

การศึกษาศักยภาพความจุของผู้ใช้งานในระบบ TD-SCDMA
เมื่อเปลี่ยนแปลงสเปรดดิ้งแฟคเตอร์

STUDY OF USER CAPACITY IN TD-SCDMA BY ADJUSTING
SPREAD FACTOR

วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์
WUTTICHAJ VJITKUNSAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลกระทบความจุของผู้ใช้งานในระบบ TD-SCDMA
เมื่อเปลี่ยนแปลงสเปรดดิ้งแฟคเตอร์

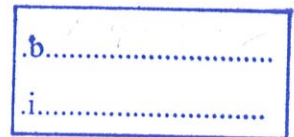
STUDY OF USER CAPACITY IN TD-SCDMA BY ADJUSTING
SPREAD FACTOR



วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์

WUTTICHAJ VIJITKUNSAWAT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....74883
วัน,เดือน,ปี.....15 ต.ค. 2550



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**STUDY OF USER CAPACITY IN TD-SCDMA BY ADJUSTING
SPREAD FACTOR**

WUTTICHAJ VIJITKUNSAWAT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRANANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบความจุของผู้ใช้งานในระบบ TD-SCDMA เมื่อเปลี่ยนแปลงสเปรคดิงแฟลคเตอร์
นักศึกษา	นายวุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์
รหัสประจำตัว	48060953
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการศึกษาผลกระทบการความจุของผู้ใช้งานในระบบ TD-SCDMA เมื่อเปลี่ยนแปลงสเปรคดิงแฟลคเตอร์ ที่ย่านความถี่ 1600 MHz โดยพิจารณาค่าสเปรคดิงแฟลคเตอร์ เพื่อลดค่าแทรกสอดที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในหลายทิศทาง จากผลการทดลองพบว่าขนาดครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อค่าสเปรคดิงแฟลคเตอร์เพิ่มขึ้นทำให้ระบบมีจำนวนผู้ใช้งานที่มากขึ้นตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

Thesis Title	Study of User Capacity in TD-SCDMA by Adjusting Spread Factor
Student	Mr.Wuttichai Vijitkunsawat
Student ID.	48060953
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunication Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assit.Dr. Phichet Moungnoul

ABSTACT

This thesis proposes the study of user capacity in TD-SCDMA by adjusting the spread factor at 1600 MHz frequency band. Result of cell coverage almost remains constant as the number of active user in the cell increases due to the usage of spreading factor cause of suppress MAI (Multiple Access Interference). It also shows that the cell coverage for small spreading factor services is necessarily as smaller than cell coverage for large spreading factor services.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถทำให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาที่ดีจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชฐ ม่วงนวล มาโดยตลอด ซึ่งข้าพเจ้าต้องกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าเป็นอย่างมากที่ให้โอกาสในด้านการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนมาโดยตลอดการศึกษาระดับชั้น

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และรุ่นน้องทุกคนภายในแลบโมบายล์ ที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำในด้านต่างๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุด คุณค่าและประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับระบบทีดี-เอสซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1 พื้นฐานระบบ ซีดีเอ็มเอ.....	4
2.1.1 โค้ด Maximal Sequence	5
2.1.2 การสร้างโค้ด m-sequence.....	8
2.1.3 การสเปกตรัมแบบ Direct Sequence	13
2.1.4 ประเภทของโค้ดที่ใช้ในระบบ CDMA (IS-95).....	15
2.1.4.1 โค้ด Walsh.....	16
2.1.4.2 โค้ด Long PN	18
2.1.4.3 โค้ด Short PN.....	18
2.2 พื้นฐานของระบบ TD-SCDMA.....	19
2.2.1 จุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ.....	20
2.2.2 กลุ่มช่องสื่อสารถาวร.....	22
2.2.3 กลุ่มช่องสื่อสารควบคุม.....	23

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.4	โครงสร้างของช่องสื่อสารตามมาตรฐานแบบFDD.....	24
2.2.5	โครงสร้างของช่องสื่อสารตามมาตรฐานแบบ TDD.....	30
บทที่ 3	ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น.....	33
3.1	การจางหายของสัญญาณเนื่องจากมัลติพาธ.....	33
3.2	การพิจารณาการลดทอนสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น.....	35
3.2.1	การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านธุรกิจ.....	35
3.2.2	การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านที่อยู่อาศัย.....	37
3.2.3	การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านชานเมือง.....	37
3.3	การพิจารณาในทิศทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย.....	38
3.3.1	สัญญาณแทรกสอดจากภายในเซลล์.....	38
3.3.2	สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	39
3.4	การพิจารณาในทิศทางจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน.....	41
3.4.1	สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์.....	41
3.4.2	สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง.....	41
3.5	การพิจารณาความจุของผู้ใช้งาน.....	43
3.6	ความน่าจะเป็นของช่วงสัญญาณขาดหาย.....	45
3.7	การพิจารณาเครื่องลูกข่ายเมื่ออยู่ในสภาพเคลื่อนที่.....	45
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างการครอบคลุมพื้นที่กับจำนวนผู้ใช้งาน.....	46
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง.....	47
4.1	การวิเคราะห์ผลในบริเวณพื้นที่ 1 เซลล์.....	47
4.2	การวิเคราะห์ผลในบริเวณพื้นที่ 7 เซลล์.....	52
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
	เอกสารอ้างอิง.....	58
	ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	59
	ประวัติผู้เขียน.....	64

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ค่าอัตราสัมพันธ์ของชุดโค้ด.....	7
2.2 เงื่อนไขคุณสมบัติที่ 3 ของการสร้างโค้ด m-sequence.....	13
2.3 64-ary Walsh Function.....	17
2.4 สรุปคุณลักษณะทั่วไปของมาตรฐานจุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ.....	21
2.5 สรุปช่องสื่อสารทางกายภาพ (Physical Channel).....	27
2.6 สรุปช่องสื่อสารทางแบบขนส่ง (Transport Channel).....	28
2.7 สรุปช่องสื่อสารตรรก (Logical Channel).....	29
2.8 ตัวอย่างการจัดช่องสื่อสารขนส่งทิศทางขาขึ้น.....	32
2.9 ตัวอย่างการจัดช่องสื่อสารขนส่งทิศทางขาลง.....	32
3.1 ค่าการตอบสนองของสัญญาณในช่องสัญญาณแบบ WSSUS.....	35
3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของการติดตั้งแบบทั่วไปของโมเดล COST-231 สำหรับย่านธุรกิจ.....	36
3.3 พารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของการติดตั้งแบบทั่วไปของโมเดล COST-231 สำหรับย่านที่อยู่อาศัย.....	37
3.4 พารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของการติดตั้งแบบทั่วไปของโมเดล COST-231 สำหรับย่านชานเมือง.....	38
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ.....	47

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ค่าอัตราสหสัมพันธ์ของ โค้ด m-sequence ที่มีการเลื่อนไปของ โค้ดที่ค่าต่างๆ.....	6
2.2 แสดงวงจรกำเนิด โค้ด m-sequence โดยใช้ซีพรีจิสเตอร์ 4 ตัว.....	7
2.3 โครงสร้างทั่วไปของวงจรสร้าง โค้ด m-sequence.....	8
2.4 ตัวอย่างการทำสเปกตรัม.....	15
2.5 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ I.....	18
2.6 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ Q.....	18
2.7 แสดงให้เห็นแนวทางในการทำงานของมาตรฐาน โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ TD-SCDMA.....	20
2.8 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณของเครื่องลูกข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่ในมาตรฐาน TDD.....	23
2.9 เป็นการทบทวนแนวคิดของการกำหนดสร้างแบบจำลอง OSI.....	25
2.10 โครงสร้างของช่องสื่อสารทางกายภาพ.....	26
2.11 โครงสร้างของช่องสัญญาณทางกายภาพสำหรับเครือข่ายแบบ TDD.....	30
3.1 การพิจารณาการแพร่กระจายแบบมัลติพาธ.....	34
3.2 สัญญาณและสัญญาณแทรกสอดที่รับได้ที่เครื่องรับในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์.....	40
3.3 สัญญาณและสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐานในทิศทางการส่งสัญญาณจาก เครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานในสภาพแวดล้อมแบบหลายเซลล์.....	42
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้ลำดับที่ j กับจำนวนของผู้ใช้งาน.....	48
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้ลำดับที่ j กับจำนวนของผู้ใช้งาน เมื่อค่า $k > k_{pole}$ และค่า $Q=16$	48
4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตรา Outage Probability (%) กับจำนวนของผู้ใช้งาน.....	49
4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตรา Outage Probability (%) กับจำนวนของผู้ใช้งาน (เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วในระดับต่างๆ).....	50
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของเซลล์ (m) กับ จำนวนของผู้ใช้งาน เมื่อค่า $Q = 16$	51
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของเซลล์ (m) กับ จำนวนของผู้ใช้งาน เมื่อค่า $Q = 16$	52
4.7 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหายระหว่างเซลล์เดี่ยวและ 7 เซลล์.....	53
4.8 เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้งานระหว่างเซลล์เดี่ยวและ 7 เซลล์.....	54
4.9 เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดระหว่างเซลล์เดี่ยว และ 7 เซลล์.....	55

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

TD-SCDMA	: Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
IMT-2000	: International Mobile Telecommunication-2000
3G	: 3 rd Generation
TDD	: Time Division Duplex
MAI	: Multiple Access Interference
CDMA	: Code Division Multiple Access
TDMA	: Time Division Multiple Access
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
PN	: Pseudo-random Noise
CDMA2000	: Code Division Multiple Access 2000
W-CDMA	: Wide Band Code Division Multiple Access
GSM	: Global System For Mobile Communication
UTRAN	: UMTS Terrestrial Radio Access Network
3GPP	: 3 rd Generation Partnership Project
BPSK	: Binary Phase Shift Keying
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying
DCH	: Dedicate Channel
ODMA	: Opportunity Driven Multiple Access
ODCH	: Opportunity Driven Multiple Access Dedicated Transport Channel
BCH	: Broadcast Channel
FACH	: Forward Access Channel
PCH	: Paging Channel
SCH	: Synchronization channel
RACH	: Random Access Channel
ORACH	: Opportunity Driven Multiple Access Random Access Channel
CPCH	: Common Packet Channel
ITU	: International Telecommunication Union
AWGN	: Additive White Gaussian Noise

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

USCH	: Uplink Shared Channel
DSCH	: Downlink Shared Channel
MAC	: Medium Access Control
LAN	: Local Area Network
DPDCH	: Dedicated Physical Channel
DPCCH	: Dedicated Physical Control Channel
Pri – CCPCH	: Primary Common Control Physical Channel
Sec – CCPCH	: Secondary Common Control Physical Channel
PRACH	: Physical Random Access Channel
PDSCH	: Physical Downlink Shared Channel
PSCCCH	: Physical Shared Channel Control Channel
AICH	: Acquisition Indication Channel
SIR	: Signal-to-interference ratio
OVSF	: Orthogonal Variable Spreading Factor

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) เป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีสำหรับโทรศัพท์มือถือในยุคที่ 3 (3rd Generation, 3G) ด้วยการพัฒนาของบริษัทต้าถัง (Datang Mobile) ภายใต้องค์กร CATT ของประเทศจีนร่วมกับซีเมนส์ (Siemens) จากเยอรมัน ผ่านการรองรับมาตรฐาน IMT-2000 ให้เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ 3G ได้เป็นผลสำเร็จ ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถทำงานสนับสนุนเครือข่ายต่างๆสามารถรองรับบริการมัลติมีเดียหรือข้อมูลแถบกว้าง (Wideband) ไม่กระทบต่อผู้ใช้งานก่อให้เกิดมาตรฐานเดียวกัน สามารถใช้งานต่างระบบร่วมกันได้ทั่วโลก ทำให้ต้นทุนระบบถูกลงมากและจะมีขนาดตลาดที่ใหญ่ขึ้น สามารถอัพเกรดเครือข่ายเดิมจากระบบ 2G ไปสู่ 3G ได้ง่ายทำให้สามารถลดงบประมาณ ลดความเสี่ยงและลดเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครือข่ายระบบ 3G ใหม่ ซึ่งถือว่าเป็นจุดขายที่สำคัญข้อหนึ่งของเทคโนโลยี TD-SCDMA เพราะจะเป็นหนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่รายต่างๆในระบบ 2G ที่ต้องการอัพเกรดเครือข่ายไปสู่ระบบ 3G ซึ่ง TD-SCDMA ได้ประยุกต์การใช้งานร่วมกันระหว่างเทคโนโลยี TDMA เข้ากับ CDMA ที่ Chip Rate ต่ำ มีการใช้แถบความถี่ที่มีขนาดไม่เท่ากันร่วมกับระบบการรับ-ส่งข้อมูลแบบ Time Division Duplex (TDD) ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง แต่ก็เกิดปัญหาในด้านจำนวนผู้ใช้งานตามมา ซึ่งโดยปกติขนาดพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์จะแปรผกผันกับค่าจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์ ถ้าจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์มีจำนวนมากขึ้นก็จะทำให้เกิดการแทรกสอดของการเข้าหลายทางหรือ Multiple Access Interference (MAI) มากขึ้น ในระบบ TD-SCDMA ได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการใช้วิธีดีเทคแบบดีเทคร่วมและการใช้สายอากาศแบบ Smart Antenna เพื่อควบคุมทิศทางของลำคลื่นในการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่งผลให้ TD-SCDMA ใช้กำลังในการรับ-ส่งสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากและช่วยลดค่าการแทรกสอดของการเข้าหลายทางกันของสัญญาณภายในเซลล์ได้ในระดับหนึ่งแต่ในวิทยานิพนธ์ในเล่มนี้ได้ศึกษาและหาวิธีการลดค่าการแทรกสอดของการเข้าหลายทาง โดยใช้วิธีการเพิ่มค่าสเปรดดิ้งแฟกเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มสเปรดดิ้งแฟกเตอร์นี้ทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้นกว่าเดิม โดยที่ขนาดครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงผลการศึกษาจากวิทยานิพนธ์นี้จะประโยชน์ในการออกแบบและการวางโครงข่ายเพื่อหาขนาดของเซลล์ที่เหมาะสมที่สุดในระบบ TD-SCDMA ต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อศึกษาวิธีลดค่าการแทรกสอดของการเข้าหลายทางในระบบ TD-SCDMA เพื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์ให้มากขึ้น ดังนั้นจึงทำการศึกษาองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบดังต่อไปนี้

1.2.1 ศึกษาปัญหาที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดการแทรกสอดของการเข้าหลายทางในระบบ TD-SCDMA

1.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานระหว่าง 1 เซลล์ และ 7 เซลล์

1.2.3 ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรต่างๆที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ตัวแปรของผู้ใช้งานเมื่อมีการเคลื่อนที่ จำนวนผู้ใช้งานในระบบ และขนาดพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในระบบโทรศัพท์ CDMA ผู้ใช้งานแต่ละคนจะถูกกำหนดโดยรหัสกลุ่มหนึ่งที่ไม่ซ้ำกันระหว่างผู้ใช้งาน เมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้นจำนวนของรหัสก็จะมีมากขึ้น ทำให้เกิดการแทรกสอดของการเข้าหลายทางสูง คุณภาพของระบบ CDMA ก็จะต่ำลง โดยจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์จะแปรผกผันกับขนาดพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ ถ้าเซลล์มีขนาดใหญ่ทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์จำนวนมากขึ้น เป็นผลให้เกิดการแทรกสอดกันของการเข้าหลายทางมากขึ้น การแก้ปัญหาข้างต้นนี้จะใช้วิธีปรับค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้นและระบบยังสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าเดิม ทำให้โอกาสที่จะเกิดการแทรกสอดกันของการเข้าหลายทางลดลง และประสิทธิภาพของระบบที่ทำการศึกษาคงจะเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรต่างๆเหล่านี้คือ ค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ ค่าความเร็วในระดับต่างๆ ระยะพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ จำนวนผู้ใช้งาน ค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหาย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ระบบ TD-SCDMA มีการแก้ปัญหาค่าการแทรกสอดโดยการใช้วิธีเทคนิคแบบดีเทคร่วมและการใช้สายอากาศแบบ Smart Antenna ทำให้สามารถลดค่าการแทรกสอดของการเข้าหลายทางภายในเซลล์ได้ระดับหนึ่ง ซึ่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ใช้เทคนิคการปรับค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้นและระบบยังสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากกว่าเดิม ทำให้โอกาสที่จะเกิดการแทรกสอดกันของการเข้าหลายทางลดลง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีลดค่าการแทรกสอดของการเข้าหลายทาง โดยใช้เทคนิคการปรับค่าสเปกตรัมเฟคเตอร์เพื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานภายในระบบ โดยจะพิจารณาค่าความเร็วในระดับต่างๆ ระยะพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ จำนวนผู้ใช้งาน ค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหาย และเปรียบเทียบพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ ระหว่าง 1 เซลล์ และ 7 เซลล์ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาวิธีลดค่าการแทรกสอดของการเข้าหลายทางในระบบ TD-SCDMA โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆ ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยของระบบซีดีเอ็มเอ และระบบ TD-SCDMA

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนดำเนินการหาโมเดลต่างๆ ก่อนที่จะนำมาใช้ในวิเคราะห์

บทที่ 4 กล่าวถึงสมรรถนะของระบบพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้และผลที่ได้จากการจำลองระบบ เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอ นั้นสามารถที่ช่วยให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น

บทที่ 5 บทสรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับระบบทีดี-เอสซีดีเอ็มเอ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบทีดี-เอสซีดีเอ็มเอ โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคพื้นฐานของระบบซีดีเอ็มเอและระบบทีดี-เอสซีดีเอ็มเอ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษา และประเมินประสิทธิภาพของระบบทีดี-เอสซีดีเอ็มเอ

2.1 พื้นฐานของระบบซีดีเอ็มเอ

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงหลักการของการทำสเปกตรัม (spread spectrum) สำหรับการใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA (Code Division Multiple Access) การทำสเปกตรัมในยุคแรกๆ นั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำมาใช้งานในวงการทหารสำหรับป้องกันการรบกวนของข้าศึกต่อการรับส่งสัญญาณ (enemy jamming) หากแต่ในปัจจุบันวิธีการนี้ได้นำมาใช้ประโยชน์ในระบบสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย โดยประโยชน์สำคัญที่ได้รับจากวิธีนี้คือสามารถเพิ่มอัตราการรับ-ส่งข้อมูลให้สูงขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้สูงกว่าระบบที่มีการใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลายในขณะนี้คือ FDMA และ TDMA

วิธีการทำสเปกตรัมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลักคือ

- Direct Sequence
- Frequency Hopping

ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันโดยหลักการ หากแต่ทั้งคู่อาศัยโค้ดชนิดเดียวกันที่มีชื่อเรียกว่าโค้ด PN (Pseudo-random Noise) เป็นส่วนสำคัญ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงแนวทางการสร้างและคุณลักษณะของโค้ด PN ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการของการทำสเปกตรัมแบบ Direct Sequence

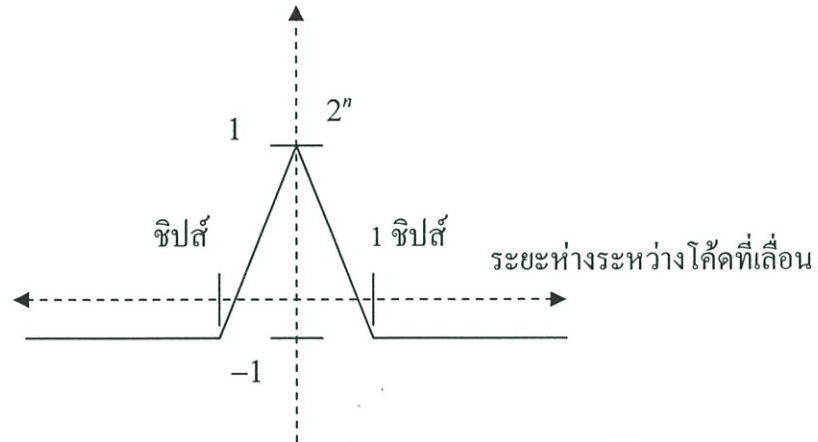
โค้ด PN ก็คือ ลำดับสัญญาณ (sequence) ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีการที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน หากแต่โค้ดหรือลำดับสัญญาณที่ได้มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณรบกวนมาก โค้ดชนิดนี้ถูกนำมาใช้งานในทางปฏิบัติอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น นำมาใช้ในการซิงโครไนซ์ (signal synchronization) การเข้ารหัสลับข้อมูล (cryptography) และการทำสเปกตรัม (spread spectrum) เป็นต้น การสร้างโค้ดประเภทนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น m-sequence, Gold และ Kasami เป็นต้น วิธีการหนึ่งที่มีความนิยมมากเป็นพิเศษคือ วิธีที่เรียกว่า binary maximal sequence หรือที่เรียกว่า binary m-sequence ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงโค้ดประเภทนี้ในรายละเอียด

2.1.1 โค้ด Maximal Sequence

โค้ด maximal-sequence หรือ m-sequence เป็นโค้ดที่สร้างขึ้นจากชิฟต์รีจิสเตอร์จำนวนหนึ่งที่มาต่อเชื่อมกันแบบอนุกรมโดยที่มีการป้อนกลับของสัญญาณจากชิฟต์รีจิสเตอร์อย่างน้อย 2 ตำแหน่งกลับไปยังที่ขาเข้าของรีจิสเตอร์ตัวแรก โดยนิยามแล้วโค้ดชนิดนี้สามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวมากที่สุดได้คือมีความยาวเท่ากับ $2^n - 1$ เมื่อ n คือจำนวนของชิฟต์รีจิสเตอร์ที่ใช้ชุด โค้ดทุกชุดที่สร้างขึ้นจะมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมือนกันดังต่อไปนี้

- โค้ดหรือลำดับสัญญาณที่ได้จะมีชิปส์ (chips) ที่มีค่าเป็นหนึ่งจำนวนมากกว่าชิปส์ที่มีค่าเป็นศูนย์อยู่หนึ่งชิปส์เสมอ เช่น ชุดโค้ดที่ใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์จำนวน 10 ตัว ให้ลำดับสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ $2^{10} - 1 = 1023$ ชิปส์จะประกอบด้วยชิปส์ที่มีค่าเป็นศูนย์จำนวน 511 และชิปส์ที่มีค่าเป็นหนึ่งจำนวน 512 ชิปส์
- ภายในลำดับสัญญาณแต่ละชุดจะมีช่วงของชิปส์ที่มีค่าเป็น ศูนย์หรือหนึ่ง ต่อเนื่องกันจำนวนหนึ่ง ส่วนที่ต่อเนื่องกันนี้จะเรียกว่า รัน (run) โดยความยาวของแต่ละรันจะมีขนาดที่แตกต่างกันไป สำหรับโค้ด m-sequence จะมีคุณสมบัติของรันที่พิเศษคือ จะมีรันของศูนย์และหนึ่งขนาด P ชิปส์เกิดขึ้นในลำดับสัญญาณทั้งสิ้น $2^{n-(p+2)}$ ครั้ง โดย P มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง $n-2$ เมื่อ n คือจำนวนของชิฟต์รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลำดับสัญญาณ นอกจากนี้จะมีการรันของศูนย์ขนาด $n-1$ จำนวน 1 รัน และรันของหนึ่งขนาด n จำนวน 1 รันเสมอ
- อัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) ของชุดโค้ด m-sequence จะมีค่าเท่ากับ -1 เสมอหากมีการเลื่อนของชุดโค้ดทั้งสองชุดที่เหมือนกันทุกประการให้มีขนาดห่างกันมากกว่า ± 1 ชิปส์ แต่ถ้าหากการเลื่อนชุดโค้ดทั้งสองชุดอยู่ในช่วง 0 ± 1 ค่าของอัตสหสัมพันธ์จะแปรเปลี่ยนไปตามระยะเลื่อนไปของชุดโค้ดทั้งสองอย่างเชิงเส้นโดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง $2^n - 1$ จากรูปที่ 2.1 ประกอบ หมายเหตุในการหาค่าอัตสหสัมพันธ์สามารถกระทำได้โดยการนำค่าของชิปส์จากลำดับสัญญาณ 2 ชุดที่ตำแหน่งเดียวกันมาคูณกัน แล้วนำผลที่ได้ของแต่ละตำแหน่งมาบวกรวมกันทั้งหมดผลที่ได้ก็คือค่าอัตสหสัมพันธ์ ทั้งนี้ในการคูณกันนั้นจะกำหนดให้ใช้ -1 แทนชิปส์ที่มีค่าเป็นศูนย์และหนึ่ง แทนชิปส์ที่มีค่าเป็นหนึ่ง ในการหาค่าอัตสหสัมพันธ์นั้นจะต้องใช้ลำดับสัญญาณ 2 ชุดที่เหมือนกัน แต่อาจมีการเลื่อนชิปส์ของลำดับสัญญาณชุดหนึ่งให้ต่างจากลำดับสัญญาณของอีกชุดหนึ่งด้วยระยะทางต่างๆตามต้องการ
- เมื่อนำโค้ด m-sequence ชุดหนึ่งมาบวกมอดูโล 2 กับโค้ดชุดเดิมที่มีการเลื่อนชิปส์ไป จะได้โค้ดชุดใหม่ที่มีคุณลักษณะเดียวกันกับ โค้ดชุดเดิมแต่มีการเลื่อนชิปส์ไปด้วยจำนวนที่แตกต่างจากโค้ดเริ่มต้นทั้งสองชุด

