, \quad m_{y_i} = \lambda m_{x_i}, \quad \sigma_{y_i} = \sigma_{x_i} \quad (3.17)$$

เมื่อ $\lambda = 0.1 \ln(10) = 0.23026$ เมื่อฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function) ของตัวแปรสุ่ม L_i สามารถแสดงได้โดย[7]

$$f_{L_i}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{L_i}u} \exp\left(-\frac{\ln(u - m_{L_i})^2}{2\sigma_{L_i}^2}\right) \quad (3.18)$$

เมื่อ $\ln(m_{L_i}) = m_{y_i}$ และ $\sigma_{L_i} = \sigma_{y_i}$ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการสอดคล้องของการแจกแจงแบบเกาส์เซียนตามลำดับ ปัญหาถึงการหา Complementary distribution function (CDF) ของผลรวมของ t สหสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล ให้

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_t \quad (3.19)$$

สมมูลกับ
$$L = e^{Y_1} + e^{Y_2} + \dots + e^{Y_t} \quad (3.20)$$

การสหสัมพันธ์ถูกสมมุติว่า ตัวแปรสุ่ม Y_i เท่ากับ $(\ln L_i)$ เมื่อ $i=1,2,\dots,t$ สหสัมพันธ์ร่วมกันกับตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน[8] กับค่าเฉลี่ย m_{y_i} และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ_{y_i} สัมประสิทธิ์การสหสัมพันธ์ของ Y_i และ Y_j จะได้

$$r_{ij} = \frac{E[(Y_i - m_{y_i})(Y_j - m_{y_j})]}{\sigma_{y_i} \sigma_{y_j}} \quad (3.21)$$

การพิจารณาเข้าสู่การประมาณ Complementary distribution function (CDF) ของ L ในสมการที่ (3.20) วิธีการของ Wilkinson 's Method [2] สมมุติฐานที่ว่า ผลรวมของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอลถูกประมาณได้ดีโดยตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล ในทางคณิตศาสตร์

สมมุติว่า

$$e^Z \cong e^{Y_1} + e^{Y_2} + e^{Y_3} + \dots + e^{Y_t} \quad (3.22)$$

ในการคำนวณหา ค่าเฉลี่ย (mean) m_z และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard derivation) σ_z นั้นโดย เมื่อ Z เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน (Gaussian random variables) จะทำการคำนวณได้โดย

ทำการแมชชีง (Matching) โมเมนต์อันดับหนึ่ง (First moment) แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E[e^z] &= E[e^{Y_1} + e^{Y_2} + e^{Y_3} + \dots + e^{Y_t}] \\ &= \exp\left(m_z + \frac{1}{2}\sigma_z^2\right) = \sum_{i=1}^t \exp\left(m_{y_i} + \frac{\sigma_{y_i}^2}{2}\right) \\ &= u_1 = E[I] / S_i \end{aligned} \quad (3.23)$$

ทำการแมชชีง (Matching) โมเมนต์อันดับสอง (Second moment) แสดงได้ดังนี้

$$E[e^{2z}] = E[(e^{Y_1} + e^{Y_2} + e^{Y_3} + \dots + e^{Y_t})^2]$$

$$\begin{aligned}
&= \exp(2m_z + 2\sigma_z^2) \\
&= \sum_{i=1}^t \exp(2m_{y_i} + 2\sigma_{y_i}^2) \\
&\quad + 2 \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=i+1}^t \left\{ \exp(m_{y_i} + m_{y_j}) \exp\left(\frac{\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_j}^2 + 2r_{ij}\sigma_{y_i}\sigma_{y_j}}{2}\right) \right\} \\
&= u_2 = (\text{Var}[I]/S_i^2) + u_1^2 \tag{3.24}
\end{aligned}$$

3.3.1 การพิจารณาการแทรกสอดภายในเซลล์

ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวน (variance) การแทรกสอดภายในเซลล์ของเสียง (voice)

$$E[I_v] = (N_v - 1)\alpha_v S_v m_l + N_d \alpha_d S_d r_d m_l \tag{3.25}$$

$$\begin{aligned}
\text{Var}[I_v] &= (N_v - 1)(\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_v^2 \\
&\quad + (N_v - 1)\alpha_v^2 S_v^2 m_l^2 + N_d \alpha_d^2 m_l^2 S_d^2 r_d^2 \\
&\quad + N_d (\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_d^2 r_d^2 \tag{3.26}
\end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวน (variance) การแทรกสอดภายในเซลล์ของข้อมูล (data)

$$E[I_d] = N_v \alpha_v S_v m_l + (N_d - 1)\alpha_d S_d r_d m_l + r_d (r_d - 1)S_d m_l \tag{3.27}$$

$$\begin{aligned}
\text{Var}[I_d] &= N_v (\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_v^2 \\
&\quad + N_v \alpha_v^2 S_v^2 m_l^2 + (N_d - 1)(\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2) \\
&\quad \cdot (\sigma_l^2 + m_l^2)S_d^2 r_d^2 + (N_d - 1)\alpha_d^2 m_l^2 S_d^2 r_d^2 \\
&\quad + (r_d - 1)^2 S_d^2 \sigma_l^2 \tag{3.28}
\end{aligned}$$

3.3.2 การพิจารณาการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวน (variance) การแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงของเสียง(voice)

$$\begin{aligned}
E[I_v] &= (N_v - 1)\alpha_v S_v m_l + N_d \alpha_d S_d r_d m_l \\
&\quad + \{N_v \alpha_v S_v m_l + N_d \alpha_d S_d r_d m_l\} f_0
\end{aligned} \tag{3.29}$$

$$\begin{aligned}
Var[I_v] &= (N_v - 1)(\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_v^2 \\
&\quad + (N_v - 1)\alpha_v^2 S_v^2 m_l^2 + N_d \alpha_d^2 m_l^2 S_d^2 r_d^2 \\
&\quad + N_d (\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_d^2 r_d^2 \\
&\quad + \{N_d (\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_d^2 r_d^2 \\
&\quad \quad + N_v (\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_v^2 \\
&\quad \quad + N_v \alpha_v^2 S_v^2 m_l^2 + N_d \alpha_d^2 m_l^2 S_d^2 r_d^2\} f_0
\end{aligned} \tag{3.30}$$

ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความแปรปรวน (variance) การแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงของข้อมูล (data)

$$\begin{aligned}
E[I_d] &= N_v \alpha_v S_v m_l + (N_d - 1)\alpha_d S_d r_d m_l + r_d (r_d - 1)S_d m_l \\
&\quad + \{N_v \alpha_v S_v m_l + N_d \alpha_d S_d r_d m_l\} f_0
\end{aligned} \tag{3.31}$$

$$\begin{aligned}
Var[I_d] &= N_v (\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_v^2 \\
&\quad + N_v \alpha_v^2 S_v^2 m_l^2 + (N_d - 1)(\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2) \\
&\quad \cdot (\sigma_l^2 + m_l^2)S_d^2 r_d^2 + (N_d - 1)\alpha_d^2 m_l^2 S_d^2 r_d^2 \\
&\quad + (r_d - 1)^2 S_d^2 \sigma_l^2 \\
&\quad + \{N_d (\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_d^2 r_d^2 \\
&\quad \quad + N_v (\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_l^2 + m_l^2)S_v^2 \\
&\quad \quad + N_v \alpha_v^2 S_v^2 m_l^2 + N_d \alpha_d^2 m_l^2 S_d^2 r_d^2\} f_0
\end{aligned} \tag{3.32}$$

ตามสมมติฐานทั่วไป ในการวิเคราะห์ระบบ การเข้าถึงหลายทางแบบแยกทางรหัส คือเมื่อพิจารณาถึงผู้ใช้ที่อยู่ภายนอกเซลล์จะถูกพิจารณาเหมือนเป็นการเพิ่มการแทรกสอดขึ้น ซึ่งจะเท่ากับ $f_0 N$ ผู้ใช้ที่ติดต่อสื่อสารกับสถานีฐาน เมื่อค่า f_0 เป็นอัตราส่วนของการแทรกสอดระหว่างภายนอกเซลล์กับภายในเซลล์ N เป็นจำนวนของผู้ใช้ในหลายๆเซลล์ [9] N_v และ N_d เป็นจำนวนของผู้ใช้การบริการทางเสียงและจำนวนของการบริการข้อมูล

จากสมการข้างบนใช้สมการที่ (3.25) ถึงสมการที่ (3.28) ในการคำนวณหาการแทรกสอดภายในเซลล์ และการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงพิจารณาในสมการที่ (3.29) ถึงสมการที่

(3.32) ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) m_z และค่าความแปรปรวน (Variances) σ_z^2 ในเทอมของ u_1 และ u_2 ในสมการที่ (3.23) และ (3.24) เมื่อ t เป็นจำนวนของการแทรกสอดทั้งหมด

$$m_z = 2 \ln u_1 - 0.5 \ln u_2 \quad (3.33)$$

$$\sigma_z^2 = \ln u_2 - 2 \ln u_1 \quad (3.34)$$

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของสัญญาณถูกพิจารณาเป็นองค์ประกอบเดียวกัน ดังนั้น จาก [3] สมการที่ (3.23) และสมการที่ (3.24) จะได้

$$\begin{aligned} E[UI] &= E[e^{s+z}] \\ &= \sum_{i=1}^t [\exp(m_{x_i} + m_{y_i}) + \frac{1}{2}(\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2 + 2r_{x_i y_i} \sigma_{x_i} \sigma_{y_i})] \\ &= v \end{aligned} \quad (3.35)$$

การคำนวณหาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด r_{sz} จะได้

$$r_{sz} = \frac{2[\ln(v) - (m_s + m_z)] - (\sigma_s^2 + \sigma_z^2)}{2\sigma_s \sigma_z} \quad (3.36)$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด จะแสดงได้ดังสมการ

$$P_{out} = \Pr \left[\frac{R}{P_G} > \frac{e^s}{e^z} \right]$$

เมื่อ $R_{th} = \left(\frac{R}{P_G} \right)$ เป็นการกำหนดค่าของจุดเปลี่ยน (Required threshold)

