การออกแบบตำแหน่งมาโครและไมโครเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

MACRO AND MICROCELL DESIGN IN 3G CELLULAR SYSTEM

มลฤดี พงศ์สุวรรณพร
MOLRUEDEE PONGSUWANPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-010-070

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตำแหน่งมาโครและไมโครเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

MACRO AND MICROCELL DESIGN IN 3G CELLULAR SYSTEM

มลฤดี พงศ์สุวรรณพร

MOLRUEDEE PONGSUWANPORN

เลขหมู่..........

เลขทะเบียน 76687

วัน,เดือน,ปี - 6 S.A. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-010-070

MACRO AND MICROCELL DESIGN IN 3G CELLULAR SYSTEM

MOLRUEDEE PONGSUWANPORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2007

KMITL-2007-EN-M-010-070

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตำแหน่งมาโครและไมโครเซลล์ในระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3
นักศึกษา	นางสาวมลฤดี พงศ์สุวรรณพร
รหัสนักศึกษา	47061059
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ในระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง เพื่อที่จะได้นำปริมาณสัญญาณแทรกสอดมาคำนวณหาปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด แล้ววิเคราะห์หาปริมาณความจุของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของมาโครและไมโครเซล ซึ่งปัจจัยที่นำมาศึกษาคือจำนวนไมโครเซล ตำแหน่งการวางไมโครเซล และรัศมีของไมโครเซลที่ใช้ในการออกแบบระบบ โดยจะพบระยะห่างระหว่างมาโครเซลกับไมโคร และรัศมีของไมโครเซล ส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นของระบบ

Thesis Title	Macro and Microcell Design in 3G Cellular System
Student	Ms. Molruedee Pongsuwanporn
Student ID.	47061059
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Phichet Moungnoul

ABSTRACT

The thesis presents the interference of macro and microcellular in WCDMA system for calculation signal to noise ratio and capacity. The analysis factors consist of number between macro and microcell of positions and radius of microcell. The simulation results, distance between macro / microcell and radius are effect to the interference of system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ด้วยมิตรไมตรี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

มลฤดี พงศ์สุวรรณพร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……………………………………………………………………………I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…………………………………………………………………………II

กิตติกรรมประกาศ……………………………………………………………………………III

สารบัญ……………………………………………………………………………………IV

สารบัญตาราง………………………………………………………………………………VIII

สารบัญรูป…………………………………………………………………………………IX

บทที่ 1 บทนำ……………………………………………………………………………1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา………………………………………………1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา……………………………………1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา……………………………………………………………2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย…………………………………………………2

1.5 ขอบเขตการวิจัย……………………………………………………………………2

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา………………………………………………………………3

บทที่ 2 พื้นฐานเกี่ยวกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์……………………………4

2.1 กล่าวนำ……………………………………………………………………………4

2.2 โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์…………………………………………4

2.2.1 องค์ประกอบของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์……………………5

2.2.1.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่……………………………………………6

2.2.1.2 สถานีฐาน……………………………………………………………6

2.2.1.3 โทรศัพท์เคลื่อนที่……………………………………………………6

2.2.1.4 สายอากาศ……………………………………………………………7

2.2.2 การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์……………………………………7

2.2.2.1 การเรียกจากโทรศัพท์ธรรมดาไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่………………7

2.2.2.2 การเรียกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน…………………………8

2.3 พื้นที่ขอบเขตการให้บริการของระบบเซลลูล่าร์……………………………………9

2.3.1 เซลในระบบเซลลูล่าร์……………………………………………………………10

2.3.2 รูปแบบเซลในระบบเซลลูล่าร์……………………………………………………12

2.3.3 การแบ่งเซล…………………………………………………………………………15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ความรู้เบื้องต้นของการวางเซลในระบบเซลลูล่าร์..17

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของปัญหาในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์....17

2.4.2 หลักการในการนำเอาความถี่มาใช้ใหม่..18

2.4.3 ระยะห่างของการนำความถี่มาใช้ใหม่..18

2.4.4 การแบ่งแยกเซล..19

2.4.4.1 เทคนิคในการแบ่งแยกเซล..20

2.4.5 การพิจารณาส่วนประกอบของระบบเซลลูล่าร์..20

2.4.5.1 สายอากาศ..20

2.4.5.2 อุปกรณ์สวิทชิ่ง..20

2.4.5.3 ระบบการเชื่อมโยงข้อมูล..21

2.5 บทสรุป..21

บทที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA) 22

3.1 กล่าวนำ..22

3.2 ประวัติความเป็นมาของระบบเซลลูล่าร์ซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA).........23

3.2.1 การเปรียบเทียบระหว่าง W-CDMA กับ CDMA2000..24

3.3 มาตรฐานของระบบเซลลูล่าร์ซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)..25

3.3.1 ตัวแปรพื้นฐานในระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA..27

3.3.2 การสเปรดสเปคตรัมและดีสเปรดสเปคตรัม..28

3.3.3 คลื่นวิทยุหลายทิศทางและการรับแบบเรค..31

3.3.4 การควบคุมกำลัง..32

3.3.5 แฮนด์โอเวอร์..34

3.3.5.1 ซอฟเตอร์ แฮนด์โอเวอร์ (Softer Handover)..34

3.3.5.2 ซอฟ แฮนด์โอเวอร์ (Soft Handover)..35

3.4 ปริมาณความจุระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)..36

3.4.1 ความจุของเซลในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น..36

3.4.2 ความจุของเซลในทิศทางการเชื่อมโยงขาลง..38

3.5 บทสรุป..39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การคำนวณอินเตอร์เฟอร์เรนเฟคเตอร์และอัตราส่วนกำลังของซี ดี เอ็ม เอแบนด์กว้าง (W-CDMA)……41

4.1 กล่าวนำ……41

4.2 สัญญาณแทรกสอด……41

4.2.1 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดภายในเซลเดียวกัน……41

4.2.2 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลข้างเคียง……42

4.3 การพิจารณาอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……43

4.3.1 มาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……49

4.3.2 ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……51

4.3.3 มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……53

4.3.4 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……54

4.4 การพิจารณาอัตราส่วนกำลังกับสัญญูญาณแทรกสอด (E_b/I_0)……55

4.4.1 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล $(E_b/I_0)_M$ ……56

4.4.2 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล $(E_b/I_0)_\mu$ ……57

4.5 การพิจารณาความจุของระบบ……57

4.6 บทสรุป……59

บทที่ 5 ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์……60

5.1 แบบจำลองระบบ……60

5.2 การทดลองและผลการทดลอง……61

5.2.1 อินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……61

5.2.1.1 มาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ (f_{MM}) ……61

5.2.1.2 ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{\mu M}$) ……61

5.2.1.3 มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{M\mu}$)……61

5.2.1.4 ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{\mu\mu}$) ……64

5.2.2 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_0) ……66

5.2.2.1 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล $(E_b/I_0)_M$ ..66

5.2.2.2 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล $(E_b/I_0)_\mu$ ……70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.3 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบ.....74

5.3 บทสรุป.....78

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 80

บรรณานุกรม.....81

ภาคผนวก.....82

ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....83

ประวัติผู้เขียน.....90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางการเปรียบเทียบการวางเซลแบบต่างๆ...14

3.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างระบบ W-CDMA และ CDMA2000.............................25

3.2 คุณสมบัติของระบบ W-CDMA กับ GSM...26

3.3 คุณสมบัติของระบบ W-CDMA กับ IS-95...26

4.1 แสดงค่าของมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ที่ γ =2, 3, และ 4..................51

4.2 เปรียบเทียบไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่คำนวณด้วย r กับ r_{eq} 53

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน.............................5

2.2 วิธีการเข้ารหัสข้อมูลแบบ FDMA TDMA และ CDMA 5

2.3 โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์...6

2.4 การเรียกจากโทรศัพท์ธรรมดาไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่.......................................8

2.5 การเรียกจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน...9

2.6 แสดงพื้นที่ให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเดิม...10

2.7 แสดงพื้นที่ให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่าร์..11

2.8 โครงสร้างเซลลูล่าร์ของเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่..................................11

2.9 การวางเซลในแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า...12

2.10 การวางเซลในแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส..13

2.11 การวางเซลในแบบหกเหลี่ยม..13

2.12 กราฟเปรียบเทียบจำนวนของเซลและอัตราส่วนกำลัง D / R ในการวางเซลแบบต่างๆ........14

2.13 การแบ่งเซล...15

2.14 ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างเซลหลังจากมีการแบ่งเซล.......................................16

2.15 การแบ่งเซลแบบเซคเตอร์..16

2.16 การสัญญาณแทรกสอดในการแบ่งเซลแบบเซคเตอร์...17

2.17 รูปแบบต่างๆ ในการนำเอาความถี่มาใช้ใหม่...19

2.18 แสดงภาพโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบเซลลูล่าร์...21

3.1 แนวโน้มจำนวนผู้ใช้งานในระบบ W-CDMA...22

3.2 การให้บริการของระบบ W-CDMA...23

3.3 แสดงการพัฒนาการเข้าสู่ระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3...23

3.4 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สายที่เข้าสู่ยุคที่ 3..24

3.5 แสดงแถบความถี่ของระบบ CDMA2000...24

3.6 แสดงแถบความถี่ของระบบ W-CDMA 25

3.7 แสดงการแบ่งแบนด์วิธในระบบ W-CDMA...27

3.8 เปรียบเทียบความถี่ในระบบ FDD กับ W-CDMA...27

3.9 แสดงการสเปรดสเปคตรัมและดีสเปรดสเปคตรัม...28

3.10 การสเปรดและดีสเปรดสเปคตรัมของสัญญาณที่ต้องการ...29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.11 การสเปรดและดีสเปรดสเปคตรัมของสัญญาณที่ไม่ต้องการ……………………..………..29
3.12 การเข้ารหัสในระบบ W-CDMA………..…………………………………………...……30
3.13 แสดงการใช้รหัสกรณีการเชื่อมโยงขาลง………………………………..…………..30
3.14 แสดงการใช้รหัสกรณีการเชื่อมโยงขาขึ้น……………………………..…………..31
3.15 แสดงการจางหายของสัญญาณคลื่นวิทยุ……………………………….....……..31
3.16 ไดอะแกรมเครื่องรับแบบ Rake Receiver……………………………………...……32
3.17 เปรียบเทียบกำลังรับ ณ สถานีฐานกรณีไม่มีและมีการควบคุมกำลังส่ง……………...……33
3.18 แสดงการควบคุมกำลังในระบบ W-CDMA ………..………………………………….33
3.19 วงจรการทำงานการควบคุมกำลังในระบบ W-CDMA………………………………34
3.20 แสดงการเกิดซอฟเตอร์ แฮนด์โอเวอร์………………………………………………35
3.21 แสดงการเกิดซอฟแฮนด์โอเวอร์……………………………………………………..35
3.22 มาตรฐานของระบบ W-CDMA ……………………………………………………..39
4.1 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลเดียวกัน…………………..………………...41
4.2 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลข้างเคียง ………………………..……………43
4.3 แสดงเซลการสัญญาณแทรกสอดที่สถานีฐาน…………………………………….45
4.4 ซี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียง………...……….....45
4.5 ซี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ในหน่วยเดซิเบล………………………..46
4.6 พี ดี เอฟของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ในหน่วยเดซิเบล…………………….....……..46
4.7 พี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ในหน่วยเดซิเบล……………….....…..47
4.8 การหาระยะทางที่เกิดขึ้นระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน……………..………......48
4.9 ระยะทางสำหรับคำนวณมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์…………………...…50
4.10 ระยะทางการคำนวณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กรณีวางเซลชั้นเดียว….51
4.11 ระยะทางสำหรับคำนวณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……………...……..52
4.12 ระยะทางสำหรับคำนวณมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์……………………54
4.13 ระยะทางสำหรับคำนวณไมโครเซล / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์………………..55
4.14 แบบจำลองระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์…………………………………………56
5.1 แบบจำลองระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ที่ใช้ในการทดลอง…………………………60
5.2 แบบจำลองสำหรับคำนวณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์………...………...61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.3 ความสัมพันธ์ของไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง D 62

5.4 ระยะทางระหว่างมาโครเซล 7 เซลกับไมโครเซล..63

5.5 ความสัมพันธ์ของมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง D 64

5.6 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง D กรณี 2 ไมโครเซล............65

5.7 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง D กรณี 3 ไมโครเซล............65

5.8 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ W-CDMA
กรณี 1 ไมโครเซล..67

5.9 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ CDMA2000
กรณี 1 ไมโครเซล..67

5.10 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ W-CDMA
กรณี 2 ไมโครเซล..68

5.11 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ CDMA2000
กรณี 2 ไมโครเซล..68

5.12 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ W-CDMA
กรณี 3 ไมโครเซล 69

5.13 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ CDMA2000
กรณี 3 ไมโครเซล 69

5.14 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ W-CDMA
กรณี 1 ไมโครเซล..70

5.15 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ CDMA2000
กรณี 1 ไมโครเซล..71

5.16 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ W-CDMA
กรณี 2 ไมโครเซล..72

5.17 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ CDMA2000
กรณี 2 ไมโครเซล..72

5.18 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ W-CDMA
กรณี 3 ไมโครเซล..75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.19 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ CDMA2000
กรณี 3 ไมโครเซล..75
5.20 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA ($r = 0.1$)...................................74
5.21 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA ($D = 0.7$)...................................75
5.22 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนในระบบ CDMA2000 ($r = 0.1$)....................................76
5.23 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ CDMA2000 ($D = 0.7$)................................76
5.24 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA กรณี 2 ไมโครเซล.........................77
5.25 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA กรณี 3 ไมโครเซล.........................77
5.26 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ CDMA2000 กรณี 2 ไมโครเซล......................78
5.27 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ CDMA 2000 กรณี3 ไมโครเซล.......................78

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาเข้าสู่ยุคที่ 3 (Third Generation) ตามมาตรฐาน IMT-2000 (International Mobile Telecommunications - 2000) ซึ่งระบบที่ได้รับความนิยมคือ ระบบ W-CDMA และ CDMA2000 ทั้งนี้เพื่อรองรับการให้บริการรับส่งข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูง และการใช้งานแบบมัลติมีเดีย ที่มีปริมาณความต้องการของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ในการออกแบบระบบ W-CDMA และ CDMA2000 รัศมีเซล ตำแหน่งการวางเซล และจำนวนเซลภายในระบบ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณสัญญาณแทรกสอด (Interference) ที่เกิดขึ้น ซึ่งปริมาณความจุของระบบจะสามารถรอบรับการใช้งานจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มากหรือน้อย ย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณสัญญาณแทรกสอดของระบบ เพราะเนื่องจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ใช้ย่านความถี่เดียวกัน ทั้งนี้เพื่อให้ระบบเซลลูล่าร์ที่ทำการออกแบบมาเพื่อใช้ให้สามารถรองรับกับปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างเพียงพอ จึงได้ทำการศึกษาและพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณสัญญาณแทรกสอด โดยเฉพาะผลที่เกิดจากรัศมีของไมโครเซล ตำแหน่งการวางไมโครเซล และจำนวนไมโครเซลที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อให้ระบบเซลลูล่าร์เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งาน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบที่เกิดจากรัศมีของไมโครเซล ตำแหน่งการวางและจำนวนของไมโครเซลที่ส่งผลต่อปริมาณสัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 มาโครและไมโครเซลลูล่าร์ โดยได้พิจารณาถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้งในส่วนของมาโครเซลกับมาโครเซล มาโครเซลกับไมโครเซล และระหว่างไมโครเซลด้วยกัน ซึ่งจะนำปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นไปพิจารณาค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_o) เพื่อนำปริมาณที่ได้ดังกล่าวไปวิเคราะห์หาปริมาณความจุที่เกิดขึ้นของระบบ ทั้งนี้จะทำให้ทราบว่าในการออกแบบระบบควรใช้รัศมีของไมโครขนาด มีการตำแหน่งการวางไมโครเซลอย่างไร และควรให้ระบบมีจำนวนไมโครเซลกี่เซล ที่จะทำให้ระบบเซลลูล่าร์มีปริมาณความจุของระบบที่เกิดขึ้นมากที่สุด

ดังนั้นหากเราทราบถึงผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าว จะสามารถประยุกต์เป็นแนวทางหรือข้อมูลอ้างอิงให้กับวิศวกรผู้ออกแบบระบบให้สามารถออกแบบระบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การออกแบบระบบมาโครและไมโครเซลของ W-CDMA และ CDMA2000 มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้มีปริมาณความจุที่รองรับกับความต้องการของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ให้เกิดความสะดวกสบาย ความชัดเจนของเสียงและความต่อเนื่องตลอดการใช้งานมากที่สุด เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการและการใช้งานดังกล่าวได้นั้น ระบบควรได้รับการออกแบบที่มีปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นของระบบ ไม่ว่าจะเป็นระหว่างมาโครเซลกับมาโครเซล มาโครและไมโครเซล และไมโครเซลด้วยกัน ต้องปริมาณน้อยที่สุด

หากสามารถคำนวณปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรัศมีของไมโครเซล ตำแหน่งการวางไมโครเซล และจำนวนไมโครเซลได้ จะทำให้ทราบระบบที่นำมาใช้งานนั้นจะมีลักษณะเป็นอย่างไร ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพต่อผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างสูงสุด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงรัศมีของไมโครเซล ตำแหน่งการวางไมโครเซล และจำนวนไมโครเซล ในระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ สำหรับ W-CDMA และ CDMA โดยได้ทำการประยุกต์จากทฤษฎีของการสูญเสียทางวิถีซึ่งที่ผ่านมาได้มีการจำลองระบบขึ้นมาที่ประกอบด้วยไมโครเซลเพียง 1 เซล ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีการเพิ่มจำนวนไมโครเซลในระบบให้มีมากกว่า 1 เซล เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นของปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดการกวนกันของมาโครเซลกับมาโครเซล มาโครเซลกับไมโครเซล และไมโครเซลกับไมโครเซล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

จะทำการศึกษาหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นของระบบระหว่างมาโครและไมโครเซลตามระบบที่จำลองขึ้นมาเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา และนำปริมาณสัญญาณแทรกสอดอินและอัตราส่วนระหว่างกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นนั้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ ที่ให้จำนวนความจุเพียงพอกับความต้องการที่เกิดขึ้น สำหรับผลการทดลองที่นำมาแสดงคือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทางระหว่างเซล (D) ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครและไมโครเซลรวมไปถึงปริมาณของผู้ใช้งานระหว่างมาโครเซลและไมโครเซลของระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานเกี่ยวกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ ประกอบด้วยโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ พื้นที่ขอบเขตการให้บริการของระบบเซลลูล่าร์ ความรู้เบื้องต้นของการวางเซลในระบบเซลลูล่าร์ และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ W-CDMA ซึ่งประกอบด้วยประวัติความเป็นมาของระบบ W-CDMA มาตรฐานของระบบ สัญญาณแทรกสอดภายในระบบ ปริมาณความจุในระบบ และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการคำนวณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์และอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด ประกอบด้วยการคำนวณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของมาโครและไมโครเซล การพิจารณาอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด การวิเคราะห์ความจุของระหว่างมาโครและไมโครเซลในระบบ W-CDMA และ CDMA2000 และบทสรุป

บทที่ 5 ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์ ประกอบด้วยแบบจำลองระบบที่ใช้ในการพิจารณาศึกษา การทดลองและผลการทดลองที่เกิดขึ้น และบทสรุป

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
พื้นฐานเกี่ยวกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัย โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ พื้นที่ขอบเขตการให้บริการของระบบเซลลูล่าร์ ซึ่งพิจารณาเกี่ยวกับเซลในระบบเซลลูล่าร์ รูปแบบของเซล และการแบ่งเซล รวมไปถึงความรู้เบื้องต้นของการวางเซลในระบบเซลล์ลูล่าร์ [1]

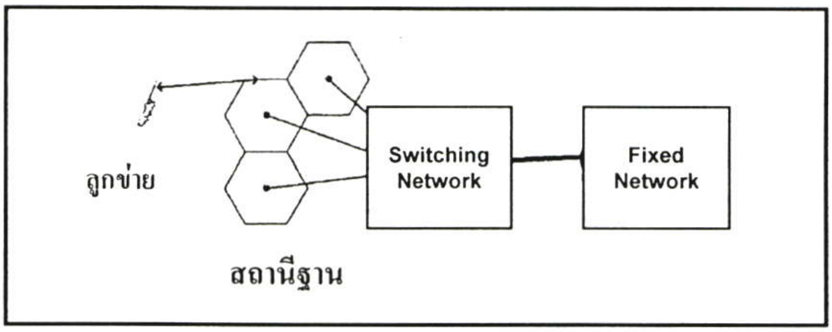
2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการบริการด้านสื่อสารโทรคมนาคมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อสภาพเศรษฐกิจที่สามารถพูดคุยหรือติดต่อธุรกิจกันโดยไม่จำเป็นจะต้องพบกัน การสื่อสารโทรคมนาคมจึงมีความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นบริการหนึ่งร่วมกับระบบชุมสายที่สามารถจะให้บริการได้ในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่ใช้ระบบสื่อสารทางคลื่นวิทยุแทน ด้วยประสิทธิภาพและความโดดเด่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงทำให้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงต้องมีการขยายความสามารถของระบบเพื่อตอบสนองกับความต้องการของผู้ใช้งานด้วยการสร้างระบบเซลลูล่าขึ้น ข้อดีอย่างหนึ่งของระบบคือ สามารถปรับเปลี่ยนภายในระบบเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานได้สูงขึ้น โดยการปรับขนาดของเซล และจัดตำแหน่งของเซลให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

2.2 โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์

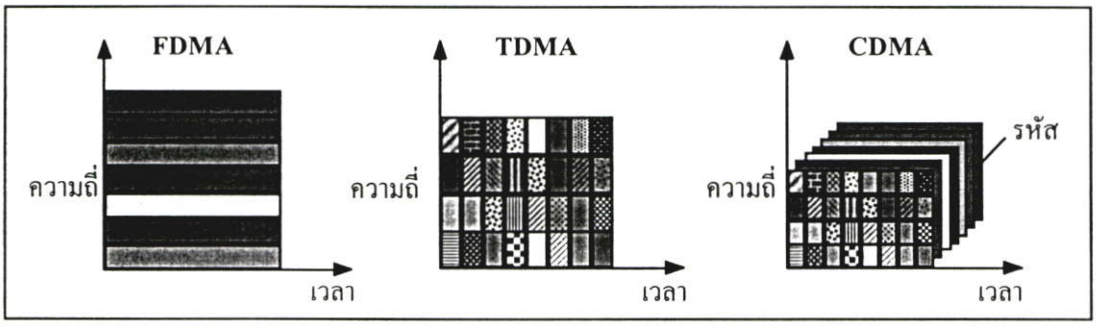
โครงข่ายโทรศัพท์แบบเซลลูล่าร์ คือโครงข่ายระบบคลื่นวิทยุที่ถูกสร้างขึ้น โดยมีการแบ่งพื้นที่การให้บริการออกเป็นส่วนๆ เรียกว่า “เซล” โดยแต่ละเซลจะครอบคลุมขนาดพื้นที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งระบบเซลลูล่าร์นี้มีข้อได้เปรียบคือ ช่วยเพิ่มความจุของระบบ ลดปริมาณกำลังที่ใช้และสามารถครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ไกลขึ้น

การให้บริการของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ ไม่ใช่บริการที่รองรับการติดต่อสื่อสาระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้น แต่สามารถเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไปได้ด้วย ซึ่งพื้นฐานการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน

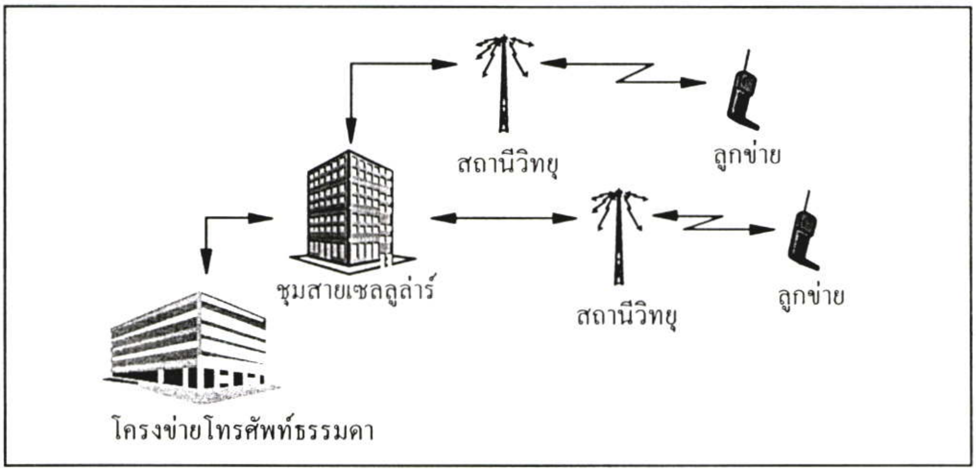
สำหรับวิธีการเข้ารหัสเพื่อส่งสัญญาณหรือข้อมูล ในระบบเซลลูล่าร์มีหลายวิธี อย่างเช่น FDMA (Frequency Division Multiple Access) CDMA (Code Division Multiple Access) และ TDMA (Time Division Multiple Access)



รูปที่ 2.2 วิธีการเข้ารหัสข้อมูลแบบ FDMA TDMA และ CDMA

2.2.1 องค์ประกอบของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์

ระบบโทรศัพท์แบบเซลลูล่าร์ที่ใช้ในปัจจุบัน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ สถานีฐาน และเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยจะมีการเชื่อมโยงกับชุมสาย โทรศัพท์ท้องถิ่นในส่วนของโครงข่ายโทรศัพท์ธรรมดาด้วย ซึ่งจะทำให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถติดต่อกับโทรศัพท์ธรรมดาได้ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.3 โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์

2.2.1.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นส่วนสำคัญที่สุดในโครงข่ายระบบเซลลูล่าร์ โดยทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมด และเป็นตัวสวิตช์ในการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ธรรมดาของชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นรวมทั้งเชื่อมโยงระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าด้วยกัน และหน้าที่อีกอย่างหนึ่งของชุมสายคือ การควบคุมการทำงานของสถานีฐาน

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นส่วนที่ใช้ในการแบ่งขอบเขตพื้นที่การให้บริการอีกด้วย เนื่องจากแต่ละพื้นที่การบริการอยู่ห่างกัน และมีขอบเขตการให้บริการที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถที่จะใช้ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เดียวกันในการคุบควมสถานีฐานทั้งหมดได้ หน้าที่ในการทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีหลายอย่าง เช่น การค้นหาเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกเรียก การแฮนด์ออฟหรือการเปลี่ยนเซล การตรวจสอบสภาวะการใช้หรือไม่ใช้งาน และการหาช่องสัญญาณ เป็นต้น

2.2.1.2 สถานีฐาน

สถานีฐาน [2] ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างโทรศัพท์ เคลื่อนที่กับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยส่วนที่ติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้การรับ-ส่งสัญญาณวิทยุเพื่อให้บริการในกรณีที่มีการเรียกเข้าหรือการเรียกจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน ส่วนการเชื่อมโยงกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้ในการติดต่อผ่านทางคู่สายหรือทางคลื่นไมโครเวฟ

2.2.1.3 โทรศัพท์เคลื่อนที่

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้งาน ซึ่งมีการใช้งานคล้ายคลึงกับโทรศัพท์ธรรมดา การเชื่อมต่อของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) โดยในแต่ละการติดต่อจะใช้ช่องสัญญาณจำนวน 2 ช่อง ก็คือมีการใช้ 2 ความถี่ โดยที่ความถี่หนึ่งจะใช้ในการส่งไปยังสถานีฐาน และอีกความถี่จะใช้ในการรับสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐาน

และมีกำลังส่งไม่สูงมากนัก ทั้งนี้จะขึ้นกับตามขนาดการใช้งาน การส่งสัญญาณจะมีการส่งทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณข้อมูล โดยสัญญาณเสียงจะมีการเข้ารหัสแบบ FM (Frequency Modulation) ส่วนสัญญาณข้อมูลมีการเข้ารหัสแบบ FSK (Frequency Shift Keying)

2.2.1.4 สายอากาศ

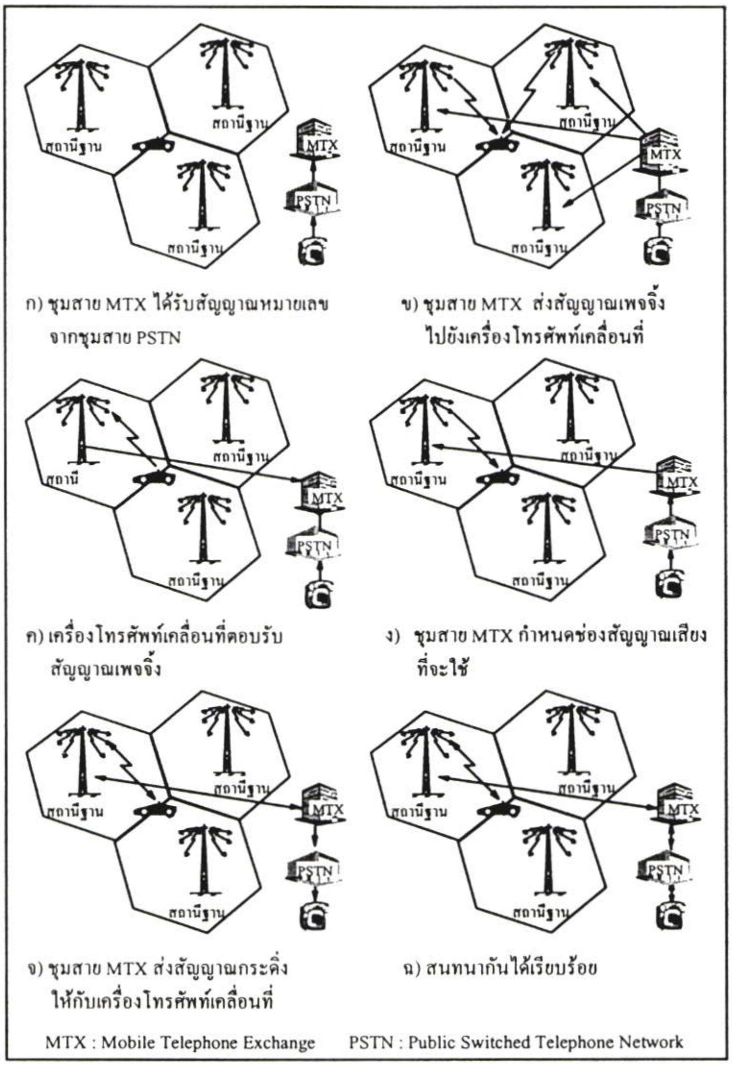
ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในระบบเคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์มีหลายแบบด้วยกัน โดยความสามารถในการรับส่งสัญญาณของสายอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสูง มุมและความลาดเอียงของสายอากาศที่ทำการติดตั้งอยู่ของแต่ละสถานีฐาน ระบบเซลลูล่าร์จะใช้สายอากาศแบบใด ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบในการเลือก ซึ่งลักษณะและมุมของสายอากาศจะส่งผลต่อความเข้มของสัญญาณรวมไปถึงการลดทอนที่เกิดขึ้น

2.2.2 การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์

การให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์จะมีขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยากกว่าระบบโทรศัพท์ธรรมดา ซึ่งจะต้องมีการติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน โดยมีการส่งข้อมูลในการควบคุมของการเรียก เกิดขึ้นทั้งบนช่องสัญญาณเสียง และช่องสัญญาณควบคุม ขั้นตอนในการเรียกที่เกิดขึ้นกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.2.2.1 การเรียกจากโทรศัพท์ธรรมดาไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

