

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

เครื่องรับสัญญาณความซับซ้อนต่ำสำหรับระบบ CDMA  
แบบหลายคลื่นพาหะในระบบโครงข่ายไร้สายภายในอาคาร  
**LOW COMPLEXITY RECEIVER FOR MULTI-CARRIER CDMA  
IN INDOOR WIRELESS RADIO NETWORKS**



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 83076  
วัน,เดือน,ปี..... - 5 ส.ค. 2551

b. 11964182  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LOW COMPLEXITY RECEIVER FOR MULTI-CARRIER CDMA  
IN INDOOR WIRELESS RADIO NETWORKS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
หัวข้อปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ชื่อการศึกษา นาย ทรงธรรม ลีเที่ยงธรรม รหัสนักศึกษา 47010266  
นาย พายุทัต ลือชาพาณิชย์กุล รหัสนักศึกษา 47010509  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. จักรี ทิฆมภาคย์วิศิษฐ์  
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ  
ปีการศึกษา

ป:



้อยแล้ว

วิศิษฐ์)

ษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญาโท** เครื่องรับสัญญาณความซับซ้อนต่ำสำหรับระบบ CDMA แบบหลายคลื่น  
 พหุในระบบ โครงข่ายไร้สายภายในอาคาร

**ชื่อนักศึกษา** นายทรงธรรม ลีเที่ยงธรรม รหัสนักศึกษา 47010266  
 นายพายุทัต ลือชาพามิชย์กุล รหัสนักศึกษา 47010509

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร. จักรี ทิมภักย์วิศิษฎ์

**ระดับการศึกษา** ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

**ภาควิชา** วิศวกรรมสารสนเทศ

**ปีการศึกษา**

โปร  
 ดิจิทัลและกา  
 สัญญาณเข้า  
 ย่อยหลายๆ  
 เฟสออฟเซต  
 สัญญาณเข้า  
 การเพิ่มอัตรา  
 เครื่องรับที่มี  
 แสดงให้เห็น  
 และสัญญาณ  
 คืบขึ้น



รวมอคูเลตสัญญาณ  
 และระบบหลาย  
 ณะของคลื่นพาหะ  
 ะจะถูกเข้ารหัสด้วย  
 ารที่นำระบบหลาย  
 พาหะนี้ ก็เพื่อเป็น  
 ยเป็นการออกแบบ  
 ึ่งผลการทดลองจะ  
 กช่องสัญญาณร่วม  
 มเร็วในการลู่เข้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                       |  |              |
|-----------------------|--|--------------|
| <b>Thesis Title</b>   | Low Complexity Receiver for Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks |              |
| <b>Student</b>        | Mr. Soungtam Leetheangtam  | ID. 47010266 |
|                       | Mr. Payutat Luechapanichkul  | ID. 47010509 |
| <b>Advisor</b>        | Dr. Chakree Teekapakvisit  |              |
| <b>Graduate Level</b> | Bachelor Degree of Information Engineering                                       |              |
| <b>Department</b>     | Information Engineering  |              |
| <b>Academic Year</b>  | 2007   |              |

This  
Carrier Code  
where each c  
encoded with  
The MIMO s  
a satisfactory  
adaptive itera  
and cancels t  
improves a c



nique called Multi-  
i-Output (MIMO)  
Each subcarrier is  
of spreading code.  
ta rate and provide  
frequency domain  
ver can suppresses  
in the system and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจสำเร็จได้เลย หากปราศจากความร่วมมือแรงร่วมใจกันของผู้จัดทำ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือ แนะนำในทุกๆ ด้าน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นพิเศษต่ออาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ นั่นคือ ดร. จักรี ทิมภักย์วิศิษฎ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่างๆ อีกทั้งให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ รวมถึงเอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ ในการจัดทำโครงการ จึงทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอ  
คุณ  
โอกาสนี้

ด้วยความดีเสมอมา  
ณทุกท่านไว้ ณ



รม ลีเที่ยงธรรม  
เลื้อซาพานิชย์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|   | หน้า     |
|---|----------|
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                 | <b>1</b> |
| 1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหาในการทำโครงการ            | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                    | 2        |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ                                | 3        |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ                         | 3        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>                   | <b>4</b> |
| 2.1 เ   | 4        |
|   | 6        |
| 2.2 ี   | 8        |
| 2.3 ี   | 10       |
| 2.4 ี   | 12       |
| 2.5 ี   | 14       |
|   | 14       |
|   | 15       |
|   | 16       |
|   | 18       |
|   | 20       |
|   | 25       |
|   | 25       |
| 2.6 การทำสเปคสเปกตรัม                               | 25       |
| 2.6.1 การทำสเปคสเปกตรัมแบบโคเรกต์ซีแควนซ์           | 26       |
| 2.6.2 การทำสเปคสเปกตรัมแบบฟรีแควนซีฮอปปีง           | 29       |
| 2.7 การวางสลับ (interleaving)                       | 30       |
| 2.7.1 การวางสลับข้อมูลแบบบล็อก (block interleaving) | 30       |
| 2.7.2 การวางสลับข้อมูลแบบสุ่ม (random interleaving) | 31       |
| 2.8 เครื่องรับสำหรับผู้รัยเดี่ยว                    | 31       |
| 2.8.1 เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์                    | 31       |
| 2.9 เครื่องรับสำหรับผู้รัยหลายราย                   | 35       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| 2.9.1          | เครื่องรับ MMSE                                       | 38        |
| 2.10           | ไคเวอร์ซิตี (diversity)                               | 41        |
| 2.10.1         | ไคเวอร์ซิตีเชิงความถี่                                | 42        |
| 2.10.2         | ไคเวอร์ซิตีเชิงสายอากาศ                               | 42        |
| 2.10.3         | ไคเวอร์ซิตีเชิงเวลา                                   | 42        |
| 2.10.4         | ไคเวอร์ซิตีเชิงปริภูมิ                                | 43        |
| 2.10.4.1       | ไคเวอร์ซิตีแบบการเลือก                                | 43        |
| 2.10.4.2       | ไคเวอร์ซิตีแบบป้อนกลับหรือการสแกน                     | 45        |
| 2.11           | (C-CDMA)  | 48        |
|                | )   | 49        |
|                |   | 50        |
|                | ไคดึง   | 50        |
|                | CR)   | 52        |
|                | f fading)   | 54        |
| 2.12           |   | 56        |
| 2.13           |   | 57        |
| 2.14           | อีควอลไลเซอร์   | 58        |
|                |   | 60        |
| <b>บทที่ 3</b> | <b>การออกแบบภาครับแบบไทม์โคเดน</b>                    | <b>61</b> |
| 3.1            | บล็อกไดอะแกรม (block diagram) แสดงการทำงานของ MC-CDMA | 61        |
| 3.1.1          | บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MC-CDMA ในภาคส่ง         | 61        |
| 3.1.2          | บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MC-CDMA ในภาครับ         | 63        |
|                | แบบไทม์โคเดน  |           |
| 3.2            | บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO-CDMA                | 64        |
| 3.2.1          | บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO-CDMA ในภาคส่ง       | 64        |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                   |   |                |
|-------------------|---|----------------|
| 3.2.2             | บล็อกโคโอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO-CDMA ในภาครับแบบไทม์โดเมน        | 65             |
| 3.3               | บล็อกโคโอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA                          | 66             |
| 3.3.1             | บล็อกโคโอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ในภาคส่ง                 | 66             |
| 3.3.2             | บล็อกโคโอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ในภาครับแบบไทม์โดเมน     | 67             |
| <b>บทที่ 4</b>    | <b>การออกแบบภาครับแบบฟรีควอนซีโดเมน</b>                             | <b>68</b>      |
| 4.1               | บล็อกโคโอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ของภาครับแบบฟรีเค        | 68             |
| 4.2               |   | เซี โดเมน 75   |
|                   |   | 75             |
|                   |   | 75             |
| <b>บทที่ 5</b>    | <b>ผลก</b>  | <b>76</b>      |
| 5.1               |   | 76             |
| 5.2               |   | 77             |
|                   |   | 77             |
|                   |   | 78             |
|                   |   | สาย 79         |
|                   |   | : สาย(MIMO) 80 |
| 5.3               |   | 81             |
|                   |   | 81             |
|                   | สายอากาศ 2x1 สาย  |                |
| 5.3.2             | เมื่อเปรียบเทียบแบบไทม์โดเมนกับฟรีควอนซีโดเมนที่ใช้สายอากาศ 2x2 สาย | 82             |
| 5.3.3             | เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้   | 83             |
| <b>บทที่ 6</b>    | <b>สรุป</b>   | <b>84</b>      |
| 6.1               | สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง  | 84             |
| 6.2               | ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการ                                      | 84             |
| 6.3               | แนวทางในการพัฒนาต่อ   | 85             |
| <b>บรรณานุกรม</b> |   | <b>86</b>      |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

|  | หน้า           |
|--|----------------|
| รูปที่ 2.1 เทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายทางแบบ FDMA TDMA และ CDMA                   | 4              |
| รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการแผ่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละราย                                     | 9              |
| รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการแยกคืนสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายจากสัญญาณรวม                      | 10             |
| รูปที่ 2.4 วงจรภาคส่งของระบบ CDMA ที่ใช้การมอดูเลตแบบ BPSK                           | 11             |
| รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรภาคส่งของระบบไคเรกต์ซีแควนซ์ที่ใช้ BPSK | 11             |
| รูปที่ 2.6 วงจรภาครับของระบบไคเรกต์ซีแควนซ์ที่ใช้ในการมอดูเลตแบบ BPSK                | 13             |
| รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง  | ที่ใช้ BPSK 13 |
| รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง  | 16             |
| รูปที่ 2.9 การ   | 17             |
| รูปที่ 2.10 ค่า  | 18             |
| รูปที่ 2.11 ชิฟ  | 18             |
| รูปที่ 2.12 โค   | 20             |
| รูปที่ 2.13 ราช  | 23             |
| รูปที่ 2.14 ตัว  | 26             |
| รูปที่ 2.15 สแ   | 28             |
| รูปที่ 2.16 ตัว  | 29             |
| แบบฟรีแควน   | สเปกตรัม       |
| รูปที่ 2.17 กา   | 31             |
| รูปที่ 2.18 โค   | 32             |
| รูปที่ 2.19 วงจรแมตซ์ฟิลเตอร์ด้วยรหัสแผ่ $s_k(t)$ สำหรับผู้ใช้รายที่ $k$             | 32             |
| รูปที่ 2.20 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย                       | 36             |
| รูปที่ 2.21 โครงสร้างการจัดแบ่งประเภทของเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย                | 37             |
| รูปที่ 2.22 โครงสร้างของเครื่องรับ MMSE ที่กระทำในระดับของชิป                        | 39             |
| รูปที่ 2.23 โครงสร้างของเครื่องรับ MMSE ที่อาศัยรหัสแผ่                              | 41             |
| รูปที่ 2.24 โครงสร้างของไดเวอร์ซิตีแบบการเลือก                                       | 43             |
| รูปที่ 2.25 โครงสร้างของการรวมสัญญาณโดยใช้อัตราส่วนสูงที่สุด                         | 46             |
| รูปที่ 2.26 การแจกแจงแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution)                               | 49             |
| รูปที่ 2.27 คลื่นสัญญาณที่เข้าสู่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ณ มุม $\theta$            | 52             |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  |                      |
|--|----------------------|
| รูปที่ 2.28 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณไซน์ชวยอดความถี่เดียวที่รับผลกระทบ<br>จากคอปเปอเรชัน   | 52                   |
| รูปที่ 2.29 ตัวอย่างรูปสัญญาณเรย์ลีเฟดคิงและค่าที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ LCR  | 53                   |
| รูปที่ 2.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการข้ามระดับกับระดับสัญญาณที่เป็นจุดข้าม<br>ซึ่งมีการนอร์มอลไลซ์ (normalize) ตัวแปรทั้งสองแกน  | 54                   |
| รูปที่ 2.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเวลาของการเฟดกับระดับสัญญาณที่เป็นจุดข้าม<br>ซึ่งมีการนอร์มอลไลซ์ตัวแปรทั้งสองแกน  | 56                   |
| รูปที่ 2.32 การรับส่งสัญญาณแบบ MIMO  | 59                   |
| รูปที่ 3.1 บล๊อค   | 61                   |
| รูปที่ 3.2 บล๊อค   | โดเมน 63             |
| รูปที่ 3.3 บล๊อค   | 64                   |
| รูปที่ 3.4 บล๊อค   | ทอมโดเมน 65          |
| รูปที่ 3.5 บล๊อค   | 66                   |
| รูปที่ 3.6 บล๊อค   | บบ 67                |
| ทอมโดเมน   |                      |
| รูปที่ 4.1 บล๊อค   | แบบ 68               |
| ฟรีควนซีโดเมน  |                      |
| รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพการทำงาน<br>และปรับค่าได้โดยใช้สายอากาศ  | เวนซ์ 77<br>คิวยปกติ |
| รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพการทำงาน<br>และปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 1 สายและรับ 2 สาย  | เวนซ์ 78             |
| รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำ<br>และปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 2 สายและรับ 1 สาย  | 79                   |
| รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำ<br>และปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 2 สายและรับ 2 สาย (MIMO)   | 80                   |
| รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างภาครีบบแบบทอมโดเมนและ<br>ฟรีควนซีโดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้<br>ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 1 สายและรับ 1 สาย | 81                   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   |                     |
|---|---------------------|
| รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างภาครับแบบใหม่โดเมนและ<br>ฟรีควอนซีโดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้<br>ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 1 สายและรับ 2 สาย | 82                  |
| รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างภาครับแบบใหม่โดเมนและ<br>ฟรีควอนซีโดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้<br>ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 2 สายและรับ 1 สาย | 83                  |
| รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างภาครับแบบใหม่โดเมนและ<br>ฟรีควอนซีโดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้<br>ที่ใช้อัลกอริทึม   | 84                  |
| รูปที่ 5.9 การ<br>ฟรีควอนซีโด<br>ที่ใช้อัลกอริทึม   | แบบ<br>แก้ได้<br>85 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 รายละเอียดรหัสแผ่ของผู้ใช้แต่ละราย   | 8    |
| ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของพหุนามต่ำสุดสำหรับอีลิเมนต์แต่ละตัวในฟิลด์กาฬ $GF(2^5)$<br>ที่สร้างขึ้นจากพหุนามพรีมิทีฟ $p(x) = x^5 + x^2 + 1$ | 22   |
| ตารางที่ 2.3 รายละเอียดของลำดับซิปที่ได้จากวงจรสร้างรหัสเอ็มซีเควนซ์ โดยกำหนด<br>ค่าตั้งต้นให้รีจิสเตอร์ทุกตัวเท่ากับ 1                   | 23   |
| ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของชุดของชุดรหัสโกลด์  | 24   |
| ตารางที่ 4.1 ผ<br>ย   | 75   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหาในการทำโครงการ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สายนั้น กำลังได้รับความต้องการใช้งานจากผู้ใช้งาน ปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก การพัฒนาเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ในอดีต ที่ซึ่งระบบการสื่อสารไร้สายจะมุ่งเน้นการส่งผ่าน ข้อมูลเสียงหรือข้อความสั้นๆ เพียงอย่างเดียว แต่ปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะพัฒนาระบบการสื่อสาร

เคลื่อนที่ไร้สาย

ให้บริการการ

จะสามารถทำ

ยิ่งขึ้น เพื่อที่จะ

ทรัพยากรควา

การสื่อสารรูป

นำมาใช้ก็คือ

และการสื่อสาร

MIMO)

เนื่อง

หลายตัวในกา

สภาพแวดล้อม

รบกวนที่เกิด

หลายสัญญาณ

อันเนื่องมาจาก

จากการที่ผู้ใช้

รายหนึ่งๆ จะ

ใช้รหัสแอมป์

สหัสสัมพันธ์

อีกอย่างหนึ่ง

สอดจากการ

กำหนดให้



สามารถรองรับการ

ะหลากหลาย โดย

รับส่งข้อมูลที่สูง

ณความเร็วสูงบน

นาเทคโนโลยีใน

วิธีการสื่อสารที่ถูก

MA: MC-CDMA)

Multiple-Output:

ใช้งานสายอากาศ

นอกจากจะมาจาก

แล้ว ยังมีสัญญาณ

หลายสัญญาณเข้า

หลายสัญญาณของ ขงมูกย เทตผวยตผวยญ เนวบทกวนข เทชขงตผวยญ เนววม (Co-Channel Interference:

CCI) อันเนื่องมาจากสัญญาณสายอากาศข้างเคียงและสัญญาณรบกวนจากผู้ใช้งานหลายรายที่เกิดขึ้น

จากการที่ผู้ใช้มีการใช้งานของสายอากาศมากกว่าหนึ่งสายต่อหนึ่งคน ซึ่งสายสัญญาณของผู้ใช้งาน

รายหนึ่งๆ จะใช้รหัสแอมป์เดียวกันในทุกๆ สายทำให้เมื่อสัญญาณมาถึงภาครับและถูกถอดออกจะ

เกิดข้อมูลที่ไม่ใช่ของสายอากาศที่พิจารณาถูกรบกวนสายอากาศที่กำลังพิจารณาอยู่เนื่องจากการเกิดอัต

สหสัมพันธ์ (autocorrelation) ระหว่างข้อมูลที่ส่งออกมาจากแต่ละสายอากาศส่ง และปัญหาที่สำคัญ

อีกอย่างหนึ่งของการสื่อสารระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออกก็คือ ปัญหาสัญญาณแทรก

สอดจากการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Interference: MAI) ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ระบบมีการ