R เป็นอัตราพลังงานของบิตต่อหน่วย (noise) และ $P_G = \frac{W}{B}$ เป็น อัตราการขยายการประมวลผล W เป็นสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (Spread spectrum bandwidth) และ B อัตราการส่งของข้อมูล (Transmission rate)

$$P_{out} = 1 - Q \left[\frac{\ln(R_{th}) - m_s + m_z}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_z^2 - 2r_{sz}\sigma_s\sigma_z}} \right] \quad (3.37)$$

เมื่อ $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ เป็นเกาส์เสียน Q ฟังก์ชันของ x ตามมาตรฐานของระบบ เซลล์ลูลาร์ซีดีเอ็ม IS-95[10] อัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 อัตราการส่งของข้อมูล เท่ากับ 9.6 กิโลบิตต่อวินาที สเปกตรัมแบนด์วิดท์ เท่ากับ 1.228 เมกกะเฮิร์ตซ์ ค่า σ_s เท่ากับ $(\ln 10/20)$ และ Voice Activity เท่ากับ 0.375 ค่าของจุดเปลี่ยน 7 dB

3.4 การวิเคราะห์ช่วงระยะเวลาของการเกิดเอาต์เตจ (Outage duration)

เมื่อความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ (Outage) นั้นให้ความน่าจะเป็นระดับของ สัญญาณ $\psi = S - Z$ ต่ำกว่า R_{th} ค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) สามารถกำหนดได้โดย

$$P(\psi < \ln(R_{th})) \quad (3.38)$$

ในระบบ DS-CDMA การเปลี่ยนแปลงในระดับกำลังที่รับได้เนื่องจากการควบคุมกำลังส่ง ผิดพลาด ถูกจำลองแบบโดยอาศัยตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล (lognormal random variables) ในปัญหาของระดับสัญญาณ ψ ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) เปลี่ยนเป็นปัญหาระดับของ สัญญาณสูงกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) การวิเคราะห์ช่วงระยะเวลาของการเกิดเอาต์เตจ

$$P(q > R'_{th}) \quad (3.39)$$

เมื่อ q เป็นแบบเกาส์เสียนที่มีค่าความแปรปรวน (variance) และมีค่าเฉลี่ย (mean) เป็นศูนย์ จะได้เป็น

$$q = \frac{m_s - m_z - (S - Z)}{\sigma} \quad (3.40)$$

และ
$$R'_{th} = \frac{m_s - m_z - \ln(R_{th})}{\sigma} \quad (3.41)$$

เมื่อ
$$\sigma = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_z^2 - 2r_{sz}\sigma_s\sigma_z} \quad (3.42)$$

จาก[11] จะได้ pdf ของช่วง τ_b ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของ q ที่มีค่าสูงกว่าค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) R'_{th} เป็นตัวแปรสุ่ม จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 โดย

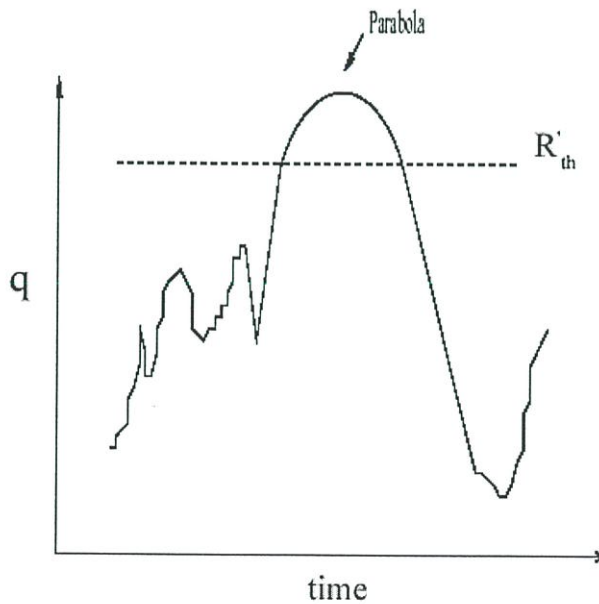
$$\tau_b = \frac{2}{R'_{th}\lambda} \zeta \quad (3.43)$$

เมื่อ ζ เป็นตัวแปรสุ่มแบบเรย์ลี (Rayleigh random variable) ซึ่งมี ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (pdf) เป็น

$$P_\zeta(n) = \frac{n}{\lambda} \exp\left(\frac{-n^2}{2\lambda}\right) \quad \text{เมื่อ } n \geq 0 \quad (3.44)$$

ดังนั้นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (pdf) ของ τ_b จะได้

$$f_{\tau_b}(\tau_b) = \frac{\lambda R'^2_{th} \tau_b^2 e^{\left(\frac{-\lambda R'^2_{th} \tau_b}{8}\right)}}{4} \quad (3.45)$$



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบบางส่วนของ q

จากสมการข้างบน pdf ของช่วงระยะเวลาของการเกิดเอาต์เตจ τ_{out} จะแสดงได้โดย

$$f_{\tau_{out}}(\tau_{out}) = \begin{cases} \frac{f_{\tau_b}(\tau_{out})}{P(\tau_b > \tau_m)} & \text{เมื่อ } \tau_{out} > \tau_m \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$= \begin{cases} f_{\tau_b}(\tau_{out}) e^{-\frac{\lambda R_{th}^2 \tau_m^2}{8}} & \text{เมื่อ } \tau_{out} > \tau_m \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases} \quad (3.46)$$

เมื่อ

$$P(\tau_b > \tau_m) = \int_{\tau_m}^{\infty} f_{\tau_b} d\tau_b = \exp\left(-\frac{\lambda R_{th}^2 \tau_m^2}{8}\right)$$

และ $\lambda = \left(\frac{v}{d_c}\right)^2$ โดยที่ v เป็นความเร็วของโมบาย

d_c เป็นสหสัมพันธ์ระยะทางของการบดบัง

ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยของการเกิดเอาต์เตจ (Outage) จะได้

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_{out} &= \int_{-\infty}^{\infty} \tau_{out} f_{out} d\tau_{out} \\ &= \int_{\tau_m}^{\infty} \frac{\tau_b f_{\tau_b}(\tau_b)}{P(\tau_b > \tau_m)} d\tau_b \\ &= \exp\left(-\frac{\lambda R_{th}^2 \tau_m^2}{8}\right) \int_{\tau_m}^{\infty} \tau_b f_{\tau_b}(\tau_b) d\tau_b \\ &= \exp(A\tau_m^2) [\tau_m \exp(-A\tau_m^2) + \sqrt{\frac{\pi}{A}} Q(\sqrt{2A\tau_m})] \\ \bar{\tau}_{out} &= \tau_m + \sqrt{\frac{\pi}{A}} Q(\sqrt{2A\tau_m}) \exp(A\tau_m^2) \end{aligned} \quad (3.47)$$

$$\text{เมื่อ } A = \frac{\lambda R_{th}'^2}{8}$$

ดังนั้นความถี่ของการเกิดเอ้าท์เตจจะได้อ

$$f_{out} = \frac{\sqrt{\lambda}}{2\pi} e^{-A\left(\tau_m^2 + \frac{4}{\lambda}\right)} \quad (3.48)$$

ใช้ความสัมพันธ์ $P_{out} = f_{out} \bar{\tau}_{out}$ จากสมการที่ (3.74) และสมการที่ (3.48) ดังนั้นช่วงระยะเวลาของการเกิดเอ้าท์เตจจะได้อ

$$P_{out, \tau_{out}} = \frac{\tau_m \sqrt{\lambda}}{2\pi} e^{-A\left(\tau_m^2 + \frac{4}{\lambda}\right)} + \frac{\sqrt{\lambda}}{2\sqrt{\pi A}} Q(\sqrt{2A}\tau_m) e^{-\frac{4A}{\lambda}} \quad (3.49)$$

3.5 การวิเคราะห์ทราฟฟิค (Throughput) และการประวิง (Delay)

เมื่อพิจารณาระบบสล็อตในการสื่อสารคลื่นที่ผู้ใช้ได้รับอนุญาตในการส่งโดยการกำหนดช่วงเวลานั้นๆ ตัวแปรที่ใช้บ่งบอกถึงสมรรถนะของระบบ คือ ทราฟฟิค (Throughput) และการประวิง (delay) ทราฟฟิค (Throughput) คือ อัตราเฉลี่ยของจำนวนแพ็คเก็ตที่ได้รับสำเร็จในไทม์สล็อต (time slot) รูปแบบทั่วไปที่แสดงถึงทราฟฟิค (throughput)

$$S(G) \triangleq GP(\text{Success}) \quad (3.47)$$

เมื่อ G (Offered traffic) เป็นค่าเฉลี่ยจำนวนของแพ็คเก็ตต่อไทม์สล็อต (time slot) offered traffic G ซึ่งสอดคล้องกัน 2 อย่างด้วยการ เจนเนอเรท (Generated) แพ็คเก็ตใหม่และส่งแพ็คเก็ตซ้ำของแพ็คเก็ตที่ได้รับไม่สำเร็จช่วงของการส่งก่อนหน้า

ทราฟฟิค (throughput) สามารถทำการคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของแพ็คเก็ตที่ได้รับสำเร็จในระบบ

$$S = \sum_{k=1}^{N_s} k P_T(k) P_s(k) \quad (3.48)$$

เมื่อ N_s เป็นจำนวนของผู้ให้บริการ และ $P_T(k)$ เป็นความน่าจะเป็นของแพ็คเกจ k ที่ถูกส่งอยู่ในไทม์สล็อต (time slot) สมมติว่าการมาถึงของ offered traffic มีการแจกแจงแบบปัวซอง ดังนั้น $P_T(k)$ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_T(k) = \frac{G^k}{k!} e^{-G} \quad (3.49)$$

เมื่อ $P_s(k)$ คือ ความน่าจะเป็นของแพ็คเกจสำเร็จ และนิยามถึงความน่าจะเป็นของ k แพ็คเกจที่ถูกส่งสำเร็จในไทม์สล็อต (time slot) เมื่อเอาต์เตท (outage) เกิดขึ้น แพ็คเกจทุกแพ็คเกจที่ถูกส่งในไทม์สล็อตจะเกิดการสูญเสีย ดังนั้น $P_s(k)$ แสดงได้ดังนี้

$$P_s(k) = 1 - P_{out}(k) \quad (3.50)$$

เมื่อ $P_{out}(k)$ เป็นความน่าจะเป็นของเอาต์เตท (Outage) เมื่อ k แพ็คเกจถูกส่งในหนึ่งไทม์สล็อต ซึ่งแสดงในสมการที่ (3.37) ของการประมาณแบบเกาส์เซียน