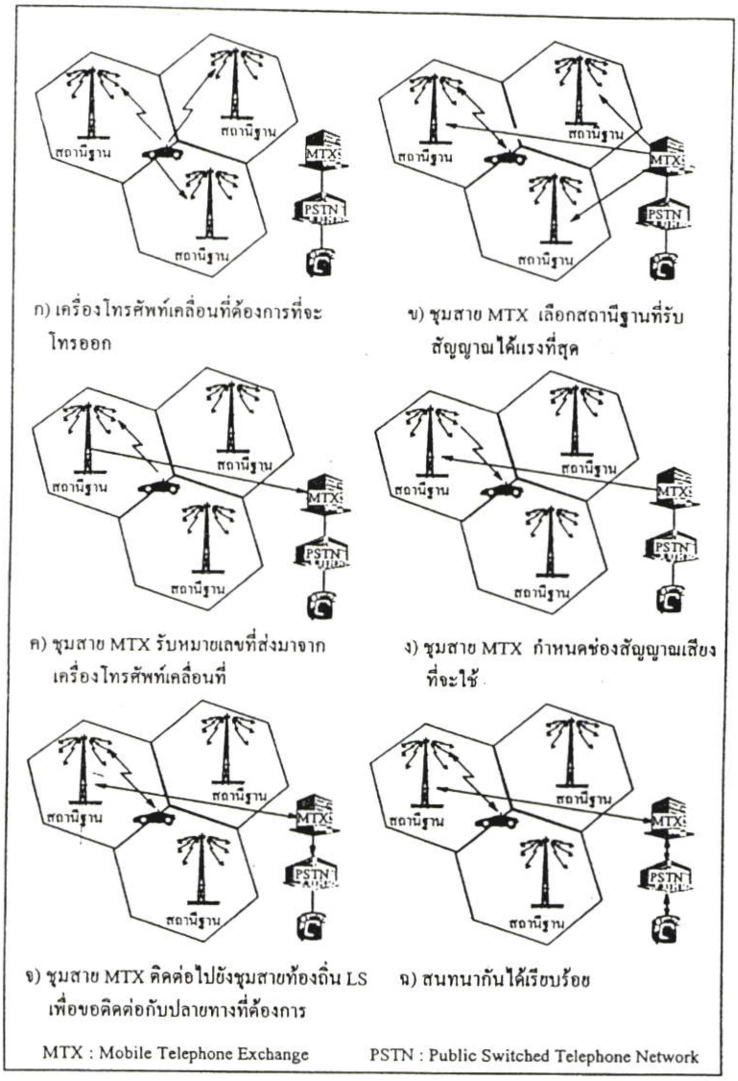
เป็นการเรียกจากโทรศัพท์ธรรมดาหรือโทรศัพท์บ้าน เพื่อทำการเชื่อมต่อไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามหมายเลขที่ผู้ใช้บริการต้องการติดต่อ [1] ซึ่งขั้นตอนในการเรียกนั้น สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเรียกจากโทรศัพท์ธรรมดาไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.2.2.2 การเรียกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน

การเรียกใช้งานระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน ซึ่งจะสามารถเชื่อมต่อได้นั้น โทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ว่าง โดยผู้ใช้บริการจึงจะสามารถเชื่อมต่อตามหมายเลขที่ต้องการได้ สำหรับขั้นตอนการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่แสดงตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเรียกจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน

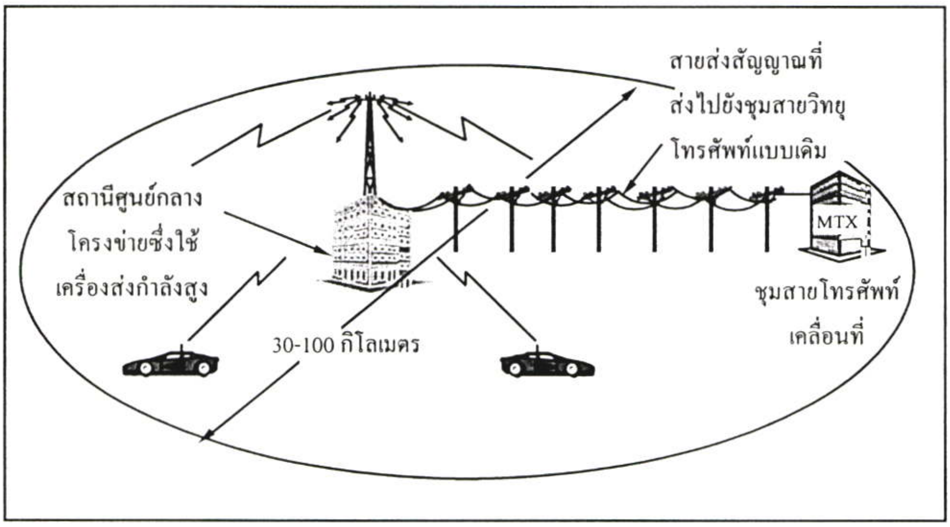
2.3 พื้นที่ขอบเขตการให้บริการของระบบเซลลูล่าร์

การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ที่มีประสิทธิภาพควรคำนึงถึงขอบเขตของพื้นที่การให้บริการ สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขวาง และสามารถใช้งานโทรศัพท์ได้อย่างมีคุณภาพ โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น เสียงรบกวนจากผู้ใช้เคลื่อนอื่น การขาดหายของสัญญาณ และไม่สามารถโทรออกได้เนื่องจากช่องสัญญาณไม่เพียงพอ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากการจัดเซลไม่เหมาะสม เพราะในระบบเซลลูล่าร์จะมีการวางเซล หลายเซลในลักษณะคล้ายรวงผึ้ง เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้กว้างขึ้นและสามารถขยายพื้นที่บริการได้โดยการเพิ่มเซลให้มีขอบเขตต่อเนื่องจากเซลเดิม ซึ่งช่วงรอยต่อระหว่างเซลอาจเกิดปัญหาของการเกิดช่องว่างระหว่างเซลหรือการเหลื่อมล้ำของเซล เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะพื้นที่ หรืออีกสาเหตุหนึ่งคือ การใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กันมากๆ ทำให้การความหนาแน่นของผู้ใช้บริการมาก

จึงทำให้บางเซลมีจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์ที่สูงจนช่องสัญญาณไม่เพียงพอ ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการจัดเซลในระบบใหม่

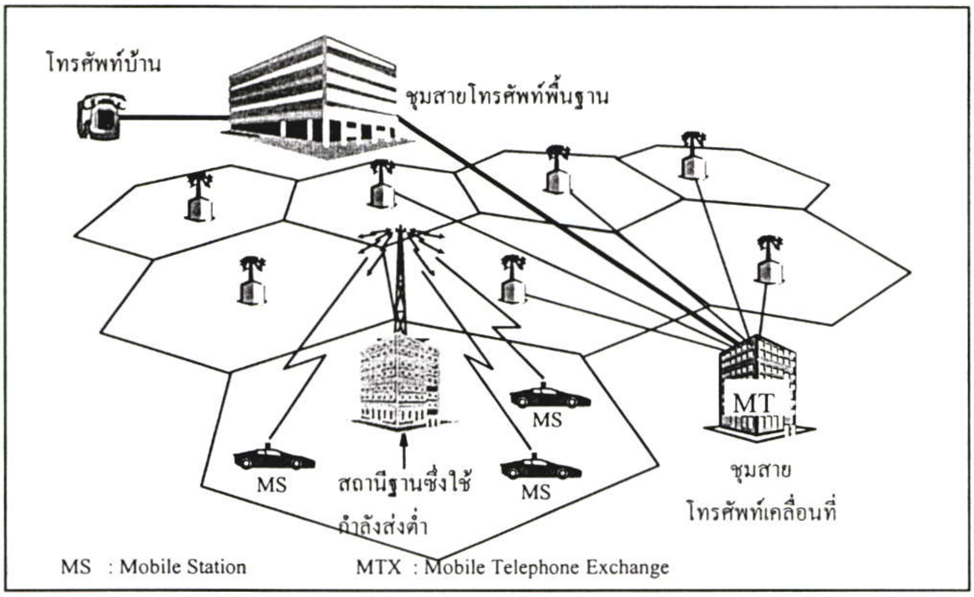
2.3.1 เซลในระบบเซลลูล่าร์

ระบบโทรศัพท์แบบเดิมนั้นจะมีขนาดของเซลที่ใหญ่ มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ เนื่องจากถูกจำกัดด้วยแถบความถี่ที่นำมาใช้ จึงทำให้เกิดปัญหาเมื่อจำนวนของผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของช่องสัญญาณถูกจำกัด อัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณต่อผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จะต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งเมื่อถึงค่าหนึ่งปริมาณผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกจำกัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นการใช้แถบความถี่อย่างไม่มีประสิทธิภาพ และอีกปัญหาที่เกิดขึ้นอีกอย่างคือ เมื่อต้องการขยายพื้นที่ให้บริการจะต้องเพิ่มกำลังส่งทั้งสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้สูงขึ้นอีกต้องหาที่ตั้งของสถานีฐานไว้ในที่สูงมากเพื่อส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่นด้วย เมื่อเพิ่มกำลังส่งสูงขึ้นก็จะทำให้ตัวเครื่องโทรศัพท์มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงพื้นที่ให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเดิม

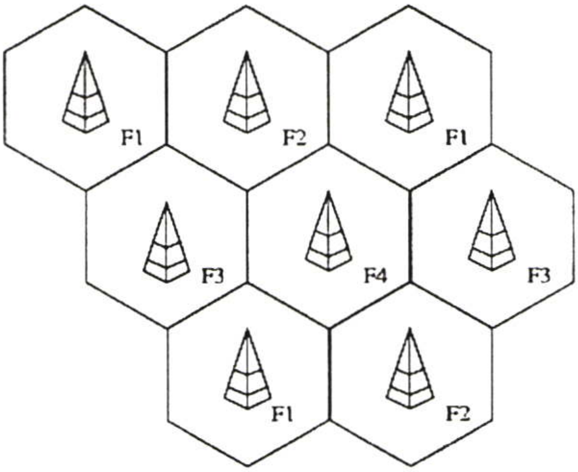
สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์นั้น จะทำการตั้งสถานีฐานที่มีเครื่องรับส่งกำลังต่ำหลายๆ ชุด กระจายออกไปในพื้นที่ให้บริการต่างๆ พื้นที่เล็กๆ ที่สถานีฐานส่งสัญญาณครอบคลุมได้จะเรียกว่า เซล (Cell) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-20 กิโลเมตร



รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่ให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่าร์

สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะมีกำลังส่งที่ต่ำลงจากเดิม เหลือเพียง 0.6 – 3.0 วัตต์ ส่งผลทำให้ขนาดของเครื่องมีขนาดเล็กลง สิ่งสำคัญในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ที่สามารถแก้ปัญหาจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่จำกัดได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า "เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่ (Frequency Reuse)"

แนวความคิดเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่ คือการแบ่งความถี่ที่มีอยู่ออกเป็นกลุ่มๆ แล้วบรรจุกลุ่มความถี่ลงในแต่ละเซล โดยกลุ่มความถี่นั้นๆ จะอยู่ในความรับผิดชอบของแต่ละเซล ในการวางเซลจะให้เซลที่อยู่ติดกันมีความถี่ต่างกลุ่มกัน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้นำกลุ่มความถี่มาใช้งานซ้ำกันในเซลต่างที่อยู่ห่างกันได้ ซึ่งเป็นการนำแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั่นเอง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างเซลลูล่าร์ของเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่

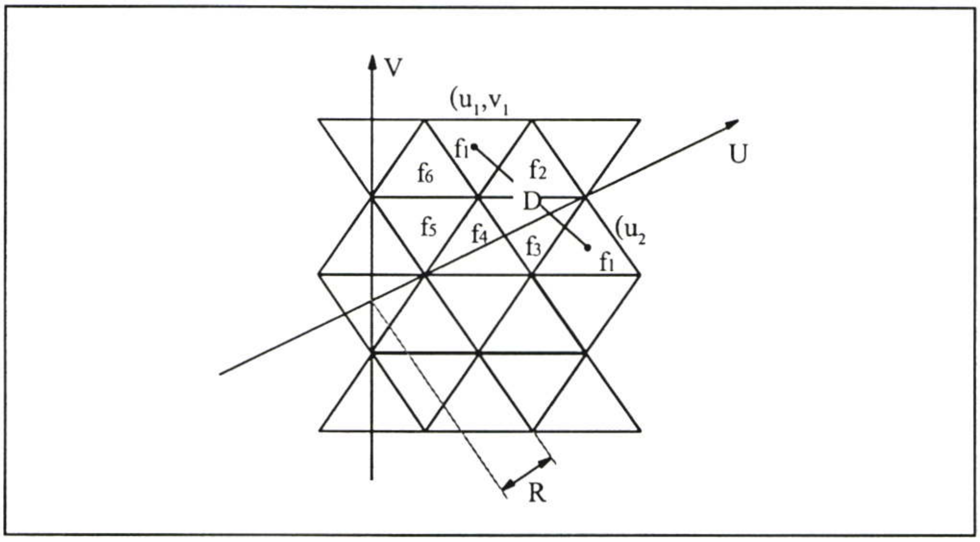
2.3.2 รูปแบบเซลในระบบเซลลูล่าร์

ในระบบเซลลูล่าร์จะใช้วิธีการวางเซลต่างๆ ขยายออกเป็นพื้นที่ให้บริการ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาจัดวางเซลในลักษณะต่างๆ ให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ถ้ากำหนดให้พื้นที่เป็นลักษณะราบเรียบเหมือนกันทั้งหมด จะทำให้ได้ลักษณะของเซลแบบวงกลม (Omni - Direction Cell) ซึ่งตามการศึกษรูปแบบการจัดวางเซลจะสามารถจัดได้หลายรูปแบบ เช่น รูปแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า

การจัดวางเซลในลักษณะของสามเหลี่ยมด้านเท่า แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แกนคือแกน U และ V โดยทั้งสองแกนจะทำมุมกัน 60° โดยให้รัศมีของเซลมีค่าเท่ากับ R ตามแนวแกน U จากในรูประยะทางระหว่างจุด (u_1, v_1) กับ (u_2, v_2) จะได้เป็น

$$D^2 = i^2 + ij + j^2 \tag{2.1}$$

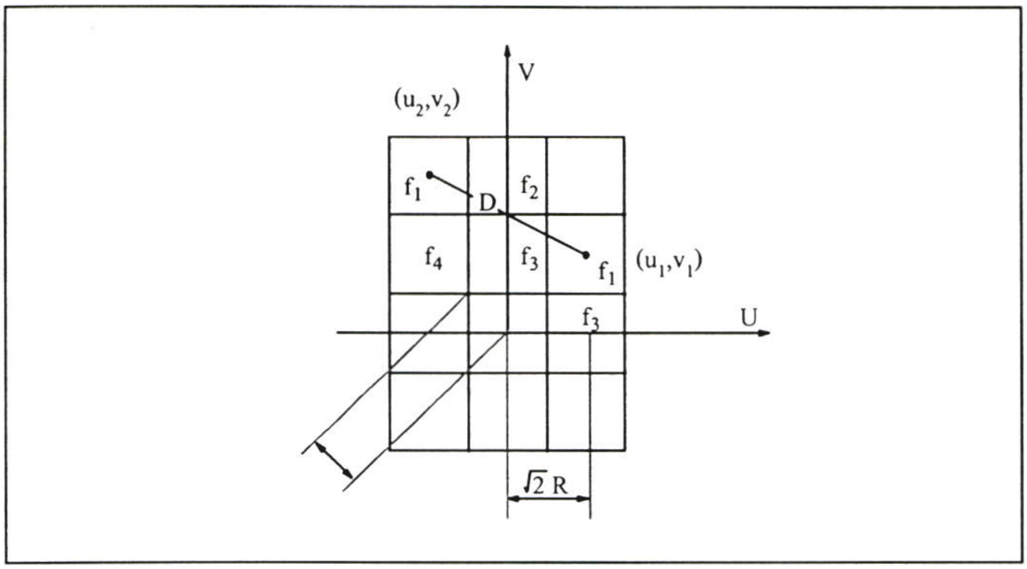
เมื่อ $i = u_2 - u_1$ และ $j = v_2 - v_1$



รูปที่ 2.9 การวางเซลในแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า

ส่วนการจัดวางเซลแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะได้ดังรูปที่ 2.10 โดยแกนทั้งสองจะทำมุมกัน 90° โดยให้รัศมีของเซลเท่ากับ R เป็นดังรูป ระยะห่างระหว่างเซลมีค่าเป็น $\sqrt{2}R$ ส่วนระยะทางของ D จะได้เป็น

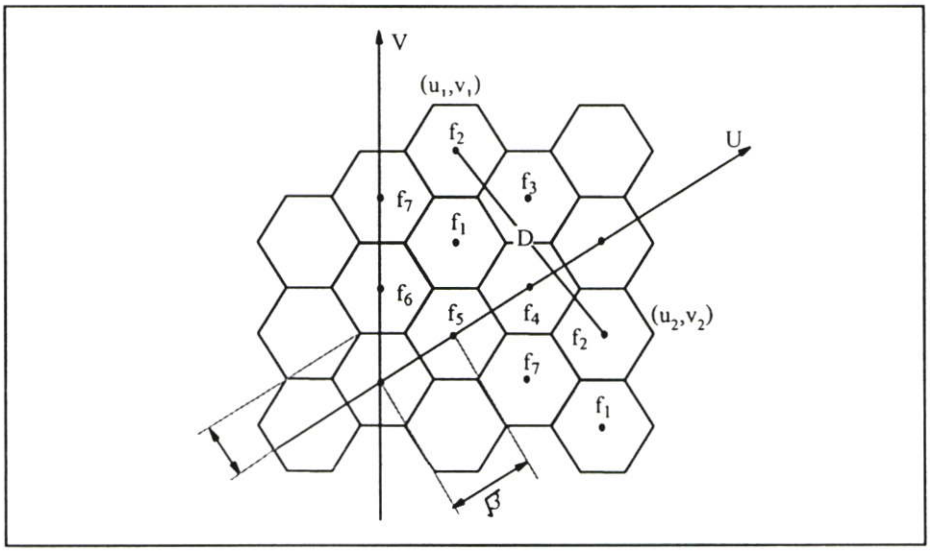
$$D^2 = i^2 + j^2 \tag{2.2}$$



รูปที่ 2.10 การวางเซลในแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สำหรับการจัดวางเซลในแบบหกเหลี่ยม จะได้ตามรูปที่ 2.11 โดยที่แกนทั้งสองจะทำมุมกัน 60° โดยให้เซลมีรัศมี R จะได้ระยะห่างระหว่างเซลจะมีค่าเป็น $\sqrt{3}R$ ซึ่งระยะทาง D จะเป็น

$$D^2 = i^2 + ij + j^2 \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.11 การวางเซลในแบบหกเหลี่ยม

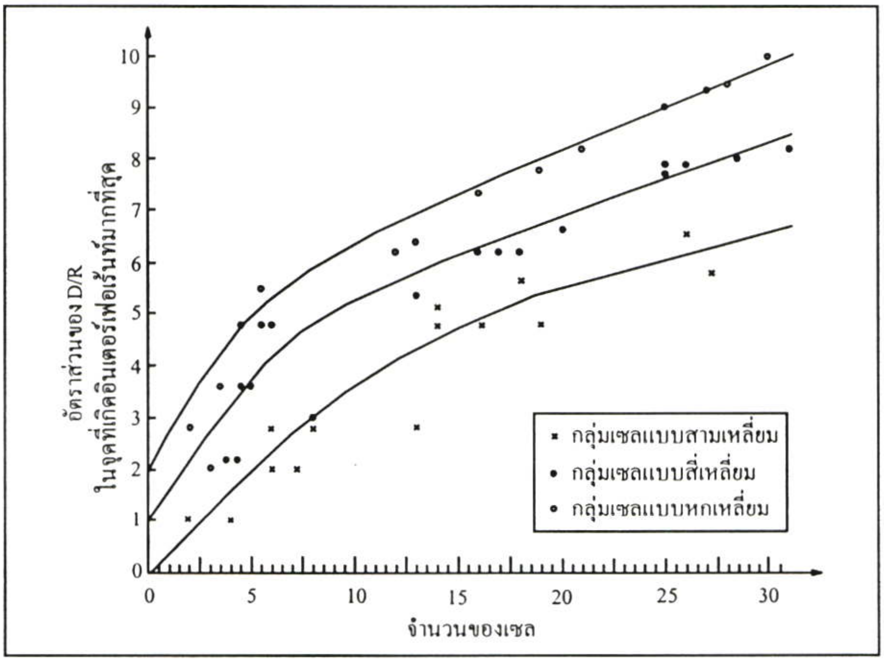
จากลักษณะการวางเซลในแบบต่างๆ ข้างต้น เมื่อกำหนดให้แต่ละเซลมีรัศมีที่เท่ากันคือ R จากรูปที่ 2.9 ถึง 2.11 จะเห็นว่าการเกิดเหลื่อมล้ำของเซลขึ้น แต่การจัดวางเซลแบบหกเหลี่ยมจะ

เกิดต่ำสุด และจำนวนของเซลที่อยู่ติดกันจะมีจำนวนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการวางเซลต่างๆ จะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการวางเซลแบบต่างๆ

การวางเซล	ระยะห่างของเซลที่ติดกัน	พื้นที่ของเซล	พื้นที่เหลื่อมล้ำ	จำนวนเซลที่ติดกัน
แบบสามเหลี่ยม	R	$(3\sqrt{3})(R^2/4)$	$((2-3\sqrt{3})/2)(R^2)$	12
แบบสี่เหลี่ยม	$\sqrt{2}R$	$2(R^2)$	$(2-4)(R^2)$	8
แบบหกเหลี่ยม	$\sqrt{3}R$	$(3\sqrt{3})(R^2/2)$	$(2-3\sqrt{3})(R^2)$	6

ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะของการจัดวางเซลแบบหกเหลี่ยมมีประสิทธิภาพดีสุด ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ และเมื่อเปรียบเทียบจุดที่จะทำให้เกิดการรบกวนแทรกซ้อนของช่องสัญญาณช่องเดียวกัน จะเห็นว่าการจัดวางเซลแบบหกเหลี่ยมจะมีระยะห่างของเซลมากกว่าแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า และแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามแสดงดังรูปที่ 2.12 ส่วนระยะห่างของเซลที่มีการแทรกสอดเข้ามาจะมีค่า D ที่ห่างกว่าการวางเซลแบบสามเหลี่ยมด้านเท่าหรือแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งทำให้ปริมาณการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์มีค่าที่ต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระยะทางในการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ในทั้ง 3 แบบ

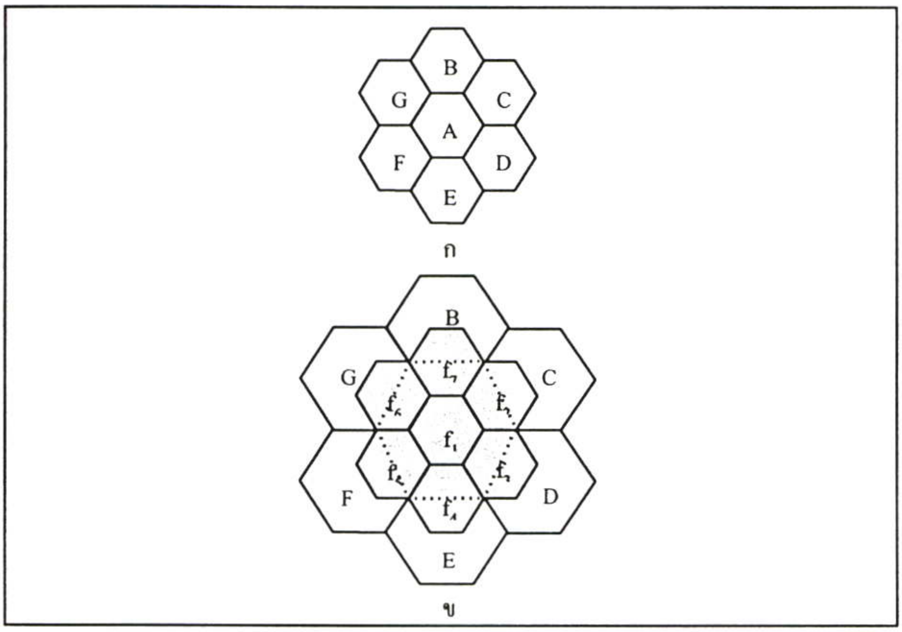


รูปที่ 2.12 กราฟเปรียบเทียบจำนวนของเซลและอัตราส่วนของ D/R ในการวางเซลแบบต่างๆ

2.3.3 การแบ่งเซล

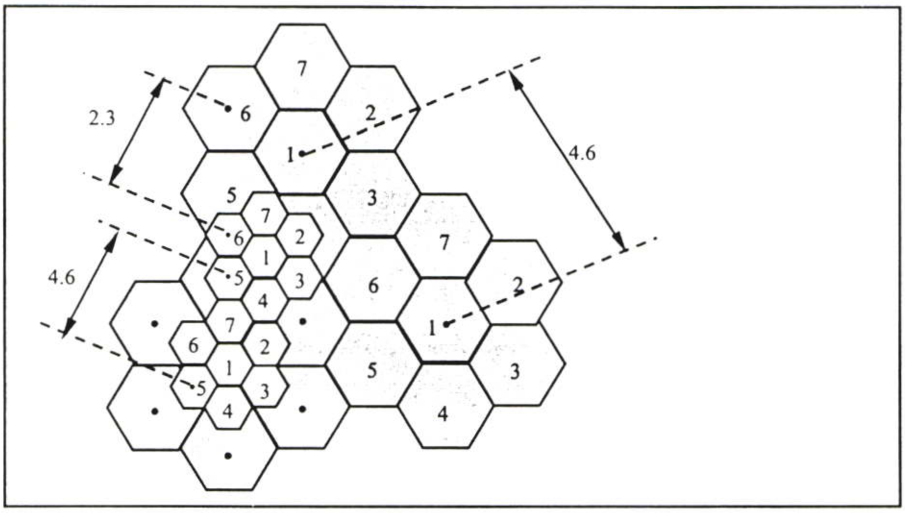
เทคนิคในการแบ่งเซลเป็นการเปลี่ยนขนาดของเซลหรือพื้นที่การให้บริการที่มีขนาดใหญ่ออกเป็นเซลเล็กๆ หลายๆ เซล ซึ่งจะทำให้พื้นที่ของแต่ละเซลมีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้ปริมาณช่องสัญญาณต่อพื้นที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นและสามารถรองรับกับความต้องการของผู้ใช้บริการได้มากขึ้นด้วย

การแบ่งเซลโดยปกติแล้วจะกระทำตรงจุดกึ่งกลางที่มีความหนาแน่นของผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่สูง แต่การแบ่งเซลแบบนี้จะทำให้ระยะห่างระหว่างเซลมีค่าน้อยลง ซึ่งจะทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากเซลที่ใช้ความถี่เดียวกันได้ง่าย ดังนั้นในการแบ่งเซลต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างเซลที่มีแถบความถี่เดียวกันด้วย



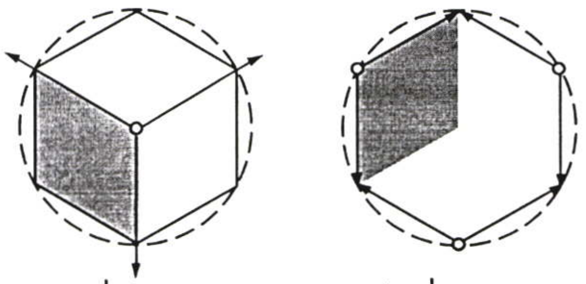
รูปที่ 2.13 การแบ่งเซล

ในรูปที่ 2.13 จะแสดงความสัมพันธ์ของค่า D และค่า R ในการแบ่งเซลแบบผสม ซึ่งจะเห็นว่าระยะห่างระหว่างเซลที่ใช้ความถี่เดียวกัน หลังจากมีการแบ่งเซลแล้ว จะมีระยะทางที่แตกต่างกัน เมื่อให้ D คือระยะห่างระหว่างเซลที่ใช้แถบความถี่เดียวกัน ซึ่งในเซลใหญ่จะได้ $D = 4.6R$ เมื่อ R เป็นรัศมีของเซลใหญ่ ส่วนเซลเล็กจะมีค่า $D = 4.6r$ เมื่อ r เป็นรัศมีของเซลเล็ก ซึ่งเทคนิคการแบ่งเซลจะต้องมีการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มขึ้น มีค่าใช้ค่อนข้างจ่ายสูง และมีข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่ในการติดตั้งสถานีฐานด้วย



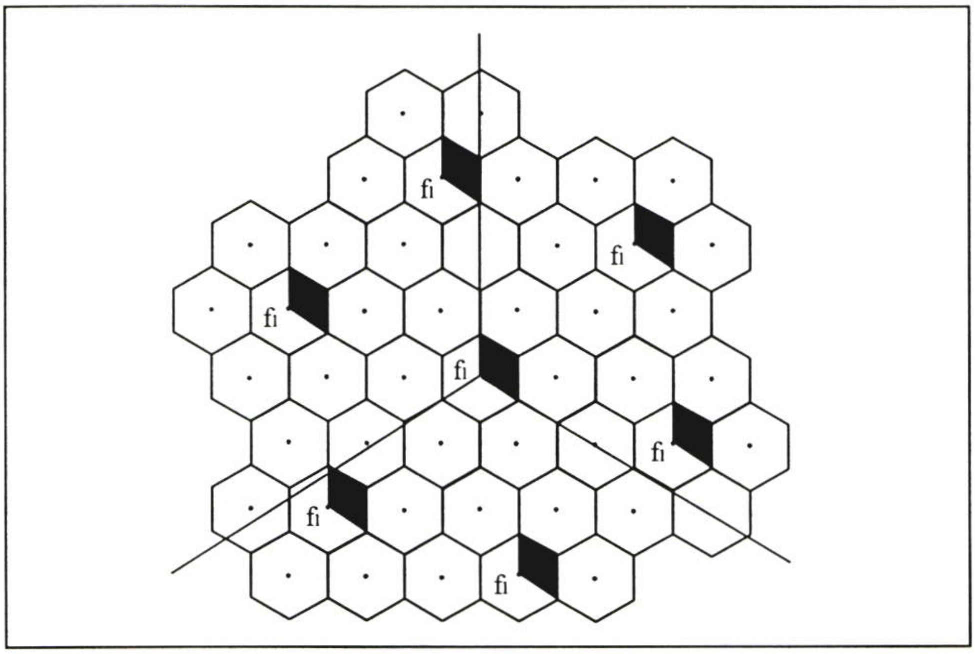
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างเซลหลังจากมีการแบ่งเซล

แต่ถ้าเป็นการแบ่งเซลแบบเซคเตอร์ตามที่แสดงดังรูปที่ 2.15 จะช่วยทำให้อินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้นภายในระบบมีค่าน้อยลง เพราะเซลที่มีการใช้แถบความถี่เดียวกันจะเกิดขึ้นในบางเซลเท่านั้น ดังแสดงตามรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 การแบ่งเซลแบบเซคเตอร์

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.16 การสัญญาณแทรกสอดในการแบ่งเซลแบบเซคเตอร์

ในการแบ่งเซลแบบเซคเตอร์นี้จะทำให้จำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สามารถรองรับปริมาณจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ และยังสามารถปรับกำลังรับส่งให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ในแต่ละเซคเตอร์ได้ ไม่จำเป็นต้องสร้างสถานีฐานเพิ่ม เพียงแต่ทำการเพิ่มสายอากาศของสถานีเดียวกันก็พอ

2.4 ความรู้เบื้องต้นของการวางเซลในระบบเซลลูล่าร์

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของปัญหาในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์

สำหรับการออกแบบจะยึดหลักแนวความคิดที่ว่าใช้แถบความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งทั้งนี้จะต้องตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ต้องมีความสะดวกสบาย ไม่มีสัญญาณรบกวนหรืออินเตอร์เฟอเรนซ์จากเซลข้างเคียง โดยปัจจัยต่างๆ ที่นำมาพิจารณาในการออกแบบระบบ ประกอบด้วย

