

การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลล์ดาร์
โตเรคทีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยวิธีการควบคุมกำลัง

ANALYSIS OF FORWARD-LINK CAPACITY FOR DS-SSMA
CELLULAR SYSTEM WITH POWER CONTROL STRATEGIES

สันติชัย ลองพิชัย
SANTICHAI LONGPICHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546
ISBN 974-324-342-9

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงไปสำหรับระบบเซลลูลาร์
ไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยวิธีการควบคุมกำลัง

ANALYSIS OF FORWARD-LINK CAPACITY FOR DS-CDMA
CELLULAR SYSTEM WITH POWER CONTROL STRATEGIES



สันติชัย ลองพิชัย

SANTICHAI LONGPICHAI

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 47664
วัน, เดือน, ปี..... 21 ส.ค. 2546

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-342-9

**ANALYSIS OF FORWARD-LINK CAPACITY FOR DS-CDMA
CELLULAR SYSTEM WITH POWER CONTROL STRATEGIES**

SANTICHAJ LONGPICHAI

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

2003

ISBN 974-324-342-9

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลลูลาร์
ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยวิธีการควบคุมกำลัง

ANALYSIS OF FORWARD-LINK CAPACITY FOR DS-CDMA
CELLULAR SYSTEM WITH POWER CONTROL STRATEGIES

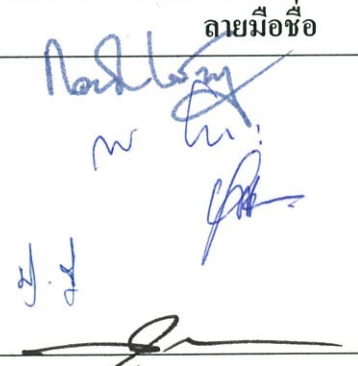
ชื่อนักศึกษา นายสันติชัย ลองพิชัย

รหัสประจำตัว 43061081

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.กอบชัย	เดชหาญ	
รศ.สมยศ	จุมณะปียะ	
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี	
รศ.ดร.ปัญญา	จิติมัชฌิมา	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาถิพงษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 เมษายน 2546 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)



วันที่.....๙.....เดือน พฤษภาคม ๒๕๔๖.....พ.ศ.....๒๕๔๖.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบ เซลล์อาร์เคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยวิธีการควบคุมกำลัง
นักศึกษา	นายสันติชัย ลองพิชัย
รหัสประจำตัว	43061081
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

บทคัดย่อ

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอถึงการวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลล์อาร์เคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยใช้การควบคุมกำลัง ซึ่งมีอยู่สองวิธีที่ได้นำมาวิเคราะห์คือ วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง (n th-power-of-distance power control strategy) และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม (optimum power control strategy) วิธีการควบคุมกำลังดังกล่าวจะมีผลต่อความจุของระบบ นอกจากนี้สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์และจากเซลล์อื่นๆ ก็ยังมีผลต่อความจุของระบบอีกด้วย สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ซึ่งเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถี (multipath propagation) จะถูกแสดงอยู่ในรูปของแฟคเตอร์ออร์ทอกอนอล (orthogonality factor) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้การควบคุมกำลังทั้งสองวิธีนี้ จะได้รับความจุของระบบแตกต่างกันและความจุดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อแฟคเตอร์ออร์ทอกอนอลเข้าใกล้ความเป็นออร์ทอกอนอลที่สมบูรณ์

Thesis Title	Analysis of Forward-Link Capacity for DS-CDMA Cellular System with Power Control Strategies
Student	Mr.Santichai Longpichai
Student ID.	43061081
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assist.Prof.Dr.Suthichai Noppanakeepong

ABSTRACT

This thesis proposes the analysis of the forward-link capacity for DS-CDMA cellular system with power control strategies. There are two strategies to analysis that are n th-power-of-distance power control strategy and optimum power control strategy. These strategies are effect on the capacity of system. Furthermore, the capacity also depends on same-cell interference and other-cell interference. The same-cell interference due to the multipath propagation is denoted as orthogonality factor (f_o). From the results of analysis with two transmitted power control strategies, the difference capacity are obtained and the capacity increases when the orthogonality factor is closed to perfectly orthogonality.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสและคำปรึกษา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้ให้ความรัก ความเข้าใจ ให้กำลังใจให้การสนับสนุนและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชม กิมปาน และ รศ.ดร.เอื้อน ปิ่นเงิน ที่กรุณาให้โอกาสและเอื้อเฟื้อทรัพยากรต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ Information Science, ReCCIT ตลอดจนสนับสนุนให้ทุนไปนำเสนอผลงานการประชุมวิชาการ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปัญญา จิติมัชฌิมา ที่กรุณาให้คำแนะนำ สั่งสอน และคำปรึกษาต่างๆ ตลอดจนให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ พี่วิธาน(สน.จรเข้ น้อย) พี่พงศ์ใจ(กฟผ.) พี่พัฒนา(ทศท.) พี่เป็ยก(สำนักวิจัยฯ) พี่ปิง พี่ตู พี่อานวย หนู่ม สมชาย และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

สันติชัย ลองพิชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.3 โครงร่างของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 หลักการของระบบเซลล์ลาร์ไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่.....	4
2.1.1 ลักษณะของการแพร่กระจายคลื่น.....	4
2.1.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น.....	5
2.1.3 สมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในทางปฏิบัติ.....	7
2.2 หลักการเบื้องต้นของระบบซีดีเอ็มเอ.....	8
2.2.1 วิธีการเข้าถึงหลายทาง.....	9
2.2.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่.....	11
2.2.3 รหัสการแผ่ที่ใช้ในระบบไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ.....	13
2.2.3.1 การสร้างรหัสการแผ่.....	13
2.2.3.2 คุณสมบัติสหสัมพันธ์ของอนุกรมรหัส.....	14
2.3 ระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ.....	15
2.3.1 เรขาคณิตของเซลล์.....	15
2.3.2 ระยะพิงก์ของระบบเซลล์ลาร์.....	16
บทที่ 3 ความจุของระบบเซลล์ลาร์ไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ.....	19
3.1 สัญญาณแทรกสอด.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	19
3.1.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	19
3.1.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ.....	21
3.1.2 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ.....	28
3.1.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	28
3.1.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ.....	29
3.2 การควบคุมกำลัง.....	30
3.2.1 เทคนิคการควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	31
3.2.2 เทคนิคการควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ.....	32
3.3 ความจุของระบบ.....	32
3.3.1 การแบ่งเซลล์เป็นเซกเตอร์.....	34
3.3.2 Voice Activities.....	34
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลล์ดูอัลรี ไครเรซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ.....	36
4.1 การวิเคราะห์ความจุของระบบ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง.....	36
4.1.1 การวิเคราะห์การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น...36	
4.1.2 การวิเคราะห์สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	37
4.1.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	37
4.1.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ.....	38
4.1.3 การวิเคราะห์วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง.....	40
4.1.4 การวิเคราะห์ความจุของระบบ.....	42
4.2 การวิเคราะห์ความจุของระบบ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม.....	43
4.2.1 การวิเคราะห์วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม.....	43
4.2.2 การวิเคราะห์ความจุของระบบ.....	45
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์.....	46

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1	ฟังก์ชันของกำลังส่ง เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังที่แตกต่างกัน.....	47
5.1.1	ผลของวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง.....	47
5.1.2	ผลของวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม.....	48
5.2	ความจุของระบบโดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ.....	49
5.2.1	ผลของการควบคุมกำลัง.....	49
5.2.2	ผลของระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน.....	50
5.2.3	ผลของแฟคเตอร์ควบคุมกำลัง.....	51
5.2.4	ผลของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง.....	52
5.2.5	ผลของแฟคเตอร์อโทกอนอล.....	53
5.2.6	ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ.....	54
5.2.7	ผลของความจุของระบบที่ต้องการ.....	55
5.3	ความจุของระบบโดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ.....	56
5.3.1	ผลของแฟคเตอร์อโทกอนอล.....	56
5.3.2	ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ.....	56
5.3.3	ผลของความจุของระบบที่ต้องการ.....	56
บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์.....		57
เอกสารอ้างอิง.....		59
ภาคผนวก.....		60
ภาคผนวก ก. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....		61
ประวัติผู้เขียน.....		62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางสำหรับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน....8	
2.2 ตารางระยะทางระหว่างจุดกำเนิดกับจุดศูนย์กลางของเซลล์ในวงที่แตกต่างกัน.....18	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแพร่กระจายคลื่นในระบบเซลลูลาร์.....	5
2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (FDMA).....	10
2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (TDMA).....	10
2.4 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA).....	10
2.5 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของระบบ FDMA TDMA และ CDMA.....	11
2.6 บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของระบบการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่.....	11
2.7 วงจรกำเนิดอนุกรมรหัสแบบ Maximum-Length Linear Shift-Register.....	13
2.8 ฟังก์ชันของอัตราสัมพันธ์ของอนุกรมรหัส.....	14
2.9 การครอบคลุมพื้นที่ของสถานีฐานตามอุดมคติ (วงกลมอย่างสมบูรณ์).....	15
2.10 รูปแบบเซลล์หกเหลี่ยมซึ่งสัมพันธ์กับการครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกลม.....	15
2.11 ระยะพิคคของระบบเซลลูลาร์ที่ไม่ตั้งฉากกัน.....	16
2.12 ระยะพิคคของวงระบบเซลลูลาร์.....	17
2.13 ระยะทางจากเซลล์ศูนย์กลางด้วยพารามิเตอร์ R	18
3.1 เรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	23
3.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปและระยะทางระหว่างเซลล์ในแต่ละเซลล์ด้วยพารามิเตอร์ R	23
3.3 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง $0.4R$ จากสถานีฐาน ($\gamma = 4$).....	25
3.4 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง $0.8R$ จากสถานีฐาน ($\gamma = 4$).....	26
3.5 จุดสูงสุดของอัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	26
3.6 เรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป.....	29
4.1 การแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ บนหลักการของการควบคุมกำลัง.....	39
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันของกำลังส่งและระยะทางจากสถานีฐาน โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันของกำลังส่งและระยะทางจากสถานีฐาน โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม.....	48
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์และระยะทางจากสถานีฐาน โดยที่ $PG_j=128$, $(E_b/N_0)_{req} = 6$ dB, $f_o = 0.7$, $n = 3$, $\gamma = 4$, และ $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ และ 30°	49
5.4 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $r/R = 0.5, 0.55$ และ 0.6 โดยที่ $PG_j = 128$, $(E_b/N_0)_{req} = 6$ dB, $f_o = 0.7$, $n = 3$, $\gamma = 4$ และ $\alpha = 30^\circ$	50
5.5 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $n = 2, 3$ และ 4 โดยที่ $PG_j = 128$, $\gamma = 4$, $(E_b/N_0)_{req} = 6$ dB, $f_o = 0.5$ และ $\alpha = 30^\circ$	51
5.6 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $\gamma = 3, 4, 5$ และ 6 โดยที่ $PG_j = 128$, $n = 3$, $(E_b/N_0)_{req} = 6$ dB, $f_o = 0.7$ และ $\alpha = 30^\circ$	52
5.7 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $f_o = 0.2, 0.5$ และ 0.7 โดยที่ $PG_j = 128$, $\gamma = 4$ $(E_b/N_0)_{req} = 6$ dB, $n = 3$, และ $\alpha = 30^\circ$	53
5.8 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $(E_b/N_0)_{req} = 5, 6$ และ 7 dB โดยที่ $PG_j = 128$, $f_o = 0.7$, $n = 3$, $\gamma = 4$ และ $\alpha = 30^\circ$	54
5.9 อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $M = 28, 35, 40$ และ 50 โดยที่ $PG_j = 128$, $f_o = 0.7$, $n = 3$, $\gamma = 4$ และ $\alpha = 30^\circ$	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการสื่อสารเคลื่อนที่มีการพัฒนาก้าวหน้ามาอย่างต่อเนื่องนับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยที่การสื่อสารเคลื่อนที่ในระบบเซลลูลาร์ในอดีตหรือยุคที่ 1 นั้น จะเป็นระบบแอนะล็อก ตัวอย่างเช่น ระบบ Advanced Mobile Telephone System (AMPS) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ซึ่งยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายอย่างด้วยกัน ทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2 ขึ้นมาเป็นระบบดิจิทัล เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบและบริการใหม่ๆ หลายอย่างด้วยกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ Global System for Mobile Communications (GSM) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) ต่อมาได้มีการนำเสนอการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) โดยใช้การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum: SS) ด้วยวิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS) ที่ช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบจะใช้อ่านความถี่เดียวกันในการสื่อสารและอาศัยการแบ่งช่องสัญญาณด้วยอนุกรมรหัสสัญญาณรบกวนเทียม PN (Pseudo Noise sequence) ที่สร้างขึ้นที่เครื่องรับและเครื่องส่ง การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสนี้จะทำให้ความจุของระบบเพิ่มมากขึ้นและสามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้มากกว่าการสื่อสารในยุคที่ 1 และ 2 อีกด้วย จึงได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐาน IS-95 ออกมาเป็นมาตรฐานแรก โดย TIA (the Telecommunications Industry Association) [1] ต่อมาได้รับการพัฒนามาโดยตลอดจนถึงในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบ CDMA ตามมาตรฐานใหม่เช่น CDMA2000 1xEV-DO ที่สามารถให้บริการข้อมูลได้ที่มีความเร็ว 2.4 Mbps ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเติบโตทางเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วสู่ยุคที่ 3

การที่ระบบเซลลูลาร์โคเรกซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ ใช้ช่องสัญญาณการสื่อสารด้วยอ่านความถี่เดียวกันทั้งหมด จึงทำให้ระบบนี้ถูกจำกัดด้วยปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าความจุของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดแถบความถี่ หรือช่วงเวลาเหมือนกับที่ใช้ในระบบ FDMA และ TDMA แต่จะถูกจำกัดด้วยสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น สำหรับในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป ระดับกำลังส่งของสถานีฐานเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดขึ้นทั้งภายในเซลล์และนอกเซลล์ ซึ่งจะมีผลทำให้ความจุของระบบลดน้อยลง ดังนั้นหากสามารถควบคุมระดับกำลังส่งของสถานีฐานให้เหมาะสมได้ ก็จะทำให้สัญญาณแทรกสอดที่จะเกิดขึ้นนั้นลดลงเป็นผลให้ความจุที่ได้รับเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสำหรับระบบเซลลูลาร์โคเรกซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอแล้วในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นได้มีการออกแบบการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ให้ออโทกอนอล (orthogonal) กัน เพื่อที่จะจำกัดหรือกำจัดการเกิดสัญญาณแทรกสอดให้หมดไป ในทางทฤษฎี

สัญญาณแทรกสอดนี้สามารถลดลงจนเป็นศูนย์ได้ ถ้าหากสัญญาณในช่องสัญญาณที่มีการเข้าถึงหลายทางออร์ทอกอนอลซึ่งกันและกัน แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณแทรกสอดก็ยังคงเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถี และสัญญาณจากเซลล์อื่นๆ นั้นมาถึงไม่พร้อมกับสัญญาณที่ต้องการ [2] ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากการควบคุมระดับกำลังส่งของสถานีฐานและจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในระบบที่ใช้แถบความถี่เดียวกันนี้ จะทำให้อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่รับได้ที่เครื่องรับมีคุณภาพที่ไม่ดีเพียงพอต่อการสื่อสาร ดังนั้นหากสามารถศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการควบคุมกำลังและสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบได้ ก็จะทำให้ผู้ออกแบบระบบสามารถคาดเดาความจุของระบบอย่างคร่าวๆ ได้ เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบระบบสามารถออกแบบระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังที่แตกต่างกันคือ วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง (n th-power-of-distance power control strategy) และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม (optimum power control strategy) นอกจากนี้ได้นำเสนอแฟคเตอร์ออร์ทอกอนอล (orthogonality factor) ที่แสดงถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกัน ซึ่งเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีไว้ในกรณีวิเคราะห์ความจุของระบบด้วย และยังสามารถพิจารณาถึงผลกระทบจากการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นและสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบต่อระยะทางจากสถานีฐาน และความจุของระบบที่สามารถคำนวณได้จากสมการโดยตรง เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบได้

1.3 โครงร่างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย
- บทที่ 2 หลักการของระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ กล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของระบบซีดีเอ็มเอ ระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ และการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่
- บทที่ 3 ความจุของระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ กล่าวถึงแฟคเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความจุของระบบได้แก่ สัญญาณแทรกสอด และการควบคุมกำลัง รวมถึงการหาความจุของระบบด้วย
- บทที่ 4 การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ กล่าวถึงการวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ

ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ กล่าวถึงผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันของกำลังส่งเมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม รวมถึงผลการวิเคราะห์ความจุของระบบ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแต่ละวิธีด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อความจุของระบบ

บทที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์

บทที่ 2

หลักการของระบบเซลลูลาร์ไคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ

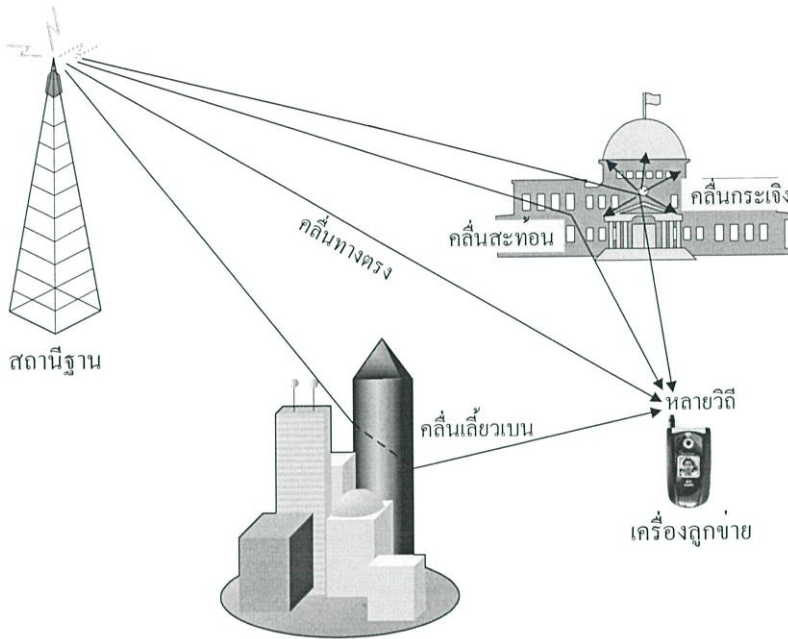
บทนี้จะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการเข้าถึงหลายทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบซีดีเอ็มเอ ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ รวมถึงลักษณะเซลล์ของระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ และทฤษฎีเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ด้วย

2.1 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่

2.1.1 ลักษณะของการแพร่กระจายคลื่น

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ จะแบ่งออกเป็นการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคารและภายนอกอาคาร แต่ละแบบจะมีสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการสูญเสียสัญญาณแตกต่างกัน การแพร่กระจายคลื่นภายนอกอาคารนั้น อาคาร ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ จะเป็นตัวกีดขวางทางเดินคลื่น ส่วนสิ่งกีดขวางของการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคารนั้นก็คือ อุปกรณ์สำนักงาน และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งสิ่งกีดขวางเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อ การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าสัญญาณวิทยุที่ส่งออกจากเครื่องส่งของสถานีฐานชนิดนอกอาคารจะมีการแพร่กระจายคลื่นในทุกทิศทาง นอกเหนือจาก “คลื่นทางตรง” (direct wave) จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับแล้วยังมี “คลื่นสะท้อน” (reflected wave) “คลื่นเลี้ยวเบน” (diffracted wave) และ “คลื่นกระเจิง” (scattering wave) จากอาคารสิ่งปลูกสร้างต่างๆ อีกด้วย คลื่นสะท้อนจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบน สิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น การสะท้อนจะเกิดจากพื้นผิวของโลก ผืนอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ ส่วนคลื่นเลี้ยวเบนนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุมหรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ และสำหรับคลื่นกระเจิงจะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นและจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบสิ่งเหล่านั้นพลังงานสะท้อนจะมีการกระเจิงออกไปในทุกทิศทาง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้จะทำให้คลื่นเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับด้วยระยะทางที่แตกต่างกันและใช้เวลาในการเดินทางต่างกัน ด้วยเหตุนี้เองทำให้เครื่องลูกข่ายที่ได้รับสัญญาณข้อมูลข่าวสารที่เหมือนกัน ในเวลาที่แตกต่างกัน หลายสัญญาณ ซึ่งคลื่นประวิง (delay wave) เหล่านี้เรียกรวมกันว่า “หลายวิถี” (multipath) หลายวิถี

นี้จะทำให้เกิดเฟดดิ้งของสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลข่าวสารที่ได้รับจากการประมวลผลสัญญาณเกิดความผิดพลาด เฟดดิ้งแบบนี้เรียกว่า “เฟดดิ้งหลายวิถี” (multipath fading)



รูปที่ 2.1 การแพร่กระจายคลื่นในระบบเซลลูลาร์

2.1.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น

ในการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ การส่งข้อมูลข่าวสารจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการส่งผ่าน ถ้าสมมติให้การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีกระจายจากจุดเล็กๆ จุดหนึ่งในอากาศ ซึ่งเรียกว่า “แหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก” (isotropic source) โดยมีกำลังงานที่ส่งออกไปเป็น P_t และมีระยะห่าง r จากแหล่งกำเนิดสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณแล้ว กำลังที่รับได้ที่เครื่องรับต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก สามารถหาได้จาก

$$W_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ $4\pi r^2$ คือ พื้นที่ของการแพร่กระจายคลื่น

ถ้ากำหนดให้สายอากาศของเครื่องรับมีพื้นที่ในการรับสัญญาณ (A_r) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับสัญญาณและอัตราขยายของสายอากาศ (G_r) แสดงได้ดังนี้

$$\frac{A_r}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2.2)$$

เมื่อใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) สามารถหาค่ากำลังที่เครื่องรับได้จาก (Friis free-space equation) [3] หน้า 107

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (2.3)$$

- เมื่อ P_t คือ กำลังของเครื่องส่งในการส่งสัญญาณ
 P_r คือ กำลังที่เครื่องรับได้รับ
 G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
 G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
 r คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง
 L คือ การสูญเสียของระบบ ($L > 1$)
 λ คือ ความยาวคลื่น