กำหนดให้ผู้ใช้หลายคนเข้าใช้ช่องสัญญาณในช่วงความถี่และเวลาเดียวกัน โดยใช้รหัสแอมป์ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันและอาศัยคุณสมบัติตั้งฉากของรหัสแผ่เหล่านี้ ในการแยกแยะข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนออกจากกัน เมื่อเกิดผลกระทบจากช่องสัญญาณ เช่น การถูกลดทอนโดยเฟดดิ้งจะทำให้ชุดรหัสที่ใช้มีการตั้งฉากกันอย่างไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดค่าสหสัมพันธ์ไขว้ (cross correlation) ระหว่างรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่ไม่เท่ากับศูนย์

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาภาครับสัญญาณ ที่นำเอาวิธีการสื่อสารระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะ และการสื่อสารระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออกมาทำงานร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเดิม โดยสามารถลดสัญญาณรบกวนของระบบเดิมได้มากขึ้น และมีความซับซ้อนในการคำนวณที่ต่ำลง โดยผลการทดลองจะแสดงประสิทธิภาพของระบบซึ่งจะพิจารณา

## 1.2 วัตถุประสงค์

- |   |   |                  |
|---|---|------------------|
| 1. เพื่อศึกษา   |  | ที่จะทำให้อยู่ใน |
| 2. เพื่อศึกษาและ  |   | บหลายคลื่นพาหะ   |
| 3. เพื่อศึกษา   |   | การใช้การสื่อสาร |
| 4. เพื่อศึกษา   |   | เข้าหลายสัญญาณ   |
| 5. เพื่อศึกษา   |   | คลื่นพาหะ และการ |
| MIM   | วนซ้ำ (iterative  |                  |
| ความซับซ้อนในการคำนวณที่ต่ำลง   | ได้มากขึ้น และมี  |                  |
| 5. เพื่อที่จะนำเทคนิคการสื่อสารระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะและการสื่อสารระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออกมาทำงานร่วมกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด |   |                  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาภาครับสัญญาณระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเน้นให้มีความซับซ้อนในการคำนวณที่ต่ำ โดยจะทำการผสมผสานเฉพาะการสื่อสารระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะ และการสื่อสารระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออกเท่านั้น ซึ่งโครงการนี้เป็นการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงการทำงานและประสิทธิภาพของภาครับที่พัฒนา โดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ในการรับส่งข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยจะเปรียบเทียบจากการปรับเปลี่ยนจำนวนสายอากาศทั้งในด้านส่งและด้านรับ และจากการปรับเปลี่ยนจำนวนรอบของการวนซ้ำ ซึ่งจะพิจารณาประสิทธิภาพของระบบได้จากค่าอัตรา

### 1.4 ขั้นตอน

1. ศึกษา  
CDMA  
ทฤษฎี
2. เขียน  
ระบบ  
ผลที่
3. เปรียบ
4. วิเคราะห์  
ซับซ้อน



การสื่อสารระบบ  
สัญญาณออก และ  
พาหะ ที่ใช้ร่วมกับ  
ณเพื่อเปรียบเทียบ  
ของบิตและความ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เทคโนโลยี CDMA (Code Division Multiple Access)

ในระบบสื่อสารโดยทั่วไป ประกอบด้วยสถานีฐาน (base station) ที่ทำหน้าที่ดูแลจัดการ และให้บริการ เพื่อรองรับความต้องการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่ง ที่มีการเคลื่อนที่ อยู่ในในพื้นที่การให้บริการของสถานีฐานดังกล่าว เนื่องจากช่องสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร ระหว่างผู้ใช้บริการคือสเปกตรัมความถี่ (frequency spectrum) ที่มีขนาดจำกัด ทำให้ผู้ใช้

เหล่านี้ต้องมี  
จัดสรรช่องเส  
ช่องสัญญาณ  
หลายทางสำห

- FDM
- TDM
- CDMA

เทคนิค  
เพื่อให้ผู้ใช้บริ  
ประสิทธิภาพ  
เดียวกันโดยใ  
ระหว่างกัน ไ



สูงสุด ปัญหาการ  
ไปว่า การเข้าใช้  
เข้าใช้ช่องสัญญาณ

ักเหมือนกัน คือ  
ร่วมกันได้อย่างมี  
ระหว่างกันในเวลา  
ให้เกิดการรบกวน

FDM

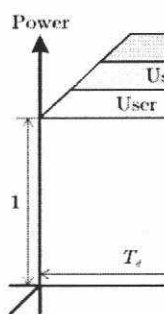
ปกตรัมความถี่ของ

ระบบถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณความถี่ที่มีขนาดช่วงความถี่กว้างเท่ากัน และผู้ใช้แต่ละรายจะ ได้รับการจัดสรรช่องความถี่แยกจากกันโดยเด็ดขาด ดังนั้นผู้ใช้เหล่านี้สามารถใช้ประโยชน์จาก ช่องสัญญาณความถี่ที่ได้รับตลอดเวลาโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รายอื่น เมื่อใดที่ผู้ใช้บริการเสร็จสิ้นการใช้บริการ ช่องความถี่ดังกล่าวก็สามารถนำมาจัดสรรให้กับผู้ใช้รายอื่นที่ต้องการใช้งานได้

TDMA เป็นเทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งเวลา ผู้ใช้หลายรายสามารถ เข้าใช้สเปกตรัมความถี่ร่วมกันได้ แต่จะเข้าใช้งานคนละช่วงเวลาสลับกัน คือ เวลาของการใช้งาน ถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาที่มีขนาดความถี่กว้างเท่ากัน หรือที่เรียกว่า Timeslot ผู้ใช้แต่ละรายจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเวลาแยกจากกัน โดยผู้ใช้จะเข้าใช้ช่องสัญญาณเฉพาะในช่วงเวลาที่ได้รับ

การจัดสรรเท่านั้น ดังนั้นในเวลาใดเวลาหนึ่งจะมีผู้ใช้เพียงรายเดียวเท่านั้นที่ใช้งานสเปกตรัมความถี่ของระบบ ผู้ใช้แต่ละรายจะใช้งานเป็นช่วงเวลาสั้นๆ และจะสลับเปลี่ยนกันไปเป็นรอบๆ

CDMA เป็นเทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัส แยกต่าง FDMA และ TDMA อย่างชัดเจน เพราะอนุญาตให้ผู้ใช้หลายรายสามารถเข้าใช้สเปกตรัมความถี่ของระบบพร้อมกันและในเวลาเดียวกันได้ วิธีการแบ่งแยกข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายสามารถทำได้โดยผู้ใช้จะใช้ชุดรหัสที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เทคนิคที่ใช้ในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมีชื่อเรียกว่า การมอดูเลตแบบสเปกตรัม (spread spectrum)



FDI

รูปที่:

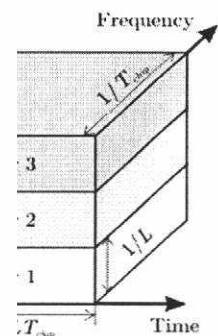
ในกา

แผ่ (spreadin)

จัดแบ่งออกเป็น

โดยไม่มีการร

ช่วงเวลาสั้นๆ ในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสลับกันไป ในกรณีของระบบ CDMA มีแนวคิดที่ต่างกันไป คือ ระบบจะไม่มีการแบ่งแยกออกเป็นห้องย่อย และไม่มีการสลับหรือแบ่งเวลากัน แต่จะให้ผู้ใช้งานจำนวนมากเข้ามาอยู่ภายในห้องที่มีขนาดใหญ่เดียวกันทั้งหมด การสนทนาเกิดขึ้นพร้อมๆกันภายในห้องเดียวกันย่อมจะมีการรบกวนกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่คู่สนทนาแต่ละคู่เลือกใช้ภาษาที่แตกต่างกัน ซึ่งเปรียบเสมือนกับหลักการทำงานของระบบ CDMA นั่นคือการสื่อสารแต่ละคู่จะเลือกใช้ชุดรหัสที่แตกต่างกัน และคู่สนทนาคู่หนึ่งจะสื่อสารกันได้ก็ต่อเมื่อทั้งสองใช้ชุดรหัสเดียวกัน



DMA

ะ CDMA

เฉพาะของชุดรหัส

กักบริเวณหนึ่งมา

การสนทนาหนึ่งคู่

และคู่ที่ได้รับจัดสรร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 คุณสมบัติและข้อดีของระบบ CDMA

ระบบ CDMA มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ต่างไปจากระบบ TDMA หรือ FDMA โดยสามารถสรุปแยกออกเป็นข้อย่อได้ดังนี้

- โดยธรรมชาติในระหว่างการสนทนาของมนุษย์นั้นจะมีเพียงประมาณ 35% ของเวลาทั้งหมดเท่านั้น ที่มีการกำเนิดสัญญาณเสียงพูด เนื่องจากคู่สนทนาแต่ละฝั่งจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยครึ่งหนึ่งในการฟังอีกฝ่ายพูด อีกทั้งบางช่วงเวลาที่ผู้พูดจะมีการเว้นช่วงการพูดหรือหยุดหายใจ การที่ผู้ใช้ไม่ได้พูดตลอดเวลาต่อเนื่องส่งผลให้ปริมาณสัญญาณรบกวนระหว่างกันของผู้ใช้ ณ เวลานั้นๆ ก็ลดลงด้วย ซึ่งโดยหลักการแล้วอาจจะลดลงได้ถึง 65% นั้นหมาย

- ในกร  
แบบ  
(hard  
ของผู้  
สำหรับ  
ดังนี้  
ซอฟต์แวร์  
ระบบ  
งานข  
ในระ  
ช่องรั



ากขนาดสเปกตรัม  
มีความจุแบบฮาร์ด  
การร้องขอใช้งาน  
ทั้งหมดแล้ว แต่  
ference limited)  
ามหมายของคำว่า  
ดปริมาณสัญญาณ  
แต่ละครั้งส่งผลให้  
ให้คุณภาพการใช้

กๆ ภายใต้สภาพ  
MA และ TDMA

จะได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากปัญหาการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Intersymbol Interference: ISI) สืบเนื่องจากดีเลย์สเปรด (delay spread) ที่เกิดขึ้น ดังนั้น จำเป็นที่ภาครับสัญญาณต้องอาศัยวงจรอีควอไลเซอร์ (equalizer) ที่มีความซับซ้อนสูง ในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ในทางกลับกันวงจรภาครับของระบบ CDMA ไม่มีความจำเป็นต้องใช้วงจรอีควอไลเซอร์สำหรับการปรับแก้รูปสัญญาณ เพราะการทำสเปรดสเปกตรัมกับสัญญาณกลับช่วยทำให้วงจรภาครับสามารถแยกแยะคลื่นสัญญาณแต่ละวิถีได้ดีขึ้น ทั้งยังสามารถนำมารวมกันโดยใช้วงจรเครื่องรับแบบ Rake (Rake receiver) เพื่อให้ได้เป็นสัญญาณที่มีคุณภาพมากขึ้นได้อีกด้วย ความสามารถในการนำสัญญาณจากแต่ละวิถีมาผนวกกันนั้น ถือว่าเป็นการเพิ่มไคเวอร์ซิตีของระบบ นอกจากนี้ อุปกรณ์หลักของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยวงจรคอร์รีเลเตอร์ (correlator) ซึ่งทำหน้าที่ในการดีสเปรดสัญญาณกลับมา ซึ่งในทางปฏิบัติวงจรคอร์รีเลเตอร์นั้นจัดว่ามีความซับซ้อนน้อยกว่าวงจรรีควอไลเซอร์

- ในระบบ FDMA และ TDMA มีการแบ่งเซลล์ออกเป็นเซกเตอร์ย่อยเพื่อลดปริมาณของสัญญาณแทรกสอดของสัญญาณร่วม ทำให้สัญญาณที่ได้รับมีคุณภาพดีขึ้น และระบบสามารถนำความถี่ชุดเดิมมาใช้ซ้ำได้มากขึ้น ผลที่ได้คือในแต่ละเซลล์ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์ในเชิงกราฟฟิกกลับพบว่าการแบ่งเซกเตอร์ส่งผลเชิงลบต่อประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณ นั่นคือ โดยรวมระบบจะมีความจุลดลง และจะยิ่งลดลงเมื่อมีการแบ่งเซกเตอร์จำนวนมากขึ้น ฉะนั้นผลของการแบ่งเซกเตอร์

ในระ

ในระ

เพิ่มขึ้

ตามไ

ผลซ้ำ

ของร

ผู้ใช้

- ระบบ

ง่ายแ

- เนื่อง

(hand

หนึ่ง

hand

ความถี่ของคลื่นพาหะ

- ในระบบ TDMA มีความจำเป็นที่จะต้องเว้นช่องว่างที่เรียกว่า ช่วงเวลาป้องกัน (guard time) ไว้ขนาดหนึ่งเพื่อป้องกันมิให้ข้อมูลที่อยู่นัดละทม์สล็อตเกิดการทับกัน ส่วนระบบ CDMA นั้นไม่มีความจำเป็นที่ต้องมีช่วงเวลาป้องกันเลยเพราะฉะนั้นช่วงเวลาตรงนี้สามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการส่งข้อมูลให้สูงขึ้นได้



การแบ่งเซกเตอร์

ให้ระบบได้ความจุ

บมีความจุมากขึ้น

โดยไม่ก่อให้เกิด

ถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด

และรองรับจำนวน

ๆหนึ่ง ดังนั้น จึง

ได้ด้วย

งมีการแฮนด์ออฟ

เคลื่อนที่จากเซลล์

บบซอฟต์ (soft

จำเป็นต้องเปลี่ยน

## 2.2 พื้นฐานระบบ CDMA

ในการอธิบายถึงกรรมวิธีการทำสเปกตรัมสำหรับระบบสื่อสาร CDMA จะมีตัวอย่างง่ายๆ เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบที่มีผู้ใช้จำนวน 3 ราย ผู้ใช้แต่ละรายจะได้รับการจัดสรรชุดรหัสแอมป์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ในการส่งบิตข้อมูลลงบนช่องสัญญาณ ผู้ใช้แต่ละรายจะนำรหัสแอมป์ของตนไปคูณกับบิตข้อมูลที่จะส่ง และผลที่ได้จะเป็นรูปสัญญาณที่มีอัตราชิป (chip rate) ที่สูงขึ้นกว่าอัตราบิตข้อมูล (bit rate) ของผู้ใช้ ทำให้ระบบต้องใช้สเปกตรัมแบนด์วิดท์ในการส่งที่กว้างขึ้น ดังนั้น จึงกล่าววาระบบได้มีการทำสเปกตรัมเกิดขึ้น สำหรับตัวอย่างนี้อัตราชิปมีค่าสูงกว่าอัตราบิต 4 เท่า โดยอัตราส่วนนี้มีชื่อเรียกว่า อัตราขยายการประมวล (processing g:

ตารางที่ 2.1 ร

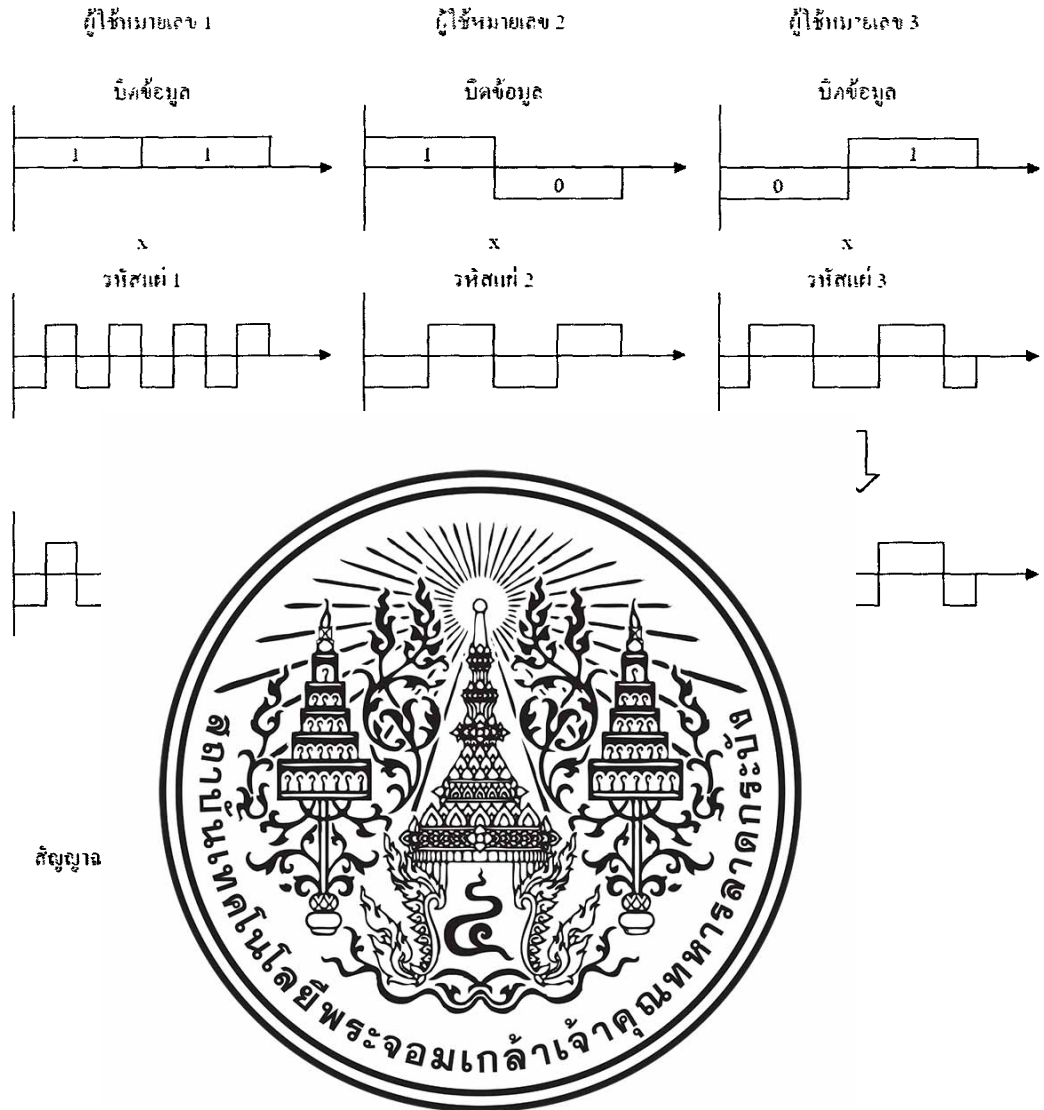


ในที่นี้สมมติใ  
การสเปกตรัม  
ด้วยแรงดันเบ  
หรือแอมป์แล้วที่  
ภาครับจะได้รั

ซึ่งกันและกันอยู่และอยากต่อการแยกแยะออกมา ดังรูปที่ 2.2



ดับสัญญาณที่ผ่าน  
ค่าเป็น 1 จะแทน  
ามที่ทำการสเปก  
หมายความว่ที่  
ูมเหล่านี้รบกวน