- หากพิจารณาค่าของชิฟต์รีจิสเตอร์แต่ละตัว ณ จังหวะเวลาใดเวลาหนึ่ง จะพบว่าค่าหรือสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปจากที่จังหวะเวลาอื่นๆ ทั้งหมดเมื่อพิจารณาภายในช่วงเวลา 1 คาบของลำดับสัญญาณ นั่นคือรูปแบบสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านี้จะไม่มีอาการเกิดซ้ำภายใน 1 คาบสัญญาณ อีกทั้งจะไม่เกิดกรณีที่สถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด เพราะในสถานะดังกล่าววงจรชิฟต์รีจิสเตอร์จะไม่สามารถสร้างลำดับสัญญาณขึ้นได้ ดังนั้นในการสร้างลำดับสัญญาณนั้นจะต้องแน่ใจว่าค่าตั้งต้นของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าที่ไม่เป็นศูนย์พร้อมกันหมด



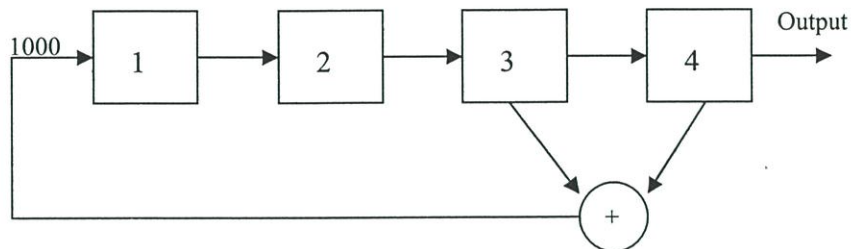
รูปที่ 2.1 ค่าอัตสหสัมพันธ์ของไคด์ m-sequence ที่มีการเลื่อนไปของไคด์ที่ค่าต่างๆ

คุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมานี้ทำให้ไคด์ประเภทนี้มีประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติ เช่น การที่ไคด์มีจำนวนชิปส์ที่เป็นศูนย์ใกล้เคียงกับชิปส์ที่เป็นหนึ่ง ทำให้เวลานำมาใช้งานกับระบบสื่อสารบางประเภทเช่นระบบที่มอดูเลตสัญญาณโดยมีการ Suppress carrier จะไม่มีปัญหาในเรื่องขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงเกิดขึ้น สังเกตว่าไคด์ที่มีความยาวมากขึ้น ปัญหาในเรื่องดังกล่าวก็จะลดลงตามไปด้วย

จากรูปแบบและลักษณะการเกิดของรันที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ได้มีการพิสูจน์และพบว่าไคด์ประเภทนี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับสัญญาณรบกวนจริงๆ ทั้งๆ ที่ไคด์ m-sequence เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรายคาบคือจะมีรูปแบบที่ซ้ำเดิมเมื่อครบรอบหนึ่งคาบ

คุณสมบัติอัตสหสัมพันธ์ของไคด์ m-sequence ก็มีประโยชน์อย่างมากกับระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA เพราะลำดับสัญญาณชุดหนึ่งที่มีความยาวมากเพียงพอสามารถนำมาใช้ในการระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานได้เป็นจำนวนมากโดยอาศัยการเลื่อนชิปส์ของลำดับสัญญาณไปด้วยจำนวนที่แตกต่างกันเช่นในมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA ใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์จำนวน 15 ตัว ในการสร้างไคด์ที่มีความยาวเท่ากับ $2^{15} - 1 = 32768$ ชิปส์ สถานีฐานแต่ละแห่งจะใช้วงจรสร้างไคด์แบบเดียวกันสำหรับการใช้งานได้ทั้งหมด $32768/64 = 512$ ชุด สำหรับใช้ระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานได้มากถึง 512 แห่ง เช่น รูปข้างล่างแสดงวงจรกำเนิดไคด์

m-sequence โดยใช้ชิพรีจิสเตอร์ 4 ตัว ($n=4$) และวงจรวกเลขฐานสอง ซึ่งทำหน้าที่รวมสัญญาณจากชิพรีจิสเตอร์ตัวที่ 3 ตัวที่ 4 จำนวน 1 ชุด วงจรนี้จะสามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ $2^n - 1 = 15$ ชิพส์ ถ้าหากตั้งค่าเริ่มต้นของชิพรีจิสเตอร์ด้วยค่า 1000 ผลที่ได้จะเป็นลำดับสัญญาณที่มีค่าเป็น 000100110101111



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรกำเนิดโค้ด m-sequence โดยใช้ชิพรีจิสเตอร์ 4 ตัว

จากชุดโค้ดที่ได้สามารถนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้ดังนี้

- ชุดโค้ดมีชิพส์ที่มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด 7 ตัวและชิพส์ที่มีค่าเป็นหนึ่ง 8 ตัวนั่นคือ จำนวนศูนย์และหนึ่งโค้ดมีค่าต่างกันเพียงแค่นี้
- ชุดโค้ดประกอบด้วยรันของศูนย์จำนวน 4 รัน และรันของหนึ่งอีก 4 รัน โดยรันที่มีความยาวเท่ากับ 1 ของที่เป็นศูนย์และหนึ่งมีทั้งหมดอย่างละ 2 รัน หรือเทียบเท่ากับ $1/2$ ของจำนวนรันทั้งหมด รันที่มีความยาวเท่ากับ 2 ของที่เป็นศูนย์และหนึ่งมีทั้งหมดอย่างละ 1 รัน หรือเทียบเท่ากับ $1/4$ ของจำนวนรันทั้งหมด รันของศูนย์ที่มีความยาวเท่ากับ 3 จำนวน 1 รัน และรันของหนึ่งที่มีความยาวเท่ากับ 4 จำนวน 1 รัน
- ค่าอัตราสัมพันธ์ของชุดโค้ดมีคุณลักษณะดังที่แสดงในตารางข้างล่าง

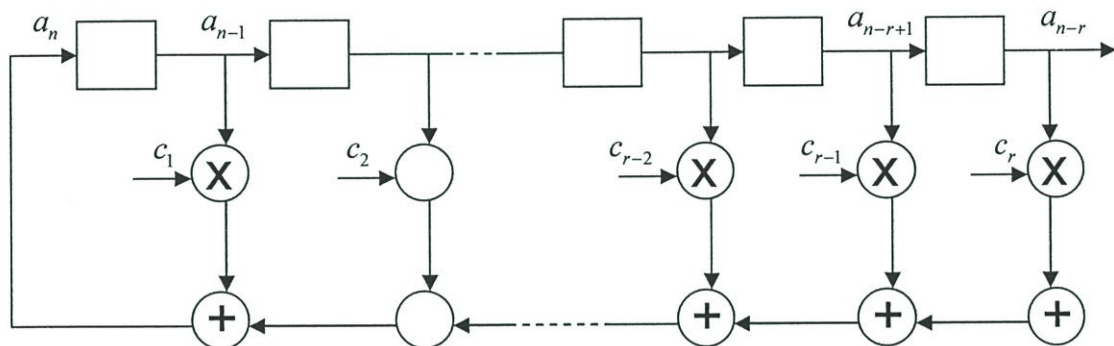
ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราสัมพันธ์ของชุดโค้ด

จำนวนชิพส์ที่เลื่อนจากกัน	ลำดับสัญญาณ	อัตราสัมพันธ์
0	000100110101111	15
1	100010011010111	-1
2	110001001101011	-1
3	111000100110101	-1
4	111100010011010	-1
5	011110001001101	-1
6	101111000100110	-1
7	010111100010011	-1

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

จำนวนชิปส์ที่เลื่อนจากกัน	ลำดับสัญญาณ	อัตราสัมพันธ์
8	101011110001001	-1
9	110101111000100	-1
10	011010111100010	-1
11	001101011110001	-1

2.1.2 การสร้างโค้ด m-sequence



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทั่วไปของวงจรสร้างโค้ด m-sequence

พิจารณาลักษณะโครงสร้างของวงจรสร้างโค้ด m-sequence ที่ประกอบด้วยชิปส์รีจิสเตอร์จำนวน r ตัวและวงจรบวกสัญญาณแบบมอดุโล 2 อีกจำนวนหนึ่งในรูปที่ 2.3 จากในรูปจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ของ a_n กับสัญญาณค่าอื่นๆ ได้เป็น

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + \dots + c_{r-1} a_{n-r+1} + c_r a_{n-r} = \sum_{i=1}^r c_i a_{n-i} \quad (2.1)$$

ตัวแปรต่างๆ ในสมการนี้มีค่าได้เพียง 2 รูปแบบคือ 0 หรือ 1 โดย c_i ($i=1,2,\dots,r$) มีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีการป้อนกลับของสัญญาณจากชิปส์รีจิสเตอร์ตัวที่ i กลับไปที่ขาเข้าของชิปส์รีจิสเตอร์ตัวแรกและมีค่าเป็น 1 เมื่อมีการป้อนกลับของสัญญาณที่ตำแหน่งดังกล่าว ทั้งนี้ c_r จะต้องมีความเป็น 1 เสมอ ส่วนของวงจรบวกจะเป็นการบวกแบบมอดุโล 2 นั่นคือ $0+1=1+0=1$ และ $0+0=1+1=0$ ซึ่งก็คือการทำ Exclusive-OR นั่นเอง

สมมติให้ลำดับสัญญาณจากวงจรสร้างโค้ด m-sequence สามารถเขียนในรูปของ generating function ได้เป็น

$$G(D) = a_0 + a_1 D + a_2 D^2 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} a_n D^n \quad (2.2)$$

โดย D คือการหน่วงเวลาไปหนึ่งหน่วยหรือจังหวะเวลา ส่วนค่ายกกำลังของ D คือจำนวนหน่วยเวลาที่มีการหน่วงเวลาไป

จากสมการ 2.1 และ 2.2 เราสามารถเขียนสมการ 2.3 ได้เป็น

$$\begin{aligned} G(D) &= \sum_{n=0}^{\infty} a_n D^n = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{i=1}^r c_i a_{n-i} D^n \\ &= \sum_{i=1}^r c_i D^i \left[\sum_{n=0}^{\infty} a_{n-i} D^{n-i} \right] \\ &= \sum_{i=1}^r c_i D^i \left[a_{-i} D^{-i} + \dots + a_{-1} D^{-1} + G(D) \right] \end{aligned} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 ย้ายข้างของ $G(D)$ ใหม่ได้เป็น

$$G(D) \left(1 - \sum_{i=1}^r c_i D^i \right) = \sum_{i=1}^r c_i D^i (a_{-i} D^{-i} + \dots + a_{-1} D^{-1})$$

หรือ

$$G(D) = \sum_{i=1}^r c_i D^i (a_{-i} D^{-i} + \dots + a_{-1} D^{-1}) / \left(1 - \sum_{i=1}^r c_i D^i \right) = g_0(D) / f(D) \quad (2.4)$$

โดย $f(D) = \left(1 - \sum_{i=1}^r c_i D^i \right)$ เป็นค่าที่เรียกว่า characteristic polynomial ของวงจรถิฟตรีจิสเตอร์ที่ใช้ โดยค่านี้ขึ้นอยู่กับค่า c_0, c_1, \dots, c_r เท่านั้น ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าภายในวงจรจะมีการป้อนกลับของสัญญาณจากชิฟตรีจิสเตอร์ตัวใดบ้าง สำหรับ $g_0(D)$ เป็นส่วนที่ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของชิฟตรีจิสเตอร์แต่ละตัว $a_{-r}, a_{-r+1}, \dots, a_{-1}$ ก่อนที่ค่าแรก a_0 ของลำดับสัญญาณจะไหลออกมาสามารถเขียน $g_0(D)$ ใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} g_0(D) &= \sum_{i=1}^r c_i (a_{-i} + a_{-i+1} D + \dots + a_{-1} D^{i-1}) \\ &= c_1 a_{-1} + c_2 (a_{-2} + a_{-1} D) + \dots + c_r (a_{-r} + a_{-r+1} D + \dots + a_{-1} D^{r-1}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณากรณีพิเศษคือสมมติให้

$$a_{-r} = 1 \text{ และ } a_{-r+1} = a_{-r+2} = \dots = a_{-2} = a_{-1} = 0$$

และจากนั้นจะขยายการอธิบายให้ครอบคลุมในกรณีทั่วไปภายหลัง สำหรับกรณีพิเศษนี้สมการที่ 2.5 จะเขียนได้เป็น

$$g_0(D) = 1, G(D) = 1/f(D) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.4 และ 2.6 สามารถพิสูจน์ถึงคุณสมบัติที่สำคัญ 3 อย่างดังต่อไปนี้

คุณสมบัติที่ 1 : ลำดับสัญญาณที่สร้างขึ้นจะเป็นสัญญาณรายคาบ โดยที่มีคาบความยาวเป็น

$$P \leq 2^r - 1 \quad (2.7)$$

คุณสมบัตินี้สามารถพิสูจน์ได้จากการที่ทราบว่าค่าชิฟตรีจิสเตอร์ทั้งหมด r ตัว จะมีรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ $2^r - 1$ แบบ และมีรูปแบบอีกหนึ่งรูปแบบที่ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดสำหรับกรณีที่ชิฟตรีจิสเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดคาบของลำดับสัญญาณจะมีค่าเป็น 1 คือชิฟตรีจิสเตอร์ทุก

ตัวก็ยังคงจะมีค่าเป็นศูนย์ไปตลอด ส่วนในกรณีที่เหลือนั้นรูปแบบของค่ารีจิสเตอร์ทั้งหมดจะต้องมีการซ้ำเกิดขึ้นหลังจากเวลาผ่านไป $2^r - 1$ จังหวะเวลาอย่างแน่นอน เมื่อเกิดการซ้ำกันขึ้นของรูปแบบของค่าในรีจิสเตอร์หลังจากที่ผ่านไป $P \leq 2^r - 1$ จังหวะเวลาค่าต่างๆ เหล่านี้ก็จะมีการซ้ำกันเกิดขึ้นอีกในทุกๆ ช่วงเวลา P เพราะจากสมการที่ 2.4 จะเห็นว่าลำดับการเกิดขึ้นของค่าในรีจิสเตอร์ในแต่ละจังหวะเวลาถูกกำหนดจากค่าเริ่มต้น $g_0(D)$ เท่านั้น เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าลำดับสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณรายคาบที่มีความยาวเท่ากับ $P \leq 2^r - 1$

คุณสมบัติที่ 2 : คาบความยาวของ $G(D)$ คือเลขจำนวนเต็ม P ที่เล็กที่สุดจะมีค่ามากกว่าศูนย์ โดยที่ $f(D)$ สามารถหาร $1 - D^P$ ลงตัว ทั้งนี้ $g_0(D)$ และ $f(D)$ ต้องไม่มีตัวประกอบร่วมกัน

ในการพิสูจน์คุณสมบัติข้อนี้จะเริ่มจากกรณีที่ง่ายก่อนคือกรณีที่ $g_0(D) = 1$ จากนั้นจึงจะขยายการพิสูจน์ให้ครอบคลุมทุกๆ กรณีในการพิสูจน์นั้นเราแสดงให้เห็นว่า ถ้า $G(D)$ มีความยาวเท่ากับ P แล้ว $f(D)$ จะต้องหาร $1 - D^P$ ลงตัวเสมอ และในทางกลับกันถ้า $f(D)$ หาร $1 - D^P$ ลงตัวแล้ว $G(D)$ ก็จะต้องมีความยาวเท่ากับ P ด้วยถ้าหากว่า $G(D)$ มีความยาวเท่ากับ P และ $g_0(D) = 1$ แล้วจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{1}{f(D)} &= G(D) = (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1}) \\ &\quad + D^{2p}(a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1}) \\ &\quad + D^{4p}(a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1}) + \dots \\ &= \frac{1}{1 - D^p}(a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1}) \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\frac{1 - D^p}{f(D)} = (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})$$

ซึ่งแสดงว่า $f(D)$ หาร $1 - D^p$ ลงตัว

ในทางกลับกันถ้า $f(D)$ หาร $1 - D^p$ ลงตัวก็สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\frac{1 - D^p}{f(D)} = (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})$$

เนื่องจาก $g_0(D) = 1$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} G(D) &= \frac{1}{f(D)} = \frac{1}{1 - D^p}(a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1}) \\ &= (1 + D^p + D^{2p} + \dots)(a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1}) \end{aligned}$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า $G(D)$ เป็นสัญญาณรายคาบที่มีความยาวคาบเท่ากับ P

สำหรับกรณีทั่วไปที่ $g_0(D)$ มีค่าเป็นเท่าใดก็ได้ นั่นก็สามารพพิสูจน์ได้เช่นกัน จากที่ถ้า $G(D)$ มีคาบความยาวเท่ากับ P แล้วจะเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{g_0(D)}{f(D)} = G(D) = \frac{1}{1-D^P} (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})$$

ซึ่งจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$g_0(D)(1-D^P) = (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})f(D)$$

จากเงื่อนไขที่ $g_0(D)$ และ $f(D)$ จะต้องไม่มีตัวประกอบร่วมกัน ดังนั้นสมการข้างต้นจะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อ $f(D)$ ต้องสามารถหาร $(1-D^P)$ ลงตัว

สำหรับการพิจารณาในทางกลับกันคือถ้า $f(D)$ สามารถหาร $(1-D^P)$ ลงตัวแล้ว จะได้ว่าในกรณี $g_0(D)=1$ สมการความสัมพันธ์ที่ได้คือ

$$\frac{1}{f(D)} = G(D) = (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})(1 + D^P + \dots + D^{2P} + \dots)$$

แต่สำหรับกรณีที่ $g_0(D)$ มีค่าที่ต่างไป คือ $g_0(D) = g_0 + g_1D + \dots + g_{r-1}D^{r-1}$ โดยที่ $g_k = 1$ อย่างน้อยหนึ่งค่าของ k ที่ไม่เท่ากับ 0 เราจะสามารถเขียนสมการของ $G(D)$ ได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} G(D) = \frac{g_0(D)}{f(D)} &= g_0 (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})(1 + D^P + D^{2P} + \dots) \\ &+ g_1 (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})(1 + D^P + D^{2P} + \dots) \\ &+ \dots + g_{r-1}D^{r-1} (a_0 + a_1D + \dots + a_{p-1}D^{p-1})(1 + D^P + D^{2P} + \dots) \end{aligned}$$

จากสมการที่ได้จะเห็นว่าในแต่ละเทอมนั้นเป็นสัญญาณรายคาบที่มีคาบยาวเท่ากับ P ซึ่งเมื่อรวมสัญญาณคาบแต่ละเทอมเข้าด้วยกันแล้วก็จะได้สัญญาณรายคาบที่มีคาบความยาวเท่าเดิมคือ เท่ากับ P สังเกตว่าถ้าหาก $f(D)$ สามารถแยกออกเป็นตัวประกอบย่อยได้แล้ว อาจจะมีกรณีที่ $g_0(D)$ บางรูปแบบมีตัวประกอบย่อยแบบเดียวกันกับ $f(D)$ ในกรณีแบบนี้จะทำให้คาบความยาวที่ได้มีขนาดเล็กลง นั่นคือ $P \leq 2^r - 1$

คุณสมบัติที่ 3 : เงื่อนไขที่จำเป็นในการที่วงจรถ้าระดับสัญญาณจะสามารถให้สัญญาณที่มีคาบความยาวสูงสุดเท่ากับ $P = 2^r - 1$ คือ $f(D)$ ต้องไม่สามารถแยกออกเป็นตัวประกอบย่อยได้อีก (irreducible)

ในการพิสูจน์คุณสมบัติข้อนี้ จะสมมติให้ $g_0(D)=1$ ได้โดยที่ไม่ส่งผลต่อการพิสูจน์ สำหรับกรณีทั่วไปเพราะหากถ้าระดับสัญญาณที่ได้มีคาบความยาวเท่ากับ $P = 2^r - 1$ แล้ว เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งค่าของรีจิสเตอร์แบบต่างๆ ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอนและ ณ จังหวะเวลานั้นสามารถกำหนดให้รูปแบบนั้นเป็นค่าตั้งต้น $g_0(D)$ ได้

ถ้าหาก $f(D)$ สามารถนำมาแยกตัวประกอบได้เป็น $s(D)$ และ $t(D)$ ที่มีดีกรีเป็น r_s และ r_t ตามลำดับโดยที่ $r_s \geq 1$ และ $r_t \geq 1$ และ $r = r_s + r_t$ เมื่อทำการแยกตัวประกอบของ $1/f(D)$ ก็จะได้

$$G(D) = \frac{1}{f(D)} = \frac{\alpha(D)}{s(D)} + \frac{\beta(D)}{t(D)}$$

โดย

$$\text{period} \left[\frac{\alpha(D)}{s(D)} \right] \leq 2^{r_s} - 1, \text{period} \left[\frac{\beta(D)}{t(D)} \right] \leq 2^{r_t} - 1$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} \text{period}[G(D)] &\leq \text{period} \left[\frac{\alpha(D)}{s(D)} \right] \cdot \text{period} \left[\frac{\beta(D)}{t(D)} \right] \\ &\leq (2^{r_s} - 1)(2^{r_t} - 1) = 2^r - 2^{r_s} - 2^{r_t} + 1 \leq 2^r - 3 \end{aligned}$$

จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่าขัดกันกับที่ได้ระบุไว้ข้างต้น เพราะฉะนั้น $f(D)$ จะต้องมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถแยกตัวประกอบได้ (irreducible)

การที่ $f(D)$ มีคุณสมบัติดังกล่าวเพียงอย่างเดียวมิได้หมายความว่าคาบของสัญญาณที่ได้จะต้องมีขนาดสูงเท่ากับ $P = 2^r - 1$ เสมอไปยกตัวอย่างเช่น ในกรณี $r = 4$ ซึ่งควรจะให้คาบสัญญาณที่มีความยาวสูงสุดเท่ากับ $P = 2^4 - 1 = 15$ แต่เมื่อพิจารณา $f(D) = 1 + D + D^2 + D^3 + D^4$ ซึ่งไม่สามารถแยกตัวประกอบได้อีก กลับพบว่าลำดับสัญญาณที่ได้มีคาบความยาวเท่ากับ 5 เท่านั้นทั้งนี้เพราะ $f(D)$ สามารถหาร $1 - D^5$ ลงตัว หากต้องการให้ได้ลำดับสัญญาณที่มีคาบความยาวเท่ากับ 15 ก็ต้องใช้ $f(D) = 1 + D + D^4$ ชุด $f(D)$ นี้หาร $1 - D^{15}$ ลงตัวแต่จะหาร $1 - D^k$ สำหรับ $k < 15$ ไม่ลงตัว