จะเห็นได้ว่ากำลังที่เครื่องรับจะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสอง และแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังที่ได้รับน้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง (path loss) ในหน่วยเดซิเบล (dB) สามารถหาได้จาก [3]

$$\begin{aligned} PL &= 10 \log \frac{P_t}{P_r} = P_t(\text{dB}) - P_r(\text{dB}) \\ &= 10 \log \left(\frac{(4\pi)^2 r^2}{G_t G_r \lambda^2} \right) = K + 20 \log r + 20 \log f - 10 \log G_t - 10 \log G_r \end{aligned} \quad (2.4)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ของสัญญาณที่ใช้ส่ง-รับ และ K คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับหน่วยของ r และ f ตัวอย่างเช่น r มีหน่วยเป็น Km และ f มีหน่วยเป็น MHz จะได้ $K = 32.44$ เมื่ออัตราขยายของสายอากาศเป็น 1 สมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นจากสมการที่ (2.4) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$PL = 10 \log \left(\frac{(4\pi)^2 r^2}{\lambda^2} \right) = K + 20 \log r + 20 \log f \quad (2.5)$$

สมการในการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่างของ Friis เมื่อพิจารณาถึงการแพร่กระจายคลื่นแบบ Large-scale โดยใช้ระยะทางที่อ้างอิง (r_0) ซึ่งสามารถรู้กำลังที่ได้รับที่จุดอ้างอิงได้ ดังนั้นกำลัง

ที่ได้รับ $P_r(r)$ ที่ระยะทางใดๆ อาจจะสามารถสัมพันธ์กับกำลังที่ได้รับที่จุดอ้างอิง กำลังที่ได้รับที่จุดอ้างอิง $P_r(r_0)$ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.3) หรือวัดสัญญาณได้จากสภาพแวดล้อมที่มีคลื่นวิทยุ โดยนำค่าที่วัดได้จากระยะทางที่อ้างอิงหลายๆ ตำแหน่งมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งระยะทางที่อ้างอิงนั้นจะต้องเลือกให้อยู่ในขอบเขตของระยะทางการแพร่กระจายคลื่นในทางปฏิบัติที่ใช้ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ ดังนั้นจากสมการที่ (2.3) กำลังที่ได้รับในอากาศว่างที่ระยะทางอ้างอิง กำหนดให้ดังนี้

$$P_r(r) = P_r(r_0) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \quad (2.6)$$

2.1.2 สมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในทางปฏิบัติ

สมการในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุส่วนมากได้มาจากการรวมกันของวิธีการวิเคราะห์ (analytical method) และวิธีการเชิงประจักษ์ (empirical method) วิธีการเชิงประจักษ์ ได้มาจากเส้นโค้งที่เหมาะสมหรือการวิเคราะห์ชุดของข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งมีข้อดีคือ มีการคำนึงถึงทุกแฟกเตอร์ของการแพร่กระจายคลื่นทั้งที่รู้และไม่รู้ตลอดขอบเขตการวัด แต่อย่างไรก็ตามสมการที่ได้จากวิธีการเชิงประจักษ์สามารถสร้างขึ้นได้ โดยการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมครั้งก่อนกับสภาพแวดล้อมใหม่ที่มีความถี่ที่ต้องการ สมการในการแพร่กระจายคลื่นบางสมการที่เชื่อถือได้ถูกนำมาใช้เพื่อคาดเดาแบบ Large-scale สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ โดยใช้สมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางประมาณค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR)

สมการในการแพร่กระจายคลื่นทั้งทางทฤษฎีและการวัดได้แสดงถึงกำลังสัญญาณที่ได้รับเฉลี่ยลดลงแบบลอการิทึมตามระยะทาง ไม่ว่าจะเป็นช่องสัญญาณวิทยุภายในอาคารหรือนอกอาคาร ดังนั้นจึงได้มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ค่าเฉลี่ยการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางตามแบบ Large-scale สำหรับระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ สามารถแสดงด้วยฟังก์ชันของระยะทาง โดยใช้ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง (path loss exponent: γ) ดังนี้

$$\overline{PL}(r) \propto \left(\frac{r}{r_0} \right)^\gamma \quad (2.7)$$

เมื่อ γ คือตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง ซึ่งแสดงถึงอัตราการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่เพิ่มขึ้น r_0 คือระยะทางที่อ้างอิง ซึ่งกำหนดจากการวัดที่ใกล้กับเครื่องส่ง และ r คือระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ชิดบนแสดงถึงค่าเฉลี่ยของการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ จากสมการที่ (2.7) เมื่อกำหนดค่า r สามารถนำมาพล็อตบนสเกล

แบบล็อก-ล็อก จะได้เส้นตรงที่มีความชันเป็น 10γ dB/decade ค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่น เช่น ในอากาศว่างตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางจะเท่ากับ 2 และเมื่อมีสิ่งกีดขวางตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางจะมีค่ามากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1 [3]

ตารางที่ 2.1 ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางสำหรับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

สภาพแวดล้อม	ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง (γ)
อากาศว่าง	2
พื้นที่ในเมือง	2.7 – 3.5
พื้นที่ในเมืองเกิดเฟดดิ้ง	3 - 5
ในอาคารแนวระดับสายตา	1.6 – 1.8
ในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง	4 – 6
ในโรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง	2 - 3

การเลือกระยะทางอ้างอิงในอากาศว่างนั้นมีความสำคัญมาก นั่นคือต้องเหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่น ในระบบเซลลูลาร์ที่มีการครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างมาก ๆ โดยปกติจะใช้ระยะทางอ้างอิงที่ 1 กิโลเมตร ส่วนในระบบไมโครเซลลูลาร์ระยะทางที่ใช้อ้างอิงจะน้อยกว่า (100 เมตร)

2.2 หลักการเบื้องต้นของระบบซีดีเอ็มเอ

ระบบซีดีเอ็มเอ (Code Division Multiple Access: CDMA) นั้นได้ถือกำเนิดมาในแวดวงการสื่อสารของทหารมานาน ก่อนที่จะออกมาสู่สาธารณะชนในปี ค.ศ.1991 โดยมีการทดสอบการใช้งานระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA field trial) ในเชิงพาณิชย์โดยบริษัท ควอลคอมม์ (Qualcomm) ของสหรัฐอเมริกา และได้มีการพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1993 จึงได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐาน IS-95 ออกมาโดย TIA (the Telecommunications Industry Association) เป็นมาตรฐานแรก ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2-2.5 ความแตกต่างระหว่างการสื่อสารยุคที่ 1 และ 2 คือรูปแบบของการสื่อสารข้อมูล โดยการสื่อสารระบบเซลลูลาร์ในยุคที่ 2 นั้น จะเป็นการสื่อสารด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับยุคที่ 1 ที่เป็นการสื่อสารแบบแอนะล็อก ตัวอย่างของการสื่อสารในยุคที่ 1 คือ ระบบ Advanced Mobile Telephone System (AMPS) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) ซึ่งยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายอย่างด้วยกัน ทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2 ขึ้นมาเป็นระบบดิจิทัล

เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบและบริการใหม่ๆ หลายอย่างด้วยกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ Global System for Mobile Communications (GSM) ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) ต่อมาได้มีการนำเสนอมาตรฐาน IS-95 ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) โดยใช้การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum: SS) ด้วยวิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS) ทำให้ความจุของระบบเพิ่มมากขึ้นและสามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้มากกว่าการสื่อสารในยุคที่ 1 และ 2 อีกด้วย

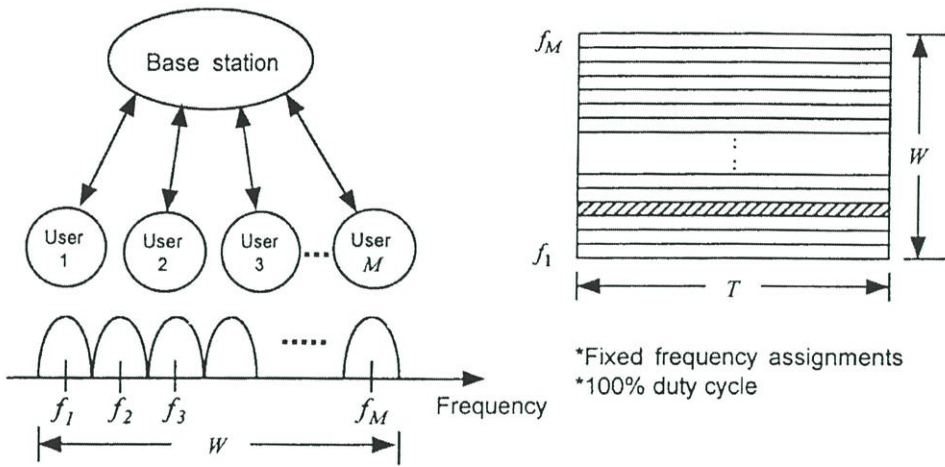
2.2.1 วิธีการเข้าถึงหลายทาง

การสื่อสารระบบเซลลูลาร์ตามมาตรฐานของระบบ AMPS, GSM และ IS-95 จะมีวิธีการเข้าถึงพื้นฐานที่แตกต่างกัน 3 วิธีคือ

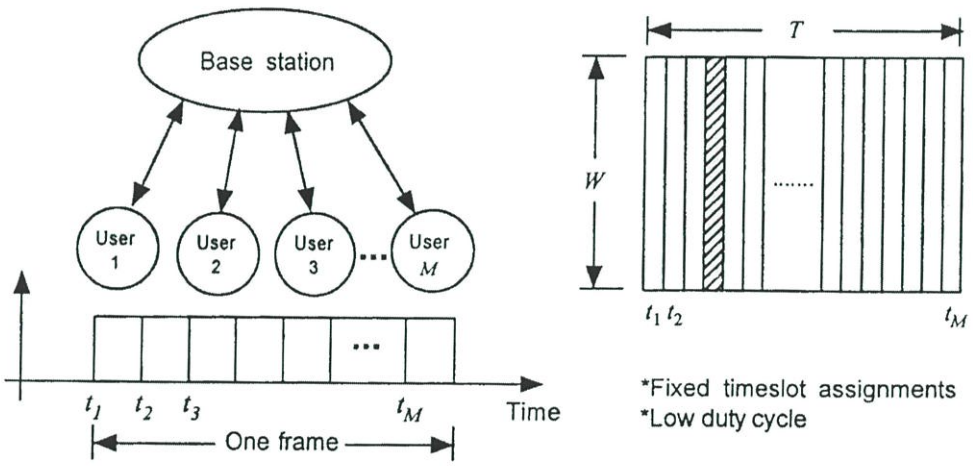
- 1) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA)
- 2) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA)
- 3) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA)

ซึ่งวิธีการเข้าถึงพื้นฐานทั้งสามระบบนี้จะสามารถนำเอาวิธีการเข้าถึงของระบบอื่นๆ มาใช้งานร่วมกันได้ เช่น รวมการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่และแบ่งเวลาเข้าด้วยกันเป็น FD/TDMA ที่ใช้ในระบบ GSM หรือรวมการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาเข้ากับการแบ่งรหัสจะได้เป็น FD/CDMA ดังที่ใช้ในระบบ IS-95 เป็นต้น

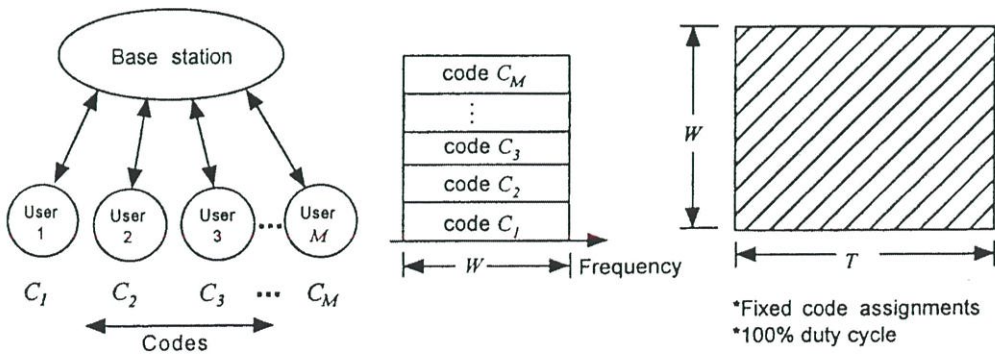
ในระบบ FDMA ความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ จำนวน M ช่องสัญญาณต่อเนื่องกันไปตามแกนความถี่ ในแต่ละช่องสัญญาณจะมีความถี่ไม่ตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งในช่วงเวลาการสื่อสารผู้ใช้จะส่งสัญญาณผ่านทางความถี่ใดความถี่หนึ่งตามที่ได้จัดสรรไว้ด้วยกำลังส่งสูงสุดตลอดเวลา จนกว่าจะสิ้นสุดในการใช้ช่องสัญญาณ ส่วนระบบ TDMA นั้นแกนของความถี่-เวลาจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ จำนวน M ช่องเวลาต่อเนื่องตามแนวแกนเวลา ในแต่ละช่องเวลาจะใช้ความถี่เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งในช่วงเวลาการสื่อสารผู้ใช้จะส่งสัญญาณผ่านทางช่องเวลาใดช่องเวลาหนึ่งตามที่ได้จัดสรรไว้ด้วยกำลังส่งต่ำตลอดการใช้บริการ แต่สำหรับระบบ CDMA แล้วกำลังของสัญญาณจะกระจายออกแบบต่อเนื่องเต็มทั้งแกนของเวลา-ความถี่ ซึ่งในระบบนี้แกนเวลา-ความถี่จะไม่ถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณตามจำนวนผู้ใช้เหมือนในระบบ FDMA และ TDMA แต่ผู้ใช้แต่ละคนสามารถใช้แบนด์วิดท์เดียวกันและที่เวลาเดียวกันพร้อมๆ กันได้ โดยที่ผู้ใช้แต่ละคนจะถูกเข้ารหัสการแผ่ที่ใช้แถบความถี่กว้างในการสื่อสาร ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากหลักการเข้าถึงหลายเหล่านี้สเปกตรัมของแต่ละระบบจะแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



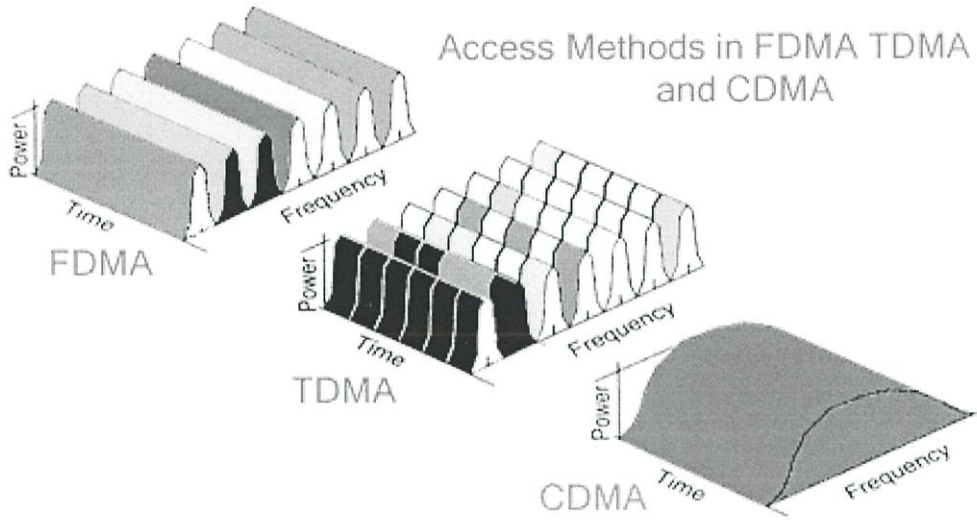
รูปที่ 2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (FDMA)



รูปที่ 2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (TDMA)



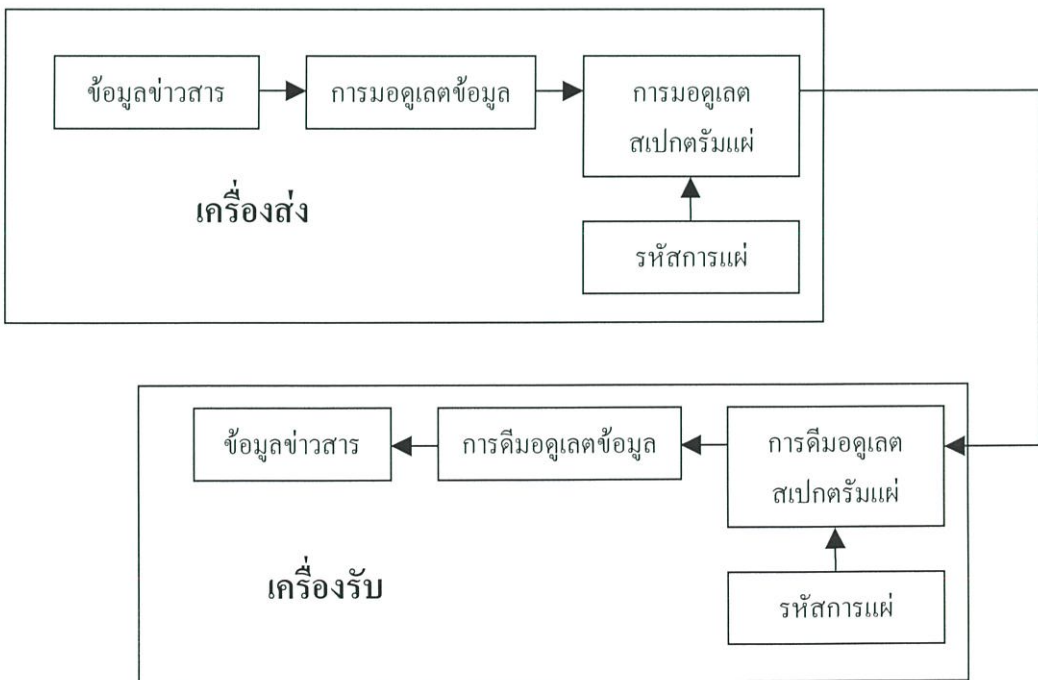
รูปที่ 2.4 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA)



รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของระบบ FDMA TDMA และ CDMA

2.2.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่

ในระบบการสื่อสารที่มีการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่นั้น สเปกตรัมของสัญญาณจะถูกขยายออกไปในแถบความถี่ที่กว้างกว่าแถบความถี่ที่บรรจุข้อมูลข่าวสาร ทำให้กำลังของสัญญาณกระจายออกไปบนแถบความถี่สเปกตรัมที่กว้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (กรณีของระบบ CDMA) [2]



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของระบบการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการในการส่งและรับสัญญาณอย่างง่ายด้วยการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ โดยข้อมูลข่าวสารที่ผ่านการมอดูเลตแล้วจะถูกนำมาขยายแถบความถี่ด้วยรหัสการแผ่ที่มีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวนเทียม ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้แถบความถี่ของสัญญาณกว้างขึ้นมากกว่าสัญญาณข้อมูลข่าวสารเดิมหลายสิบเท่าตัว ส่วนทางด้านเครื่องรับนั้นจะใช้รหัสการแผ่ที่เหมือนกับทางด้านเครื่องส่งในการสร้างสัญญาณข้อมูลข่าวสารเดิมกลับคืนมา โดยที่สัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่รับเข้ามาด้วยนั้นจะไม่มีความเป็นสหสัมพันธ์กับรหัสการแผ่ จึงทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนเหล่านั้นออกไปได้โดยง่าย ซึ่งจะให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนั้นดีขึ้น โดยนิยามเป็น “อัตราขยายการประมวลผล” (Processing Gain) ของระบบ ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนของแถบความถี่ของการแผ่ต่อแถบความถี่ของข้อมูลข่าวสาร จะมีค่าประมาณ 100 เท่า (20 dB) ถึง 1,000 เท่า (30 dB)

สำหรับวิธีการที่นิยมใช้ในการแผ่ของสัญญาณข้อมูลข่าวสารในระบบการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่จะมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence: DS) และวิธีการกระโดดของความถี่ (Frequency Hopping: FH) โดยวิธีการจัดลำดับโดยตรงจะใช้รหัสการแผ่แบบเร็ว (นั่นคืออัตราชีพที่หลายเมกกะชีพต่อวินาที) กับการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟสฐานสอง (Binary Phase Shift Keying: BPSK) การใช้รหัสการแผ่โดยวิธีการจัดลำดับโดยตรงแบบเร็วนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างทางเวลาหรือระยะทางที่ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถทำการตรวจสอบการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังสามารถใช้เทคนิคการรับแบบเรค (Rake) ได้อีกด้วย

สำหรับวิธีการกระโดดของความถี่นั้นจะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ (frequency synthesizer) ในการกระโดดของความถี่กลางของสัญญาณให้เป็นความถี่ที่แตกต่างออกไปในอัตราความเร็วที่กำหนด ซึ่งจะทำให้การขยายความถี่สัญญาณข้อมูลบนแถบความถี่กว้างย่านหนึ่ง สำหรับวิธีการกระโดดของความถี่อย่างรวดเร็ว นั้น อัตราการกระโดดจะเร็วกว่าอัตราสัญลักษณ์ข้อมูลข่าวสาร ซึ่งในกรณีนี้การส่งข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์จะใช้ความถี่หลายความถี่ในการกระโดดเพื่อส่งข้อมูล ซึ่งจะทำให้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างรวดเร็วสามารถทนต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียสัญญาณและการแทรกสอดได้ ส่วนการกระโดดอย่างช้าๆ นั้น อัตราการกระโดดจะช้ากว่าอัตราข้อมูลข่าวสารและจะส่งข้อมูลข่าวสารหลายตัวในการกระโดดแต่ละความถี่

สำหรับการพัฒนาเทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่นั้น จะพัฒนาโดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรงเป็นหลัก เนื่องจากวิธีการกระโดดของความถี่ต้องการวงจรสังเคราะห์ความถี่ทั้งที่เครื่องรับและเครื่องส่ง ถึงแม้ว่าที่เครื่องรับ-ส่งจะมีวงจรนี้อยู่แล้วก็ตาม แต่ก็สามารถทำได้ดีเพียงแค่การกระโดดอย่างช้าเท่านั้น ส่วนการกระโดดของความถี่อย่างรวดเร็วย่อมต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถและมีความซับซ้อนมากกว่านี้ สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการจัดลำดับ โดยตรงเท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่นำมาใช้สำหรับการสื่อสารในยุคที่ 3

2.2.3 รหัสการแผ่ที่ใช้ในระบบโคเรคทีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ

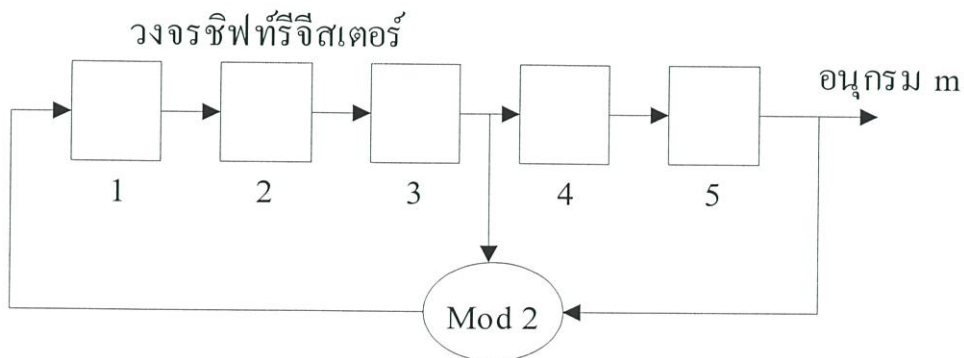
รหัสสัญญาณรบกวนเทียม (Pseudo Noise: PN) หรือ อนุกรมสัญญาณรบกวนสุ่มเทียม (pseudorandom sequence) ที่ใช้กันทั่วไปในระบบการสื่อสาร ซึ่งมีการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ นั้น จะเป็นรหัสสัญญาณเชิงคาบโดยธรรมชาติของตัวมันเอง แต่จะอยู่ในย่านความถี่ที่แน่นอน โดยมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian Noise) ซึ่งรหัสการแผ่ของสัญญาณนั้นจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) ฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ (autocorrelation function) ของรหัสจะต้องมีค่าสูงสุดและคม
- 2) ค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross-correlation) ของรหัสจะต้องมีค่าสม่ำเสมอที่มีค่า
- 3) จะต้องสามารถสร้างกลุ่มรหัสที่แตกต่างกันได้

ความต้องการในข้อที่ 1) นั้นมีไว้เพื่อเป็นความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวนและใช้ในการสร้างการเข้าจังหวะทางเวลา ส่วนความต้องการในข้อที่ 2) นั้นก็เพื่อใช้ในการเข้าถึงหลายทาง (ทางเวลา) และข้อที่ 3) นั้นจะใช้ในการหาจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้

2.2.3.1 การสร้างรหัสการแผ่

รหัสการแผ่ที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นคือ อนุกรม Maximum-Length Linear Shift-Register (หรือ m-sequence) โดยอาศัยการเลือกเทปป้อนกลับที่เหมาะสมในวงจรชิฟท์รีจิสเตอร์แบบเชิงเส้น (Linear Shift Register) ที่มีรีจิสเตอร์หลายๆ รีจิสเตอร์ เมื่อ s คือจำนวนชิฟท์รีจิสเตอร์ จะสามารถให้กำเนิดอนุกรมรหัสได้จำนวนทั้งสิ้น $2^s - 1$ ชิพ รูปที่ 2.7 แสดงการจัดวางเทปสำหรับการสร้างรหัสสัญญาณจำนวน 5 ชิฟท์รีจิสเตอร์ ในหนึ่งคาบของรหัสที่สร้างจากอนุกรม m นั้น จะประกอบด้วย "1" จำนวน 2^{s-1} และ "0" จำนวน $2^{s-1} - 1$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการต้องการของระบบว่าต้องการความยาวอนุกรมรหัสจำนวนเท่าใด เช่น วงจรสร้างรหัสสัญญาณจำนวน 15 ชิฟท์รีจิสเตอร์ สามารถให้กำเนิดอนุกรมรหัสได้ถึง 32,767 ชิพ

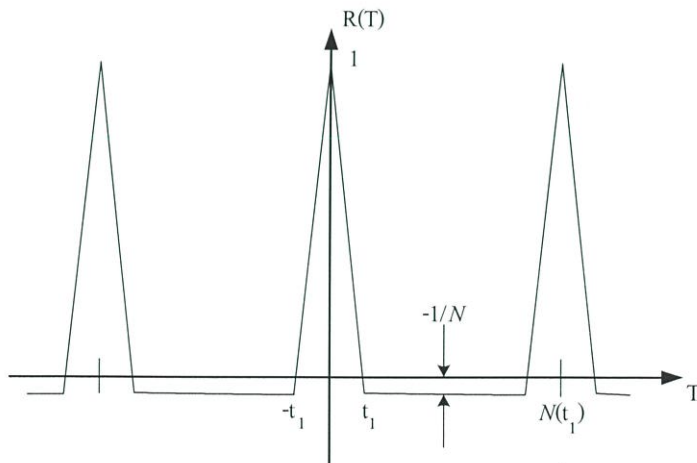


รูปที่ 2.7 วงจรกำเนิดอนุกรมรหัสแบบ Maximum-Length Linear Shift-Register

2.2.3.2 คุณสมบัติสหสัมพันธ์ของอนุกรมรหัส

สำหรับระบบไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ สิ่งสำคัญคือ รหัสของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกกำหนดขึ้น เพื่อเป็นการแยกสัญญาณรหัสที่ติระหว่างสัญญาณรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการกับสัญญาณรหัสของผู้ใช้คนอื่นๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณรหัสที่ต้องการ สำหรับการแยกสัญญาณรหัสสามารถทำได้โดยวิธีการสหสัมพันธ์สัญญาณรหัสที่ได้รับกับสัญญาณรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการ ซึ่งจะถูกสร้างขึ้นทางด้านเครื่องรับ

สำหรับในการสร้างรหัสที่ใช้ซีพีอาร์จีสเตอร์นั้น เนื่องจากต้องการคุณสมบัติของอัตราสหสัมพันธ์ของฟังก์ชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งจะให้ค่ามากที่สุดหนึ่งค่าทุกๆ คาบเวลาที่ทำการทวนซ้ำตัวมันเอง แต่ค่าระหว่างค่าสูงสุดนี้จะมีระดับคงที่คือ $-(1/N)$ ถ้า N มีค่ามากๆ ค่าสูงสุดของอัตราสหสัมพันธ์จะแคบลงตามไปด้วย ซึ่งอนุกรมรหัสที่ทำการสหสัมพันธ์จะมีคุณสมบัติตามคุณสมบัติของอัตราสหสัมพันธ์ได้นั้น อนุกรมรหัสที่นำมาทำการสหสัมพันธ์จะมีอนุกรมรหัสที่ตรงกันเมื่อทำการทวนซ้ำตัวมันเอง และอีกคุณสมบัติหนึ่งของอนุกรมรหัสที่ต้องการคือ สหสัมพันธ์ข้ามน้อยๆ ระหว่างรหัสที่ถูกกำหนดขึ้นกับผู้ใช้ในแต่ละคนที่รหัสแตกต่างกันออกไป สัญญาณที่ถูกสหสัมพันธ์เรียบร้อยแล้วจะต้องมีคุณสมบัติของทั้งสองฟังก์ชัน เพื่อให้ทราบว่าอนุกรมรหัสที่เครื่องส่งตรงกันกับอนุกรมรหัสทางด้านเครื่องรับ ซึ่งถ้ารหัสทางเครื่องส่งและทางเครื่องรับตรงกันสัญญาณที่ถูกสหสัมพันธ์เรียบร้อยแล้วจะมีคุณสมบัติของอัตราสหสัมพันธ์ หรือมีคุณสมบัติของสหสัมพันธ์ข้ามน้อยๆ หากทั้งสองรหัสทางเครื่องส่งและเครื่องรับไม่ตรงกันสัญญาณที่ถูกสหสัมพันธ์จะมีคุณสมบัติไปตามสหสัมพันธ์ข้าม



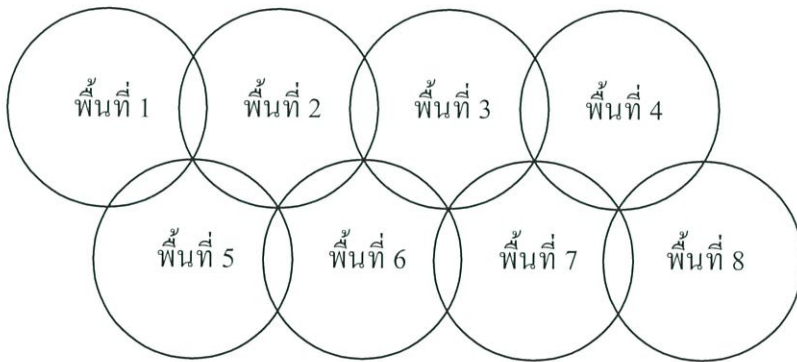
รูปที่ 2.8 ฟังก์ชันของอัตราสหสัมพันธ์ของอนุกรมรหัส

2.3 ระบบเซลล์อาร์ซีดีเอ็มเอ

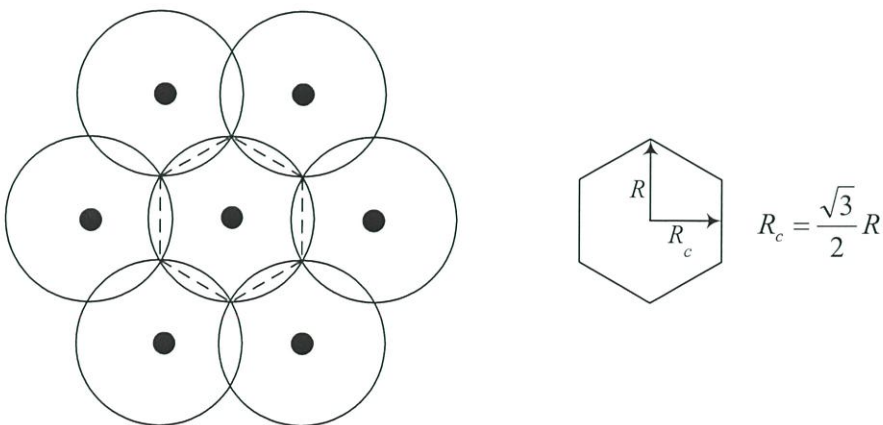
2.3.1 เรขาคณิตของเซลล์

รูปแบบเซลล์ของระบบเซลล์อาร์ซีดีเอ็มเอตามแนวความคิดนั้น เมื่อสถานีฐานใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง (omni-directional) ในการส่งสัญญาณจะครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกลม ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่ที่สามารถรับกำลังสัญญาณจากสถานีฐานได้ โดยที่มีค่ามากกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) เมื่อพื้นที่ในทางภูมิศาสตร์สามารถแบ่งเป็นพื้นที่วงกลมที่เหลื่อมทับกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถ้าหากมีการครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกลมอย่างสมบูรณ์ (คือไม่มีช่องว่างในการครอบคลุม) และทั้งหมดมีขนาดเท่ากัน จะเป็นการสนับสนุนแนวความคิดของรูปหกเหลี่ยมที่เรียกว่า “เซลล์” ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ขนาดของเซลล์หกเหลี่ยมกำหนดให้เท่ากับ R ดังนั้นรัศมีการครอบคลุมพื้นที่สามารถหาได้จาก

$$R_c = R \cos 30^\circ = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) R = 0.866R \quad (2.8)$$



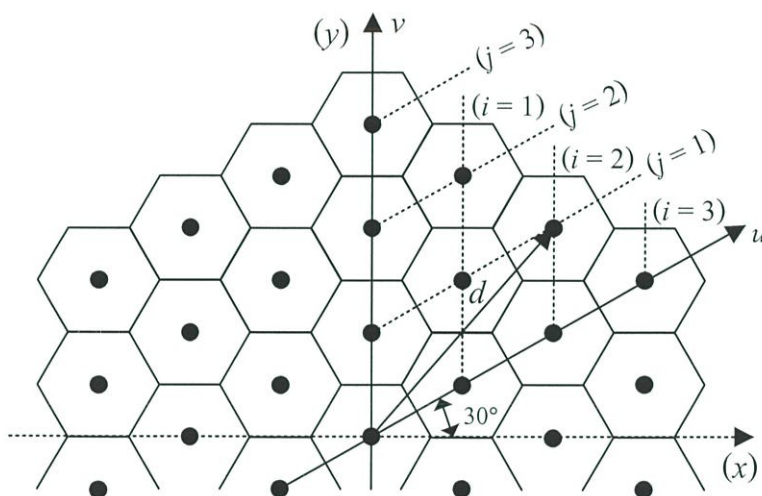
รูปที่ 2.9 การครอบคลุมพื้นที่ของสถานีฐานตามอุดมคติ (วงกลมอย่างสมบูรณ์)



รูปที่ 2.10 รูปแบบเซลล์หกเหลี่ยมซึ่งสัมพันธ์กับการครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกลม

ในทางปฏิบัติตามความเป็นจริง การครอบคลุมพื้นที่ของสถานีฐานจะไม่เป็นวงกลมอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการสูญเสียสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากธรรมชาติและภูมิประเทศที่มนุษย์สร้างขึ้น

2.3.2 ระยะพิกัดของระบบเซลล์ทูลาร์



รูปที่ 2.11 ระยะพิกัดของระบบเซลล์ทูลาร์ที่ไม่ตั้งฉากกัน

จากรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงเซลล์แบบรูปหกเหลี่ยมในระบบระยะพิกัดที่ไม่ตั้งฉากกัน เมื่อใช้ตำแหน่งของเซลล์ที่ระยะพิกัด (u, v) ในระบบนี้ สามารถหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดศูนย์กลางเซลล์ใดๆ ได้จาก

$$(u, v) = (2R_c i, 2R_c j) = (R\sqrt{3}i, R\sqrt{3}j) \quad (2.9a)$$

ในทอมของระบบระยะพิกัด (u, v) ตำแหน่งของตัวแปรก็เช่นเดียวกันกับในระบบระยะพิกัดของสี่เหลี่ยมผืนผ้า (x, y) ที่จุดกำเนิดเดียวกัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$x = u \cos 30^\circ = \frac{1}{2} u \sqrt{3}, \quad y = u \sin 30^\circ + v = \frac{1}{2} u + v \quad (2.9b)$$

เมื่อกำลังสองของระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของเซลล์ a ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (u_a, v_a) และเซลล์ b ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (u_b, v_b) สามารถคำนวณได้จาก

$$d_{ab}^2 = (x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 = \frac{3}{4}(u_a - u_b)^2 + \left(\frac{1}{2}u_a + v_a - \frac{1}{2}u_b - v_b\right)^2$$

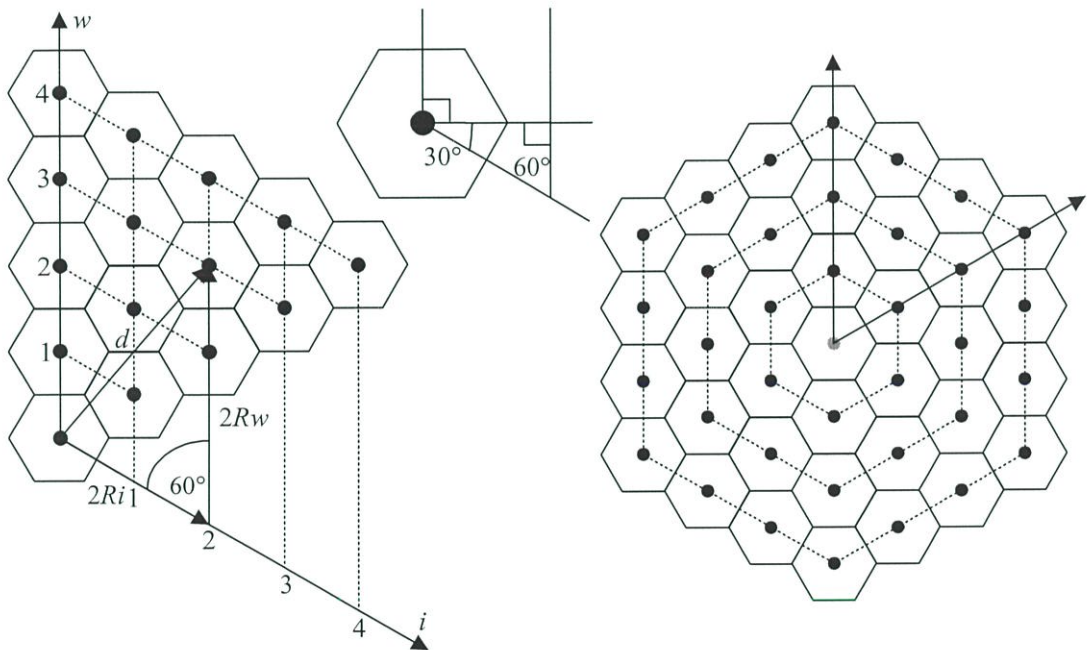
$$= (u_a - u_b)^2 + (v_a - v_b)^2 + (u_a - u_b)(v_a - v_b) \quad (2.10a)$$

$$= (2R_c)^2 [(i_a - i_b)^2 + (j_a - j_b)^2 + (i_a - i_b)(j_a - j_b)] \quad (2.10b)$$

$$= (3R)^2 [(i_a - i_b)^2 + (j_a - j_b)^2 + (i_a - i_b)(j_a - j_b)] \quad (2.10c)$$

ดังนั้น ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของเซลล์ใดๆ กับจุดกำเนิดในระบบระยะพิคัดนี้ สามารถหาได้จาก

$$d = 2R_c \sqrt{i^2 + j^2 + ij} = 3R \sqrt{i^2 + j^2 + ij} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.12 ระยะพิคัดของวงระบบเซลล์รูปหกเหลี่ยม

คุณสมบัติของระบบเซลล์รูปหกเหลี่ยมอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือ มีความสมมาตรในการหมุนของรูปหกเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.12 สังเกตเห็นได้ว่า “วง” ของเซลล์ล้อมรอบเซลล์ศูนย์กลาง ซึ่งประกอบด้วยจุดศูนย์กลางของเซลล์และเซกเตอร์หนึ่งที่มีมุม 60 องศา ล้อมรอบจุดกำเนิด ระยะพิคัดของเซลล์ในเซกเตอร์คือ (w, i) เมื่อ w คือจำนวนวง และ $i = 1, 2, \dots, w$ คือตัวเลขแสดงเซลล์ในเซกเตอร์นั้น ซึ่งอยู่ในวง w ดังนั้นระยะทางกำลังสองระหว่างจุดกำเนิดกับจุดศูนย์กลางของเซลล์ที่ i ในวง w สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 d^2(w,i) &= (2R_c w)^2 + (2R_c i)^2 - 2(2R_c w)(2R_c i) \cos 60^\circ \\
 &= 4R_c^2(w^2 + i^2 - wi)
 \end{aligned} \tag{2.12a}$$

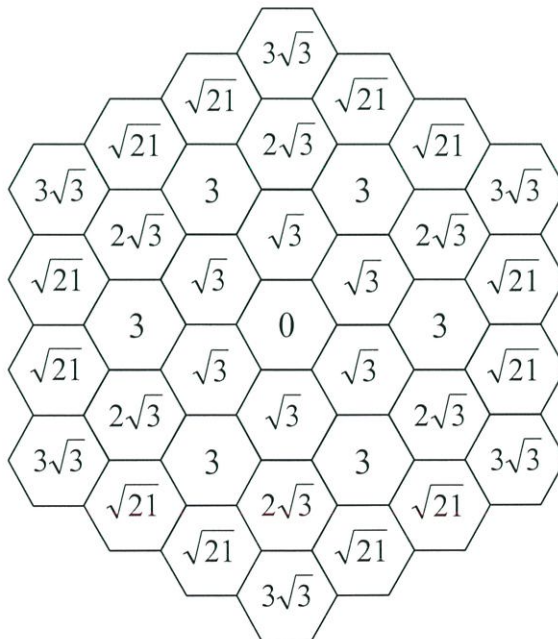
ดังนั้นจะได้เป็น

$$d(w,i) = 2R_c \sqrt{w^2 + i^2 - wi} = R\sqrt{3} \sqrt{w^2 + i^2 - wi} \tag{2.12b}$$

ระยะทางระหว่างจุดกำเนิดกับจุดศูนย์กลางของเซลล์ในวงที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 2.2 และในรูปที่ 2.13 ด้วยพารามิเตอร์ R และ R_c สังเกตเห็นได้ว่ามีเซลล์จำนวน $6w$ ในแต่ละวง แต่เซลล์ในแต่ละวงจะมีระยะทางจากจุดกำเนิดไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2.2 ระยะทางระหว่างจุดกำเนิดกับจุดศูนย์กลางของเซลล์ในวงที่แตกต่างกัน [2]

w	i	ระยะทาง	จำนวน	w	i	ระยะทาง	จำนวน
1	1	$2R_c = R\sqrt{3}$	6	4	1	$2R_c \sqrt{13} = R\sqrt{39}$	6
2	1	$2R_c = R\sqrt{3}$	6		2	$4R_c \sqrt{3} = 6R$	6
	2	$2R_c = R\sqrt{3}$	6		3	$2R_c \sqrt{13} = R\sqrt{39}$	6
3	1	$2R_c \sqrt{7} = R\sqrt{21}$	6		4	$8R_c = 4R\sqrt{3}$	6
	2	$2R_c \sqrt{7} = R\sqrt{21}$	6	\vdots	\vdots	\vdots	
	3	$6R_c = 3R\sqrt{3}$	6	w	i	$2R_c \sqrt{w^2 + i^2 - wi}$	6



รูปที่ 2.13 ระยะทางจากเซลล์ศูนย์กลางด้วยพารามิเตอร์ R [2]

บทที่ 3

ความจุของระบบเซลลูลาร์โคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ

บทนี้จะกล่าวถึงความจุของระบบ หรือจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ของระบบเซลลูลาร์โคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ เนื่องจากความจุของระบบนี้ถูกจำกัดด้วยปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบ อีกทั้งการแทรกสอดของสัญญาณอื่นเนื่องมาจากการควบคุมกำลังที่ไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดจำนวนมากกับระบบอีกด้วย เนื้อหาในบทนี้จึงประกอบไปด้วยการเกิดสัญญาณแทรกสอด การควบคุมกำลัง และการหาความจุของระบบ

3.1 สัญญาณแทรกสอด

ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายจะมีการสื่อสารเชื่อมโยงด้วยกันสองทิศทางคือ การสื่อสารเชื่อมโยงจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย หรือเรียกว่าการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (forward-link) และการสื่อสารเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน หรือเรียกว่าการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (reverse-link) ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจึงมีด้วยกันสองทิศทางเช่นกัน

3.1.1 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป

3.1.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

ในระบบเซลลูลาร์โคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ นั้น ทางอุดมคติแล้วจะไม่มีสัญญาณแทรกสอดเกิดขึ้นภายในเซลล์ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะออร์ทogonalซึ่งกันและกัน ช่องสัญญาณการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทุกๆ ช่องรวมทั้งช่องสัญญาณนำร่อง (Pilot Channel) จะสามารถแยกแยะออกจากกันได้โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยขบวนชิปจากวอลซ์ฟังก์ชัน (Walsh Functions) ที่จัดสรรไว้และทำการรวม (integrating) ตลอด 64 ชิป ในช่วงของวอลซ์ฟังก์ชัน ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือ สัญญาณขบวนข้อมูลเบสแบนด์ของช่องสัญญาณที่ต้องการ โดยปราศจากสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณอื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป แต่อย่างไรก็ตามช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องลูกข่ายจะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ขึ้น เนื่องจากการรับสัญญาณได้หลายทิศทางที่ตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายหรือเรียกว่า หลายวิถี (multipath)

ถ้ากำหนดให้ $I_{0,r}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทั้งหมดที่เครื่องลูกข่ายได้รับจากสถานีฐานที่อ้างอิง ซึ่งสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากหลายวิถี กำลัง