- การนำเอาความถี่ที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่
- วิธีการสัญญาณรบกวน หรืออินเตอร์เฟอเรนซ์ระหว่างช่องความถี่ข้างเคียง
- ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน
- ระบบการแลกเปลี่ยนความถี่ขณะโทรศัพท์เคลื่อนที่เปลี่ยนเซล
- วิธีการแยกเซลต่างๆ ออกจากกัน

2.4.2 หลักการในการนำเอาความถี่มาใช้ใหม่

แถบความถี่ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์จะประกอบไปด้วย แถบความถี่ 2 ช่อง คือ ช่องความถี่ในการส่ง 1 ช่อง และช่องความถี่ในการรับ 1 ช่อง ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานแบบฟลูดูเพล็กซ์ (Full Duplex) การนำความถี่มาใช้ใหม่นี้เป็นหัวใจของการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ จึงจะเห็นว่าระบบการนำเอาความถี่มาใช้ใหม่นี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานแถบความถี่ได้มาก แต่ถ้าออกแบบมาไม่เหมาะสมอาจเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์อย่างรุนแรงได้ ดังนั้นการพิจารณาเรื่องอินเตอร์เฟอเรนซ์นี้ถือเป็นเรื่องสำคัญในการนำความถี่มาใช้ใหม่

การนำความถี่มาใช้ใหม่ สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ ใช้ในระบบเวลา (Time Domain) และในระบบที่ว่าง (Space Domain) ในระบบเวลานั้นจะทำการแบ่งช่องเวลา (Time Division Multiplex) ออกเป็นช่องเล็กๆ และใช้ความถี่ที่ซ้ำกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน เพื่อไม่ให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ระหว่างกันในการใช้งาน ส่วนในระบบแบ่งที่ว่าง (Space Division Multiplex) จะแบ่งย่อยเป็น 2 แบบ คือ การจัดความถี่เดียวกันให้ใช้คนละพื้นที่ และใช้ความถี่เดียวกันในระบบเดียวกัน และแบ่งเขตพื้นที่กัน

2.4.3 ระยะห่างของการนำความถี่มาใช้ใหม่

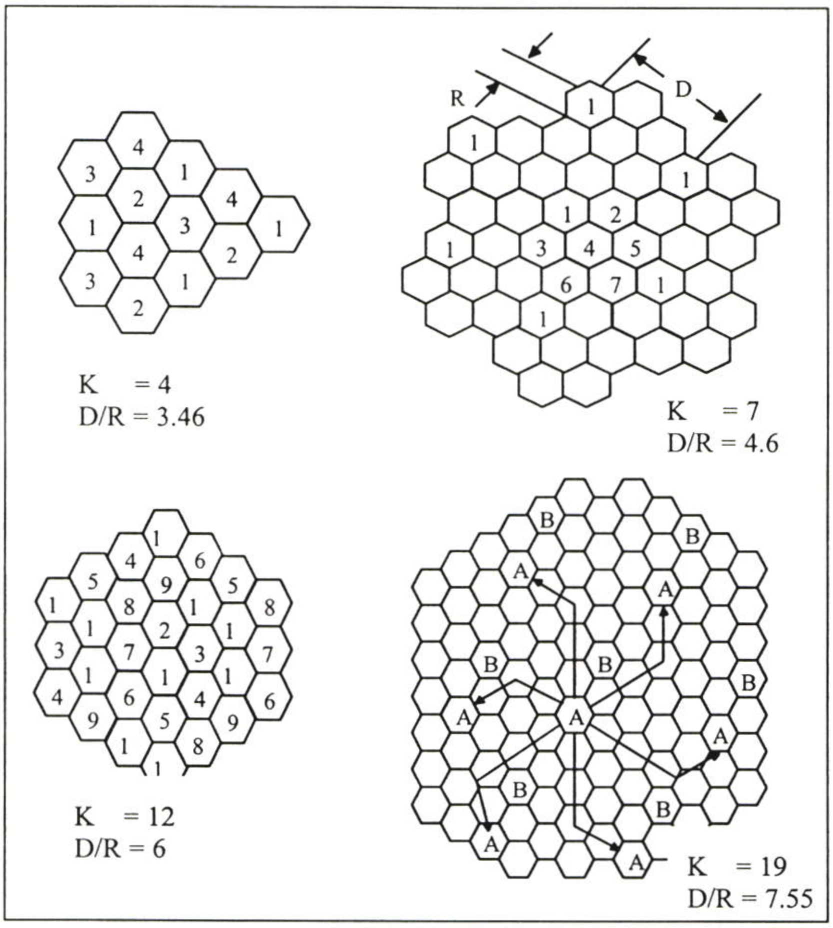
ระยะห่างที่ใกล้ที่สุดที่สามารถนำความถี่กลับมาใช้ใหม่นั้น จะขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น จำนวนของเซลรอบข้าง ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ความไวของเครื่องรับ ความสูง และกำลังส่งของเครื่องส่งจากสถานีฐาน และโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งถ้ากำหนดให้ D คือ ระยะห่างของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ จะได้ว่า

$$D = \sqrt{3K}R \qquad (2.4)$$

เมื่อ $K =$ จำนวนรูปแบบของการนำความถี่มาใช้ใหม่

$R =$ รัศมีของเซล

จากสมการ (2.4) จะเห็นว่า เมื่อ K มีค่าเพิ่มขึ้นระยะทางของการนำความถี่มาใช้ใหม่ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลให้ลดการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์กันในช่องความถี่เดียวกันในแต่ละเซล



รูปที่ 2.17 รูปแบบต่างๆ ในการนำเอาความถี่มาใช้ใหม่

2.4.4 การแบ่งแยกเซล

แรงกระตุ้นที่ทำให้เกิดการคิดค้นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ขึ้นมาก็เพื่อต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้ความถี่ แบบแผนการนำความถี่เดิมมาใช้ใหม่ก็เป็นแนวความคิดหนึ่ง การแบ่งแยกเซลก็เป็นอีกแนวความคิดหนึ่ง เมื่อปริมาณของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่มากขึ้นเรื่อยๆ จึงมีแนวความคิดที่จะแบ่งแยกเซลเดิมออกเป็นเซลเล็กๆ โดยปกติแล้วรัศมีของเซลใหม่จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของรัศมีเซลเดิม ซึ่งมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน จะได้ความสัมพันธ์ของเซลใหม่เป็น

$$R_{new} = \frac{R_{old}}{2} \tag{2.5}$$

$$A_{new} = \frac{A_{old}}{4} \tag{2.6}$$

เมื่อ R_{new} = รัศมีของเซลใหม่

R_{old} = รัศมีของเซลเดิม

A_{new} = พื้นที่ของเซลใหม่

A_{old} = พื้นที่ของเซลเดิม

2.4.4.1 เทคนิคในการแบ่งแยกเซล การแบ่งแยกเซลมี 2 วิธีด้วยกัน คือ

- การแบ่งเซลแบบถาวร

เซลที่ถูกแบ่งออกมาใหม่นี้ จะถูกติดตั้งอย่างถาวรแทนเซลเดิม โดยสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาคือ จำนวนช่องสัญญาณ กำลังส่ง ความถี่ที่กำหนด การเลือกสถานีฐาน ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ และต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงจากเซลเดิมไปสู่เซลใหม่

- การแบ่งเซลแบบไดนามิก

อาศัยหลักการของประสิทธิภาพการใช้งานเปคตรัมในแบบรีล ไทม์ (Real Time) ขั้นตอนสำหรับการแบ่งแยกเซลแบบนี้เป็นงานที่ซับซ้อนเนื่องจากมีการแบ่งแยกเซลเมื่อมีปริมาณผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น และยกเลิกการแบ่งเซลเมื่อมีปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ลดลงเป็นปกติที่ระบบสามารถรองรับได้

2.4.5 การพิจารณาส่วนประกอบของระบบเซลลูล่าร์

การออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ที่กล่าวมาแล้ว เราพิจารณาถึงส่วนประกอบต่างๆ ของเซลลูล่าร์ ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับอุปกรณ์นั้นอีก โดยจะกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในการเลือกสายอากาศ อุปกรณ์สวิทชิ่ง (Switching Equipment) และการเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link)

2.4.5.1 สายอากาศ

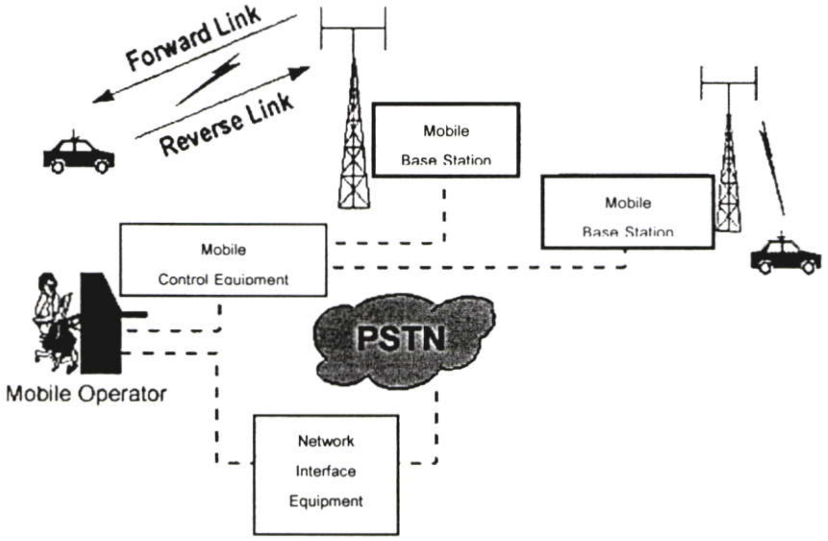
ลักษณะรูปแบบของสายอากาศ อัตราการขยายของสายอากาศ มุมเอียงของสายอากาศ และความสูงของสายอากาศ ล้วนแต่มีผลกระทบต่อการออกแบบระบบเซลลูล่าร์ทั้งสิ้น ลักษณะรูปแบบของสายอากาศสามารถเป็นได้ทั้งแบบรอบทิศทาง แบบกำหนดทิศทาง หรือรูปแบบอื่นๆ อัตราขยายของสายอากาศจะเป็นการชดเชยกำลังส่งของสายอากาศ

2.4.5.2 อุปกรณ์สวิทชิ่ง

ความจุของอุปกรณ์สวิทชิ่งในระบบเซลลูล่าร์ แต่ขึ้นกับความจุของโปรเซสเซอร์ที่อยู่ในสวิทช์ของระบบเซลลูล่าร์ขนาดใหญ่ ทั้งนี้เป็นเพราะเนื่องจากว่าระบบเซลลูล่าร์ไม่เหมือนกับระบบอื่น ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาคือ เมื่อไหร่ที่อุปกรณ์สวิทชิ่งจะถึงจุดที่มีความจุสูงสุด ซึ่งอายุการใช้งานของอุปกรณ์สวิทชิ่งจะแสดงจากระยะเวลาที่จะถึงจุดความจุเต็ม

2.4.5.3 ระบบการเชื่อมโยงข้อมูล

ตามรูปที่ 2.18 แสดงถึงระบบการเชื่อมโยงข้อมูล แม้ว่าจะไม่มีผลโดยตรงต่อระบบเซลลูล่าร์แต่ก็สำคัญต่อระบบ ในการที่จะนำพาข้อมูลต่างๆของช่องสัญญาณจากสถานีฐานไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อตอบสนองในการใช้งานของผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 2.18 แสดงภาพโดยทั่วไปของระบบสื่อสารไร้สายแบบเซลลูล่าร์

2.5 บทสรุป

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ได้ถูกนำมาใช้งานในระบบสื่อสารยุคปัจจุบัน เนื่องจากว่าสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ไม่ว่าจะเป็นด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน การรับส่งข้อมูล

สำหรับในการออกแบบโครงข่ายเซลลูล่าร์ได้ทำการพิจารณาลักษณะเซล หรือพื้นที่การให้บริการเป็นแบบลักษณะหกเหลี่ยม โดยได้นำเทคนิคต่างๆ เข้ามาใช้งานเพื่อให้ระบบเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งการแบ่งแยกเซล การนำความถี่กลับมาใช้ใหม่เป็นต้น

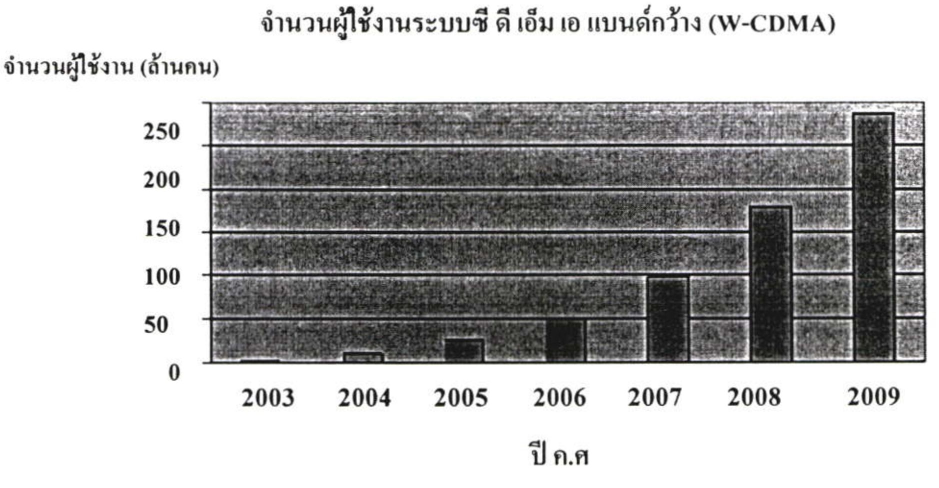
ในส่วนของการเชื่อมต่อเพื่อให้สามารถติดต่อระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานให้สามารถเชื่อมต่อและส่งผ่านข้อมูลระหว่างผู้รับและผู้ส่งได้อย่างต่อเนื่อง

บทที่ 3
ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและพื้นฐานเกี่ยวกับระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA) ซึ่งประกอบด้วยบทนำ ประวัติความเป็นมาและมาตรฐานของระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง โดยรายละเอียดของเนื้อหาทั้งหมดจะเป็นพื้นฐานเพื่อใช้ในการศึกษา และพิจารณาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3

3.1 กล่าวนำ

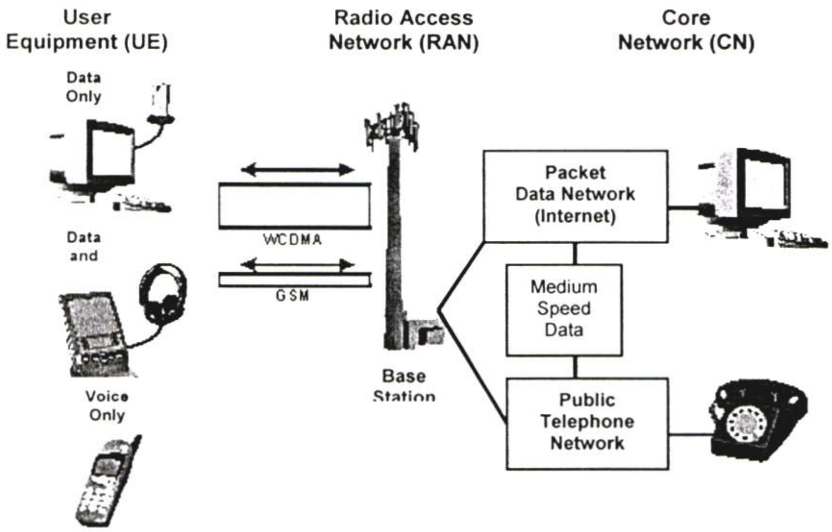
มาตรฐานของระบบการสื่อสารยุคที่ 3 ได้รับการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วในแถบพื้นที่ส่วนใหญ่ของโลก ซึ่งมีการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องจากยุคที่ 2 ตามที่ได้มีการใช้งาน ณ ปัจจุบัน เช่น ระบบ GSM หรือ IS-95 เป็นต้น โดยคุณลักษณะพิเศษของการสื่อสารยุคที่ 3 คือการรองรับอัตราข้อมูลที่มีความเร็วสูง การรับส่งข้อมูลทั้งเสียงและแบบแพ็คเกต อย่างเช่น การเข้าใช้งานอินเตอร์เน็ต การรับส่งข้อมูลวีดีโอ ตามรูปที่ 3.1 เป็นแนวโน้มปริมาณผู้ใช้งานในระบบ W-CDMA



รูปที่ 3.1 แนวโน้มจำนวนผู้ใช้งานในระบบ W-CDMA

ระบบ W-CDMA เป็นมาตรฐานจาก UMTS / IMT-2000 ทั้งยุโรปและญี่ปุ่นให้นำมาเป็นมาตรฐานในการพัฒนา โดยเทคโนโลยีที่นำมาใช้มีความสลับซับซ้อนและรองรับการใช้ด้านติดต่อสื่อสารได้อย่างคล่องตัว ซึ่งการให้บริการของระบบ W-CDMA สามารถรองรับประเภทของอุปกรณ์ได้

หลากหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ โทรศัพท์พื้นฐาน หรือการเชื่อมเข้าสู่ระบบเน็ตเวิร์ค ตามที่แสดงดังรูป 3.2 [3]

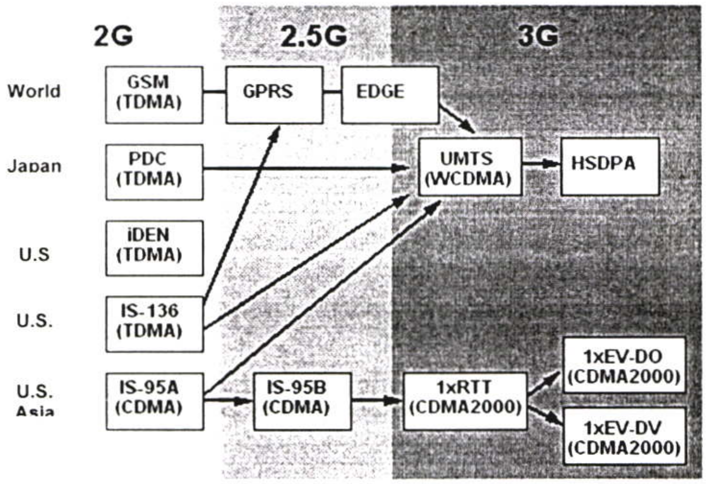


รูปที่ 3.2 การให้บริการของ W-CDMA

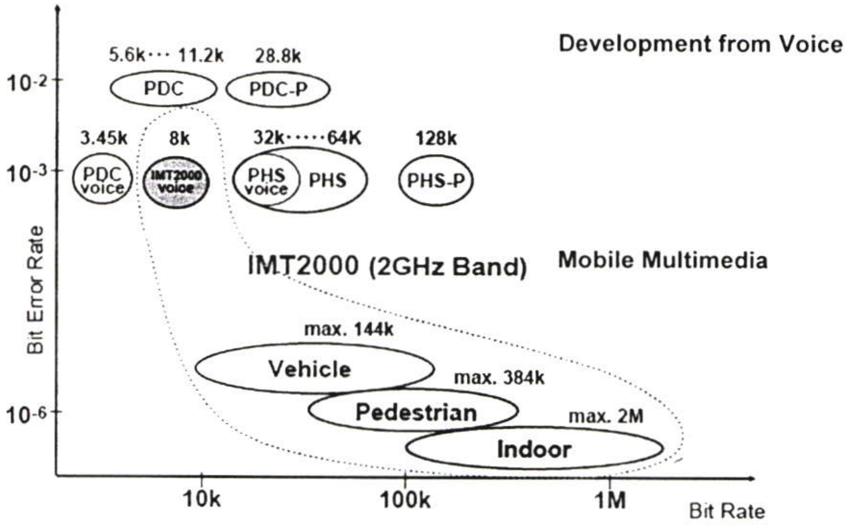
3.2 ประวัติความเป็นมาของระบบเซลลูล่าร์ซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าระบบ W-CDMA เป็นที่รู้จักกันดีว่า ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อ [4] ให้เกิดความพึงพอใจในการใช้งานและตอบสนองกับความต้องการใช้งานข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูง รวมไปถึงรองรับการเข้าใช้งานระบบในเวลาพร้อมๆกันของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งตามรูปที่ 3.3 แสดงการพัฒนาการเข้าสู่ระบบการสื่อสารยุคที่ 3 และความสามารถในการรองรับอัตราการรับส่งข้อมูล

การพัฒนาระบบW-CDMAนั้นมีการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง การเริ่มต้นของระบบเซลลูล่าร์ซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้างได้จินตนาการแผ่ขยายความถี่ที่ 5MHz ในอนาคตระบบนี้ถูกวางแผนแผ่ขยายความถี่ในช่วง 10 หรือ 20 MHz



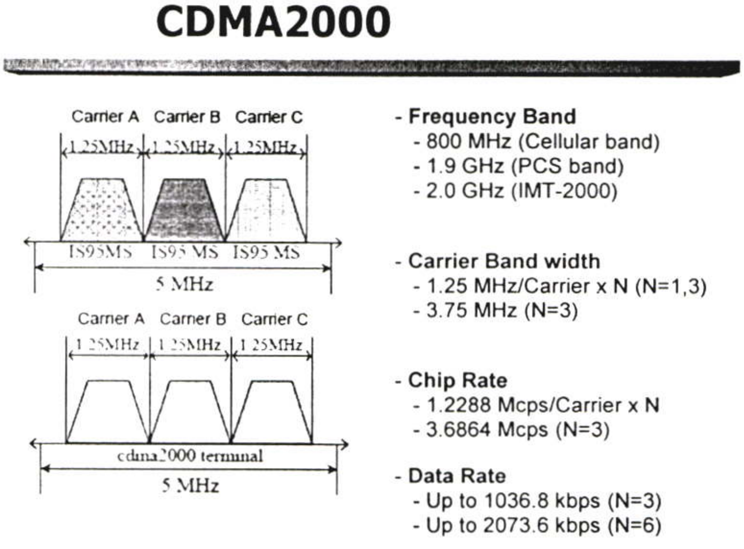
รูปที่ 3.3 แสดงการพัฒนาการเข้าสู่ระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3



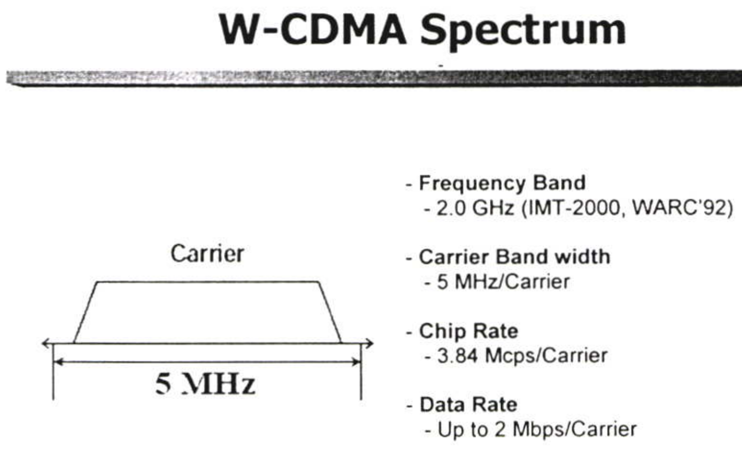
รูปที่ 3.4 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สายที่เข้าสู่ยุคที่ 3

3.2.1 การเปรียบเทียบระหว่าง W-CDMA กับ CDMA2000

ระบบเซลลูล่าร์ในยุคที่ 3 ความเร็วของการส่งข้อมูลที่ 2 Mbps ใช้ช่วงความถี่ที่ 5 MHz หากเป็นในกรณีระบบ CDMA2000 จะแบ่งช่วงความถี่เป็น 3 ช่วง คือช่วงละ 1.25 MHz. (1.25 x 3) ในระบบ CDMA2000 สามารถใช้ใช่วงความถี่ที่ 2 GHz และ 800 MHz ได้ดี เนื่องจากได้รับการอนุมัติจาก ITU ที่ทำการเพิ่มความถี่สำหรับการสื่อสารยุคที่ 3 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น ตามรูปที่ 3.5 และ 3.6 เป็นการแสดงให้ช่วงความถี่ของระบบ CDMA2000 และ W-CDMA ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 แสดงแถบความถี่ของระบบ CDMA2000



รูปที่ 3.6 แสดงแถบความถี่ของระบบ W-CDMA

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างระบบ W-CDMA และ CDMA2000

	W - CDMA	**CDMA2000**	
		1X	**3X**
Access Method	Direct Spread	Mutli Carrier	Multi Carrier
Chip Rate	3.84 Mcps (3.84 x 1)	1.2288 Mcps (1.2288 x 1)	3.6864 Mcps (1.2288 x 3)
Inter BTS Sync.	Async. / Sync.	Synchronous	Synchronous
Pilot Structure	Common Pilot	Common Pilot	Common Pilot
RF Resource Management	Simple	Simple	Complicated
MS Design	Simple	Simple	Complicated
Data Speed	~ 2 Mbps (5 MHz/Carrier)	~ 144 kbps (1.25 MHz/Carrier)	~ 2 Mbps (1.25 MHz/Carrier x 3)

3.3 มาตรฐานของระบบเซลลูล่าร์ซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)

ในระบบเซลลูล่าร์ซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้างมีตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงาน และประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตารางที่ 3.2 และ 3.3 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างระบบ W-CDM กับ GSM และเปรียบคุณสมบัติระบบ W-CDMA กับ IS-95 ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวดังต่อไปนี้ [5]

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของระบบ W – CDMA กับ GSM

	W – CDMA	**GSM**
Carrier spacing	5 MHz	200 kHz
Frequency reuse factor	1	1 - 18
Power control frequency	1500 Hz	2 Hz or lower
Quality control	Radio resource management algorithms	Network planning (frequency planning)
Frequency diversity	5 MHz bandwidth gives multipath diversity with Rake receiver	Frequency hopping
Packet data	Load-based packet scheduling	Time slot based scheduling with GPRS
Downlink transmit diversity	Supported for improving downlink capacity	Not supported by the standard, but can be applied

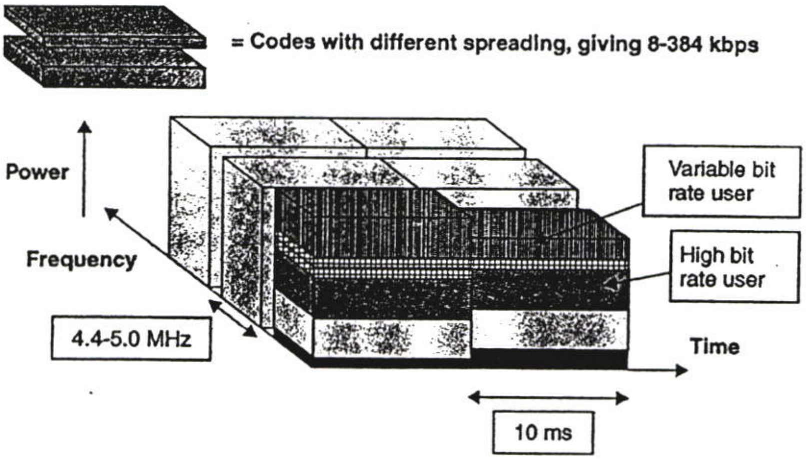
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของระบบ W – CDMA กับ IS-95

	W – CDMA	**IS-95**
Carrier spacing	5 MHz	1.25 MHz
Chip rate	3.84 Mcps	1.2288 Mcps
Power control frequency	1500 Hz, both uplink and downlink	Uplink : 800 Hz, downlink : slow power control
Base station synchronization	Not needed	Yes, typically obtained via GPS
Inter-frequency handovers	Yes, measurements with slotted mode	Possible, but measurement method not specified
Efficient radio resource management algorithms	Yes, provides required quality of service	Not needed for speech only networks
Packet data	Load-based packet scheduling	Packet data transmitted as short circuit switched calls
Downlink transmit diversity	Supported for improving downlink capacity	Not supported by the standard, but can be applied

3.3.1 ตัวแปรพื้นฐานในระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)

หัวข้อนี้จะนำเสนอเพื่อให้ทราบถึงตัวแปรพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบหลักของระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง ซึ่งรายละเอียดแต่ละตัวแปรมีดังนี้

- ระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง คือระบบการเข้ารหัสข้อมูลแบบ DS-CDMA (Wideband Direct-Sequence Code Division Multiple Access) นั้นคือข่าวสารของผู้ใช้งานจะถูกแผ่ขยายครอบคลุมกว้างด้วยการคูณกับลำดับรหัสชิป (Chips) ทั้งนี้เพื่อเป็นการรองรับการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง และมีการใช้ตัวแปร และหลายรหัสในการเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ซึ่งจะเห็นดังรูปที่ 3.7

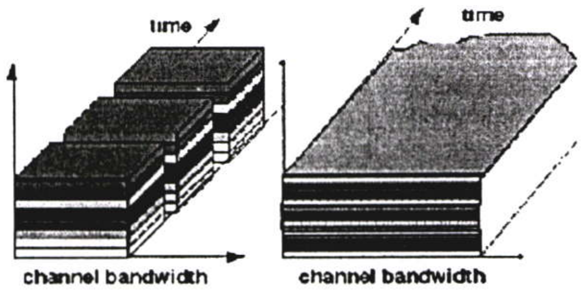


รูปที่ 3.7 แสดงการแบ่งแบนด์วิธในระบบ W-CDMA

- อัตราชิปเท่ากับ 3.84 Mcps เพื่อนำไปใช้เป็นพาหะที่ความถี่เท่ากับ 5MHz โดยทั่วไปการใช้พาหะที่มีแบนด์วิธกว้างจะช่วยรองรับการใช้งานที่อัตราเร็วสูง และยังคงประสิทธิภาพได้อยู่

- ระบบ W-CDMA รองรับการรับส่งข้อมูลที่อัตราความเร็วของข้อมูลหลากหลายสอดคล้องกับหลักการของความต้องการใช้แบนด์วิธ ข้อมูลของผู้ใช้งานจะถูกรักษาความเร็วอยู่ที่ 10 ms

- ระบบ W-CDMA รองรับกับการทำงานทั้ง FDD (Frequency Division Duplex) และ TDD (Time Division Duplex)



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบความถี่ในระบบ FDD กับ W-CDMA

- รองรับการทำงานของสถานีฐานแบบ Asynchronous

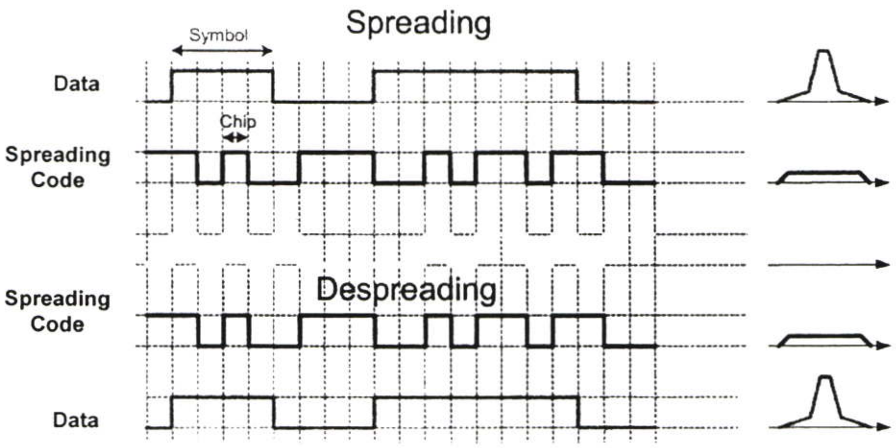
- ระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้างใช้การทำงานของ Coherent Detection ทั้งอัพลิงค์และดาวน์ลิงค์

- ระบบ W-CDMA มีเทคนิคสำหรับด้านรับที่พัฒนามากกว่าระบบ CDMA ซึ่งใช้ตามความเหมาะสมเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณความจุ และขยายขอบเขตการให้บริการ

- ระบบ W-CDMA ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อเข้ามาแทนระบบ GSM โดยประเด็นที่นำมาสนับสนุนคือการเกิดการเปลี่ยนถ่ายเซล