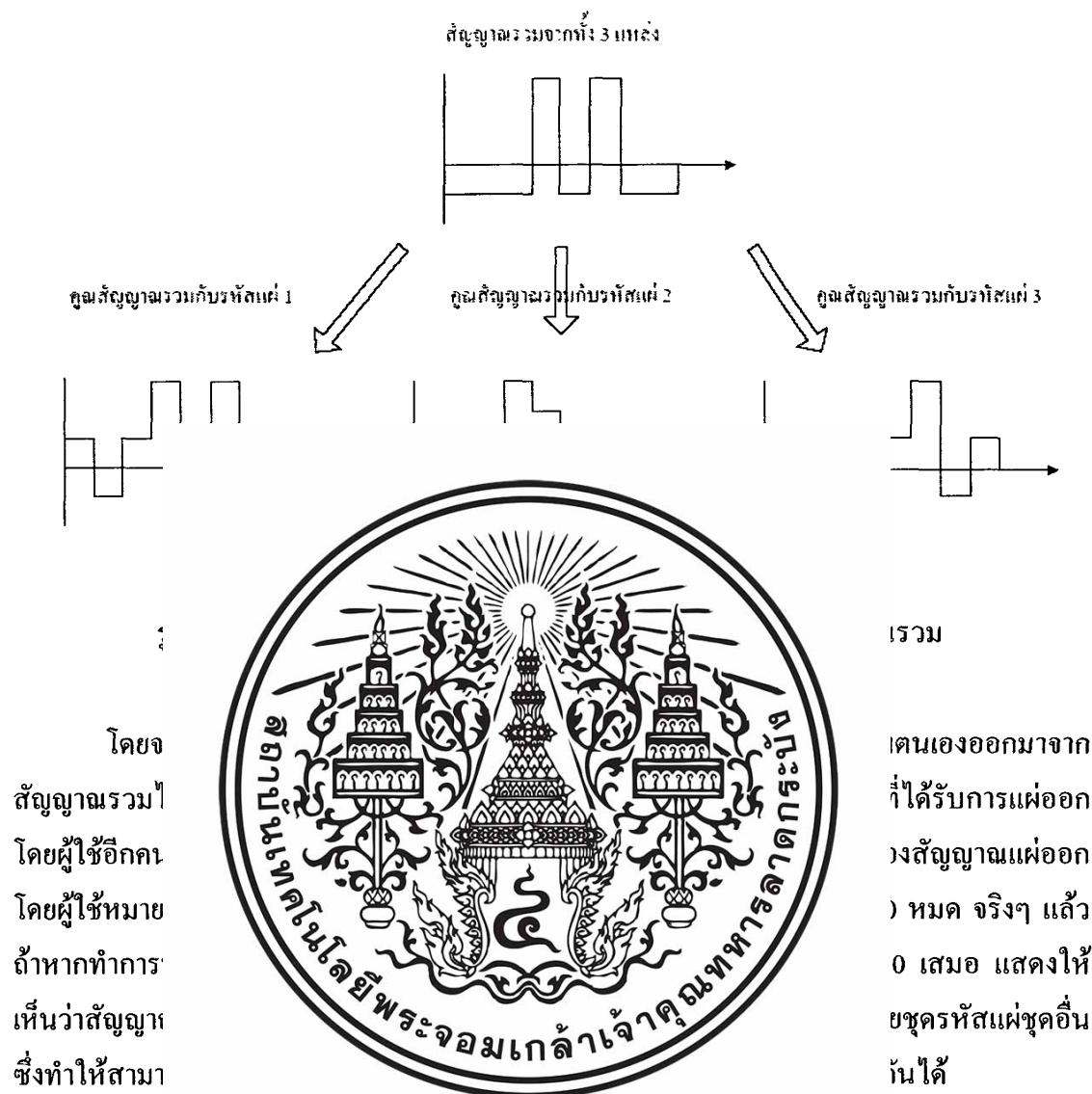


สำหรับ

สามารถทำได้โดยการ

ให้ผู้ใช้แต่ละคนนำชุดรหัสแอมป์ของตนเองไปคูณกับสัญญาณที่ได้รับ ดังรูปที่ 2.3 จากนั้นทำการบวกผลคูณเหล่านั้นทีละ 4 ชิปหรือเท่ากับความยาวของ 1 บิตข้อมูลนั่นเอง ค่าที่คำนวณได้เหล่านี้จะนำไปใช้ในการตัดสินใจต่อไป เช่นถ้าเข้ารหัสของผู้ใช้หมายเลข 1 ไปคูณกับสัญญาณรวม จะได้ผลรวมของผลคูณออกมาเป็น 4 สำหรับข้อมูลทั้งสองบิต ในขณะที่ถ้าผู้ใช้หมายเลข 2 ทำในลักษณะเดียวกันจะได้ผลออกมาเป็น 4, -4 ในขั้นตอนการตัดสินใจบิตคือ ถ้าผลลัพธ์ที่ออกมาเป็น 4 แสดงว่าบิตข้อมูลที่ส่งออกมามีค่าเป็น 1 และถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเป็น -4 แสดงว่าบิตข้อมูลนั้นมีค่าเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.3 วงจรภาคส่งสัญญาณ CDMA

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างของวงจรภาคส่งสัญญาณ CDMA ของระบบที่ใช้การมอดูเลตแบบ BPSK (Binary Phase Shift Keying) รูปที่ 2.4 แสดงรายละเอียดโครงสร้างของเครื่องส่งสัญญาณ CDMA ของผู้รับรายหนึ่งในรูปภาพประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ วงจรคูณสัญญาณข้อมูลไบนารีกับรหัสแผ่ และวงจรมอดูเลตเตอร์แบบ BPSK สัญญาณขาเข้า  $d(t)$  ซึ่งมีอัตราของบิตข้อมูลที่ต่ำโดยให้สัญญาณนี้มีคาบเวลาที่  $T$  ถูกนำไปคูณกับรหัสแผ่  $c(t)$  ที่มีคาบเวลาของหนึ่งชิปเท่ากับ  $T_c$  ซึ่งสั้นกว่า  $T$  มาก ขั้นตอนนี้เรียกว่าการสเปรดสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลจากเดิมที่มีอัตราของบิตข้อมูลที่ต่ำ ซึ่งใช้แบนด์วิธของช่องสัญญาณขนาดเล็กในการส่งมาเป็นข้อมูลที่มีอัตราชิปที่สูงขึ้นกว่าเดิมมาก ซึ่งหมายถึงว่าต้องใช้แบนด์วิธของช่องสัญญาณในการส่งที่ใหญ่ขึ้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.4 วงจรภาครับสัญญาณ CDMA

รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบของภาครับระบบไครเรตส์ซีแควนซ์ (direct sequence) ที่ใช้ในการมอดูเลตแบบ BPSK วงจรนี้ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูล  $d(t)$  ออกมาจากสัญญาณ RF ที่รับได้ ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณนี้จะมีการประวิงเวลาเนื่องจากการแพร่ของสัญญาณ (propagation delay) ดังนั้น สัญญาณที่รับได้สามารถเขียนในรูป

$$s(t-\tau) = d(t-\tau)c(t-\tau)A\sin(2\pi f_c(t-\tau)) \quad (2.1)$$

โดย  $\tau$  คือค่า  
สัญญาณ  $s(t)$   
ต้องสามารถปล  
สัญญาณทั้งส



แต่ว่าวงจรภาค  
รับได้จากการคูณของ

(2.2)

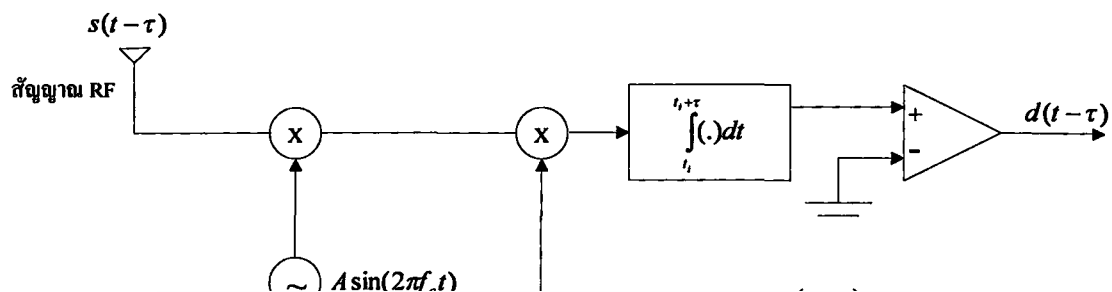
ทั้งนี้เพราะ  $c$   
ขั้นตอนนี้เป็น  
คีมอดูเลเตอร์  
ส่วนหลักคือ  
ได้ดังนี้

สัญญาณไปเข้าวงจร  
รับประกอบด้วย 2  
แล้วสามารถแสดง

$$d(t-\tau)A\sin(2\pi f_c(t-\tau))\sin(2\pi f_c(t-\tau)) = d(t-\tau)A\{1 - \cos(4\pi f_c(t-\tau))\}/2 \quad (2.3)$$

เมื่อนำสัญญาณเข้าวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ทำการอินทิเกรตใหม่ทุก ๆ คาบเวลา  $T$  ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีช่วงเวลายาวกว่าคาบเวลา  $T_c$  มาก ดังนั้นสัญญาณ  $\sin(4\pi f_c(t-\tau))$  เมื่อถูกอินทิเกรตแล้วก็จะมีค่าใกล้ศูนย์มาก เพราะฉะนั้นสัญญาณที่เหลือจากวงจรอินทิเกรตจึงมีเพียงสัญญาณ  $d(t-\tau)$  ซึ่งเมื่อนำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบแล้วก็จะได้ข้อมูลเดิมที่มีค่าเป็น 0 และ 1 กลับคืนมา หมายเหตุ: ขั้นตอนการคูณรหัสแผล่กับส่วนของวงจรคีมอดูเลเตอร์สามารถนำมาสลับกันได้ โดยที่ยังคงได้ผลลัพธ์

เหมือนกัน จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าถ้าหากภาครับไม่รู้รูปร่างรหัสแฝงที่ใช้ที่ภาคส่งก็จะไม่สามารถแยกสัญญาณข้อมูลออกมา

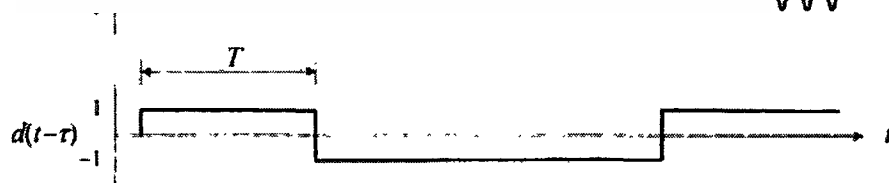


รูปที่



บ BPSK

$c(t-\tau)$



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างของสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรภาครับของระบบโคเรตซ์ซีเควนซ์ที่ใช้ BPSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 รหัสแผ่ (spreading code)

รหัสแผ่หรือรหัสนั้นเป็นรหัสที่ใช้ในระบบ CDMA เพื่อคูณกับสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้แต่ละราย เพื่อให้ผู้ใช้จำนวนมากสามารถเข้าถึงทรัพยากรช่องสัญญาณความถี่วิทยุอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และให้เกิดการแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ให้น้อยที่สุด นั่นหมายถึงรหัสแผ่ของผู้ใช้แต่ละรายจะต้องมีคุณสมบัติตั้งฉากกัน (orthogonal) อย่างสมบูรณ์ หรือมีค่าสหสัมพันธ์ไขว้ (cross correlation) ระหว่างรหัส เป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม รหัสที่มีคุณสมบัติดังกล่าวออกแบบได้ยาก อีกทั้งจำนวนชุดรหัสนี้มีขนาดจำกัด จึงทำให้หาจตั้งฉากกันอย่างไม่สมบูรณ์ รหัสแผ่ที่ใช้ในระบบ DS-SS-SSMA มีหลักๆ อยู่สองประเภทคือ

### 2.5.1

เป็นรหัสเป็นศูนย์คุณสมบัติทางคือการใช้รหัสค่าสหสัมพันธ์



หสัมพันธ์ระหว่างมี รหัสชนิดนี้มีพันธ์เป็นศูนย์ นั่นรหัสที่ถูกต้องจะได้

ตัวอย่าง

รหัส

ลำดับ

ลำดับ

ลำดับ

ลำดับ

รหัส

จะทำการเอ็กซ์คลูซีฟอออร์ (Exclusive-OR: XOR)

0 0 0 0

0 1 0 1

XOR กันได้ 0 1 0 1

รหัสตรงกันสหสัมพันธ์เป็น 1

0 1 0 1

0 1 0 1

XOR กันได้ 0 0 0 0

โดยตัวอย่างของรหัสชนิดนี้ ได้แก่ รหัส Walsh (Walsh code) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1.1 รหัส Walsh

รหัส Walsh มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า รหัส Hadamard (Hadamard code) ระบบ IS-95A จะใช้รหัส Walsh ที่มีความยาว 64 บิตเป็นรหัสในแต่ละชุด โดยจะมีทั้งหมด 64 ชุด ซึ่งเป็นรหัสที่มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างกัน ซึ่งสามารถสร้างขึ้นโดยวิธี เมตริกซ์ฟังก์ชัน Walsh 64x64 (Walsh Function Matrix 64x64) รหัสประเภทนี้ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับสเปคช่องสัญญาณที่มีอัตราการส่ง 1.228 Mbps การคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ข้ามสามารถหาได้จาก  $x, y = 0$  โดย  $x$ , และ  $y$ , คือค่าของบิตที่  $i$  ของรหัสชุดแรกและชุดที่สองในรูปของไบโพลาร์ (bipolar) นั่นคือว่า  $x, y = -1$  ถ้าบิตที่  $i$  นั้นมีค่าเป็นศูนย์ และ  $x, y = 1$  ถ้าบิตที่  $i$  นั้นมีค่าเป็นหนึ่ง ดังสมการเมตริกซ์

(2.4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

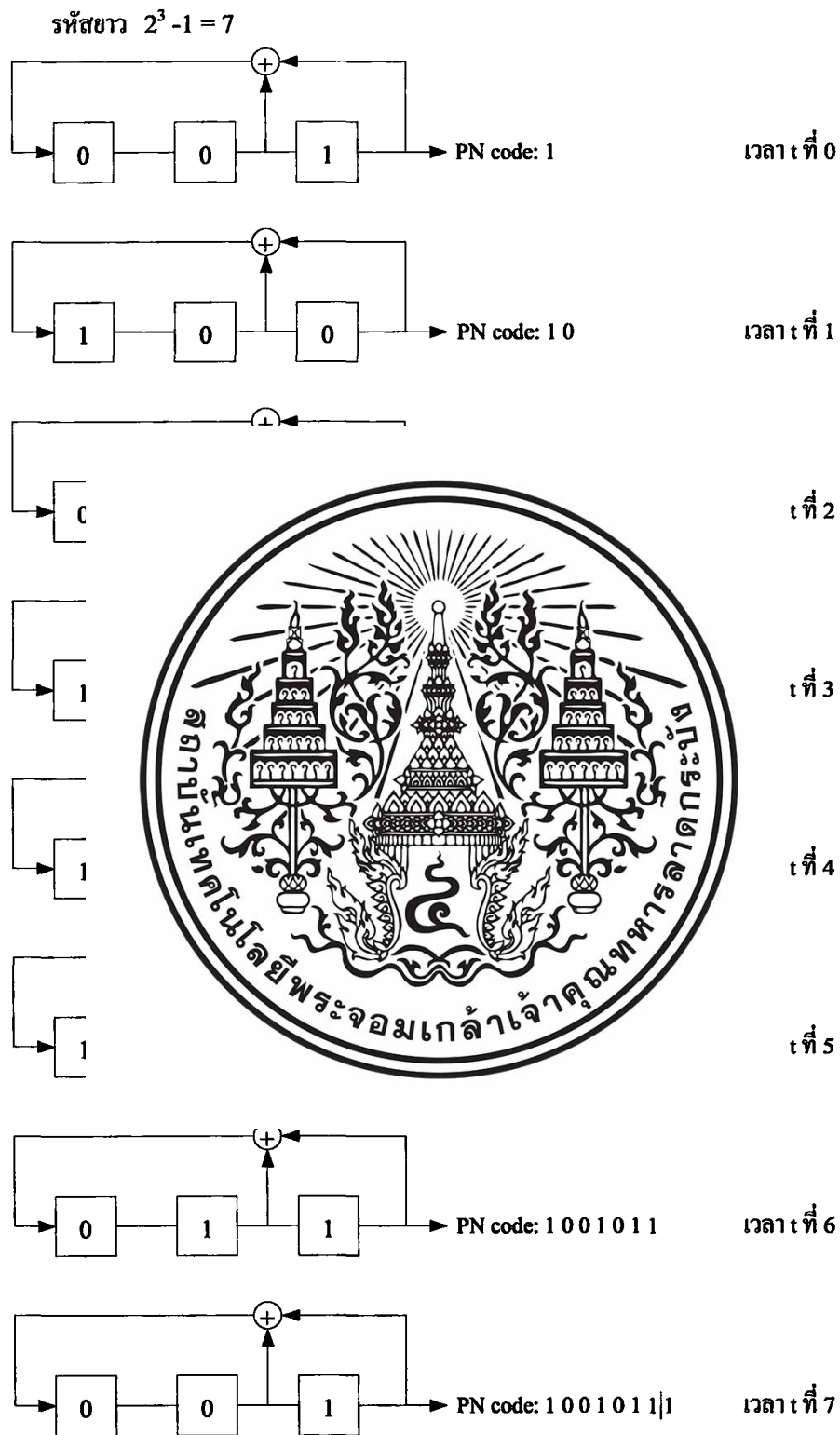
### 2.5.2 รหัส PN (Pseudorandom noise code)