อัตราเฉลี่ยของเวลาประวิง (average delay) ของระบบ คือ จำนวนของไทม์สล็อตที่ส่งแพ็คเกจได้รับอย่างสำเร็จ [12] สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$D = (1.5 + d) + \left[\frac{G}{S} - 1 \right] (\lfloor \delta + 1 \rfloor + 1 + 2d) \quad (3.51)$$

เมื่อ δ เป็นค่าเฉลี่ย (mean) ของเวลาหน่วงในการส่งซ้ำ

d เป็นเวลาหน่วงของการแพร่กระจาย (Propagation delay) ต่อช่วงระยะเวลาการทำงานในหนึ่งไทม์สล็อต

S เป็นทราฟฟิค (Throughput)

$\lfloor x \rfloor$ คือจำนวนตัวเลขที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ x

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

สำหรับบทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ด้วยการใช้โปรแกรม Matlab ในการจำลองแบบการทำงานของระบบ โดยทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าท์เตจ ทูพูท (Throughput) และการประวิง (Delay) ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ในสมการที่ (3.7) ที่ไม่มีการพิจารณา สหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) และการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) ในการให้บริการทางเสียงและข้อมูล ช่วงระยะเวลาและความถี่ของการเกิดเอ้าท์เตจ ที่มีการพิจารณา สหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด โดยแบ่งหัวข้อในการวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์การแทรกสอดภายในเซลล์

- 4.1.1 ผลของความน่าจะเป็นของเอ้าท์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.2 ผลของทูพูทของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.3 ผลของการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.4 ผลของความน่าจะเป็นของเอ้าท์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.5 ผลของทูพูทของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.6 ผลการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.7 ผลความน่าจะเป็นของเอ้าท์เตจของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.8 ผลของทูพูทของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์
- 4.1.9 ผลของการประวิงของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์

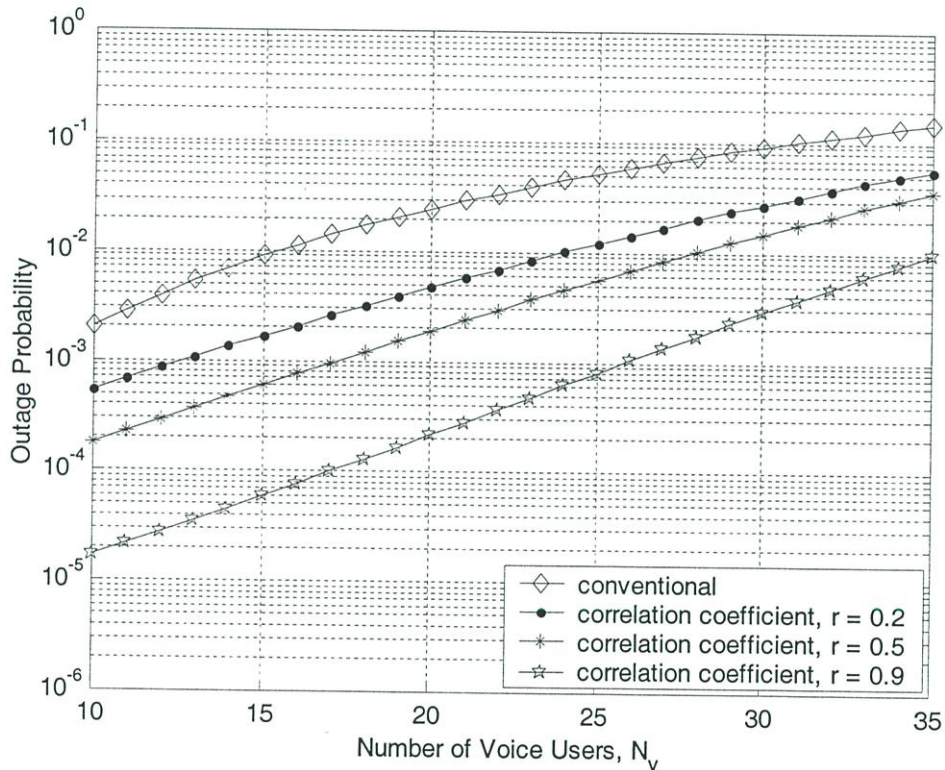
4.2 การวิเคราะห์การแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

- 4.2.1 ผลของความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม กับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.2 ผลของทรูพุทของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.3 ผลของการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.4 ผลของความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์ณ กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.5 ผลของทรูพุทของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์ณกับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.6 ผลการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์ณกับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.7 ผลความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูร์ณกับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.8 ผลของทรูพุทของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังแบบสมบูร์ณกับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.9 ผลของการประวิงของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังแบบสมบูร์ณกับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง
- 4.2.10 ระยะเวลาของการเกิดเอาต์เตจ
- 4.2.11 ความถี่ของการเกิดเอาต์เตจ (Frequency of outage)

4.1 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจ (Outage) ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดโดยพิจารณาการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.1 ผลความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม

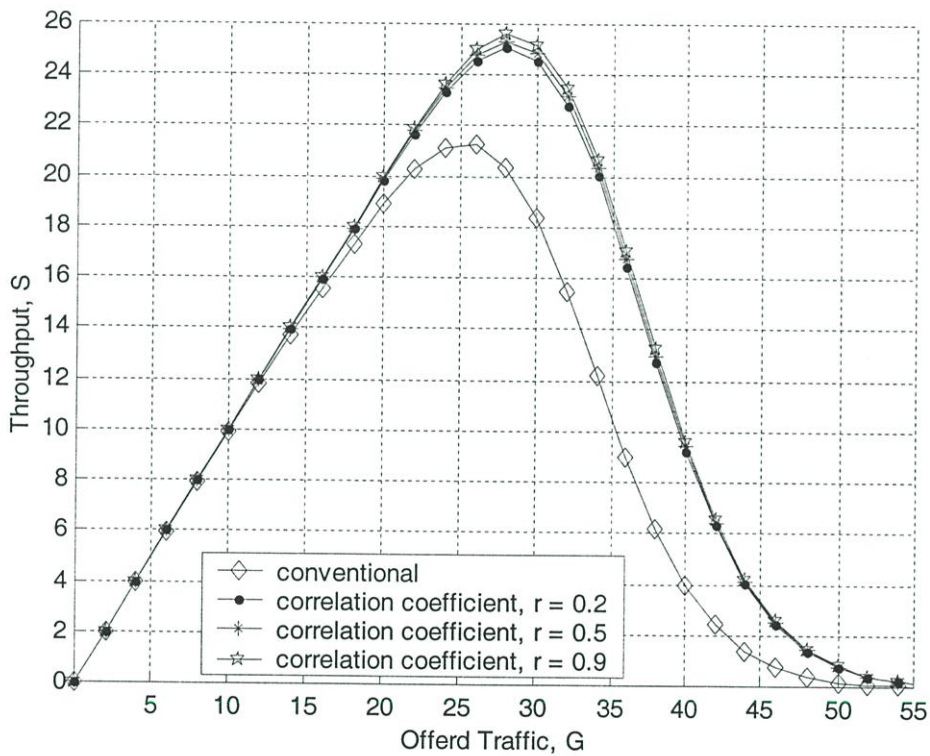
รูปที่ 4.1 แสดงผลความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดค่าของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจจะลดลงและเมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจของระบบก็จะลดลง



รูปที่ 4.1 ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.2 ผลของทราฟฟิคของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม

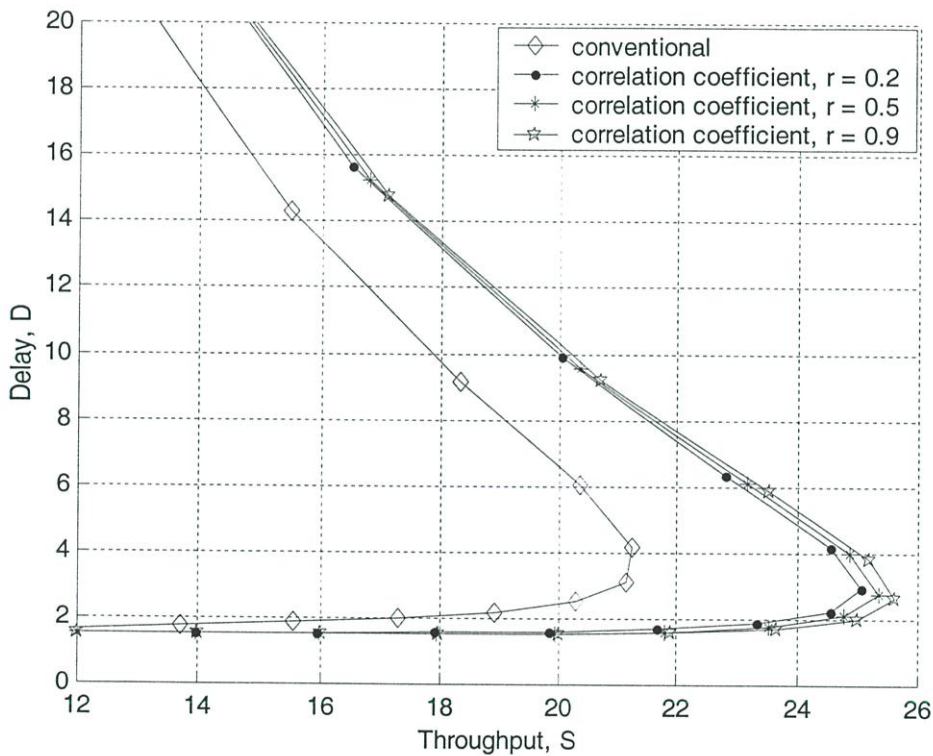
รูปที่ 4.2 แสดงผลของทราฟฟิคของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดจากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการพิจารณาสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดค่าของทราฟฟิค (Throughput) จะเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของทราฟฟิค (Throughput) ของระบบมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4.2 ค่าของทราฟฟิคของเสียง ที่มีการพิจารณาการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.3 ผลของการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม

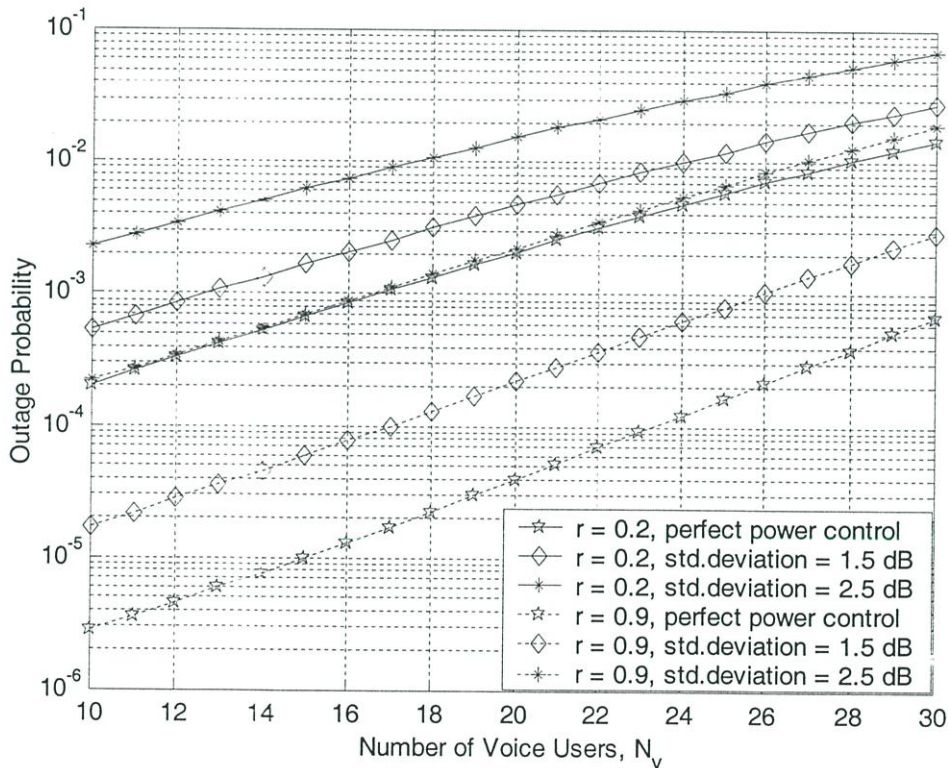
รูปที่ 4.3 แสดงผลการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ให้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงขึ้น ค่าของการประวิง (Delay) ของระบบจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 ค่าของการประวิงของเสียงที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.4 ผลของความน่าจะเป็นของเอ้าต์เจจของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

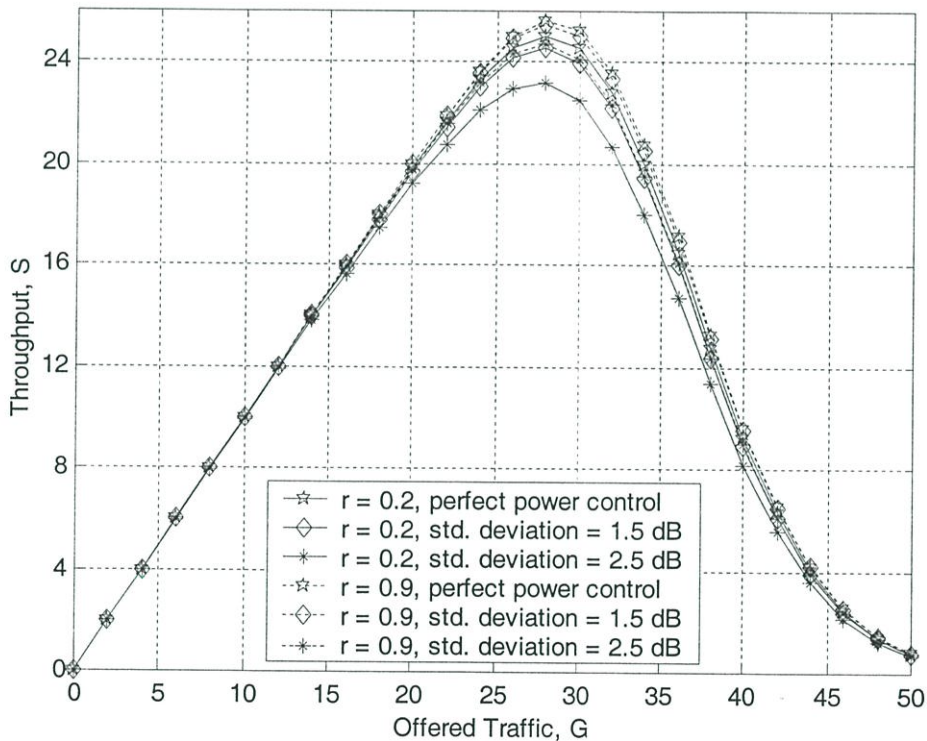
รูปที่ 4.4 แสดงผลความน่าจะเป็นของเอ้าต์เจจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าต์เจจของระบบจะลดลง เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 ความน่าจะเป็นของเอ้าต์เจจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด กับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.5 ผลของทรูพุทของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

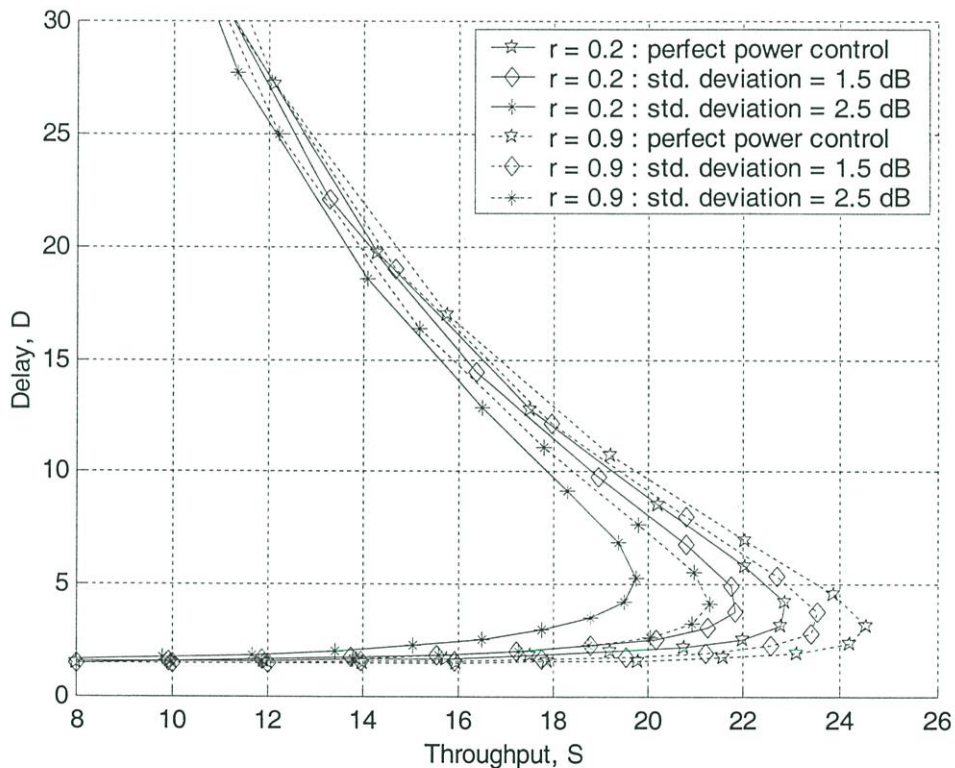
รูปที่ 4.5 แสดงผลของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดค่าของทรูพุทของระบบ (Throughput) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 ค่าของทรูพุทของเสียงที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.6 ผลของการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบ สมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

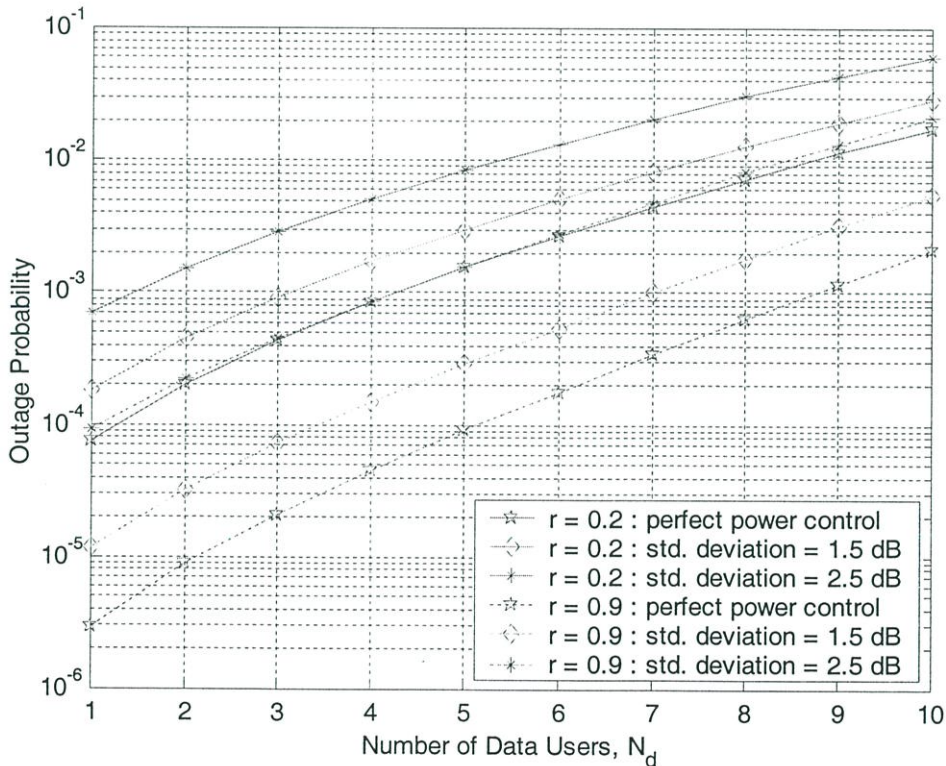
รูปที่ 4.6 แสดงผลของการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณ และ สัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตรา การขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้ บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและ สัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงขึ้น ค่าของการประวิง (Delay) ของระบบจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 ค่าของการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและ สัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุม กำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.7 ผลของความน่าจะเป็นของเออร์ทเดจของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