3.3.2 การสเปรดสเปคตรัมและดีสเปรดสเปคตรัม

การสื่อสารระบบ W-CDMA สเปคตรัมของสัญญาณจะถูกขยายออกไปในแถบความถี่ที่กว้างกว่าแถบความถี่ที่บรรจุข้อมูล ซึ่งมีผลให้กำลังของสัญญาณกระจายออกไปบนแถบความถี่สเปคตรัมที่กว้างมาก โดยข้อมูลที่ผ่านการมอดดูเลตแล้วจะถูกนำมาเข้ากระบวนการขยายแถบความถี่ (Spreading) ด้วยรหัสการสเปรด ส่วนด้านเครื่องรับก็จะใช้รหัสการสเปรดที่เหมือนกันกับด้านส่งเพื่อให้ได้รับข้อมูลเดิมกลับคืนมา โดยสัญญาณที่แทรกสอดเข้ามาและสัญญาณรบกวนต่างๆ จะไม่มีความเป็นสัมพันธ์กับรหัสการสเปรด ดังนั้นจึงทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้ รูปที่ 3.9 แสดงการสเปรดสเปคตรัมและการดีเสปรดสเปคตรัม สำหรับวิธีการสเปรดที่นิยมใช้มีอยู่ 2 วิธีคือ

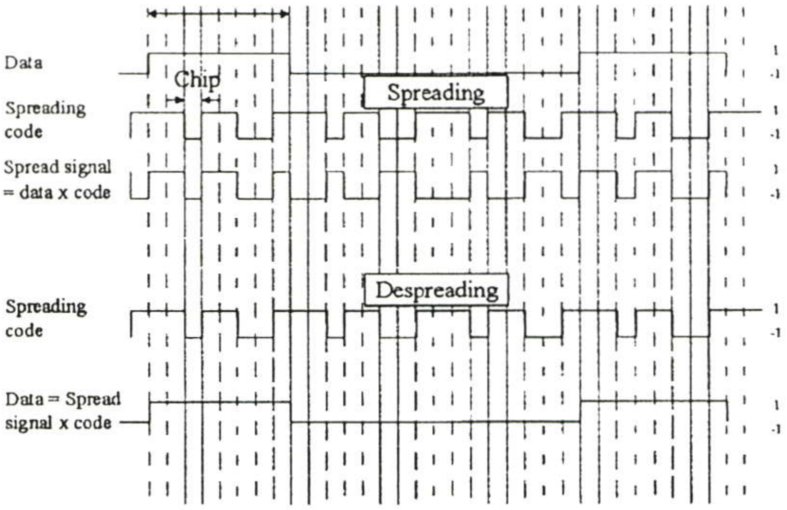


รูปที่ 3.9 แสดงการสเปรดสเปคตรัมและดีสเปรดสเปคตรัม

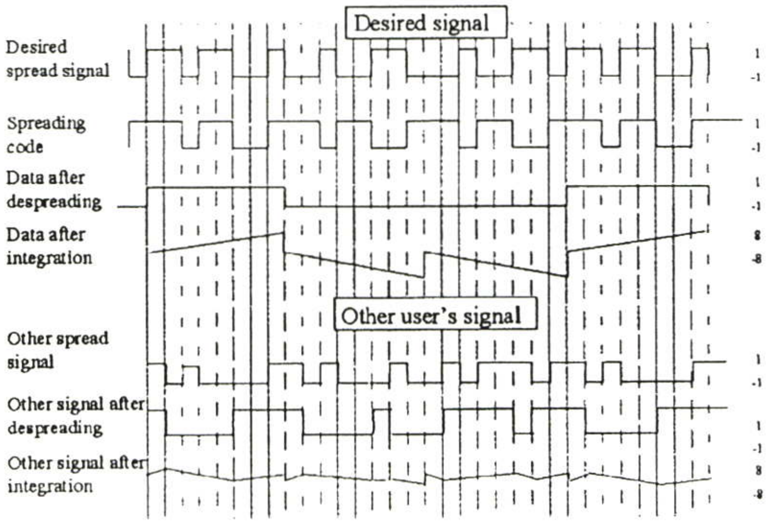
1. ไดเรคซีเควนซ์ (Direct Sequence) เป็นการสเปรดแบบเร็ว คือการใช้อัตราชิปที่หลายเมกกะชิปต่อวินาทีจะทำให้เกิดความแตกต่างทางเวลาหรือระยะทางที่ดีขึ้น โดยส่งผลให้สามารถทำการตรวจสอบการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องรับและส่งทำได้ง่ายขึ้น

2. ฟรีเควนซีฮอปปิง (Frequency Hopping) ใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ในการสลับความถี่กลางของสัญญาณให้เป็นความถี่ที่แตกต่างกันออกไปตามอัตราความเร็วที่กำหนด

ตามรูปที่ 3.10 และ 3.11 แสดงการสเปรดสเปคตรัม และการดีสเปรดสเปคตรัมของสัญญาณที่ต้องการและไม่ต้องการตามลำดับ โดยสมมติให้ข้อมูลมีการมอดดูเลตแบบ BPSK มีอัตราเท่ากับ R และขนาดเท่ากับ ± 1



รูปที่ 3.10 การสเปรดและดีสเปรดสเปคตรัมของสัญญาณที่ต้องการ



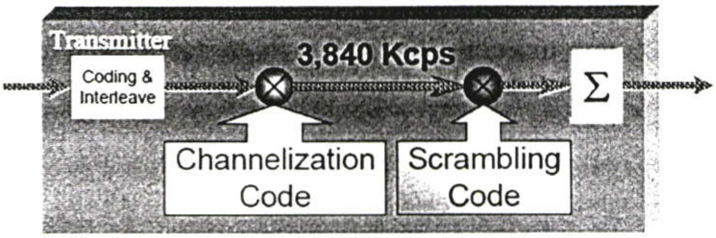
รูปที่ 3.11 การสเปรดและดีสเปรดสเปคตรัมของสัญญาณที่ไม่ต้องการ

จำนวน 8 บิต หรือที่เรียกว่า "ชิป" (Chip) สัญญาณที่ได้หลังการสเปรดนั้นอัตราข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ $8 \times R$ หลังการดีสเปรด สัญญาณที่ได้รับจะมีลักษณะคงเดิมโดยสมบูรณ์

กรณีการสื่อสารในระบบW-CDMAรหัสที่ใช้ในการสเปรดสเปคตรัมคือ "รหัสสัญญาณรบกวนเทียม" (Pseudo Noise) หรืออนุกรมสัญญาณรบกวนเทียม (Pseudorandom Sequence) ซึ่งเป็นรหัสสัญญาณเชิงคาบโดยธรรมชาติ แต่อยู่ในความถี่ที่แน่นอน โดยมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (Gaussian Noise) รหัสการสเปรดสัญญาณต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

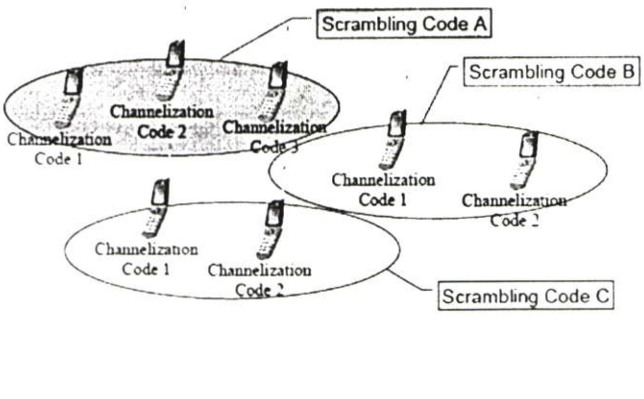
- ฟังก์ชันออโตคอรีเลชั่น (Auto Correlation Function) ของรหัสต้องมีค่าสูงสุดและคมเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนและใช้ในการสร้างการเข้าจังหวะทางเวลา
- ค่าครอสคอรีเลชั่น (Cross Correlation) ของรหัสต้องมีค่าเป็นยูนิฟอร์ม สำหรับการเข้าถึงแบบหลายทางในเทอมเวลา (Time Division Multiple Access)
- สามารถสร้างกลุ่มรหัสที่แตกต่างกันได้ ซึ่งใช้ในการหาจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้

ระบบ W-CDMA ในด้านการส่งสัญญาณ (Transmitter) การสเปรดสัญญาณมีการเข้ารหัส 2 แบบ โดยรหัสครั้งแรกที่ใช้ในการสเปรดคือ Channelization Code และครั้งที่สองคือ Scrambling Code โดยการสเปรดทั้ง 2 ครั้งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 [6]



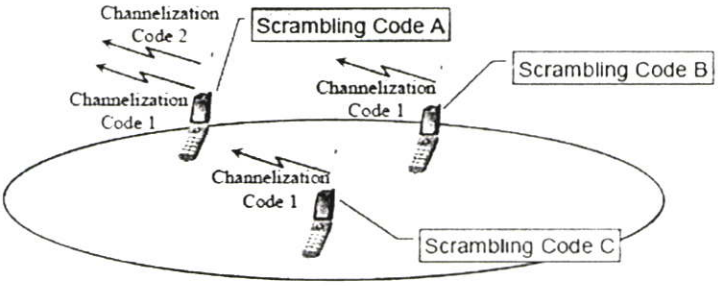
รูปที่ 3.12 การเข้ารหัสในระบบ W-CDMA

กรณีการเชื่อมโยงขาลงจะใช้ Scrambling Code ในการระบุเซล และ Channelization Code ระบุโทรศัพท์เคลื่อนที่ แสดงตามรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการใช้รหัสกรณีการเชื่อมโยงขาลง

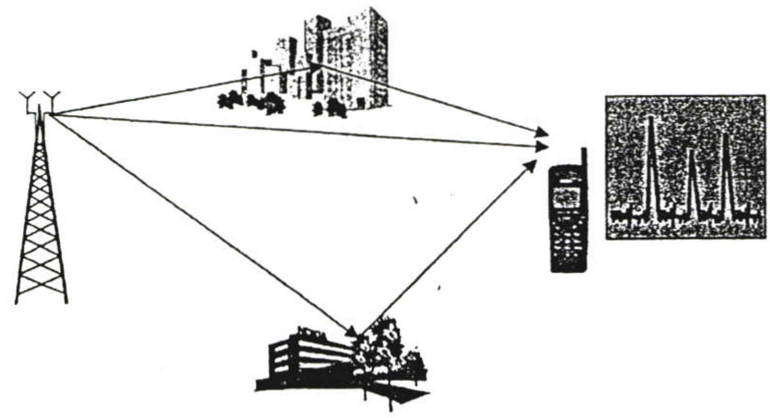
ในทำนองกลับกันด้านการเชื่อมโยงขาขึ้นใช้ Scrambling Code การระบุโทรศัพท์เคลื่อนที่และ Channelization Code ระบุช่องสัญญาณภายในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการใช้รหัสกรณีการเชื่อมโยงขาขึ้น

3.3.3 คลื่นวิทยุหลายทางทิศทางและการรับแบบเรค

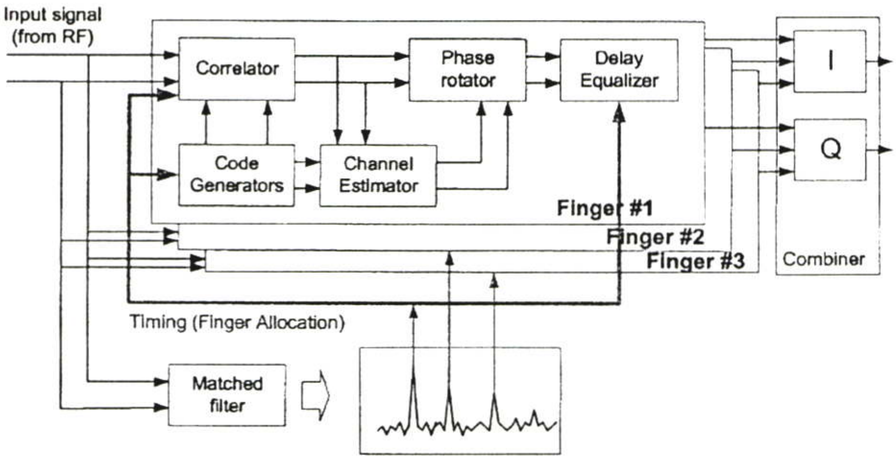
การแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุระว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ [7] จะเกิดการจางหายของสัญญาณขึ้น เพราะว่าเมื่อสัญญาณวิทยุตกกระทบกับสิ่งก่อสร้าง อาคาร หรือภูเขาแล้วสะท้อนไปยังเครื่องรับหลายทิศทางที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบและก่อให้เกิดปัญหาอยู่ 2 ประเด็น คือ เกิดความล่าช้า (Time Delay) และฟาสเฟดดิ้ง (Fast Fading)



รูปที่ 3.15 แสดงการจางหายของสัญญาณคลื่นวิทยุ

ตามที่มีการใช้รหัสสัญญาณรบกวนเทียม (Pseudonoise) ที่มีความเร็วสูงจะทำให้เกิดค่าสูงสุดของออโตคอรีเลชั่นในการตอบสนองต่อการหน่วงเวลาที่แตกต่างกัน ผลกระทบจากสัญญาณแบบมัลติพาธจะทำให้เกิดการตอบสนองหลายเส้นทาง เนื่องจากในระบบไดเร็คซีเควนซ์สามารถแยกสัญญาณ

แต่ละเส้นทางออกเป็นช่วงเวลาได้โดยการแก้การสเปรดสัญญาณแต่ละเส้นทางและสังเคราะห์ความถี่สัญญาณในแต่ละเส้นทางได้ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้เรียกว่าเป็น **“Path Diversity”**

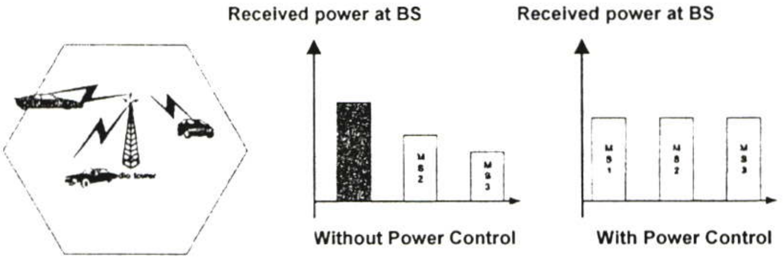


รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมของเครื่องรับแบบ Rake Receiver

รูปที่ 3.16 แสดงให้การทำงานของเครื่องรับแบบ Rake Receiver เป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณแบบหลายเส้นทางที่มีลักษณะเป็นแบบสุ่ม ซึ่งเครื่องรับแบบ Rake Receiver มีลักษณะการรับเป็นแบบดัชนีในการรับสัญญาณหลายๆ เส้นทาง

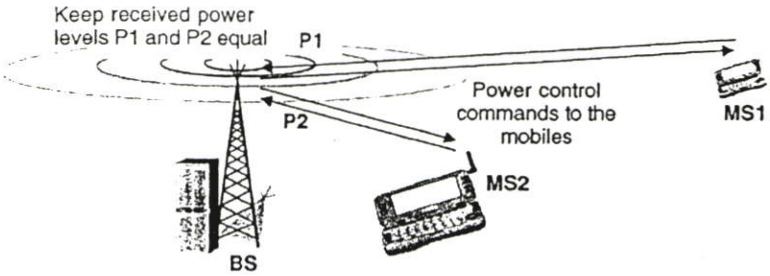
3.3.4 การควบคุมกำลัง

การสื่อสารในระบบ W-CDMA การควบคุมกำลังเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญโดยเฉพาะกรณีการในทิศทางของอัพลิงค์ จะมีผู้ใช้งานทั้งอยู่ใกล้และไกลกับสถานีฐานและอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างเซลในกรณีที่เป็นการสื่อสารในทิศทางของอัพลิงค์ ถ้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่เท่ากันจะทำให้กำลังสัญญาณที่รับได้ ณ สถานีฐานมีระดับสัญญาณที่แตกต่างกันมาก ซึ่งความสามารถของระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้างในการกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกจะขึ้นอยู่กับอัตราขยายของการประมวลผล (Processing Gain) ของระบบด้วย ซึ่งปัญหานี้เป็นที่รู้จักกันโดยเรียกว่า “ปัญหาระยะใกล้ไกล” วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหานี้ เพื่อให้ระบบมีปริมาณความจุสูงสุดคือทำให้กำลังรับที่สถานีฐานมีค่าเท่ากันในทุกโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบกำลังรับ ณ สถานีฐานกรณีมีการควบคุมกำลังส่งกับไม่มีควบคุมกำลังส่ง

การควบคุมกำลังส่ง เป็นการปรับระดับกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อทำให้สถานีฐานได้รับกำลังจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระดับที่เท่ากัน โดยวิธีที่ง่ายที่สุดในการควบคุมกำลังส่งคือการให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ตรวจสอบระดับสัญญาณที่รับได้จากสถานีฐานแล้วปรับระดับกำลังส่งให้มีค่าเป็นสัดส่วนกลับของความเข้มสัญญาณที่รับได้ โดยโทรศัทพ์เคลื่อนที่ที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับสถานีฐานจะมีกำลังส่งน้อยกว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนอื่นที่มีตำแหน่งอยู่ไกลออกไป เพื่อให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่บริเวณรอยต่อเซลสามารถใช้การควบคุมกำลังส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องตอบสนองต่อสัญญาณจากสถานีฐานที่มีระดับความเข้มสูงสุด ซึ่งส่งผลให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ลดกำลังส่งได้มากที่สุด แต่หากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยังคงสามารถตอบสนองต่อสัญญาณในสถานีฐานที่อยู่ไกลได้ก็จะส่งผลให้เกิดสัญญาณแทรกสอดต่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นที่อยู่ใกล้สถานีฐานได้ ซึ่งกำลังรับ ณ สถานีฐานของทั้ง 2 กรณี แสดงตามรูปที่ 3.18

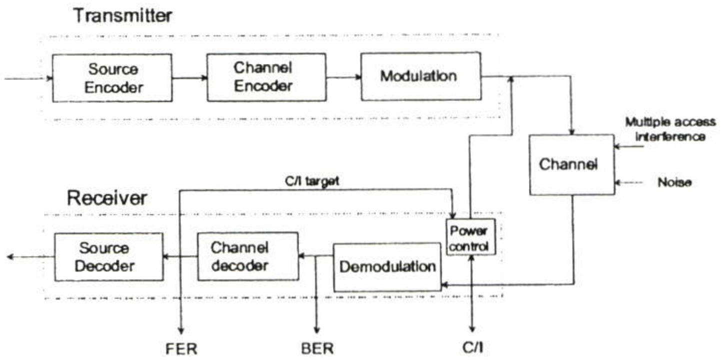


รูปที่ 3.18 แสดงการควบคุมกำลังในระบบ W-CDMA

ตามรูปที่ 3.18 แสดงโทรศัพท์เคลื่อนที่ MS1กับ MS2 ทำงานที่ความถี่เดียวกัน แต่ตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ MS1 และ MS2 แตกต่างกัน คือ MS1 อยู่ตรงบริเวณขอบเซลและ MS2 อยู่ใกล้กับสถานีฐาน ซึ่งถ้านำเทคนิคการควบคุมกำลังมาใช้ ที่สถานีฐานจะได้รับกำลังจาก MS1 และ MS2 เท่ากัน

ในกรณีการส่งสัญญาณทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น สถานีฐานจะทำการเปรียบเทียบค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SIR Signal to Interference) ระหว่างค่า SIR ที่รับได้ ($SIR_{received}$) กับ SIR ที่ตั้งไว้ SIR_{target} โดยความเร็วที่ใช้ในการตรวจสอบค่า SIR เท่ากับ 1,500 รอบต่อวินาที (1.5 kHz) สำหรับแต่ละโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเมื่อค่า $SIR_{received} > SIR_{target}$ สถานีฐานจะสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ลดกำลังในการส่ง และในทางตรงกันข้าม ถ้าค่า $SIR_{received} < SIR_{target}$ สถานีฐานจะสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มกำลังในการส่ง

สำหรับการส่งสัญญาณทิศทางการเชื่อมโยงขาลงจะไม่ประสบกับปัญหาระยะใกล้ไกล เนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณจากสถานีฐานเพียงแหล่งเดียวไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในเซลเดียวกัน แต่จะพบกับปัญหาที่เกิดสัญญาณแทรกสอดจากเซลอื่นแทน



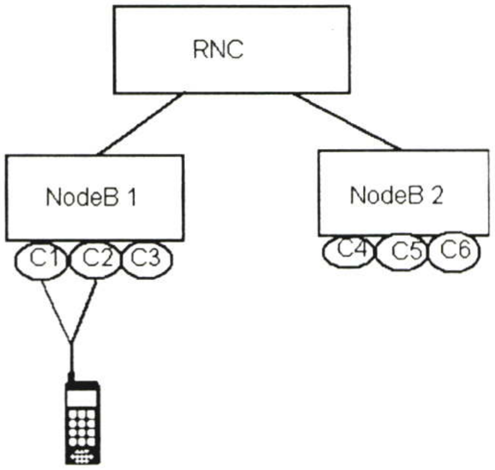
รูปที่ 3.19 วงจรการทำงานการควบคุมกำลังในระบบ W-CDMA

3.3.5 แฮนด์โอเวอร์

การสื่อสารในระบบเซลลูล่าร์ การเปลี่ยนถ่ายเซลเป็นองค์ประกอบสำคัญ เนื่องจากว่าการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งคุณภาพ และปริมาณของสัญญาณที่ไม่แน่นอนภายในระบบ บางครั้งการเคลื่อนที่อาจจะมีการเปลี่ยนสถานีฐานที่ให้บริการอยู่ด้วย ซึ่งการเปลี่ยนถ่ายเซลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด [8] คือ

3.3.5.1 ซอฟเตอร์ แฮนด์โอเวอร์ (Softer Handover)

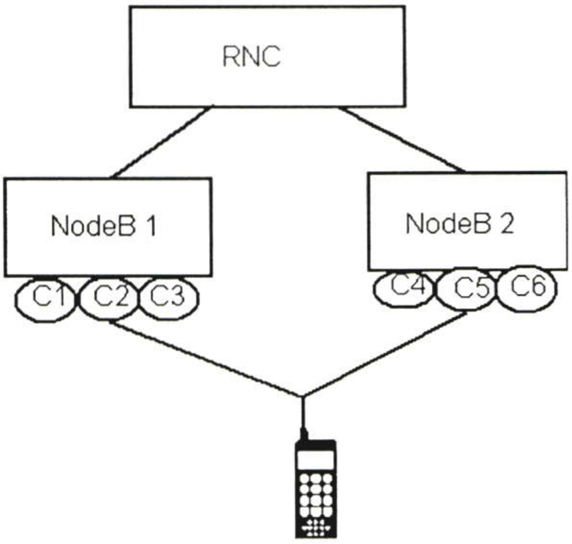
เป็นการเปลี่ยนถ่ายเซลที่เกิดขึ้น เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ในบริเวณที่มีการซ้อนทับกันของเซล ซึ่งเชื่อมต่ออยู่ภายใต้สถานีฐานเดียวกัน สำหรับกรณีการสื่อสารทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น กระบวนการเปลี่ยนถ่ายเซลแบบซอฟเตอร์จะเกิดขึ้น ณ สถานีฐาน โดยที่มีการทำงานของการควบคุมกำลังเพียงหนึ่งวงจรเท่านั้นโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนถ่ายเซลแบบซอฟเตอร์ ประมาณ 5-15% เหตุการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนถ่ายเซลนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงการเกิดซอฟเตอร์ แฮนด์โอเวอร์

3.3.5.2 ซอฟ แฮนด์โอเวอร์ (Softer Handover)

เป็นการเปลี่ยนถ่ายเซลที่เกิดขึ้นเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณซ้อนทับกันของเซล และเชื่อมต่อต่างสถานีฐานกัน กรณีการสื่อสารในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น กระบวนการเปลี่ยนถ่ายเซลแบบซอฟ แฮนด์โอเวอร์จะเกิดขึ้น ณ สถานีฐานทั้งสองสถานีฐาน โดยจะเกิดกระบวนการควบคุมกำลังสองวงจรต่อการเชื่อมต่อ ซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนถ่ายเซลแบบซอฟเตอร์ (Softer) ที่มีกระบวนการควบคุมกำลังเพียงวงจรเดียวเท่านั้น ทั่วไปแล้วโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนถ่ายเซลแบบซอฟในระบบมีประมาณ 20-40% เหตุการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนถ่ายเซลแบบซอฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงการเกิดซอฟแฮนด์โอเวอร์

3.4 ปริมาณความจุระบบซี ดี เอ็ม เอ แบนด์กว้าง (W-CDMA)

3.4.1 ความจุของเซลในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น

การสื่อสารในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น [9] จะเกิดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในแต่ละเซล เพื่อความสะดวกในการอธิบายความจุของเซล จึงได้กำหนดตัวแปรต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้ในการพิจารณา ได้แก่ ปริมาณโหลดของทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น (μ_{UL}) ปริมาณลดทอนสัญญาณทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น (NR_{UL}) สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซล (I_o) กำลังที่รับ ณ สถานีฐาน (P_i) และแทนกำลังที่รับทั้งหมดในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น (P_{rx_total}) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของปริมาณลดทอนสัญญาณทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้นเป็นตามสมการ

$$NR_{UL} = \frac{P_{rx_total}}{I_o} \tag{3.1}$$

สำหรับความสัมพันธ์ของปริมาณโหลดที่เกิดขึ้นในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้นจะเป็นไปตามสมการ เมื่อ N คือจำนวนผู้ใช้งานภายในเซล

$$\mu_{UL} = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i}{P_{rx_total}} \tag{3.2}$$

จากสมการ (3.1) และ (3.2) เป็นความสัมพันธ์ในกรณีที่ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอดจากเซลอื่นๆ ซึ่งปริมาณลดทอนสัญญาณและโหลดที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์ที่ไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นรูปแบบความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองสามารถแสดงได้ตามสมการ (3.3) และ (3.4)

$$NR_{UL} = \frac{1}{1-\mu_{UL}} \tag{3.3}$$

$$\mu_{UL} = 1 - \frac{1}{NR_{UL}} = \frac{P_{rx_total} - I_o}{P_{rx_total}} \tag{3.4}$$

จากสมการ (3.3) และ (3.4) แสดงให้เห็นว่าโหลดในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกำลังทั้งหมด ณ สถานีฐาน ปกติการส่งสัญญาณจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน ย่อมถูกการรบกวนจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆทั้งที่อยู่ภายในเซลเดียวกันหรือเซลข้างเคียง ดังนั้นกำลังรับที่สถานีฐานจะมีปริมาณตามสมการ

$$P_{rx_total} = I_o + I_{intracell} + I_{intercell} = I_o + (1+F)\sum_{i=1}^{N} P_i \tag{3.5}$$

โดยกำหนดให้ F คืออัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลข้างเคียงกับภายในเซล ซึ่งแสดงได้ตามสมการ

$$F = \frac{I_{intercell}}{I_{intracell}} = \frac{\sum P_j}{\sum P_i} \tag{3.6}$$

เมื่อ $I_{intercell}$ คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลข้างเคียง

$I_{intracell}$ คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซล

P_j คือ กำลังรับ ณ สถานีฐานจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของเซลข้างเคียง

P_i คือ กำลังรับ ณ สถานีฐานจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซล

ดังนั้นเราสามารถแสดงปริมาณโหลดทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น ในรูปของอัตราส่วนสัญญาณแทรกสอดกับกำลังรับได้ตามสมการ

$$\mu_{UL} = (1+F)\frac{\sum_{i=1}^{N} P_i}{P_{rx_total}} \tag{3.7}$$

ถ้าจัดรูปแบบสมการ (3.7) ใหม่เพื่ออยู่ในรูปของกำลังรับจะได้ตามสมการ

$$P_i = \frac{(E_b/N_o)u_i}{PG_i}(P_{rx_total} - P_i) \tag{3.8}$$

เมื่อ u_i คือ แอคทิวิตี้เฟคเตอร์ $0 < u_i < 1$

$(E_b/N_o)_i$ คือ อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด

PG_i คือ อัตราขยายของการประมวลผล (Processing Gain)

นำสมการ (3.8) แทนค่าลงในสมการ (3.7) จะได้ปริมาณโหลดที่เกิดขึ้นเป็นตามสมการ

$$\mu_{UL} = (1+F)\sum \frac{1}{1+\left[PG_i/((E_b/N_0)_i u_i\right]} \tag{3.9}$$

3.4.2 ความจุของเซลในทิศทางการเชื่อมโยงขาลง

กรณีการสื่อสารในทิศทางของการเชื่อมโยงขาลงนั้น ปริมาณความจุจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งจากสถานีฐาน ซึ่งแตกต่างกับทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้น โดยกำลังรับของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นตามสมการ

$$P_{tx_i} = \frac{(I_o + I_{intra} + I_{inter})(E_b/N_o)\upsilon_i}{PG_i} \tag{3.10}$$

เมื่อ I_o คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

I_{intra} คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซล

I_{inter} คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลข้างเคียง

υ_i คือ แอคทิวิตี้เฟคเตอร์ $0 < \upsilon_i < 1$

สำหรับค่าสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในเซลเดียวกัน สามารถแสดงได้ตามสมการ

$$I_{intra} = \frac{\alpha\left(P_{rx_total} - P_{tx_i}\right)}{PL_i} \tag{3.11}$$

เมื่อ α คือ ออร์โทกอนอลเฟคเตอร์

P_{tx_i} คือ กำลังส่งจากสถานีฐานของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่

P_{tx_total} คือ กำลังส่งทั้งหมดในกรณีการเชื่อมโยงขาลง

PL_i คือ ปริมาณลดทอนสัญญาณตามระยะทาง

ในส่วนของค่าสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลข้างเคียง แสดงได้ตามสมการ

$$I_{inter} = F_{DL} \frac{P_{tx_total}}{PL_i} \tag{3.12}$$

เมื่อ F_{DL} คือ อัตราส่วนสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลกับภายในเซล

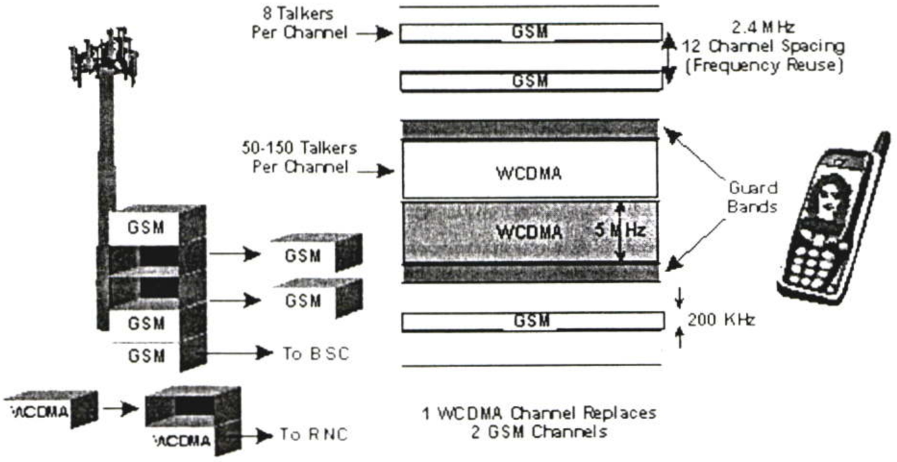
หากทำการแทนค่า I_{intra} และ I_{inter} ตามสมการ (3.11) และ (3.12) ดังนั้นจะได้ปริมาณกำลังรับของโทรศัพท์ตามสมการ

$$P_{tx_i} = ((E_b/N_o)_i \upsilon_i)/PG_i)\lfloor I_o PL_i + (\alpha + F_{DL})P_{tx_total} - \alpha P_{tx_i} \rfloor \tag{3.13}$$

จะเห็นว่าการพิจารณาปริมาณความจุของระบบ W-CDMA จะต้องพิจารณาตามทิศทางการสื่อสารคือทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบคือสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นและกำลังส่งจากสถานีฐานตามสมการ (3.9) และ (3.13) ตามลำดับ