เป็นรหัสไบนารีที่มีค่าสหสัมพันธ์ไขว้ระหว่างรหัสไม่เท่ากับศูนย์ แต่มีค่าต่ำมากทั้งในกรณีมีการเลื่อนรหัส และไม่มีการเลื่อนรหัส โดยสามารถสร้างรหัส PN ขึ้นได้จากการอาศัยชิฟต์รีจิสเตอร์ (shift register) และเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต (XOR gate) ซึ่งรหัสที่ได้มีความยาวเท่ากับ  $2^N - 1$  ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



$$\begin{aligned}
 \text{อัตราสหสัมพันธ์} &= \frac{\text{จำนวนบิตที่เหมือนกัน} - \text{จำนวนบิตที่ต่างกัน}}{\text{จำนวนบิตทั้งหมด}} \\
 &= \frac{3-4}{7} \\
 &= \frac{-1}{7}
 \end{aligned}$$

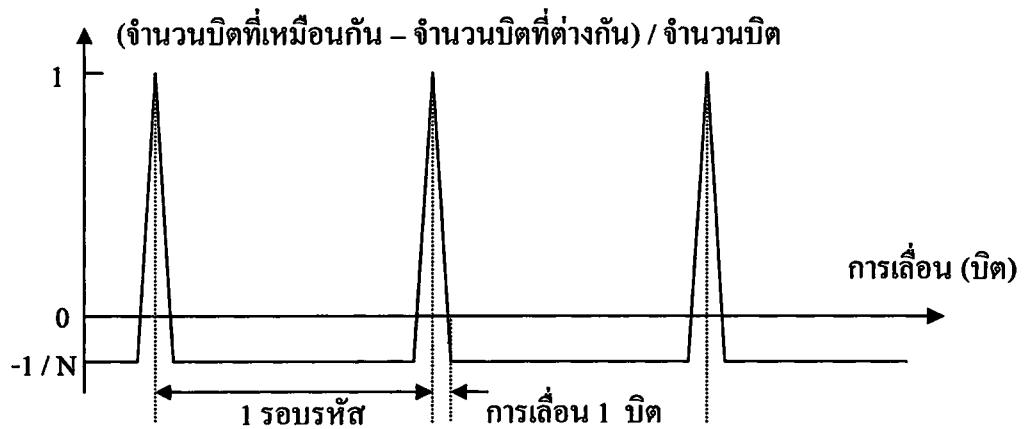
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ได้เป็นรหัส 1001011 1001011...

รูปที่ 2.9 การสร้างรหัส PN จากวงจรที่มีฟลิปฟล็อป 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป

ต่างๆ

ตัวอย่างของรหัส  
คาสามิ (Kasai

id code) และรหัส

(random) โดย  
ในการสร้างลึ  
ตัวมาต่อกัน แ



ซึ่งเป็นแบบแรมคอม  
เป็นพื้นฐานที่ใช้  
นำรีจิสเตอร์หลาย  
แสดงดังรูป 2.11



ial-length  
sequence

รูปที่ 2.11 ชิฟตรีจิสเตอร์สร้างรหัสข้อมูล M-Length

รหัส m-sequence สามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวสูงสุดได้คือ มีความยาวเท่ากับ  $P=2^r - 1$  ชิฟ เมื่อ  $r$  คือจำนวนของชิฟตรีจิสเตอร์ที่ใช้ ชุดรหัสทุกชุดที่สร้างขึ้น จะมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมือนกันดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติข้อที่ 1

รหัสหรือลำดับสัญญาณที่ได้ จะมีชิปที่มีค่าเป็นหนึ่งในจำนวนมากกว่าชิปที่มีค่าเป็นศูนย์อยู่หนึ่งชิปเสมอ เช่น ชุดรหัสที่ใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์จำนวน 10 ตัว ให้ลำดับสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ  $P=2^{10}-1=1023$  ชิป จะประกอบด้วยชิปที่มีค่าเป็นศูนย์จำนวน 511 ชิป และชิปที่มีค่าเป็นหนึ่งในจำนวน 512 ชิป

### คุณสมบัติข้อที่ 2

ภายในลำดับสัญญาณแต่ละชุดจะมีช่วงของชิปที่มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งต่อเนื่องกันจำนวนหนึ่ง ส่วนที่ต่อเนื่องกันนี้จะเรียกว่า รัน (run) โดยความยาวของแต่ละรันจะมีขนาดที่แตกต่างกันไป สำหรับ

$P$  ชิป เกิดขึ้น  
จำนวนของชิป  
จำนวน 1 รัน!

ของชุดรหัสที่  
เลื่อนชุดรหัส  
ชุดรหัสทั้งสอง

เลื่อนชิปไป  
จำนวนที่แตกต่าง



นย์และหนึ่งขนาด  
เิง  $r-2$  เมื่อ  $r$  คือ  
งศูนย์ขนาด  $r-1$

อ หากมีการเลื่อน  
ไป แต่ถ้าหากการ  
ระยะเลื่อน ไปของ  
กอบ

ให้ชุดเดิมที่มีการ  
อนของชิปไปด้วย

### คุณสมบัติข้อที่ 5

หากพิจารณาค่าของชิฟต์รีจิสเตอร์แต่ละตัว ณ จังหวะเวลาใดเวลาหนึ่ง จะพบว่าค่าหรือสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีรูปแบบที่แตกต่างไปจากที่จังหวะเวลาอื่นๆ ทั้งหมดเมื่อพิจารณาภายในช่วงเวลาหนึ่งคาบของลำดับสัญญาณ นั่นคือ รูปแบบสถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์เหล่านี้จะไม่มีเกิดการเกิดซ้ำภายใน 1 คาบสัญญาณ อีกทั้งจะไม่เกิดกรณีที่สถานะของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์หมด เพราะในสถานะดังกล่าววงจรชิฟต์รีจิสเตอร์จะไม่สามารถสร้างลำดับสัญญาณขึ้นได้ ดังนั้น ในการสร้างลำดับสัญญาณนั้นจะต้องแน่ใจว่าค่าตั้งต้นของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าที่ไม่เป็นศูนย์พร้อมกันหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.2 รหัสโกลด์

รหัสโกลด์เป็นรหัสที่พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยสร้างจากวงจรถ่ายกลับรหัส  $m$ -sequence 2 ชุดที่มีความยาวเท่ากันแต่สร้างขึ้นจากพหุนามตัวกำเนิดที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างรหัสโกลด์ประกอบขึ้นจากการนำลำดับชิปของรหัส  $m$ -sequence ที่กำเนิดจากพหุนาม  $f_1(x)$  และ  $f_2(x)$  มาบวกกันแบบมอดุโล 2 ทีละชิป และผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ ลำดับชิปของรหัสโกลด์ตามต้องการ

$f_1(x)$



หากเปรียบเทียบ  
sequence จะไ

กันได้ทั้งหมด.  $m$  และ  $n$  จะสอดคล้องกัน  $m = n$  จะสอดคล้องกัน  $m$  และ  $n$  จะสอดคล้องกัน ได้เท่ากับ 48 ชุด ส่วนกรณีของรหัสโกลด์เมื่อใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์ ทั้งหมด  $r$  ตัวในแต่ละบล็อก จะสามารถให้ลำดับชิปที่มีความยาวเท่ากับ  $P = 2^r - 1$  เท่ากับกรณีของรหัส  $m$ -sequence แต่จะมีชุดรหัสโกลด์ที่แตกต่างกันได้มากถึง  $2^r + 1$  ชุด เช่น สำหรับ  $r = 9$  จะมีรหัสโกลด์อยู่จำนวน 513 ชุด ซึ่งมากกว่ากรณีของรหัส  $m$ -sequence มาก นอกจากนี้ถ้านำลำดับชิปที่ได้จากรหัสโกลด์คู่ใดคู่หนึ่งมาพิจารณาในเชิงสหสัมพันธ์ไขว้พบว่า จะสามารถทราบค่าขอบเขตสูงสุดได้

่างๆ ได้มากมาย  
ใน กรณีรหัส  $m$ -  
quence ที่แตกต่าง

ทฤษฎีบท ให้  $p(x)$  เป็นพหุนามพริมีทีฟดีกรี  $r$  ใช้สำหรับการสร้างฟิลด์กาลัว (Galois field) ขนาด  $GF(2^r) = \{0, 1, \alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2^r-2}\}$  โดย  $\alpha$  เป็นรากของพหุนามต่ำสุด (minimal polynomial)  $\phi_1(x)$  ซึ่งตามทฤษฎีของฟิลด์กาลัวมีค่าเท่ากับพหุนามพริมีทีฟ  $p(x)$  ให้  $\phi_1(x)$  เป็นพหุนามต่ำสุดของสมาชิก  $\alpha' \in GF(2^r)$  โดยที่

$$t(r) = \begin{cases} 2^{(r+1)/2} + 1, & r \text{ จำนวนคี่} \\ 2^{(r+2)/2} + 1, & r \text{ จำนวนคู่และ } r \neq 0 \pmod{4} \end{cases} \quad (2.5)$$

แล้ว จะได้ว่าถ้าใช้พหุนามต่ำสุด  $\phi_1(x)$  ร่วมกับ  $\phi_2(x)$  ในการให้กำเนิดรหัสโกลด์ สหสัมพันธ์ไขว้ระหว่างชุดรหัส



(2.6)

ทฤษฎีบทนี้เกิด  
สหสัมพันธ์ไขว้  
นามคู่นี้ว่าพหุ  
รหัสโกลด์ทั้ง  
ป้อนกลับที่มี  
 $a(D)$  และ  
 $a(D) + D^{-1}l$

นทฤษฎีบทแล้วค่า  
นี้ และเรียกพหุ  
เรณนามาสร้างชุด  
พีดีรียิสเตอร์แบบ  
ญาณที่ได้แทนด้วย  
รนำความสัมพันธ์

**ตัวอย่าง** แสดงวิธีการสร้างรหัสโกลด์โดยใช้พหุนามพริมีทีฟ  $p(x) = x^5 + x^2 + 1$

### วิธีทำ

ขั้นแรกจะขอให้รายละเอียดของพหุนามต่ำสุดสำหรับอีลิเมนต์แต่ละตัวในฟิลด์กาลัว  $GF(2^5)$  ที่สร้างขึ้นจากพหุนามพริมีทีฟ  $p(x) = x^5 + x^2 + 1$  โดยได้แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของพหุนามต่ำสุดสำหรับอีลิเมนต์แต่ละตัวในฟิลด์กาลัว  $GF(2^5)$  ที่สร้างขึ้นจากพหุนามพริมีทีฟ  $p(x) = x^5 + x^2 + 1$

| อีลิเมนต์ที่เป็นราก<br>(conjugate roots)                        | พหุนามต่ำสุด<br>(minimal polynomial) |
|---|--------------------------------------|
| 0   | $x$                                  |
| 1   | $x+1$                                |
| $\{\alpha, \alpha^2, \alpha^4, \alpha^8, \alpha^{16}\}$         | $x^5 + x^2 + 1$                      |
| $\{\alpha^3, \alpha^6, \alpha^{12}, \alpha^{17}, \alpha^{24}\}$ | $x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$          |
|   | 1                                    |
|   | 1                                    |
|   | 1                                    |
|   |                                      |

ในลำดับที่สอง

ะนั้น

จากตารางที่  
เพราะฉะนั้น

$$x^4 + x^2 + x + 1$$



$$f_2(x) = \phi_1(x) = x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

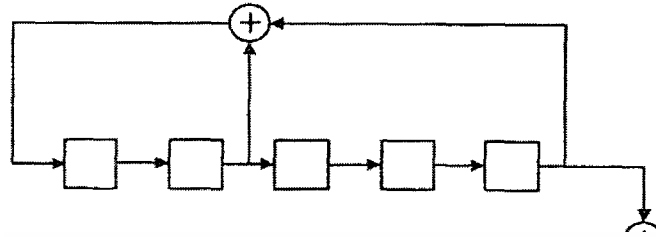
เมื่อนำพหุนามคู่นี้มาเขียนเป็นโครงสร้างของวงจรถรสร้างรหัสโกลด์จะมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.13 อาศัยความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.6) จะได้ว่าสหสัมพันธ์ไขว้ระหว่างชุดรหัสจะมีค่าไม่เกิน

$$|R_{i,j}(k)| \leq 9$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการสร้างลำดับซิปขึ้นจริงโดยตั้งค่าเริ่มต้นของชิฟต์รีจิสเตอร์ทุกตัวให้เป็น 1 ทั้งหมดจะได้ว่าลำดับซิปที่ออกจากวงจรสร้างรหัสเอ็มซีแควนซ์มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2.3

$$f_1(x) = x^5 + x^2 + 1$$



รหัสโกลด์



อย่าง

กำหนดค่าตั้งต้นให้

ตารางที่ 2.3 ร  
ี


|         |
|---------|
| รหัส m- |
| รหัส m- |

|        |
|--------|
| 011000 |
| 100010 |

จากลำดับซิป  $a(D)$  และ  $b(D)$  ที่หาได้ตามตารางที่ 2.3 จะสามารถสร้างเซตของชุดรหัสโกลด์ทั้งหมด  $2^5 + 1 = 33$  รูปแบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของชุดรหัสโกลด์

| รหัสโกลด์ | รูปแบบ  | ลำดับชิป  |
|-----------|---|---|
| $S_1$     | $a(D)$  | 11111 00110 10010 00010 10111 011000  |
| $S_2$     | $b(D)$  | 11111 01100 11100 00110 10100 100010  |
| $S_3$     | $a(D) + b(D)$   | 00000 01010 01110 00100 00011 111010  |
| $S_4$     | $a(D) + D^1b(D)$  | 11111 00110 10010 00010 10111 011000<br>+<br>01111 10110 01110 00011 01010 010001 |
| $S_5$     |  | 11101   |
| $\vdots$  |   | 011000  |
| $S_2$     |   | 001000  |
|           |   | 010000  |
|           |   | 011000  |
|           |   | 000101  |
|           |   | =   |
|           |   | 00001 11111 01010 01111 11110 01101   |

หมายเหตุเพิ่มเติมถึงคุณสมบัติของรหัสโกลด์ สหสัมพันธ์ไขว้ของรหัสโกลด์จะมีค่าจำกัดอยู่เฉพาะเพียง 3 ค่าเท่านั้น คือ  $\{-t(r), -1$  และ  $t(r) - 1\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.3 รหัส PN แบบยาว (long PN code)

รหัส PN แบบยาว สร้างจากชิฟต์รีจิสเตอร์ขนาด 42 บิต โดยต่อเชื่อมกันให้มีโครงสร้างเป็นชิฟต์รีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้นแบบความยาวสูงสุด (maximum length LFSRs (Linear Feedback Shift Registers)) และใช้โพลีโนเมียลต่อไปนี้

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

เท่ากับ 1.2288

ขนาด 15 บิต  
สูงสุด และใช้

เข้าไปเมื่อพบ:  
อัตราการสร้าง



รสร้างรหัสนี้มีค่า

จากชิฟต์รีจิสเตอร์  
เส้นแบบความยาว

บิต 0 อีกหนึ่งบิต  
32,768 เนื่องจาก  
7 ms

## 2.6 การทำสเปกตรัม

การพัฒนา ระบบสเปกตรัมเกิดขึ้นในช่วงกลางของทศวรรษปี ค.ศ. 1950 โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อนำมาใช้ในงานในวงการทหาร สำหรับป้องกันการรบกวนของข้าศึกต่อการรับส่งสัญญาณ (enemy jamming) อย่างไรก็ตาม ในเวลาต่อมาได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ตัวอย่างการใช้งานที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน ได้แก่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ CDMA หลักการพื้นฐานของการทำสเปกตรัมคือ การแผ่คลื่นสัญญาณที่ส่งผ่านข้อมูลลงในแถบความถี่ที่มีความกว้างกว่าปกติมาก แต่ใช้กำลังส่งที่ค่อนข้างต่ำเมื่อพิจารณาเทียบต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งหน่วยความถี่ ในปัจจุบันกรรมวิธีการทำสเปกตรัมที่ใช้ในการแผ่ขยายความถี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลัก คือ

- ไคเรกต์ซีควเอนซ์ (Direct Sequence)
- ฟรีควเอนซีฮอปปีง (Frequency Hopping)