ชุดโพลีโนเมียล $f(D)$ ที่สามารถให้กำเนิดลำดับสัญญาณที่มีคาบความยาวเท่ากับ $P = 2^r - 1$ ได้เรียกว่า Primitive ซึ่งชุดโพลีโนเมียลที่มีคุณสมบัติพิเศษนี้ได้มีการค้นพบและจัดทำเป็นตารางสำหรับใช้งานไว้แล้ว อีกทั้งสามารถคำนวณหาจำนวนโพลีโนเมียลที่มีคุณสมบัติ primitive ได้โดยอาศัยสูตรง่ายๆ ต่อไปนี้

$$N_p(r) = \frac{2^r - 1}{r} \prod_{i=1}^J \frac{P_i - 1}{P_i} \quad (2.8)$$

ทั้งนี้ $\{P_i, i = 1, 2, \dots, J\}$ คือตัวประกอบที่เป็นจำนวนเฉพาะของ $2^r - 1$ นั่นคือ

$$2^r - 1 = \prod_{i=1}^J P_i^{e_i} \quad (2.8)$$

โดย e_i คือตัวเลขจำนวนเต็มค่าหนึ่ง

ยกตัวอย่างในกรณีที่ $r = 12$ ถึง 12 จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2.2 เงื่อนไขคุณสมบัติที่ 3 ของการสร้างโค้ด m-sequence

R	$2^r - 1$	J	$N_p(r)$
2	3	1	$3/2 \lfloor 2/3 \rfloor = 1$
3	7	1	$7/3 \lfloor 6/7 \rfloor = 2$
4	$3 \lfloor 5$	2	$15/4 \lfloor 4/5 \rfloor \lfloor 2/3 \rfloor = 2$
5	31	1	$31/5 \lfloor 30/31 \rfloor = 6$
6	$3^2 \lfloor 7$	2	$63/6 \lfloor 2/3 \rfloor \lfloor 6/7 \rfloor = 6$
7	127	1	$127/7 \lfloor 26/127 \rfloor = 18$
8	$3 \lfloor 5 \lfloor 7$	3	$255/8 \lfloor 2/3 \rfloor \lfloor 4/5 \rfloor \lfloor 6/7 \rfloor = 16$
9	$7 \lfloor 73$	2	$511/9 \lfloor 6/7 \rfloor \lfloor 72/73 \rfloor = 48$
10	$3 \lfloor 1 \lfloor 31$	3	$1023/10 \lfloor 2/3 \rfloor \lfloor 10/11 \rfloor \lfloor 30/31 \rfloor = 60$
11	$23 \lfloor 89$	2	$2047/11 \lfloor 2/23 \rfloor \lfloor 88/89 \rfloor = 176$
12	$3^2 \lfloor 5 \lfloor 7 \lfloor 3$	4	$4095/12 \lfloor 2/3 \rfloor \lfloor 4/5 \rfloor \lfloor 6/7 \rfloor \lfloor 2/13 \rfloor = 48$

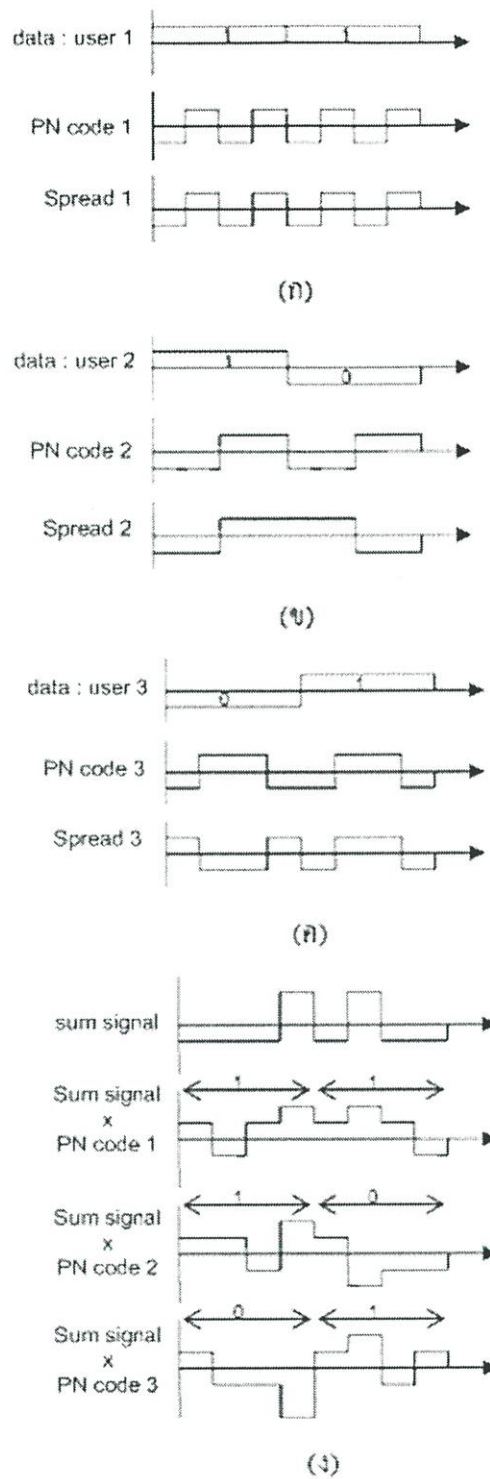
2.1.3 การสเปกตรัมแบบ Direct Sequence

ในส่วนแรกนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของวิธีการทำสเปกตรัมแบบ Direct Sequence เพื่อการใช้งานในระบบ CDMA โดยจะยกตัวอย่างง่ายๆ สำหรับใช้ในการบรรยายถึงกรรมวิธีการทำสเปกตรัมในแต่ละขั้นตอน สมมติว่าในระบบที่สนใจมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด 3 คน ซึ่งแต่ละคนก็จะได้รับโค้ด PN ที่แตกต่างกัน ก่อนที่ผู้ใช้แต่ละคนจะส่งข้อมูลออกจะนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไปทำสเปกตรัมโดยการนำบิตข้อมูลไปคูณกับชุดโค้ด PN ของตนเอง ซึ่งจะทำให้บิตข้อมูลมีขนาดสูงขึ้น หมายเหตุ : โดยทั่วไปอัตราบิตหลังจากการทำสเปกตรัมแล้วจะเรียกว่าอัตราชิปส์ (chip rate) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งในตัวอย่างนี้อัตราชิปส์มีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าตัวของอัตราบิตข้อมูลของผู้ใช้ สำหรับตัวอย่างนี้เราสมมติให้ผู้ใช้หมายเลข 1, 2 และ 3 ต้องการส่งข้อมูล 11, 10 และ 01 ตามลำดับ สัญญาณที่ผ่านการสเปกตรัมแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4 สังเกตว่าสัญญาณ 1 จะแทนด้วยแรงดันเป็น 1 และสัญญาณ 0 จะแทนด้วยแรงดันเป็น -1 สัญญาณที่ทำการสเปกแล้วทั้ง 3 สัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปพร้อมกันบนคลื่นความถี่เดียวกัน นั่นหมายความว่าที่ภาครับจะได้รับสัญญาณที่เป็นผลรวมของ 3 สัญญาณรวมกัน ซึ่งดูเหมือนว่าสัญญาณเหล่านี้รบกวนซึ่งกันและกันอยู่และยากต่อการแยกแยะออกมา ดังรูปที่ 2.4 ประกอบ

สำหรับขั้นตอนในการแยกสัญญาณของแต่ละคนออกมานั้น ก็สามารถทำได้โดยการนำชุดโค้ด PN ของตนเองไปคูณกับสัญญาณที่รับได้และทำการบวกผลคูณเหล่านั้นทีละบิต หรือเท่ากับ ความยาวของหนึ่งบิตข้อมูลนั่นเอง ค่าที่คำนวณได้เหล่านี้จะนำไปใช้ในการตัดสินใจต่อไป

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำโค้ดของผู้ใช้หมายเลข 1 ไปคูณกับสัญญาณรวม จะได้ผลรวมของผลคูณออกมาเป็น 4 สำหรับข้อมูลทั้งสองบิต ในขณะที่ถ้าผู้ใช้หมายเลข 2 กระทำการในลักษณะเดียวกัน จะได้ผลออกมาเป็น 4 และ -4 จะเห็นว่าถ้าผลลัพธ์ที่ออกมา มีค่าเท่ากับ 4 แสดงว่าบิตข้อมูลที่ส่งออกมา มีค่าเป็น 1 และถ้าผลลัพธ์ที่ได้เป็น -4 แสดงว่าบิตข้อมูลนั้นมีค่าเป็น 0

สังเกตว่าการที่ผู้ใช้แต่ละคนสามารถจะดึงสัญญาณข้อมูลของตนเองออกมาจากสัญญาณรวมได้ก็เพราะว่า เมื่อนำโค้ด PN ของผู้ใดคนหนึ่ง ไปคูณกับส่วนสัญญาณที่สเปรคออก โดยผู้ใช้อีกคนหนึ่ง เช่น ถ้าเรานำโค้ด PN ของผู้ใช้หมายเลข 1 ไปคูณกับส่วนของสัญญาณที่สเปรคออกโดยผู้ใช้หมายเลข 2 จะพบว่าค่าผลรวมของการคูณในทุก ๆ 4 บิต จะได้ค่าที่เป็น 0 หหมด ซึ่งจริง ๆ แล้ว ถ้าหากทำการทดสอบกับทุกกรณีจะได้ผลที่เหมือนกัน คือ ค่าผลรวมที่ได้มีค่าเป็น 0 เสมอ ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่สเปรคออกด้วยชุด โค้ด PN ชุดหนึ่ง จะไม่สามารถคิสเปรคออกด้วยชุด โค้ด PN ชุดอื่น ซึ่งทำให้เราสามารถส่งสัญญาณของผู้ใช้หลาย ๆ คนลงบนคลื่นพาห้ความถี่เดียวกันได้ สังเกตว่าจุดสำคัญของการทำสเปรคสเปกตรัมก็คือ การเลือกชุด โค้ดที่มีคุณสมบัติพิเศษดังที่อธิบายไว้ในเบื้องต้นนั่นเอง



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการทำสเปรดสเปกตรัม

2.1.4 ประเภทของโค้ดที่ใช้ในระบบ CDMA (IS-95)

ในระบบ CDMA ตามมาตรฐาน IS-95 มีการใช้โค้ดทั้งหมด 3 ประเภท

- Walsh code

- Long PN code
- Short PN code

โค้ดแต่ละประเภทได้ถูกนำมาใช้งานในระบบ IS-95 ในลักษณะที่แตกต่างกัน คุณสมบัติและรายละเอียดของโค้ดทั้ง 3 ประเภทจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.1.4.1 โค้ด Walsh

โค้ด Walsh มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Hadamard code ประกอบด้วยโค้ดที่มีคุณสมบัติ orthogonal ระหว่างกันทั้งหมด 64 ชุด โดยที่โค้ดแต่ละชุดมีความยาวเท่ากับ 64 บิต โค้ดประเภทนี้ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับสเปกตรัมของสัญญาณที่มีอัตราส่ง 1.228 Mbps

หมายเหตุ : โค้ด 2 ชุดจะมีคุณสมบัติ orthogonal ระหว่างกันก็ต่อเมื่อค่าสหสัมพันธ์ไขว้ (cross correlation) ระหว่างโค้ดคู่นี้เป็นศูนย์ การคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ไขว้สามารถหาได้จาก $\sum x_i y_i = 0$ โดย x_i และ y_i คือค่าของบิตที่ i ของโค้ดชุดแรกและชุดที่สองในรูปของไบโพลาร์ นั่นคือว่า $x_i, y_i = -1$ ถ้าบิต i นั้นมีค่าเป็นศูนย์ และ $x_i, y_i = 1$ ถ้าบิตที่ i นั้นมีค่าเป็นหนึ่ง ตัวอย่างของโค้ดที่มีคุณสมบัติ orthogonal กันเช่น $X = 0011$ และ $Y = 0110$

โค้ด Walsh สามารถสร้างได้จาก Hadamard matrices H_{2^m} โดยที่ m คือค่า 2 ยกกำลังตัวเลขจำนวนเต็ม ($m = 1, 2, 4, \dots$) ค่าเริ่มต้นของ Hadamard matrices ที่ $m = 1$ กำหนดให้เป็น

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

และค่า H_{2^m} อื่นๆ สร้างจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$H_{2^m} = \begin{bmatrix} H_m & H_m \\ H_m & \bar{H}_m \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างเช่นกรณี $m = 2$ ได้

$$H_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

และในกรณี $m = 4$ ได้

$$H_8 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.1.4.2 โค้ด Long PN

โค้ดประเภท Long PN สร้างจากชิฟต์รีจิสเตอร์ขนาด 42 บิต โดยต่อเชื่อมกันให้มีโครงสร้างเป็น maximum length LFSRs และใช้โพลิโนเมียลต่อไปนี้

$$p(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$$

ผลที่ได้คือโค้ดที่มีความยาวถึง $2^{42} - 1 = 4.398 \times 10^{12}$ เนื่องจากอัตราการสร้างโค้ดนี้มีค่าเท่ากับ 1.228 Mbps ดังนั้นโค้ดนี้จะมีการซ้ำทุกๆ 41.425 วัน

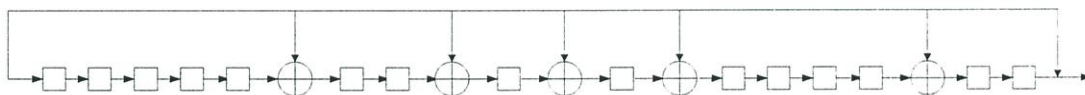
2.1.4.3 โค้ด Short PN

โค้ด Short PN นี้มีอยู่ 2 ชุดคือ I และ Q โดยแต่ละชุดสร้างจากการใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์ขนาด 15 บิต โดยต่อเชื่อมกันให้มีโครงสร้างเป็น Maximum length LFSRs และใช้โพลิโนเมียล 2 ชุดต่อไปนี้

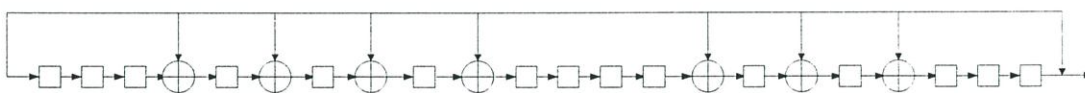
$$I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1$$

$$Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$$

โครงสร้างของวงจรสร้างชุดโค้ด Short PN มีลักษณะดังในรูปที่ 2.5 และ 2.6 วงจรทั้งสองสามารถสร้างชุดโค้ดที่มีความยาวเท่ากับ $2^{15} - 1 = 32767$ จากนั้นจะมีการเพิ่มบิต 0 อีกหนึ่งบิตเข้าไปเมื่อพบโค้ดที่มีค่า 0 ติดต่อกัน 14 ตัวเพื่อให้ได้โค้ดที่มีความยาวเท่ากับ 32768 เนื่องจากอัตราการสร้างโค้ดนี้มีค่าเท่ากับ 1.228 Mbps ดังนั้นโค้ดนี้จะมีการซ้ำทุกๆ 26.66 ms



รูปที่ 2.5 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ I



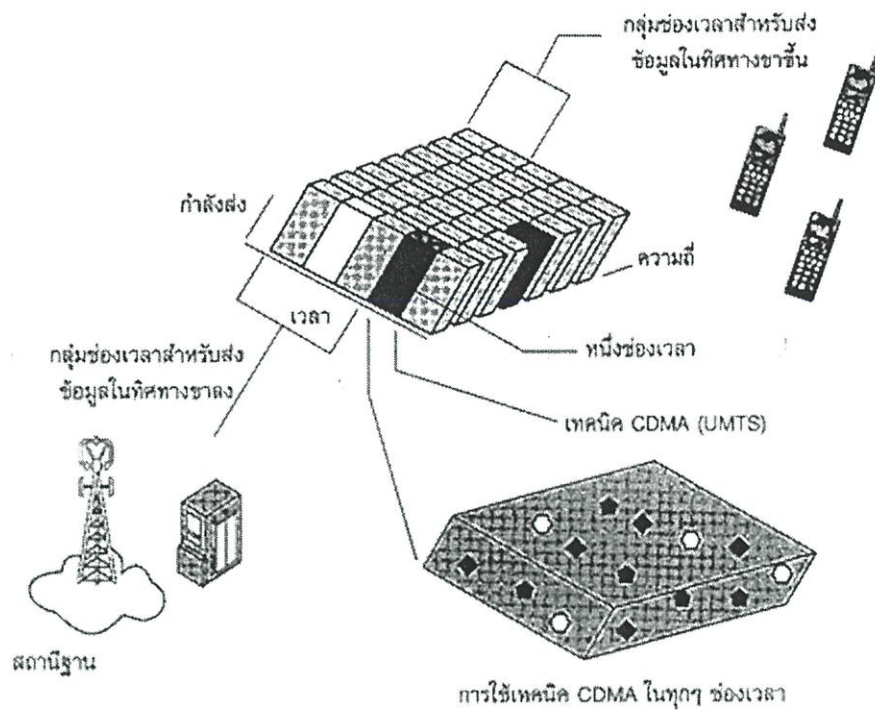
รูปที่ 2.6 วงจร 15-stage LFSR สำหรับ Q

โดยระบบ CDMA สามารถแยกออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ระบบ CDMA2000 เสนอโดยประเทศอเมริกา ระบบ W-CDMA (Wide Band Code Division Multiple Access) เสนอโดยกลุ่มประเทศยุโรปและญี่ปุ่น และระบบ TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) เสนอโดยประเทศจีน โดยในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะระบบ TD-SCDMA

2.2 พื้นฐานของระบบ TD-SCDMA

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ TD-SCDMA เป็นอีกมาตรฐานหนึ่งของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS โดยเป็นการผสมผสานเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบ TDMA ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เข้าด้วยกันกับเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบ CDMA ของมาตรฐานแบบ W-CDMA โดยปกติพื้นฐานการแบ่งช่องสื่อสารของเทคนิคแบบ TDMA นั้นจะเป็นการแบ่งขยอความถี่ย่อยที่ได้รับการจัดสรรใช้งานออกเป็นช่วงเวลา ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดสำหรับการสร้างวงจรสื่อสาร อย่างไรก็ตามในกรณีของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM นั้น การใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบหลายทางแบบ TDMA จะเป็นแบบ TDD กล่าวคือ สถานีฐานและเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่างก็ต้องใช้ความถี่ในการส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน เป็นลักษณะของคู่ความถี่ เช่น มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ W-CDMA หรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่มีมาแต่เดิม

ในกรณีของมาตรฐานการสื่อสารแบบ TD-SCDMA ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS นั้นมีการปรับเปลี่ยนและพัฒนารูปแบบของเทคนิคการสื่อสารแบบ TDMA โดยประการแรกในแต่ละช่องเวลาจะมีการนำเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบ CDMA เข้ามาสอดแทรก ทำให้แต่ละช่องเวลาสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในแต่ละความถี่ย่อยของมาตรฐาน TD-SCDMA จะมีขีดความสามารถในการรองรับวงจรสื่อสารซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของจำนวนช่องเวลาที่ถูกรแบ่งให้กับความถี่ย่อยนั้น ๆ กับจำนวนรหัสชิปส์ที่สามารถใช้งานได้ในแต่ละช่องเวลาโดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบของสัญญาณรบกวน ประการที่สองเนื่องจากมาตรฐานสื่อสารแบบ TD-SCDMA นั้นได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อรองรับการสื่อสารแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical Communication) ซึ่งปริมาณข้อมูลที่ผู้ใช้บริการทำการดาวน์โหลดจะมีมากกว่าข้อมูลที่อัปโหลดเข้าสู่ระบบเครือข่าย จึงทำให้มีการออกแบบให้มาตรฐาน TD-SCDMA มีรูปแบบการสื่อสารในลักษณะของ TDD ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากการประยุกต์ใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบ TDMA ทั่วไป ทั้งนี้สถานีฐานสามารถปรับควบคุมจำนวนช่องเวลาที่จะใช้สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทางขาขึ้นและขาลงให้มีความเหมาะสมกับปริมาณข่าวสารข้อมูลที่มีการรับส่งในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้ ทั้งนี้มีการวางข้อกำหนดให้สัดส่วนระหว่างอัตราเร็วของรหัสชิปส์กับอัตราเร็วของข้อมูลในช่องสื่อสาร (ซึ่งก็คือช่วงเวลา) แต่ละช่องมีค่าคงที่ตายตัวในทิศทางการสื่อสารขาลงสำหรับสัดส่วนในทิศทางขาขึ้นจะมีการแปรเปลี่ยนได้ นอกจากนี้หากมีความจำเป็นสถานีฐานก็สามารถทำการรวมช่องเวลาที่ใช้ในการรับส่งในทิศทางเดียวกัน (ไม่ว่าจะเป็นทางขาขึ้นหรือขาลง) เข้าด้วยกันเพื่อรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากได้



รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นแนวทางในการทำงานของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ TD-SCDMA

2.2.1 จุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ

ข้อกำหนดมาตรฐานของเครือข่าย UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) ซึ่งได้รับร่างและกำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการ RAN ภายใต้โครงการความร่วมมือสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (3rd Generation Partnership Project หรือ 3GPP) สามารถแบ่งรายละเอียดออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ข้อกำหนดอนุกรม 25.1 ว่าด้วยเรื่องของความคาดหวังในเชิงประสิทธิภาพในการทำงานของจุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุและอีกส่วนหนึ่งก็คือข้อกำหนดอนุกรม 25.2 กล่าวถึงข้อกำหนดต่าง ๆ ทางเทคนิคในระดับกายภาพของการเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ

ตารางที่ 2.4 สรุปคุณลักษณะทั่วไปของมาตรฐานจุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ

	UTRA/FDD	UTR/TDD
เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ (Access Technique)	W-CDMA	TD-SCDMA
อัตราของชิปส์ (Chip Rate)	3.84 Mchip/s	1.28 Mchip/s
ความกว้างของแต่ละช่องความถี่ (Channel Spacing)	4.4 – 5 เมกะเฮิร์ตซ์	1.6 เมกะเฮิร์ตซ์
ความยาวของเฟรมสัญญาณ (Frame Duration)	10 มิลลิวินาที	5 มิลลิวินาที
จำนวนช่องเวลาต่อเฟรม (Slots per Frame)	15	7
เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณ (Modulation Scheme)	ขาลง : QPSK ขาขึ้น : BPSK	QPSK
เทคโนโลยีการรับสัญญาณ (Reception)	แบบ โคฮีเรนต์	แบบ โคฮีเรนต์
อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Rate)	แปรผัน (ทุก ๆ 10 มิลลิวินาที) โดยอัตราเร็วจะถูกกำหนดด้วยค่าปัจจัยการกระจาย (Spreading Factor)	

การออกแบบข้อกำหนดทางกายภาพของเครือข่าย UTRAN ในด้านการเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุ นั้นจะมีความซับซ้อนมากกว่าในกรณีของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เป็นอันมาก ทั้งนี้ก็เพราะความต้องการของ 3GPP ที่จะได้ให้มาตรฐาน UMTS สามารถรองรับรูปแบบการสื่อสารได้หลากหลายประเภทนอกเหนือจากการรับส่งเสียงพูดเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ในแง่ของการเชื่อมต่อทางกายภาพของคลื่นวิทยุ นั้น ข้อกำหนด UTRAN ได้ออกแบบให้มาตรฐาน UMTS มีช่องสื่อสารทางกายภาพ (Physical Channel) เป็นจำนวนมากอยู่บนช่องสื่อสารความถี่ อย่างไรก็ตามแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบและการทำงานของช่องสื่อสารทางกายภาพของมาตรฐาน UMTS ก็ยังเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับในกรณีของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