3.5 บทสรุป

การสื่อสารในระบบเซลลูล่าร์ W-CDMA ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อตอบสนองกับความต้องการของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการขยายตัวทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน โดยผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ได้นำเทคนิคต่างๆ เข้ามาใช้งานเพื่อปรับปรุงระบบเซลลูล่าร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับมาตรฐานของระบบW-CDMAแสดงตามรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 มาตรฐานของระบบ W-CDMA

สำหรับการออกระบบเซลลูล่าร์นั้น ต้องคำนึงถึงสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในแต่ละเซล เพราะปริมาณสัญญาณแทรกสอดจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ และปริมาณโหลดที่เกิดขึ้นด้วย

บทที่ 4

การคำนวณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์และอัตราส่วนกำลังของซี ดี เอ็ม เอแบนด์กว้าง (W-CDMA)

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ (f) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในทิศทางการเชื่อมโยงขาขึ้นของระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ W-CDMA ซึ่งประกอบด้วยมาโครเซล / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ มาโครเซล / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ และไมโครเซล / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ รวมไปถึงค่าอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_0) ที่เกิดขึ้นของมาโครเซล และไมโครเซล

4.1 บทนำ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าประสิทธิภาพและปริมาณความจุของระบบ W-CDMA [10] นั้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ และสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นทั้งในทิศทางการเชื่อมขาขึ้นและขาลง แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับเน้นทำการศึกษา ในทิศทางของการเชื่อมโยงขาขึ้นและระบบอยู่ภายใต้การควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ (Perfect Power Control) เนื่องจากระบบ W-CDMA มีลักษณะการวางเซลแบบเซลลูล่าร์ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามสาเหตุการเกิด โดยทั่วไปวิธีที่ใช้ในคำนวณหาค่า หรือปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในระบบนั้นจะใช้วิธีการที่เรียกว่า "Simulation"

4.2 สัญญาณแทรกสอด

4.2.1 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดภายในเซลเดียวกัน

เป็นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในขอบเขตเซลที่ให้บริการเดียวกัน หากเราสมมติว่าภายในเซลหนึ่งที่มีรัศมีเท่ากับ R มีจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่ากับ N โดยมีการกระจายของผู้ใช้งานเท่าๆ กัน และสถานีฐาน อยู่ตำแหน่งตรงจุดกึ่งกลางของเซล ถ้าเราให้ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่มีกำลังส่งเท่ากับ $P_{T,M}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหากำลังรับ ณ สถานีฐานตามสมการ

$$P = P_{T,M} r^{-\gamma} \tag{4.1}$$

เมื่อ P คือ กำลังรับ ณ สถานีฐาน

r คือ ระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน

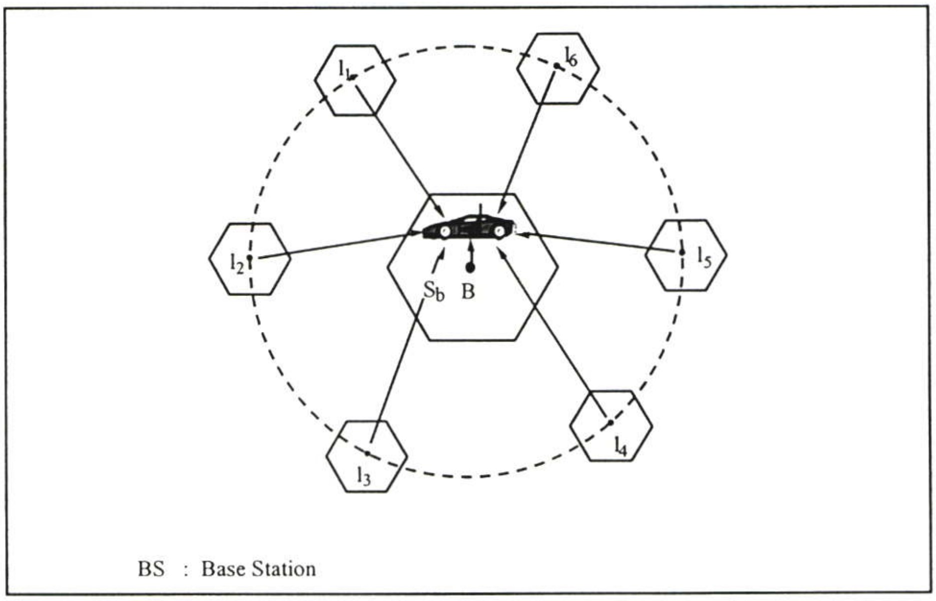
γ คือ กำลังลดทอน ($3 \le \gamma \le 5$)

ดังนั้นค่าสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่เกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซลเดียวกัน จะเกิดจากกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นที่อยู่ในเซลนั้นๆ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$I = (N-1)P \tag{4.2}$$

เมื่อ I คือ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซลเดียวกัน

N คือ จำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมดภายในเซล



รูปที่ 4.1 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลเดียวกัน

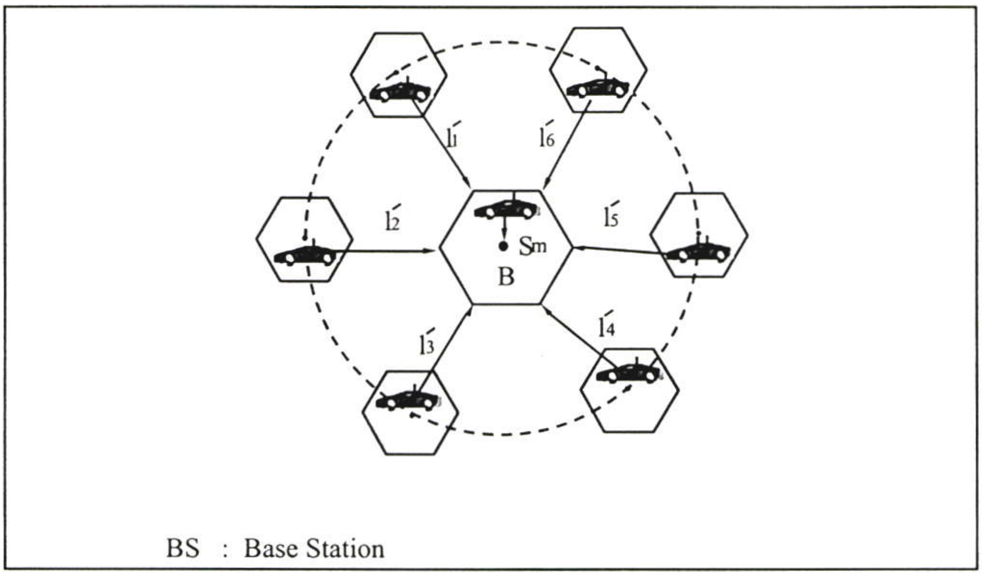
4.2.2 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดเซลข้างเคียง

เนื่องจากว่าภายในระบบที่มีการวางเซลติดกันแบบเซลลูล่าร์ ปัญหาที่พบก็คือการเกิดสัญญาณแทรกสอดจากเซลอื่นๆ หรือเซลข้างเคียง หากพิจารณาตามรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าระยะทางระหว่าง 2 สถานีฐานที่ติดกันมีค่าเท่ากับ $2R$ เมื่อ R คือรัศมีของแต่ละเซล ในทำนองเดียวกันเรากำหนดให้แต่ละเซลมีจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่ากับ N ซึ่งมีการกระจายเท่าๆ กันภายในเซล และระบบอยู่ภายใต้การควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ กำลังรับ ณ สถานีฐานมีค่าเท่ากับ P อีกในหนึ่งกำลังรับ ณ สถานีฐานหลักที่ทำการพิจารณาจะมีค่าเท่ากับ $P\,r^{\gamma} d^{-\gamma}(r,\phi,R)$ เมื่อ r คือระยะทางระหว่าง

โทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานของเซลข้างเคียง และ $d(r,\phi,R)$ คือระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานของเซลหลักที่ทำการพิจารณา สามารถแสดงได้ตามสมการ

$$d(r,\phi,R) = \sqrt{[2R + r\sin(\phi)]^2 + [r\cos(\phi)]^2} \tag{4.3}$$

เมื่อ ϕ คือ มุมของตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบโพลา – โคออดิเนต



รูปที่ 4.2 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลข้างเคียง

ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลข้างเคียงทั้งหมดสามารถแสดงได้ตามสมการนี้

$$I = \left[r_1^{\gamma} d_1^{-\gamma}(r_1,\phi_1,R) + \cdots + r_N^{\gamma} d_N^{-\gamma}(r_N,\phi_N,R)\right]P \tag{4.4}$$

เมื่อ I คือ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลข้างเคียงทั้งหมด

4.3 การพิจารณาอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

โดยทั่วไปการพิจารณาอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ หรือสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นของระบบจะพิจารณาจากระยะทางระหว่างโทรศัทพ์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน ซึ่งเรียกว่า "สัญญาณลดทอนจากระยะทาง" (Path Loss Propagation)

สำหรับในระบบ W-CDMA นี้ เราได้กำหนดค่า $F-FACTOR$ ดิสทริบิวชั่น [11] ขึ้นมาเพื่อสะดวกในการในการพิจารณาค่าสัญญาณแทรกสอด ซึ่งสามารถแสดงได้ตามสมการ

$$F = \frac{I_{\text{int}\,ra}}{I_{\text{int}\,ra} + I_{\text{int}\,er}} = \frac{1}{1+f} \tag{4.5}$$

เมื่อ $I_{\text{int}\,er}$ คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซล

$I_{\text{int}\,ra}$ คือ ปริมาณสัญญาณแทรกสอดภายในเซล

f คือ อินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์จากเซลข้างเคียง ($f - factor$)

ปัจจัยของสัญญาณแทรกสอด (Interference Factor) แสดงได้ด้วยอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสสอดระหว่างเซลกับสัญญาณแทรกสอดจากเซลข้างเคียงได้ดังสมการ

$$f = \frac{I_{\text{int}\,er}}{I_{\text{int}\,ra}} \tag{4.6}$$

ในการพิจารณาปริมาณสัญญาณแทรกสอด จะสมมติว่าแต่ละเซลมีการกระจายของจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนเท่าๆ กัน มีเงื่อนไขการแผ่กระจายของสัญญาณที่เป็นลักษณะเดียวกัน เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณเพราะเนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสัญญาณแทรกสอดจะเกิดการความต่างแตกตามระยะทาง ซึ่งแสดงได้จากสมการ (4.7) หากเริ่มต้นการพิจารณาเซลแบบวงกลมมีรัศมีเท่ากับ R ซึ่งรองรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่วางอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากสถานีฐานเท่ากับ r จะทำให้สามารถหาค่า f ได้เป็น

$$f = \frac{I_{\text{int}\,er}}{I_{\text{int}\,ra}} = \sum_{n=1, n \neq m}^{N} \frac{L_{m,j}}{L_{n,j}} \tag{4.7}$$

เมื่อ $L_{m,j}$ คือ ค่าลดทอนจากจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่

$L_{n,j}$ คือ ค่าลดทอนจากจากสถานีฐานของเซลข้างเคียงไปยังโทรศัพท์ เคลื่อนที่

N คือ จำนวนสถานีฐานของเซลข้างเคียง

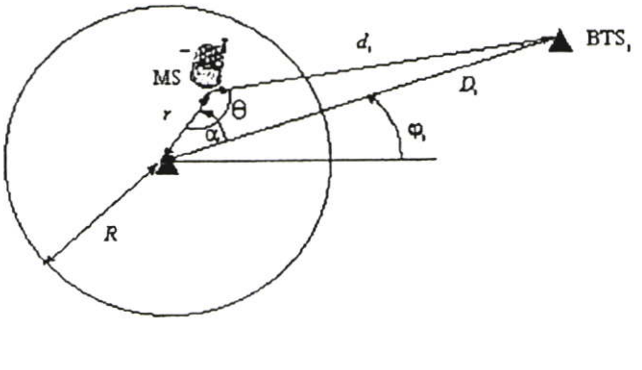
จากรูปที่ 4.3 เป็นแสดงให้เห็นการเกิดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากโทรศัพท์เคลื่อนที่เพียงหนึ่งเครื่อง โดยกำหนดขนาดของคัสเตอร์เท่ากับ 1 ($K = 1$) ระยะทางระหว่างสถานีฐานเท่ากับ D จากรูปเราสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ตามสมการ

$$f(r,\alpha) = \left(\frac{r}{d_t}\right)^{\gamma} = \left(1 + 3\left(\frac{R}{r}\right)^{2} - 2\sqrt{3}\left(\frac{R}{r}\right)\cos\alpha\right)^{-\gamma/2} \tag{4.8}$$

เมื่อ r คือ ระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน

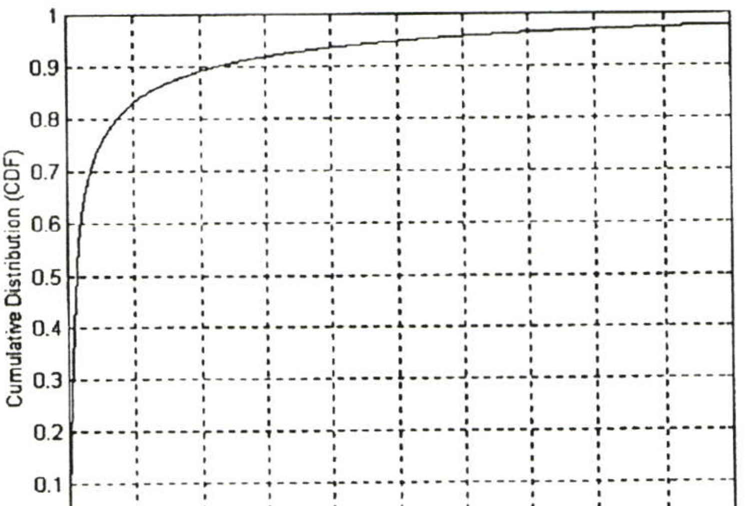
d_i คือ ระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานของเซลข้างเคียง

γ คือ กำลังในการลดทอน



รูปที่ 4.3 แสดงเซลการสัญญาณแทรกสอดที่สถานีฐาน

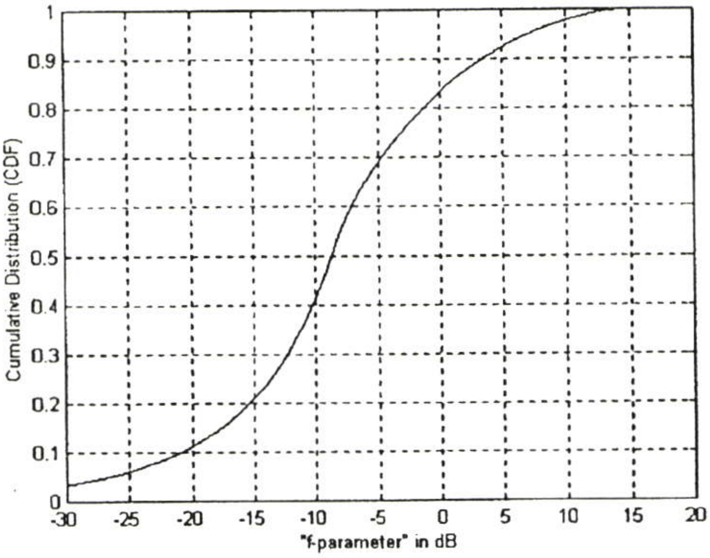
สำหรับความสัมพันธ์ซี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์จากเซลข้างเคียงภายใต้เงื่อนไข $f(r,\alpha) \leq 1$ สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 4.4 และ 4.5



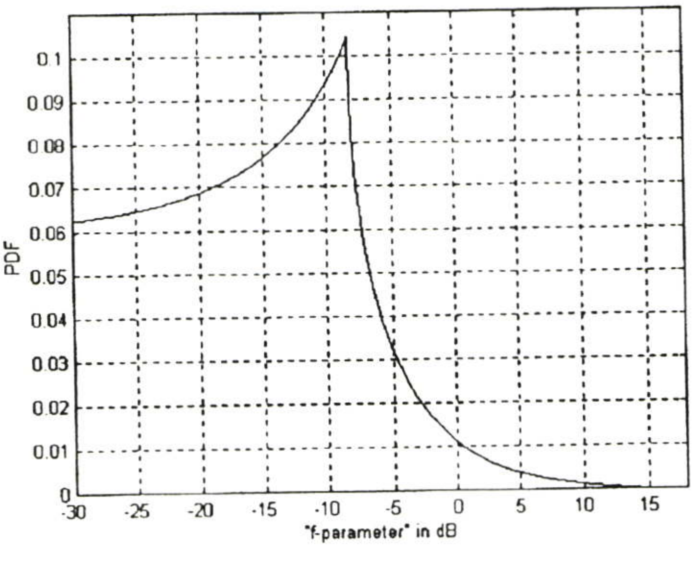
รูปที่ 4.4 ซี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียง

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของซี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียง ในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะประสิทธิภาพต่ำสุด และกำหนดกำลังลดทอนเท่ากับ 4 จะเห็นค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียงเพิ่มขึ้น ค่าซี ดี เอฟ ดิสทริบิวชั่นก็เพิ่มขึ้น

ด้วยเช่นกัน หากทำการพิจารณาค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียงในหน่วยของเดซิเบล จะได้กราฟดังรูปที่ 4.5



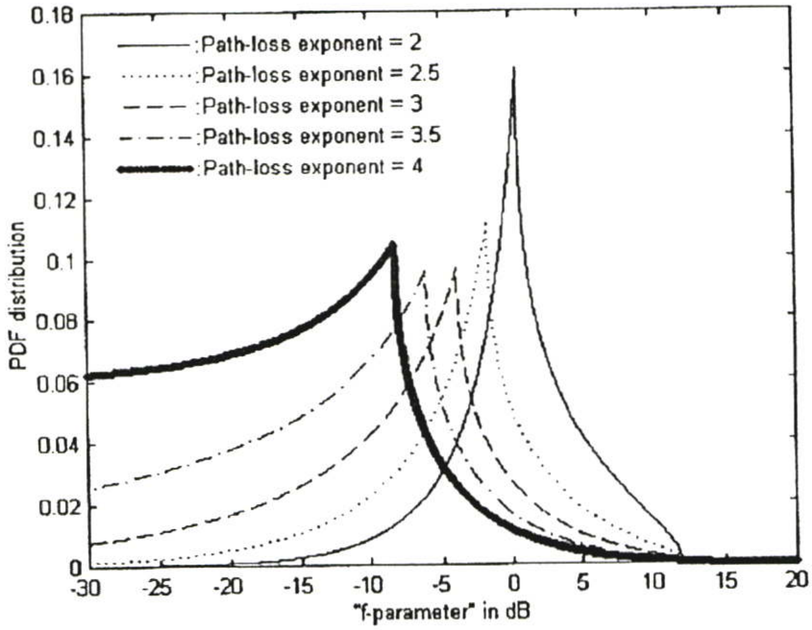
รูปที่ 4.5 ซี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ในหน่วยเดซิเบล



รูปที่ 4.6 พี ดี เอฟของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ในหน่วยเดซิเบล

ในทำนองเดียวกันความสัมพันธ์พี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียงแสดงตามรูปที่ 4.6 โดยเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้พิจารณานั้นระบบจะอยู่ในสภาวะที่มีประสิทธิภาพต่ำสุด คือกำหนดกำลังในการลดทอนเท่ากับ 4

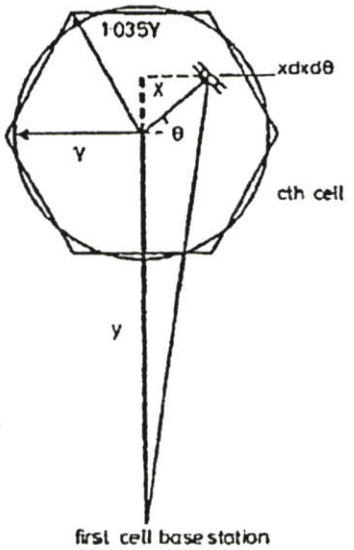
รูปที่ 4.7 แสดงพี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของเซลข้างเคียงในหน่วยเดซิเบล โดยแยกให้เห็นความแตกต่างของระบบที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนค่าของกำลังในการลดทอน โดยพิจารณาที่ $\gamma = 2, 2.5, 3, 3.5$ และ 4



รูปที่ 4.7 พี ดี เอฟดิสทริบิวชั่นของอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ในหน่วยเดซิเบล

เนื่องจากลักษณะการวางเซลในระบบประกอบด้วยมาโครเซลและไมโครเซล ดังนั้นปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้น จะมีทั้งระหว่างมาโครเซลกับมาโครเซล มาโครเซลกับไมโครเซล และไมโครเซลเดียวกันเอง ซึ่งในการพิจารณาสัญญาณแทรกสอดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเซล และตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยสามารถแบ่งอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นในระบบได้ 4 ลักษณะ ประกอบด้วยมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ และไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

สำหรับระยะทางระหว่างเซล และระยะทางระหว่างสถานีกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ใช้ในการพิจารณาสัญญาณแทรกสอดของระบบ แสดงได้ตามรูปที่ 4.8 [13]



รูปที่ 4.8 การหาระยะทางที่เกิดขึ้นระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน

จากรูปที่ 4.8 เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการคำนวณในการหาระยะทางต่างๆ ที่เกิดขึ้น จึงได้กำหนดเซลที่พิจาณาเป็นแบบหกเหลี่ยม โดยความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเซลแบบวงกลม และเซลแบบหกเหลี่ยมเป็นตามสมการ

$$R_{Hex} = 1.035 R_{Cir} \tag{4.9}$$

หากกำหนดสัญญาณที่ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับ ($r(t)$) ซึ่งสามารถแสดงได้ตามสมการ

$$r(t) = \sum_{k=1}^{CK} \sqrt{\varepsilon(\gamma, c_k, k) S_k(t)} \tag{4.10}$$

เมื่อ	$S_k(t)$	คือ สัญญาณจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่
	C	คือ จำนวนเซลในระบบ
	K	คือ จำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่
	γ	คือ กำลังในการลดทอน
	c_k	คือ เซลที่มีผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ลำดับ k วางอยู่
	$\varepsilon(\gamma, c_k, k)$	คือ ลำดับกำลังลดทอนของอัตราส่วนระยะทางซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon(\gamma, c_k, k) = \left(\frac{d_{c_k,k}}{d_{1,k}} \right)^{\gamma} \quad (4.11)$$

เมื่อ $d_{c_k,k}$ คือ ระยะทางของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ลำดับ k กับเซล c_k

$d_{1,k}$ คือ ระยะทางของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ลำดับ k กับเซล $c_k = 1$

จากรูปที่ 4.8 ทำการหาระยะทาง $d_{c_k,k}$ และ $d_{1,k}$ แล้วแทนค่าลงในสมการ (4.11) จะทำให้ได้ค่าลำดับของกำลังลดทอนของอัตราส่วนระยะทาง สำหรับ $c_k = 2, 3, \ldots, C$ ได้ตามสมการ

$$\varepsilon(\gamma, c_k, k) = \left[\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2 + (y + x\sin\theta)^2} \right]^{\gamma/2} \quad (4.12)$$

เมื่อ x คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่

y คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานของลำดับที่ c_k กับสถานีฐานแรก

ตามสมการ (4.12) แสดงให้เห็นค่าของลำดับของกำลังลดทอนของอัตราส่วนระยะทางของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เพียงหนึ่งคนเท่านั้น $(k = 1)$ ดังนั้นกรณีที่ต้องการหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดภายในเซล สามารถหาได้โดยทำการเฉลี่ยลำดับของกำลังลดทอนตามสมการดังนี้

$$\varepsilon(\gamma, c_k) = E[\varepsilon(\gamma, c_k, k)] \quad (4.13)$$

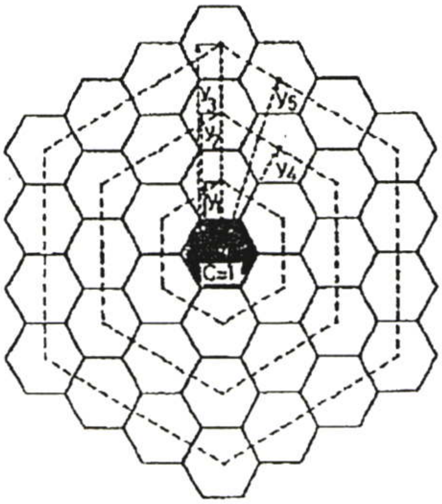
$$= \frac{1}{\pi r^2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \left[\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2 + (y + x\sin\theta)^2} \right]^{\gamma/2} x\,dx\,d\theta \quad (4.14)$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^1 \int_0^{2\pi} \left[\frac{z^2}{(z\cos\theta)^2 + (y/r + z\sin\theta)^2} \right]^{\gamma/2} z\,dz\,d\theta \quad (4.15)$$

เมื่อเราทำการหาค่าระยะทางที่เกิดขึ้น เพื่อคำนวณปริมาณสัญญาณแทรกสอดได้แล้วต่อไปจะทำการพิจารณาถึงอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของมาโครเซลและไมโครเซล

4.3.1 มาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอร์เรนซ์เฟคเตอร์

มาโครเซล / มาโครเซลอินเตอร์เฟอร์เรนซ์เฟคเตอร์เป็นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นระหว่างมาโครเซลด้วยกันเอง โดยระยะทางที่เกิดขึ้นสามารถได้ตามรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ระยะทางสำหรับคำนวณมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

โดยระยะทางตามรูป 4.9 ของ y_1 ถึง y_5 สามารถแสดงได้ตามสมการ (4.16) ถึง (4.20) ตามลำดับดังนี้

$$y_1 = \sqrt{3} \times 1.035 R_{cir} \tag{4.16}$$

$$y_2 = 2\sqrt{3} \times 1.035 R_{cir} \tag{4.17}$$

$$y_3 = 3\sqrt{3} \times 1.035 R_{cir} \tag{4.18}$$

$$y_4 = 3 \times 1.035 R_{cir} \tag{4.19}$$

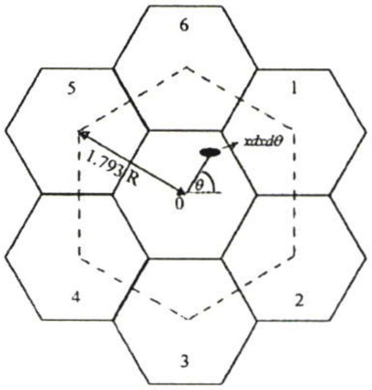
$$y_5 = 4.74 R_{cir} \tag{4.20}$$

เมื่อนำระยะทางที่เกิดขึ้นตามสมการ (4.16) ถึง (4.20) แทนค่าลงในสมการ (4.14) จะทำให้ได้ปริมาณมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของระบบ ซึ่งแสดงค่าตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าของมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ที่ γ=2, 3, และ 4

γ	**First layer** of cells $\varepsilon(\gamma, c_k)$	**Second layer** of cells $\varepsilon(\gamma, c_k)$		**Third layer** of cells $\varepsilon(\gamma, c_k)$	
	$y = 1.793r$	$y = 3.105r$	$y = 3.586r$	$y = 4.74r$	$y = 5.379r$
2	0.1986	0.0559	0.0411	0.023	0.0177
3	0.125	0.016	0.0099	0.0041	0.0027
4	0.0935	0.005	0.0026	0.0008	0.0005

หากระบบเซลลูล่าร์ที่เราจำลองขึ้นมาประกอบด้วยเซลเพียงหนึ่งชั้น ระยะทางที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการหาปริมาณสัญญาณแทรกสอด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.793R สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ระยะทางการคำนวณมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กรณีวางเซลชั้นเดียว

เมื่อนำระยะดังกล่าวแทนค่าลงในสมการ (4.14) จะทำให้สามารถหาปริมาณของมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ตามสมการ

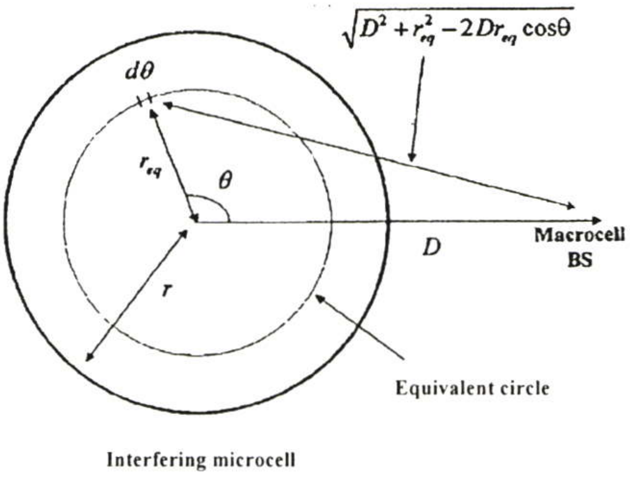
$$f_{MM} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \int_0^{2\pi} \left(\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2 + (1.793R + x\sin\theta)^2} \right)^{\gamma/2} x dx d\theta \qquad (4.21)$$

เมื่อ f_{MM} = มาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

R = รัศมีของมาโครเซล

4.3.2 ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

คือสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้งานที่อยู่ภายในไมโครเซล แล้วส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานที่อยู่ภายในมาโครเซล ซึ่งระยะทางที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดแสดงได้ตามรูปที่ 4.11 [14]



รูปที่ 4.11 ระยะทางสำหรับคำนวณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

หากกำหนดให้ P_T คือผลรวมกำลังทั้งหมดที่ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งให้กับสถานีฐาน ซึ่งเขียนได้ตามสมการ

$$P_T = \int_0^r \int_0^{2\pi} P_\mu^r x^\gamma \rho x dx d\theta = \frac{2NP_\mu^r r^\gamma}{\gamma + 2} \tag{4.22}$$

เมื่อ P_μ^r คือ กำลังรับที่สถานีฐานของไมโครเซล

N คือ จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในไมโครเซล

$\rho = N/\pi r^2$ คือ ความหนาแน่นของผู้ใช้งานในไมโครเซล

สำหรับกำลังส่งของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อหนึ่งเครื่องแสดงตามสมการ

$$P_A = \frac{2P_\mu^r r^\gamma}{\gamma + 2} \tag{4.23}$$

เนื่องจากกำลังส่งทั้งหมด และปริมาณของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในไมโครเซลไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเพื่อเป็นการรักษากำลังส่งภายในระบบ ที่มีตำแหน่งอยู่บนวงกลมรัศมี r_{eq} ให้มีค่าตามสมการ (4.23) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของรัศมี r_{eq} กับกำลังส่งของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่แสดงได้ดังนี้

$$r_{eq}^\gamma = \frac{P_A}{P_\mu^r} \tag{4.24}$$

$$r_{eq} = \left(\frac{2}{\gamma + 2} \right)^{1/\gamma} r \tag{4.25}$$

เมื่อแทนค่าระยะทางตามรูปที่ 4.11 ลงในสมการ (4.14) จะได้ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ตามสมการ

$$f_{\mu M} = \frac{1}{2\pi P_{\mu}^{r}} \int_{0}^{2\pi} \frac{P_A}{\left(D^2 + r_{eq}^2 - 2Dr_{eq}\cos\theta\right)^{\gamma/2}} d\theta \tag{4.26}$$

เมื่อ $f_{\mu M}$ คือ ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

D คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานของไมโครเซลกับมาโครเซล

จากสมการ (4.26) ทำการนอร์มอไรซ์ด้วย P_{μ}^{r} และจำนวนผู้ใช้งาน N ถ้าเรากำหนดให้กำลังลดทอนมีค่าเท่ากับ 4 แล้วทำการอินทิเกรตจะทำให้สามารถหาค่าไมโครเซล / มาโครเซลตามสมการ

$$f_{\mu M} = \frac{r^4}{3} \frac{\left(D^2 + r_{eq}^2\right)}{\left|D^2 - r_{eq}^2\right|^3} \tag{4.27}$$