ของสัญญาณในเส้นทางที่ k กำหนดให้เป็น β_k เมื่อ $0 \leq \beta_k \leq 1$ นั่นคือสัดส่วนของสัญญาณ $I_{0,f}$ อันเนื่องมาจากเส้นทางที่ k คือ

$$I_{0,k} \triangleq \text{ความหนาแน่นสเปกตรัมของเส้นทางที่ } k = \beta_k I_{0,f} \quad (3.1)$$

และถ้าในการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยสัญญาณจำนวน K เส้นทาง ดังนั้นจะได้

$$I_{0,f} = \sum_{k=1}^K I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k=1}^K \beta_k \quad \text{หรือ} \quad \sum_{k=1}^K \beta_k = 1 \quad (3.2)$$

หากกำหนดให้ที่เครื่องลูกข่ายมีวงจรรับสัญญาณจำนวน K วงจร โดยแต่ละวงจรตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณหนึ่งเส้นทางในจำนวน K เส้นทาง ถ้า E_{b0} คือพลังงานบิตทั้งหมดที่ได้รับจากสถานีฐานของช่องสัญญาณการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป ดังนั้นพลังงานบิตอินพุตของวงจรรับที่ j จะมีค่าเป็น

$$E_{bj} \triangleq \text{พลังงานบิตของเส้นทางที่ } j = \beta_j E_{b0} \quad (3.3)$$

และความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ของเส้นทางที่ j หาได้จาก

$$I_{scj} = \sum_{k \neq j} I_{0,k} = I_{0,f} \sum_{k \neq j} \beta_k = I_{0,f} (1 - \beta_j) \quad (3.4)$$

ดังนั้นอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวน (รวมทั้งสัญญาณแทรกสอดด้วย) ที่ดีมอดูเลเตอร์ซึ่งเซตอัปไว้เพื่อที่จะรับสัญญาณจากเส้นทางที่ j คือ

$$\frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \frac{E_{b0} \beta_j}{N_{0,th} + I_{0,oc} + I_{0,f} (1 - \beta_j)} \quad (3.5)$$

- เมื่อ $N_{0,th}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน
 $I_{0,oc}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ
 $I_{0,f}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังทั้งหมดของสัญญาณที่รับได้ภายในเซลล์
 $(N_{0,T})_j$ คือ ความหนาแน่นสัญญาณรบกวนทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับเส้นทางที่ j

หากที่เครื่องลูกข่ายใช้การรวมสัญญาณแบบ Maximum Ratio Combining จากเส้นทาง K เส้นทางแล้ว จะได้

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} = \sum_{j=1}^K \frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \sum_{j=1}^K \frac{E_{b0}\beta_j}{N_{0,th} + I_{0,oc} + I_{0,f}(1 - \beta_j)} \quad (3.6)$$

สำหรับในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่ใกล้กับสถานีฐาน สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนชนิดอื่นๆ ซึ่งจะสามารถตัดสัญญาณรบกวนอื่นๆ นั้นทิ้งไปได้ ดังนั้นจากสมการที่ (3.6) จึงสามารถประมาณค่าได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} \approx \sum_{j=1}^K \frac{E_{b0}\beta_j}{I_{0,f}(1 - \beta_k)} = \frac{E_{b0}}{I_{0,f}} \sum_{j=1}^K \frac{\beta_j}{1 - \beta_j} \triangleq \frac{E_{b0}}{I_{0,sc}} \quad (3.7)$$

เมื่อ $I_{0,sc}$ คือส่วนที่เป็นสัญญาณแทรกสอดของความหนาแน่นสัญญาณรวมที่รับได้ภายในเซลล์ ($I_{0,f}$) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์สามารถกำหนดได้เป็น

$$I_{0,sc} \triangleq \frac{I_{0,f}}{\sum_{j=1}^K \frac{\beta_j}{1 - \beta_j}} \quad (3.8)$$

3.1.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ

ในระบบเซลล์ลู่รัวไคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ นั้น สัญญาณที่รับได้จากสถานีฐานของเซลล์อื่นๆ จะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อเครื่องลูกข่าย ซึ่งกำลังสัญญาณแทรกสอดจากอีกเซลล์หนึ่งที่จะคอยให้บริการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่มปรกติล็อก (Lognormal Random Variable) นั่นคือกำลังสัญญาณแทรกสอดในหน่วยเดซิเบล (dB) เป็นตัวแปรสุ่มปรกติ (Normal หรือ Gaussian Random Variable)

$$\text{กำลังสัญญาณแทรกสอด (dB)} = \text{ค่าเฉลี่ย (dB)} + \text{ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ของตัวแปรสุ่มเกาส์ (dB)}$$

กำลังสัญญาณแทรกสอดเฉลี่ยจะสามารถคาดเดาได้โดยการใช้สมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง เช่น การสูญเสียสัญญาณจะเป็นสัดส่วนกับกำลังที่ γ ของระยะทาง ซึ่งในการคำนวณทาง

คณิตศาสตร์แล้ว สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้น จะสามารถหาค่าได้ในรูปของตัวแปรสุ่มปรกติอีก ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังสัญญาณแทรกสอด (dB)} &\triangleq 10 \log_{10} I_i \\ &= 10 \log_{10} \bar{I}_i + \sigma_{\text{dB}} Q_i \quad \text{เมื่อ } Q_i \text{ คือ ตัวแปรสุ่มเกาส์} \end{aligned}$$

หรือ

$$I_i = \bar{I}_i \times 10^{\sigma_{\text{dB}} Q_i / 10} = \text{Const} \times \frac{1}{r_i^r} \times 10^{\sigma_{\text{dB}} Q_i / 10} \quad (3.9)$$

- เมื่อ \bar{I}_i คือ ค่ากลาง (median value) ของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานที่ i
 r_i คือ ระยะทางจากสถานีฐานที่ i ไปยังเครื่องลูกข่ายที่อ้างอิง
 γ คือ ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง
 Q_i คือ ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์, ความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มเกาส์เป็นหนึ่ง
 σ_{dB} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงในช่วง 6 ถึง 13 dB

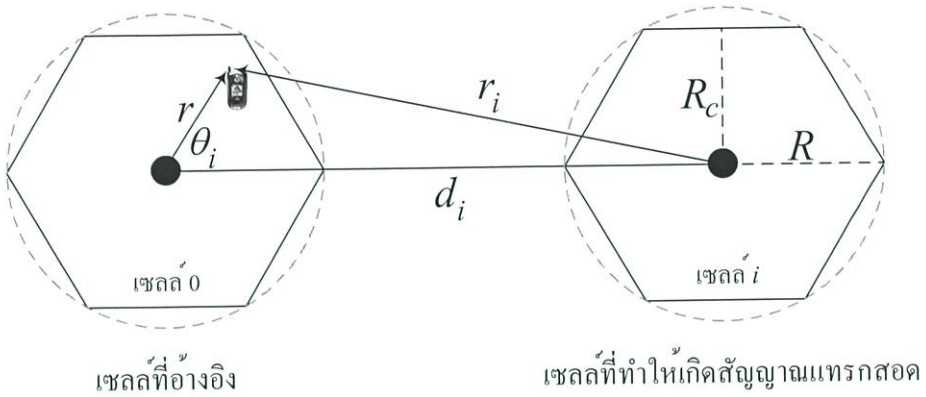
สำหรับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ นั้น เพื่อที่จะจัดสรรให้พอเพียงสำหรับค่ากลางของสัญญาณแทรกสอด \bar{I}_i ในสมการที่ (3.9) และเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของเครื่องลูกข่ายนั้น ระยะทางการแพร่กระจายคลื่น $\{r_i\}$ จะเป็นตัวกำหนดปริมาณสัญญาณแทรกสอด $\{\bar{I}_i\}$ ที่เกิดขึ้น ในการกล่าวถึงครั้งต่อไปจะตัดเครื่องหมายขีดบน (overbar) ออกและใช้เป็นตัวแปร I_i ซึ่ง $I_{0,i} = I_i / W$ เพื่อแสดงค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดและสอดคล้องกับความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลัง

เพื่อที่จะอธิบายถึงการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องลูกข่าย อันดับแรกต้องพิจารณาถึงเรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ที่มีต่อเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง (r, θ) ในเซลล์ที่อ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากรูปจะสามารถหาระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานที่ i ได้ดังนี้

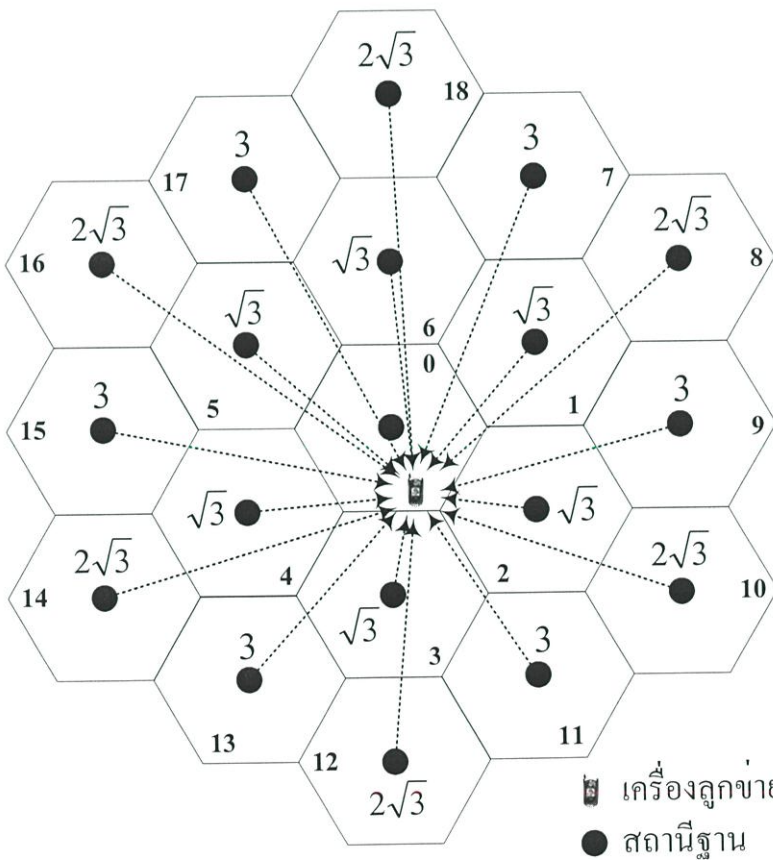
$$r_i(r, d_i, \theta_i) = \sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \theta_i} \quad (3.10)$$

เมื่อ d_i คือระยะทางระหว่างเซลล์หรือระยะทางระหว่างสถานีฐานที่อ้างอิงกับสถานีฐานที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด จากรูปที่ 2.12 จะสังเกตเห็นได้ว่าเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดมีลักษณะเป็น “วง” รอบเซลล์ที่อ้างอิง ในรูปที่ 2.13 และตารางที่ 2.2 แสดงค่าระยะทางของเซลล์เหล่านั้นจากเซลล์ที่อ้างอิง โดยคูณกับพารามิเตอร์ R (จากจุดศูนย์กลางเซลล์ไปยังมุมใดมุมหนึ่งของเซลล์) หรือ R_c (จากจุดศูนย์กลางเซลล์ไปยังด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์) เมื่อรวมแนวความคิดทาง

อุดมคติแล้ว สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.1 และจากรูปที่ 2.13 จะได้เป็นรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (r, θ) และระยะทางระหว่างเซลล์ $\{d_i\}$ ซึ่งเป็นจำนวนที่ปรากฏอยู่ในแต่ละเซลล์ที่เกิดการแทรกสอด



รูปที่ 3.1 เรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป



รูปที่ 3.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปและระยะทางจากเซลล์ศูนย์กลางด้วยพารามิเตอร์ R

หากกำหนดให้การแพร่กระจายคลื่นมีความสัมพันธ์กับกำลังที่ γ นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง } L(r_i) &= \text{กำลังสัญญาณแทรกสอดที่ได้รับ } (I_i) / \text{กำลังส่ง } (P_i) \\ &= \text{ค่าคงที่} \times r_i^{-\gamma} \end{aligned}$$

เมื่อ P_i คือ กำลังส่งของสถานีฐาน และ r_i คือระยะทางจากสมการที่ (3.10) ดังนั้นค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ทั้งหมด สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_{oc} &= \sum_i I_i = \sum_i P_i \times L(r_i) = P_i \sum_i L(r_i) \\ &= \text{Const} \times P_i \sum_i [r_i(r, d_i, \theta_i)]^{-\gamma} \end{aligned} \quad (3.11)$$

ถ้ากำหนดให้ S คือกำลังที่เครื่องลูกข่ายได้รับจากสถานีฐานที่อ้างอิงในกรณีที่ไม่มีสัญญาณแทรกสอดเกิดขึ้นของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป และการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นนั้นมีความสัมพันธ์กับกำลังที่ γ ของระยะทาง ค่า S นี้สามารถหาได้จาก

$$S = \text{ค่าคงที่} \times P_i \times r^{-\gamma} \quad (3.12)$$

ดังนั้นอัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ เฉลี่ยต่อกำลังสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายได้รับจากเซลล์ที่อ้างอิง คือ

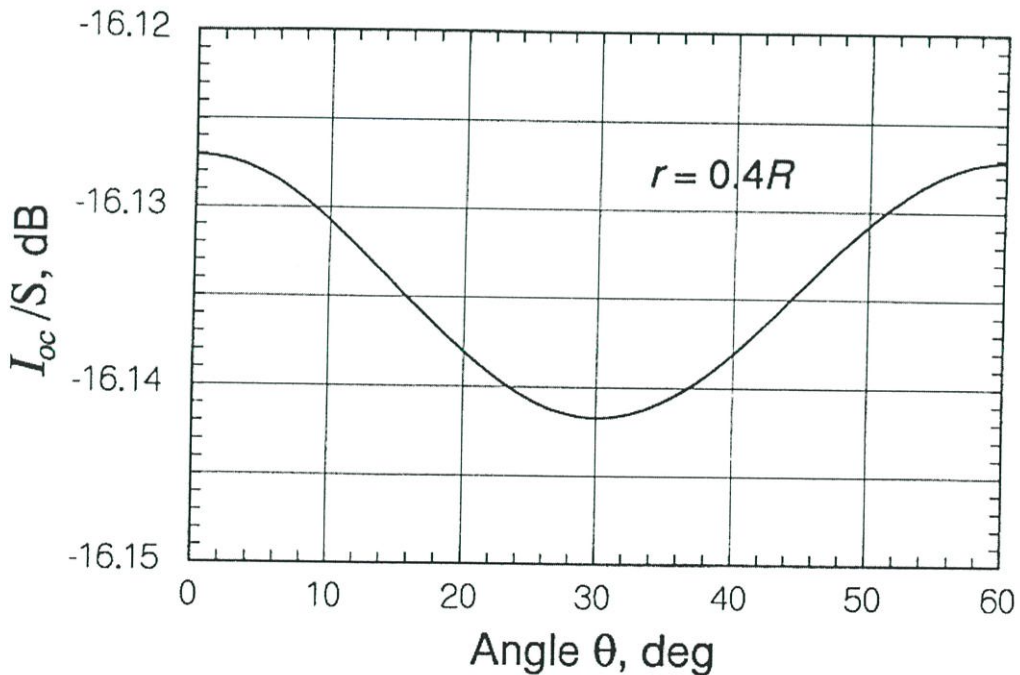
$$\begin{aligned} \frac{I_{oc}}{S} &= \sum_i \frac{r^\gamma}{[r_i(r, d_i, \theta_i)]^\gamma} = \sum_i \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_i/r)^2 - 2(d_i/r)\cos\theta_i}} \right]^\gamma \quad (3.13) \\ &= \sum_{i_1=1}^6 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_{i_1}/r)^2 - 2(d_{i_1}/r)\cos\theta_{i_1}}} \right]^\gamma \quad (\text{สำหรับวงแรก}) \\ &+ \sum_{i_2=1}^{12} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_{i_2}/r)^2 - 2(d_{i_2}/r)\cos\theta_{i_2}}} \right]^\gamma \quad (\text{สำหรับวงที่สอง}) \end{aligned}$$

$$+ \sum_{i_3=1}^{18} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_{i_3}/r)^2 - 2(d_{i_3}/r)\cos\theta_{i_3}}} \right]^\gamma \quad (\text{สำหรับวงที่สาม})$$

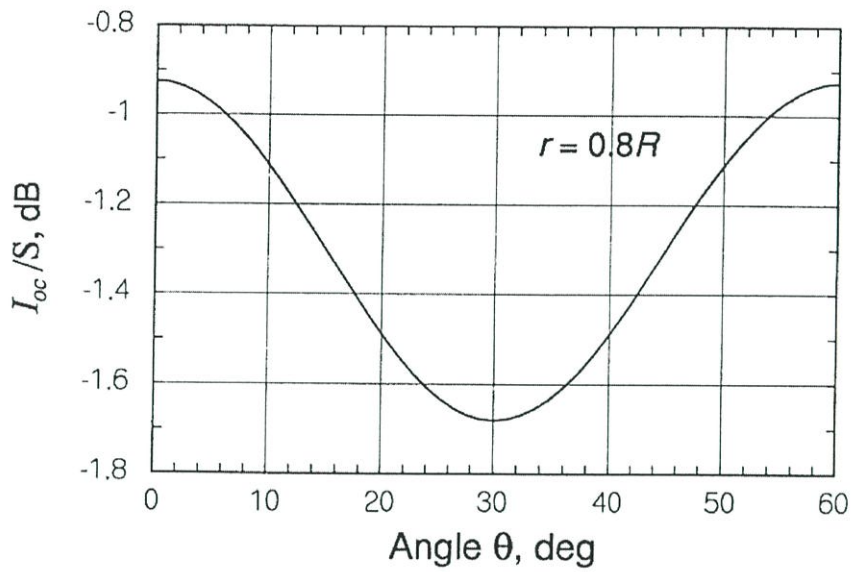
+...

ค่าอัตราส่วนนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของสัญญาณแทรกสอดเนื่องจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป และสามารถคำนวณได้โดยใช้พารามิเตอร์ระยะทางระหว่างเซลล์ของแต่ละวงของระบบเซลล์อาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ตัวอย่างเช่น เซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดวงแรกมีทั้งหมด 6 เซลล์ ซึ่งมีระยะทางจากสถานีฐานที่อ้างอิงเท่ากันทั้งหมดคือ $d_{i_1} = \sqrt{3}R = 2R_c$ และมุมระหว่างเครื่องลูกข่ายภายในเซลล์ที่อ้างอิงกับสถานีฐานของเซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดคือ $\{\theta_{i_1} : \theta + 0^\circ, \theta + 60^\circ, \theta + 120^\circ, \theta + 180^\circ, \theta + 240^\circ, \theta + 300^\circ\}$

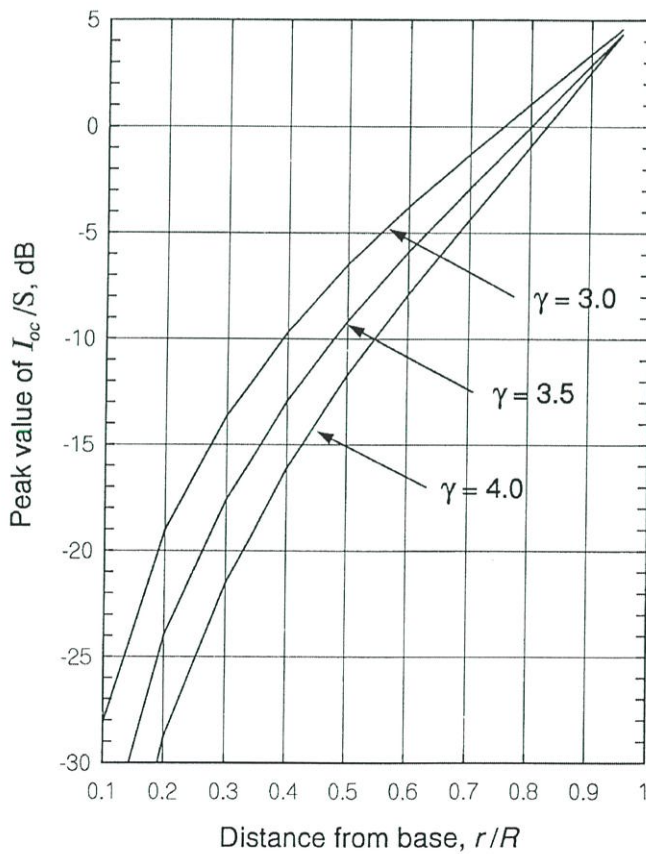
การคำนวณอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป โดยพิจารณาเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในวงที่ 1 และ 2 ของระบบเซลล์อาร์ ซึ่งมีทั้งหมด 18 เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 อัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (dB) แสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 สำหรับ $\gamma = 4$ [2]



รูปที่ 3.3 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ที่ตำแหน่ง $0.4R$ จากสถานีฐาน ($\gamma = 4$)



รูปที่ 3.4 อัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ที่ตำแหน่ง $0.8R$ จากสถานีฐาน ($\gamma = 4$)



รูปที่ 3.5 จุดสูงสุดของอัตราส่วนของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ต่อกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป

จุดสูงสุดของอัตราส่วน I_{oc}/S (dB) แสดงในรูปที่ 3.5 ตามฟังก์ชันของระยะทางนอร์มัลไลซ์ r/R และตัวชี้กำลัง $\gamma = 3, 3.5$ และ 4 ในรูปที่ 3.3 แสดงค่าสูงสุดของอัตราส่วน $I_{oc}/S = -16.127$ dB สำหรับ $\gamma = 4$ เกิดขึ้นที่ $\theta = 0^\circ$ และ 60° เมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ที่ตำแหน่ง $r = 0.4R$ และในรูปที่ 3.4 อัตราส่วนสูงสุดคือ -0.93 dB เมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ที่ตำแหน่ง $r = 0.8R$ ส่วนในรูปที่ 3.5 แสดงขอบเขตของกำลังสัญญาณแทรกสอดเปรียบเทียบกับกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทั้งหมด สำหรับค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่ใกล้ขอบเซลล์ ($r/R \approx 1$ หรือ $r/R \approx 0.86$) อัตราส่วน $I_{oc}/S \approx 2.5$ dB สามารถนำไปใช้เป็นค่าในกรณีที่แย่ที่สุดในการคำนวณกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปได้ และเมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ใกล้กับสถานีฐานมากๆ สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสามารถตัดออกไปได้ (น้อยกว่า 30 dB)

การหาค่าประมาณของสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อกำลังที่รับได้ทั้งหมดจากสถานีฐานที่อ้างอิงคือ $S = -95$ dBm โดยปกติจะกำหนดให้สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เท่ากับกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทั้งหมดในกรณีที่ไม่มีสัญญาณแทรกสอด

เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (จากหลายวิธี) กำหนดให้เท่ากับกำลังสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (S)

$$I_{sc} \approx S = -95 \text{ dBm}$$

สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ สำหรับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้ขอบเซลล์ (ซึ่งเป็นกรณีที่น่าสนใจเมื่อมีการกำหนดขนาดของเซลล์) สามารถหาได้จากรูปที่ 3.5 คือ

$$\frac{I_{oc}}{I_{sc}} (\text{dB}) \approx \frac{I_{oc}}{S} (\text{dB}) = 2.5 \text{ dB}$$