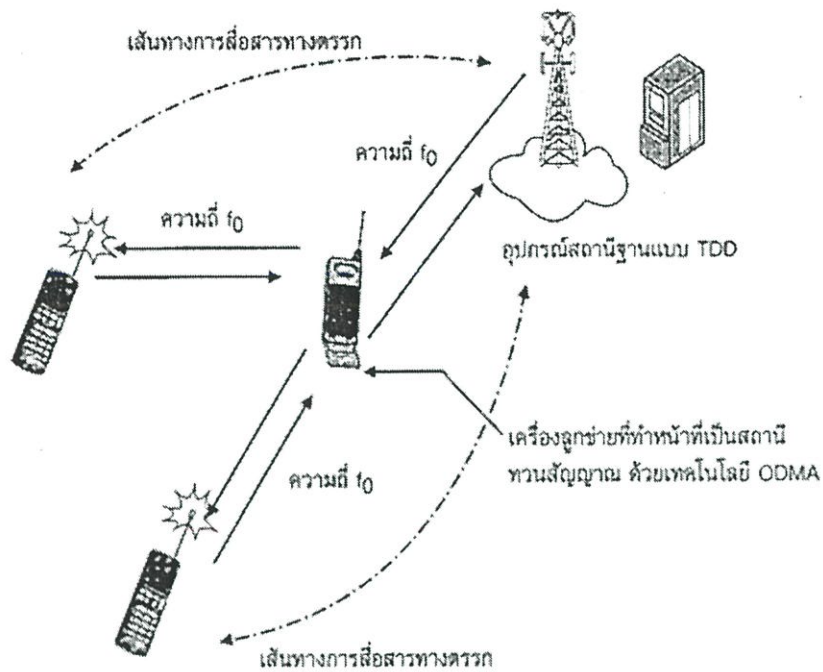
ในบรรดาช่องสื่อสารทางกายภาพที่มีอยู่เป็นจำนวนมากของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS นั้น สามารถจัดแบ่งเป็นกลุ่มตามประเภทของการใช้งานในการติดต่อสื่อสารออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มช่องสื่อสารแบบถาวร (Dedicated Channel) และกลุ่มช่องสื่อสารควบคุม (Control Channel) กลุ่มช่องสื่อสารแบบถาวรจะใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารโดยเจาะจงระหว่างอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุของสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Node B) กับเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS เครื่องใดเครื่องหนึ่ง ทั้งนี้อุปกรณ์สถานีฐานและเครื่องลูกข่ายจะมีการตกลงกันว่า จะใช้ค่าความถี่ใด รหัสชิปส์ใด และในกรณีของการสื่อสารแบบ TD-SCDMA ก็จะมีการ

กำหนดด้วยว่าจะใช้ช่วงเวลาใดสำหรับการติดต่อสื่อสาร ส่วนกลุ่มช่องสื่อสารควบคุมนั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับสถานีฐานในการส่งกระจายข่าวสารต่าง ๆ เกี่ยวกับระบบเครือข่ายไปให้กับบรรดาเครื่องลูกข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่ในลักษณะของการกระจายข่าวสาร (Information Broadcasting) มีช่องสื่อสารบางชนิดในกลุ่มนี้ที่เครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้สำหรับการส่งสัญญาณติดต่อกับมายังสถานีฐานเพื่อขอเริ่มต้นการสร้างวงจรสื่อสาร ดังรายละเอียดที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

2.2.2 กลุ่มช่องสื่อสารถือครอง

สำหรับมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS ทั้งแบบ W-CDMA และ TD-SCDMA นั้นช่องสื่อสารในกลุ่มนี้จะมีอยู่เพียงชนิดเดียวคือ ช่องสื่อสาร DCH (Dedicate Channel) ซึ่งใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลทั้งในทิศทางขาขึ้นและทิศทางขาลง โดยมีหน้าที่ในส่งผ่านข้อมูลของผู้ใช้บริการ และข้อมูลสำหรับการควบคุมสิ่งต่าง ๆ ระหว่างเครื่องลูกข่ายและสถานีฐาน และในกรณีของมาตรฐานแบบ TD-SCDMA (TDD) จะมีการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของช่องสื่อสารดังกล่าวสำหรับเทคนิคการสื่อสารแบบ ODMA ซึ่งมีการเรียกชื่อช่องสื่อสารดังกล่าวเป็น ODCH (ODMA Dedicated Transport Channel)

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ ODMA หรือ Opportunity Driven Multiple Access เป็นเทคนิคการสื่อสารที่ได้รับการนำไปใช้ในมาตรฐานการสื่อสารแบบ TDD โดยเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องจะสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Relay Station หรือ Repeater) ให้กับอุปกรณ์ Node B เพื่อส่งต่อไปให้กับเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เทคโนโลยีดังกล่าวมีบทบาทในการทำให้อุปกรณ์ Node B ไม่จำเป็นต้องส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงมากเกินไป เทคโนโลยี ODMA จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อครอบคลุมพื้นที่การให้บริการให้เทียบเท่ากับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอื่น ๆ ที่ใช้สถานีฐานที่มีกำลังส่งสูง



รูปที่ 2.8 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณของเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในมาตรฐาน TDD

2.2.3 กลุ่มช่องสื่อสารควบคุม

สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ กัน ได้ดังต่อไปนี้

- ช่องสื่อสารแบบ BCH (Broadcast Channel) ใช้ในช่องสื่อสารทิศทางขาลง โดยสถานีฐาน จะทำการส่งข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับระบบเครือข่ายที่เกี่ยวข้องของเซลล์นั้น เช่น รหัสประเทศ รหัสเครือข่าย รายละเอียดการจัดช่องสื่อสาร ฯลฯ ให้กับเครื่องลูกข่ายทั้งหมดที่เปิดเครื่องใช้งานอยู่ในเซลล์นั้น ๆ
- ช่องสื่อสารแบบ FACH (Forward Access Channel) ใช้ในช่องสื่อสารขาลง โดยสถานีฐาน ทำการส่งสัญญาณควบคุมไปยังเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ใช้ในกรณีที่ระบบเครือข่าย UMTS ทราบแล้วว่าเครื่องลูกข่ายที่ต้องการติดต่อกำลังใช้งานอยู่ในเซลล์ใด นอกจากนี้ยังใช้ช่องสื่อสารดังกล่าวในการส่งข้อมูลแบบแพ็กเก็ตสั้น ๆ ในลักษณะเดียวกันกับบริการ Short Message ของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM
- ช่องสื่อสารแบบ PCH (Paging Channel) ใช้ในช่องสื่อสารขาลงสำหรับการส่งสัญญาณควบคุมไปให้กับเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งระบบเครือข่ายไม่ทราบว่าปัจจุบันอยู่ ณ ตำแหน่งใด รูปแบบในการส่งคล้ายกับการส่งสัญญาณเพจในกรณีของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ทั้งนี้มีรูปแบบการส่งที่สัมพันธ์กับช่องสื่อสารทางกายภาพที่มีชื่อว่า Paging Indicator โดยมีการแจ้งให้เครื่องลูกข่ายทราบว่าข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับ

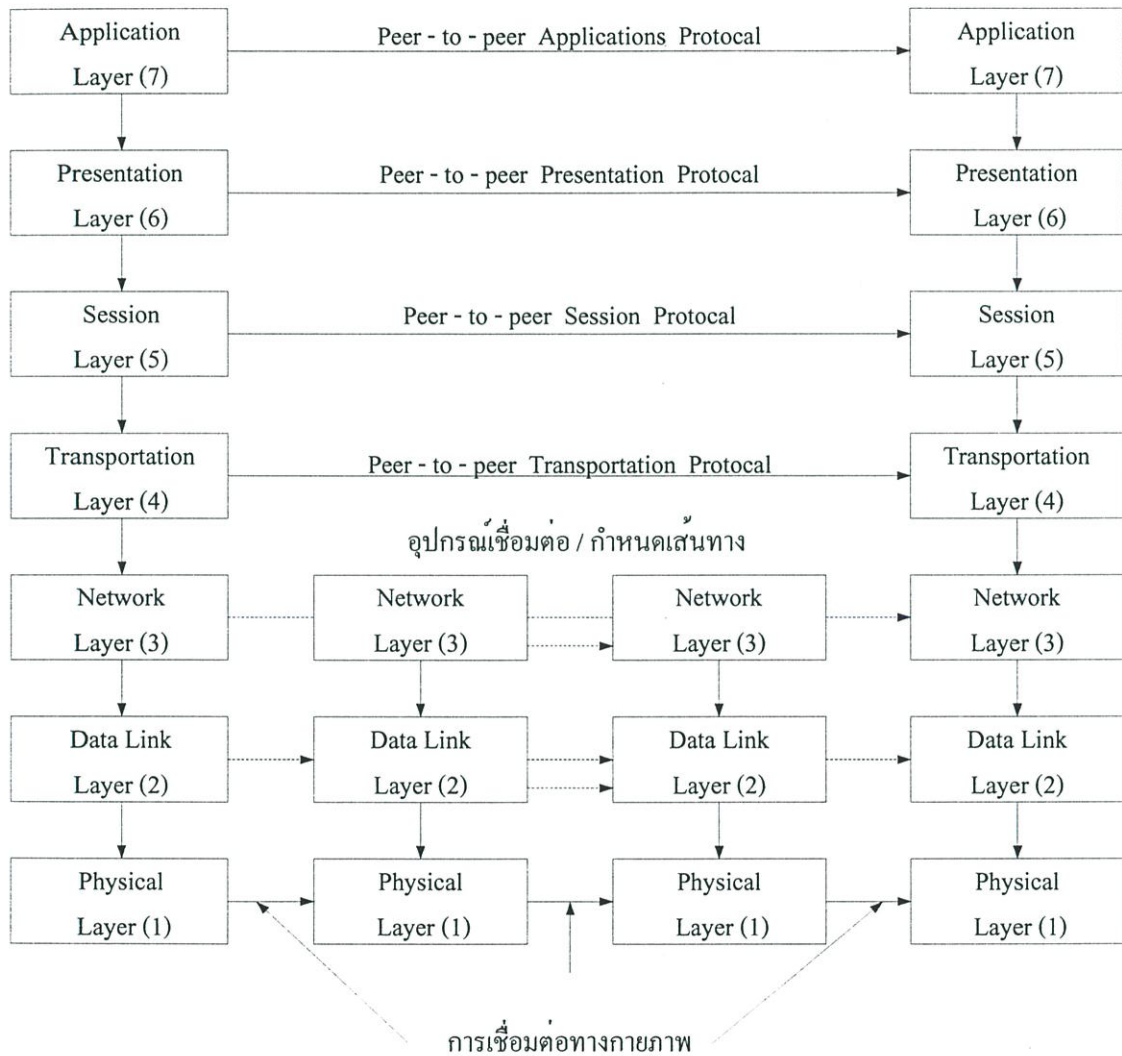
เครื่องนั้น ๆ จะถูกส่งมาในช่องสื่อสารแบบเพจชองใด ทำให้เครื่องลูกข่ายไม่ต้องดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เพื่อรอรับข้อมูลที่ต้องการจากเครือข่ายอยู่ตลอดเวลา เป็นการช่วยประหยัดกำลังไฟให้กับเครื่องลูกข่าย นอกจากนี้ยังใช้ช่องสื่อสารดังกล่าว ในการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตแบบสั้น ๆ ได้เช่นเดียวกับช่องสื่อสารแบบ FACH

- ช่องสื่อสารแบบ SCH (Synchronization channel) ใช้ในช่องสื่อสารขาลง เพื่อส่งสัญญาณการเข้าจังหวะของฐานเวลาระหว่างเครื่องลูกข่ายและสถานีฐาน
- ช่องสื่อสารแบบ RACH (Random Access Channel) ใช้ในช่องสื่อสารขาขึ้น เพื่อให้เครื่องลูกข่ายสามารถส่งสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขอช่องสื่อสารทางกายภาพสำหรับเริ่มกระบวนการสื่อสารให้กับผู้ใช้บริการ นอกจากนี้เครื่องลูกข่ายยังสามารถใช้ช่องสื่อสารนี้ในการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตแบบสั้น ๆ ไปยังสถานีฐานได้เช่นเดียวกัน
- ช่องสื่อสารแบบ ORACH (ODMA Random Access Channel) เป็นช่องสื่อสารที่ได้รับการใช้งานในมาตรฐานการสื่อสารแบบ TDD โดยมีหน้าที่ส่งสัญญาณเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารแบบทวนสัญญาณ (Relay Connection)
- ช่องสื่อสารแบบ CPCH (Common Packet Channel) ใช้สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทางขาขึ้น ซึ่งข้อมูลจะต้องอยู่ในรูปแบบของแพ็กเก็ตเท่านั้น โดยส่วนใหญ่จะมีการใช้งานเมื่อเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการส่งข้อมูล ในลักษณะที่เป็นกลุ่มก้อนอย่างฉับพลัน (Burst Traffic) ในกรณีของมาตรฐานแบบ TD-SCDMA จะมีการเรียกชื่อช่องสื่อสารที่มีคุณสมบัติชนิดเดียวกันนี้ว่า ช่องสื่อสารแบบ USCH (Uplink Shared Channel)
- ช่องสื่อสารแบบ DSCH (Downlink Shared Channel) ใช้ในช่องสื่อสารขาลง สำหรับส่งข้อมูลแบบแพ็กเก็ต โดยสถานีฐานจะทำการส่งข้อมูลและบรรดาเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องจะสามารถรับข้อมูลนี้ได้

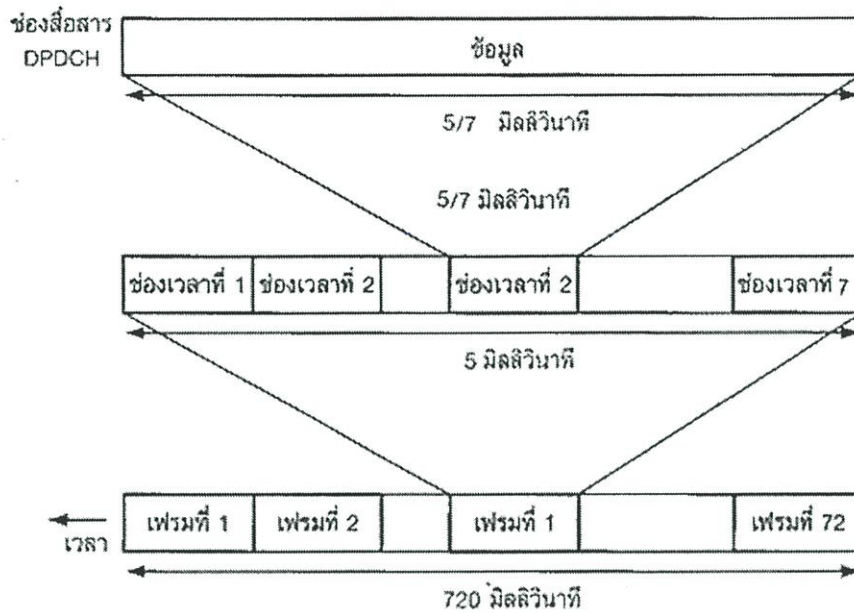
2.2.4 โครงสร้างของช่องสื่อสารตามมาตรฐานแบบ FDD

ช่องสื่อสารทางคลื่นวิทยุตามมาตรฐาน FDD สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ ช่องสื่อสารทางกายภาพ (Physical Channel) ซึ่งมีหน้าที่การทำงานเทียบได้กับระดับชั้นที่ 1 ของแบบจำลอง OSI โดยให้บริการจัดการลำเลียงข้อมูลที่ถูกส่งมาจากระดับชั้นที่ 2 ไปยังอุปกรณ์สื่อสารปลายทางและในทางกลับกันก็คือการรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์สื่อสารต้นทาง แล้วนำข้อมูลนั้นส่งต่อไปให้กับระดับชั้นที่ 2 ซึ่งในที่นี้ก็คือ โพรโตคอลที่มีชื่อว่า Medium Access Control (MAC) อันเป็นมาตรฐานโพรโตคอลชนิดเดียวกับที่ใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่าย LAN นั่นเอง การให้บริการดังกล่าวจะกระทำโดยใช้แนวคิดของการสร้างช่องสื่อสารขนส่ง (Transport Channel) รูปที่ 2.9 เป็นการทบทวนแนวคิดของการกำหนดสร้างแบบจำลอง OSI เพื่อใช้อธิบายการออกแบบการทำงานของอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ โดยแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นระดับชั้นต่าง ๆ กัน

โครงสร้างของช่องสื่อสารทางกายภาพแสดงในรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าหน่วยย่อยสุดอยู่ในรูปของช่องเวลา (Timeslot) ซึ่งมีความยาวทั้งสิ้น 5/7 มิลลิวินาที ทั้งนี้จะต้องไม่ลืมว่ารูปแบบในการรับส่งข้อมูลตามมาตรฐาน W-CDMA นั้นอยู่บนพื้นฐานของการมอดูเลตแบบ CDMA ซึ่งมีการปะปนผสมผสานกันของข้อมูลหลาย ๆ ประเภทอยู่ภายในคลื่นความถี่ทุกค่าเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงผู้ใช้บริการแต่ละราย จะสามารถกล่าวได้ว่าเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการรายนั้นๆ ยังคงมีการติดต่อสื่อสารกับระบบเครือข่ายโทรศัพท์ที่มีลำดับในการส่งข้อมูลแบบช่องเวลาอยู่นั่นเอง



รูปที่ 2.9 เป็นการทบทวนแนวคิดของการกำหนดสร้างแบบจำลอง OSI



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของช่องสื่อสารทางกายภาพ

ภาพที่แสดงในรูปที่ 2.10 เป็นภาพในจินตนาการที่ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดใด ๆ มาทำการแสดงให้เห็นได้ชัดเจน หน่วยที่ใหญ่ขึ้นจากช่องเวลามีชื่อเรียกเป็นทางการว่า เฟรมข้อมูล (Radio Frame) ประกอบด้วยช่องเวลาจำนวนทั้งสิ้น 7 ช่อง และหน่วยที่ใหญ่ขึ้นกว่าเฟรมข้อมูลเรียกว่า ซูเปอร์เฟรม (Super Frame) เกิดจากการเรียงตัวกันของเฟรมข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 72 เฟรม การจัดรูปแบบโครงสร้างข้อมูลในลักษณะดังกล่าวก็ยังคงดำเนินไปตามแนวคิดของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM นั่นเอง

เนื่องจากช่องสื่อสารทางกายภาพมีหน้าที่ในการสนับสนุนการรับส่งข้อมูลโดยผ่านโครงสร้างของช่องสื่อสารขนส่ง ตารางที่ 2.5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างช่องสื่อสารทั้ง 2 ประเภท สังเกตทิศทางในการรับส่งข้อมูลของช่องสื่อสารทางกายภาพแต่ละชนิด

ในส่วนของช่องสื่อสารขนส่งนั้น สามารถกล่าวได้ว่าเป็น “บริการ” (Service) ที่ช่องสื่อสารทางกายภาพ ซึ่งนับเป็นระดับชั้นที่ 1 ของการสื่อสารจัดเตรียมไว้ให้กับระดับชั้นที่สูงขึ้นไป ในมาตรฐานการสื่อสารแบบ W-CDMA มีการกำหนดช่องสื่อสารขึ้นอีกประเภทหนึ่งซึ่งโปรโตคอล MAC ในระดับชั้นที่ 2 จะนำไปปรับให้ตรงกับช่องสื่อสารขนส่ง เพื่อนำไปใช้ในการสื่อสารอีกลำดับหนึ่ง ช่องสื่อสารประเภทที่ 3 นี้มีชื่อเรียกว่า ช่องสื่อสารตรรก (Logical Channel) ตารางที่ 2.6 แสดงการจำแนกประเภทและชนิดของช่องสื่อสารขนส่ง ซึ่งแบ่งออกได้เป็นช่องสื่อสารขนส่งชนิดควบคุม ใช้สำหรับรับส่งสัญญาณควบคุมระหว่างเครื่องลูกข่ายกับอุปกรณ์ Node B และช่องสื่อสารชนิดถือครอง ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการหรือระบบ

เครือข่ายที่มีใช้สัญญาณควบคุม โดยแสดงถึงความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับช่องสื่อสารขนส่งแต่ละชนิดกับช่องสื่อสารตรรก พร้อมทั้งคำอธิบายหน้าที่การทำงานไว้โดยละเอียด ทั้งนี้จะเห็นว่าบรรดาช่องสื่อสารแต่ละประเภทที่ได้รับการกล่าวถึงในบทที่แล้วนั้นก็คือ ช่องสื่อสารประเภทขนส่งนั่นเอง สำหรับรายละเอียดของช่องสื่อสารประเภทตรรกนั้นมีแสดงในตารางที่ 2.7 ทั้งนี้มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องสื่อสารประเภทนี้กับช่องสื่อสารขนส่งอย่างชัดเจน

ตารางที่ 2.5 สรุปช่องสื่อสารทางกายภาพ (Physical Channel)

ชื่อช่องสื่อสารทางกายภาพ	ชื่อย่อ	ตรงกับช่องสื่อสารขนส่ง	ทิศทางการส่งข้อมูล
Dedicated Physical Channel	DPDCH	DCH	ขาขึ้น / ขาลง
Dedicated Physical Control Channel	DPCCH	DCH	ขาขึ้น / ขาลง
Primary Common Control Physical Channel	Pri – CCPCH	BCH	ขาลง
Secondary Common Control Physical Channel	Sec – CCPCH	FACHPCH	ขาลง
Physical Random Access Channel	PRACH	RACH	ขาขึ้น
Synchronization Channel	SCH	-	ขาลง
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	DSCH	ขาลง
Physical Shared Channel Control Channel	PSCCCH	DSCH-c	ขาลง
Acquisition Indication Channel	AICH	DSCH-c	ขาลง

ตารางที่ 2.6 สรุปช่องสื่อสารทางแบบขนส่ง (Transport Channel)

ชื่อช่องสื่อสาร ขนส่งชนิด ควบคุม	ชื่อย่อ	ตรงกับ ช่องสื่อสาร ตรรก	ทิศทางการส่ง ข้อมูล	หมายเหตุ
Random Access Channel	RACH	PRACH	ขาขึ้น	สำหรับส่งข้อมูลควบคุมจากเครื่องลูกข่าย และใช้ขนส่งข้อมูลแบบแพ็กเกต ใช้ในกรณีของขอเข้าติดต่อกับเครือข่าย หรือใช้สำหรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมที่ไม่สนใจการหน่วงเวลาของข้อมูล
Common Packet Channel	CPCH	-	ขาขึ้น	สำหรับการส่งข้อมูลผู้ให้บริการในรูปแบบของ Burst
Forward Access Channel	FACH	Sec CCPCH	ขาลง	เครือข่าย UMTS ใช้ในการควบคุมเครื่องลูกข่ายในกรณีที่ทราบตำแหน่งที่แน่ชัดของอุปกรณ์ นอกจากนั้นอาจใช้ในการส่งข้อมูลแบบแพ็กเกตสั้น ๆ ได้
DL Shared Channel	DSCH	PDSCH	ขาลง	เป็นช่องสื่อสารที่ใช้งานร่วมกันโดยเครื่องลูกข่าย ใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือข้อมูลผู้ให้บริการไปยังเครื่องลูกข่าย
DL Shared Control Channel	DSCH	PDSCH	ขาลง	ใช้งานร่วมกับช่องสื่อสารแบบ DSCH สำหรับการจัดสรรช่องระบบสัญญาณควบคุมให้กับเครื่องลูกข่าย
Broadcast Channel	BCH	Pri CCPCH	ขาลง	สำหรับส่งกระจายข่าวสารทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับเซลล์นั้น ข้อมูลถูกส่งออกอากาศด้วยอัตราเร็วต่ำ
Paging Channel	PCH	Sec CCPCH	ขาลง	เครือข่าย UMTS ใช้ในการควบคุมเครื่องลูกข่ายในกรณีที่ไม่ทราบตำแหน่งที่อยู่แน่ชัด
Dedicated Channel	DCH	DPDCH DPCCH SCH	ขาขึ้น / ขาลง	ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลอัตราเร็วสูงและมีอัตราเร็วไม่คงที่
Fast Uplink Signaling Channel	FAUSCH	PRACH	ขาขึ้น	สำหรับการขอช่องสื่อสารถือครองใช้ร่วมกับช่องสื่อสารแบบ FACH