เทคนิคการทำสเปกตรัมแบบ ไคเรกต์ซีควเอนซ์ จัดว่าได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ CDMA อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม การทำสเปกตรัมแบบฟรีควเอนซีฮอปปีงก็ได้รับความนิยมด้วยเช่นกัน โดยจะพบเห็นได้ในการใช้งานกับระบบสื่อสารไร้สาย LAN

2.6.1

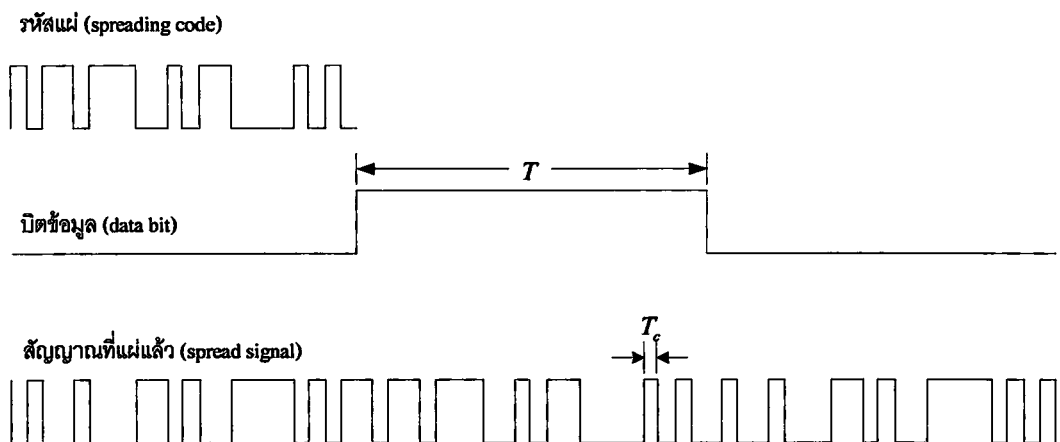
การที่สามารถกระทำยาวเท่ากับ  $T$  ความกว้างของการทำสเปกตรัมบิตหลังจากกาเท่าตัวเมื่อเทียบกับที่ที่มีขนาด



spectrum: DS-SS) อมูลที่มีคาบความถี่เห็นว่ารหัสแผ่มีมาก ผลที่ได้จากจะโดยทั่วไปอัตราบิตขนาดเพิ่มขึ้น 21 จึงต้องการแบนด์

(2.7)

ทั้งนี้  $N$  มีชื่อ



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการทำสเปกตรัมที่มีตัวประกอบแผ่  $N = 21$

การขยายขนาดขึ้นของแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้ในการส่งสัญญาณ เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบสามารถปกป้องบิตข้อมูลจากสัญญาณแทรกสอดหรือสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้น พิจารณาดูตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์แคบในรูปที่ 2.15 (ก) เทียบกับสัญญาณที่ได้รับการแผ่สเปกตรัมแล้วในรูปที่ 2.15 (ข) จะเห็นว่าสัญญาณที่ผ่านกระบวนการสเปกตรัมแล้วมีสเปกตรัมความถี่ที่ครอบคลุมแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าเดิมมาก หากต้องค้ประกอบแต่ละความถี่มีกำลังที่ค่อนข้างต่ำ

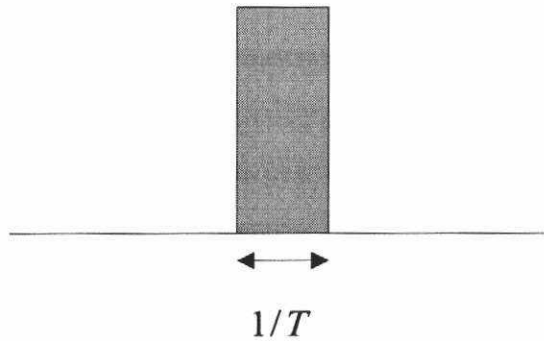
ในตัวอย่างนี้สมมติว่าสัญญาณดังกล่าวได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน (jamming signal) ของผู้ไม่ประสงค์ดีที่ส่งออกเพื่อให้การติดต่อสื่อสารที่ดำเนินอยู่มีคุณภาพเลวลง สังเกตว่าสัญญาณรบกวนที่ใช้มีแบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบ แต่มีความหนาแน่นกำลังในแต่ละความถี่สูงมาก รูปที่ 2.1

กลีบ (despread) แผ่กลับจะมีสเปกตรัมทุกประการ นี้สูง แต่สำหรับแผ่ทุกอย่าง ซึ่งช่วงความถี่ที่กว้างมาก ผลลัพธ์ที่



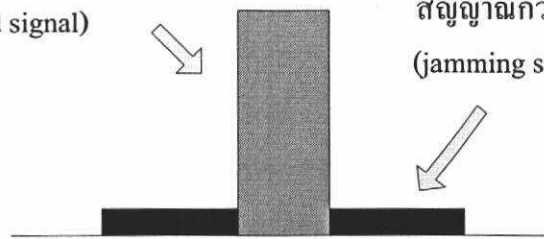
นกระบวนการแผ่ผ่านกระบวนการสเปกตรัม (spectral density) นกับกระบวนการมด์วิดท์ครอบคลุมความถี่ลดลงอย่าง

สัญญาณข้อมูล(data signal)



ตัว

สัญญาณข้อมูล เครบการแผ่กลับ  
(despread signal)



สัญญาณกวนถูกแผ่ออก  
(jamming signal spread)

(ค) สัญญาณ ณ ภาครับหลังการแผ่กลับ

**รูปที่ 2.15** สเปกตรัมแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกชุดรหัสแ่ที่เหมาะสม จัดว่าเป็นหัวใจสำคัญของการทำสเปรคสเปกตรัม โดยทั่วไปรหัสแ่ที่ดีควรมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณรบกวนมากที่สุด และตัวอย่างของรหัสแ่ที่ได้รับความนิยมมากเป็นพิเศษมีชื่อเรียกว่า รหัส PN ซึ่งมีการใช้งานในมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA IS-95 การเลือกใช้รหัสแ่ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวทำให้คลื่นสัญญาณที่ส่งผ่านช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับสัญญาณแรนดอม ดังนั้น การดักฟังจากผู้ไม่ประสงค์ดีหรือผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง

**2.6.2 การทำสเปรคสเปกตรัมแบบฟรีควเอนซีฮอปปีง**

การทำสเปรคสเปกตรัมแบบฟรีควเอนซีฮอปปีง (Frequency Hopping Spread Spectrum: FH-SS) จะนำ การเปลี่ยนคว (hopping code) กลับคืนมาได้ ว่าระบบมีการ ได้มีการทำสเป พิจารณา ซึ่งใ



งนัก หากแต่จะมี ตามรหัสการฮอป มารดิ่งบิตข้อมูล เานั้น หมายความว่าระบบ สำคัญที่ต้องมีการ



**รูปที่ 2.16** ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนความถี่คลื่นพาหะไปตามเวลาของการทำสเปรคสเปกตรัมแบบฟรีควเอนซีฮอปปีง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำสเปคสเปคตรัมแบบฟรีควเอนซีฮอปปีง มีประโยชน์อย่างมากในวงการทหาร สำหรับใช้ในการต่อสู้กับการส่งสัญญาณกวนจากผู้ไม่ประสงค์ดี ที่มีอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นสัญญาณ และส่งสัญญาณกวนลงบนคลื่นความถี่ที่ตรวจพบสัญญาณ เนื่องจากหากระบบมีการเปลี่ยนความถี่ คลื่นพาหะไปอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็วเกินกว่าที่ผู้ไม่ประสงค์ดีจะสามารถตรวจพบคลื่นความถี่ได้ ทันท การส่งสัญญาณกวนให้สอดคล้องกับคลื่นความถี่ที่ใช้อย่างต่อเนื่องจึงกระทำได้อย่างกำกวม

การทำสเปคสเปคตรัมแบบโคเรคต์ซีควเอนซ์และฟรีควเอนซีฮอปปีง แม้จะมีความแตกต่างกันในหลักการ หากแต่ทั้งสองวิธีอาศัยรหัสชนิดเดียวกันซึ่งก็คือ รหัสแผล่ ดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว อย่างละเอียดในหัวข้อที่ 2.5

## 2.7 การวางเ

การวาง  
แตกต่างออกไป  
รูปแบบของบิต  
ข้อมูลนั้น จะ  
ให้ผลลัพธ์ใน  
ได้แก่ วิธีการ  
(random interl

### 2.7.1

สำหรับ  
สื่อสาร เพื่อเป  
ดังรูปที่ 2.17 (

ในเมมโมรี่ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลเรียงจากบนลงล่าง และย้ายไปขวา โดยจะมีการเก็บข้อมูลในลักษณะนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเมมโมรี่ในวงจรมีการเก็บข้อมูลไว้ทุกตำแหน่งแล้ว จากนั้นจึงส่งข้อมูลออกจากวงจรโดยการเรียงลำดับการส่งจากซ้ายไปขวา และบนลงล่าง และจะมีการส่งข้อมูลในลักษณะนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลทุกตำแหน่งในเมมโมรี่ถูกส่งออกจากวงจรแล้ว จากนั้นจึงมีการรับข้อมูลชุดต่อไปเข้ามาในวงจรเพื่อทำงานในครั้งต่อไป โดยจะมีการทำงานในลักษณะนี้จนกระทั่งข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านกระบวนการวางสลับแล้ว จึงสิ้นสุดการทำงาน



ทลให้มีลักษณะที่  
เลาของข้อมูลใน  
นการการวางสลับ  
ละวิธีการนั้น จะ  
การวางสลับข้อมูล  
ลับข้อมูลแบบสุ่ม

งานสำหรับระบบ  
สดงโดยใช้เมตริก  
ไแบบเข้ามาเก็บไว้

## 2.7.2 การวางสลับข้อมูลแบบสุ่ม (random interleaving)

ในการวางสลับข้อมูลด้วยวิธีการแบบสุ่ม (random interleaving) นั้น จะใช้วิธีการสุ่มตัวเลขขึ้นมาเพื่อกำหนดรูปแบบในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของข้อมูล โดยในการนำงานนั้น จะมีการนำข้อมูลมาครั้งละ 1 ชุด เพื่อทำการสลับตำแหน่งของข้อมูลให้อยู่ในตำแหน่งต่างๆตามรูปแบบของค่าที่ได้จากการสุ่ม โดยจะมีลักษณะในการทำงานดังตัวอย่างในรูปที่ 2.17 (ข) เป็นตัวอย่างของการวางสลับข้อมูลแบบสุ่มที่มีการดึงข้อมูลเข้ามาภายในวงจรครั้งละ 8 บิตเพื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของข้อมูล

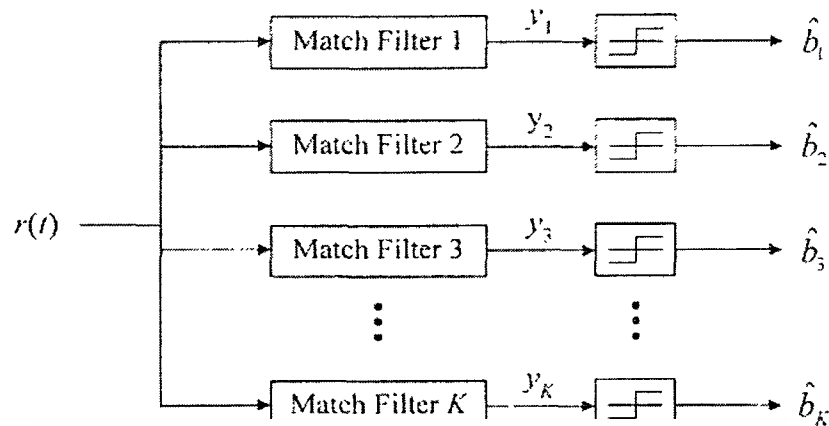


## 2.8 เครื่องรี

### 2.8.1

#### เครื่อง

ที่มีโครงสร้างการทำงานที่เรียบง่ายที่สุด สามารถทำงานได้โดยต้องการทราบเพียงรหัสแผ่ของผู้ใช้รายที่สนใจเท่านั้น การแยกสัญญาณที่ต้องการของผู้ใช้แต่ละรายจึงเป็นอิสระแยกจากกัน จากรูปที่ 2.18 กระบวนการทำงานแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือ วงจรแมตซ์ฟิลเตอร์ และ วงจรตัดสินใจบิต ในส่วนของวงจรแมตซ์ฟิลเตอร์จะนำสัญญาณที่รับได้  $r(r)$  ไปคูณกับรหัสแผ่ของผู้ใช้รายที่สนใจและทำการอินทิเกรตให้ครบคาบของบิตข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.19 จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจบิตเป็นลำดับต่อไป



๕๓

คอร์ด



i k

สำหรับ  
ด้วยสัญญาณ

ทั้งหมด K ราวบวก

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_k(i) s_k(t - iT) + \sigma n(t) \quad (2.8)$$

โดย  $A_k$  แทนแอมพลิจูดที่ใช้สำหรับส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $k$

$b_k(i)$  แทนค่าบิตข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $k$  บิตที่  $i$  ซึ่งมีค่าได้สองระดับคือ +1 และ -1

$s_k(t)$  แทนค่ารูปสัญญาณของรหัสแผ่ (spreading waveform) ของผู้ใช้รายที่  $k$

$T$  แทนช่วงเวลาของการส่งข้อมูลหนึ่งบิต

$n(t)$  แทนสัญญาณรบกวน AWGN (Additive White Gaussian Noise) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ รูปสัญญาณของรหัสแผ่สำหรับผู้ใช้แต่ละรายมีความกว้างอยู่ในช่วงเวลา  $[0, T]$  เท่านั้นและมีพลังงานเท่ากับ 1 เสมอ กล่าวคือ

$$s_k(t) = 0 \text{ สำหรับ } t \notin [0, T] \quad (2.9)$$

และ

$$\int_0^T s_k^2(t) dt = 1 \text{ สำหรับทุกค่าของ } k \quad (2.10)$$

หากพิจารณา

ดังได้เป็น

(2.11)

โดย



(2.12)

และ  $N$  แทน

หนึ่งบิต สำหรับ

(spreading se

$-1/\sqrt{N}$  ในส่วนของฟังก์ชัน  $P_{T_c}(t)$  ก่อสัญญาณรูปสเลียมทอมแอมพลิจูดเท่ากับ 1 และมีความกว้างของแต่ละชิปเท่ากับ  $T_c$  ทั้งนี้  $T = NT_c$

พิจารณารูปที่ 2.18 อีกครั้ง จะได้ว่าสัญญาณที่ออกจากวงจรแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้รายที่  $k$  สำหรับบิตที่  $i$  มีค่าเท่ากับ

$$y_k[i] = \int_{iT}^{(i+1)T} r(t) s_k(t - iT) dt \quad (2.13)$$

เนื่องจากการตัดสินใจบิตเป็นอิสระจากกัน และโดยทั่วไปการวิเคราะห์จะกระทำภายในช่วงเวลาบิตใดบิตหนึ่งที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ  $T$  เท่านั้นก็เพียงพอ เพราะบิตอื่นๆก็จะมีกรวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกันทุกประการ ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องเขียนกรณี  $i$  เพื่อระบุตำแหน่งของบิตอีกต่อไป สัญญาณที่รับได้ ณ ภาครับตามสมการที่ (2.8) จึงสามารถเขียนให้กระชับขึ้นได้เป็น

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) + \sigma n(t) \quad t \in [0, T] \quad (2.14)$$

และเช่นเดียวกันกับสมการที่ (2.13) ก็สามารถดัดแปลงได้เป็น

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) + \sigma n(t) \quad (2.15)$$

นำความสัมพั



(2.16)

โดย

(2.17)

แทนสหสัมพั

$j = k$

(2.18)

ตามข้อกำหนดที่ได้ระบุไว้ก่อนหน้านี้แล้วในสมการที่ (2.10) และ

$$n_k = \int_0^T \sigma n(t) s_k(t) dt \quad (2.19)$$

พจน์แรกของสมการ (2.16) ทางด้านขวามือ  $A_k b_k$  คือค่าของสัญญาณบิตข้อมูลสำหรับผู้ไ้รายที่  $k$  พจน์ที่สอง  $\sum_{j=1, j \neq k}^K A_j b_j \rho_{j,k}$  คือสัญญาณแทรกสอดจากผู้ไ้รายอื่น หรือ MAI และพจน์ที่สาม  $n_k$  คือสัญญาณรบกวนที่เกิดกับผู้ไ้รายที่  $k$  ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเกาส์และมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$  เมื่อนำค่าของ  $y_k$  ไปผ่านวงจรตัดสินใจบิตดังแสดงในรูปที่ 2.18 จะได้ผลดังนี้

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(y_k) \quad (2.20)$$

โดย

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (2.21)$$

ในกรณี  
เหลือเฉพาะสั  
ความผิดพลาด  
ในสร  
เป็นศูนย์ และ  
มีผลกระทบ  
คือรหัสแผ่ขอ  
สำหรับ  $j \neq i$   
เหล่านั้นเป็นอ  
มักจะไม่ต้องฉา  
จำนวนผู้ใช้ใน