ดังนั้น

$$I_{oc} (\text{dBm}) \approx S (\text{dBm}) + 2.5 \text{ dB} = -95 \text{ dBm} + 2.5 \text{ dB} = -92.5 \text{ dBm}$$

กำลังสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปทั้งหมดที่เครื่องลูกข่ายได้รับ กำหนดให้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_T &\triangleq I_{sc} + I_{oc} = 10^{-9.5} \text{ mW} + 10^{-9.25} \text{ mW} \\ &= 8.79 \times 10^{-10} \text{ mW} = 10^{-9.06} \text{ mW} \\ &= -90.6 \text{ dBm} \end{aligned}$$

สำหรับการวิเคราะห์ระบบได้กำหนดสูตรซึ่งแสดงเทอมของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ I_{sc} ที่เกิดจากสัญญาณแทรกสอดหลายวิถีในเซลล์ที่อ้างอิง และเทอมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ I_{oc} ซึ่งพิจารณาที่ไม่มีหลายวิถีเป็นส่วนประกอบ แต่ในทางปฏิบัติสามารถที่จะเป็นไปได้สำหรับสถานีฐานข้างเคียงที่จะก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดหลายวิถี ส่วนสถานีฐานที่อ้างอิงจะไม่ประสบกับสัญญาณแทรกสอดหลายวิถี ถึงแม้ว่าจะเป็นเช่นนั้นก็ตาม สมการนี้ก็ยังสามารถนำมาใช้ได้เนื่องจาก I_{sc} และ I_{oc} มีความสัมพันธ์กับ S ซึ่งเป็นวิถีตรง (หรือมาถึงก่อน) จากสถานีฐานที่อ้างอิง ถ้าการวัดข้อมูลแสดงให้เห็นว่ายังเกิดหลายวิถีจากเซลล์ข้างเคียงอยู่ ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ โดยพิจารณา I_{sc} ให้เป็น “สัญญาณแทรกสอดหลายวิถี” ที่ค่อนข้างจะมากกว่า “สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์” และปรับค่าให้สอดคล้องกัน

3.1.2 สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

3.1.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกันของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ประกอบด้วยการซ้อนทับของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายอื่นๆ ภายในเซลล์เดียวกันที่สถานีฐานได้รับ สำหรับระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเคควีนซ์ ซีดีเอ็มเอ นั้น สัญญาณจากเครื่องลูกข่ายทั้งหมดจะเข้าครอบครองแบนด์วิดท์เดียวกันและในเวลาที่ยพร้อมกันด้วย ซึ่งสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณรบกวนขาวที่มีแบนด์วิดท์จำกัด (Bandlimited White Noise) ได้

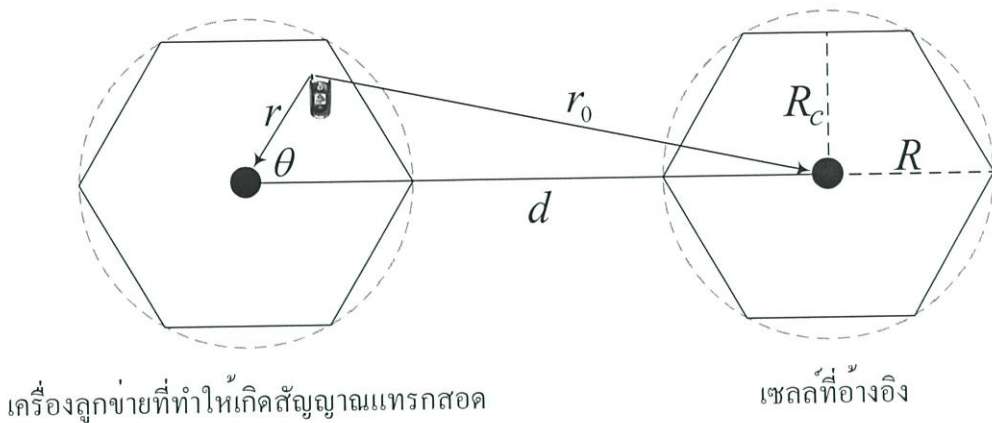
สัญญาณรบกวนส่วนมากที่สถานีฐานได้รับนั้น เนื่องมาจากสัญญาณแทรกสอดของเครื่องลูกข่าย จำนวนของผู้ใช้ทั้งหมดสามารถเชื่อมต่อได้พร้อมกันในการร้องขอการส่ง (นั่นคือความจุของระบบ) จะมีค่าสูงสุดได้ โดยการทำให้กำลังของสัญญาณแต่ละสัญญาณที่สถานีฐานได้รับนั้นมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีความเป็นไปได้เล็กน้อยแม้ว่าสมรรถนะของการสื่อสารเชื่อมโยงจะได้รับความพึงพอใจก็ตาม การควบคุมกำลังแบบพลวัต (dynamic power control) ของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นส่วนที่สำคัญมากในการออกแบบการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีที่การควบคุมกำลังถูกนำมาใช้สำหรับเครื่องลูกข่ายจำนวน M เครื่อง ภายในเซลล์ ดังนั้นปริมาณกำลังสัญญาณแทรกสอดที่สถานีฐานได้รับในเซลล์เดียวกันจะมีค่าเป็น

$$I_{sc} = (M - 1) \cdot S \cdot v \quad (3.14)$$

เมื่อ S คือ กำลังของเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง

v คือ ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้เครื่องลูกข่ายในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

3.1.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ



รูปที่ 3.6 เรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

ในรูปที่ 3.6 แสดงเรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ โดยกำหนดให้เซลล์มีขนาดเท่ากันและมีการควบคุมกำลัง ดังนั้นกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดกับสถานีฐานที่อ้างอิงมีความสัมพันธ์กันคือ

ระดับกำลังสัญญาณที่ต้องการของสถานีฐานที่อ้างอิง \times อัตราขยายลดเซกการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง

$$= S \cdot r^4 \quad (3.15a)$$

เมื่อ r คือ ระยะทางระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐานที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นกำลังสัญญาณของเครื่องลูกข่ายในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดจะมีผลกระทบต่อสถานีฐานที่อ้างอิง (ที่ระยะทาง r_0) มีค่าเป็น

$$P_0 = v \cdot S \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^4 \quad (3.15b)$$

โดยที่ระยะทาง r_0 สามารถหาได้จาก

$$r_0 = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd \cos \theta} \quad (3.16)$$

ปริมาณสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องลูกข่ายที่ใช้งานภายในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอด โดยจะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังสัญญาณแทรกสอดของเครื่องลูกข่ายจำนวน M เครื่อง

3.2 การควบคุมกำลัง

ในการสื่อสารเคลื่อนที่ระบบซีดีเอ็มเอเอ็นั้น การควบคุมกำลังส่งมีความสำคัญและจำเป็นต่อระบบมากทีเดียว เนื่องจากในกรณีที่ไม่มีการควบคุมกำลังปัญหาจากความใกล้-ไกลจะเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อความจุของระบบให้ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบโคเรซึเคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอแล้ว ความจุของระบบจะน้อยกว่าระบบเอฟดีเอ็มเออีก แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีการควบคุมกำลังในระบบโคเรซึเคว้นซ์ ซีดีเอ็มเออยู่ ซึ่งผู้ใช้ทั้งหมดสามารถใช้แบนด์วิดท์ของระบบร่วมกันได้ ดังนั้นเมื่อมีการควบคุมกำลังที่ถูกต้องแน่นอนแล้วทำให้เครื่องส่งสามารถส่งกำลังทั้งหมดต่ำกว่าเดิมได้ ซึ่งยังสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานได้อีกด้วย

เทคนิคการควบคุมกำลังสามารถแบ่งออกได้เป็น การควบคุมกำลังแบบลูปปิด (closed-loop power control) และการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (open-loop power control) สำหรับการควบคุมกำลังแบบลูปปิดจะถูกใช้สำหรับการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของกำลังเนื่องจากเฟดดิ้งเรย์ลีแบบเร็ว ซึ่งมีความเหมาะสมในระบบเซลลูลาร์ภาคพื้นดิน ถึงแม้ว่าจะใช้การควบคุมกำลังแบบลูปปิดในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่ใช้ดาวเทียมวงโคจรต่ำหลายดวงก็ตาม เพื่อที่จะติดตามสัญญาณที่เกิดเฟดดิ้งแบบเร็ว แต่เนื่องจากการประวิงเวลาของการแพร่กระจายคลื่นที่เดินทางไป-กลับมีค่ามาก ในกรณีนี้วิธีการแก้ปัญหาก็คือใช้การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะประมาณสภาพช่องสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป และค่าที่ประมาณได้นี้จะถูกใช้ตามปริมาณที่วัดได้ของสภาพช่องสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ เทคนิคนี้สามารถชดเชยการสูญเสียสัญญาณตามระยะทางและการเปลี่ยนแปลงแบบ Large-scale เช่น การบดบัง (shadowing) ได้แต่ไม่สามารถที่จะชดเชยเฟดดิ้งหลายวิถีได้ เนื่องจากการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปและขากลับไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งได้มีการแสดงให้เห็นถึงเมื่อเกิดค่าผิดพลาดจากการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด 1 dB จะทำให้ความจุลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเกิดค่าผิดพลาด 2 dB ความจุลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ และความจุจะลดลง 44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเกิดค่าผิดพลาด 3 dB [4]

ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังด้วยอัลกอริทึมการควบคุมกำลังแบบปรับขนาดระดับกำลังส่งคงที่ และแบบปรับขนาดระดับกำลังส่งได้ตามช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะวิธีการปรับขนาดระดับกำลังส่งตามช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงจะสามารถเพิ่มหรือลดกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายได้ โดยใช้ความแตกต่างจริงระหว่างกำลังสัญญาณที่รับได้และกำลังสัญญาณรับที่ต้องการ

คำสั่งควบคุมกำลังในอัลกอริทึมที่ปรับขนาดระดับกำลังส่งคงที่นั้นจะเป็นคำสั่งอย่างง่ายเพียง 1 บิตเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่สามารถปรับขนาดระดับกำลังส่งได้ตามช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงดีกว่าอัลกอริทึมที่ปรับขนาดระดับกำลังส่งคงที่ แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมที่ปรับขนาดระดับกำลังส่งคงที่ เป็นวิธีการที่ง่ายกว่าเนื่องจากอัลกอริทึมที่สามารถปรับขนาดระดับกำลังส่งได้ตามช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องรวมเข้ากับแบนด์วิดท์บนช่องสัญญาณกลับมา เพื่อ

ที่จะเป็นคลื่นพาห้ให้กับคำสั่งควบคุม 1 บิต ซึ่งแทนด้วยขนาดระดับการควบคุมกำลังเช่นเดียวกันกับอัลกอริทึมที่ปรับขนาดระดับกำลังส่งคงที่

การควบคุมกำลังสำหรับระบบโคเรคทีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ ตามมาตรฐาน IS-95 [5] ประกอบด้วย การควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับแบบลูเปิด การควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับแบบลูปิด และการควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป การควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับแบบลูเปิดเป็นฟังก์ชันเริ่มแรกของเครื่องลูกข่าย ซึ่งสถานีฐานจะมีบทบาทในการควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปและการควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับแบบลูปิด

3.2.2 เทคนิคการควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป

วัตถุประสงค์ของการควบคุมกำลังของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปก็เพื่อที่จะควบคุมกำลังส่งของสถานีฐาน เพื่อให้ความแรงของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายได้รับมีค่าคงที่ทุกตำแหน่งภายในเซลล์ โดยให้มีผลกระทบจากเฟดดิ้งหลายวิถีและการบดบังเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หรือได้รับผลจากการแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ น้อยที่สุด

เทคนิคการควบคุมกำลังซึ่งปราศจากการค้ำนึ่งถึงเฟดดิ้งได้มีการพิจารณาใน [6] กำลังที่ถูกส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายจะเป็นสัดส่วนกันกับกำลังที่ n ของระยะทางระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย หากปราศจากการควบคุมกำลังจะทำให้สมรรถนะของระบบไม่ดีพอ แบบจำลองการวิเคราะห์ถูกปรับปรุงสำหรับสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง ซึ่งเกิดขึ้นกับผู้ใช้ด้วยฟังก์ชันของระยะทางจากสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่ โดยปราศจากการค้ำนึ่งถึงเฟดดิ้ง ซึ่งเป็นการพิจารณาใน [7] การใช้แบบจำลองนี้และการควบคุมกำลังด้วยกำลังที่ n ของระยะทางที่ได้กล่าวมาก่อนแล้วนั้น รัศมีครอบคลุมเซลล์ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับกำลังที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อที่จะให้บริการอย่างทั่วถึงกับผู้ใช้ทุกคน และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการควบคุมกำลังความจุของระบบจะมากกว่ากันประมาณสองเท่า ซึ่งเป็นผลที่ดีมากเมื่อไม่ได้พิจารณาถึงเฟดดิ้งและการบดบัง การควบคุมกำลังของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปที่ดีที่สุดจะรวมเอาเฟดดิ้งมาพิจารณาด้วย ได้มีการนำเสนอใน [8] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าของ BER เฉลี่ยที่ตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายบางระยะทางจากสถานีฐานที่ได้วิเคราะห์ ค่า BER ที่ต้องการที่ได้แสดงให้เห็นนั้นเป็นเกณฑ์ที่ดีที่สุด นั่นคือจะเท่ากับว่ามีความจุได้มากที่สุด และได้แสดงให้เห็นถึงแฟคเตอร์ควบคุมกำลังที่เหมาะสมทำให้สมรรถนะปรับปรุงขึ้นและจำนวนผู้ใช้ที่สามารถรองรับได้เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามแฟคเตอร์ควบคุมกำลังที่เหมาะสมนี้ให้คำตอบของสมการได้อย่างแน่นอน แต่ไม่สามารถทำให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ (closed form) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าของแฟคเตอร์ควบคุมกำลังบนหลักการของกำลังที่ n ของระยะทาง

3.2.1 เทคนิคการควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

การควบคุมกำลังสำหรับการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับนั้นเป็นการรวมเทคนิคของการควบคุมกำลังแบบลูปิดและการควบคุมกำลังแบบลูเปิดมาใช้ จุดประสงค์ของการควบคุมกำลังแบบลูเปิดนั้น เพื่อที่จะประมาณการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางและการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากการบดบังระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐาน เมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับช่องสัญญาณทราฟฟิกและเริ่มสื่อสารกับสถานีฐาน กระบวนการของการควบคุมกำลังแบบลูเปิดจะกระทำร่วมกันไปด้วยการควบคุมกำลังแบบลูปิด ในการควบคุมกำลังแบบลูปิดทางสถานีฐานจะทำการตรวจวัดทั้งสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับและคุณภาพของการสื่อสารเชื่อมโยง ถ้าคุณภาพของการสื่อสารเชื่อมโยงเริ่มที่จะไม่ดี ทางสถานีฐานจะมีคำสั่งไปยังเครื่องลูกข่ายผ่านการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปให้ทำการเพิ่มกำลังส่งของสัญญาณขึ้น ถ้าในกรณีที่คุณภาพของสัญญาณดีขึ้น นั่นคือการทำมีกำลังของสัญญาณมากเกินไปในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีนี้ทางสถานีฐานจะสั่งให้เครื่องลูกข่ายลดกำลังส่งต่ำลง ในทางอุดมคติ อัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นจะเป็นตัววัดคุณภาพของการสื่อสารเชื่อมโยงที่ดี แต่เนื่องจากจะทำให้ใช้เวลานานสำหรับสถานีฐานที่จะใช้จำนวนบิตมาคำนวณให้ถูกต้อง ดังนั้นอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) จึงถูกนำมาใช้เป็นตัววัดคุณภาพของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

3.3 ความจุของระบบ

ความจุของระบบสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนิยามเป็น ความสามารถของระบบที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้ได้ โดยที่ความจุจริงของระบบเซลล์อาร์ไคเรคซีเควินซ์ ซีดีเอ็มเอ นั้น ขึ้นอยู่กับหลายๆ แฟกเตอร์ เช่น การคิโมคูลเตของภากรับ ความถูกต้องของการควบคุมกำลัง สายอากาศ และกำลังของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจริงทั้งภายในเซลล์เดียวกันและจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง เป็นต้น เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีแบบจำลองมากมายที่ใช้หาความจุของระบบซีดีเอ็มเอ แต่ที่จะกล่าวต่อไปนี้สำหรับความจุของระบบซีดีเอ็มเอจะพิจารณาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

ในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล เริ่มแรกนั้นจะให้ความสนใจคุณภาพของสัญญาณในการสื่อสารเชื่อมโยงซึ่งจะแสดงในเทอมของ E_b/N_0 หรือ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณรบกวน E_b/N_0 สามารถเรียกได้ว่าเป็นค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน โดยที่พลังงานบิตจะเท่ากับกำลังของสัญญาณมอดูเลตเฉลี่ยในช่วงเวลาบิตดังกล่าว

$$E_b = S \cdot T \quad (3.17a)$$

เมื่อ S คือ กำลังสัญญาณมอดูเลตเฉลี่ย และ

T คือ คาบเวลาบิตของข้อมูล

จากสมการที่ (3.17a) สามารถแทนด้วยค่าอัตราบิตของข้อมูล R_b ได้ดังนี้

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

ดังนั้น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{R_b N_0} \quad (3.18)$$

เมื่อต้องการแสดงถึงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณรบกวนกำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมดและแบนด์วิดท์ W ของระบบ ดังนั้นจากสมการที่ (3.18) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \frac{W}{R} \quad (3.19)$$

จะสังเกตเห็นได้ว่าอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณรบกวนนั้น จะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของการสื่อสารเชื่อมโยงและอัตราส่วนของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งต่ออัตราบิตของข้อมูล โดยเรียกอัตราส่วนนี้ว่าอัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain: PG) ของระบบ

เมื่อพิจารณาในส่วนของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปของระบบซีดีเอ็มเอ และสมมติให้ระบบมีการควบคุมกำลังส่งที่สมบูรณ์ ซึ่งหมายความว่ากำลังที่ถูกส่งไปจากสถานีฐานทั้งหมดจะถูกควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ โดยที่เครื่องลูกข่ายทั้งหมดสามารถได้รับกำลังที่มีค่าเท่ากันทุกๆ ตำแหน่งภายในเซลล์ ภายใต้สมมติฐานดังกล่าว ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับแต่ละเครื่องลูกข่าย (P_r) และกำลังที่รับได้ทั้งหมดเฉลี่ย (S) จะมีค่าเป็น

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

เมื่อ M คือ จำนวนของผู้ใช้ทั้งหมด ดังนั้นจากสมการที่ (3.19) จะได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r}{N} \cdot M \cdot PG \quad (3.21)$$

เมื่อต้องการหาความจุของระบบ จากสมการที่ (3.21) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$M = \frac{PG}{(E_b/N_0)_{\text{req}}} \cdot \frac{P_r}{N} \quad (3.22)$$

ในกรณีที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้งานมากๆ จากสมการที่ (3.22) จะได้เป็น [9]

$$M \approx \frac{PG}{(E_b/N_0)_{\text{req}}} \quad (3.23)$$

จากสมการที่ (3.23) โดยหลักการพื้นฐานแล้วจะสังเกตเห็นได้ว่าทุกวิธีการเข้าถึงหลายทาง จะมีความจุสูงสุดเท่ากันในทางอุดมคติ แต่ในความเป็นจริงแล้วการคำนวณความจุในระบบเซลลูลาร์ของแต่ละวิธีการเข้าถึงหลายทางนั้นแตกต่างกัน สำหรับระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ นั้น ความจุของระบบจะมากกว่าระบบอื่นๆ (FDMA, TDMA) เนื่องจากหลายๆ แพลตฟอร์มที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนั้นแล้วยังมีแพลตฟอร์มที่สามารถเพิ่มความจุของระบบได้อีก เช่น

3.3.1 การแบ่งเซลล์เป็นเซกเตอร์

การแทรกสอดจากสถานีฐานอื่นๆ ในเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดกับเครื่องลูกข่ายที่อ้างอิง สามารถทำให้ลดลงได้เมื่อเซลล์ในระบบเซลลูลาร์ได้ทำการแบ่งเป็นเซกเตอร์ โดยแทนสายอากาศแบบรอบทิศทางซึ่งมีแพทเทิร์น (pattern) ของสายอากาศ 360 องศา ด้วยสายอากาศแบบมีทิศทางซึ่งมีแพทเทิร์นของสายอากาศ 120 องศา ในกรณีที่แบ่งเซลล์เป็น 3 เซกเตอร์ และ 60 องศา สำหรับแบ่งเซลล์เป็น 6 เซกเตอร์ ดังนั้นสถานีฐานในแต่ละเซกเตอร์จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกับผู้ใช้คนอื่นๆ ที่ไม่ได้อยู่ในแพทเทิร์นของสายอากาศที่ใช้ วิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยเพิ่มความจุของระบบประมาณ 3 เท่า สำหรับเซลล์ที่ถูกแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ และ 6 เท่า สำหรับเซลล์ที่ถูกแบ่งเป็น 6 เซกเตอร์ โดยที่แพลตฟอร์มดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่าอัตราขยายของเซกเตอร์ (Sectorization Gain: SG) ในความเป็นจริงอัตราขยายของเซกเตอร์นั้นจะมีค่าโดยทั่วไปเท่ากับ 2.5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเซลล์เป็น 3 เซกเตอร์ และมีค่าเท่ากับ 5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเซลล์เป็น 6 เซกเตอร์ [9]

3.3.2 Voice Activities

โดยปกติการสนทนาได้ตอบกันทั่วไป ช่วงการใช้งานของเสียงจะน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ จากสมการที่ (3.22) สมมติให้ผู้ใช้ใช้เวลาเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ คือมีการพูดตลอดเวลา แต่ในทางปฏิบัติตัวเข้ารหัสทางเสียงที่ระบบซีดีเอ็มเอใช้นั้น จะเป็นอัตราที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งหมายความว่าอัตราเอาต์พุตของตัวเข้ารหัสทางเสียงจะสามารถปรับให้สอดคล้องกับแพทเทิร์นการพูดของผู้ใช้ได้ เช่น กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้พูดในช่วงของการสนทนา ทำให้อัตราเอาต์พุตของตัวเข้ารหัสทางเสียงถูกทำ