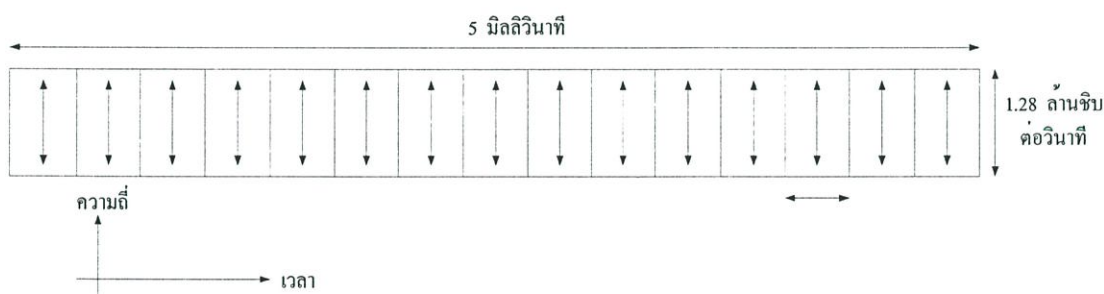
ตารางที่ 2.7 สรุปช่องสื่อสารตรรก (Logical Channel)

ชื่อช่องสื่อสาร ตรรกะชนิด ควบคุม	ชื่อย่อ	ตรงกับ ช่องสื่อสาร ตรรก	ทิศทางการส่ง ข้อมูล	หมายเหตุ
Broadcast Control Channel	BCCH	BCHFACH	ขาลง	ใช้สำหรับส่งกระจายข่าวสารควบคุมของระบบเครือข่าย แบ่งออกได้เป็นช่องสื่อสารแบบ BCCH ชนิดอัตราเร็วคงที่ (BCCH-C) และ BCCH ชนิดอัตราเร็วแปรผัน(BCCH-V) ช่องสื่อสารแบบ BCCH-C ทำหน้าที่ส่งข้อมูลในระดับชั้น โพรโตคอลที่ 3 ประเภทที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาในขณะที่ช่องสื่อสารแบบ BCCH-V จะทำการส่งข้อมูลในระดับชั้นที่ 3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบ่อย ๆ
Paging Control Channel	PCCH	PCH	ขาลง	เครือข่ายใช้ในการส่งข่าวสารชนิดที่เป็นการประกาศเรียก (Paging) ใช้เฉพาะในกรณีที่เครือข่ายไม่ทราบตำแหน่งที่อยู่ของเครื่องลูกข่าย
Common Control Channel	CCCH	RACH	ขาขึ้น / ขาลง	มักใช้ในเครื่องลูกข่ายในกรณีที่ยังไม่มีการเชื่อมต่อแบบ RRC (Radio Resource Control) ภายหลังจากเพิ่งผ่านกระบวนการเลือกจับเซลล์ใหม่
Dedicated Control Channel	DCCH	CPCH RACH FAUSCH	ขาขึ้น / ขาลง	ใช้สำหรับส่งสัญญาณควบคุมแบบถือครอง โดยมีการสร้างวงจรสื่อสารผ่านการเชื่อมต่อแบบ RRC
Dedicated Traffic Channel	DTCH	FACH DCH DSCH	ขาขึ้น / ขาลง	เป็นช่องสื่อสารแบบจุดต่อจุด (Point to Point) ใช้ส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการ
Common Traffic Channel	FACH	FACH	ขาลง	เป็นช่องสื่อสารแบบจุดต่อหลายจุด (Point to Multipoint) ใช้สำหรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการ

2.2.5 โครงสร้างของช่องสื่อสารตามมาตรฐานแบบ TDD

มาตรฐาน UTRAN แบบ TD-SCDMA เหมาะสำหรับการใช้รับส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดียที่มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลซึ่งขีดความสามารถสูงสุดของมาตรฐาน TD-SCDMA ได้รับการกำหนดให้สามารถรองรับข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังเหมาะสำหรับการสื่อสารแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Traffic) ซึ่งเป็นพฤติกรรมโดยทั่วไปของการใช้งานอินเทอร์เน็ตอีกด้วย การจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุสำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับอุปกรณ์ Node B จะใช้ความถี่เพียงค่าเดียว โดยมีการแบ่งเวลาออกเป็นช่องเวลา (Timeslot) ซึ่งผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS สามารถเลือกกำหนดได้ว่าจะให้มีช่องเวลาสำหรับให้ Node B ส่งสัญญาณข้อมูลมายังเครื่องลูกข่ายได้กี่ช่อง ช่องเวลาที่เหลือก็จะใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารจากเครื่องลูกข่ายกลับไปยัง Node B

การจัดสรรช่องสื่อสารขนส่ง (Transport Channel) และช่องสื่อสารทางตรรกะ (Logical Channel) ของมาตรฐาน TD-CDMA ไม่มีความแตกต่างจากในกรณีของมาตรฐาน W-CDMA มากนัก ความแตกต่างที่ควรให้ความสนใจจะอยู่ที่โครงสร้างของช่องสื่อสารทางกายภาพ (Physical Channel) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การรับส่งข้อมูลผ่านจุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุจะอยู่ในรูปของ Burst ดังเช่นในกรณีของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM จุดที่ต่างกันก็คือข้อมูลภายใน Burst นั้นจะมีการมอดูเลตสัญญาณแบบ CDMA ซ้อนอยู่อีกชั้นหนึ่งดังที่ได้กล่าวถึงไว้ในตอนต้น การปรับเปลี่ยนช่องเวลาแต่ละช่องให้รองรับการส่งข้อมูลขาลง (Downlink) จาก Node B มายังเครื่องลูกข่ายหรือการส่งข้อมูลในขาขึ้น (Uplink) จากเครื่องลูกข่ายกลับไปสู่ Node B สามารถทำได้ตามที่ผู้ให้บริการเครือข่ายเห็นสมควร



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของช่องสัญญาณทางกายภาพสำหรับเครือข่ายแบบ TDD

ตัวอย่างหากพบว่าจำนวนวงจรการติดต่อในทิศทางขาขึ้นมีมาก ในขณะที่มีช่องเวลาที่ได้รับการกำหนดให้ส่งข้อมูลในทิศทางขาลงเหลือว่างมิได้ถูกใช้งาน ผู้ให้บริการเครือข่ายก็สามารถกำหนดให้ช่องเวลาดังกล่าว เปลี่ยนบทบาทหน้าที่ให้ทำการส่งข้อมูลในทิศทางขาขึ้น เพื่อช่วยแบ่ง

เขาภาระการการทำงานของช่องเวลาอื่น ๆ ได้ในทันที กล่าวได้ว่าอุปกรณ์ Node B ที่ทำหน้าที่การรับส่งข้อมูลแบบ TDD เหมาะสมสำหรับการติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่มีปริมาณการสื่อสารข้อมูลในระดับที่สูงกว่าปกติ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ Node B แบบ TDD เป็นดังต่อไปนี้

- ใช้ติดตั้งเป็นสถานีฐานของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS ตามพื้นที่หนาแน่นเป็นรูปแบบการติดตั้งสถานีฐานย่อย (Micro-cellular) ตามห้างสรรพสินค้า สถานีรถไฟ สนามบิน หรือสถานีฐานแบบจิ๋ว (Pico-cellular) ตามอาคารสำนักงานที่มีผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวนมาก
- ประยุกต์ใช้งานเป็นระบบโทรศัพท์พื้นฐานแบบไร้สายตามเทคโนโลยี Wireless Local Loop (WLL)
- ประยุกต์ใช้งานเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สาย โดยต้องมีการดำเนินการในเรื่องการขออนุมัติใช้ความถี่
- ประยุกต์ใช้งานเป็นระบบการใช้งานอินเทอร์เน็ตคอมพิวเตอร์ไร้สาย ซึ่งรองรับการรับส่งข้อมูลได้สูงสุดถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที

การจัดโครงสร้างเฟรมข้อมูลบนจุดเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุของมาตรฐาน UTRAN แบบ TD-CDMA ดังแสดงในรูปที่ 2.11 นั้น มีการกำหนดให้เฟรมมีขนาดความยาว 5 มิลลิวินาทีและแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 7 ช่องต่อเฟรม ช่องเวลาแต่ละช่องมีความจุในการรองรับชิปส์ข้อมูลได้สูงสุด 2,560 ชุด นอกจากนั้นในมาตรฐานแบบ TD-SCDMA ยังมีการนำเทคโนโลยี Joint-Detection มาใช้งานเพื่อลดอัตราการเกิดสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากสถานีฐานแบบ TD-SCDMA ได้รับการออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการที่กว้างขึ้น จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการรบกวนกันเองทางความถี่ระหว่างอุปกรณ์ Node B ที่อยู่ใกล้กัน

การแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ก็คือ การสร้างอัลกอริทึมทางซอฟต์แวร์โดยทำงานร่วมกับเทคโนโลยี Joint – Detection ซึ่งจะทำได้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ Node B แบบ TDD หลายชุดเพื่อได้โดยผู้ให้บริการเครือข่ายไม่จำเป็นต้องกังวลถึงปัญหาในเรื่องของการลดทอนคุณภาพสัญญาณอีกแต่อย่างใด นอกจากนั้นช่องสื่อสารขนส่งยังได้รับการออกแบบให้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเข้ารหัสได้รองรับอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลหลาย ๆ ระดับ เพื่อสอดคล้องกับการใช้งานของผู้ใช้บริการแต่ละราย ตาราง 2.8 และ 2.9 เป็นตัวอย่างการจัดช่องสื่อสารขนส่งให้รองรับการใช้บริการติดต่อกับเว็บไซต์ (Web site) โดยกำหนดให้มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล 64 กิโลบิตทั้งในช่องสื่อสารทิศทางขาขึ้นหรือทิศทางขาลง

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างการจัดช่องสื่อสารขนส่งทางขาขึ้น

ช่องสื่อสารแบบ TDD อัตราเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาที ทิศทางขาขึ้น	
อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล	64 กิโลบิตต่อวินาที
จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทำ Midamble	512 ชิปส์
เวลาที่ใช้ในการทำอินเตอร์ลีฟ	20 มิลลิวินาที
การควบคุมกำลังส่ง	ใช้ข้อมูล 2 บิตต่อผู้ใช้บริการ 1 ราย

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างการจัดช่องสื่อสารขนส่งทางขาลง

ช่องสื่อสารแบบ TDD อัตราเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาที ทิศทางขาขึ้น	
อัตราเร็วของสัญญาณในย่านความถี่ (In-band Signalling) 1 บนช่องสื่อสารแบบ DCCH	2 กิโลบิตต่อวินาที
อัตราส่วนของข้อมูลบนช่องสื่อสารแบบ DCH (1/3) ต่อ DCCH(1/2)	41.2 % / 10%

บทที่ 3

ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นและพิจารณาการหา ขนาดพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการคำนวณความจุและรัศมีครอบคลุมพื้นที่ให้บริการของระบบ TD-SCDMA โดยจะแยกออกเป็น เมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ด้วยระดับความเร็วที่ต่างกัน เมื่อเปลี่ยนค่าสเปรคดิงแฟลคเตอร์ การคำนวณหาค่าสัญญาณขาดหาย ดังนั้นรัศมีครอบคลุมเซลล์และความจุของเซลล์จึงแตกต่างกัน

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบด้วย การจางหายของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นแบบมัลติพาท วิธีการพิจารณาสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ในระบบ TD-SCDMA ทั้งสองทิศทางคือ การส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย และจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน การพิจารณาความจุ รัศมีครอบคลุมเซลล์ และพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

3.1 การจางหายของสัญญาณเนื่องจากมัลติพาท

การประมาณการเกิดการจางหายของสัญญาณเนื่องมาจากมัลติพาทนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ ซึ่งการจางหายนี้จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งตกกระทบสิ่งปลูกสร้าง อาคาร หรือพื้นดินแล้วสะท้อนไปยังเครื่องรับในหลายทิศทางที่แตกต่างกัน ถ้าหากสมมติให้สัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องส่งอยู่ในรูปของสัญญาณเชิงซ้อน $z(t) = I_z(t) + jQ_z(t)$ แล้ว สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับ $w(t)$ จะเป็นคอนโวลูชันสัญญาณเชิงซ้อนที่ถูกส่งออกมา กับฟังก์ชันคิเลียสแปรคของช่องสัญญาณ $g(\tau; t)$ นั่นคือ

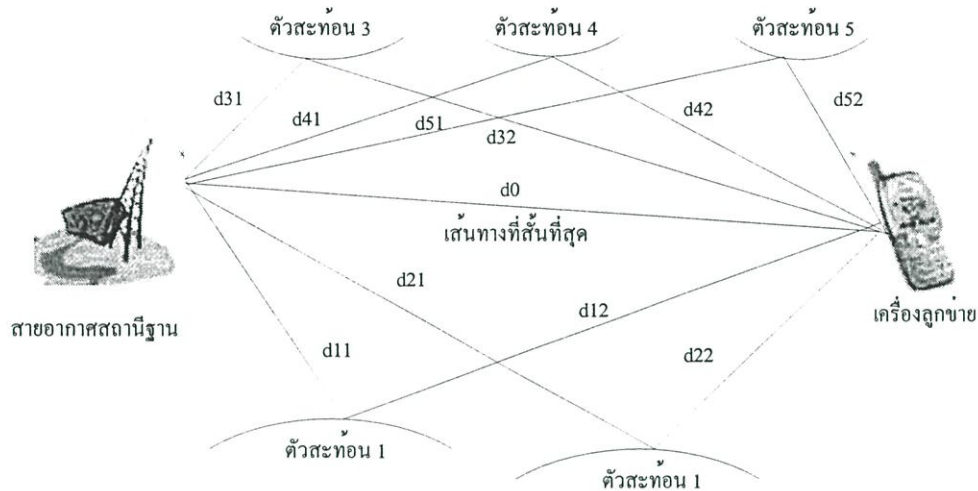
$$w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} z(t-\tau) g(\tau; t) d\tau \quad (3.1)$$

เมื่อ τ คือ ค่าเวลาหน่วงของเส้นทาง และ $g(\tau; t)$ เมื่อ $t < 0$

หากในช่องสัญญาณประกอบด้วยเส้นทางจำนวน n เส้นทางแล้วสมการที่ (3.1) จะสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} w(t) &= \alpha_1 z(t-\tau_1) + \alpha_2 z(t-\tau_2) + \dots + \alpha_n z(t-\tau_n) \\ &= \sum_{i=1}^n \alpha_i z(t-\tau_i) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} z(t-\tau) \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i \delta(\tau-\tau_i) \right] d\tau \end{aligned} \quad (3.2)$$

เมื่อ α_n คือค่าพารามิเตอร์ในการลดทอนสัญญาณในเส้นทางที่ n และ $\delta(\tau - \tau_n)$ คือ การตอบสนองอิมพัลส์ของเส้นทางที่ n



รูปที่ 3.1 การพิจารณาการแพร่กระจายแบบมัลติพาธ

สำหรับการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นจริงนั้น การคาดเดาจำนวนเส้นทางของสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการแพร่กระจายแบบรอบทิศทางของสายอากาศและสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดมัลติพาธในแต่ละพื้นที่นั้นแตกต่างกัน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับขนาดแถบความถี่ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการแพร่กระจายแบบแถบความถี่กว้าง โดยจะใช้พารามิเตอร์ตามข้อกำหนดขององค์กร ITU (International Telecommunication Union) เกี่ยวกับระบบการสื่อสารเคลื่อนที่สำหรับปี 2000 (IMT 2000) นั่นก็คือจะพิจารณาการแพร่กระจายแบบมัลติพาธจำนวน 6 เส้นทางด้วยกัน

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยเส้นทางทั้งหมด 6 เส้นทาง โดยเส้นทาง d_0 คือ เส้นทางที่สัญญาณมีความเข้มมากที่สุด จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะได้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับในสภาพแวดล้อมแบบมัลติพาธเป็น

$$w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} z(t-\tau) \sum_{i=1}^6 \alpha_i \delta(\tau - \tau_i) d\tau \quad (3.3)$$

สำหรับมาตรฐานของ ITU ที่เสนอให้ใช้สำหรับการสื่อสารใน IMT-2000 ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าการตอบสนองของสัญญาณในช่องสัญญาณแบบ WSSUS

เส้นทางที่	ช่องสัญญาณแบบ A		ช่องสัญญาณแบบ B	
	ค่าความหน่วง สัมพัทธ์ (ns)	กำลังเฉลี่ย (dB)	ค่าความหน่วง สัมพัทธ์ (ns)	กำลังเฉลี่ย (dB)
1	0	0.0	0	-2.5
2	310	-1.0	300	0
3	710	-9.0	8900	-12.8
4	1090	-10.0	12900	-10.0
5	1730	-15.0	17100	-25.2
6	2510	-20.0	20000	-16.0

3.2 การพิจารณาการลดทอนสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบ TD-SCDMA สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร ดังนั้นจะพิจารณาถึงลักษณะการแพร่กระจายคลื่นภายนอกอาคารเป็นหลัก ซึ่งโมเดลที่ใช้ในการประมาณการลดทอนสัญญาณเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นภายนอกอาคารนั้นมีผู้เสนอไว้หลายโมเดลด้วยกัน แต่ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้พารามิเตอร์ตามข้อกำหนดของ IMT-2000 ซึ่งโมเดลที่ใช้คือ โมเดล COST-231 โดยแบ่งออกเป็นการลดทอนสัญญาณในย่านดังนี้

3.2.1 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านธุรกิจ

สภาพแวดล้อมของการให้บริการในย่านธุรกิจที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสมมติให้เป็นการแพร่กระจายที่ไม่มีสัญญาณในแนวระดับสายตา หรือ LOS เนื่องจากในย่านธุรกิจนั้นจะประกอบไปด้วยอาคาร สิ่งปลูกสร้างจำนวนมากที่เป็นสิ่งกีดขวาง โดยมีความสูงเฉลี่ยที่ 30 เมตร จึงทำให้สัญญาณในแนวระดับสายตานั้นสามารถเกิดขึ้นได้ยากสำหรับพารามิเตอร์ต่างๆ ของสภาพแวดล้อมในการติดตั้งแบบทั่วไปเพื่อการเปรียบเทียบถึงคุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมของย่านธุรกิจจะแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของการติดตั้งแบบทั่วไปของ โมเดล COST-231 สำหรับย่านธุรกิจ

ความสูงสายอากาศสถานีฐาน (h_b)	40 เมตร
ความสูงสายอากาศเครื่องลูกข่าย (h_m)	1.8 เมตร
ความสูงเฉลี่ยสิ่งกีดขวาง (h_B)	30 เมตร
ผลต่างความสูงสายอากาศสถานีฐานและสิ่งกีดขวาง (Δh_b)	10 เมตร
ผลต่างความสูงสายอากาศเครื่องลูกข่ายและสิ่งกีดขวาง (Δh_m)	28.2 เมตร
ระยะห่างสิ่งกีดขวาง (b)	30 เมตร
ความกว้างถนน ($w = b/2$)	15 เมตร
ความถี่คลื่นพาห้ (f)	2 กิกะเฮิรต์

สำหรับค่าพารามิเตอร์ของการแตกกระจายคลื่นและพารามิเตอร์อื่นๆ สำหรับการแพร่กระจายคลื่นด้วยย่านความถี่ 2 กิกะเฮิรต์ มีดังต่อไปนี้

การลดทอนในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสัญญาณในแนวสายตามีค่าเป็น

$$L_{NLOS} = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{mds}, & L_{rts} + L_{mds} \geq 0 \\ L_{fs}, & L_{rts} + L_{mds} < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

และเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 3.2 แล้วจะได้ค่าการลดทอนของการแพร่กระจายคลื่นในย่านธุรกิจเป็น

$$L_{NLOS} = (32.45 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{MHz}) + (-16.9 - 10 \log_{10} w + 10 \log_{10} f_{MHz} + 20 \log_{10} \Delta h_m + L_{ori}) + (L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10} d_{km} + k_f \log_{10} f_{MHz} - 9 \log_{10} b) \quad (3.5)$$

โดยค่าการลดทอนเชิงมุม (L_{ori}) จะมีค่าแปรผันตามมุมเข้าถึงคลื่น (ϕ) ที่มีค่าเป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง 0–90 องศา ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าลดทอนอื่นๆ ดังนั้นจะไม่ขอกกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ส่วนพารามิเตอร์การลดทอนอื่นๆ ในกรณีที่มีค่ามากกว่าศูนย์สำหรับการแพร่กระจายในย่านธุรกิจจะมีค่า (L_{bsh}) เป็น $-18 \log_{10}(1 + \Delta h_b)$ ส่วนแฟคเตอร์ k_a เท่ากับ 54 แฟคเตอร์ k_d เท่ากับ 18 และ k_f เท่ากับ $-4 + 1.5 \times ((2000/925) - 1) = 2.2568$ และเมื่อนำแฟคเตอร์การลดทอนต่างๆ และพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แทนค่าลงในสมการที่ 3.5 จะได้ค่าการลดทอนในการแพร่กระจายคลื่นในย่านธุรกิจด้วยโมเดล COST-231 ในกรณี Δh_b มีค่ามากกว่าศูนย์มีค่าเป็น

$$L_{NLOS} = (32.45 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} 2000) + (-16.9 - 10 \log_{10} 15 + 10 \log_{10} 2000 + 20 \log_{10} 10) + (-18 \log_{10}(1 + 10) + 54 + 18 \log_{10} d_{km} - 2.2567 \log_{10} 2000 - 9 \log_{10} 30) \quad (3.6)$$

ซึ่งการติดตั้งสำหรับการใช้งานในย่านธุรกิจจริงๆ นั้น เซลล์สเตชันที่จะใช้จะเป็นเซลล์ขนาดเล็ก หรือ ไมโครเซลล์ ที่มีกำลังส่งต่ำ ครอบคลุมพื้นที่เป็นวงแคบ โดยจะติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าริมถนน หรือผนังอาคาร ที่มีความสูงสายอากาศต่ำกว่า 10 เมตร โดยจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

3.2.2 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านที่อยู่อาศัย

สำหรับการลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านที่อยู่อาศัยจะสมมติให้มีพารามิเตอร์ต่างๆ เกี่ยวกับลักษณะของอาคารสิ่งกีดขวางมีค่าแตกต่างกับย่านธุรกิจ เนื่องจากในย่านที่อยู่อาศัยนั้นความสูงของสิ่งกีดขวางจะมีระดับความสูงเฉลี่ยต่ำกว่าย่านธุรกิจมาก ดังแสดงในตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของการติดตั้งแบบทั่วไปของ โมเดล COST-231 สำหรับย่านที่อยู่อาศัย

ความสูงสายอากาศสถานีฐาน (h_b)	40 เมตร
ความสูงสายอากาศเครื่องลูกข่าย (h_m)	1.8 เมตร
ความสูงเฉลี่ยสิ่งกีดขวาง (h_B)	30 เมตร
ผลต่างความสูงสายอากาศสถานีฐานและสิ่งกีดขวาง (Δh_b)	10 เมตร
ผลต่างความสูงสายอากาศเครื่องลูกข่ายและสิ่งกีดขวาง (Δh_m)	8.2 เมตร
ระยะห่างสิ่งกีดขวาง (b)	30 เมตร
ความกว้างถนน ($w = b/2$)	15 เมตร

ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าความสูงสายอากาศที่สถานีฐานสำหรับการให้บริการในย่านที่อยู่อาศัยส่วนมากแล้วจะมีความสูงมากกว่าความสูงของอาคารบ้านเรือน (นอกเสียจากในกรณีที่มีการติดตั้งเซลล์ชนิดไมโครเซลล์บริเวณเสาไฟฟ้าริมถนน ซึ่งความสูงจะอยู่ในระดับใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของสิ่งกีดขวาง โดยจะไม่ขอกกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้) ดังนั้นโมเดลสำหรับการลดทอนในแพร่กระจายคลื่นในย่านที่อยู่อาศัยในกรณีที่สายอากาศสถานีส่งสูงกว่าสิ่งกีดขวาง ($\Delta h_b > 0$) จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned}
 L_{NLOS} = & (32.45 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} 2000) \\
 & + (-16.9 - 10 \log_{10} 15 + 10 \log_{10} 2000 + 20 \log_{10} 8.2) \\
 & + (-18 \log_{10} (1 + 30) + 54 + 18 \log_{10} d_{km} - 3.1865 \log_{10} 2000 - 9 \log_{10} 30) \quad (3.7)
 \end{aligned}$$

3.2.3 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านชานเมือง

สำหรับการลดทอนสัญญาณเนื่องมาจากการแพร่กระจายคลื่นในย่านชานเมืองนั้น จะสมมติให้สภาพพื้นที่เป็นพื้นที่โล่ง โดยมีระดับความสูงเฉลี่ยของสิ่งกีดขวางที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น

พื้นที่ลักษณะนี้จะมีรัศมีการแพร่กระจายคลื่นของสถานีฐานกว้าง โดยพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับสภาพพื้นที่นี้จะแสดงในตารางที่ 3.4 และสมการการลดทอนการแพร่กระจายแสดงในสมการที่ 3.8

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของการติดตั้งแบบทั่วไปของโมเดล COST-231 สำหรับย่านชานเมือง

ความสูงเสาอากาศสถานีฐาน (h_b)	40 เมตร
ความสูงเสาอากาศเครื่องลูกข่าย (h_m)	1.8 เมตร
ความสูงเฉลี่ยสิ่งกีดขวาง (h_b)	5 เมตร
ผลต่างความสูงเสาอากาศสถานีฐานและสิ่งกีดขวาง (Δh_b)	35 เมตร
ผลต่างความสูงเสาอากาศเครื่องลูกข่ายและสิ่งกีดขวาง (Δh_m)	3.2 เมตร
ระยะห่างสิ่งกีดขวาง (b)	100 เมตร
ความกว้างถนน ($w = b/2$)	50 เมตร

$$L_{NLOS} = (32.45 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} 2000) \\ + (-16.9 - 10 \log_{10} 50 + 10 \log_{10} 2000 + 20 \log_{10} 3.2) \\ + (-18 \log_{10} (1 + 35) + 54 + 18 \log_{10} d_{km} - 3.1865 \log_{10} 2000 - 9 \log_{10} 100) \quad (3.8)$$

3.3 การพิจารณาในทิศทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย

3.3.1 สัญญาณแทรกสอดจากภายในเซลล์

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่า สัญญาณที่ส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องรับนั้นมีการแตกกระจาย เนื่องจากการสะท้อนสิ่งกีดขวางออกเป็น 6 เส้นทางด้วยกัน หากสัญญาณเส้นทางหนึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบ

$$s(t) = Ab(t - \tau) PN(t - \tau) \cos(\omega_0 t + \theta) \quad (3.9)$$

เมื่อ A คือ แอมพลิจูดของสัญญาณ

α คือ ค่าตัวแปรที่เกิดจากการตรวจสอบพฤติกรรมการสื่อสาร

$b(t)$ คือ ข้อมูลไบนารีของสัญญาณในเส้นทาง

$PN(t)$ คือ อนุกรมของสเปกตรัมโคดิคของสัญญาณในเส้นทาง

τ คือ ค่าการหน่วงเวลาของเส้นทาง

θ คือ การเลื่อนเฟสของสัญญาณในเส้นทาง

หากเส้นทางที่พิจารณาประกอบด้วยองค์ประกอบมัลติพาธจำนวน 6 เส้นทางดังแสดงในรูปที่ 3.1 แล้วจะได้สัญญาณที่รับได้ที่สายอากาศของเครื่องลูกข่ายที่สนใจเป็น

$$s(t) = \sum_{i=0}^5 A_i b_i(t - \tau_i) PN_i(t - \tau_i) \cos(\omega_0 t + \theta) + n(t) \quad (3.10)$$

เมื่อ i แทนอันดับของเส้นทาง และ $n(t)$ ในทอมสุดท้ายคือ Additive White Gaussian Noise (AWGN) ที่ประกอบด้วยความหนาแน่นกำลังสเปกตรัม $\eta_0/2$ สองข้าง

3.3.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในทิศทางจากเครื่องสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายนั้นจะอาจเกิดขึ้นได้จากความไม่เป็นอโรคอนอลของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายแบบมัลติพาธ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการเกิดสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในทิศทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูป 3.2 โดยสมมติให้ความเป็นอโรคอนอล (β) หรือแฟคเตอร์ในการแทรกสอดของสัญญาณมีค่าเป็น 1 เมื่อความเป็นอโรคอนอลนั้นสมบูรณ์ และมีค่าเป็น 0.1-0.9 สำหรับสภาพแวดล้อมแบบมัลติพาธ โดยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ให้บริการ

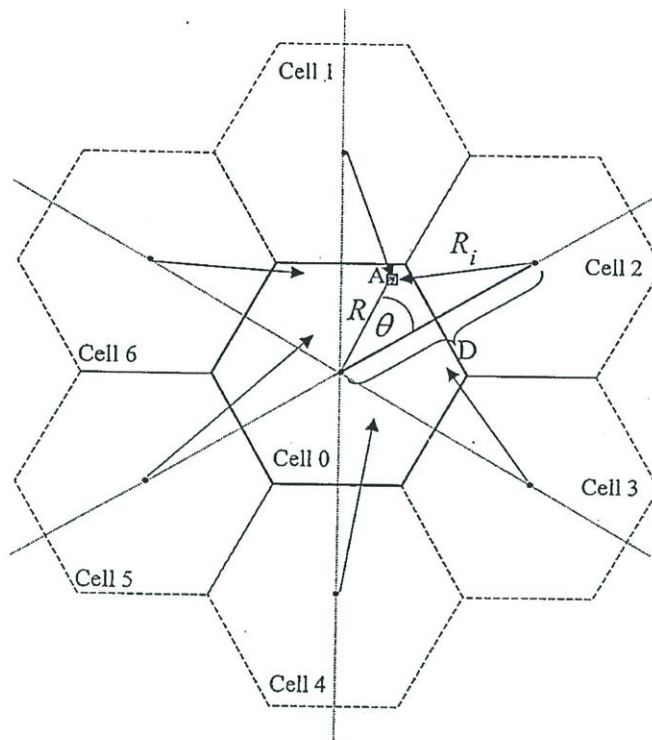
จากรูปที่ 3.2 หากในระบบ TD-SCDMA ประกอบด้วยสถานีฐานจำนวน K สถานี และแต่ละสถานีมีองค์ประกอบสัญญาณที่ประกอบด้วยมัลติพาธจำนวน l เส้นทาง จะทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง A ประกอบด้วยเส้นทางจำนวน

$$\text{จำนวนเส้นทางสัญญาณที่รับได้ทั้งหมด } (S) = \text{จำนวนเซลล์ } (K) \times \text{จำนวนเส้นทาง } (l) \quad (3.11)$$

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาระบบที่ประกอบไปด้วยเซลล์จำนวน 7 เซลล์และพิจารณาการแพร่กระจายคลื่นชนิดความถี่กว้างโดยใช้ช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบ WSSUS ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบจำนวน 6 เส้นทาง ดังนั้นสมการที่ 3.9 จะเขียนได้เป็น

$$s(t) = \sum_{k=0}^6 \sum_{i=0}^5 \alpha_{ik} A_{ik} b_i(t - \tau_{ik}) PN_{ik}(t - \tau_{ik}) \cos(\omega_0 t + \theta_{ik}) + n(t) \quad (3.12)$$

เมื่อ ตัวห้อย k แทนสัญญาณจากสถานีฐานอันดับที่ k^{th} และตัวห้อย i แทนอันดับของเส้นทาง โดยแปรผกผันกับระยะทางในการแพร่กระจาย R_i เมื่อ $i=0$ คือเส้นทางที่คลื่นสั้นที่สุด และ $k=0$ คือสถานีหลัก ซึ่งสมการ 3.11 นั้นจะเป็นสัญญาณเชิงประกอบที่รับได้ที่เครื่องรับโดยจะประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการรวมอยู่กับสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดจากสัญญาณจากเซลล์หลักที่ถูกหน่วงเวลาและสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงทั้ง 6 สถานี



รูปที่ 3.2 สัญญาณและสัญญาณแทรกสอดที่รับได้ที่เครื่องรับในทิศทางฟอร์เวิร์ดลิงค์

เนื่องจากแฟลคเตอร์ในการแทรกสอดระหว่างสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์กับสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงนั้นต่างกัน และเส้นทางสัญญาณที่นำมาใช้งานนั้นคือเส้นทางที่ $i = 0$ ดังนั้น จากสมการที่ 3.11 ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่รับได้ที่เครื่องรับจะสามารถเขียนได้เป็น

$$I_f(t) = \sum_{i=1}^5 \alpha_i A_i b_i(t - \tau_i) PN_i(t - \tau_i) \cos(\omega_0 t + \theta_i) \quad (3.13a)$$

$$+ \sum_{k=1}^6 \sum_{i=0}^5 \alpha_{ik} A_{ik} b_i(t - \tau_{ik}) PN_{ik}(t - \tau_{ik}) \cos(\omega_0 t + \theta_{ik}) + n(t)$$

หรือ

$$I_f(t) = \sum_{i=1}^5 s_i(t) + \sum_{k=1}^6 \sum_{i=0}^5 s_{ik}(t) \quad (3.13b)$$

หรือ

$$I_f(t) = I_{sc}(t) + I_{oc}(t) \quad (3.13c)$$

เมื่อ s_{ik} คือสัญญาณจากสถานีฐานข้างเคียงอันดับที่ i^{th} ส่วน I_{sc} และ I_{oc} คือสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์และสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง ตามลำดับ

จากสมการที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าปริมาณสัญญาณแทรกสอดในระบบนั้นมีจำนวนมากพอที่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างน่าประหลาดใจ แต่ทว่าในระบบซีดีเอ็มเอนั้น ใช้การรับแบบหลายทาง (diversity) ที่จะช่วยทำให้สามารถนำสัญญาณมากกว่าหนึ่งเส้นทางมาใช้

งาน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้การรับแบบเรทที่มีองค์ประกอบ 3 คัดนี้ และมีการรวมสัญญาณแบบ Maximal Ratio Combining ซึ่งนั่นก็คือการนำองค์ประกอบสัญญาณที่มีระดับสัญญาณแรงที่ 3 เส้นทางมาใช้งาน ดังนั้นสมการที่ 3.12 จะเหลือปริมาณสัญญาณแทรกสอดในเซลล์หลักเพียง 3 เส้นทางซึ่งจะทำให้อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (รวมทั้งสัญญาณรบกวน) มีค่าเป็น

$$\left(\frac{E_b}{N_0 + I} \right)_j = \frac{G_p \sum_{h=1}^3 \alpha_h A_h b_h(t - \tau_h) P N_h(t - \tau_h) \cos(\omega_0 t + \theta_h)}{\sum_{i=4}^6 \alpha_i A_i b_i(t - \tau_i) P N_i(t - \tau_i) \cos(\omega_0 t + \theta_i) + \beta I_{oc}(t) + n(t)} \quad (3.14)$$

เมื่อ G_p คือ โพรเซสซิงเกนของระบบ

p คือ สัญญาณที่มีระดับความแรงสูงสุด

β คือ แฟคเตอร์ในการแทรกสอด

3.4 การพิจารณาในทิศทางจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน

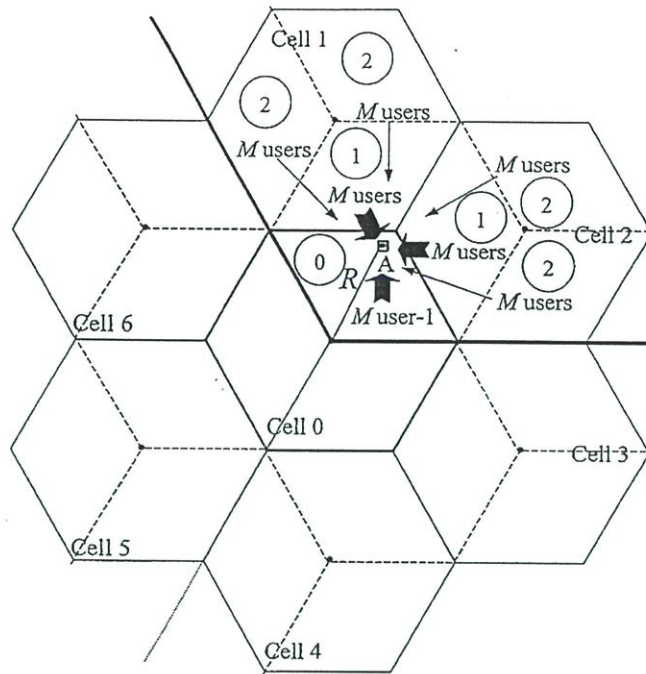
3.4.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์

สำหรับสัญญาณแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ของระบบ TD-SCDMA คือ สัญญาณจากเครื่องลูกข่ายอื่นๆ ที่พยายามติดต่อสื่อสารกับสถานีฐานเดียวกัน เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายที่ประกอบเส้นทางสัญญาณจำนวน 6 เส้นทางเช่นเดียวกับกรณีของฟอร์เวิร์ดลิงค์ และในระบบมีเครื่องลูกข่ายที่แอกทีฟจำนวน M เครื่อง จะสามารถหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ได้เป็น

$$I_r(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^5 \alpha_{im} A_{im} b_{im}(t - \tau_{im}) P N_{im}(t - \tau_{im}) \cos(\omega_0 t + \theta_{im}) + n(t) \quad (3.15)$$

3.4.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

สำหรับการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในทิศทางรีเวอร์สลิงค์ จะเกิดจากสัญญาณเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียง ซึ่งสามารถส่งสัญญาณมารบกวนในสถานีฐานหลักที่กำลังพิจารณาอยู่ได้ โดยสัญญาณเหล่านี้จะมีระดับความเข้มสัญญาณที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์หลัก ซึ่งจะทำให้ปริมาณสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงเหล่านี้มีค่าอยู่ที่ระดับหนึ่ง แต่ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายเหล่านี้อยู่บริเวณรอยต่อของเซลล์จะทำให้เครื่องลูกข่ายเหล่านี้อยู่ในสถานะเตรียมการส่งสัญญาณ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ เครื่องลูกข่ายเหล่านี้มีระดับกำลังส่งที่ใกล้เคียงกับลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์หลัก ที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบมากขึ้น



รูปที่ 3.3 สัญญาณและสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐานในทิศทางการส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานในสภาพแวดล้อมแบบหลายเซลล์

ถ้าระบบที่พิจารณาประกอบด้วยเซลล์จำนวน 7 เซลล์ แต่ละเซลล์แบ่งออกเป็น 3 เซกเตอร์ โดยในหนึ่งเซกเตอร์ประกอบด้วยเครื่องลูกข่ายจำนวน M เครื่อง และสถานีฐานรับสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละเครื่องได้เครื่องละ 6 เส้นทาง หากสมมติให้ความเป็นเซกเตอร์ของสายอากาศนั้น สมบูรณ์แบบ จะทำให้สายอากาศของสถานีฐานที่ถูกแบ่งออกเป็นเซกเตอร์นั้นได้รับสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในทิศทางที่กำหนดไว้เท่านั้น ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์อื่นๆ หากพิจารณารูปที่ 3.3 จะเห็นว่าในทิศทางที่กำหนดนั้นประกอบด้วยเซลล์เซกเตอร์ที่ให้บริการ (เซลล์เซกเตอร์ $[0]$) เซลล์เซกเตอร์ข้างเคียง (เซลล์เซกเตอร์ $[1]$) และเซลล์เซกเตอร์ไกล (เซลล์เซกเตอร์ $[2]$) ซึ่งผลกระทบจากผู้ใช้งานที่อยู่ในเซลล์ต่างๆ เหล่านี้จะมีผลกระทบที่แตกต่างกันเนื่องจากระยะห่างระหว่างเซลล์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาในกรณีที่เกิดผลกระทบมากที่สุด นั่นคือ เครื่องลูกข่ายทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ที่ $[1]$ และ $[2]$ นั้นอยู่บริเวณรอยต่อของเซลล์ซึ่งจะทำให้ปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่รับได้ที่เครื่องรับของสถานีฐานมีค่าเป็น

$$\begin{aligned}
I_r(t) = & \sum_{i=1}^5 \alpha_i A_i b_i (t - \tau_i) PN_i (t - \tau_i) \cos(\omega_0 t + \theta_i) \\
& + \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{i=0}^5 \alpha_{im} A_{im} b_{im} (t - \tau_{im}) PN_{im} (t - \tau_{im}) \cos(\omega_0 t + \theta_{im}) \\
& + 2L_{adj} \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{i=0}^5 \alpha_{im} A_{im} b_{im} (t - \tau_{im}) PN_{im} (t - \tau_{im}) \cos(\omega_0 t + \theta_{im}) \\
& + 4L_{far} \sum_{k=1}^6 \sum_{i=0}^5 \alpha_{ik} A_{ik} b_{ik} (t - \tau_{ik}) PN_{ik} (t - \tau_{ik}) \cos(\omega_0 t + \theta_{ik}) + n(t)
\end{aligned} \tag{3.16}$$

หรือ

$$I_r(t) = I_{rs} + 2I_{ra} + 4I_{rf} \tag{3.17}$$

$$\text{เมื่อ } I_{rs} = L_{adj} \sum_{m=1}^M \sum_{i=0}^5 \alpha_{im} A_{im} b_{im} (t - \tau_{im}) PN_{im} (t - \tau_{im}) \cos(\omega_0 t + \theta_{im})$$

$$I_{fs} = L_{far} \sum_{m=1}^M \sum_{i=0}^5 \alpha_{im} A_{im} b_{im} (t - \tau_{im}) PN_{im} (t - \tau_{im}) \cos(\omega_0 t + \theta_{im})$$

และ L_{adj} คือ แฟคเตอร์การลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่นจากเซลล์เซคเตอร์ข้างเคียง

L_{far} คือ แฟคเตอร์การลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่นจากเซลล์เซคเตอร์ไกล

ทำให้อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนแทรกสอดในทิศทางรีเวอร์สลิงค์มีค่าเป็น

$$\left(\frac{E_b}{N_0 + I} \right) = \frac{G_p \sum_{h=1}^3 \alpha_h A_h b_h (t - \tau_h) PN_h (t - \tau_h) \cos(\omega_0 t + \theta_h)}{(1 - \beta) I_r + n(t)} \tag{3.18}$$

3.5 การพิจารณาความจุของผู้ใช้งาน

สัญญาณรบกวน (SIR: Signal-to-interference ratio) ในระบบ TD - SCMA ผู้ใช้งานจะใช้กำลังส่งระหว่างจำนวนผู้ใช้งานภายในสถานีฐานเดียวสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\bar{\varepsilon}_j = \frac{\bar{S}_j \alpha \beta K_a}{\alpha \sum_{i=1, i \neq j}^k v_j \bar{S}_j + \beta \sum_{i=1}^k v_j \bar{S}_j + W N_0} \tag{3.19}$$

เมื่อ $\bar{\varepsilon}_j$ คือ อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานลำดับที่ j ค่า SIR ในหน่วย dB หาได้จาก $\varepsilon_j = 10 \log \bar{\varepsilon}_j$

k คือ จำนวนของผู้ใช้งานภายในเซลล์

\bar{S}_j คือ กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานของผู้ใช้งานที่ลำดับที่ j (วัตต์) ในหน่วย dBW หาได้จาก

$$S_j = 10 \log \bar{S}_j$$

v_j คือ ค่าแฟคเตอร์ Voice activity ของผู้ใช้งานลำดับที่ j

α คือ ค่าแฟคเตอร์ MAI – depression ในระบบ TD – SCDMA ใช้วิธีการตีเทคร่วมเพื่อลดค่า MAI ลง

β คือ ค่าอัตราส่วนผลรวมการแทรกสอดภายนอกของเซลล์ต่อผลรวมกำลังการแทรกสอดภายในเซลล์

W คือ ค่าแบนด์วิดท์ของระบบ

N_0 คือ ค่าความหนาแน่นของสเปกตรัมสัญญาณกำลังของรบกวน(background noise)

Q คือ ค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์

K_a คือ ค่าจำนวนอิลิเมนต์ของสายอากาศแบบ Smart Antenna

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สมมติให้ กำลังของเครื่องรับทุกเครื่องสำหรับผู้ใช้งานแต่ละคนเท่ากัน เขียนสมการได้ดังนี้

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{S} \square Q \square K_a}{\rho(\alpha(k-1) + \beta k) \bar{S} + W \square N_0} \quad (\text{dB}) \quad (3.20)$$

หรือ

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{S} \square Q \square K_a}{\rho(\alpha(k-1) + \beta k) \dot{S} + W \square N_0} \quad (\text{วัตต์}) \quad (3.21)$$

เมื่อ

$$\dot{S} = \frac{W \square N_0}{\frac{K_a \square Q}{\dot{\varepsilon}} - \rho(\alpha(k-1) + \beta k)} \quad (3.22)$$

จากสมการที่ 3.21 ค่า \dot{S} มีค่ามากกว่า 0 เป็นไปตามเงื่อนไข

$$\frac{K_a \square Q}{\dot{\varepsilon}} > \rho(\alpha(k-1) + \beta k) \quad (3.23)$$

จากสมการที่ 3.22 ค่าจำนวนสูงสุดของผู้ใช้ภายในเซลล์ได้จาก

$$k_{pole} = \frac{\frac{K_a \square Q}{\rho \square \dot{\varepsilon}} + \alpha}{\alpha + \beta} \quad (3.24)$$

ค่า k_{pole} จะสัมพันธ์กับค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ Q ถ้าค่า Q มากจะทำให้ค่า k_{pole} มากตามไปด้วย โดยจำนวนสูงสุดของผู้ใช้งานภายในเซลล์ จะถูกกำหนดโดยรหัส OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) สเปรดดิ้งแฟคเตอร์ เท่ากับ 16 ดังนั้นจำนวนสูงสุดของผู้ใช้งานที่สามารถรองรับได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง k_{pole} และ 16

3.6 ความน่าจะเป็นของช่วงสัญญาณขาดหาย

ภายใต้เงื่อนไขจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์ จะน้อยกว่าจำนวนสูงสุดที่เซลล์สามารถรองรับได้ โดยระยะเวลาการขาดหายของสัญญาณจะเกิดขึ้นเมื่อกำลังเครื่องรับ \dot{S}_j ของผู้ใช้งานลำดับที่ j มายังสถานีฐานมีค่าต่ำกว่ากำลังงานของเครื่องรับ \dot{S} ที่ระยะเวลาน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ τ_m พลังงานที่เครื่องรับ S_j (dBW) ของผู้ใช้งาน j แสดงได้ในเทอมของกำลังเครื่องส่ง T_j (dBW) ของผู้ใช้งานลำดับที่ j โดยค่าการสูญเสียของเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นได้ดังนี้

$$S_j = T_j - (K_1 + K_2 \log d) + Z_j \quad (3.25)$$

เมื่อ d คือ ค่าระยะห่างระหว่างผู้ใช้งานถึงสถานีฐาน

K_1 คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียเชิงวิถีทางพื้นที่ว่าง

K_2 คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียตามระยะทาง

Z_j คือกระบวนการรบกวนในรูป large-scale shadowing เป็นโมเดล zero-mean wide-sense stationary gaussian random process มีค่าการแปรปรวน (variance) เท่ากับ σ_z^2