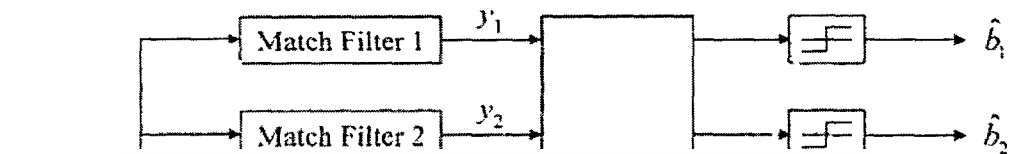
าเป็นศูนย์ จึง  
มใจบิตจะได้อัตรา  
มาตรฐาน  
ผู้ใ้รายอื่นก็จะไม่  
จากผู้ใ้รายอื่นจะ  
ในกรณีที่ดีที่สุด  
คือ  $\rho_{jk} = 0$   
บิตข้อมูลของผู้ใ้  
งานในทางปฏิบัติ  
ส่งผลโดยตรงต่อ

## 2.9 เครื่องรับสำหรับผู้ใ้หลายราย

เนื่องด้วยหลักการทำงานของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ ที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ผ่านมาจะพิจารณาสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใ้รายอื่น (MAI) เป็นเสมือนสัญญาณรบกวน ดังนั้นเมื่อผู้ใ้ในระบบมีผู้ใ้จำนวนมากขึ้นหรือค่าสหสัมพันธ์ระหว่างชุดรหัสมีค่ามากขึ้น จะทำให้การตัดสินใจบิตข้อมูลมีโอกาสผิดพลาดสูงตามไปด้วย ซึ่งส่งผลให้สมรรถนะของระบบโดยรวมลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ในสภาพที่กลไกการควบคุมกำลังส่งของระบบทำงานได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ใกล้ไกลขึ้น ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจข้อมูลมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะกับผู้ใ้รายที่ใ้รับสัญญาณมีกำลังงานต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการเสนอเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผู้ใช้หลายคน (Multiuser Detection : MUD) ขึ้นเพื่อลดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นดังกล่าว แนวคิดหลักของเครื่องรับประเภทนี้คือการนำค่าของสัญญาณที่ผ่านวงจรแมตซ์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้รายอื่นๆมาใช้ในการประกอบการตัดสินใจบิตด้วย แทนที่จะใช้เพียงสัญญาณที่ผ่านวงจรแมตซ์ฟิลเตอร์ของตนเองเท่านั้น โครงสร้างทั่วไปของเครื่องรับประเภทนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.20



ผู้ใช้หลายรายจึงขึ้นอยู่กับเทคนิคการทำงานของบล็อก MUD เป็นหลัก

โดยหลักการแล้ว เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายจะสามารถนำมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพได้ ก็ต่อเมื่อเครื่องรับทราบชุด รหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกราย ซึ่งในทางปฏิบัติจะมีเพียงสถานีฐานเท่านั้นที่ทราบข้อมูลดังกล่าว ในขณะที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทราบเฉพาะรหัสแผ่ของตนเองเท่านั้น ดังนั้น การประยุกต์ใช้งานของเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายจึงมักเกิดที่สถานีฐานเป็นหลัก เนื่องจากสถานีฐานไม่มีข้อจำกัดของขีดความสามารถในการคำนวณหรือประมวลผลและมีแหล่งจ่ายไฟที่มากเท่าที่ต้องการ ซึ่งแตกต่างจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัด ที่ถูกจำกัดด้วยขนาดและขีดความสามารถของหน่วยประมวลผลและความจุของแบตเตอรี่ ดังนั้นการนำเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายที่มีความซับซ้อนสูงกว่าเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ มาใช้ที่สถานีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐาน เพื่อกำจัดหรือลดทอนสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใ้รายอื่นจึงเหมาะสมและเป็นประโยชน์อย่างมาก เมื่อสามารถทำให้สัญญาณแทรกสอดมีปริมาณลดลง ย่อมส่งผลให้ระบบมีความจุเพิ่มมากขึ้น และสามารถรองรับผู้ใ้ได้มากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาเครื่องรับสำหรับผู้ใ้หลายรายที่มีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในการนำเทคโนโลยี CDMA มาประยุกต์งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

หลักการทํางานเครื่องรับสำหรับผู้ใ้หลายราย 6 วิธีที่นิยม ได้แก่

- เครื่องรับแบบออปติ้ม (optimal receiver)
- เครื่องรับดีคอเรลเลอร์ (decorrelator)
- เครื่อง
- เครื่อง
- SIC)
- เครื่อง
- Multi
- เครื่อง

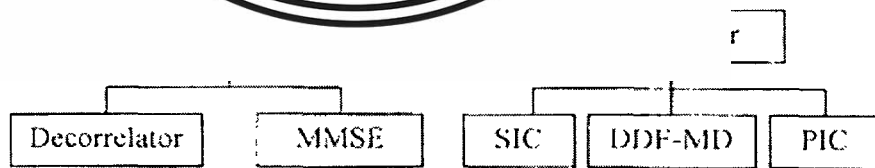


nce Cancellation:

ecision-Feedback

icelation: PIC)

Optim



รูปที่ 2.21 โครงสร้างการจัดแบ่งประเภทของเครื่องรับสำหรับผู้ใ้หลายราย

โดยสามารถจัดแบ่งแยกเครื่องรับเหล่านี้ออกเป็นโครงสร้างแผนภาพที่เป็นระบบ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.21 จากรูปจะเห็นว่า เครื่องรับสำหรับผู้ใ้หลายรายถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ เครื่องรับแบบออปติ้ม และเครื่องรับแบบซับออปติ้ม (suboptimal receivers) เครื่องรับแบบออปติ้มแม้ว่าจะให้สมรรถนะดีที่สุด แต่มีความซับซ้อนในการคำนวณสูงมากจึงไม่สามารถนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานได้จริงได้ในทางปฏิบัติ ด้วยเหตุนี้เครื่องรับแบบซับซ้อนยิ่งได้รับความสนใจในเชิงวิจัยอย่างกว้างขวาง และได้มีการพัฒนาเครื่องรับในกลุ่มนี้อย่างต่อเนื่องโดยสามารถแบ่งแยกเครื่องรับในกลุ่มนี้ออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ เครื่องรับแบบเชิงเส้น (linear receiver) และเครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear receiver) ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เครื่องรับที่สำคัญในกลุ่มแรกประกอบด้วย เครื่องรับคิออร์รีเลเตอร์ และเครื่องรับ MMSE ส่วนเครื่องรับแบบไม่เชิงเส้นที่น่าสนใจได้แก่ เครื่องรับสัญญาณหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบเป็นลำดับ (SIC) เครื่องรับคิออร์รีเลเตอร์แบบป้อนกลับการตัดสินใจ (DDF-MD) และเครื่องรับหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน (PIC)

### 2.9.1 เครื่องรับ MMSE

เครื่องรับ  
จากการหาค่า  
กำลังสอง (MSE)  
ความพยายาม  
ควบคู่ไปในเว  
สามารถวิเคราะห์  
ในระดับชิป แ  
ที่ได้จากทั้งส  
การวิ  
พิจารณา



การตัดสินใจบิต  
ความผิดพลาดค  
เนใจดังกล่าวนี้คือ  
รบกวน AWGN  
เครื่องรับ MMSE  
จอร์เมตซ์ฟิลเตอร์  
ยี่ห้อแพ่ ทั้งนี้ผล

(2.22)

วัตถุประสงค์ของเครื่องรับ MMSE คือการหาเมทริกซ์  $\mathbf{M}$  ที่ให้ผลเฉลี่ยตามเงื่อนไข MSE ดังนี้

$$\mathbf{M} = \arg_{\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{K \times V}} \min E \left[ \|\mathbf{b} - \mathbf{M}\mathbf{r}\|^2 \right] \quad (2.23)$$

ปัญหานี้สามารถหาผลเฉลยได้โดยวิธีการหาค่าเกรเดียนต์ (gradient) และเทียบให้เท่ากับศูนย์ ในการคำนวณนั้นสามารถใช้หลักการของออร์ทोगอนอล (orthogonality principle) กล่าวคือ

$$E[(\mathbf{b} - \mathbf{M}\mathbf{r})\mathbf{r}^T \mathbf{M}^T] = E[\mathbf{b}(\mathbf{S}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{v})^T \mathbf{M}^T] - E[\mathbf{M}(\mathbf{S}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{v})(\mathbf{S}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{v})^T \mathbf{M}^T] \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \mathbf{A}^T \mathbf{S}^T \mathbf{M}^T - \mathbf{M} (\mathbf{S} \mathbf{A}^2 \mathbf{S}^T + \sigma^2 \mathbf{I}) \mathbf{M}^T = 0$$

เพราะฉะนั้น

$$\mathbf{A}^T \mathbf{S}^T = \mathbf{M} (\mathbf{S} \mathbf{A}^2 \mathbf{S}^T + \sigma^2 \mathbf{I}) \tag{2.25}$$

ผลเฉลยที่ได้คือ

$$\tag{2.26}$$

รูปความสัมพันธ์

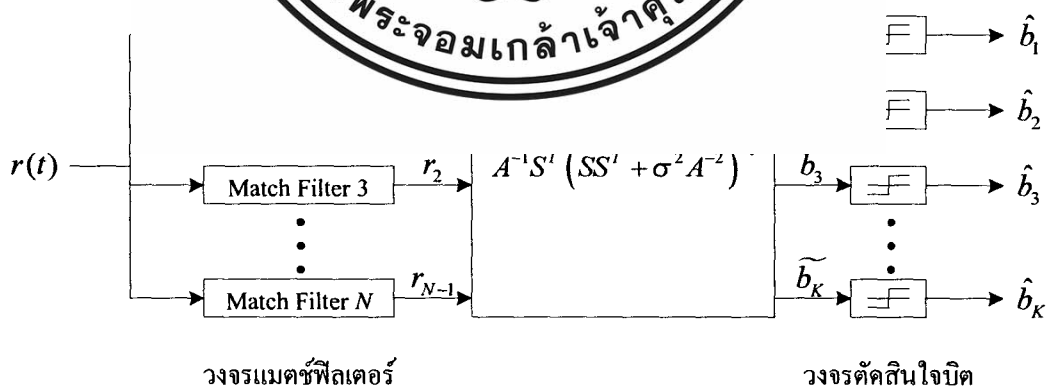


or solution) คือ

$$\tag{2.27}$$

นำเมทริกซ์  $\mathbf{M}$   
ต่อไป ทั้งนี้ใ  
2.22

นการตัดสินใจบิต  
ะดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของเครื่องรับ MMSE ที่กระทำในระดับของชิป

**การวิเคราะห์ด้วยค่าจากเมตริกซ์ฟิลเตอร์ที่ใช้รหัสแม่**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการหาผลเฉลยของเครื่องรับ MMSE ที่พิจารณาจากค่าของเมตริกซ์ฟิลเตอร์โดยใช้รหัสแผ่

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{n} \quad (2.28)$$

ต้องการหาค่าผลเฉลยของเมตริกซ์  $\mathbf{M}$  ที่ทำให้เงื่อนไขค่าเฉลี่ยทางสถิติของค่าความผิดพลาดยกกำลังสองมีขนาดต่ำสุด กล่าวคือ

$$(2.29)$$

การหาผลเฉลย

$$E[(\mathbf{b} - \mathbf{M}\mathbf{y})$$

เพราะฉะนั้น



ผล กล่าวคือ

$$+ \mathbf{n})^T \mathbf{M}^T] \quad (2.30)$$

$$(2.31)$$

$$= \mathbf{A}^{-1}(\mathbf{R} + \sigma^2 \mathbf{A}^{-2})$$

หรือหากจะใช้ผลเฉลยของวินเนอร์โดยตรงก็สามารถทำได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \mathbf{M} &= E[\mathbf{b}\mathbf{y}^T]E[\mathbf{y}\mathbf{y}^T]^{-1} \\ &= \mathbf{A}\mathbf{R}(\mathbf{R}\mathbf{A}^2\mathbf{R}^T + \sigma^2\mathbf{R})^{-1} \\ &= \mathbf{A}^{-1}(\mathbf{R} + \sigma^2\mathbf{A}^{-2})^{-1} \end{aligned} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ไคเวอร์ซิตีเชิงความถี่ (frequency diversity) เนื่องจากขนาดของสเปกตรัมของระบบ CDMA มีความกว้างมาก จึงทำให้ผลกระทบของการสะท้อนของสัญญาณจากหลายทิศทาง หรือที่เรียกว่าเฟดดิ้งมีน้อย ทั้งนี้เพราะว่าจะมีสัญญาณเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ได้รับการรบกวนในขณะใดขณะหนึ่ง ดังนั้นสัญญาณในระบบ CDMA จึงสามารถรับมือกับปัญหาเฟดดิ้งได้ดีกว่าระบบอื่น
- ไคเวอร์ซิตีเชิงสายอากาศ (antenna diversity) ที่สถานีฐานจะใช้สายอากาศ 2 ชุดในการรับสัญญาณ

- ไคเวอร์ซิตีเชิงเวลา (time diversity) เกิดจากการที่ระบบบอัสค์วงจรรับแบบ Rake ซึ่งสามารถรับด้วยเวลาที่แตกต่างกัน

- ไคเวอร์ซิตีเชิงความถี่แบบ Rake ใช้การแฮนด์ออฟเลือกสัญญาณจาก



2.10.1 ไคเวอร์ซิตีเชิงความถี่

เช่น 2 ความถี่โคฮีเรนต์ (coherent) ในลักษณะที่ขึ้นอยู่กับการเลือกสัญญาณจาก

เพิ่มขึ้นจากเดิม

ในปัจจุบันได้มีการนำไคเวอร์ซิตีเชิงความถี่มาใช้งานในระบบเชื่อมต่อสัญญาณไมโครเวฟแบบจุดต่อจุด

### 2.10.2 ไคเวอร์ซิตีเชิงสายอากาศ

ไคเวอร์ซิตีเชิงสายอากาศ ลักษณะการทำงานนั้น สถานีฐานจะใช้สายอากาศ 2 ชุดขึ้นไปในการรับสัญญาณ ทำให้ได้รับสัญญาณที่ได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งในลักษณะที่แตกต่างกันจึงสามารถเลือกช่วงสัญญาณที่ดีที่สุดของสัญญาณที่ได้รับมาโดยแต่ละสายอากาศ

### 2.10.3 ไคเวอร์ซิตีเชิงเวลา

ไคเวอร์ซิตีเชิงเวลา คือการส่งสัญญาณข้อมูลเดิมซ้ำมากกว่าหนึ่งครั้งที่เวลาแตกต่างกัน โดยการส่งแต่ละครั้งจะต้องเว้นช่วงเวลาให้ห่างกันมากพอ คือต้องมากกว่าโคฮีเรนต์ไทม์ (coherence เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time) ของช่องสัญญาณ ผลที่ได้คือภาครับจะได้รับสัญญาณข้อมูลซ้ำหลายครั้ง โดยสัญญาณข้อมูลที่ได้รับได้แต่ละครั้งนี้ ได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งของช่องสัญญาณในลักษณะที่แตกต่างกัน ถ้าโคฮีเรนซ์ใหม่จะขึ้นอยู่กับคอปเปลอร์ชิฟต์ (Doppler shift) ของคลื่นสัญญาณซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของการเคลื่อนที่และความถี่ของคลื่นพาหะ ตัวอย่างของการใช้งาน ไคเวอร์ซิติเชิงเวลา คือวงจรเครื่องรับ Rake ในระบบ CDMA

#### 2.10.4 ไคเวอร์ซิติเชิงปริภูมิ

ไคเวอร์ซิติเชิงปริภูมิ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานอย่างมากในทางปฏิบัติ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการรับสัญญาณของวิธีการนี้ออกได้เป็น 4 รูปแบบ คือ

- ไคเว
- ไคเว
- การร
- การร

ขณะหนึ่งระบบ  
ให้เห็นถึงโค



)

นั่นคือในขณะใด  
รูปที่ 2.24 จะแสดง

branch selection

รูปที่ 2.24 โครงสร้างของไคเวอร์ซิติแบบการเลือก

โดยสามารถคำนวณหาว่า วิธีการนี้จะช่วยให้ระบบมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงใด ได้ดังต่อไปนี้ สมมติว่าสัญญาณที่รับได้จากจุดรับสัญญาณแต่ละแห่งเป็นอิสระต่อกัน และได้รับผลกระทบของเฟดดิ้งในการส่งผ่านช่องสัญญาณ ทำให้ระดับของสัญญาณมีการกระจายเป็นแบบเรย์ลี และมีค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณเท่ากับ  $\sigma^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(r_i) = \frac{r_i}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r_i^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.33)$$

โดย  $r_i$  คือระดับของสัญญาณที่รับได้ที่จุดรับสัญญาณ  $i$   
กำหนดให้  $\gamma_i$  เป็นค่า SNR ของสัญญาณ  $r_i$  ณ ขณะใดขณะหนึ่ง และ  $N$  คือกำลังเฉลี่ยของ  
สัญญาณรบกวนซึ่งสมมติให้มีค่าเท่ากันหมดสำหรับสัญญาณที่รับได้แต่ละจุด

$$\gamma_i = \frac{r_i^2}{2\lambda N} \quad (2.34)$$

ค่าเฉลี่ยของ  $S$



(2.35)

และจะได้ว่า

(2.36)

ดังนั้นความน่า  
จะเป็นที่

กับค่ากำหนด  $\gamma$

$$p(\gamma, \leq \gamma) = \int_0^\gamma p(\gamma_i) d\gamma_i = \int_0^\gamma \frac{1}{\Gamma} e^{-\frac{\gamma_i}{\Gamma}} d\gamma_i = 1 - e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}} \quad (2.37)$$