ให้ต่ำลง เพื่อที่จะป้องกันกำลังสัญญาณจากการส่งที่ไม่จำเป็น ผลจากอัตราการเข้ารหัสทางเสียงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้นี้ สามารถลดกำลังส่งทั้งหมดลงได้ เพราะฉะนั้นการแทรกสอดที่จะเกิดขึ้นก็จะลดลงด้วย ในทางสถิติของการพูดนั้นแสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปช่วงใช้งานของการสนทนาจะเกิดขึ้นอยู่ในระหว่าง 40 เปอร์เซ็นต์ ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมด เมื่อใช้การเข้ารหัสทางเสียงที่สามารถเปลี่ยนแปลงอัตราได้นั้น ทำให้กำลังส่งทั้งหมดของระบบสามารถลดลงได้ โดยแฟกเตอร์ของ voice activity ซึ่งเป็นผลให้ความจุของระบบเพิ่มมากขึ้น [9]

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบ เซลลูลาร์ไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความจุของระบบของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับระบบเซลลูลาร์ไคเรคซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ โดยใช้การควบคุมกำลัง ซึ่งมีอยู่สองวิธีที่ได้นำมาวิเคราะห์คือ วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม ซึ่งในแต่ละวิธีการควบคุมกำลังนั้นจะพิจารณาค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเหมือนกัน

4.1 การวิเคราะห์ความจุของระบบ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เกี่ยวกับความจุงริงของระบบนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ แฟกเตอร์ ในการวิเคราะห์ความจุของระบบของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น และวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง

4.1.1 การวิเคราะห์การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น

การสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 นั้น จะเห็นได้ว่าสมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางทั้งทางทฤษฎีและการวัดได้แสดงถึงกำลังสัญญาณที่ได้รับเฉลี่ยลดลงแบบลอการิทึมตามระยะทาง ไม่ว่าจะเป็นช่องสัญญาณวิทยุภายในอาคารหรือนอกอาคารก็ตาม ดังนั้นจึงได้มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในหนังสือสำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้สมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย ดังนี้

$$L = r^{-\gamma} \quad (4.1)$$

เมื่อ r คือระยะทางระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย และ γ คือตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง ซึ่งแสดงถึงอัตราการสูญเสียสัญญาณตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่น เมื่อสภาพแวดล้อมเป็นอากาศว่าง ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางจะมีค่าเท่ากับ 2 สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางอยู่

ในช่วง 3-6 เนื่องจากสภาพแวดล้อมของระบบเซลล์ในความเป็นจริงนั้นมีทั้งอาคารและสิ่งกีดขวางอื่นๆ ทำให้คลื่นเกิดการสะท้อนและเกิดการดูดกลืน สำหรับค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่สภาพแวดล้อมแตกต่างกันสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1 จากสมการที่ (4.1) จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียสัญญาณ (dB) เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อสถานีฐานส่งกำลังสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่ายภายในเซลล์ด้วยกำลังส่งที่เท่ากัน จะเป็นผลให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐานได้รับกำลังสัญญาณสูงกว่าเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในระยะทางไกลออกไป ซึ่งปัญหาเช่นนี้มักจะเรียกกันว่า เป็นผลกระทบจากความใกล้-ไกล (near-far effect)

4.1.2 การวิเคราะห์สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป

สัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะเกิดขึ้นในระหว่างการส่งกำลังสัญญาณจากสถานีฐาน ไปยังเครื่องลูกข่าย ซึ่งสัญญาณแทรกสอดสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งภายในเซลล์เดียวกัน และจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง สัญญาณแทรกสอดทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสามารถหาได้จาก

$$I_T = I_{sc} + I_{oc} \quad (4.2)$$

เมื่อ I_{sc} คือ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เดียวกัน และ

I_{oc} คือ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง

4.1.2.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกันของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะเกิดขึ้นจากการที่สถานีฐานส่งกำลังสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่ายอื่นๆ ภายในเซลล์แล้วเกิดการแทรกสอดของสัญญาณมายังเครื่องลูกข่ายที่อ้างอิงภายในเซลล์เดียวกัน โดยทั่วไปกำลังสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกันจะสามารถคาดเดาได้โดยอาศัยสมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งคำนวณได้จาก

$$I_{sc,j} = \sum_{k=1, k \neq j}^M P_k L_{j0} \quad (4.3)$$

เมื่อ M คือ จำนวนของเครื่องลูกข่ายทั้งหมดภายในเซลล์ที่อ้างอิง

$P_k = (P_1, P_2, \dots, P_M)$ คือ กำลังสัญญาณที่ส่งไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง

L_{j0} คือ การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นระหว่างเครื่องลูกข่ายที่ j และสถานีฐานที่ 0

ซึ่งปริมาณการแทรกสอดนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องลูกข่ายภายในเซลล์ หากเครื่องลูกข่ายภายในเซลล์มีจำนวนมากสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นก็จะมากตามไปด้วย แต่จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น เกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์คือ ในทางอุดมคติ สำหรับระบบเซลล์ดาร์ไครเรซีแคว้นซ์ ซีดีเอ็มเอ จะไม่เกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะออร์ทogonalซึ่งกันและกัน แต่อย่างไรก็ตามช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องลูกข่ายจะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ขึ้นได้ เนื่องจากการรับสัญญาณได้หลายทิศทางที่ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย หรือเรียกว่าเกิดหลายวิถี ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอแฟกเตอร์ออร์ทogonal (orthogonality factor: f_o) ที่แสดงถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกัน ซึ่งเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีไว้ในการวิเคราะห์ความจุของระบบด้วย โดยกำหนดให้เป็นแฟกเตอร์ออร์ทogonalมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อความเป็นออร์ทogonalนั้นสมบูรณ์ และมีค่าเท่ากับ 0.1 - 0.9 สำหรับสภาพแวดล้อมที่เกิดหลายวิถี โดยที่ค่าของแฟกเตอร์ออร์ทogonalจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ใช้บริการ [10] และ [11] ดังนั้นจากสมการที่ (4.3) สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เดียวกันของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ j ภายในเซลล์ที่อ้างอิง (0) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$I_{sc,j} = (1 - f_o) P_{Ti} L_{j0} \quad (4.4)$$

เมื่อ $P_{Ti} = \sum_{k=1}^M P_k$ คือ กำลังส่งทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปของสถานีฐานที่ i

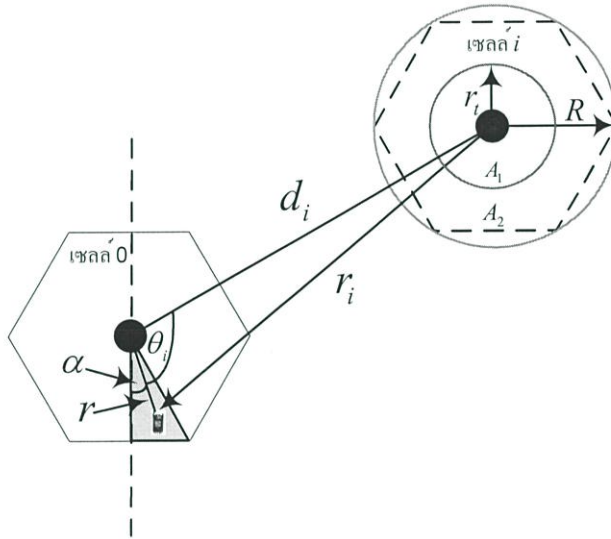
4.1.2.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ

สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น จะเกิดขึ้นจากการที่เครื่องลูกข่ายภายในเซลล์ที่อ้างอิงได้รับกำลังสัญญาณจากสถานีฐานของเซลล์อื่นๆ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อเครื่องลูกข่ายที่อ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 กำลังสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ จะสามารถคาดเดาได้โดยอาศัยสมการการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งคำนวณได้จาก

$$I_{oc,j} = \sum_{i=1}^B P_{Ti} L_{ji} \quad (4.5)$$

เมื่อ B คือ จำนวนของสถานีฐานที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด

เพื่อที่จะวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของเครื่องลูกข่าย นั่นคือ ระยะทางการแพร่กระจายคลื่น $\{r_i\}$ ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณสัญญาณแทรกสอด $\{I_i\}$ ที่เกิดขึ้น อันดับแรกต้องพิจารณาเรขาคณิตของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ต่อเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง (r, α) ในเซลล์ที่อ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปจะสามารถหาระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานใดๆ ของเซลล์ในวงแรกได้โดยอาศัยสมการที่ (3.10) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 การแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ บนหลักการของการควบคุมกำลัง

$$r_1 = \sqrt{r^2 + d_1^2 - 2rd_1 \cos(120 - \alpha)}$$

$$r_2 = \sqrt{r^2 + d_2^2 - 2rd_2 \cos(60 - \alpha)}$$

$$r_3 = \sqrt{r^2 + d_3^2 - 2rd_3 \cos \alpha}$$

$$r_4 = \sqrt{r^2 + d_4^2 - 2rd_4 \cos(60 + \alpha)}$$

$$r_5 = \sqrt{r^2 + d_5^2 - 2rd_5 \cos(120 + \alpha)}$$

$$r_6 = \sqrt{r^2 + d_6^2 - 2rd_6 \cos(180 - \alpha)}$$

เมื่อ $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = d_5 = d_6 = \sqrt{3}R$ คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานที่อ้างอิง (0) กับสถานีฐานของเซลล์ในวงแรก และระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานใดๆ ของเซลล์ในวงที่สองสามารถหาได้โดยอาศัยสมการที่ (3.10) ได้ดังนี้

$$r_7 = \sqrt{r^2 + d_7^2 - 2rd_7 \cos(150 - \alpha)}$$

$$r_8 = \sqrt{r^2 + d_8^2 - 2rd_8 \cos(120 - \alpha)}$$

$$\begin{aligned}
r_9 &= \sqrt{r^2 + d_9^2 - 2rd_9 \cos(90 - \alpha)} \\
r_{10} &= \sqrt{r^2 + d_{10}^2 - 2rd_{10} \cos(60 - \alpha)} \\
r_{11} &= \sqrt{r^2 + d_{11}^2 - 2rd_{11} \cos(30 - \alpha)} \\
r_{12} &= \sqrt{r^2 + d_{12}^2 - 2rd_{12} \cos \alpha} \\
r_{13} &= \sqrt{r^2 + d_{13}^2 - 2rd_{13} \cos(30 + \alpha)} \\
r_{14} &= \sqrt{r^2 + d_{14}^2 - 2rd_{14} \cos(60 + \alpha)} \\
r_{15} &= \sqrt{r^2 + d_{15}^2 - 2rd_{15} \cos(90 + \alpha)} \\
r_{16} &= \sqrt{r^2 + d_{16}^2 - 2rd_{16} \cos(120 + \alpha)} \\
r_{17} &= \sqrt{r^2 + d_{17}^2 - 2rd_{17} \cos(150 + \alpha)} \\
r_{18} &= \sqrt{r^2 + d_{18}^2 - 2rd_{18} \cos(180 - \alpha)}
\end{aligned}$$

เมื่อ $d_7 = d_9 = d_{11} = d_{13} = d_{15} = d_{17} = 3R$ และ $d_8 = d_{10} = d_{12} = d_{14} = d_{16} = d_{18} = 2\sqrt{3}R$ คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานที่อ้างอิง (0) กับสถานีฐานของเซลล์ในวงที่สอง

ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปจากสมการที่ (4.2) สามารถแทนด้วยสมการที่ (4.4) และสมการที่ (4.5) ได้เป็น

$$\begin{aligned}
I_T &= (1 - f_o)P_{Ti}L_{j0} + \sum_{i=1}^B P_{Ti}L_{ji} \\
&= P_{Ti} \cdot r^{-\gamma} \cdot \left[(1 - f_o) + r^\gamma \cdot \sum_{i=1}^B r_i^{-\gamma} \right] \quad (4.6)
\end{aligned}$$

4.1.3 การวิเคราะห์วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง

การควบคุมกำลังดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ก็เพื่อที่จะลดการเกิดสัญญาณแทรกสอดลง สำหรับการควบคุมกำลังของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้น สถานีฐานจะเป็นตัวควบคุมกำลังที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องด้วยกำลังสัญญาณที่น้อยที่สุด เพื่อที่จะรักษาระดับอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ เทคนิคการควบคุมกำลังซึ่งปราศจากการคำนึงถึงเฟดดิ้งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อรู้ตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายว่าอยู่ห่างจากสถานีฐานเท่าใด เราก็สามารถลดระดับกำลังส่งลงให้เหลือน้อยที่สุดได้ โดยที่แต่ละสถานีฐานจะส่งระดับกำลังที่สูงกว่าไปยังเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่งขอบเซลล์และส่งกำลังที่ระดับต่ำกว่าสำหรับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐาน ซึ่งกำลังที่ส่งจากสถานีฐานนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย และยังขึ้นอยู่กับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนอีกด้วย ฉะนั้นในการส่งกำลังจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละตำแหน่งภายใน

ในเซลล์จะต้องปรับระดับกำลังตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย สำหรับกำลังที่จะส่งจากสถานีฐานใดๆ ไปยังเครื่องลูกข่ายที่ j สามารถปรับระดับกำลังได้ดังนี้

$$P_j(r) = p_n(r) \cdot P_{\max} \quad (4.7)$$

เมื่อ $p_n(r)$ คือ ฟังก์ชันของกำลังส่งแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ซึ่งกำหนดให้ดังนี้

$$p_n(r) = \begin{cases} \left(\frac{r_t}{R}\right)^n, & \text{สำหรับ } 0 \leq r \leq r_t \\ \left(\frac{r}{R}\right)^n, & \text{สำหรับ } r_t < r \leq R \end{cases} \quad (4.8)$$

P_{\max} คือ กำลังส่งที่ต้องการสำหรับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ตำแหน่งมุมเซลล์ $(R, 30^\circ)$ n คือ แฟลคเตอร์ควบคุมกำลังและ r_t คือ ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายที่มีระยะทางจากสถานีฐานน้อยกว่าระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน จะกำหนดให้ได้รับระดับกำลังส่งน้อยที่สุดจากสถานีฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ส่วน A_1 และ A_2 กำหนดให้เป็นพื้นที่ของ $r \leq r_t$ และพื้นที่ของ $r > r_t$ ตามลำดับ เพื่อความสะดวกในการคำนวณสัญญาณแทรกสอด จะกำหนดให้พื้นที่ครอบคลุมเซลล์เป็นแบบวงกลมรอบรูปหกเหลี่ยม และสมมติให้ผู้ใช้ทั้งหมดมีการกระจายแบบสม่ำเสมอภายในเซลล์ซึ่งมีรัศมีเท่ากับ R จะสามารถหาฟังก์ชันความหนาแน่นของผู้ใช้ภายในเซลล์ได้จาก

$$\rho = \frac{M}{\pi R^2} \quad (4.9)$$

ดังนั้น กำลังส่งทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปของสถานีฐานที่ i โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} P_{Ti} &= \iint_A P_j \rho dA \\ &= \iint_{A_1} P_{\max} \left(\frac{r_t}{R}\right)^n \rho dA + \iint_{A_2} P_{\max} \left(\frac{r}{R}\right)^n \rho dA \\ &= MP_{\max} \left[\frac{2}{n+2} + \frac{n}{n+2} \left(\frac{r_t}{R}\right)^{n+2} \right] \end{aligned} \quad (4.10)$$

ในกรณีที่ไม่นำวิธีการควบคุมกำลังมาใช้ กำลังที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องภายใน เซลล์นั้น จำเป็นจะต้องส่งด้วยกำลังส่งสูงสุด P_{\max} ดังนั้นกำลังส่งทั้งหมดจะเท่ากับ $P_{Ti} = MP_{\max}$ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังส่งทั้งหมดในสมการที่ (4.10) จะได้รับฟังก์ชันลดกำลังส่งดังนี้

$$q = \frac{2}{n+2} + \frac{n}{n+2} \left(\frac{r_t}{R} \right)^{n+2} \quad (4.11)$$

เมื่อเลือกใช้ค่าของแฟคเตอร์ควบคุมกำลังแตกต่างกันเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งการลดกำลังส่งลงนั้น ในกรณีที่เรเลือกแฟคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากับ 0 จะได้รับกรณีที่ปราศจากการควบคุมกำลัง นั่นคือ ฟังก์ชัน q เท่ากับ 1 ในขณะที่ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงฟังก์ชัน q จะเปลี่ยนแปลงค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าหากกำหนดให้ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 0 จะได้รับกรณีเหมือนใน [6] นั่นคือ $q = \frac{2}{n+2}$ โดยที่ไม่ได้กำหนดระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนแปลง

4.1.4 การวิเคราะห์ความจุของระบบ

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น และวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของพลังงานบิดต่อสัญญาณรบกวนสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ j ได้ดังนี้

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j = PG_j \cdot \frac{C_j}{I_T + N_{th}} \quad (4.12)$$

เมื่อ $C_j = P_j L_{j0}$ คือ คลื่นพาห้ที่เครื่องลูกข่าย j รับได้

$N_{th} = N_{0,th} W$ คือ กำลังสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

$N_{0,th}$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมทางกำลังของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน

W คือ แบนด์วิดท์ของระบบ

$PG_j = W/R_{bj}$ คือ อัตราขยายการประมวลผลของเครื่องลูกข่าย j

R_{bj} คือ อัตราบิดการส่งของเครื่องลูกข่าย j

จากสมการที่ (4.12) เมื่อนำสมการที่ (4.6) มาแทนค่า สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j = PG_j \left(\frac{P_j L_{j0}}{P_{Ti} \cdot r^{-\gamma} \cdot \left[(1 - f_o) + r^\gamma \cdot \sum_{i=1}^B r_i^{-\gamma} \right] + N_{th}} \right) \quad (4.13)$$

จากสมการที่ (4.13) เมื่อนำสมการที่ (4.7) และสมการที่ (4.10) มาแทนค่า สามารถเขียนใหม่โดยไม่พิจารณากำลังสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนได้เป็น

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = PG_j \cdot \left[\frac{p_n(r)}{Mq[(1-f_o) + I_{ocf}]} \right] \quad (4.14)$$

เมื่อ I_{ocf} คือ แฟคเตอร์สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ซึ่งกำหนดให้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_{ocf} &= \sum_{i=1}^B \left[\frac{r_i(r, d_i, \theta_i)}{r} \right]^{-\gamma} \\ &= \sum_{i=1}^{18} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (d_i/r)^2 - 2(d_i/r)\cos\theta_i}} \right]^\gamma \end{aligned} \quad (4.15)$$

จากสมการที่ (4.14) เมื่อต้องการหาความจุของระบบ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$M(r, \alpha) = \frac{PG_j}{(E_b/N_0)_{req}} \cdot \left[\frac{p_n(r)}{q[(1-f_o) + I_{ocf}]} \right] \quad (4.16)$$

เมื่อ $(E_b/N_0)_{req}$ คือ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ จากสมการที่ (4.16) $M(r, \alpha)$ จะมีค่าแตกต่างกันแต่ละตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายที่พิจารณา เพื่อให้จะให้เครื่องลูกข่ายทั้งหมดในทุกๆ ตำแหน่งภายในเซลล์เดียวกัน ได้รับอัตราส่วนของ $(E_b/N_0)_{req}$ น้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องเลือก $M(r, \alpha)$ ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นความจุของระบบของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป

4.2 การวิเคราะห์ความจุของระบบ โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

สำหรับการวิเคราะห์การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นและสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้น เช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2

4.2.1 การวิเคราะห์วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

การควบคุมกำลังก็เช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1.3 ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังส่งของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปคือ สถานีฐานจะเป็นตัวควบคุมกำลังที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องด้วยกำลังสัญญาณที่น้อยที่สุด เพื่อที่จะรักษาระดับอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวน

กวนที่ต้องการ เทคนิคการควบคุมกำลังซึ่งปราศจากการคำนึงถึงเฟดดิ้งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกวิธีหนึ่งคือ วิธีการควบคุมกำลังส่งแบบเหมาะสม โดยอาศัยหลักการของสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่เกิดขึ้นทั้งภายในเซลล์เดียวกันและจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง กล่าวคือกำลังสัญญาณจากสถานีฐานที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่ายที่ต้องการ จะปรับเปลี่ยนไปตามสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมด เมื่อสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีค่ามาก กำลังสัญญาณที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่ายที่ต้องการก็จะสูงขึ้น และเมื่อสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีค่าน้อย กำลังสัญญาณที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่ายที่ต้องการก็จะต่ำลง ซึ่งกำลังที่ส่งจากสถานีฐานนั้นจะขึ้นอยู่กับสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในการออกแบบระบบจำเป็นต้องให้ผู้ใช้ทั้งหมดได้รับการบริการสม่ำเสมอทั่วทั้งเซลล์ ฉะนั้นในการส่งกำลังจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละตำแหน่งภายในเซลล์ จะต้องปรับระดับกำลังส่งตามสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับกำลังที่จะส่งจากสถานีฐานใดๆไปยังเครื่องลูกข่ายที่ j สามารถปรับระดับกำลังได้ดังนี้

$$P_j(r, \alpha) = p_{op}(r, \alpha) \cdot P_{\max} \quad (4.17)$$

เมื่อ $p_{op}(r, \alpha)$ คือ ฟังก์ชันของกำลังส่งแบบเหมาะสม ซึ่งกำหนดให้ดังนี้

$$p_{op}(r, \alpha) = \frac{I_{TF}(r, \alpha)}{I_{TF}(R, 30^\circ)} \quad (4.18)$$

เมื่อ $I_{TF} = (1 - f_o) + r^\gamma \cdot \sum_{i=1}^B r_i^{-\gamma}$ คือ แฟคเตอร์สัญญาณแทรกสอดทั้งหมด

เพื่อความสะดวกในการคำนวณสัญญาณแทรกสอด จะกำหนดให้พื้นที่ครอบคลุมเซลล์เป็นแบบวงกลมรอบรูปหกเหลี่ยม และสมมติให้ผู้ใช้ทั้งหมดมีการกระจายแบบสม่ำเสมอภายในเซลล์ซึ่งมีรัศมีเท่ากับ R ดังนั้นกำลังส่งทั้งหมดของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปของสถานีฐานที่ i โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} P_{Ti} &= \iint P_j(r, \alpha) \rho dA \\ &= \iint P_{\max} \cdot \frac{I_{TF}(r, \alpha)}{I_{TF}(R, 30^\circ)} \cdot \rho dA \\ &= P_{\max} \cdot \frac{M}{\pi R^2} \cdot \frac{1}{I_{TF}(R, 30^\circ)} \int_0^{2\pi} \int_0^R I_{TF}(r, \alpha) r dr d\alpha \end{aligned} \quad (4.19)$$

4.2.2 การวิเคราะห์ความจุของระบบ

ภายใต้การวิเคราะห์ผลกระทบจากการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากกระยะทาง สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ j ได้ดังนี้

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = PG_j \cdot \frac{P_j L_{j0}}{I_T + N_{th}} \quad (4.20)$$

จากสมการที่ (4.20) เมื่อแทนค่าด้วยสมการที่ (4.6) สมการที่ (4.17) และสมการที่ (4.19) จะได้เป็น