ระยะเวลาที่สัญญาณเกิดการขาดหายเมื่อกำลังของเครื่องส่งของผู้ใช้งานลำดับที่ j มีค่าเท่ากับ \bar{T}_{\max} ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_{out} &= P\left(\bar{S}_j < \dot{S} \text{ and lasts for at least } \tau_m \mid \bar{T}_j = \bar{T}_{\max}\right) \\ &= P\left(Z_j < \dot{S}_j + (K_1 + K_2 \log d) - T_{\max} \text{ and lasts for at least } \tau_m\right) \end{aligned} \quad (3.26)$$

3.7 การพิจารณาเครื่องลูกข่ายเมื่ออยู่ในสภาพเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายจะพบว่าสาเหตุเกิดมาจากเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ทำให้ต้องออกแบบพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์เพื่อไม่ให้เกิดปัญหากับผู้ใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการประมาณค่าความหนาแน่นของจำนวนผู้ใช้งานที่ระดับความเร็วต่างๆกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาโดยใช้หลักทางสถิติในพื้นที่เมือง โดยแบ่งแยกออกได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีแรก เมื่อผู้ใช้งานไม่มีการเคลื่อนที่ และกรณีที่สองเมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ ซึ่งสมมติให้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์กรณีแรกเป็น P_1 และ $P_2 = 1 - P_1$ ตามลำดับ ในกรณีแรกให้ความเร็วของผู้ใช้กระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม (V_{1L}, V_{1H}) และในกรณีสองเป็นการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม (V_{2L}, V_{2H}) ดังนั้นค่าความหนาแน่นของผู้ใช้งานที่ระดับความเร็วต่างๆกัน เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} f_v(V) &= \frac{P_1}{V_{1H} - V_{1L}} [u(V - V_{1L}) - u(V - V_{1H})] \\ &\quad + \frac{1 - P_1}{V_{2H} - V_{2L}} [u(V - V_{2L}) - u(V - V_{2H})] \end{aligned} \quad (3.27)$$

เมื่อ $u(x)$ เป็นฟังก์ชันขั้นบันได โดยหาได้จาก

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3.28)$$

ค่าเฉลี่ยของ P_{out} จึงมีความสัมพันธ์กับค่า V ดังนี้

$$P_{out} = \int_0^{\infty} P(Z_j < \dot{S}_j + [K_1 + K_2 \log d] - T_{max} \text{ and lasts for at least } \tau_m) \square f_v(V) dV \quad (3.29)$$

3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการครอบคลุมพื้นที่กับจำนวนผู้ใช้งาน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดครอบคลุมพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งานจาก (4) และ (8) ความน่าจะเป็นของสัญญาณเกิดการขาดหาย (P_{out}) จะแปรผกผันกับจำนวนของผู้ใช้งานภายในเซลล์จากค่าระยะห่างระหว่างผู้ใช้งานถึงสถานีฐาน ความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายจะพบได้มากที่สุดบริเวณขอบเซลล์ ดังนั้นรัศมีของเซลล์ (R_{cell}) จะมีระยะทางจากสถานีฐานถึงค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายสูงสุด (p_m) โดยที่ R_{cell} หาได้จาก

$$P_{out}(k, R_{cell}) = p_m \quad (3.30)$$

การเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้งาน (k) จะแปรผกผันกับของค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหายของผู้ใช้ลำดับที่ j โดยรัศมีของเซลล์ (R_{cell}) ก็จะแปรผกผันกับค่าของจำนวนผู้ใช้งาน

$$\left(k \propto \frac{1}{R_{cell}} \right)$$

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองผลและผลที่ได้จากการจำลองผลโดยโปรแกรมการจำลองผลที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะนำผลที่ได้นี้มาใช้ในการหาปริมาณผู้ใช้ที่สามารถให้บริการได้ และรัศมีครอบคลุมเพื่อให้บริการ

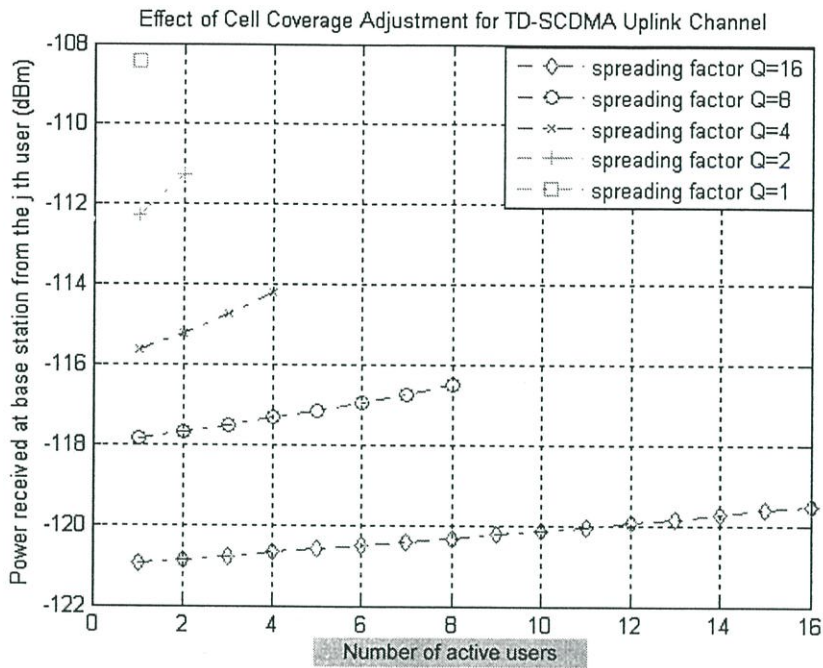
4.1 การวิเคราะห์ผลในบริเวณพื้นที่ 1 เซลล์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

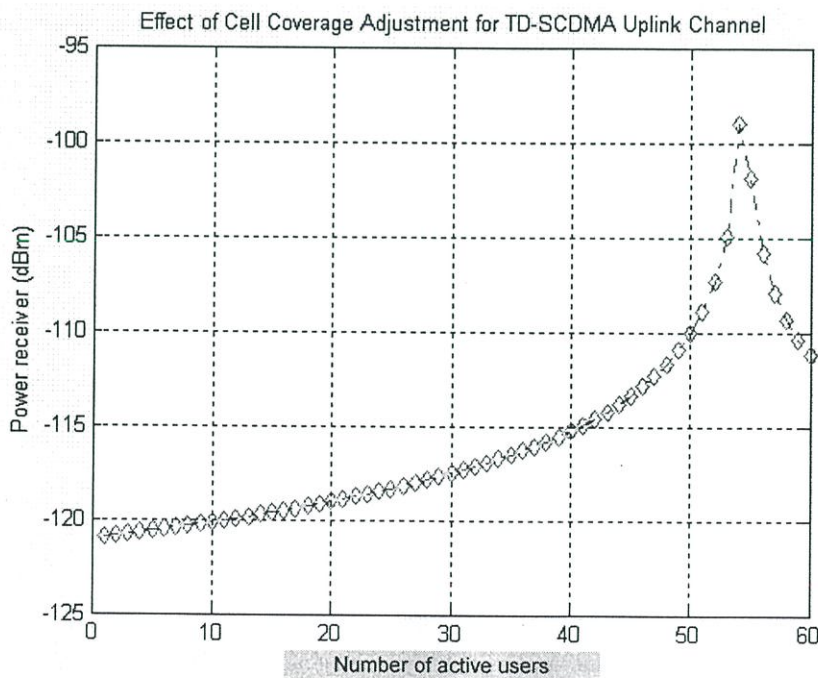
พารามิเตอร์	ค่าต่างๆ
แบนด์วิดท์	$W = 1.6$ MHz
แฟคเตอร์ Spreading	$Q = 16, 8, 4, 2, 1$
แฟคเตอร์ Voice activity	$\rho = 0.67, 1.0$
แฟคเตอร์ MAI depression	$\alpha = 0.1$
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณต่อสัญญาณ	$\varepsilon^* = 1.0$ dB, 0.0dB
ระยะเวลาซีดจำกัด	$\tau_m = 5$ s
กำลังส่งสูงสุด	$T_{\max} = 33$ dBm
สัมประสิทธิ์การสูญเสียเชิงวิถีทางพื้นที่ว่าง	$K_1 = 17.3$ dB
สัมประสิทธิ์การสูญเสียตามระยะทาง	$K_2 = 33.8$ dB
กำลังความหนาแน่นสเปกตรัมของ thermal noise	$N_o = -169$ dBm/Hz
ความน่าจะเป็นสูงสุดของสัญญาณที่ขาดหาย	$p_m = 0.05$
Standard deviation ของ large-scale shadowing	$\sigma_z = 8$ dB
อัตราส่วนผลรวมภายนอกเซลล์ต่อผลรวมกำลังภายในเซลล์	$\beta = 0.6$

ส่วนแรกจะทำการวิเคราะห์โดยแทนพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.1 แทนในสมการที่ 3.22 สามารถวิเคราะห์ค่ากำลังที่รับได้ของสถานีฐานจากผู้ใช้งานลำดับที่ j โดยตัวแปรที่สำคัญในสมการ 3.22 มีอยู่ 2 ค่า คือค่าของจำนวนผู้ใช้งาน (k) และ ค่าของสเปกตรัมแฟคเตอร์ (Q) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยในเบื้องต้นจะเปลี่ยนแปลงค่าสเปกตรัมแฟคเตอร์ (Q) เพื่อทดสอบว่า

ค่าของสเปรคดิงแฟคเตอร์ (Q) มีความสัมพันธ์ในลักษณะใดกับค่าของจำนวนผู้ใช้งาน (k) ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



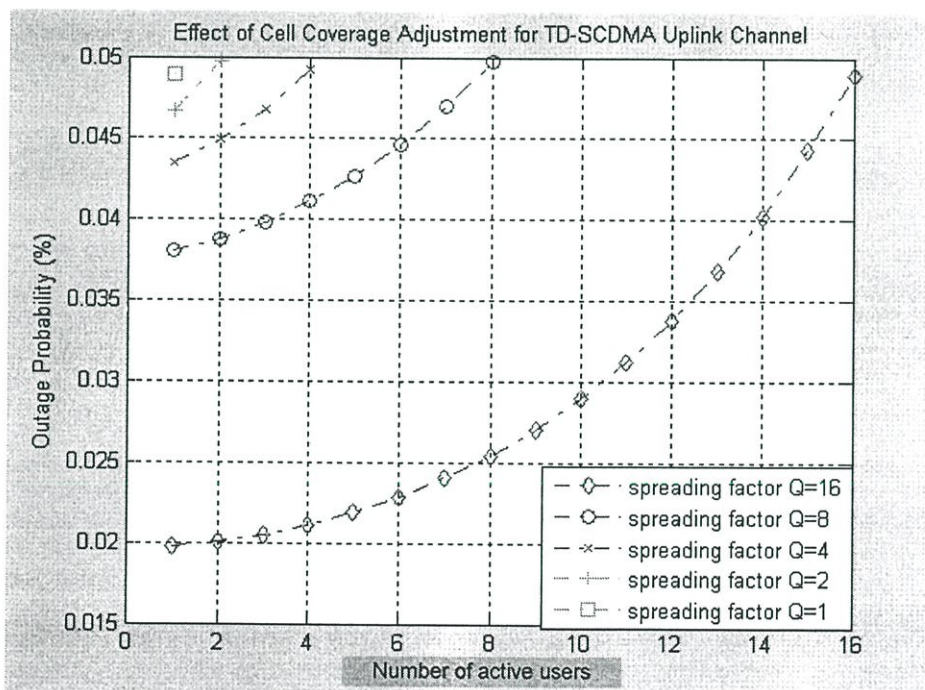
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้ลำดับที่ j กับจำนวนของผู้ใช้งาน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้ลำดับที่ j กับจำนวนของผู้ใช้งาน เมื่อค่า $k > k_{pole}$ และค่า $Q=16$

จากรูปที่ 4.1 เมื่อค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ากำลังที่รับได้ที่สถานีฐาน จากผู้ใช้งานลำดับที่ j มีค่าสูงขึ้น และถ้าหากกำหนดค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ไว้คงที่ ($Q = 16$) และเพิ่มค่าของจำนวนผู้ใช้งาน (k) อย่างต่อเนื่อง จนทำให้มากกว่าจำนวนผู้ใช้งานสูงสุด (k_{pole}) จะมีผลทำให้ค่ากำลังของเครื่องรับของสถานีฐานจากผู้ใช้งานลำดับที่ j เกิดค่าผิดพลาดขึ้นตามสมการที่ 3.23 ค่าของ k_{pole} ที่คำนวณได้จะเท่ากับ 54.38 จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าค่าจำนวนผู้ใช้งานไม่ควรจะมีค่าเกิน 54 คน

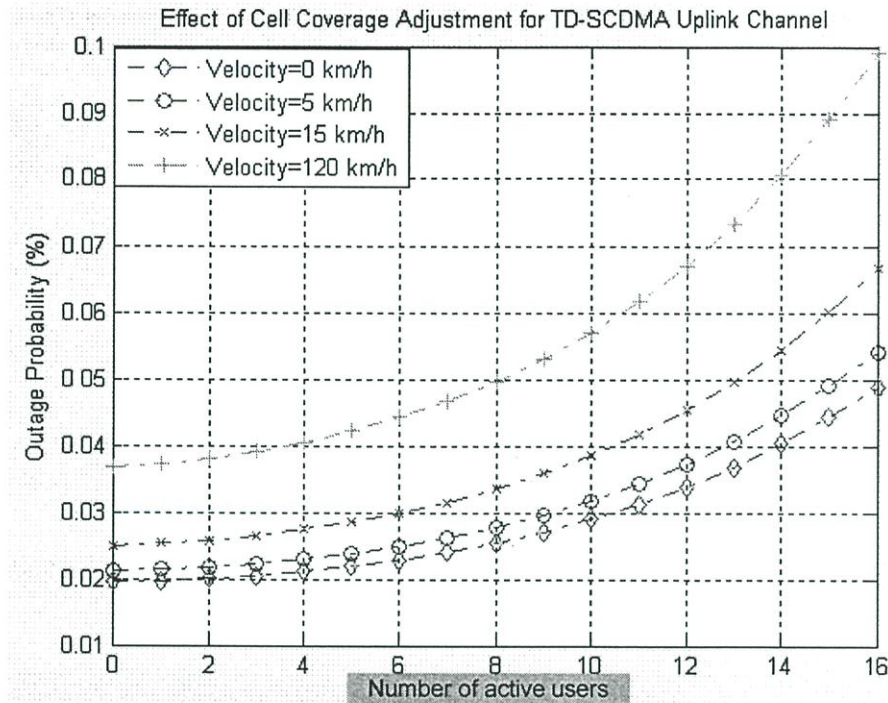
จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นของระยะเวลาสัญญาณที่ขาดหายเมื่อกำลังของเครื่องส่งของผู้ใช้ลำดับที่ j มีค่าเท่ากับ \hat{r}_{max} จะเกิดความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียของเส้นทาง (path loss) และกระบวนการรบกวนในรูปของ large-scale shadowing ดังรูปที่ 4.3 การสูญเสียของเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เทอมของค่ากำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้งานลำดับที่ j มีค่าเพิ่มขึ้นจนมากกว่าเทอมของกระบวนการรบกวน เป็นผลให้ค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายมีค่าเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตรา Outage Probability (%) กับจำนวนของผู้ใช้งาน

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อปรับค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์มากขึ้นจะทำให้จำนวนผู้ใช้งานมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบเมื่อค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ $Q = 16$ จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากกว่าค่าสเปรดดิ้งแฟคเตอร์ $Q = 1$ โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ (0.05%)

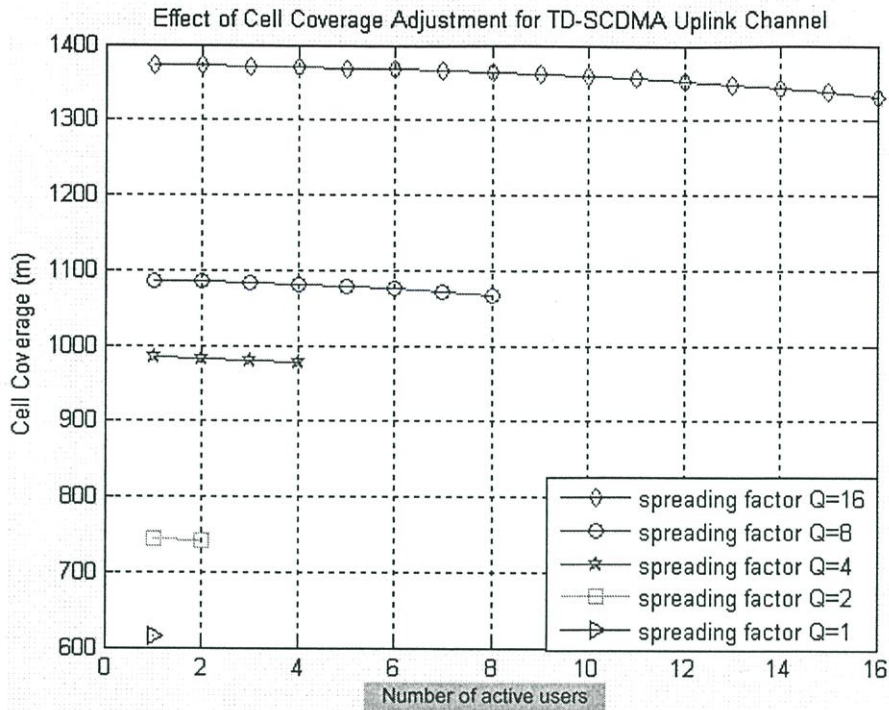
ทำการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของระยะเวลาสัญญาณที่ขาดหายเมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ในระบคความเร็วต่างๆกัน ในที่นี้จะพิจารณาความเร็วที่ 0 km/h , 5 km/h , 15 km/h และ 120 km/h โดยจะแทนค่าตามตารางที่ 4.1 และใช้สมการที่ 3.27-3.29 ในการวิเคราะห์



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตรา Outage Probability (%) กับจำนวนของผู้ใช้งาน (เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วในระดับต่างๆ)

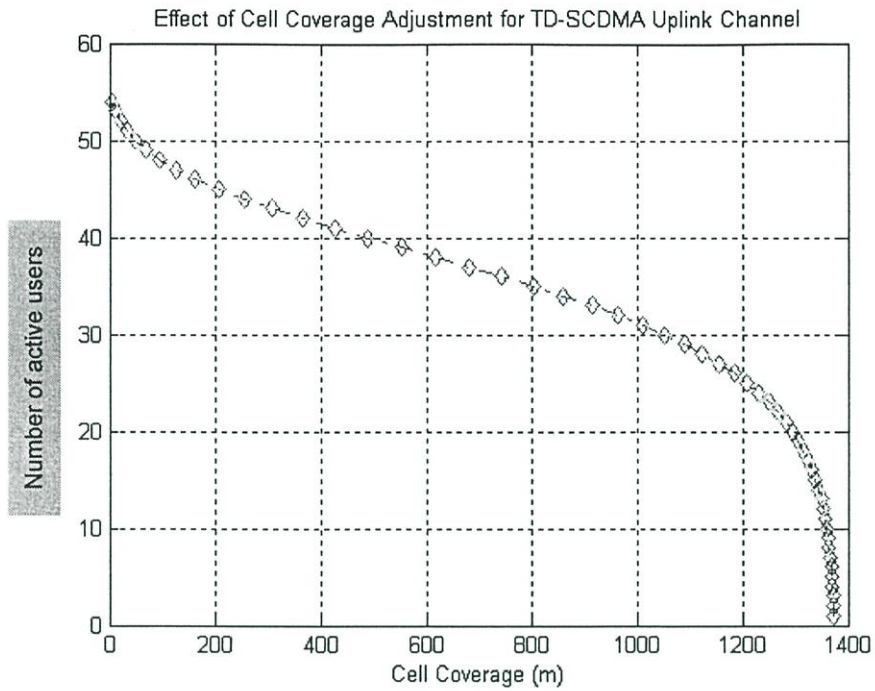
จากผลที่ได้ในรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อผู้ใช้งานมีความเร็วสูงขึ้นทำให้เกิดค่าความน่าจะเป็นของระยะเวลาสัญญาณที่ขาดหายมากขึ้น นั่นเป็นเพราะอาจจะมาจากสาเหตุการเปลี่ยนพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ (Handoff) อย่างรวดเร็วจึงมีผลกระทบต่อระบบ

ต่อไปทำการวิเคราะห์ขนาดครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์โดยใช้สมการที่ 3.30 แล้วแทนค่าตามตารางที่ 4.1 ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 4.5 เมื่อค่าสเปรดคิงแฟคเตอร์มีค่ามาก ทำให้สามารถขนาดครอบคลุมของเซลล์กว้างกว่าค่าสเปรดคิงแฟคเตอร์น้อยๆ และยังทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้เพิ่มขึ้น โดยที่ขนาดครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ยังใกล้เคียงกับขนาดเดิม ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยังพอยอมรับได้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของเซลล์(m) กับ จำนวนของผู้ใช้งาน เมื่อค่า $Q = 16$

จากผลที่ได้จากรูปที่ 4.5 นำมาวิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดเปรียบเทียบกับพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ จะพบว่าค่าของจำนวนผู้ใช้งาน (k) มีความสัมพันธ์กับค่าของพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ (R_{cell}) ในเทอมของค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายในสมการที่ 3.30 โดยจะกำหนดให้ค่าของ $Q = 16$ และเพิ่มค่าของ (R_{cell}) อย่างต่อเนื่อง เพื่อวิเคราะห์ค่า (R_{cell}) ว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะใดกับค่าของ (k) ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 4.6



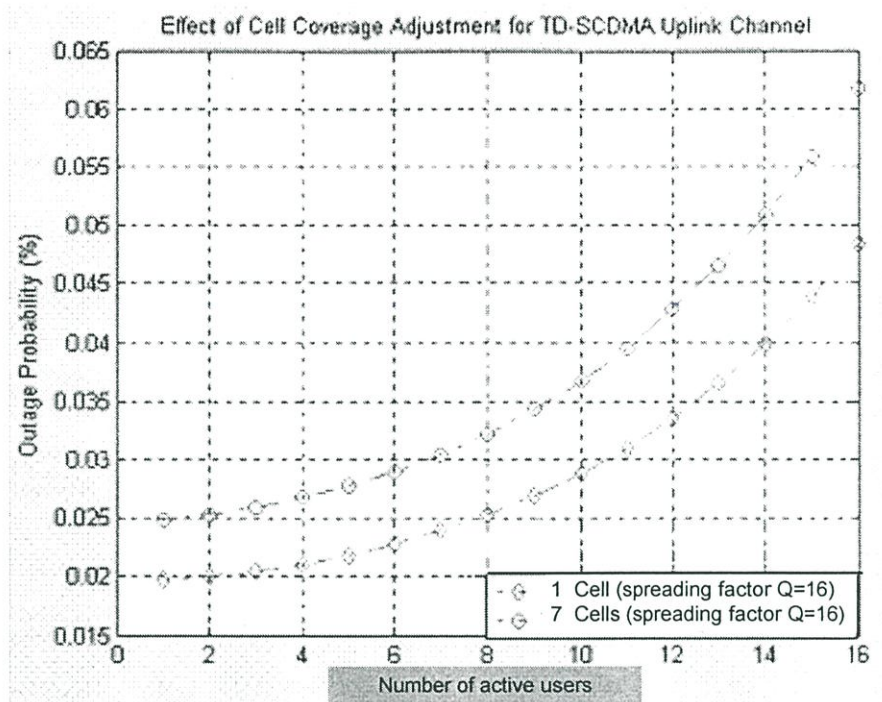
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของเซลล์ (m) กับ จำนวนของผู้ใช้งาน เมื่อค่า $Q = 16$

จากผลการทดลองที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าค่าสเปรคดิงแฟคเตอร์มีผลกับค่าพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์และจำนวนผู้ใช้งานภายในเซลล์ โดยค่าสเปรคดิงแฟคเตอร์ยิ่งมาก ก็จะมีผลดีต่อระบบมากขึ้นด้วยดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.1 -4.6