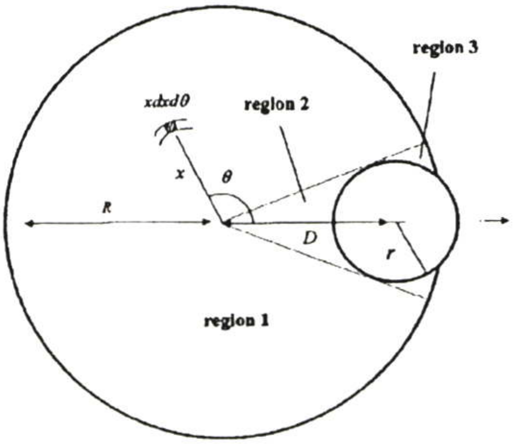
ทั้งนี้เพื่อเป็นการเปรียบเทียบปริมาณของไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่คำนวณระหว่าง r และ r_{rq} ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่คำนวณด้วย r กับ r_{eq}

D	$2r$	$3r$	$4r$	$5r$	$6r$
คำนวณปกติ r	$4.7e-2$	$5.8e-3$	$1.6e-3$	$6.0e-4$	$2.8e-4$
ประมาณด้วย r_{eq}	$3.8e-2$	$5.3e-3$	$1.5e-3$	$5.9e-4$	$2.7e-4$

4.3.3 มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

เป็นสัญญาณแทรกสอดระหว่างมาโครเซลกับไมโครเซล โดยเกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนภายในมาโครเซล แล้วส่งผลกระทบไปยังผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่อยู่ในไมโครเซล โดยระยะทางที่ใช้ในการพิจารณาปริมาณสัญญาณแทรกสอด แสดงตามรูปที่ 4.12 ซึ่งค่าเท่ากับ D



รูปที่ 4.12 ระยะทางสำหรับคำนวณมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

เมื่อนำระยะทาง D ดังกล่าว แทนค่าลงในสมการ (4.14) จะทำให้ได้ค่าของมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ได้ตามสมการ

$$f_{M\mu} = \frac{1}{\pi R^2} \iint \left[\frac{x^2}{x^2 + D^2 - 2xD\cos\theta} \right]^{\gamma/2} x dx d\theta \tag{4.28}$$

เมื่อ $f_{M\mu}$ คือ มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

x คือ ระยะทางระหว่างผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานของมาโครเซล

สำหรับการอินทิเกรตเพื่อหาปริมาณของมาโคร/ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ตามสมการ (4.28) ประกอบกับรูปที่ 4.12 ต้องทำการแบ่งขอบเขตของการอินทิเกรตออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

<u>ช่วงที่ 1</u>

$$\theta = 0 \tag{4.29}$$

$$x = D \tag{4.30}$$

<u>ช่วงที่ 2</u>

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{r}{D}\right) \sim 2\pi - \sin^{-1}\left(\frac{r}{D}\right) \tag{4.31}$$

$$x = 0 \sim R \tag{4.32}$$

<u>ช่วงที่ 3</u>

$$\theta = 0 \sim \sin^{-1}\left(\frac{r}{D}\right) \tag{4.33}$$

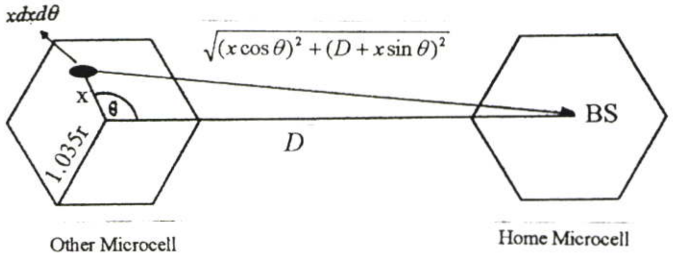
$$x = 0 \sim \min\left(R, D\cos\theta - \sqrt{r^2 - D^2\sin^2\theta}\right) \tag{4.34}$$

<u>ช่วงที่ 4</u> $$\theta = 0 \sim \sin^{-1}\left(\frac{r}{D}\right) \tag{4.35}$$

$$x = \min\left(D\cos\theta + \sqrt{r^2 - D^2\sin^2\theta}, R\right) \sim R \tag{4.36}$$

4.3.4 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

กรณีเช่นเดียวกัน ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในไมโครเซลเดียวกันเองก็สามารถเกิดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกันได้เช่นเดียวกัน ซึ่งในการคำนวณระยะทางที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ระยะทางสำหรับคำนวณไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

ดังนั้นปริมาณไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้น สามารถหาได้โดยการนำระยะทางที่เกิดขึ้นแทนค่าลงในสมการ (4.14) เช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$f_{\mu\mu} = \frac{1}{\pi r^2}\int_0^r\int_0^{2\pi}\left(\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2 + (D + x\sin\theta)^2}\right)^{\gamma/2} xdxd\theta \tag{4.37}$$

เมื่อ $f_{\mu\mu}$ คือ มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

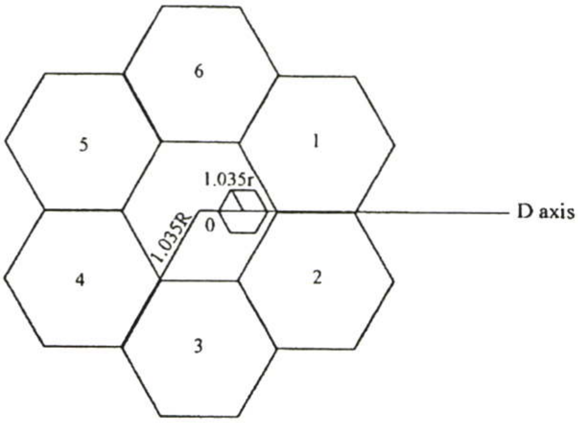
x คือ ระยะทางระหว่างผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานของมาโครเซล

D คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานของไมโครเซล

4.4 การพิจารณาอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_0)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความจุของระบบเซลูล่าร์ W-CDMA จะมีค่ามากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในระบบ ซึ่งในกรณีที่ได้ทำการศึกษาเป็นการสื่อสารในทิศทางของการเชื่อมโยงขาลง ในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบนั้นสามารถพิจารณาได้

จากค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของระบบ รูปที่ 4.14 เป็นระบบจำลองเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาปริมาณ E_b/I_0 ของมาโครเซลกับไมโครเซล ซึ่งประกอบด้วยมาโครเซล 3 เซล และไมโครเซล 1 เซล



รูปที่ 4.14 แบบจำลองระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์

โดยกำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะการควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ ซึ่งจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการกระจายเท่าๆ กันในแต่ละเซล โดย M และ N คือจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของมาโครเซลและไมโครเซลตามลำดับ

4.4.1 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล $(E_b/I_0)_M$

จากรูปที่ 4.14 หากพิจาณาอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_0) ของมาโครเซลจะเห็นว่าสัญญาณแทรกสอดเกิดขึ้นจาก 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่ 1 คือสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในมาโครเซลเดียวกัน ส่วนที่ 2 คือผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในมาโครเซลข้างเคียง และส่วนสุดท้ายคือผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในไมโครเซล ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ของกำลังรับกับการแทรกสอดที่เกิดขึ้นได้ตามสมการ

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right)_M = \frac{GP_M^r}{\alpha(M-1)P_M^r + \alpha MP_M^r f_{MM} + \alpha NP_\mu^r f_{\mu M}} \tag{4.38}$$

เมื่อ G คือ อัตราขยายของการประมวลผล (Processing Gain)

α คือ วอซ เอคทิวิตี เฟคเตอร์

P_M^r คือ กำลังรับ ณ สถานีฐานของมาโครเซล

P_μ^r คือ กำลังรับ ณ สถานีฐานของไมโครเซล

f_{MM} คือ มาโครเซล / มาโครเซล อินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

$f_{\mu M}$ คือ ไมโครเซล / มาโครเซล อินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

4.4.2 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล $(E_b/I_0)_\mu$

ในทำนองเดียวกัน หากต้องการพิจารณาอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าสัญญาณแทรกสอดที่ส่งผลกระทบต่อไมโครเซลจะเกิดจากมาโครเซลที่อยู่บริเวณรอบ และผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในไมโครเซลด้วยกันเอง ดังนั้นจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดได้ดังนี้

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right)_\mu = \frac{GP_\mu^r}{\alpha(N-1)P_M^r + \alpha MP_M^r f_{M\mu}} \tag{4.39}$$

เมื่อ $f_{M\mu}$ คือ มาโครเซล / ไมโครเซล อินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

4.5 การพิจารณาความจุของระบบ

การพิจารณาความจุของระบบเซลลูล่าร์ W-CDMA ที่ภายในประกอบด้วยมาโครเซลและไมโครเซลต้องแยกพิจารณาความจุของมาโครเซล และไมโครเซลทั้งในกรณีที่ระบบมีและไม่มีสัญญาณแทรกสอดระหว่างกัน โดยเริ่มพิจารณาปริมาณความจุที่เกิดขึ้นในกรณีที่ระบบไม่มีไมโครเซล จากสมการ (4.38) ทำการกำจัดปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดไมโครเซลออก แล้วจะได้ความจุของมาโครเซลกรณีไม่มีไมโครเซลได้ตามสมการ

$$M_0 = \frac{G}{\alpha\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_M^r (1 + f_{MM})} \tag{4.40}$$

เมื่อ M_0 คือ ความจุของมาโครเซลกรณีที่ระบบไม่มีไมโครเซล

$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_M^r$ คือ ค่าอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดต่ำสุดของมาโครเซล

ในทำนองกลับกันหากต้องการหาความจุของไมโครเซล ต้องเริ่มพิจารณาในกรณีที่ระบบไม่มีมาโครเซล จากสมการ (4.39) จะได้ความจุของไมโครเซลเป็น

$$N_0 = \frac{G}{\alpha\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_\mu^r} \quad (4.41)$$

เมื่อ N_0 คือ ความจุของไมโครเซลกรณีที่ระบบไม่มีมาโครเซล

$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_\mu^r$ คือ ค่าอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดต่ำสุดของไมโครเซล

จากสมการ (4.40) และ (4.41) สามารถหาความจุของระบบที่ประกอบด้วยมาโครเซลและไมโครเซลได้ตามสมการ

$$N = N_0 - Mf_{M\mu}x \quad (4.42)$$

$$M = M_0 - \frac{Nf_{\mu M}}{x(1+f_{MM})} \quad (4.43)$$

โดย x คือ อัตราส่วนกำลังรับของมาโครเซลกับไมโครเซล และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

$$x = \frac{P_M^r}{P_\mu^r} \quad (4.44)$$

เมื่อทำการแทนค่าของ $\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_M^r$ และ $\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_\mu^r$ ลงในสมการ (4.40) และ (4.41) แล้วจัดรูปสมการใหม่ เราจะได้ความสัมพันธ์ปริมาณความจุของมาโคร และไมโครเซลเป็นตามสมการ

$$M = \frac{M_0}{1 + \frac{Nf_{M\mu}f_{\mu M}}{(N_0 - N)(1+f_{MM})}} \quad (4.45)$$

จากสมการ (4.45) หากจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในไมโครเซลมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ก็จะส่งผลให้ความจุที่เกิดขึ้นในมาโครเซลมีค่าสูงสุด ในทำนองกลับกันถ้าจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของไมโครเซลมีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ความจุของมาโครเซลลดลงเข้าสู่ศูนย์

กล่าวโดยสรุปได้ว่าจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือความจุของระบบจะมีปริมาณมากหรือน้อยนั้น ก็จะขึ้นอยู่ค่าสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น ซึ่งก็คือค่าของ $f_{M\mu}$, $f_{\mu M}$ และ f_{MM}

ยิ่งถ้าค่าสัญญาณแทรกสอดเหล่านี้มีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ระบบมีปริมาณความจุน้อย ซึ่งก็คือว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแทรกสอดกับความจุของระบบเป็นแบบผกผันนั่นเอง

4.6 บทสรุป

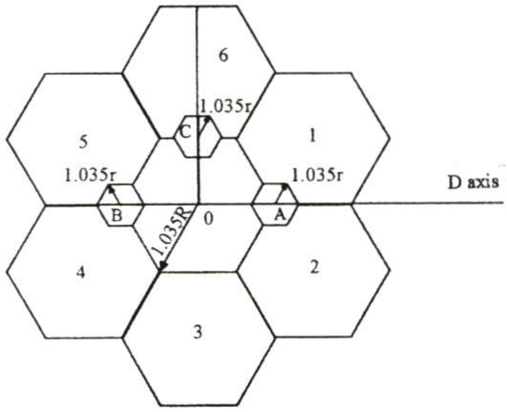
ระบบ W-CDMA ที่ประกอบด้วยมาโครเซลและไมโครเซลนั้น การคำนวณหาปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ของระบบ เราจะพิจารณาจากการจางหายของสัญญาณตามระยะทาง (Path Loss Propagation) จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า สัญญาณแทรกสอดหรืออินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณแทรกสอดไม่ว่าจะเป็นรัศมีของมาโครและไมโครเซล ตำแหน่งการวางเซล หรือปริมาณ E_b/I_0 นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมากในระบบเซลลูล่าร์ เนื่องจากว่าจะทำให้เราได้ทราบถึงปริมาณความจุที่เกิดขึ้นในมาโครเซลและไมโครเซลนั่นเอง

บทที่ 5
ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองระบบที่ใช้ในการศึกษาและพิจารณา โดยตัวแปรหรือปัจจัยที่พิจารณาคือรัศมี ตำแหน่งการวาง และจำนวนไมโครเซล ซึ่งจะทำการศึกษาถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอด และอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_0) ที่เกิดขึ้นทั้งในไมโครเซลและมาโครเซล เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความจุของระบบที่สามารถรองรับได้

5.1 แบบจำลองระบบ

ระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ที่จำลองขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและทดลองสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยมาโครเซลจำนวน 7 เซล แต่ละเซลมีรัศมีเท่ากับ $1.035R$ และไมโครเซลจำนวน 3 เซล แต่ละเซลมีรัศมีเท่ากับ $1.035r$ ซึ่งแสดงไว้ตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองระบบมาโครและไมโครเซลลูล่าร์ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าลักษณะรูปแบบของเซลที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นเซลแบบหกเหลี่ยม ซึ่งความสัมพันธ์ของเซลแบบหกเหลี่ยมและวงกลมเป็นตามสมการ (4.9)

โดยระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 ที่นำมาศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้มี 2 ระบบด้วยกันคือ ระบบW-CDMA และ CDMA2000 ทั้งนี้ได้กำหนดลักษณะกระจายปริมาณของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) คือมีลักษณะความหนาแน่นของการกระจายผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่าๆกัน โดยที่ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเชื่อมต่ออยู่กับสถานีฐานของเซลนั้นๆ และอยู่ภายใต้การควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ (Perfect Power Control)

5.2 การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับการทดลองได้กำหนดค่าปัจจัยต่างๆ คือ อัตราชิป (Chip Rate) เท่ากับ 3.84 Mcps. และ 3.6864 Mcps. เป็นค่ามาตรฐานของระบบ W-CDMA และ CDMA2000 ตามลำดับ ค่ากำลังในการลดทอน (γ) เท่ากับ 4 รัศมีมาโครเซลมีค่า $R=1$ และพิจารณารัศมีไมโครเซลเท่ากับ $r = 0.1,0.2$ และ 0.3 ในส่วนตำแหน่งการวางของไมโครเซล หรือระยะทางที่ใช้คำนวณหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดจะพิจารณาตามแกน D ที่แสดงดังรูปที่ 5.1

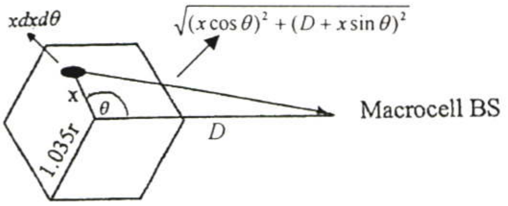
5.2.1 อินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

5.2.1.1 มาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ (f_{MM})

จากสมการ (4.21) แทนค่า $R=1$ ลงในสมการ แล้วทำการอินทิเกรตจะได้ปริมาณของมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์คงที่ เท่ากับ 0.0935 เพราะเนื่องจากว่าระยะห่างระหว่างมาโครเซลมีค่าคงที่เท่ากับ $1.793R$

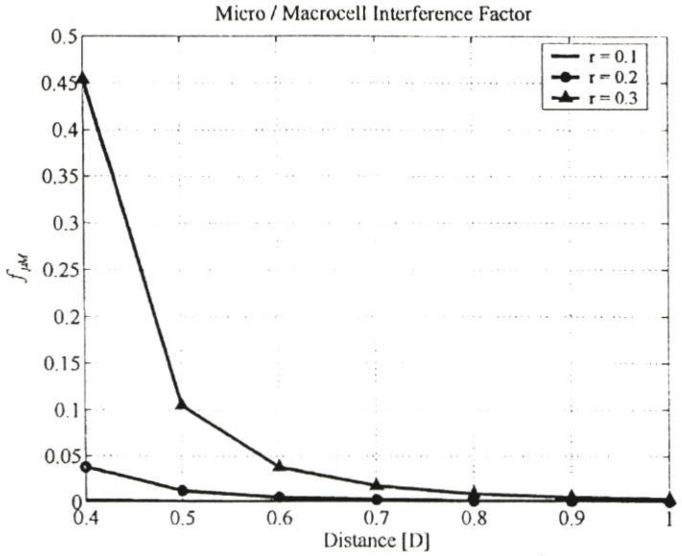
5.2.1.2 ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{\mu M}$)

จากระบบที่จำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองตามรูปที่ 5.1 สามารถหาระยะทางที่ใช้ในการพิจารณาปริมาณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แบบจำลองสำหรับคำนวณค่าไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์

จากระยะทางที่คำนวณได้ตามรูปที่ 5.2 นำแทนลงในสมการของไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์สมการ (4.27) แล้วทำการทดลอง ซึ่งกำหนดรัศมีของมาโครเซล $R=1$ และรัศมีของไมโครเซล $r = 0.1,0.2$ และ 0.3 โดยไมโครเซลที่พิจารณาสัญญาณแทรกสอดนั้นคือไมโครเซล A สำหรับตำแหน่งการวางไมโครเซล จะพิจารณา ณ ตำแหน่ง $D=0.4$ ถึง $D=1$ ซึ่งปริมาณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นแสดงได้ตามรูปที่ 5.3

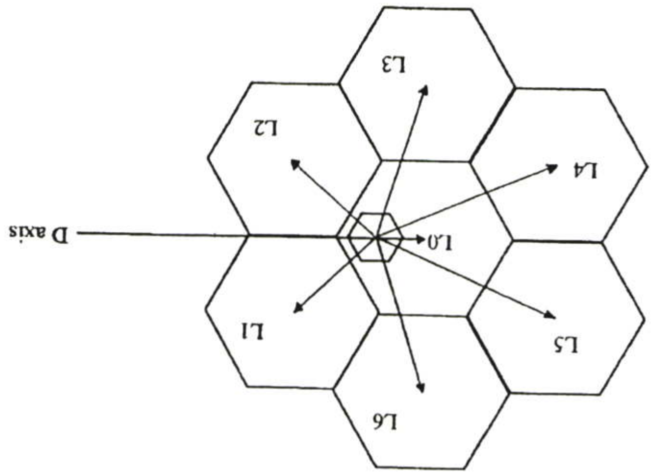


รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง *D*

จากผลการทดลองที่ได้ตามรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าปริมาณไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นกับรัศมีของไมโครเซลมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง ซึ่งก็คือเมื่อไมโครเซลมีรัศมีมากขึ้น ปริมาณสัญญาณแทรกสอดก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับตำแหน่งการวางไมโครเซล A จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน แสดงว่าเมื่อวางตำแหน่งของไมโครเซลที่ห่างออกไปจะทำให้ปริมาณของไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ลดลง

5.2.1.3 มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{M\mu}$)

สำหรับการทดลองปริมาณสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลที่ส่งผลกระทบต่อไมโครเซลนั้น ในการพิจารณาจะทำการพิจารณาอินเตอเฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้น ณ ไมโครเซล A โดยสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะเกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในมาโครเซลทั้ง 7 เซล ซึ่งระยะทางระหว่างมาโครเซลกับไมโครเซล (*D*) สามารถแสดงตามรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ระยะทางระหว่างมาโครเซลทั้ง 7 เซลกับไมโครเซล

จากรูปที่ 5.4 ระยะทางที่เกิดขึ้นของ $L0$ ถึง $L6$ สามารถคำนวณ และแสดงได้ตามสมการ (5.1) ถึง (5.4) ตามลำดับดังนี้

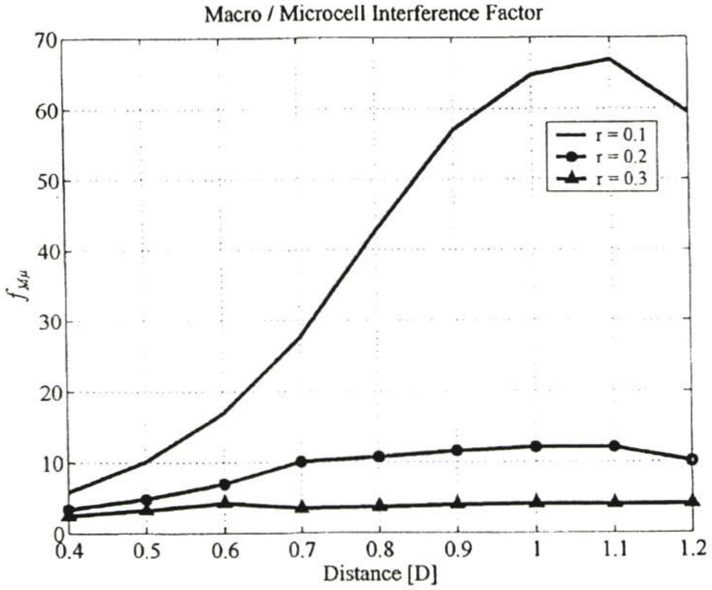
$$L0 = D \tag{5.1}$$

$$L1 = L2 = \sqrt{3.215R^2 - 3.106RD + D^2} \tag{5.2}$$

$$L3 = L6 = \sqrt{3.215R^2 + D^2} \tag{5.3}$$

$$L4 = L5 = \sqrt{3.215R^2 + 3.106RD + D^2} \tag{5.4}$$

ตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 4.3.3 มาแล้วนั้น เมื่อนำระยะทางที่คำนวณได้ แทนค่าลงในสมการ (4.28) โดยการทดลองจะเป็นการพิจารณาตำแหน่งไมโครเซล A ที่ $D = 0.4$ จนถึง $D = 1.2$ ซึ่งผลที่ได้รับแสดงได้ตามรูปที่ 5.5



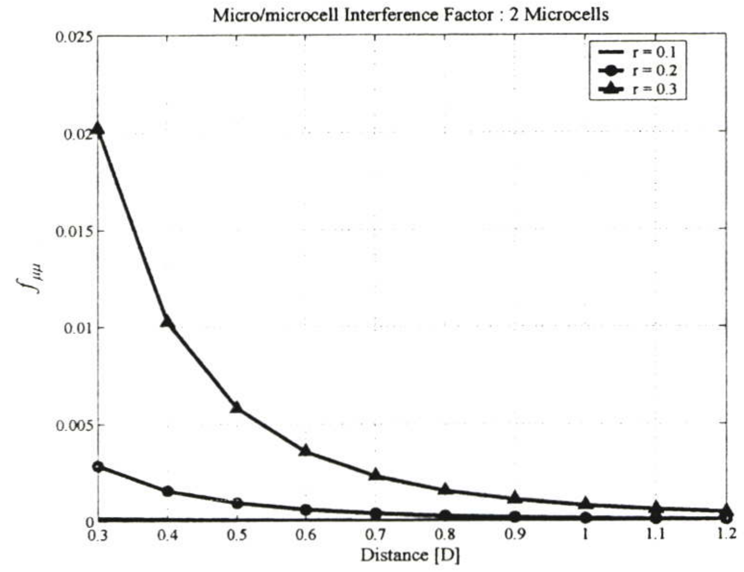
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง *D*

ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ตามรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าเมื่อระยะทางการวางตำแหน่งของไมโครเซล หรือระยะทางระหว่างมาโครเซลกับไมโครเซลเพิ่มขึ้น ค่ามาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงมีระยะทาง *D* มีค่าเท่ากับ 1.1 ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของไมโครเซลบนแกน *D* เคลื่อนที่ออกจากมาโครเซล 0

ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาปริมาณดังกล่าวในเทอมของรัศมีของไมโครเซลมีขนาดเพิ่มขึ้น ปริมาณมาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นจะลดลง เพราะเนื่องจากว่าผลกระทบที่เกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในมาโครเซลส่งผลกระทบมาในปริมาณที่น้อยลง

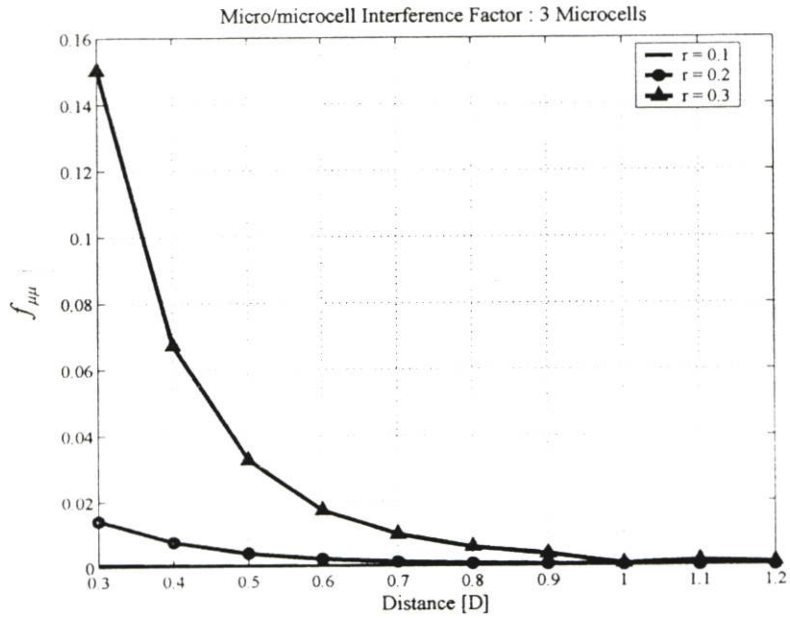
5.2.1.4 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{\mu\mu}$)

สำหรับการทดลองเพื่อคำนวณหาปริมาณไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์จะพิจารณาตามหัวข้อที่ 4.3.4 และสมการ (4.37) โดยได้แยกการทดลองออกเป็น 2 กรณี หนึ่งคือกรณีที่ระบบประกอบด้วยไมโครเซลจำนวน 2 เซล ได้แก่ไมโครเซล A และ B โดยกำหนดให้ไมโครเซล B วางอยู่ในตำแหน่งคงที่ $D = 0.4$ เพื่อพิจารณาผลของอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้นของไมโครเซล A เมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งการวางบนแกน *D* ที่ระยะทางเท่ากับ 0.3 ถึง 1.2 ผลที่เกิดขึ้นแสดงตามรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง *D* กรณี 2 ไมโครเซล

กรณีที่ 2 นั้นเป็นระบบที่ประกอบด้วยไมโครเซลจำนวน 3 เซล คือไมโครเซล A, B และ C ได้กำหนดตำแหน่งของไมโครเซล B และ C ที่ระยะห่างจากศูนย์กลางมาโครเซล 0 เท่ากับ 0.4 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นของไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทางได้แสดงไว้ตามรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์กับระยะทาง *D* กรณี 3 ไมโครเซล

จากผลการทดลองของปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ จะขึ้นกับระยะทางระหว่างเซลที่ทำการพิจารณากับรัศมีของไมโครเซล ดังนั้นในระบบ W-CDMA หรือ CDMA2000 จะให้ผลที่เกิดขึ้นเป็นแบบเดียวกัน เพราะเนื่องจากว่าอัตราชิป (Chip Rate) ไม่มีผลต่อปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น

5.2.2 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_0)

หลังจากที่ทดลองหาค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นของทั้งมาโครเซลและไมโครเซลแล้ว เราจะทำการทดลองเพื่อหาค่าอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอด (E_b/I_o) ของระบบเพื่อจะได้นำไปพิจารณาและหาความจุหรือปริมาณของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อไป

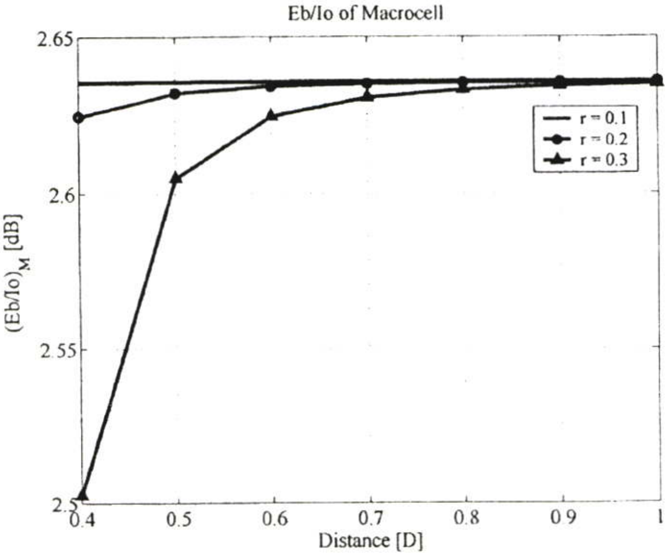
5.2.2.1 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล $(E_b/I_0)_M$

ตามที่ได้แสดงให้เห็นการหาปริมาณของอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดในหัวข้อ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่าประมาณสัญญาณแทรกสอดเกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในมาโครเซลเดียวกัน (มาโครเซล 0) มาโครเซลข้างเคียง (มาโครเซล 1 ถึง 6) และจากไมโครเซล หากพิจารณาตามระบบที่จำลองขึ้นตามรูปที่ 5.1 จะทำให้สามารถแสดงสมการของอัตราส่วนกำลังรับกับการแทรกสอดของมาโครเซล เพื่อใช้ในการทดลองได้ตามสมการ (5.5)

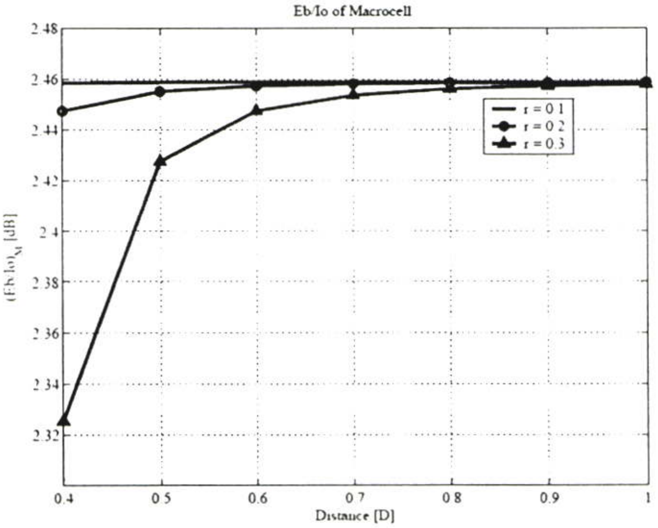
$$\left(E_b/I_o\right)_M = \frac{GP_M^R}{\alpha(M-1)P_M^R + \alpha MP_M^R f_{MM} + \sum_{i=1}^{n} \alpha NP_\mu^R f_{\mu M}} \tag{5.5}$$

สำหรับการทดลองได้แยกการพิจารณาออกเป็น 3 กรณี คือ หนึ่งเป็นระบบที่มีไมโครเซล A เพียงเซลเดียว กรณีที่สองระบบที่พิจารณาประกอบด้วย 2 ไมโครเซล คือ A และ B ในส่วนกรณีสุดท้ายคือประกอบด้วย 3 ไมโครเซล คือ ทั้ง A, B และ C

หากทำการพิจารณาผลการทดลองที่เกิดขึ้นในกรณีที่ 1 คือ จำลองระบบให้มีไมโครเซล A เพียงเซลเดียว โดยให้มีการเลื่อนตำแหน่งบนแกนที่ $D = 0.4$ จนถึง $D = 1$ ซึ่งผลที่ได้รับสามารถตามรูปที่ 5.8 และ 5.9 ในระบบ W-CDMA และ CDMA2000 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ W-CDMA กรณี 1 ไมโครเซล