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j &= PG_j \cdot \left[\frac{\frac{I_{TF}(r, \alpha)}{I_{TF}(R, 30^\circ)} \cdot P_{\max} \cdot L_{j0}}{\left(P_{\max} \cdot \frac{M}{\pi R^2} \cdot \frac{1}{I_{TF}(R, 30^\circ)} \int_0^{2\pi R} \int_0^B I_{TF}(r, \alpha) r dr d\alpha \right) \cdot r^{-\gamma} \cdot I_{TF}(r, \alpha)} \right] \\ &= PG_j \cdot \left[\frac{1}{\frac{M}{\pi R^2} \left[(1 - f_o) (\pi R^2) + \int_0^{2\pi R} \int_0^B r^{\gamma+1} \cdot \sum_{i=1}^B \left(\sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \theta_i} \right)^{-\gamma} dr d\alpha \right]} \right] \end{aligned} \quad (4.21)$$

จากสมการที่ (4.21) เมื่อกำหนดให้ $\gamma = 4$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังนี้

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \frac{PG_j}{M} \cdot \left[\frac{1}{(1 - f_o) + 0.7463} \right] \quad (4.22)$$

จากสมการที่ (4.22) เมื่อต้องการหาความจุของระบบ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$M = \frac{PG_j}{\left(E_b/N_0\right)_{\text{req}}} \cdot \left[\frac{1}{(1 - f_o) + 0.7463} \right] \quad (4.23)$$

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป โดยการใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งฟังก์ชันของกำลังส่งแบบกำลังที่ n ของระยะทางและฟังก์ชันของกำลังส่งแบบเหมาะสม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.8) และสมการที่ (4.18) ตามลำดับ ส่วนความจุของระบบ (จำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์) เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทางและวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.16) และสมการที่ (4.23) ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ ส่วนในกรณีที่ต้องการกำหนดความจุของระบบ ก็สามารถคำนวณหาอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการได้จากสมการที่ (4.14) สำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง และสมการที่ (4.22) สำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมกำลังทั้งสองวิธีซึ่งมีผลต่อความจุของระบบ โดยแบ่งหัวข้อการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1 ฟังก์ชันของกำลังส่ง เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังที่แตกต่างกัน

- 5.1.1 ผลของวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง
- 5.1.2 ผลของวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

5.2 ความจุของระบบโดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ

- 5.2.1 ผลของการควบคุมกำลัง
- 5.2.2 ผลของระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน
- 5.2.3 ผลของแฟคเตอร์ควบคุมกำลัง
- 5.2.4 ผลของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง
- 5.2.5 ผลของแฟคเตอร์ออฟโทกอนอล
- 5.2.6 ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ
- 5.2.7 ผลของความจุของระบบที่ต้องการ

5.3 ความจุของระบบโดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ

5.3.1 ผลของแฟกเตอร์อโทคอนอล

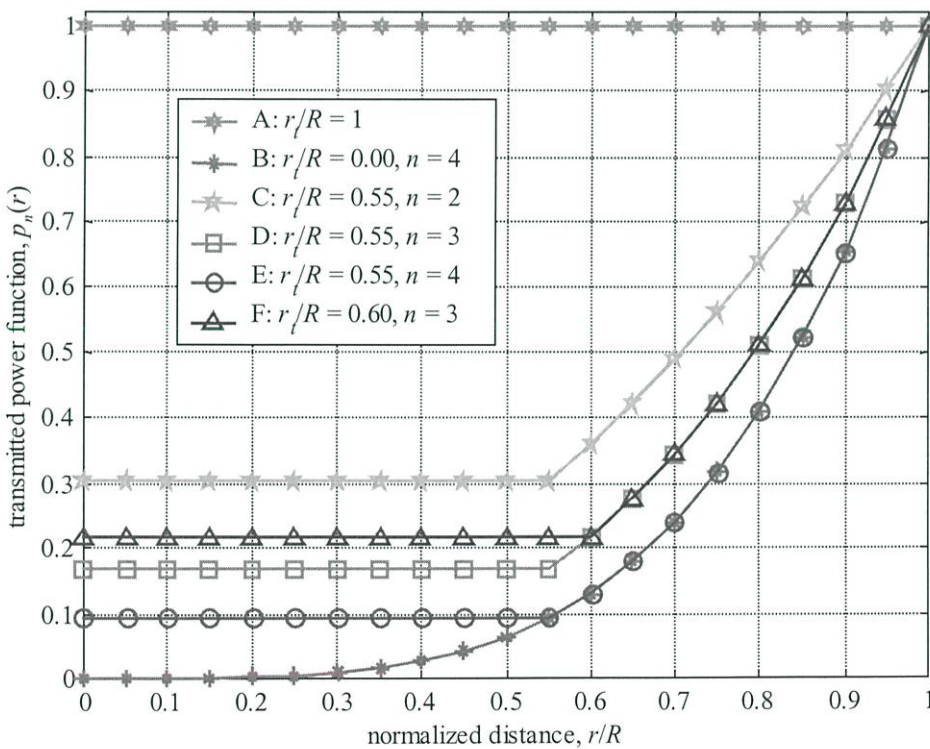
5.3.2 ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิดต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการ

5.3.3 ผลของความจุของระบบที่ความต้องการ

5.1 ฟังก์ชันของกำลังส่ง เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังที่แตกต่างกัน

5.1.1 ผลของวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง

รูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับกำลังส่ง โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง จากกราฟในกรณี A ระดับกำลังส่งจะคงที่ตลอดทั้งเซลล์ ซึ่งเป็นกำลังส่งสูงสุด (P_{\max}) ที่ไม่มีการควบคุมกำลัง กรณี B ระดับกำลังส่งจะเริ่มจาก 0 และจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่มากขึ้นจนถึงค่า P_{\max} ที่ขอบเซลล์ นั่นคือมีการควบคุมกำลังแต่ปราศจากระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน (r_i/R) สำหรับในกรณี C, D และ E ซึ่งมีการควบคุมกำลังและมีระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เท่ากัน กรณี C แฟกเตอร์ควบคุมกำลัง (n) เท่ากับ 2 ระดับกำลังส่งจะเริ่มที่ $0.3P_{\max}$ ตลอดจนถึงระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน (0.55) เมื่อระยะทางมากกว่า 0.55 ระดับกำลังส่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่มากขึ้นจนถึงค่า P_{\max} ที่ขอบเซลล์ ส่วนกรณี D และ E ใช้การพิจารณาเช่นเดียวกันแต่ระดับกำลังส่งจะเริ่มที่ค่าต่าง

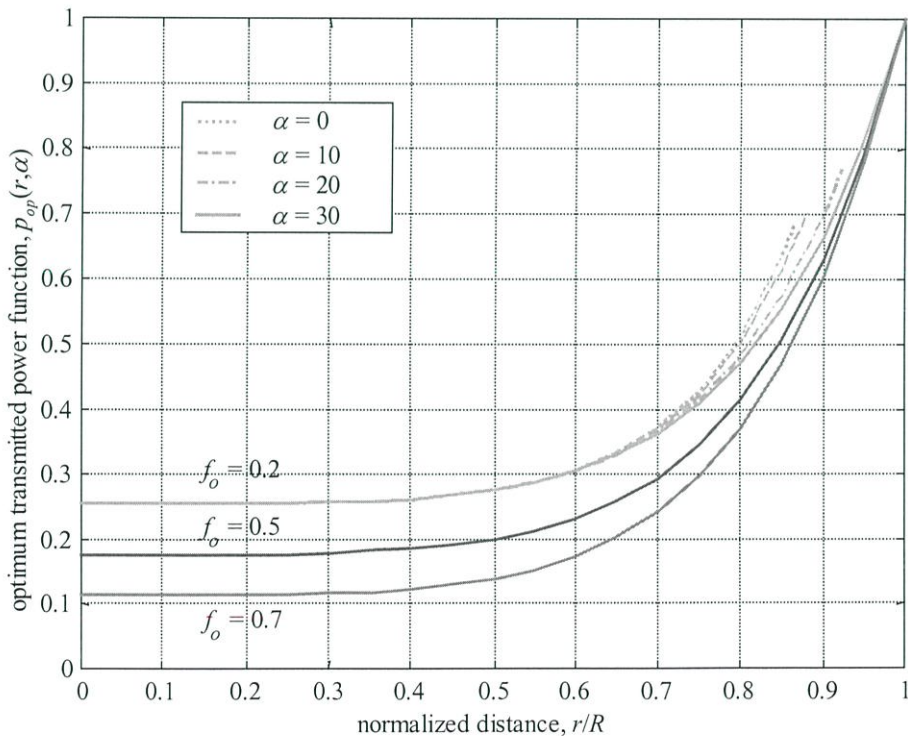


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันของกำลังส่งและระยะทางจากสถานีฐาน โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง

กันคือ $0.18P_{\max}$ และ $0.1P_{\max}$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแฟลคเตอร์ควบคุมกำลังเพิ่มมากขึ้น ระดับกำลังที่เริ่มส่งจะต่ำลง สำหรับกรณี F เมื่อเพิ่มระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 0.6 ระดับกำลังส่งจะเริ่มที่ $0.22P_{\max}$ ซึ่งจะสูงกว่ากรณี D ที่มีแฟลคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าที่แฟลคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากันเมื่อระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มขึ้นระดับกำลังที่เริ่มส่งจะสูงขึ้นด้วย

5.1.2 ผลของวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

รูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับกำลังส่ง โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม จากกราฟจะเห็นได้ว่าระดับกำลังที่เริ่มส่งจะแตกต่างกันตามค่าของแฟลคเตอร์อ็อกทอนอล (f_o) เมื่อแฟลคเตอร์อ็อกทอนอลเท่ากับ 0.7 ระดับกำลังส่งจะเริ่มที่ $0.12P_{\max}$ และจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่มากขึ้นจนถึงค่า P_{\max} ที่ขอบเซลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังที่ส่งไปยังผู้ใช้แต่ละตำแหน่งภายในเซลล์นั้นมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีแรก ส่วนแฟลคเตอร์อ็อกทอนอลเท่ากับ 0.5 และ 0.2 ใช้การพิจารณาเช่นเดียวกันแต่ระดับกำลังส่งจะเริ่มที่ค่าต่างกันคือ $0.18P_{\max}$ และ $0.26P_{\max}$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแฟลคเตอร์อ็อกทอนอลเข้าใกล้ 0 (เกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น) ระดับกำลังที่เริ่มส่งจะสูงขึ้น สำหรับในกรณีที่ผู้ใช้อยู่ใกล้บริเวณขอบเซลล์ จะสังเกตเห็นได้ว่าทิศทางของผู้ใช้ (มุม α) จะมีผลกระทบต่อระดับกำลังส่ง ดังนั้นในการควบคุมกำลังส่งจำเป็นต้องนำค่ามุม α มาพิจารณาด้วย

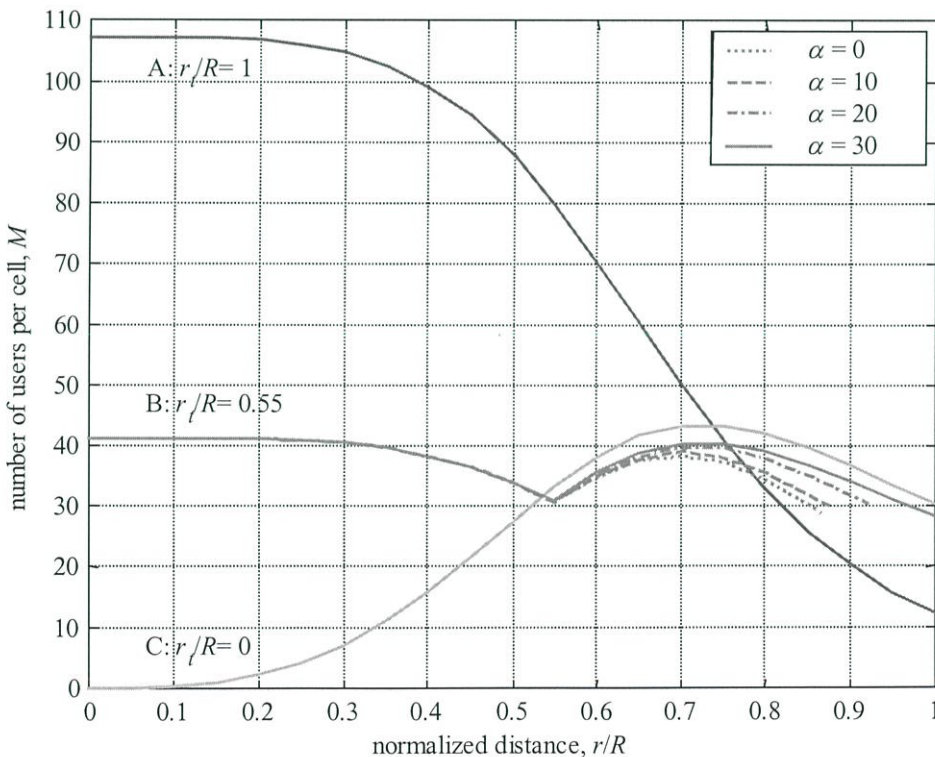


รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันของกำลังส่งและระยะทางจากสถานีฐาน โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

5.2 ความจุของระบบโดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ

5.2.1 ผลของการควบคุมกำลัง

รูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ เมื่อไม่มีการควบคุมกำลังและมีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง จากกราฟในกรณี A จำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังที่ส่งไปยังผู้ใช้ทุกๆ ตำแหน่งภายในเซลล์เท่ากันหมดและเป็นกำลังส่งสูงสุดที่ไม่มีการควบคุมกำลัง (รูปที่ 5.1 กรณี A) ดังนั้นผู้ใช้ที่อยู่ใกล้บริเวณขอบเซลล์จะได้รับกำลังสัญญาณต่ำมาก และเพื่อที่จะรักษาอัตราส่วนของพลังงานบิดต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ ดังนั้นจำนวนของผู้ใช้ต่อเซลล์ที่สามารถรองรับได้จึงลดลง กรณี C จำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่มากขึ้น เนื่องจากการลดกำลังส่งลงสำหรับผู้ใช้ที่อยู่ใกล้บริเวณสถานีฐาน (รูปที่ 5.1 กรณี B) ทั้งสองกรณีนี้ไม่เป็นที่ยอมรับในการออกแบบระบบ ดังนั้นเมื่อมีการปรับระดับกำลังที่เริ่มส่งสำหรับผู้ใช้ที่อยู่ใกล้บริเวณสถานีฐาน (รูปที่ 5.1 กรณี D) จึงได้รับเส้นกราฟ B ซึ่งเป็นกรณีที่ดีที่สุด สำหรับแฟกเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากับ 3 และระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.55 ค่าต่ำสุดของจำนวนผู้ใช้ $M(r, \alpha) = 28$ คนต่อเซลล์ ที่ $r/R = 1$ และ $\alpha = 30^\circ$ ซึ่งจะถูกเลือกให้เป็นความจุของระบบ

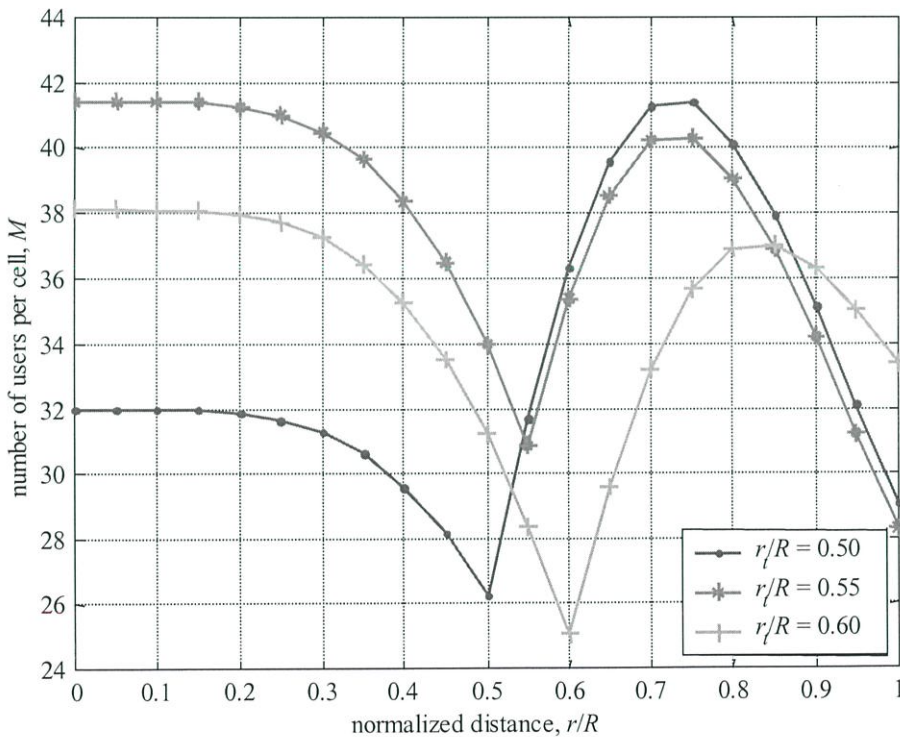


รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์และระยะทางจากสถานีฐาน โดยที่ $PG_j = 128$, $(E_b/N_0)_{\text{req}} = 6$ dB, $f_o = 0.7$, $n = 3$, $\gamma = 4$, และ $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ และ 30°

เมื่อ $r/R > 0.55$ จำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์จะเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดแล้วจะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้บริเวณขอบเซลล์จะเกิดสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียงมากขึ้น จึงทำให้จำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ลดลง สำหรับค่ามุมอัลฟาที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ความจุของระบบนั้นแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทิศทางของผู้ใช้ (มุม α) มีผลกระทบต่อความจุของระบบ

5.2.2 ผลของระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยน

รูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ด้วยระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.5, 0.55 และ 0.6 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ความจุที่ได้รับนั้นแตกต่างกัน ในการเลือกระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาจากความจุที่ได้รับมากที่สุด เมื่อความจุของระบบได้มาจากการเลือกเอาค่าที่มากที่สุดจากจุดต่ำสุดของแต่ละเส้นกราฟ ซึ่งในรูปที่ 5.4 นี้เมื่อระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.5 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 26 คนต่อเซลล์ ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.55 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 28 คนต่อเซลล์ และระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 0.6 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 25 คนต่อเซลล์ ดังนั้นค่าที่มากที่สุดจากจุดต่ำสุดคือ 28 คนต่อเซลล์ ซึ่งจะถูกลือกเป็นความจุของระบบ และจะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.55 สำหรับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของ n , γ และ f_o

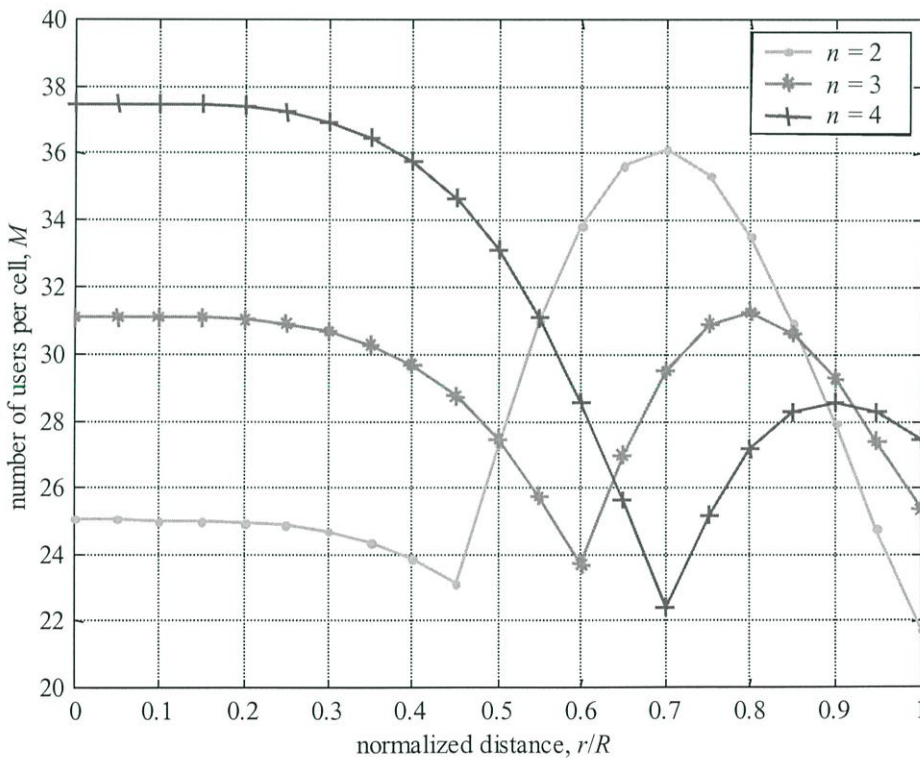


รูปที่ 5.4 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $r/R = 0.5, 0.55$ และ 0.6 โดยที่ $PG_j = 128$,

$$(E_b/N_0)_{\text{req}} = 6 \text{ dB}, f_o = 0.7, n = 3, \gamma = 4 \text{ และ } \alpha = 30^\circ$$

5.2.3 ผลของแฟคเตอร์ควบคุมกำลัง

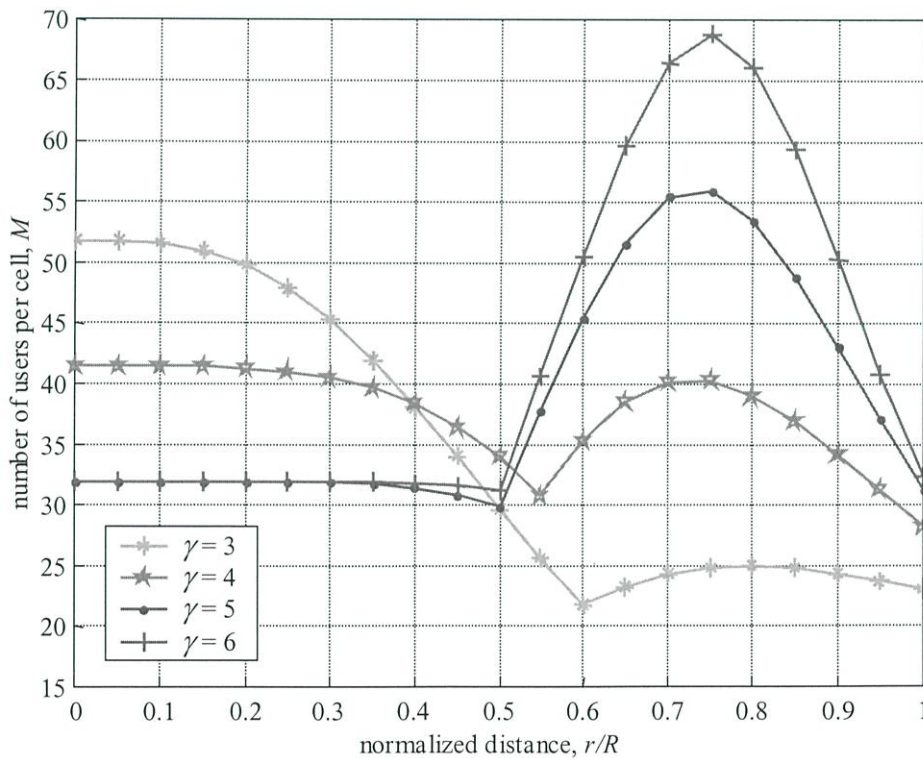
รูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ด้วยแฟคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากับ 2, 3 และ 4 จากกราฟจะเห็นได้ว่าแฟคเตอร์ควบคุมกำลังที่ค่าต่างกันทำให้ความจุที่ได้รับนั้นแตกต่างกันด้วย ในการเลือกแฟคเตอร์ควบคุมกำลังที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาจากความจุที่ได้รับมากที่สุด โดยที่ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนั้นจะแตกต่างกันตามแต่ละค่าของแฟคเตอร์ควบคุมกำลัง ซึ่งพิจารณาเช่นเดียวกับรูปที่ 5.4 ในรูปที่ 5.5 นี้เมื่อแฟคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากับ 2 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.45 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 22 คนต่อเซลล์ แฟคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากับ 3 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.6 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 24 คนต่อเซลล์ และแฟคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากับ 4 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.7 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 22 คนต่อเซลล์ ดังนั้นค่าที่มากที่สุดจากจุดต่ำสุดคือ 24 คนต่อเซลล์ ซึ่งจะถูกลเลือกเป็นความจุของระบบ และจะได้รับแฟคเตอร์ควบคุมกำลังที่เหมาะสมเท่ากับ 3 ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ในทุกๆ กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแต่ละพารามิเตอร์