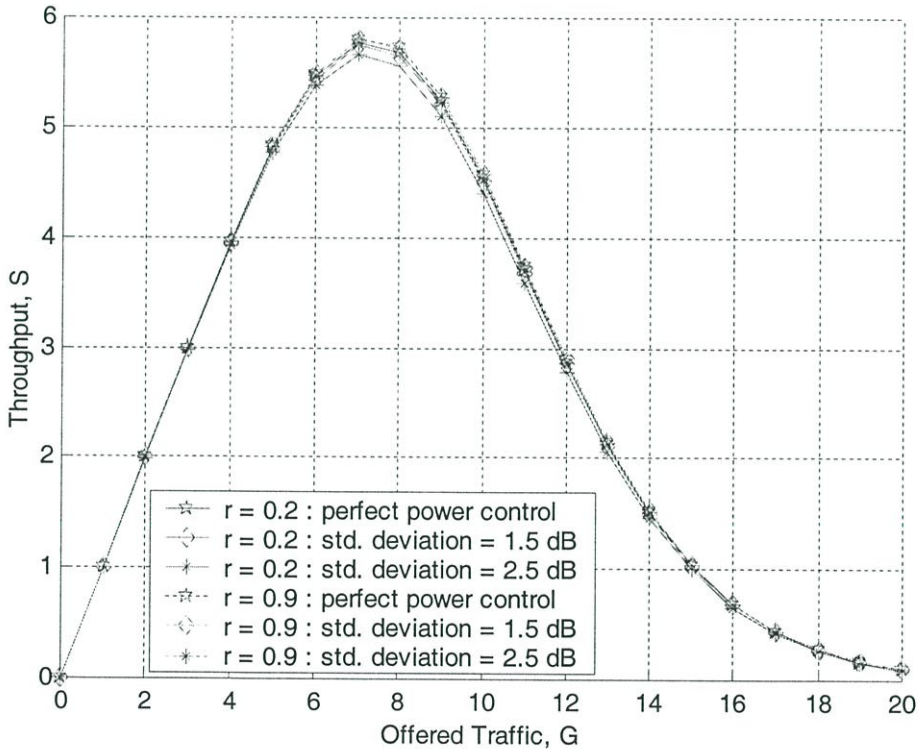
รูปที่ 4.7 แสดงผลความน่าจะเป็นของเออร์ทเดจของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB voice Activity เท่ากับ 3.75 จำนวนผู้ใช้บริการทางเสียงเท่ากับ 10 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของความน่าจะเป็นของการเกิดเออร์ทเดจจะลดลง และเมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นของการเกิดเออร์ทเดจของระบบลดลง



รูปที่ 4.7 ความน่าจะเป็นของเออร์ทเดจของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.8 ผลของทรูพุทของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

รูปที่ 4.8 แสดงผลของทรูพุทของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB voice Activity เท่ากับ 3.75 จำนวนผู้ใช้บริการทางเสียงเท่ากับ 10 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของทรูพุท (Throughput) ของระบบมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น

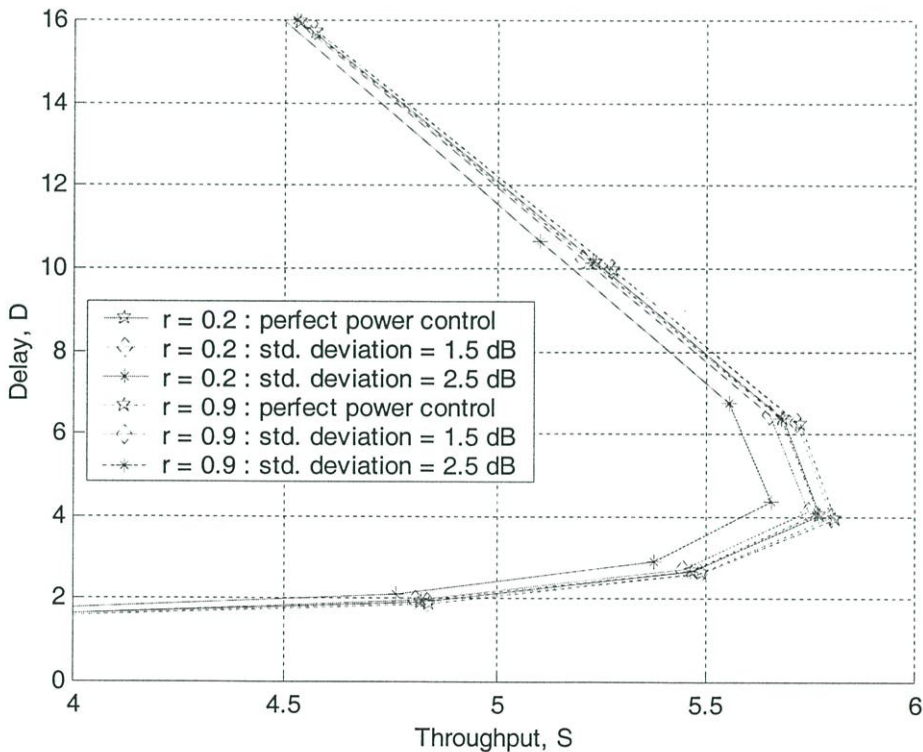


รูปที่ 4.8 ค่าของทรูพุทของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและ สัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.1.6 ผลของการประวิงของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบ สมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

รูปที่ 4.9 แสดงผลของการประวิงของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณ

และสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB voice Activity เท่ากับ 3.75 จำนวนผู้ใช้บริการทางเสียงเท่ากับ 10 จากผลการวิเคราะห์จะ เห็นได้ว่า เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงขึ้น ค่าของการประวิง (Delay) ของระบบจะเพิ่มขึ้น

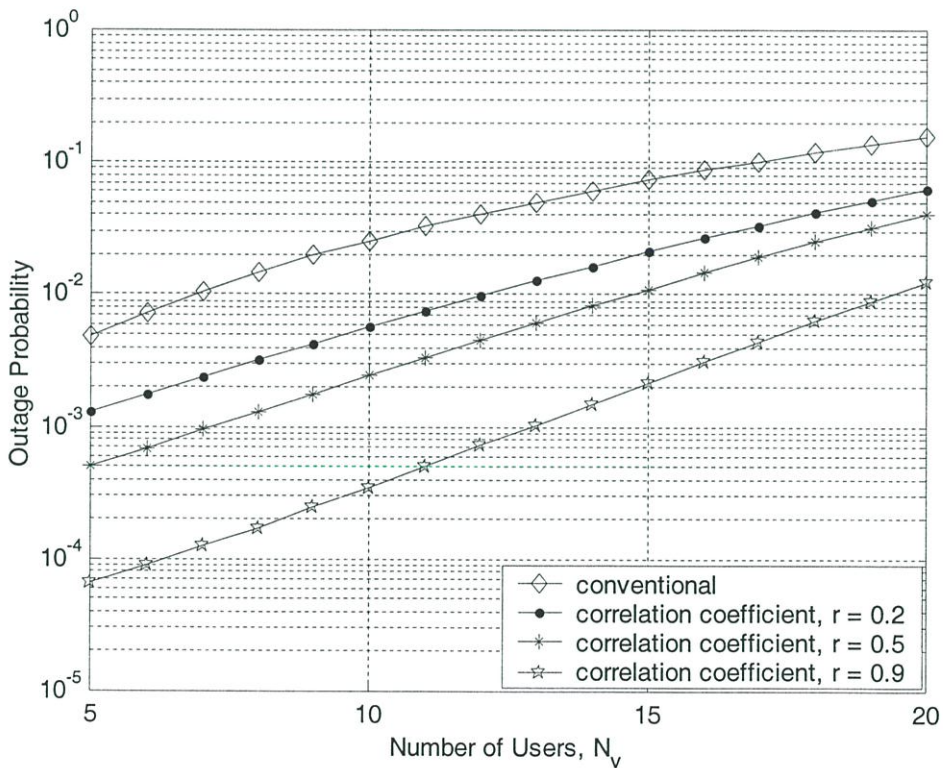


รูปที่ 4.9 ค่าของการประวิงของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดภายในเซลล์

4.2 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณ และสัญญาณแทรกสอดโดยพิจารณาการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.1 ผลความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม

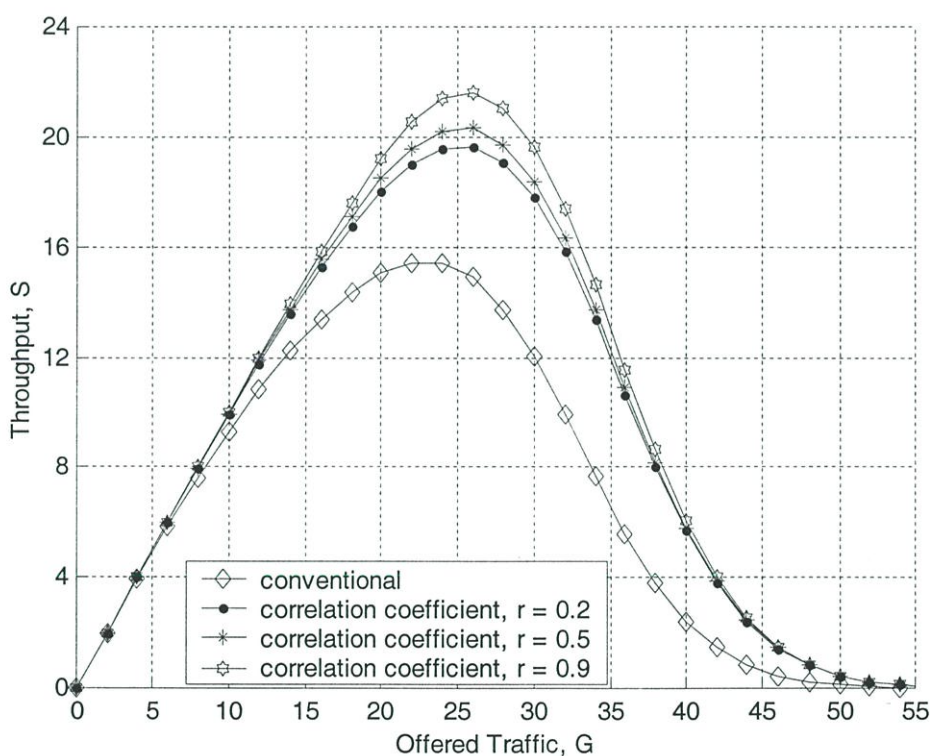
รูปที่ 4.10 แสดงผลความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจของระบบจะลดลง เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 ความน่าจะเป็นของเอาต์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.2 ผลของทรูพุทของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม

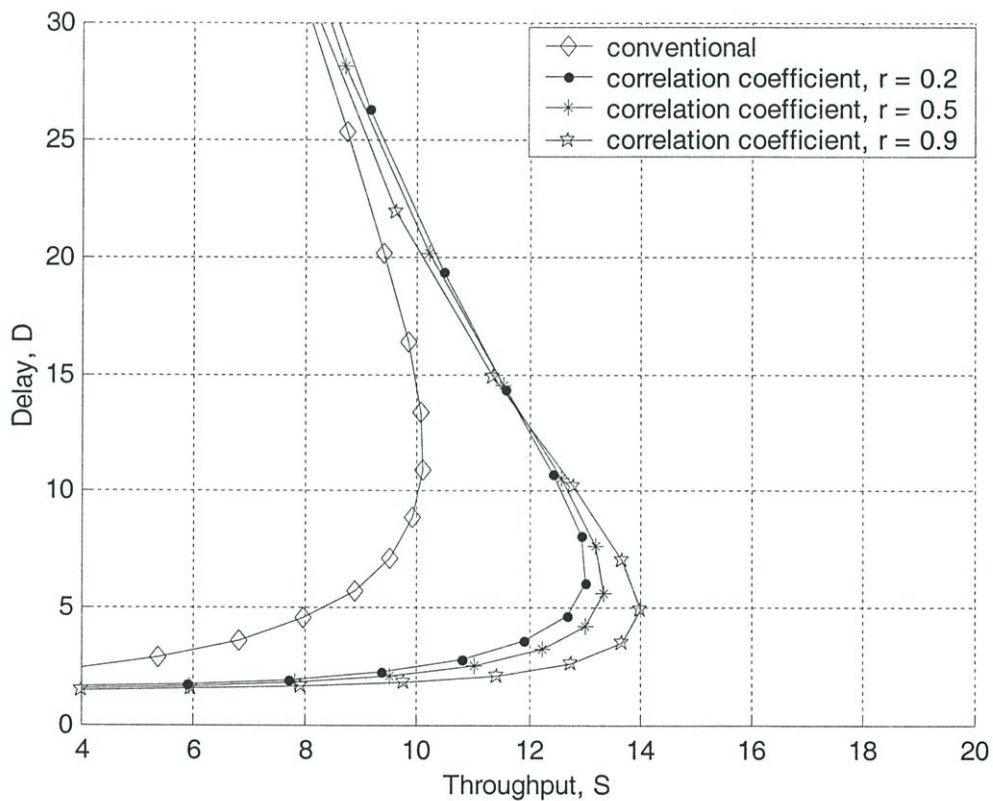
รูปที่ 4.11 แสดงผลของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของทรูพุท (Throughput) ของระบบจะสูงขึ้น เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.11 ค่าของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.3 ผลของการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับระบบเดิม

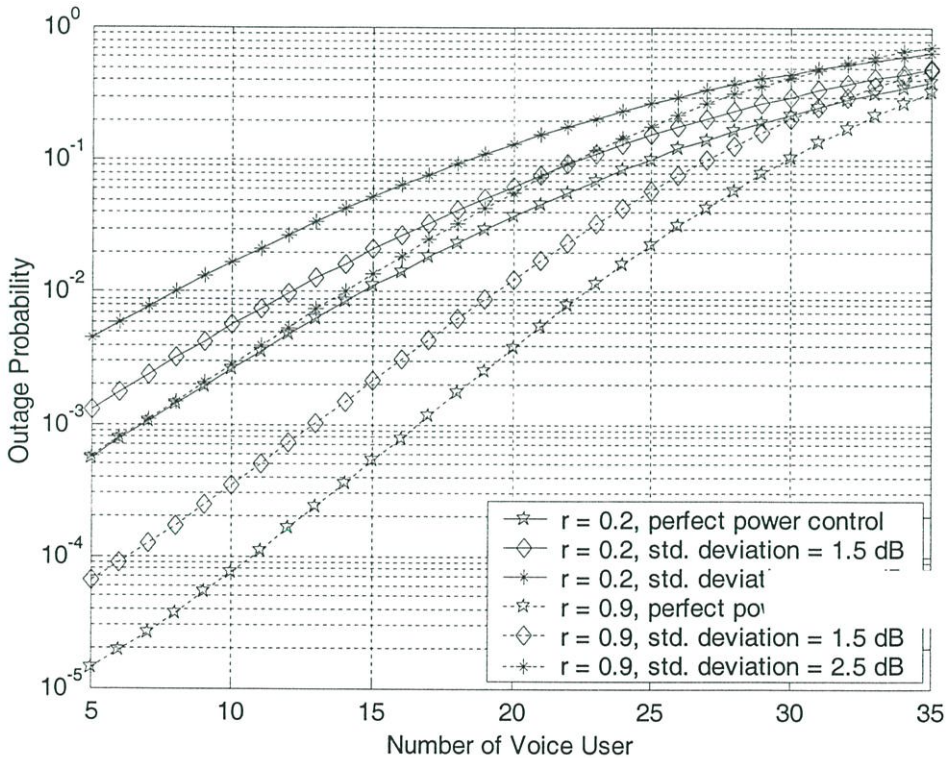
รูปที่ 4.12 แสดงผลการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับระบบเดิม (Conventional) ที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงขึ้น ค่าของการประวิง (Delay) ของระบบจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.12 ค่าของการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับระบบเดิมกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.4 ผลความน่าจะเป็นของเอ้าท์เตจของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

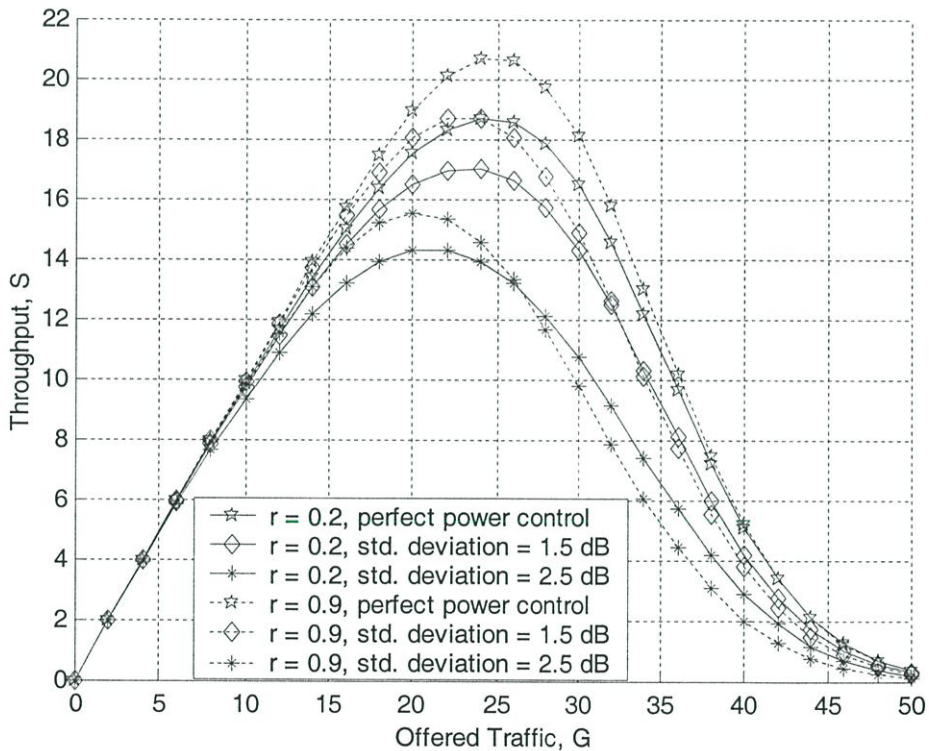
รูปที่ 4.13 แสดงผลความน่าจะเป็นของเอ้าท์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของความน่าจะเป็นของการเกิดเอ้าท์เตจของระบบจะลดลง เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 ความน่าจะเป็นของเอ้าท์เตจของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.5 ผลของทรูพุทของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

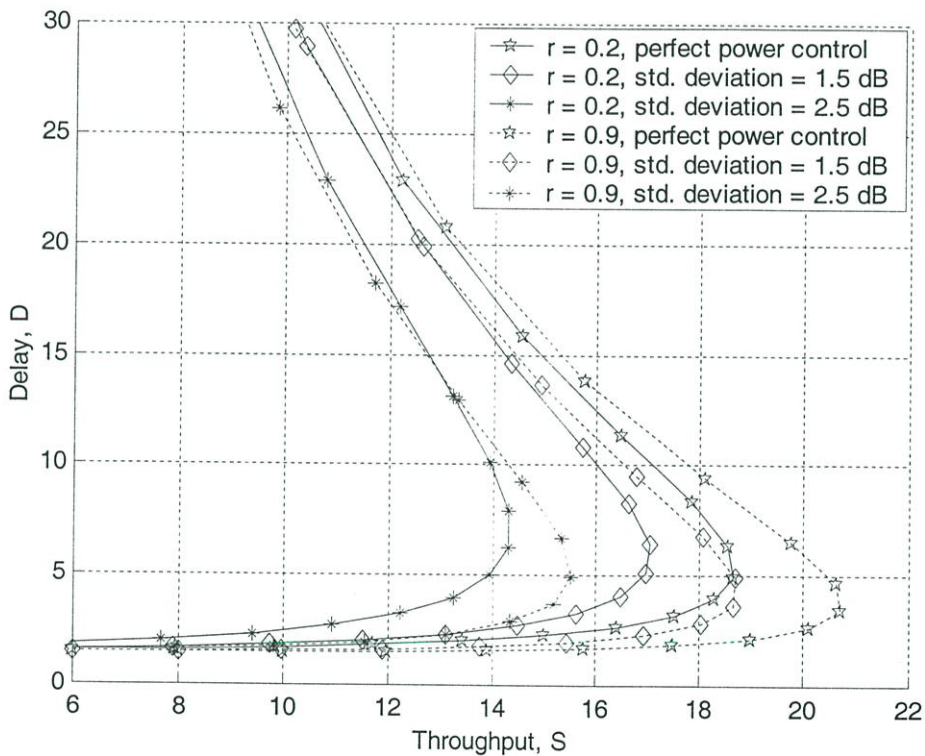
รูปที่ 4.14 แสดงผลของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดค่าของทรูพุท (Throughput) ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.14 ค่าของทรูพุทของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.6 ผลของการประวิงของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบ สมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