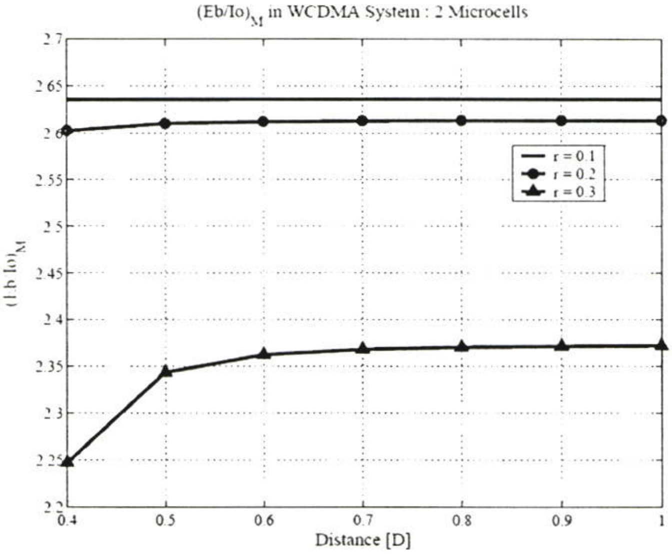


รูปที่ 5.9 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ CDMA2000 กรณี 1 ไมโครเซล

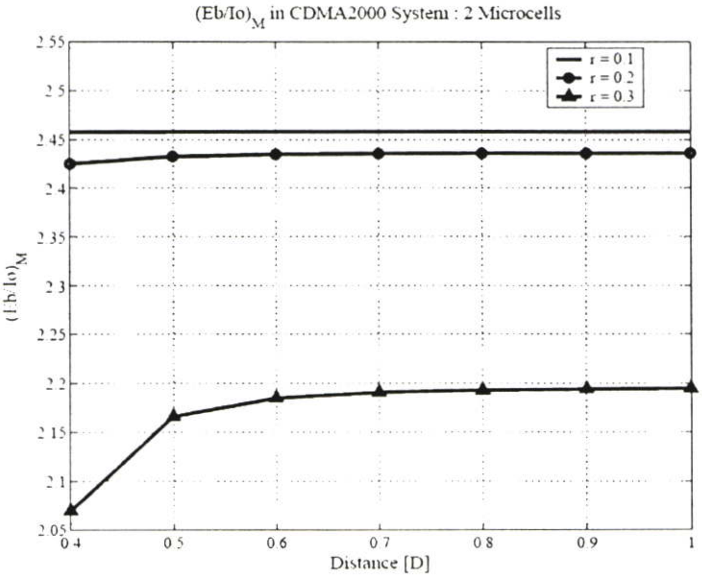
จากรูปที่ 5.8 และ 5.9 จะเห็นว่าเมื่อไมโครเซล A มีการเคลื่อนที่ออก ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดจะเพิ่มขึ้น และเมื่อรัศมีของไมโครเซลมีขนาดใหญ่ขึ้นปริมาณดังกล่าวจะลดลง

ต่อมาเป็นการพิจารณาผลการทดลองของกรณีที่ 2 ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล จะเห็นว่าตำแหน่งการวางของไมโครเซล A มีผลต่อ

ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น เมื่อ D มีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณ $(E_b/I_o)_M$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในทำนองกลับกันเมื่อปริมาณ $(E_b/I_o)_M$ ลดลง เมื่อรัศมีของไมโครเซลที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น โดยผลการทดลองระบบ W-CDMA แสดงตามรูปที่ 5.10 และระบบ CDMA2000 แสดงไว้ตามรูปที่ 5.11

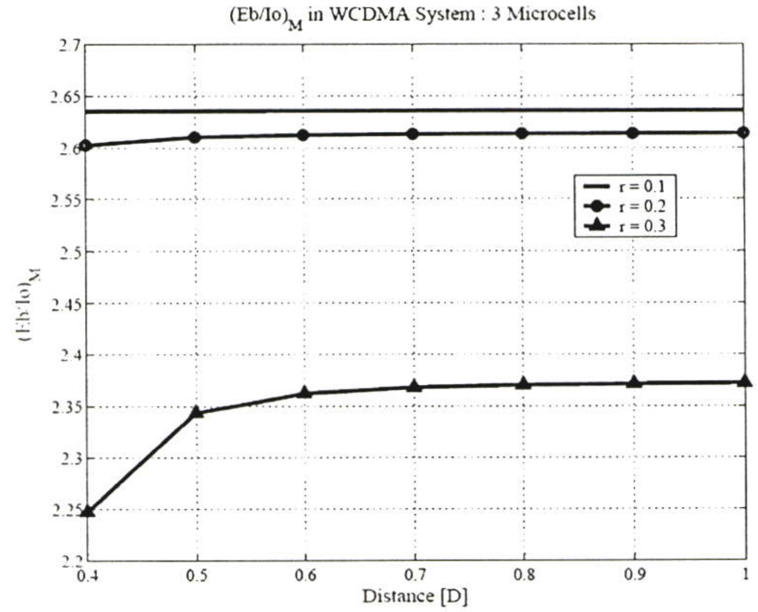


รูปที่ 5.10 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ W-CDMA กรณี 2 ไมโครเซล

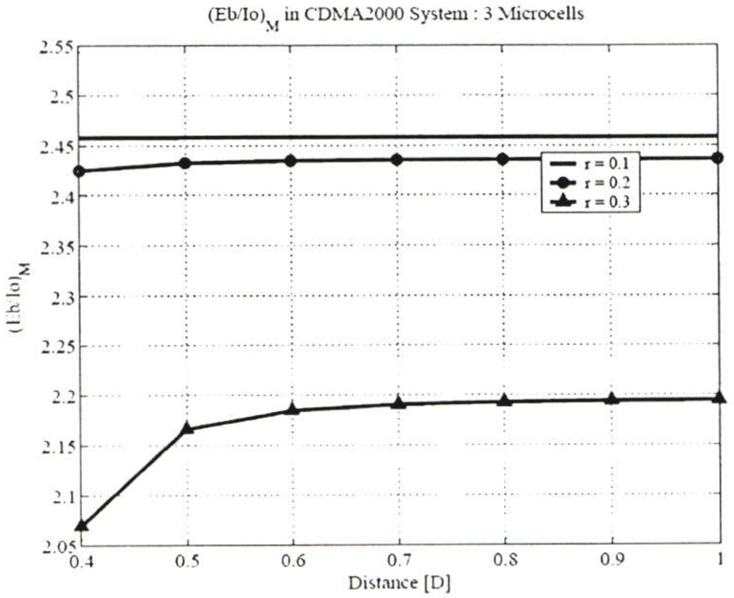


รูปที่ 5.11 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ CDMA2000 กรณี 2 ไมโครเซล

สุดท้ายคือกรณีที่ระบบประกอบด้วยไมโครเซลจำนวน 3 เซล คือ A, B และ C ซึ่งผลการทดลองที่ของระบบ W-CDMA และ CDMA2000 แสดงตามรูปที่ 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ W-CDMA กรณี 3 ไมโครเซล



รูปที่ 5.13 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซลในระบบ CDMA2000 กรณี 3 ไมโครเซล

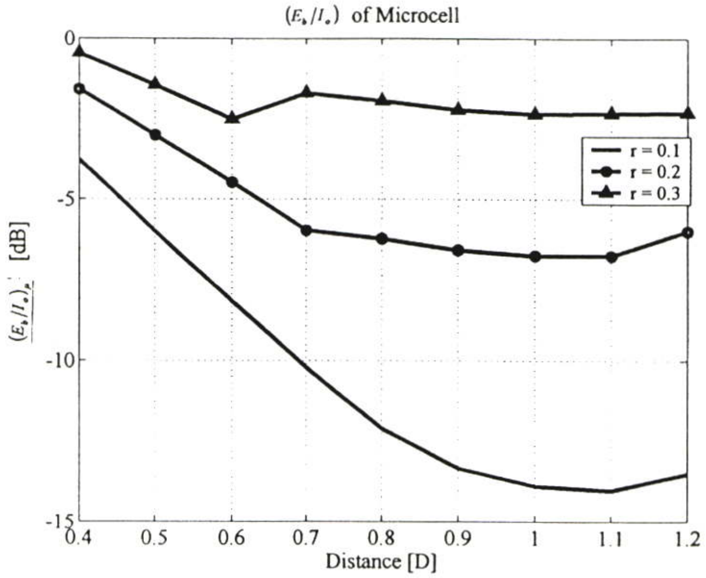
ทั้งนี้จะเห็นว่าแนวโน้มปริมาณของอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดในแต่ละกรณีจะมีความสัมพันธ์ในทำนองเดียวกัน โดยที่ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล $(E_b/I_o)_M$ ของระบบ W-CDMA จะมีปริมาณน้อยกว่าระบบ CDMA2000 เพราะว่าปริมาณอัตราขยายของการประมวลผล (Processing Gain) ของ W-CDMA ตามสมการ (5.5) มีค่าน้อยกว่านั่นเอง

5.2.2.2 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล $(E_b/I_0)_\mu$

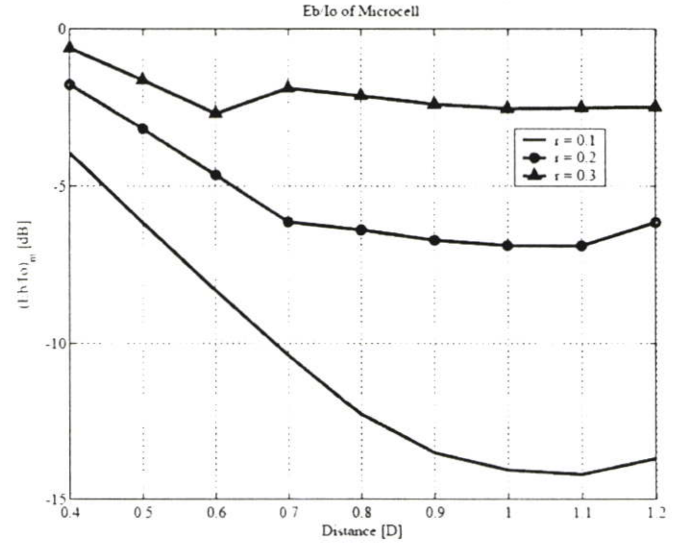
การทดลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล ได้พิจารณาถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับไมโครเซล A ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเพื่อใช้ในการทดลองระบบตามสมการ (5.6)

$$(E_b/I_o)_\mu = \frac{GP_\mu^R}{\alpha(N-1)P_\mu^R + \sum_{i=1}^{n} \alpha NP_\mu^R f_{\mu\mu} + \sum_{j=1}^{m} \alpha MP_M^R f_{M\mu}} \qquad (5.6)$$

สำหรับการทดลองของไมโครเซล ได้กำหนดเช่นเดียวกันกับมาโครเซล คือ ได้แยกการพิจารณาออกเป็น 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 ผลการทดลองที่เกิดขึ้นแสดงผลตามรูปที่ 5.14 และ 5.15 ซึ่งเป็นของระบบการสื่อสารไร้สายแบบ W-CDMA และ CDMA 2000 ตามลำดับ



รูปที่ 5.14 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ W-CDMA กรณี 1 ไมโครเซล

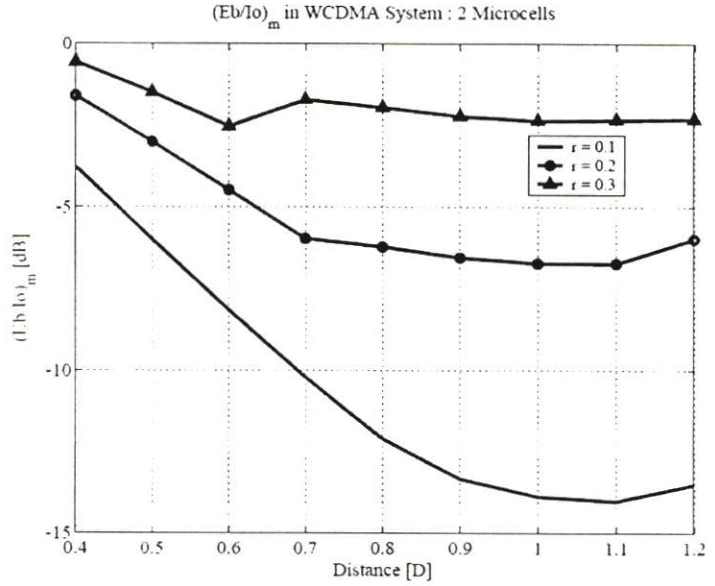


รูปที่ 5.15 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ CDMA2000 กรณี 1 ไมโครเซล

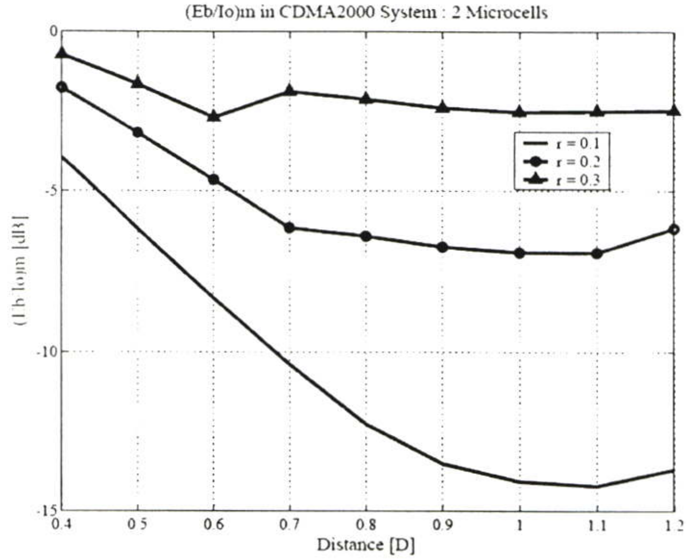
จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นในกรณีที่ 1 ทั้งระบบ W-CDMA และ CDMA2000 จะพบว่า เมื่อไมโครเซล A มีการเคลื่อนที่ห่างออกไปตามแนวแกน D ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณลดลง แต่เมื่อเคลื่อนที่ออกไป ณ ที่ $D > 1.1$ ปริมาณดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะเริ่มมีมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่ไมโครเซล A ได้รับมีปริมาณน้อยลง

ในการทดลองผลจะทำการพิจารณาปริมาณ $(E_b/I_o)_\mu$ ของระบบ W-CDMA กับระบบ CDMA2000 ในกรณีที่ 2 ตามรูปที่ 5.16 เป็นผลการทดลองอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของ W-CDMA และรูปที่ 5.17 เป็นของระบบ CDMA2000 จะเห็นว่าเมื่อไมโครเซล A มีการวางตำแหน่งที่ D มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณ $(E_b/I_o)_\mu$ จะลดลง ถ้าหากพิจารณา ณ ที่ตำแหน่งการวางไมโครเซล A เดียวกัน ที่รัศมีของไมโครเซลเพิ่มขึ้น ปริมาณของ $(E_b/I_o)_\mu$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อไมโครเซล A มีการเคลื่อนที่ออก ณ ระยะ $D > 1.1$ ปริมาณอัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซล จะเริ่มมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างระบบ W-CDMA และ CDMA2000 จะเป็นแนวทางเดียวกัน

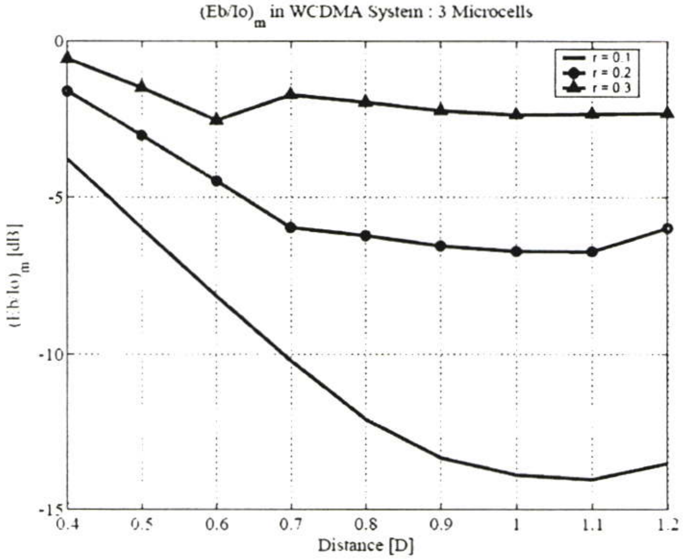


รูปที่ 5.16 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ W-CDMA กรณี 2 ไมโครเซล



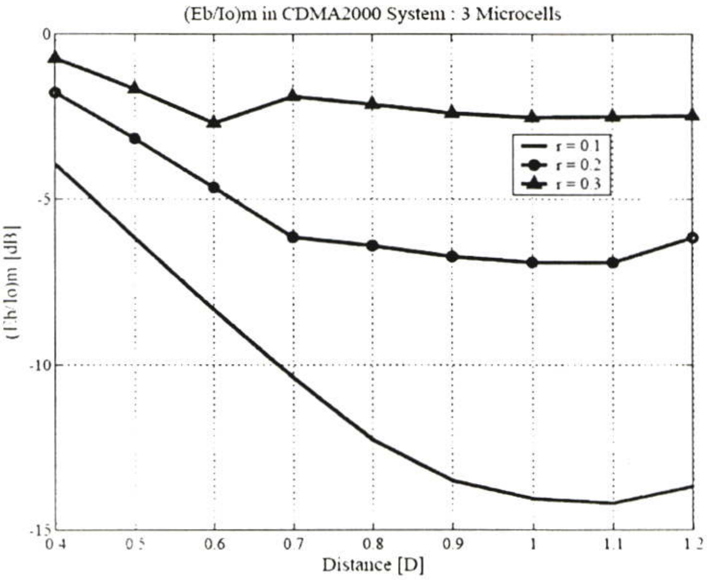
รูปที่ 5.17 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ CDMA2000 กรณี 2 ไมโครเซล

กรณีสุดท้าย คือ การพิจารณาระบบที่มีไมโครเซลจำนวน 3 เซล โดยผลการทดลองระบบ W-CDMA แสดงได้ตามรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ W-CDMA กรณี 3 ไมโครเซล

สำหรับผลการทดลองในระบบ CDMA2000 แสดงตามรูปที่ 5.19 โดยความสัมพันธ์ และผลที่ได้รับมีแนวโน้มที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับระบบ W-CDMA



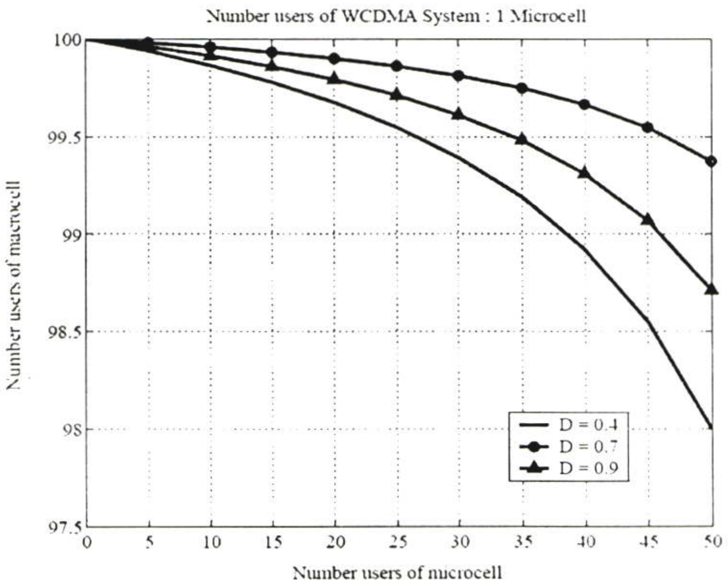
รูปที่ 5.19 อัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของไมโครเซลในระบบ CDMA2000 กรณี 3 ไมโครเซล

5.2.3 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบ

ตามที่ได้นำเสนอการพิจารณาความจุของระบบ W-CDMA ในหัวข้อ 4.5 ตามสมการ (4.45) จะเห็นว่าปริมาณความจุของระบบขึ้นกับอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ 2 ปัจจัย คือ มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์และไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ แต่เนื่องจากว่าระบบที่จำลองขึ้นมาเพื่อพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยไมโครเซลมากกว่า 1 เซล ซึ่งทำให้เกิดไมโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ด้วย ดังนั้นปริมาณความจุที่ทำการทดลองสามารถแสดงตามสมการ

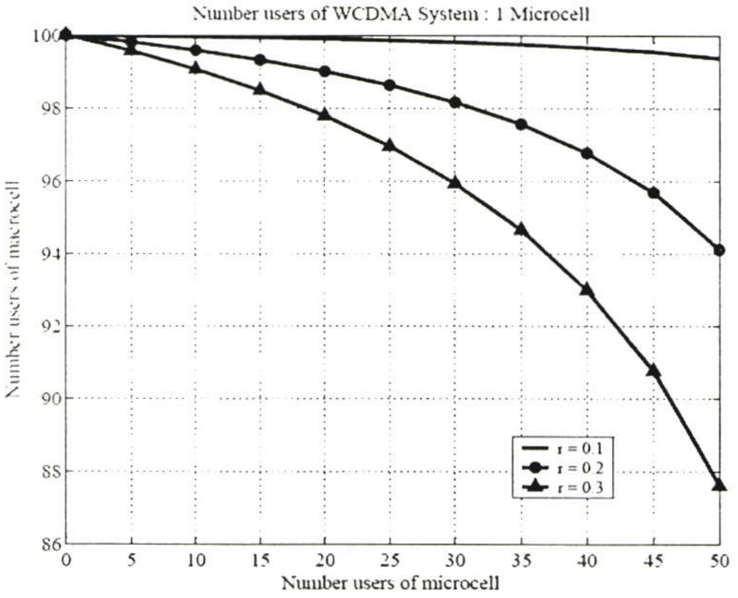
$$M = \frac{M_0}{1 + \dfrac{N f_{M\mu} f_{\mu M}}{(N_0 - N)(1 + f_{MM})(1 + f_{\mu\mu})}} \qquad (5.7)$$

จากรูปที่ 5.20 เป็นผลการทดลองที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ระหว่างมาโครและไมโครเซล ณ ตำแหน่งการวางของไมโครเซล บนแกน D ของระบบ W-CDMA ที่ประกอบด้วยไมโครเซลเพียงเซลเดียวคือไมโครเซล A โดยกำหนดอัตราส่วนรัศมีของมาโครเซลกับไมโครเซลเท่ากับ $R:r = 1:0.1$ และพิจารณาระยะทางระหว่างมาโครเซลกับไมโครเซล (D) เท่ากับ 0.4, 0.7 และ 0.9 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ณ $D = 0.7$ จะมีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์มีค่าน้อยที่คือเท่ากับ 0.0028



รูปที่ 5.20 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA ($r = 0.1$)

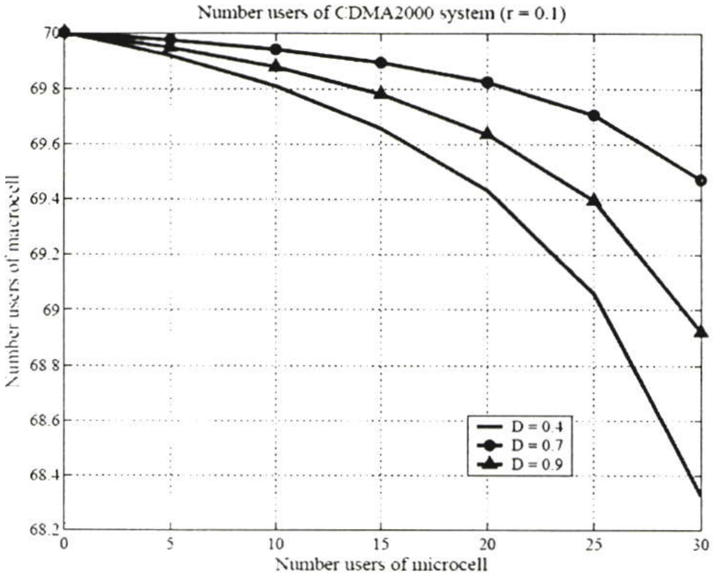
ผลการทดลองต่อมา เป็นการพิจารณาปริมาณความจุของมาโคร / ไมโครเซล ที่กำหนดตำแหน่งของไมโครเซล A ที่ $D = 0.7$ โดยพิจารณาที่รัศมีของไมโครเซลเท่ากับ $r = 0.1,0.2$ และ 0.3 ซึ่งผลที่ได้รับจากการทดลอง แสดงได้ตามรูปที่ 5.21



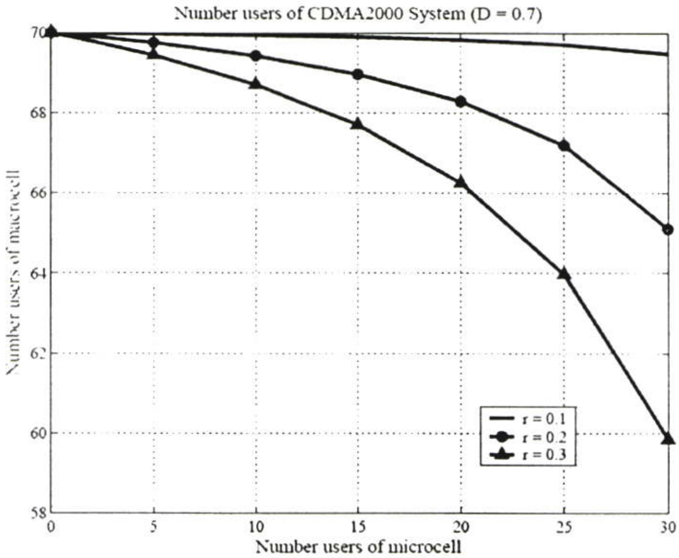
รูปที่ 5.21 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA ($D = 0.7$)

จากผลการทดลองตามรูปที่ 5.21 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของไมโครเซลกับปริมาณความจุที่เกิดขึ้นของระบบ โดยจะเห็นว่าเมื่อไมโครเซล A มีรัศมีใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณความจุของระบบลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นด้วย

หากเป็นการทดลองของระบบ CDMA2000 ผลการทดลองที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 5.22 และ 5.23 โดยความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปัจจัยของตำแหน่งการวางไมโครเซล A และรัศมีของไมโครเซล จะมีเหมือนกับผลการทดลองที่เกิดขึ้นในระบบ W-CDMA แต่ปริมาณความจุของมาโครเซล และไมโครเซลไม่เท่ากัน เพราะเนื่องจากปริมาณอัตราขยายของการประมวลผล (Processing Gain) ของทั้งสองระบบไม่เท่ากัน

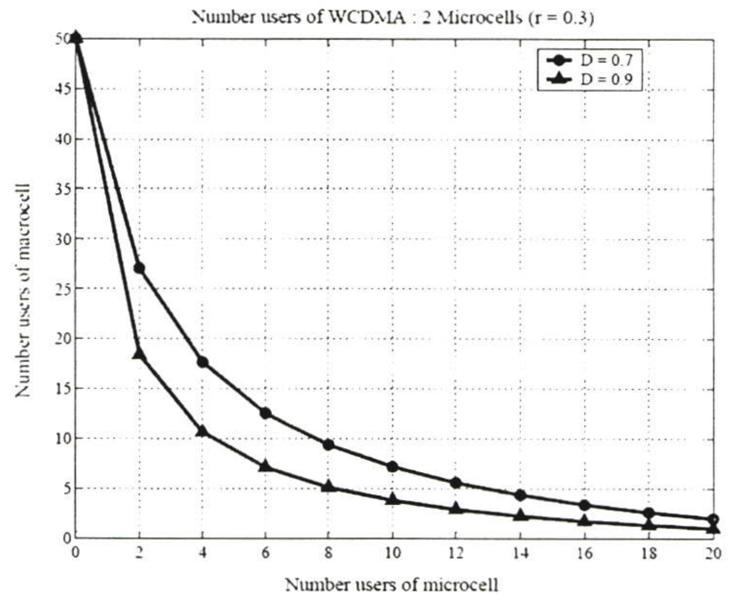


รูปที่ 5.22 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนในระบบ CDMA2000 ($r = 0.1$)

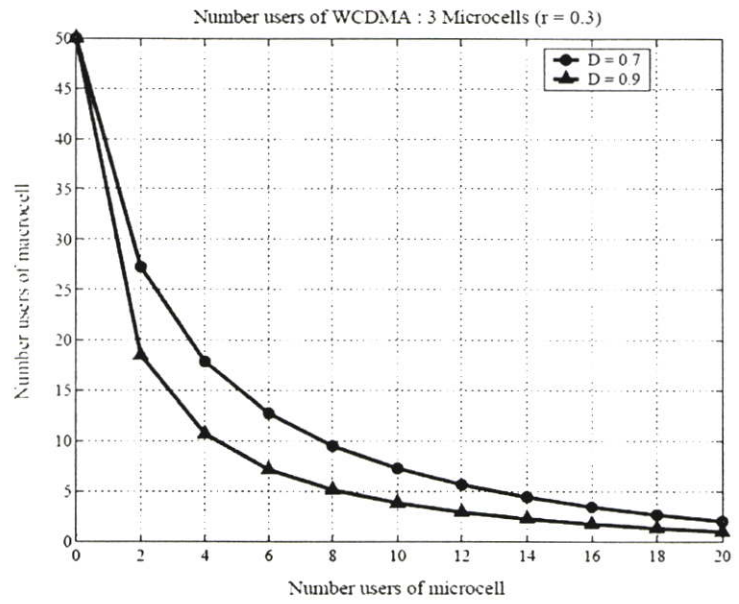


รูปที่ 5.23 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ CDMA2000 ($D = 0.7$)

สำหรับผลการทดลองในกรณีที่กำหนดให้ระบบประกอบด้วยไมโครเซลจำนวน 2 เซล (ไมโครเซล A, B) และ 3 เซล (ไมโครเซล A, B และ C) ของระบบW-CDMA แสดงตามรูปที่ 5.24 และ 5.25 ตามลำดับ โดยการทดลองนี้เป็นการพิจารณารัศมีของไมโครเซล A เท่ากับ 0.3 และ ตำแหน่งการวางเซลที่ $D = 0.7$ และ $D = 0.9$

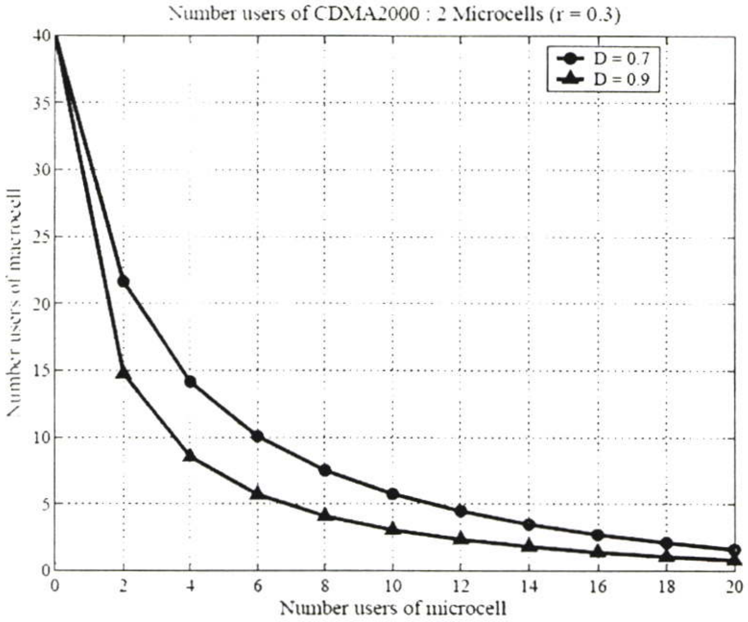


รูปที่ 5.24 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA กรณี 2 ไมโครเซล