รูปที่ 5.5 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $n = 2, 3$ และ 4 โดยที่ $PG_j = 128$, $\gamma = 4$, $(E_b/N_0)_{\text{req}} = 6$ dB, $f_o = 0.5$, และ $\alpha = 30^\circ$

5.2.4 ผลของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง

รูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ด้วยตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 จากกราฟจะเห็นได้ว่าตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่ค่าต่างกันทำให้ความจุที่ได้รับนั้นแตกต่างกันด้วย ในการเลือกตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่เหมาะสมนั้น จะพิจารณาจากความจุที่ได้รับมากที่สุด โดยที่ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนั้นจะแตกต่างกันตามแต่ละค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง ซึ่งพิจารณาเช่นเดียวกับรูปที่ 5.4 ในรูปที่ 5.6 นี้เมื่อตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 3 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.6 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 21 คนต่อเซลล์ ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 4 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.55 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 28 คนต่อเซลล์ ตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 5 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 30 คนต่อเซลล์ และตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 6 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 จุดต่ำสุดของเส้นกราฟเท่ากับ 31 คนต่อเซลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความจุจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางสูงขึ้น แต่เมื่อค่าของตัวชี้กำลัง



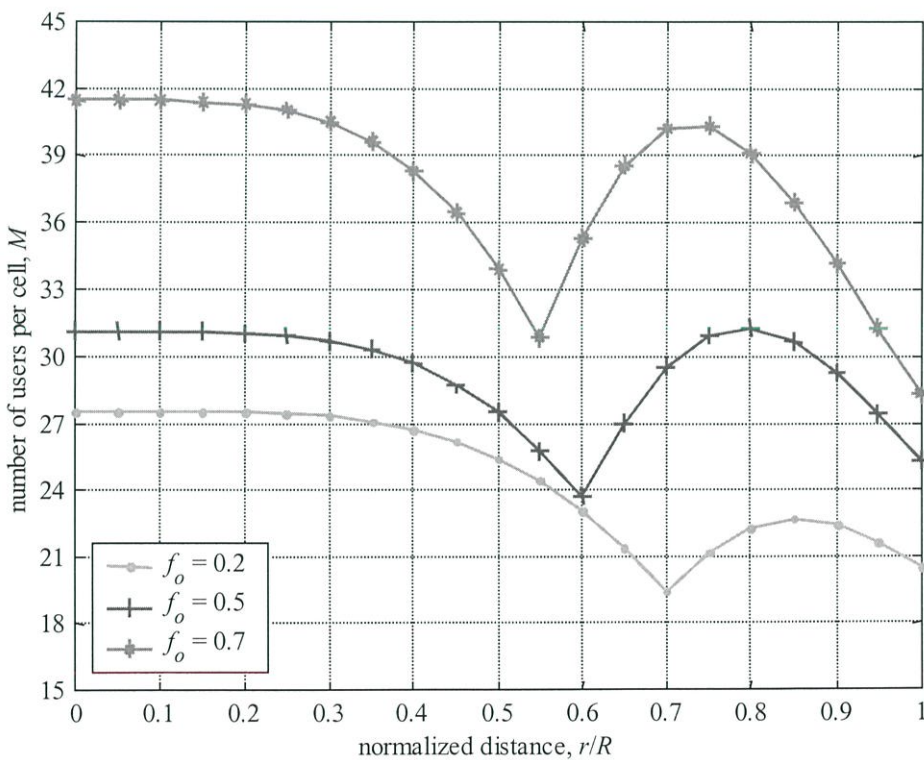
รูปที่ 5.6 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $\gamma = 3, 4, 5$ และ 6 โดยที่ $PG_j = 128, n = 3,$

$$(E_b/N_0)_{\text{req}} = 6 \text{ dB}, f_o = 0.7 \text{ และ } \alpha = 30^\circ$$

การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางมากกว่า 4 ความจุที่เพิ่มขึ้นนั้นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับความจุที่ได้รับจากค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่เท่ากับ 4 ดังนั้นในการวิเคราะห์ความจุของระบบจะเลือกใช้ค่าของตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 4 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปด้วย [12]

5.2.5 ผลของแฟคเตอร์อโทกอนอล

รูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ด้วยแฟคเตอร์อโทกอนอลเท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.7 จากกราฟจะเห็นได้ว่าแฟคเตอร์อโทกอนอลที่ค่าต่างกันทำให้ความจุที่ได้รับนั้นแตกต่างกันด้วย โดยที่ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนั้นจะแตกต่างกันตามแต่ละค่าของแฟคเตอร์อโทกอนอล ซึ่งพิจารณาเช่นเดียวกับรูปที่ 5.4 ในรูปที่ 5.7 นี้เมื่อแฟคเตอร์อโทกอนอลเท่ากับ 0.7 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.55 และได้รับความจุเท่ากับ 28 คนต่อเซลล์ แฟคเตอร์อโทกอนอลเท่ากับ 0.5 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.6 และได้รับความจุเท่ากับ 24 คนต่อเซลล์ และแฟคเตอร์อโทกอนอลเท่ากับ 0.2 จะได้รับระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.7 และได้รับ



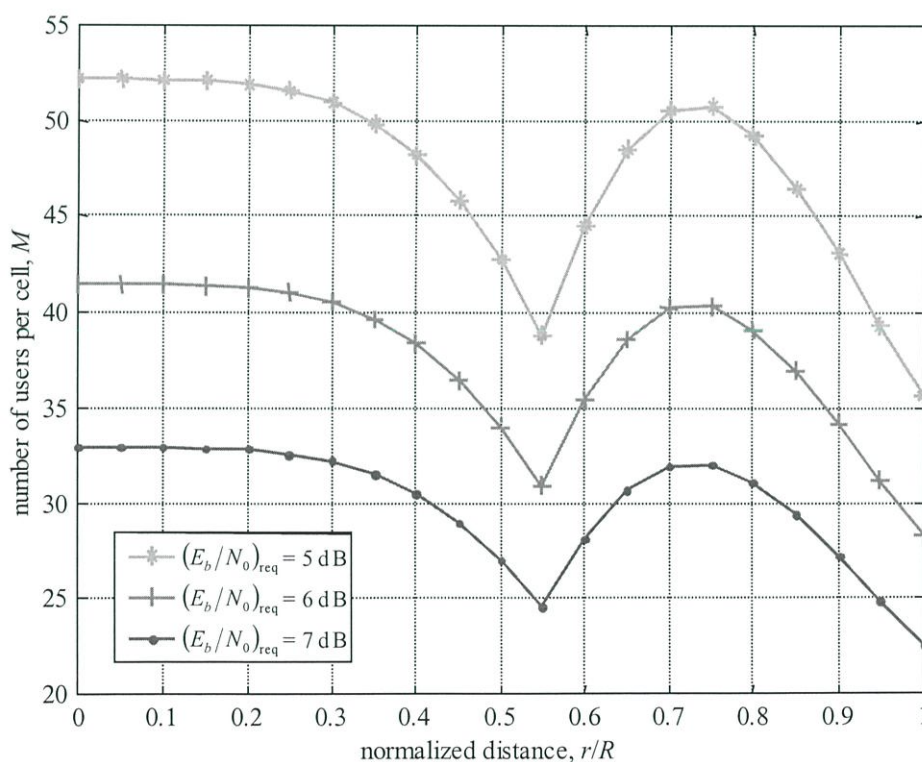
รูปที่ 5.7 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $f_o = 0.2, 0.5$ และ 0.7 โดยที่ $PG_j = 128, \gamma = 4$

$$(E_b/N_0)_{\text{req}} = 6 \text{ dB}, n = 3, \text{ และ } \alpha = 30^\circ$$

ความจุเท่ากับ 19 คนต่อเซลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความจุจะลดลงเมื่อค่าของแฟคเตอร์ออร์ทอกอนอล เข้าใกล้ 0 (เกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เพิ่มขึ้น) ในการวิเคราะห์ความจุของระบบโดยทั่วไป นั้นจะเลือกใช้ค่าของแฟคเตอร์ออร์ทอกอนอลเท่ากับ 0.7 [11]

5.2.6 ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการ

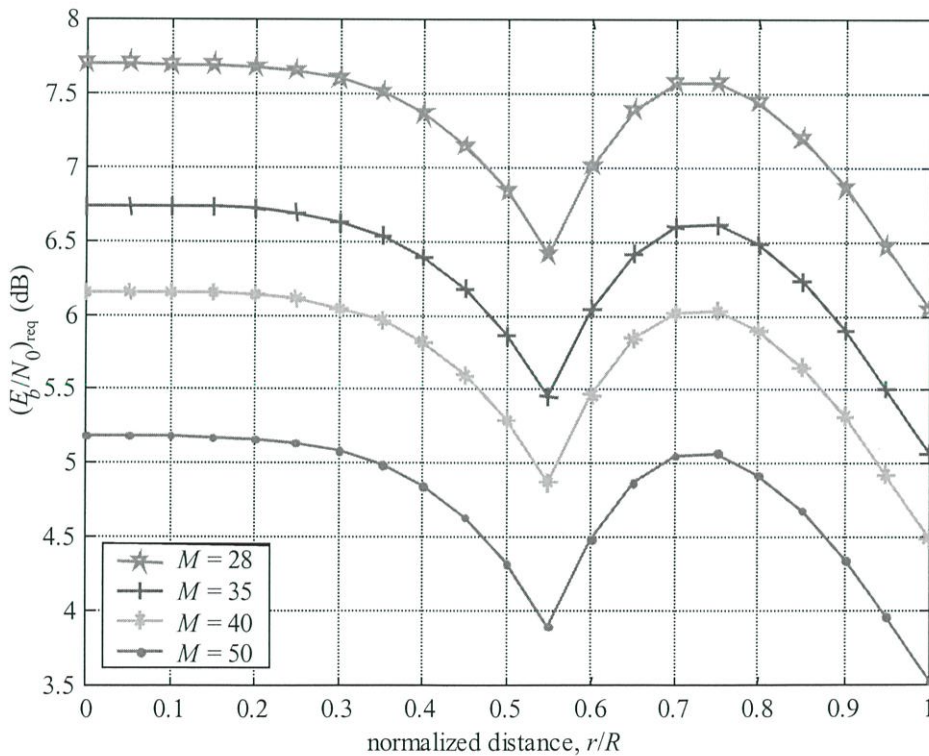
รูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ต่อเซลล์ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบ กำลังที่ n ของระยะทาง ด้วยอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการเท่ากับ 5, 6 และ 7 dB จากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการที่ค่าต่างกันทำให้ความจุที่ได้รับนั้นแตกต่างกันด้วย เมื่ออัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการเท่ากับ 7 dB ความจุที่ได้รับเท่ากับ 22 คนต่อเซลล์ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการเท่ากับ 6 dB ความจุที่ได้รับเท่ากับ 28 คนต่อเซลล์ และอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการเท่ากับ 5 dB ความจุที่ได้รับเท่ากับ 36 คนต่อเซลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความจุจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการนั้นลดลง นั่นหมายความว่าระบบสามารถยอมรับได้ที่อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ความต้องการต่ำลง



รูปที่ 5.8 ความจุของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $(E_b/N_0)_{req} = 5, 6$ และ 7 dB โดยที่ $PG_j = 128$, $f_o = 0.7$, $n = 3$, $\gamma = 4$ และ $\alpha = 30^\circ$

5.2.7 ผลของความจุของระบบที่ต้องการ

รูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ด้วยความจุของระบบที่ต้องการเท่ากับ 28, 35, 40 และ 50 คนต่อเซลล์ จากกราฟจะเห็นได้ว่าความจุของระบบที่ต้องการที่ค่าต่างกันทำให้อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการนั้นแตกต่างกันด้วย เมื่อต้องการความจุของระบบเท่ากับ 28 คนต่อเซลล์ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 6 dB ถ้าต้องการความจุของระบบเท่ากับ 35 คนต่อเซลล์ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 5.1 dB ถ้าต้องการความจุของระบบเท่ากับ 40 คนต่อเซลล์ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 4.5 dB และถ้าต้องการความจุของระบบเท่ากับ 50 คนต่อเซลล์ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 3.5 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการจะลดลงเมื่อต้องการความจุของระบบเพิ่มมากขึ้น นั่นหมายความว่า จะต้องออกแบบให้ระบบสามารถยอมรับได้ที่อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการต่ำลง จึงจะทำให้สามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น



รูปที่ 5.9 อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เมื่อ $M = 28, 35, 40$ และ 50 โดยที่ $PG_j = 128, f_o = 0.7, n = 3, \gamma = 4$ และ $\alpha = 30^\circ$

5.3 ความจุของระบบโดยใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ

5.3.1 ผลของแฟคเตอร์อ็อกโทคอนอล

ในการวิเคราะห์ความจุของระบบเมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม สามารถวิเคราะห์ผลของแฟคเตอร์อ็อกโทคอนอลที่มีต่อความจุได้โดยตรงจากสมการที่ (4.23) โดยที่อัตราขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 6 dB และตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 4 เมื่อแฟคเตอร์อ็อกโทคอนอลเท่ากับ 0.7, 0.5 และ 0.2 ความจุของระบบที่ได้รับเท่ากับ 31, 26 และ 21 คนต่อเซลล์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแฟคเตอร์อ็อกโทคอนอลเข้าใกล้ 0 (นั่นคือเกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น) ทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้น้อยลง

5.3.2 ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์ความจุของระบบเมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม สามารถวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการได้โดยตรงจากสมการที่ (4.23) โดยที่อัตราขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 แฟคเตอร์อ็อกโทคอนอลเท่ากับ 0.7 และตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 4 เมื่ออัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 7, 6 และ 5 dB ความจุของระบบที่ได้รับเท่ากับ 24, 31 และ 39 คนต่อเซลล์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการลดลง ทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น

5.3.3 ผลของความจุของระบบที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม สามารถวิเคราะห์ผลของความจุของระบบที่ต้องการได้โดยตรงจากสมการที่ (4.22) โดยที่อัตราขยายการประมวลผลเท่ากับ 128 แฟคเตอร์อ็อกโทคอนอลเท่ากับ 0.7 และตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางเท่ากับ 4 เมื่อต้องการความจุของระบบเท่ากับ 28, 35, 40 และ 50 คนต่อเซลล์ อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการเท่ากับ 6.4, 5.4, 4.9 และ 3.9 dB ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อต้องการความจุของระบบเพิ่มมากขึ้น จะต้องออกแบบให้ระบบสามารถยอมรับได้ที่อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการต่ำลง

บทที่ 6

สรุปผลการวิเคราะห์

ระบบเซลลูลาร์ไคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ เป็นระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนมากให้สามารถส่งข้อมูลข่าวสารไปบนแบนด์วิดท์เดียวกันในเวลาเดียวกันได้ โดยใช้โอนุกรมรหัสที่ต่างกัน แต่เนื่องจากโอนุกรมรหัสเหล่านั้นที่เครื่องลูกข่ายได้รับจากสถานีฐานมีคุณสมบัติความเป็นอโทคอนอลที่ไม่สมบูรณ์จึงทำให้เกิดเป็นสัญญาณแทรกสอดขึ้น ซึ่งเป็นตัวจำกัดความจุของระบบ โดยปกติแล้วกำลังสัญญาณที่มาถึงที่เครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องจะมีค่าไม่เท่ากันถ้าไม่มีการควบคุมกำลังที่เหมาะสม เนื่องจากผลกระทบจากความใกล้-ไกลและผลของเฟดดิ้งหลายวิถีซึ่งทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในระบบเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความจุของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมกำลังจึงเป็นส่วนสำคัญของระบบเซลลูลาร์ไคเรคซีเควันซ์ ซีดีเอ็มเอ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความจุของระบบโดยการควบคุมกำลังของการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป ซึ่งเป็นการจัดการเกี่ยวกับฟังก์ชันกำลังส่งของสถานีฐานรวมทั้งการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทาง และสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งภายในเซลล์เดียวกันและจากเซลล์อื่นๆ ข้างเคียง วิธีการควบคุมกำลังที่ได้นำมาวิเคราะห์มีสองวิธีด้วยกันคือ วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง และวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง ระดับกำลังส่งของสถานีฐานนั้นขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ควบคุมกำลังและระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเป็นหลัก ในขณะที่ระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากัน เมื่อค่าของแฟคเตอร์ควบคุมกำลังเพิ่มขึ้นทำให้ระดับกำลังที่เริ่มส่งต่ำลง และในขณะที่แฟคเตอร์ควบคุมกำลังเท่ากัน เมื่อระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มขึ้นทำให้ระดับกำลังที่เริ่มส่งสูงขึ้นด้วย ความจุของระบบจะได้รับการมากที่สุดเมื่อเลือกใช้แฟคเตอร์ควบคุมกำลังและตัวชี้กำลังการสูญเสียสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับในค่าอื่นๆ นั้น บางค่าอาจจะให้ความจุได้มากกว่าแต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมแล้วจะต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจะไม่เลือกค่าเหล่านั้นเนื่องจากจะทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น หรืออาจจะเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่คุ้มค่า ส่วนระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละพารามิเตอร์ด้วย สำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสมนั้น ระดับกำลังส่งของสถานีฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เป็นหลัก เมื่อเกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้นทำให้ระดับกำลังที่เริ่มส่งสูงขึ้นด้วย เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสมนี้จะสามารถส่งกำลังไปยังเครื่องลูกข่ายทุกตำแหน่งภายในเซลล์ด้วยกำลังส่งที่เหมาะสมมากกว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง เนื่องจากกำลังส่งของสถานีฐานจะปรับเปลี่ยนไปตามสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ ซึ่งต่างจากวิธีการควบคุมกำลังแบบ

กำลังที่ n ของระยะทางที่กำลังส่งจะเริ่มส่งจากค่าๆ หนึ่งตลอดจนถึงระยะทางจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว หลังจากนั้นกำลังส่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะทาง ดังนั้นความจุที่ได้รับจากวิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสมนี้จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเปรียบเทียบได้จากถ้าระบบต้องการอัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 5 dB และมีค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเท่ากัน เมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทาง จะได้รับความจุเท่ากับ 35 คนต่อเซลล์ (ดูจากรูปที่ 5.8) และเมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสมจะได้รับความจุเท่ากับ 39 คนต่อเซลล์ (อธิบายในหัวข้อ 5.3.2) ความจุของระบบจากการใช้วิธีการควบคุมกำลังทั้งสองนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อแฟคเตอร์ออดโทคอนอลเข้าใกล้ความเป็นออดโทคอนอลที่สมบูรณ์ หรืออาจจะออกแบบให้ระบบสามารถยอมรับได้ที่อัตราส่วนของพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการต่ำลง สำหรับความจุของระบบเมื่อใช้วิธีการควบคุมกำลังแบบเหมาะสมนั้นยังสามารถคำนวณได้จากสมการโดยตรงและมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบกำลังที่ n ของระยะทางอีก สามารถเป็นแนวทางที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Garg V. K. **IS-95 CDMA and cdma 2000: Cellular/PCS Systems Implementation.** New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 2000.
- [2] Lee J. S., Miller L. E. **CDMA Systems Engineering Handbook.** Boston : Artech House, Inc. 1998.
- [3] Rappaport T. S. **Wireless Communications Principles and Practice.** 2nd Ed. New Jersey : Prentice- Hall, Inc. 2002.
- [4] Chockalingam A., Milstein L. B. “Open-Loop Power Control Performance in DS-CDMA Networks with Frequency Selective Fading and Non-Stationary Base Stations.” *Wireless Network*, vol. 4, March 1998. pp. 249-261.
- [5] Qualcomm Inc. **The CDMA Network Engineering Handbook.** California : February 1993.
- [6] Lee W. C. Y. “Overview of Cellular CDMA.” *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, May 1991. pp. 291-302.
- [7] Gejji R. R. “Forward-Link-Power Control in CDMA Cellular Systems.” *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 41, no. 4, Nov. 1992. pp. 532-536.
- [8] Zorzi M., Milstein L. B. “Power Control on the Forward Link in Cellular CDMA.” *Proc. IZS, Zurich, Switzerland*, March 1994. pp. 391-399.
- [9] Yang S. C. **CDMA RF System Engineering.** Boston : Artech House, Inc. 1998.
- [10] Viterbi A. J. **CDMA Principles of Spread Spectrum Communication.** Reading : Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1995.
- [11] Hamalainen S., Holma H., Toskala A. and Laukkanen M. “Analysis of CDMA Downlink Capacity Enhancements.” *Proc. IEEE-PIMRC*, vol.1, Helsinki, Finland, Sep. 1997. pp. 241-245.
- [12] Lee W. C. Y. **Mobile Communications Design Fundamentals.** 2nd Ed. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1993.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Longpichai S., Rattanakoch W., Kidakorn P., Kimpan C., Pin-ngern O. and Noppanakeepong S. “Capacity Analysis of Forward-Link in DS-CDMA Cellular System with Power Control.” Proc. IEEE-APCCAS, vol. 2, Bali, Indonesia, Oct. 2002. pp. 429-432.
- [2] Longpichai S., Rattanakoch W., Kimpan C., Pin-ngern O. and Noppanakeepong S. “Analysis of Forward-Link Capacity for DS-CDMA Cellular System with Power Control Strategy.” Proc. ICT, vol. 2, Beijing, China, June 2002. pp. 297-301.

ประวัติผู้เขียน

นายสันติชัย ลองพิชัย เกิดที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์-โทรคมนาคม จากศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2543 (4 ครม.4)