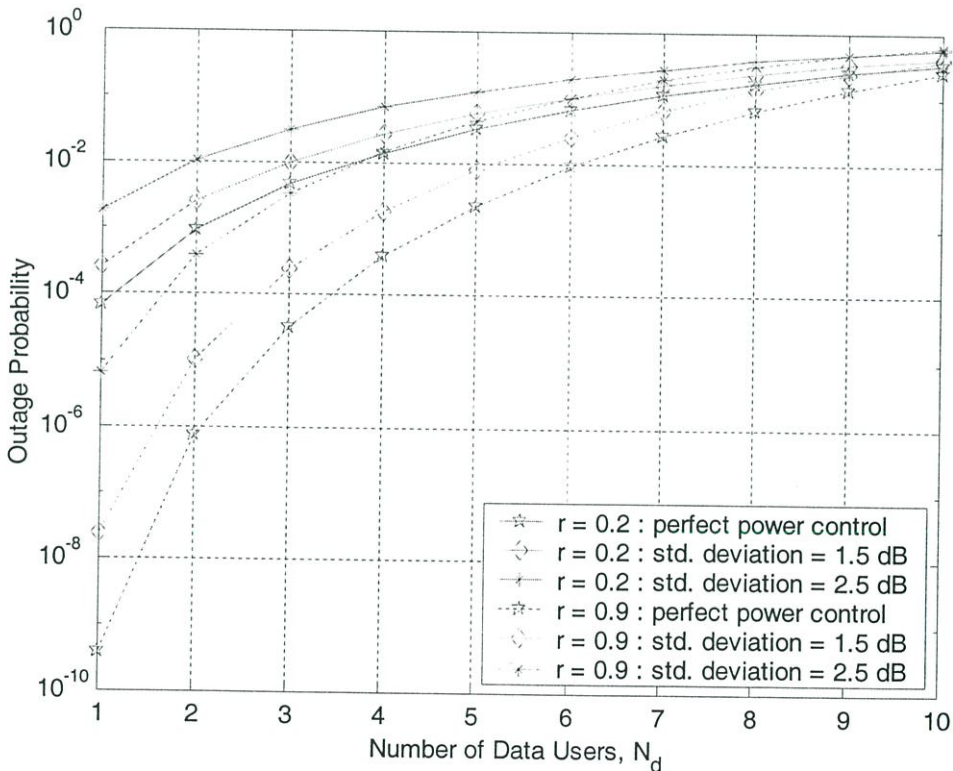
รูปที่ 4.15 แสดงผลของการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของ สัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB จำนวนผู้ใช้บริการของข้อมูลเท่ากับ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของ สัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงขึ้น ค่าของการประวิง (Delay) ของระบบจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 ค่าของการประวิงของเสียง ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและ สัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุม กำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.7 ผลความน่าจะเป็นของเอาต์เดจของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

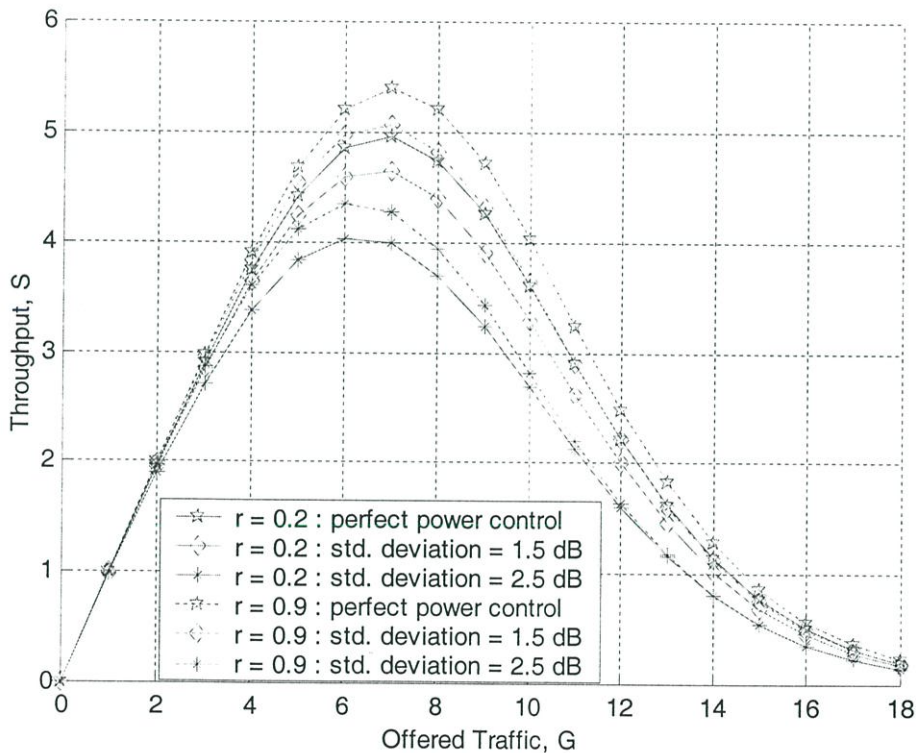
รูปที่ 4.16 แสดงผลความน่าจะเป็นของเอาต์เดจของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB voice Activity เท่ากับ 3.75 จำนวนผู้ใช้บริการทางเสียงเท่ากับ 10 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เดจของระบบจะลดลง เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 ความน่าจะเป็นของเอาต์เดจของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.8 ผลของทรูพุทของเสียง เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

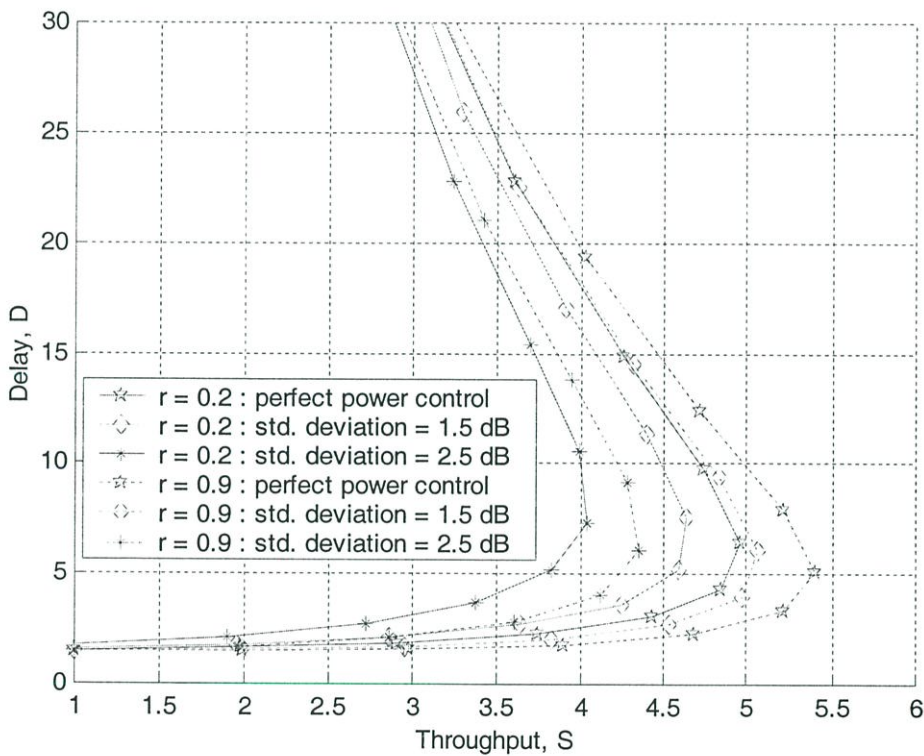
รูปที่ 4.17 แสดงผลของทรูพุทของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราการขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB voice Activity เท่ากับ 3.75 จำนวนผู้ใช้บริการทางเสียงเท่ากับ 10 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของทรูพุท (Throughput) ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.17 ค่าของทรูพุทของเสียงที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.9 ผลของการประวิงของข้อมูล เปรียบเทียบกับการควบคุมกำลังส่งแบบ สมบูรณ์ (Perfect power control) กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control)