4.2 การวิเคราะห์ผลในบริเวณพื้นที่ 7 เซลล์

ต่อไปจะทำการวิเคราะห์โดยจะเพิ่มจำนวนเซลล์ให้มากขึ้นเป็น 7 เซลล์ เพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ในเซลล์เดียว โดยกำหนดให้ค่าสเปรคดิงแฟคเตอร์ ($Q = 16$)

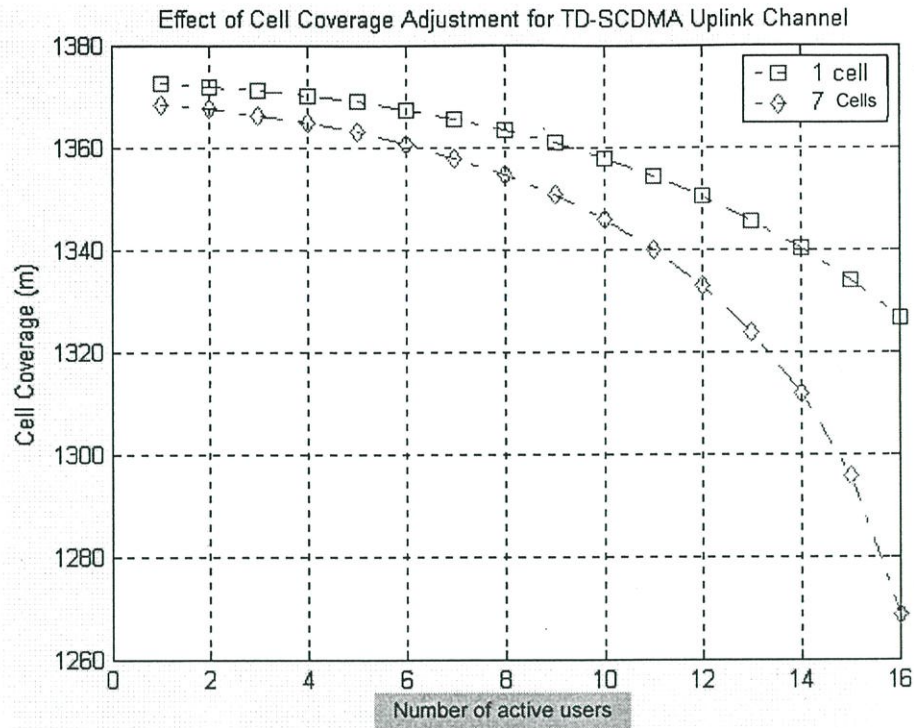
ขั้นตอนแรกจะวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของสัญญาณที่ขาดหายระหว่าง 7 เซลล์และเซลล์เดียว โดยคิดรวมค่าแทรกสอดภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ด้วย ดังนั้นสมการที่ใช้ จะมีตั้งแต่สมการที่ 3.9 เป็นต้นมา ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหายระหว่างเซลล์เดี่ยวและ 7 เซลล์

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่าค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหายที่บริเวณ 7 เซลล์มีค่าสูงกว่าเซลล์เดี่ยว เนื่องมาจาก การวิเคราะห์ที่บริเวณ 7 เซลล์จะมีตัวแปรเพิ่มขึ้นมาคือ ค่าแทรกสอดจากภายนอกเซลล์ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพของสัญญาณแย่ลงอย่างเห็นได้ชัด

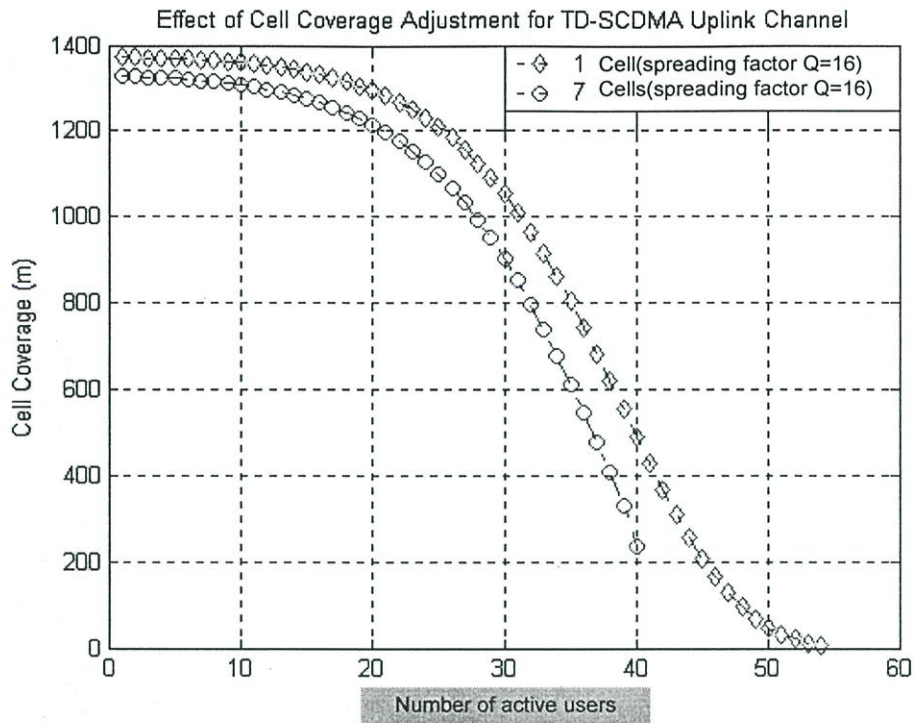
ต่อไปเป็นการวิเคราะห์ค่าจำนวนผู้ใช้งานและพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์เปรียบเทียบกันระหว่างบริเวณ 7 เซลล์ และเซลล์เดี่ยว จะได้ผลดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้งานระหว่างเซลล์เดี่ยวและ 7 เซลล์

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าค่าพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ที่บริเวณ 7 เซลล์มีค่าแคบกว่าบริเวณที่เป็นเซลล์เดี่ยว สาเหตุเกิดจากที่บริเวณ 7 เซลล์เกิดค่าแทรกสอดจากภายนอกเซลล์เข้ามารบกวนสัญญาณ จึงเป็นสาเหตุทำให้พื้นที่ครอบคลุมของเซลล์แคบกว่า

ต่อไปเป็นการวิเคราะห์หาค่าจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดและพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์เปรียบเทียบกันระหว่างบริเวณ 7 เซลล์ และเซลล์เดี่ยว จะได้ผลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดระหว่างเซลล์เดี่ยว และ 7 เซลล์

จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่าจำนวนผู้ใช้งานที่บริเวณ 7 เซลล์มีค่าน้อยกว่าบริเวณที่เป็นเซลล์เดี่ยว สาเหตุเกิดจากที่บริเวณ 7 เซลล์เกิดค่าแทรกสอดจากภายนอกเซลล์เข้ามารบกวนสัญญาณ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การจำลองผลและการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ใช้งานต่อ รัศมีการให้บริการ ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการคำนวณปริมาณ ผู้ใช้งานและพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ที่เหมาะสมในระบบ TD-SCDMA เพื่อเป็นแนวทางให้วิศวกร ผู้ออกแบบระบบสามารถคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของรัศมีการให้บริการที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณ ผู้ใช้งานในระบบเปลี่ยนแปลง ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณนี้จะนำไปสู่การออกแบบการวาง ตำแหน่งสถานีฐานในระบบ TD-SCDMA

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับค่าสเปคตริงแฟคเตอร์ให้สูงขึ้น จะทำให้ระบบ สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานและพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์กว้างขึ้นทั้งในแบบเซลล์เดี่ยวและ 7 เซลล์ โดยถ้าวิเคราะห์ในแบบเซลล์เดี่ยวจะพบว่าจำนวนผู้ใช้งานและพื้นที่ครอบคลุมมากกว่าแบบ 7 เซลล์ เนื่องจากแบบ 7 เซลล์จะนำค่าแทรกสอดจากภายนอกเข้ามาคิดด้วย จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้จำนวนผู้ใช้งานและพื้นที่ให้บริการน้อยกว่าการคิดแบบเซลล์เดี่ยว

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นอาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ จำนวนหนึ่ง เนื่องจากพารามิเตอร์ที่นำมาใช้นั้นเป็นค่าที่เกิดจากการประมาณการโดยการคำนวณ การรวบรวมข้อมูลเชิงสถิติและความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางให้ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของระบบ อย่างไรก็ตามค่าที่นำเสนอในบทความต่างๆ เหล่านี้มีใช้ ค่าที่ถูกต้องเสมอไป เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมจริงนั้น จะมีพฤติกรรม ต่างๆ เกิดขึ้นอย่างมากมายที่ไม่สามารถคาดเดาด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง เช่น การ เคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย ทิศทางการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ใช้งานในชั่วโมง แรงดัน การเคลื่อนที่ของยานพาหนะหรือองค์ประกอบโดยรอบเครื่องลูกข่าย การออกแบบ ระบบที่ดินั้น จะต้องมีการสำรวจองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ในเบื้องต้นเสียก่อน เพื่อให้ สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาพพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีพารามิเตอร์อีกค่าหนึ่งที่มีผลกระทบอย่างมาก ต่อการสื่อสารด้วยระบบ TD-SCDMA นั่นคืออัตราข้อมูลข่าวสารของระบบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์นี้ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อโปรเซสซิงเกนของระบบ ซึ่งจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ อื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความจุของผู้ใช้งานและพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดย ถ้าอัตราข้อมูลเป็นข้อมูลความเร็วสูงหรือการให้บริการในรูปของสื่อผสม ก็จะทำให้พื้นที่ ครอบคลุมของเซลล์และจำนวนผู้ใช้งานเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ดังนั้นการคำนวณปริมาณ

ผู้ใช้งานและพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ที่เหมาะสมในระบบ TD-SCDMA สำหรับการให้บริการรูปแบบสื่อผสมจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อพัฒนาการออกแบบระบบให้สามารถรองรับการให้บริการสำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 และยุคที่ 4 ต่อไป

หนังสืออ้างอิง

- [1] ณพงศ์ สุวรรณนิพนธ์ , “ www.eng.dpu.ac.th/te ”
- [2] A.J. Viterbi, **Principle of Spread Spectrum Communication**. Reading, MA, Addison-Wesley, 1995.
- [3] V. Veeravalli and Sendonaris, **The coverage-capacity tradeoff in cellular CDMA system**. IEEE Trans. Vehicular Technology , Vol.4, No.5, pp.1443-1450, 1999.
- [4] T. S. Rappoport, **Wireless Communications-Principle and Practice**. Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996.
- [5] M. Leonard and W. Emil . **Optical coherence and quantum optics**. Univ.Cambridge, Cambridge, UK,1995.
- [6] H. Jiang and C. H. Davis **Cell coverage estimation base on duration outage criterion for CDMA cellular system** . IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol .52 , No.4, pp.814-822, 2003.

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. P.MOUNGNOUL,W.VIJITKUNSAWAT, “Effect of Cell Coverage Adjustment for TD-SCDMA Uplink Channel,” in *ISCIT2006 International Symposium on Communication and Information Technology 2006*,Grand Mercure Fortune Hotel, Bangkok, Thailand, October. 2006, pp.663-666.

Effect of Cell Coverage Adjustment for TD-SCDMA Uplink Channel

Wuttichai Vajitkunsawat and Phichet Moungnoul

Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
Tel: +66-2-326-4242, Fax: +66-2-326-4554
E-mail: phichet@telecom.kmitl.ac.th

Abstract— This paper proposes the cell coverage adjustment for TD-SCDMA uplink channel at 1600 MHz. The results of the cell coverage almost remain constant as the number of active user increases due to the usage of joint detection. Because the suppress MAI (Multiple Access Interference) and also show that the cell coverage for small spreading factor services is necessarily smaller than cell coverage for large spreading factor services.

I. INTRODUCTION

As the mobile phone migrate to third generation or 3G for the aim of high speed multimedia services, IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) standard issues by ITU, which using CDMA (Code Division Multiple Access) technique such as CDMA2000 system, W-CDMA and TD-SCDMA[1]. The advantages of TD-SCDMA are as following.



Fig. 1. TDD (Time Division Duplexing) with Asymmetric Band

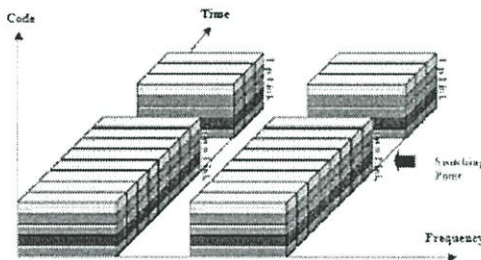


Fig. 2. The relationship between time, frequency and code in TD-SCDMA system.

1. The asymmetric band by using the FDD (Frequency Division Duplexing) to improve the TDD (Time Division Duplexing), which is the data transceiver of the second generation such as GSM. This technique can be improved the

bandwidth performance of low speed data transmission existed system. TD-SCDMA using the asymmetric digital subscriber line technique separated the data rate of uplink and downlink, which require the different speed as shown in Figs.1 and 2.

2. The application between TDMA TDD and CDMA, which is the wide band spreading of narrow band data signal. Spreading code using the pseudo-random code called chip rate. Each users will be assigned the own pseudo-random code. Chip rate of TD-SCDMA less than W-CDMA and CDMA2000

3. The smart antenna, which can be controlled the direction of the beam forming between the base station and the mobile phone. This technique improved the power performance of the TD-SCDMA and also decreased the intercell interference. The smart antenna signal process can be worked better with the low chip rate.

4. Upgrade the 2G to 3G easily, since the TD-SCDMA base station can be installed with the existing 2G system. These mean the term of cost, time and reduce.

This paper is shown the analysis of the effect of cell coverage adjustment in TD-SCDMA system at the uplink data rate less than downlink.

II. PRINCIPLE AND THEORY

A. Cell Coverage Adjustment

The cell coverage is inverse proportion to the number of users in cell. The number of users increase it cause the multiple access interference (MAI) increase. So that for the large cell coverage must be reduced the cell size for decrease the MAI

B. Pole Capacity

Signal-to-interference ratio (SIR) in TD-SCDMA system, the power of each user is used the same base station can be shown as [2].

$$\epsilon_j = \frac{\bar{S}_j}{\alpha \sum_{i=1}^K \gamma_i \bar{S}_i + \beta \sum_{i=1}^K \gamma_i \bar{S}_i + W N_0} \cdot Q \cdot K_x \quad (1)$$

where $\hat{\epsilon}_j$ is SIR of the user number j in dB calculate form

$$\epsilon_j = 10 \log \hat{\epsilon}_j$$

k is the number of users in the cell

\hat{S}_j is the receive power of user number j at the base station (dBW), $S_j = 10 \log \hat{S}_j$

v_j is voice activity factor of user number j

α is MAI-depression factor

β is the sum interference outer cell to the sum interference inner cell ratio

W is system bandwidth

N_0 is background noise

Q is spreading factor

K_a is the number of smart antenna element

This paper determine the receive power of each user equally as equation [3].

$$\hat{\epsilon} = \frac{\hat{S}}{p(\alpha(k-1) + \beta k)S + W \cdot N_0} \cdot Q \cdot K_a \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

$$\hat{\epsilon}^* = \frac{\hat{S}^*}{p(\alpha(k-1) + \beta k)S^* + W \cdot N_0} \cdot Q \cdot K_a \quad (\text{watt}) \quad (3)$$

Where

$$\hat{S}^* = \frac{W N_0}{\frac{K_a \cdot Q}{\hat{\epsilon}^*} - p(\alpha(k-1) + \beta k)} \quad (4)$$

From (4) \hat{S}^* greater than zero as the condition:

$$\frac{K_a \cdot Q}{\hat{\epsilon}^*} > p(\alpha(k-1) + \beta k) \quad (5)$$

From (5) the maximum users in cell as:

$$k_{\text{max}} = \frac{\frac{K_a \cdot Q}{\hat{\epsilon}^*} + \alpha}{\alpha + \beta} \quad (6)$$

Where k_{max} is related with spreading factor: Q . If Q is high the k_{max} high too. The maximum of users in cell is controlled by the orthogonal variable spreading factor (OVVSF), which equal to 16. So that the maximum number of users is between k_{pole} and 16

C. Fading Signal Probability

Under this condition, number of users in the cell less than the maximum number of users. The fading signal duration occur when the power of user number j , \hat{S}_j , sent to the base station lower than the power of other user, \hat{S}^* , at the minimum time duration equal to τ_m . The power S_j of user number j

can be shown as term T_j of user number j , which had the propagation path loss [4] as:

$$S_j = T_j - (K_1 + K_2 \log d) - Z_j \quad (7)$$

Where d is the distance between user and base station

K_1 is the free space path loss coefficients

K_2 is the distance loss coefficients

Z_j is the random process in large-scale shadowing form as zero-mean wide-sense stationary Gaussian random process, which had the variance equal to σ_z^2 [5]

The duration of fading signal, which the power of the user number j equal to T_{max} have been the event probability as:

$$P_{\text{out}} = P(S_j < S^* \text{ and lasts for at least } \tau_m | T_j = T_{\text{max}}) \\ = P\left(Z_j < S_j^* + (K_1 + K_2 \log d) - T_{\text{max}}, \text{ and lasts for at least } \tau_m\right) \quad (8)$$

D. The Relation Between Coverage and Capacity Tradeoff

The inverse proportion between coverage and capacity analysis can be gotten from (4) and (8). The fading signal probability (P_{out}) is the inverse proportion with the number of users in the cell and the distance between the user and the base station. The probability of fading signal is often occurring at the edge of the cell. So that the cell radian (R_{cell}) measured from the base station to the maximum fading signal probability (p_m), which R_{cell} get from [6].

$$P_{\text{out}}(k, R_{\text{cell}}) = p_m \quad (9)$$

The increasing of the number of users is proportion to the fading signal probability of the user number j , which the cell radian is inverse proportion to the number of user $\left(k \propto \frac{1}{R_{\text{cell}}}\right)$.

E. The Signal from the Mobile Phone to the Base Station

Assume each cell is equal and consist of 6 directions from the user. Let M is the number of users in the cell, so the interference signal can be expressed as:

$$I_r(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^6 \alpha_m a_{lm} b_{lm}(t - \tau_{lm}) PN_m(t - \tau_{lm}) \\ \cos(\omega_0 t + \theta_{lm}) + n(t) \quad (10)$$

So that the $E_b / (N_0 + I)$ of the base station is:

$$\frac{G \cdot \alpha \cdot A b(t - \tau) PN(t - \tau) \cos(\omega t - \theta)}{(1 - \beta)I + n(t)} \quad (11)$$

III. THE EXPERIMENTAL AND THE RESULT

By analyze the time duration of the fading signal where the transmitted power of the user number j equal to T_{max} , which relate to the path loss and random process in large-scale shadowing when the path loss increased as shown in Fig. 3. The increasing of the term of power receive at the base station from user number j over than the term of random process, that made the fading signal probability increased.

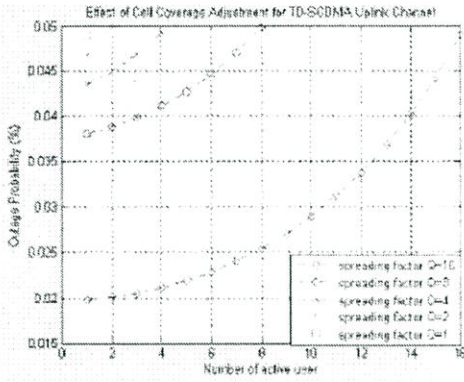


Fig. 3. Outage probability rate and number of users (1 cell) comparison

From Fig. 3, it shows the increasing spreading factor cause the increasing the number of users as the number of user for $Q=16$ is greater than $Q=1$. For the fading signal probability is in the standard rang (0.05%)

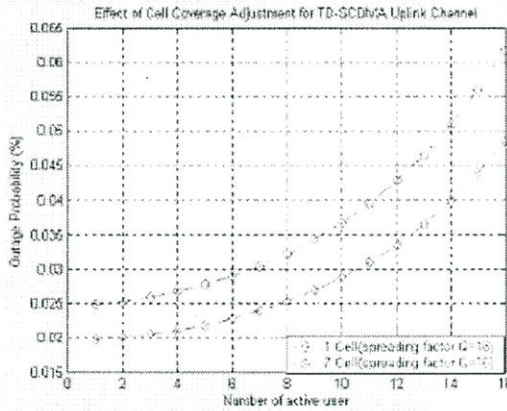


Fig. 4. The comparison of fading signal probability between 1 cell and 7 cells for $Q=16$

Equations (8) and (10) show the signal fading probability increase, when the number of cell increased (7 cells).

Fig. 4 shows the increasing the number of cell also increasing the fading signal probability as the interference in 7 cells greater than 1 cell.

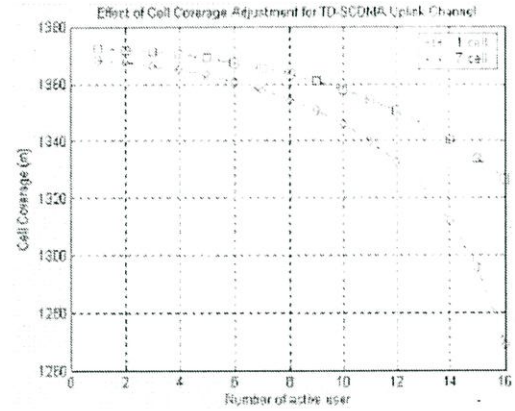


Fig. 5. Comparison the number of user between 1 cell and 7 cell: for $Q=16$

By using (9) and (10) to calculate the effect of number of users compare to cell coverage

Fig. 5 shows the increasing of the number of user decrease the coverage, because of the inner interference increase.

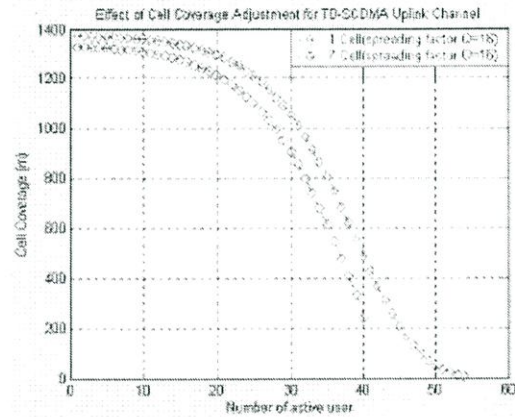


Fig. 6. Comparison the maximum number of user between 1 cell and 7 cells for $Q=16$

From (6), (9) and (11), it can be calculated the maximum number of user comparing between 1 cell and 7 cells for $Q=16$.

Fig. 6 shows the increasing of number of user reduce the cell coverage. By comparison between 1 cell and 7 cells, the number of user in 7 cells less than 1 cell because of the outer interference.

IV. CONCLUSIONS

From the experiment result, the spreading factor $Q=16$ can be provided the number of user greater than $Q=1$. Since the fading signal probability still in the standard rang (0.05%). The number of user comparison between 1 cell and 7 cells, that the user in 7 cells less than 1 cell, because of the outer interference. So that the cell coverage must be reduced for maintain the fading signal probability as 0.05.

REFERENCES

- [1] N. Suwannipon. "www.eng.dup.ac.th/te"
- [2] A. J. Viterbi. *CDMA: Principle of Spread Spectrum Communication*, Reading, MA, Addison-Wesley, 1995.
- [3] V. V. Veeravalli and Sendonaris, "The Coverage-capacity Tradeoff in Cellular CDMA System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 48, No. 5, pp. 1443-1450, 1999.
- [4] T. S. Rapport. *Wireless Communication Principle and Practice*, New Jersey, Prentice-Hall, 1996.
- [5] M. Leonard and W. Emil. *Optical Coherence and Quantum Optics*, Univ Cambridge, Cambridge, UK, 1995.
- [6] H. Jiang and C. H. Davis, "Cell Coverage Estimation base on Duration Outage Criterion for CDMA Cellular System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 52, No.4, pp. 814-822, 2003.

ประวัติผู้เขียน

นายวุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2526 ที่จังหวัด ชลบุรี สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากภาควิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใน ปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548