ความน่าจะเป็นที่สัญญาณที่รับได้จากทุกแหล่งซึ่งเป็นอิสระต่อกันทั้งหมด  $M$  แห่ง จะมีขนาดของ  
SNR ที่ต่ำกว่า  $\gamma$  พร้อมๆ กันมีค่าเท่ากับ

$$P[\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M \leq \gamma] = \left(1 - e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}}\right)^M = P_M(\gamma) \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวนี้คือความน่าจะเป็นที่ SNR ที่รับได้จากการใช้โคเวออร์ซิติแบบการเลือกมีขนาดต่ำกว่าค่า  $\gamma$  ที่ต้องการ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่สัญญาณที่รับได้จะมีขนาดของ SNR ที่มากกว่า  $\gamma$  จึงมีค่าเท่ากับ

$$1 - P_M(\gamma) = 1 - P[\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M \leq \gamma] = 1 - \left(1 - e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}}\right)^M \quad (2.39)$$

หากต้องการจะคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ SNR ในระบบที่มีการใช้โคเวออร์ซิติแบบการเลือกก็สามารถทำได้โดย การหาค่าเฉลี่ยของ  
สัญญาณที่ได้



(2.40)

(2.41)

ต่างกันตรงที่แ  
สัญญาณจากแ  
เลือกใช้สัญญาณ

นกับของแบบแรก  
บจะทำการสแกน  
่าที่กำหนดไว้ก็จะ  
นคไว้จึงจะทำการ

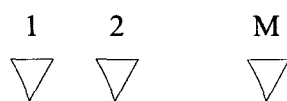
สแกนสัญญาณใหม่อีกครั้ง การทำงานในลักษณะนี้จะมีควมซับซ้อนน้อยกว่าวิธีโคเวออร์ซิติแบบการเลือก เพราะระดับเทรซโฮลด์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกหรือเปลี่ยนจุดรับสัญญาณจะเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากวิธีโคเวออร์ซิติแบบการเลือกตรงที่ระดับเทรซโฮลด์ที่ใช้จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

### 2.10.4.3 การรวมสัญญาณโดยใช้อัตราส่วนสูงที่สุด

สำหรับโคเวออร์ซิติแบบรวมสัญญาณโดยใช้อัตราส่วนสูงที่สุดสัญญาณที่ได้รับจากทุกจุดรับสัญญาณทั้ง  $M$  แห่งจะถูกนำมารวมกัน โดยให้น้ำหนักที่แตกต่างกันตามขนาดของสัญญาณที่ต้องการต่อกำลังของสัญญาณรบกวน ทั้งนี้ในกระบวนการรวมสัญญาณนั้นจะต้องแน่ใจว่าสัญญาณเหล่านี้มีเฟสที่ตรงกัน ข้อดีของวิธีการนี้ก็คือช่วยให้ภาครับมีโอกาสที่จะสามารถได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่มีค่า SNR ขนาดที่ใหญ่ขึ้นกว่าค่า SNR ที่ดีที่สุดของสัญญาณที่รับได้แต่ละแห่ง เทคนิคนี้ค่อนข้างจะมีความซับซ้อนยุ่งยากกว่าวิธีอื่นๆมาก เพราะต้องมีการคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม หากแต่ในปัจจุบันการพัฒนาและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีกรรมวิธีประมวลสัญญาณดิจิทัล (digital signal processing) ก็ช่วยทำให้การสร้างวงจรเหล่านี้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ



เหล่านี้ได้รับก  
โดยในการรวม  
เพื่อให้ได้สัญญาณ

ได้

$r_i$  และสัญญาณ  
รวมกันได้โดยตรง  
แห่งให้เหมาะสม

(2.42)

$i=1$

และสมมติให้ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณรบกวน  $N$  จากจุดรับสัญญาณแต่ละแห่งมีขนาดเท่ากัน เพราะฉะนั้นค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณรบกวน  $N$  ก็สามารถหาได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$N_T = N \sum_{i=1}^M G_i^2 \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า SNR ที่ได้จึงมีค่าเท่ากับ

$$\gamma_M = \frac{r_T^2}{2N_T} \quad (2.44)$$

อาศัยสมการของ Chebychev (Chebychev's inequality) พบว่าเงื่อนไขที่จะทำให้ค่า  $\gamma_M$  สูงสุดก็ต่อเมื่อ  $G_i = \frac{r_i}{N}$  ดังนั้น

(2.45)

สังเกตว่าค่า :  
สัญญาณแต่ละ  
สองตัวคือ  $T_C$   
และมีค่าความ



SNR จากจุดรับ  
ที่เป็นอิสระต่อกัน  
มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

(2.46)

เพราะฉะนั้น

distribution) ที่เกิด

จากการรวมกันแบบขยกลางสองของตัวแปรสุ่มทการแจกแจงแบบเกาสจานวน 2M ตัวนั้นคือ

$$p(\gamma_M) = \frac{\gamma_M^{M-1} e^{-\gamma_M}}{\Gamma^M(M-1)} \quad \text{โดย } \gamma_M \geq 0 \quad (2.47)$$

โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\frac{\Gamma}{2} = \frac{\sigma^2}{2N}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าจะเป็นที่ค่า SNR จะต่ำกว่าค่ากำหนด  $\gamma$  ค่าหนึ่งคือ

$$p(\gamma_M \leq \gamma) = \int_0^\gamma p(\gamma_M) d\gamma_M = 1 - e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}} \sum_{k=1}^M \frac{(\gamma/\Gamma)^{k-1}}{(k-1)!} \quad (2.48)$$

ค่าเฉลี่ยของ SNR ที่ได้จากการทำไคเวอร์ซิติคือ

$$\bar{\gamma}_M = \sum_{i=1}^M \bar{\gamma}_i = \sum_{i=1}^M \Gamma = M\Gamma \quad (2.49)$$

ซึ่งค่าที่ได้จาก

ถ่วงน้ำหนักสำหรับ  
จำนวนที่ซับซ้อน  
เกิดแนวความคิด  
เป็นหนึ่ง การ  
พบว่า สมร  
วิธีนี้จึงเป็นวิธี



การคำนวณค่า  
จกรสำหรับการ  
งปัญหาเหล่านี้จึง  
คือกำหนดให้มีค่า  
ผลการวิเคราะห์  
สูงที่สุดเท่าใดนัก

## 2.11 ทฤษฎี

(C-CDMA)

### 2.11.1 ทฤษฎีของ MC-CDMA แบบทวิ

ในการส่งสัญญาณระบบ MC-CDMA แต่ละสัญลักษณ์ข้อมูลจะถูกคัดลอกออกเป็นหลายๆ ส่วนจำนวน  $N$  ส่วน แล้วถูกส่งไปพร้อมๆกัน โดยในแต่ละส่วนนั้นจะถูกคูณด้วยรหัสแผ่ที่มีความยาวเท่ากับ  $N$  บิต หลังจากนั้น ข้อมูลที่ผ่านการสเปกตรัมมาแล้วจะถูกทำการมอดูเลตแบบ BPSK โดยใช้คลื่นพาหะย่อยจำนวน  $N$  ตัว ซึ่งความถี่ของคลื่นพาหะแต่ละตัวจะต่างกันเป็น  $\frac{F}{T_b}$  เฮิร์ตซ์ (Hz) โดย  $F$  ต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม และสัญญาณที่ส่งออกมา คือผลรวมของสัญญาณในแต่ละส่วนที่ถูกมอดูเลตแล้ว ดังสมการ

$$s_m(t) = a_m[k] \sum_{i=0}^{N-1} c_m[i] \cos\left\{2\pi\left(f_c + \frac{F}{T_b}i\right)t\right\} p_{T_b}(t - kT_b) \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากสมการ ตัวแปรต่างๆ มีความหมาย ดังนี้

$a_m[k]$  คือ ค่าของสัญลักษณ์ข้อมูลที่ใช้ โดยสมมติให้มีความน่าจะเป็นที่จะเป็นค่า -1 หรือ 1 เท่ากัน

$c_m[i]$  คือ รหัสแผ่งของผู้ใช้รายที่  $m$  ดังนั้น  $c_m \in \{-1,1\}$

$p_{T_b}$  คือ แอมพลิจูดของสัญญาณที่ไม่ใช่ศูนย์ และอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ไปจนถึง  $T_b$

ถ้าค่า  $F$  เท่ากับ 1 เฮิร์ตซ์ แล้วการทำงานจะคล้ายกับการทำงานแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) บนสเปกตรัมแบบไครเรตซ์ซีเควอนซ์ ดังนั้น จึงมีความน่าสนใจในการที่จะนำวิธีการสองวิธีการทั้ง OFDM และ DS-SS-CDMA มาผสมผสานใช้ร่วมกัน โดยวิธีการประมวลสัญญาณดิจิทัลในปัจจุบัน มีความง่ายในการใช้งานและคล่องตัว จึงสามารถทำให้การทำงานแบบ

บ 1 เฮิร์ตซ์ จะทำ  
ยังมีค่ามากเท่าไร

ให้แบนด์วิดท์  
แบนด์วิดท์ที่ไ

2.11.2

ในโค

โดย  $BW_c$  ก็  
แสดงจะไม่สาม  
มาก ดังนั้นจึง



$\ll BW_c \ll \frac{F}{T_b}$   
ยต่างๆ ที่ถูกมอดู  
เปลอร์มีขนาดเล็ก  
วมูล

1.2

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0.0

0

x

$\sigma=2.0$

$\sigma=3.0$

$\sigma=4.0$

รูปที่ 2.26 การแจกแจงแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.2.1 อัปลิงก์ (uplink)

สำหรับการส่งสัญญาณอัปลิงก์ เป็นการส่งสัญญาณจากผู้ใช้บริการไปยังสถานีฐาน โดยการรับสัญญาณของสถานีฐานจากผู้ใช้แต่ละรายจะใช้ช่องสัญญาณที่แตกต่างกันในผู้ใช้บริการรายเดียวกัน ทราานเฟอร์ฟังก์ชัน (transfer function) ของช่องสัญญาณแบบเฟดดิ้งเวลาต่อเนื่อง (continuous-time fading) ถูกนำมาใช้แสดงได้ดังสมการ

$$H_m \left( f_c + i \frac{F}{T_b} \right) = \rho_{m,i} e^{j\theta_{m,i}} \quad (2.51)$$

โดยที่  $\rho_{m,i}$  แะ  
ความถี่  $f_c +$   
(Independent  
แรมคอมเพล็กซ์  
ความถี่

บริการ เมื่อผู้  
ผู้ใช้จะสามารถ



เมลำดับของผู้ใช้ที่  
และระบุตนเองได้  
วมถี่ ส่วนค่าของ  
ทุกๆ ผู้ใช้และทุกๆ

งานไปยังผู้ใช้  
สัญญาณเดียวกัน

(2.52)

เมื่อ  $m = 0, 1, \dots, M-1$

### 2.11.2.3 สเปกตรัมกำลัง (power spectrum) ของเรย์ลีเฟดดิ้ง

คุณสมบัติเชิงความถี่หรือก็คือสเปกตรัมกำลัง  $S(f)$  ของเรย์ลีเฟดดิ้ง ในการวิเคราะห์สเปกตรัมกำลัง จะเริ่มจากการพิจารณารูปคลื่นสัญญาณที่เดินทางมาถึงเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปที่ 2.27 คลื่นสัญญาณเดินทางเข้าหาเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยทำมุมเท่ากับ  $\theta$  ฉะนั้นความถี่ที่เครื่องโทรศัพท์รับได้ที่มีมุมดังกล่าวนี้มีเท่ากับ  $f = f_0 + f_d \cos \theta$  และสำหรับสัญญาณส่วนที่ทำมุมเท่ากับ  $-\theta$  ก็ย่อมจะให้ผลเหมือนกันคือสัญญาณที่รับได้ ณ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความถี่เท่ากับ  $f = f_0 + f_d \cos \theta$  ด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาในเชิงกำลังของสัญญาณที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับได้จากคลื่นในช่วงมุมองศา  $d\theta$  เล็กๆ จะมีค่าเท่ากับ  $\frac{P|d\theta|}{2\pi}$  ทั้งนี้ข้อความนี้จะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณที่เข้าสู่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการกระจายพลังงานเท่ากันในทุกทิศทาง และสายอากาศรับก็มีอัตราขยายคงที่ทุกทิศทางด้วย ถ้านำกำลังของคลื่นสัญญาณในช่วงมุมองศา  $d\theta$  ที่ทำมุมเท่ากับ  $-\theta$  และ  $\theta$  มารวมกันก็จะได้เป็นกำลังของสัญญาณที่บรรจุอยู่ในช่วง กล่าวคือ

จากสมการคอปเปอร์นิพิต์  $f = f_0 + f_d \cos\theta$  จะได้ว่า  $df$  มีความสัมพันธ์กับ  $d\theta$  ดังนี้คือ

$$P|dA| \tag{2.53}$$

และจากสมการ

จะได้ว่า



$$\tag{2.54}$$

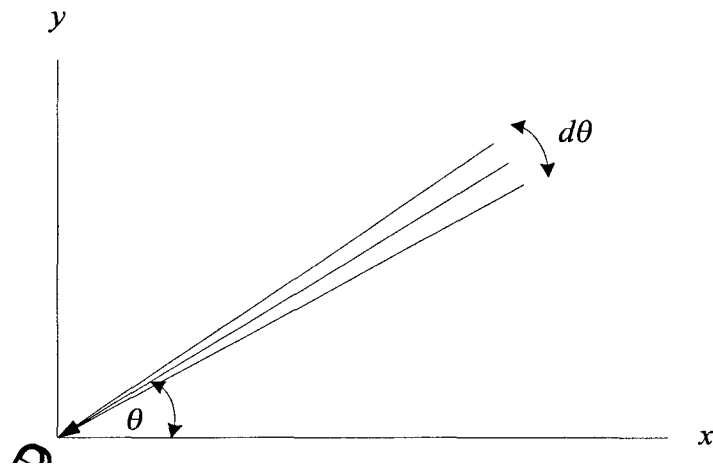
อาศัยสมการ

$$\tag{2.55}$$

อาศัยความสัมพันธ์

$$S(f) = \frac{P}{\pi\sqrt{f_d^2 - (f - f_0)^2}} \text{ watts/Hz} \tag{2.56}$$

เมื่อนำสมการ  $S(f)$  ไปวาดเป็นกราฟจะได้ผลดังที่แสดงในรูปที่ 2.28 โดยจากกราฟจะเห็นว่า สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากที่ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาทแบบเรย์ลีเฟดดิ้งจะมีขนาดกว้างขึ้นเมื่อเทียบกับสัญญาณไซน์ซอยด์ (sinusoid) ที่ส่งออกจากต้นทางซึ่งมีองค์ประกอบสเปกตรัมเพียงความถี่เดียว



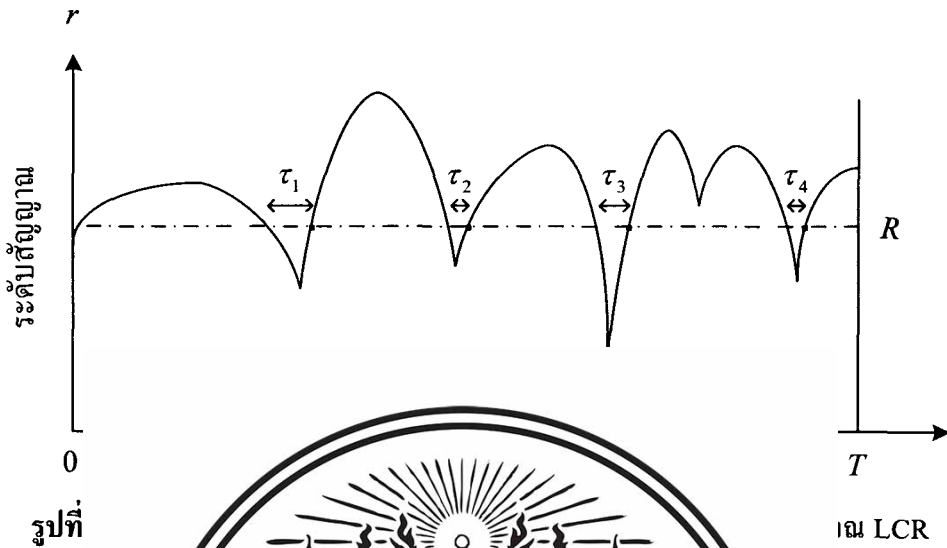
รูปที่ 2.28 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณ เช่น สัญญาณพัลซ วมอดูเลชันแบบแอมพลิจูดและเฟส แดคอปเปลอร์ชิฟต์

#### 2.11.2.4 อัตราการข้ามระดับ (Level Crossing Rate: LCR)

ในการศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบเรย์ลีเฟดคิง นอกจากจะสนใจการกระจายความน่าจะเป็นของแอมพลิจูด เฟส และสเปกตรัมกำลังของสัญญาณแล้ว ยังมีพารามิเตอร์ (parameter) อื่นที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ พารามิเตอร์ที่ว่านี้เรียกว่าอัตราการข้ามระดับ ซึ่งมีนิยามว่าเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่สัญญาณมีระดับต่ำกว่าค่ากำหนดภายในช่วงเวลาที่กำหนดช่วงหนึ่ง ค่านี้ได้จากการนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัญญาณผ่านค่าที่กำหนดดังตัวอย่างในรูปที่ 2.29 ซึ่งการทราบถึงคุณลักษณะของค่าอัตราการข้ามระดับ จะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการออกแบบระบบแก้ไขความผิดพลาดข้อมูล



แปรเปลี่ยนค่า  
กำหนดให้ระดับ  
สัญญาณจากระดับ  
ความสัมพันธ์



ได้ ซึ่งเป็นค่าที่  
ค่าเท่ากับ  $\frac{dr}{dt}$  ถ้า  
การข้ามระดับของ  
เรดคำนวณได้จาก

$$(2.57)$$

เมื่อ  $p(R, \dot{r})$  แทนฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นร่วม (joint probability density function) ระหว่าง  $r$  และ  $\dot{r}$  โดยพิจารณา ณ จุดที่  $r = R$  ในการพิสูจน์เพื่อหาค่า  $N_R$  ก่อนข้าง  
ยุ่งยากเล็กน้อย โดยผลการพิสูจน์จะเป็นดังนี้

$$N_R = \sqrt{2\pi} f_d \frac{R}{2\sigma} \exp \left[ -\left( \frac{R}{2\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.58)$$