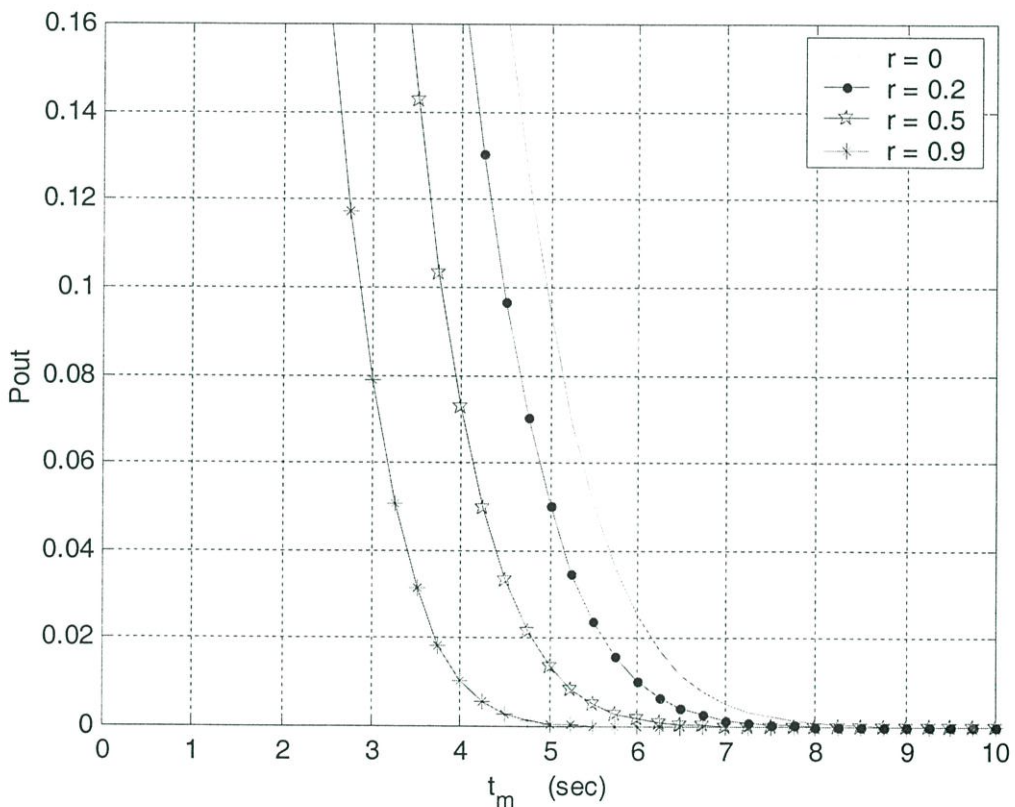
รูปที่ 4.18 แสดงผลของการประวิงของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ (Perfect power control) และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด (Imperfect power control) ที่ 1.5 dB และ 2.5 dB เมื่ออัตราขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 ค่าของจุดเปลี่ยน (Threshold) เท่ากับ 7 dB voice Activity เท่ากับ 3.75 จำนวนผู้ใช้บริการทางเสียงเท่ากับ 10 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมีค่าสูงขึ้น ค่าของการประวิง (Delay) ของระบบจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.18 ค่าของการประวิงของข้อมูล ที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและ สัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับ การควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์ และการควบคุมกำลังส่งผิดพลาดกับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

4.2.10 ช่วงระยะเวลาของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ

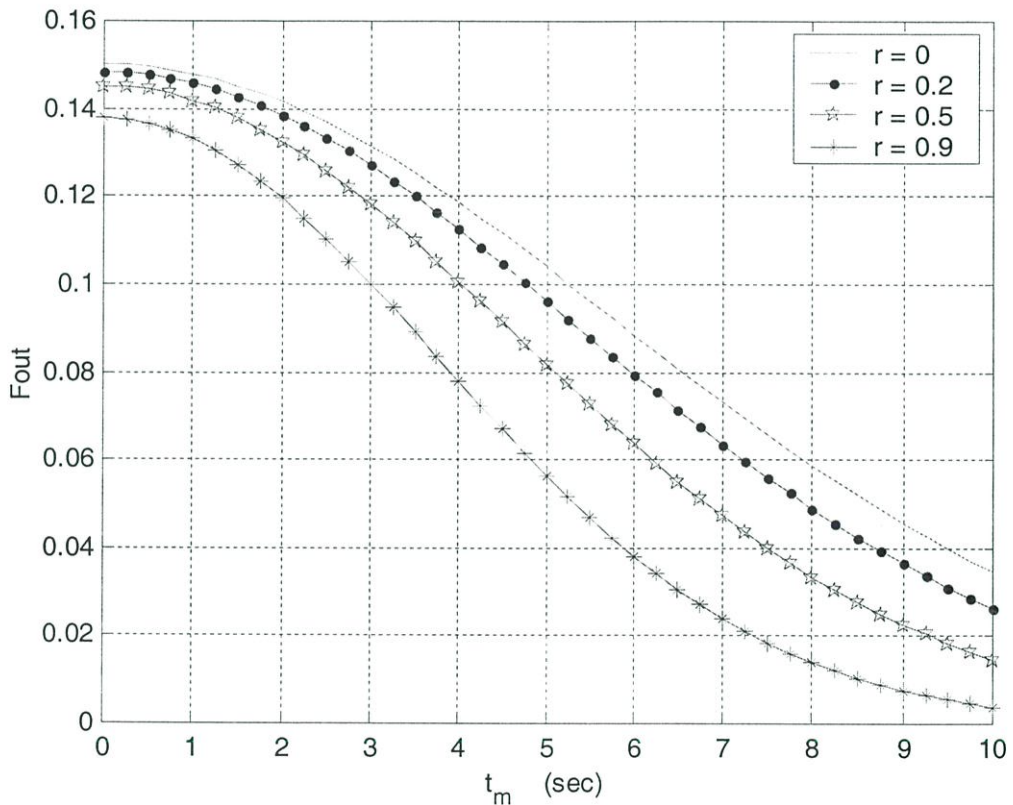
รูปที่ 4.19 แสดงการวิเคราะห์ช่วงระยะเวลาของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดช่วงระยะเวลาของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ ก็จะลดน้อยลง กว่าที่ $r = 0$ ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด



รูปที่ 4.19 ช่วงระยะเวลาของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

4.2.11 ความถี่ของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ

รูปที่ 4.20 แสดงการวิเคราะห์ความถี่ของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น ความถี่ของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจ ก็จะลดลง กว่าที่ $r = 0$ ไม่มีการพิจารณา สหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด



รูปที่ 4.20 ช่วงความถี่ของความน่าจะเป็นของการเกิดเอาต์เตจที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของการสื่อสารไร้สายของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแยกทางรหัส ในการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณในการให้บริการ ของการเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน เนื่องจากอัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยน ซึ่งเรียกว่าเออาร์ทีเดจ เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียในการส่งข้อมูลข่าวสารหรือคุณภาพการให้บริการลดลง และความสามารถในการรองรับจำนวนของผู้ใช้บริการระบบลดลง ทำให้สมรรถนะของระบบลดลง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์การเข้าถึงหลายทางแบบแยกทางรหัส ด้วยวิธีการจัดลำดับตรง โดยทำการวิเคราะห์ระบบโดยการนำสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดมาพิจารณาในการวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของการเกิดเออาร์ทีเดจ ทรพุก และการประวิง ในการให้บริการทางเสียงและข้อมูล กับการควบคุมกำลังส่งผิดพลาด ทำการเปรียบเทียบระบบเดิมที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด จากผลการวิเคราะห์ระบบที่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด เมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นของการเกิดเออาร์ทีเดจต่ำกว่า ระบบเดิมที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ค่าของทรพุกที่ได้ก็สูงกว่าระบบเดิมที่ไม่มีการพิจารณาสหสัมพันธ์ของสัญญาณและสัญญาณแทรกสอด ช่วงระยะเวลาของการเกิดเออาร์ทีเดจ และความถี่ของการเกิดของการเออาร์ทีเดจลดลง ทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการระบบได้เพิ่มขึ้น และคุณภาพของการให้บริการสูงขึ้น นั่นก็คือจะทำให้สมรรถนะของระบบที่ได้ทำการวิเคราะห์มีสมรรถนะสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] K.Gilhousen et al., "On the capacity of a cellular CDMA system," IEE Trans. Veh. Technol., vol. 40, pp. 303-312, May 1991.
- [2] S.C. Schwartz and Y.S. Yeh, "On the distribution function and moments of power sums with lognormal components," Bell Syst. Tech. J., vol, pp. 1441-1462, Sept 1982.
- [3] A. Ligeti, "Outage probability in the presence of correlated lognormal useful and interference component" IEEE Communication Letter, Vol 4, No. 1, pp.15-17, Feb. 1994.
- [4] A.J. Viterbi and A.J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 11, pp.892-899, Aug. 1993.
- [5] D.Ayyagri and A. Ephermides, "Cellular multicode CDMA capacity for integrated (voice+data) services", IEEE J.Select.Areas. Commu.,vol.17,pp.925-938,,May 1999.
- [6] J.M. Holtzman, "A simple accurate method to calculate spread spectrum error probabilities," IEEE Trans. Commun., vol. 13, pp. 1332-1340, Sept. 1995.
- [7] A.Papolis, Probabillity,Random Variables and Stochastic Processes. New York: McGraw-Hill,1984.
- [8] A.A.Abu-dayya and N.C.Beaulieu, "Outage probabilities in the presence of Correlated Lognormal Interferes", IEEE Trans. Vehi. Echnol. Vol. 43, pp.164-173.,Feb. 1994.
- [9] Viterbi A.M.,Viterbi A.J.,Zhavi E. "Other cell Interference in Cellular Power Controlled CDMA", IEEE Tran. On Commu. Vol. 48,No.2,pp.1501-1504,Feb.1994.
- [10] Vijay.K. Garg, IS-95 CDMA and CDMA 2000 cellular/PCS Systems Implementation, Prentice Hall PRT, 2000
- [11] Narayan.B.Mandayam, P.C.Chen, J.Holtzman, "Minimum duration outage for CDMA Cellular system: A level crossing analysis." Wireless Personal Communication, vol.7 no. 2/3,pp.135-46, Aug 98.
- [12] J.M. Remero Jerez, M. Ruiz Garcia and A. Diaz Estrella, "Impact of multipath fading on throughput in cellular packet CDMA system", Electronics Letters,vol.36,No. 3,pp.256-258, Feb.2000.

ผลงานที่ได้รับเกียรติพิมพ์

- [1] W. Rattanakoch, C. Kimpan, O. Pin-ngern, S. Noppanakeepong, "Outage probability Throughput and Delay analysis of cellular DS-CDMA system in the presence of Correlated Signal and Interference.", IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and System 2002., Bali Indonesia.
- [2] W. Rattanakoch, C. Kimpan, O. Pin-ngern, S. Noppanakeepong, "Performance Analysis of a cellular DS-CDMA system in the presence of correlated signal and interference.", International Conference on Telecommunications 2002, Beijing China.
- [3] W. Rattanakoch, C. Kumpaiee, C. Kimpan and S. Noppanakeepong, "Performance of DS-CDMA system using MRC Diversity with Channel Estimation Errors.", IEEE Proceeding, ISICT 2001., Chiang Mai Thailand.
- [4] W. Rattanakoch, N. Narongrat, C. Kimpan, S. Noppanakeepong, "Performance Evaluation of DS-CDMA using MRC with Weighing Errors Rician Fading Channel.", Student Conference on Research and Development 2001., Kuala Lumpur Malaysia.

ประวัติผู้เขียน

นายวิเรนทร์ รัตนคช เกิดที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมจากโรงเรียนมัธยมศึกษาเบญจมราชูทิศ ปี 2535 และสำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี 2540