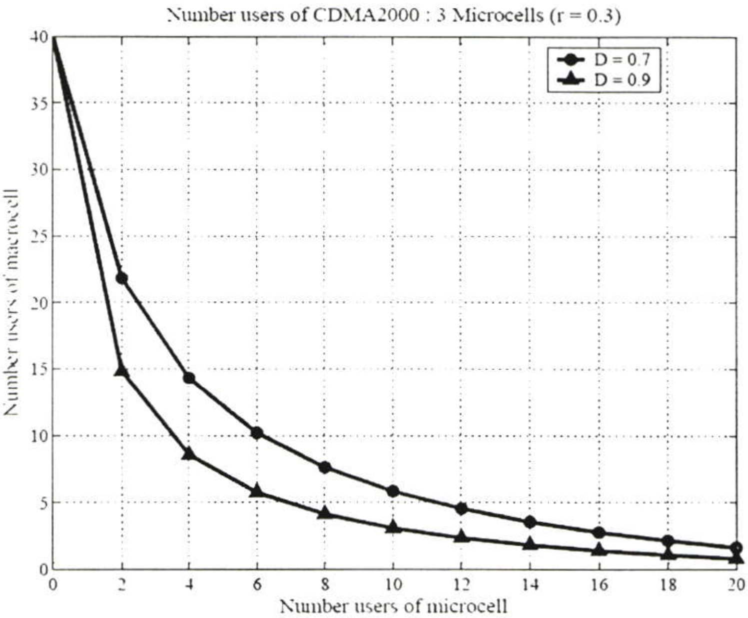


รูปที่ 5.25 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ W-CDMA กรณี 3 ไมโครเซล

อีกกรณีหนึ่ง คือการพิจารณาในระบบ CDMA2000 นั้น ได้ทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแบบเดียวกับระบบ W-CDMA ซึ่งผลการทดลองที่ได้รับแสดงตามรูปที่ 5.26 และ 5.27 สำหรับ 2 ไมโครเซล และ 3 ไมโครเซลตามลำดับ



รูปที่ 5.26 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ CDMA2000 กรณี 2 ไมโครเซล



รูปที่ 5.27 ปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ CDMA2000 กรณี 3 ไมโครเซล

5.3 บทสรุป

จากผลการทดลองของระบบจะเห็นว่าตำแหน่งการวางไมโครเซล รัศมีของไมโครเซล และจำนวนไมโครเซลของระบบ มีผลกระทบต่อปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราส่วนกำลังรับกับสัญญาณแทรกสอดของมาโครเซล $(E_b/I_o)_M$ และไมโครเซล $(E_b/I_o)_\mu$ โดยที่ตำแหน่ง

การวางไมโครเซลถ้าหากจากมาโครเซลมากขึ้นจะทำให้สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในไมโครเซลลดลง ดังนั้นในการออกแบบระบบควรพิจารณาถึงตำแหน่งการวางเซล รัศมีที่ใช้งาน และจำนวนไมโครเซลที่จะนำมาใช้ด้วย

สำหรับปริมาณความจุของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบมาโคร / ไมโครเซลลูล่าร์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในระบบ ซึ่งประกอบด้วยมาโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ (f_{MM}) ไมโคร / มาโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{\mu M}$) มาโคร / ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{M\mu}$) และไมโคร/ไมโครเซลอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ ($f_{\mu\mu}$)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง เพื่อเป็นการตอบสนอง และรองรับกับความต้องการของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และเพียงพอกับปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงได้มีการออกแบบระบบมาโคร / ไมโครเซลลูล่าร์ขึ้นมาใช้งาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบตำแหน่งระบบมาโคร / ไมโครเซลลูล่าร์ โดยศึกษาถึงปัจจัยของตำแหน่งการวางไมโครเซล จำนวนไมโครเซล และรัศมีของไมโครเซล ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้นของระบบ แล้วทำการหาปริมาณความจุของระบบที่สามารถรองรับได้

สำหรับในการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนั้น ได้จำลองระบบขึ้นมาพิจารณาซึ่งประกอบด้วยมาโครเซลจำนวน 7 เซล และไมโครเซล 3 เซล โดยได้กำหนดตำแหน่งการวางของไมโครเซลที่ระยะต่างๆ ตั้งแต่ 0.4 ถึง 1.2 และรัศมีของไมโครเซลที่นำมาใช้ในการทดลองเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 ซึ่งผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้นำเสนอในรูปของปริมาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นทั้งมาโครเซล และไมโครเซล โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบซี ดี เอ็ม เอแบนด์ กว้าง (W-CDMA) และซี ดี เอ็ม เอ 2000 (CDMA2000)

ดังนั้นการออกแบบระบบมาโคร / ไมโครเซลลูล่าร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะต้องให้ปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยที่สุด โดยต้องเลือกจำนวนของไมโครเซล การวางตำแหน่งของไมโครเซล และรัศมีของไมโครเซลให้เหมาะสมกับความต้องการ และปริมาณผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละพื้นที่

บรรณานุกรม

[1] ถวิล พึ่งมา, **ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์**, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] K.E. Oliver, 2005, **Introduction to Automatic Design of Wireless Networks**, ACM Press New York, Crossroads the ACM Student Magazine.

[3] L. Harte. **Introduction To WCDMA : Physical Channels, Logical Channels, Network, and Operation**. Wireless System. Althos Publishing.

[4] L.B. Milstein, "**Wideband Code Division Multiple Access**," IEEE J. Select. Aears Commun., Vol.18, No.8, pp. 1344 – 1354, Aug. 2000.

[5] Harri Halma and Antti Toskala. WCDMA FOR UMTS Radio Access For Third Generation Mobile Communications

[6] The ITU Association of Japan. **Cellular Mobile Telephone System for Rural Communication**, WCDMA System Overview, 2003.

[7] สายัณห์ พวงเงิน, 2524, **การคำนวณปริมาณผู้ใช้และพื้นที่ครอบคลุมเซลที่เหมาะสมในระบบเซลลูล่าร์ซีดีเอ็มเอตามลักษณะพื้นที่ให้บริการ**, กรุงเทพมหานคร : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-บัณฑิตวิทยาลัย.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[8] Zahid Ghadialy, "**Handover principle and concepts**", http://3g4g.co.uk/Tutorial/ZG/zg_handover.html

[9] T. Griparis, T. Lee, Bechtel Corporation, "**The Capacity of a WCDMA**", Bechtel Telecommuincation Technical Journal, Vol.3, No.1, pp.73-78, Aug. 2005,

[10] C. de Almeida, R.P. Fabris HoeFel, Faculdade de Engenharia Eletrica e de Computacao, Caixs Postal, "**On the Interference of Cellular CDMA Systems**", IEEE Conference Processding, Vol. 1, pp. 166-171, Aug. 1998.

[11] A. Masmoudi, S. Tabbane, "**Other-cell-interfernce factor Distribution Model in Downlink WCDMA Systems**", IEEE Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie (INSAT), Vol.36, No.3, pp.245 – 275, Feb. 2006.

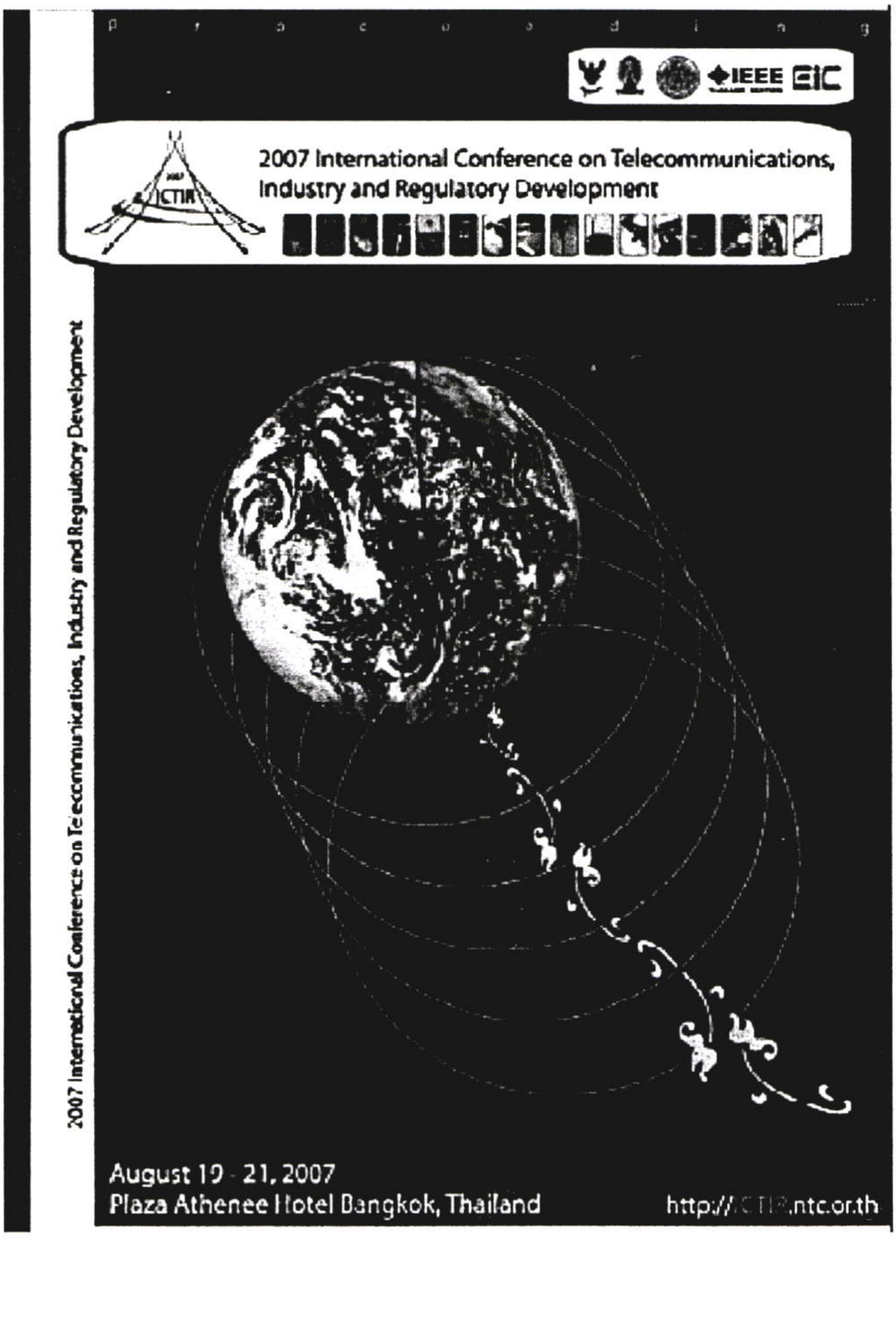
[12] J. Wang and L.B. Milstein "**Approximate interference of a microcellular spread spectrum system**", Electronics Letters, Vol.31, No.20, pp. 1782 – 1783, Sep. 1995,

[13] D. H. Kim, D. D. Lee, H. J. Kim and K. C. Whang, "**Capacity Analysis of Macro/Microcellular CDMA with Power Ratio Control and Tilted Antenna**", IEEE Trans. Vehic. Technol. Vol.49. No.1, pp.34 – 42, Jan. 2000.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

[1] Phichet Moungnoul and Molruedee Pongsuwanporn, "**Macro and Microcell Design in 3G Cellular System**", International Conference on Telecommunication, Industry, and Regulatory Development (ICTIR) 2007, Bangkok, Thailand, 2007.



p r o c e e d i n g
IEEE
EIC
ICTIR
2007 International Conference on Telecommunications,
Industry and Regulatory Development
2007 International Conference on Telecommunications, Industry and Regulatory Development
August 19 - 21, 2007
Plaza Athenee Hotel Bangkok, Thailand

Macro and Microcell Design in 3G Cellular System

Phichet Moungnoul and Monruedee Pongsuwanporn
Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Bangkok 10520, THAILAND
Phone: +66-2-3264242, Fax: +66-2-3264554, E-mail: phichet@telecom.kmitl.ac.th

Abstract-**This paper proposes the capacity analysis of macro and microcellular design in 3G digital cellular system with W-CDMA and CDMA 2000 3x standard. Interference factor and number of interference of system is investigated, because the capacity of system is depend on it. The cell model is consists of seven macrocells and a microcell under perfect power control. The important factor has effect to the interference is radius of microcell, the distance between macrocell and microcell. When vary the microcell allocation and microcell coverage to find the design makes the best capacity of system.**

I. INTRODUCTION

The IMT-2000 (International Mobile Telephone 2000) was to provide Mbps data rate for demanding application such as broadband internet access interactive gaming, and high-quality audio and video entertainment. W-CDMA standard supported by the 3GPP1 (Third Generation Partnership Project 1) and CDMA2000 standard supported by the 3GPP2. The main characteristics of two 3G standard are summarized in table I [1].

TABLE I
3G DIGITAL CELLULAR PHONE STANDARD

Parameter	CDMA2000			
	1X	1XEV-DO	1XEV-DV	3X
Channel bandwidth (MHz)	1.25	1.25	1.25	3.75
Chirp rate (Mchips/s)	1.2288	1.2288	1.2288	3.6864
Peak data rate (Mbps)	0.144	2.4	4.8	5-8
Modulation	QPSK/MPSK (DL), BPSK/QPSK (UL)			
Coding	Convolutional (low rate), Turbo (high rate)			
	W-CDMA			
	UMTS	FOMA	J-phone	
Channel bandwidth (MHz)	5	5	5	
Chirp rate (Mchips/s)	3.84	3.84	3.84	
Peak data rate (Mbps)	2.4	2.4	2.4	
Modulation	QPSK (DL), BPSK (UL)			
Coding	Convolutional (low rate), Turbo (high rate)			

In cellular CDMA system, every cell is used same frequency. User capacity in cell is limited by interference from neighboring cell.[2] When the number of calling in cell exceed than the user channel of macrocell, the blocking probability is increased. Macro/microcell technique is used to solve this problem, by used microcell to cooperate with macrocell for increase the number of users per area. Microcell is installed in the center of macrocell, the worth case of CDMA capacity. [3] The tile angle of antenna in microcell has narrow beam, macro/microcell interference factor will reduce to constant valve.[4] Microcell installation has changed from center to edge of cell, so that macrocell to microcell interference factor will be increase.[5] This paper is studies and investigates the interference change from macrocell and microcell design for CDMA2000 and W-CDMA cellular system with effect to the number of cell capacity. From results of study to solved for microcell installation with macrocell in cause of the optimal capacity.

II. MODEL OF MACRO AND MICROCELLULAR LAYOUT

The system model that considered in this paper consist of seven macrocells has radius R which each macrocell has M users are arranged uniformly and one microcell which has N users are arranged uniformly. The overlaid of macro/microcell is on the D axis as shown in Figure.1. Both types of cells reuse factor in the same frequency band. It is assumed that mobile users that are commented to one type of cell are not connected to another type of cell and under perfect power control. White Guassian noise and thermal noise are not considered. Focus area of circular cell and hexagonal is same, it can be calculated by relation between radius of circle shape and hexagonal shape as follow:

$$R_{circle} = 1.035 R_{Hexagonal} \quad (1)$$

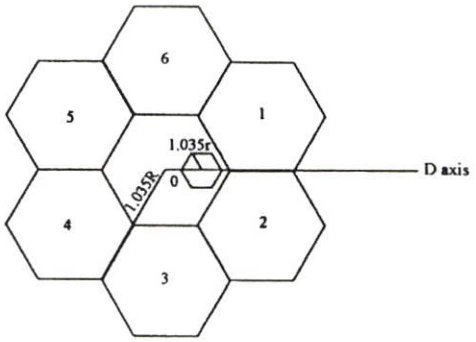


Figure. 1 Model of Macro and microcellular System

III. INTERFERENCE FACTOR AND E_b / I_0

The interference factor is depended on radius of microcell and distance between macro and microcell. In this paper consisted of 3 parameter of interference factor as macro/macrocell interference factor, macro/microcell interference factor and micro/macrocell interference factor.

Let f is the interference factor. From figure 2 shows the calculated parameter distance power ratio [6], express as

$$f = \frac{1}{\pi R^2}\int_0^R\int_0^{2\pi}\left(\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2+(y\sin\theta)^2}\right)^{\gamma/2} xdxdy \quad (2)$$

R is radius of cell, x is the distance between MS and BS, y is the distance between BS and BS, γ is the path loss exponent.

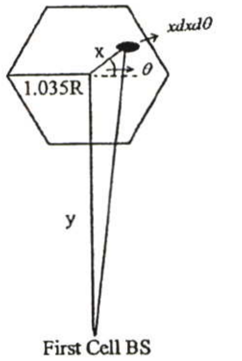


Figure 2 Distance power ratio

A. Macro/ macrocell Interference Factor (f_{MM})

The cell layout in single layer of macrocell is shown in Figure 3. The distance between center of home cell and center of neighbor cell is $1.793R$. Macro/microcell interference factor is

$$f_{MM} = \frac{1}{\pi R^2}\int_0^R\int_0^{2\pi}\left(\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2+(1.793R+x\sin\theta)^2}\right)^{\gamma/2} xdxd\theta \quad (3)$$

f_{MM} is Macro / macrocell interference facto and R is radius of macrocell. The distance between center of home cell and center of every neighbor cell are same and $f_{MM} = 0.0935$

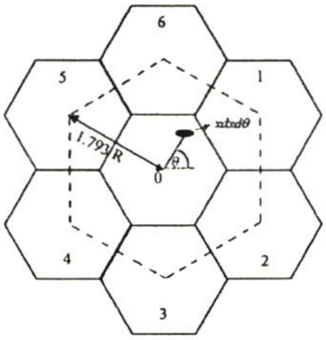


Figure 3 Model for macro/microcell interference factor calculation

B. Micro / macrocell Interference Factor $(f_{\mu M})$

The interference signal from microcell to macrocell [4] can be shown in Figure 4, expressed as

$$f_{\mu M} = \frac{1}{\pi r^2}\int_0^r\int_0^{2\pi}\left(\frac{x^2}{(x\cos\theta)^2+(D+x\sin\theta)^2}\right)^{\gamma/2} xdxd\theta \quad (4)$$

$f_{\mu M}$ is the micro/macrocell interference factor, r is the radius of microcell, D is the distance between center of macrocell and microcell.

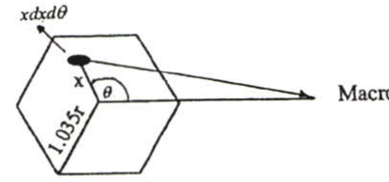


Figure 4 Model for micro/macrocell interference factor calculation

C. Macro/micro Interference Factor

Macro/micro interference factor from macrocell to microcell is determined by Figure 5. Area of interference can separate in 3 regions. [4]

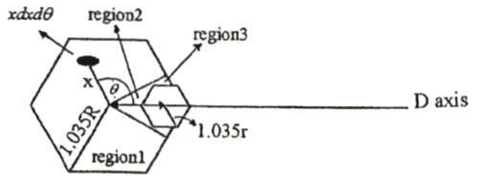


Figure 5 Model for macro/microcell interference factor calculation

By changing the microcell installation distance on D axis x is effect to θ value. Macro/micro interference factor express as

$$f_{M\mu} = \frac{1}{\pi R^2}\iint\left(\frac{x^2}{x^2+D^2-2xD\cos\theta}\right)^{\gamma/2} xdxd\theta \quad (5)$$

$f_{M\mu}$ is Micro / macrocell interference factor and D is distance between center of macrocell and Microcell.

The in^t^erference in microcell is depend on distance between 7 macrocell to a microcell as Figure 6, express as

$$L0 = D \quad (6)$$

$$L1 = L2 = \sqrt{3.215R^2 - 3.106RD + D^2} \quad (7)$$

$$L3 = L6 = \sqrt{3.215R^2 + D^2} \quad (8)$$

$$L4 = L5 = \sqrt{3.215R^2 + 3.106RD + D^2} \quad (9)$$

The calculation of macro / microcell interference factor of system is represent $L_1 - L_6$ and D in (5).

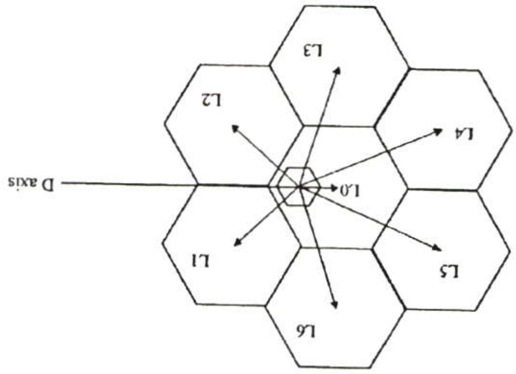


Figure 6 The distance between 7 microcells to macrocell.

D. Interference of macrocell (I_M)

Interference of macrocell is divided in 3 parts. [7] First, self interference at center of home cell, second is interference from 6 neighboring macrocells and the last is interference from a microcell as follow.

$$I_M = \alpha\left[(M-1)P_M^R + MP_M^R f_{MM} + NP_\mu^R f_{\mu M}\right] \qquad (10)$$

G is processing gain, α is activity factor, P_M^R is received power of macrocell, P_μ^R is received power of microcell, M is users of macrocell, N is users of microcell, f_{MM} = Macro / macrocell interference factor and $f_{\mu M}$ is micro/macrocell interference factor.

Power signal to noise ratio in macrocell as follow:

$$(E_b/I_o)_M = \frac{GP_M^R}{\alpha MP_M^R + \alpha MP_M^R f_{MM} + \alpha NP_\mu^R f_{\mu M}} \qquad (11)$$

E. Interference of microcell I_μ

Interference of microcell is divided in 2 parts. First, self interference at center of home cell and interference from 7 neighboring macrocells as follow.

$$I_\mu = \alpha\left[(N-1)P_\mu^R + MP_M^R f_{\mu M}\right] \qquad (12)$$

$f_{M\mu}$ is macro/microcell interference factor.

Power signal to noise ratio in microcell is shown as follow:

$$(E_b/I_o)_\mu = \frac{GP_\mu^R}{\alpha NP_\mu^R + \alpha MP_M^R f_{M\mu}} \qquad (13)$$

I_o is the interference from users in microcell and users in neighboring macrocells (1-7).

F. Capacity of macro/ microcell cellular system

The capacity of macro/microcellular system is depen on the interference effect of cell layout. The number of users in macrocell is express as.

$$M = \frac{M_0}{1 + \dfrac{Nf_{M\mu} f_{\mu M}}{(N_0 - N)(1 + f_{MM})}} \qquad (14)$$

M is number of users in macrocell, M_0 is number of users in macrocell (case is not microcell) , N is number of users in microcell and N_0 is number of user in microcell (case is not macrocell). From (14) shows importance parameter $f_{M\mu}$ and $f_{\mu M}$ is effect to capacity of system.

IV. Numerical Simulation

The simulation parameters has $\gamma = 4$, data rate 144 kbps, importance parameter of CDMA2000 and W-CDMA as table I, radius of macrocell $R = 1$ and changed radius of microcell $r = 0.1, 0.2$ and 0.3, respectively. Microcell installation changed position in D axis as Figure.1.

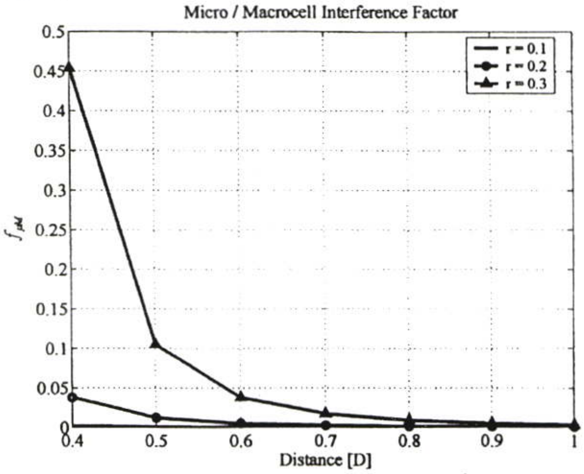


Figure 7 Micro/macrocell interference factor versus $D\,(r = 0.1, 0.2, 0.3)$

Figure 7 shows relationship between $f_{\mu M}$ and D ($f_{MM} = 0.0935$) of CDMA 2000 and W-CDMA are same. The changed the position of microcell from 0.4 D to D, the $f_{\mu M}$ is decreased.

Figure 8 shows relationship between $f_{M\mu}$ and D of CDMA 2000 and W-CDMA are same. The change position of microcell move out form center of macrocell in x axis, $f_{M\mu}$ is increased. The $f_{M\mu}$ can be decrease as $D > 1$.

The capacity of macrocell and microcell in W-CDMA system for fixed radius of microcell and varies D as shown in figure 9. For fixed $r = 0.1$ and adjusted the D, the capacity of system is depend on the multiply between $f_{\mu M}$ and $f_{M\mu}$ as D =0.4, 0.7 and 0.9 that results are 0.0089, 0.0273 and 0.0028,

respectively. When D is increased, the capacity of system is increased.

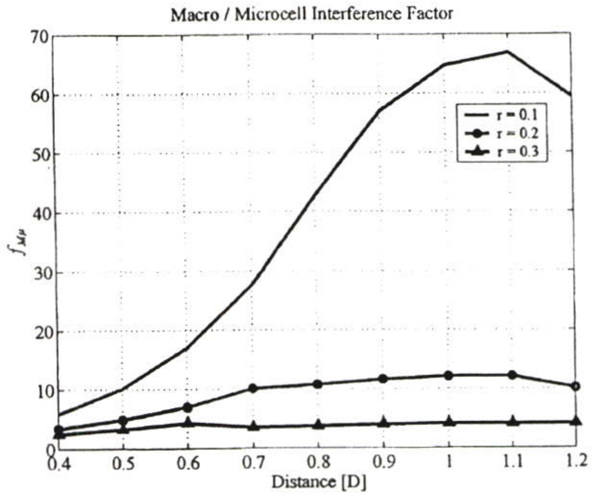


Figure 8 Macro/microcell interference factor versus $D\left(r = 0.1, 0.2, 0.3\right)$

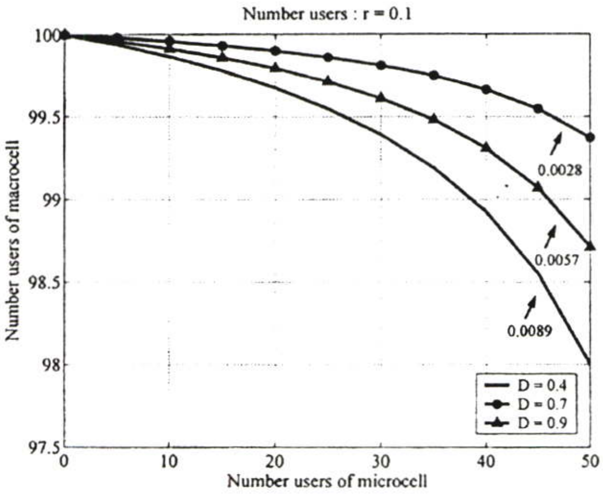


Figure 9 User capacity of W-CDMA $r = 0.1, D = 0.4, 0.7, 0.9$

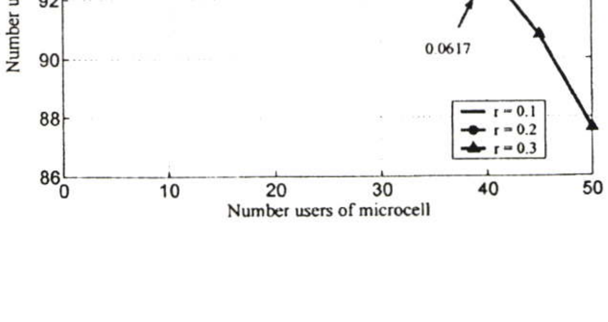


Figure 10 User capacity of W-CDMA $D = 0.7, R = 0.1, 0.2, 0.3$

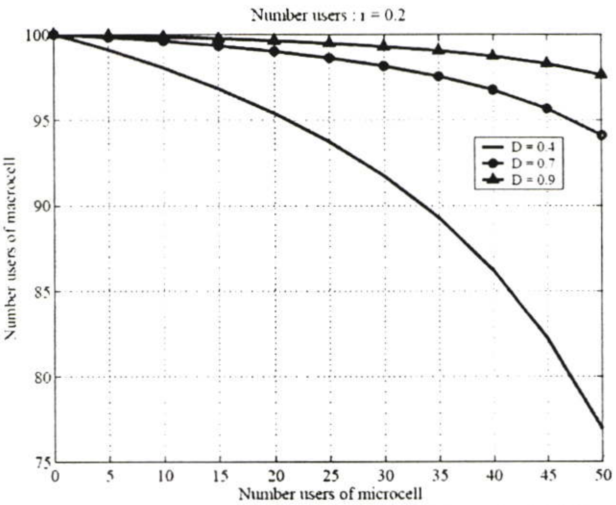


Figure 11 User capacity of CDMA2000 for $r = 0.2, D = 0.4, 0.7, 0.9$

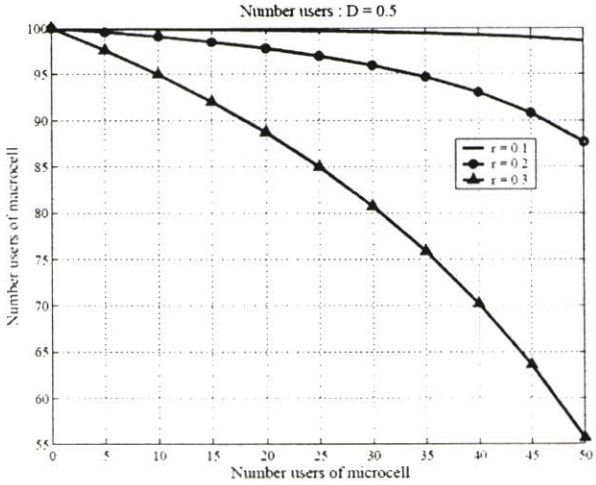


Figure 12 User capacity of CDMA2000 $D = 0.5, r = 0.1, 0.2, 0.3$

Figure 10 shows capacity of W-CDMA system of fixed $D = 0.7$ and varies r =0.1, 0.2 and 0.3. When r is increased, the capacity of system will decrease.

Figure 11 shows capacity of CDMA200 system of fixed $r = 0.2$ and varies D =0.4, 0.7 and 0.8. When D is increased, the capacity of system is increased.

Figure 12 shows capacity of CDMA2000 system of fixed $D = 0.5$ and varies r =0.1, 0.2 and 0.3. When r is increased, the capacity of system will decrease.

V. CONCLUSION

From result shows the radius of microcell, the distance between macrocell and microcell are effect to macro/microcell interference factor. When changed the position of micocell to move out from center of macrocell and reduce microcell radius, macro/microcell interference factor will decrease. Capacity of macro/microcellular W-CDMA and CDMA2000 is depend on

multiply between $f_{\mu M}$ and $f_{M\mu}$ as (14) that result will increase, the capacity is decreased. From (11) and (13), E_b / I_0 in both systems depend on process gain, and the interference is alternatively with processing gain.

REFERENCES

[1] A. Goldsmith, *wireless Communication.* Cambridgl university press, 2005

[2] W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. 40, No. 2, pp.291-302, May 1991.

[3] J-S, J.-K.Chung, M.-T.Sze, "Analysis of uplink and downlink capacities for two-tier cellular system," *IEE Proc. Com.*, Vol.144, No.6, pp.405-411, Dec 1997

[4] D. H. Kim, D.D. Lee, H. J. Kim and K. C. Whang, "Capacity analysis of macro/microcellular CDMA with power ratio control and tilted antenna," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. 49, No. 1,pp. 34-42, January 2000.

[5] G. Wahyudianto and G. Wibisono, "Capacity Analysis of Macrocellular CDMA with Power Ratio Control," *IEICE Trans. Com.*, Vol.E-84, No.11, pp.433-436, Nov 2001.

[6] J. Wang and L. B. Milstein, "Approximate interference of a microcellular spread spectrum system," *IEE Electron. Lett.*, Vol. 31, pp. 1782-1783, Sept. 1995.

[7] K. Takeo, "Uplink Capacity of Macro/Spot –Microcellular Systems in Frequency Division CDMA," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E80-A, No. 7, pp. 1218-1225, July 1997.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวมฤลดี พงศ์สุวรรณพร เกิดเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ.2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547