โดย  $f_d$  คือค่าคออปเปลอร์ชิฟต์สูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\frac{v}{\lambda}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความสัมพันธ์ที่ได้บ่งชี้ว่าอัตราการข้ามระดับ  $N_R$  มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าออปเปอเรชันสูงสุดหรือก็คือมีค่าเพิ่มตามความเร็วของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเมื่อคำนวณหาจุดสูงสุดของอัตราการข้ามระดับ  $N_R$  พบว่าเกิดขึ้นที่ค่า  $R = \sigma$  เนื่องจากค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square: RMS) ของสัญญาณอยู่ที่  $\sqrt{2}\sigma$  ดังนั้นจึงมักจะกล่าวว่าจุดสูงสุดของอัตราการข้ามระดับ  $N_R$  เกิดขึ้นที่ระดับ 3 เดซิเบล ได้ค่า RMS ดูกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{R}{2\sigma}$  และ  $\frac{N_R}{\sqrt{2\pi}f_d}$  ในรูปที่ 2.30 ประกอบ



รูปที่ 2.30 กร  
นอร์มอลไลซ์

→ จุดข้าม ซึ่งมีการ

#### 2.11.2.5 ค่าเฉลี่ยเวลาของการเฟด (average duration of fading)

จากผลที่ได้จากการคำนวณหาค่า  $N_R$  ในส่วนก่อนหน้านี สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหลืออีกตัวหนึ่ง ที่สามารถแสดงคุณลักษณะของช่องสัญญาณในอีกมุมมองหนึ่งได้ ค่าพารามิเตอร์ที่จะกล่าวถึงนี้คือ ค่าเฉลี่ยเวลาของการเฟด ซึ่งค่านี้หาได้จากอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่มีการเฟดเกิดขึ้นตลอดช่วงเวลา  $T$  ที่พิจารณา กับจำนวนครั้งที่มีการเฟด กำหนดให้  $\tau_i$  แทนช่วงเวลาที่เกิดเฟดครั้งที่  $i$  และให้  $\bar{\tau}$  แทนค่าเฉลี่ยเวลาของการเฟดในแต่ละครั้ง สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\bar{\tau} = \frac{\sum \tau_i}{N_R T} \quad (2.59)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาค่าอัตราส่วน  $\frac{\sum \tau_i}{T}$  ตามสมการข้างต้นให้ดีจะพบว่าค่าดีก็คือ ความน่าจะเป็นที่สัญญาณมีค่าที่ต่ำกว่าระดับ  $R$  ที่กำหนดหรือ  $P_r[r \leq R]$  ซึ่งคำนวณได้โดยตรงจากฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นแบบเรย์ลี นั่นคือ

$$P_r[r \leq R] = \int_0^R p(r) dr \quad (2.60)$$

$$= 1 - \exp\left[-\left(\frac{R}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2\right]$$

อาศัยสองสมก



(2.61)

เมื่อนำสมการ

แสดงในรูปที่

ลักษณะที่แตก

เพิ่มสูงขึ้นใน

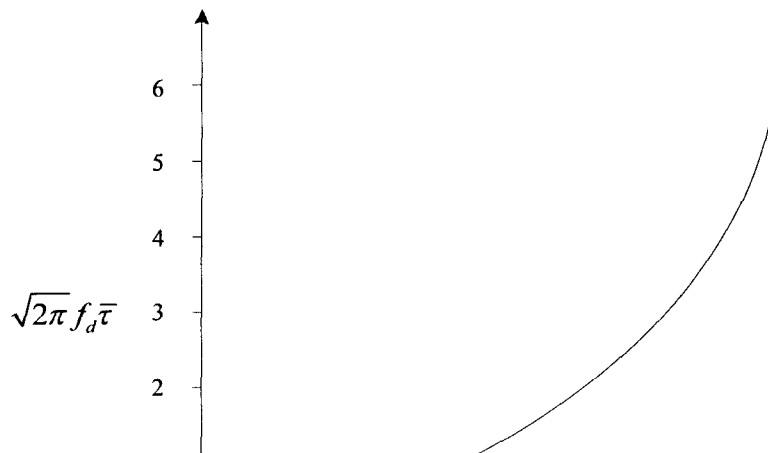
นั้นอัตราการข้ามระดับจะลดลงเมื่อการเพิ่มค่าของ  $R$  นอก และตำแหน่งที่ค่าอัตราการข้ามระดับสูงสุดอยู่ที่  $R = \sigma$  ดังที่ได้กล่าวไว้

$f_d \bar{r}$  จะได้ผลดัง

สัญญาณ  $R$  ใน

ขึ้นตามค่า  $R$  ที่

ึ่งเท่านั้น หลังจาก



รูปที่ 2.31 กรา  
การนอร์มอลไ

2.11.3  
สำหรับ



→  
6

ที่เป็นจุดข้าม ซึ่งมี

การดังนี้

$$(2.62)$$

โดย  $n(t)$  คือคตกรรบทกรวชงเบนแบบ AWGN และคนลยชงกตงกรนทพหะดัวที่  $i$  ชงผู้ไร  
รยที่  $m$  สมกรธรบยไค้ดัวสมกร

$$\overline{p_{m,i}} = \frac{E \rho_{m,i}^2}{2} \tag{2.63}$$

สมมติว ค่ำก่ำล้งกรนเจลี่ยชงคลี่นพหะดัวลละดัวมีค่ำเท่ำกััน ดัังนัันก่ำล้งกรนท้งหมคชงผู้ไรรย  
ที่  $m$  จะมค่ำเป็น

$$\overline{\rho_m} = N \overline{\rho_{m,i}} \tag{2.64}$$

เอกรสรนัเป็นเอกรสรที่สงวนไว้สำหรับกรใช้กรนเพื่อกรศีกขกรเทำนััน ไม่นอญูถให้น่ไปใช้ประโยชน์ดำนกรค่ำ  
ไม่วกรณิใดทงลััน อิกท้งหำมมิให้ดัดเปลงนื้อหกร และด้องอ่ำงอิงถึงเจ้ำชงเอกรสรทุกคร้งที่มีกรน่ไปใช้

โดยเพื่อให้่ายต่อการวิเคราะห์ จึงต้องสมมติว่าผู้ใช้สามารถมีค่าเป็น 0 ได้ อีกทั้งยังต้องสมมติว่าผู้ใช้นั้นๆ ทำงานอย่างสอดคล้องกันกับผู้ใช้รายอื่นๆ โดยผู้ใช้แต่ละรายจะมีตัวกำหนดเวลาเป็นของตัวเองกันด้วย

## 2.12 โคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ (coherence bandwidth)

พิจารณาการส่งคลื่นสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์ค่าหนึ่ง ผ่านช่องสัญญาณมัลติพาธในระบบสื่อสารไร้สาย เนื่องจากองค์ประกอบแต่ละความถี่ของคลื่นสัญญาณนี้อาจจะเดินทางถึงจุดหมายปลายทางด้วยเวลาประวิงที่ไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีความพยายามในการอธิบายคุณลักษณะของแบนด์วิดท์ ซึ่งคำนี้หมายถึงฟังก์ชันสหสัมพันธ์ที่ระหว่างกันอยู่แตกต่างกัน สัญญาณเหล่านี้จะได้อิทธิพลการคำนวณจะได้โคฮีเรนซ์



แบนด์วิดท์ ซึ่งคำนี้หมายถึงฟังก์ชันสหสัมพันธ์ที่ระหว่างกันอยู่แตกต่างกัน สัญญาณเหล่านี้จะได้อิทธิพลการคำนวณจะได้โคฮีเรนซ์

(2.65)

ค่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ในระบบแถบความถี่แคบ (narrowband system) หรือระบบแถบความถี่กว้าง (wideband system) การแบ่งแยกระบบให้พิจารณาจากแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่งกับค่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ที่คำนวณได้ กล่าวคือ ถ้าสัญญาณที่ส่งมามีแบนด์วิดท์น้อยกว่าหรือแคบกว่าค่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ จะจัดว่าระบบสื่อสารนี้เป็นระบบแถบความถี่แคบ และในทางกลับกันถ้าสัญญาณที่ส่งมามีแบนด์วิดท์มากหรือกว้างกว่าค่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิดท์ ให้จัดว่าระบบดังกล่าวเป็นระบบแถบความถี่กว้าง

ในระบบแถบความถี่แคบ องค์ประกอบของสัญญาณแต่ละส่วนจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณมัลติพาธในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ฉะนั้นสัญญาณที่รับได้ ณ ภาครับจึงมีรูปร่างลักษณะที่เหมือนกันกับที่ภาคส่งทุกประการ เพียงอาจจะมีขนาดที่แตกต่างกัน และโดยทั่วไปมักจะกล่าวว่าสัญญาณที่ส่งออกมาในแต่ละส่วนได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งแบบการเลือก (selective

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fading) ยกตัวอย่างเช่น หากพิจารณาช่องสัญญาณหนึ่งซึ่งคำนวณค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของดีเลย์สเปรด (RMS delay spread) ได้เท่ากับ 1.06 วินาที ฉะนั้นโคฮีเรนซ์แบนด์วิธของช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ

$$BW_c = \frac{1}{2\pi(1.06)} = 150 \text{ kHz}$$

ในมาตรฐานระบบโทรศัพท์ AMPS (Advanced Mobile Phone System) ส่งสัญญาณด้วยแบนด์วิธ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ต่อช่องสัญญาณ ซึ่งหมายความว่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิธของช่องสัญญาณ GSM (Global System for Mobile Communications) สูงกว่าค่าโคฮีเรนซ์แบนด์วิธของโทรศัพท์เคลื่อนที่

## 2.13 ระบบ

ระบบส่งสัญญาณและระบบที่ใช้ระบบได้โดยหรือภาครับอัน



ยเสอากาศในการ (throughput) ในประสิทธิภาพให้กับ

สัญญาณจากภาคส่ง หลุดลอดน้อยลง อีก

นัยหนึ่งคือทำให้อัตราการรับข้อมูลสูงขึ้น ระบบ MIMO สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการชดเชยสัญญาณที่ขาดหายไปด้วยสายอากาศต้นอื่นได้

ในระบบ MIMO นั้น ฟังผู้ส่งจะทำการส่งข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน ผ่านเสอากาศแต่ละตัวอย่างต่อเนื่องบนช่วงคลื่นความถี่เดียวกัน และฟังผู้รับเสอากาศแต่ละตัวก็จะได้รับสัญญาณจากทุกเสอากาศของฟังผู้ส่ง ดังรูปที่ 2.32



สัญญาณในช่วงความถี่และเวลาเดียวกัน โดยใช้รหัสแผ่ที่แตกต่างกันและอาศัยคุณสมบัติตั้งฉากของรหัสแผ่เหล่านี้ในการแยกแยะข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนออกจากกัน เมื่อเกิดผลกระทบจากช่องสัญญาณ เช่น การถูกลดทอนโดยเฟดดิ้งจะทำให้ชุดรหัสที่ใช้มีการตั้งฉากกันอย่างไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดค่าสหสัมพันธ์ไขว้ระหว่างรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่ไม่เท่ากับศูนย์

## 2.14 อีควอลไลเซอร์

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายโดยทั่วไปนั้น จะได้รับผลกระทบจากปัญหาการแทรกสอดระหว่างสัญญาณลักษณะหรือ ISI ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นสัญญาณมีเส้นทางการเดินทางหลายวิธี (multipath

จำนวนหนึ่งที่มี

รูปสัญญาณที่รับ

สัญญาณเกิดค

สัญญาณที่รับไ

ให้กลับมามีค

ช่องสัญญาณมี

เคลื่อนที่ได้ เ

ตัวอีควอลไลเซ

ในขณะเวลานี้

(adaptive equa

ในกา

สลบกันไปตลอด

sequence) ไปให้ภาครับ ซึ่งบิตข้อมูลชุดนี้ภาครับจะทราบอยู่ก่อนแล้วว่าเป็นอะไร เมื่อภาครับได้รับ

บิตสัญญาณที่บรรจุชุดลำดับการฝึกนี้ ก็จะทำการประมวลผลและปรับค่าสัมประสิทธิ์การคูณภายใน

วงจรอีควอลไลเซอร์ให้เหมาะสมกับสภาพของช่องสัญญาณในขณะนั้นๆ หลังจากค้นหาทางส่งชุดลำดับ

การฝึกในช่วงแรกครบแล้ว ช่วงต่อมาจะเป็นการส่งบิตข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้จากภาคส่งไปยัง

ภาครับ ในช่วงเวลานี้วงจรอีควอลไลเซอร์ก็จะทำการแก้ไขปรับปรุงสัญญาณที่รับได้โดยใช้ค่า

สัมประสิทธิ์การคูณที่ได้คำนวณไว้จากช่วงก่อนหน้า ค่าสัมประสิทธิ์การคูณเหล่านี้จะถูกใช้งาน

อยู่ระยะหนึ่งจนเมื่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไป ด้านส่งก็จำเป็นที่จะต้องส่ง

ชุดลำดับการฝึกมายังภาครับใหม่เพื่อใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อีกครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้การแก้ไข

สัญญาณที่รับได้มีความถูกต้องมากที่สุด



สัญญาณเดียวกัน

ลักษณะ ส่งผลให้

ค่าบิตของภาครับ

กล่าวคือ การนำ

มาปรับแก้สัญญาณ

คุณลักษณะของ

ปในระบบสื่อสาร

แต่ละพื้นที่ ดังนั้น

ของช่องสัญญาณ

จึงปรับแก้ได้

สัญญาณเป็น 2 ช่วง

การฝึก (training

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบภาครับแบบไทม์โดเมน

#### 3.1 บล็อกไดอะแกรม (block diagram) แสดงการทำงานของ MC-CDMA

##### 3.1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MC-CDMA ในภาคส่ง



$$s_m(t) = a_m[k] \sum_{i=0}^L c_m[i] \cos\{2\pi(f_c + \frac{i}{T_b})t\} p_{T_b}(t - kT_b) \quad (3.1)$$

โดยจากสมการ (3.1)

$a_m[k]$  คือ ข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $m$  จำนวน  $k$  บิตข้อมูล

$c_m[i]$  คือ รหัสแผ่ของผู้ใช้รายที่  $m$  ดังนั้น  $c_m \in \{-1, 1\}$

$f_c$  คือ ความถี่ของคลื่นพาหะ (carrier frequency)

$T_b$  คือ ระยะเวลาระหว่างสัญลักษณ์ (symbol duration)

$\frac{F}{T_b}$  คือ ช่วงความถี่ระหว่างพาหะย่อยแต่ละตัว โดย  $F$  จะเป็นจำนวนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\cos\{2\pi(f_c + \frac{F}{T_b}i)t\}$  คือ สมการของคลื่นพาหะย่อย

$P_T$  คือ แอมพลิจูดของสัญญาณพัลส์ (pulse) โดยจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 และ  $T_b$

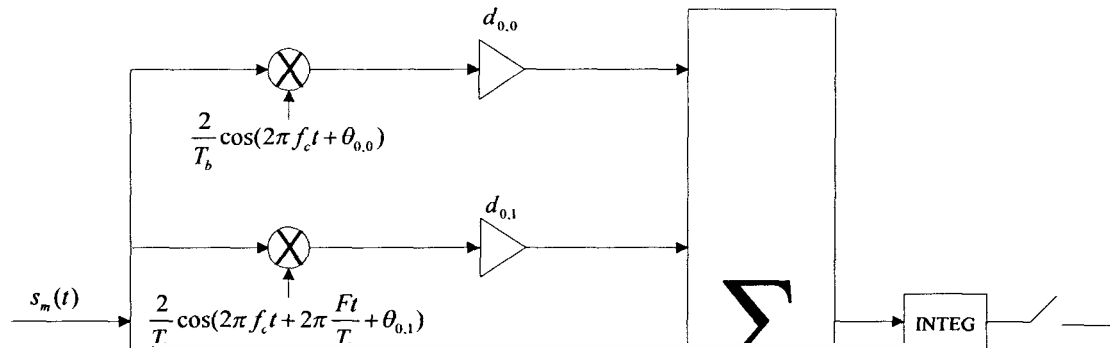
ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

1. ข้อมูลของผู้ใช้  $a_m[k]$  หมายถึง ข้อมูลของผู้ใช้รายที่ m และข้อมูลจำนวน k บิต
2. ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น N ส่วน แล้วแต่ละส่วนจะถูกนำไปคูณกับ รหัสแผ่  $c_m[i]$  โดย  $i$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง N-1
3. หลังจากนั้นข้อมูลที่ออกมาในแต่ละส่วนนั้น จะถูกนำไปคูณด้วยคลื่นพาหะย่อย ที่มี ความถี่ต่างกันแบบออร์ทोगอนอล และ ผลลัพธ์ที่ได้จะนำมารวมกันเพื่อ
4. สัญญาณที่ออกมา



จากกันแบบออร์ทोगอนอล เปลี่ยน เฟส ของพาหะย่อยที่ ด้วย เพราะหาก อย จะทำให้การ มพันธ์ไขว้ได้ นำมารวมกันเพื่อ

### 3.1.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MC-CDMA ในภาครับแบบโหม้โดเมน



รูปที่ 3.2



โหม้โดเมน

(3.2)

โดยจากสมการ

$\rho_{m,i}$  คือ ผลคูณ

$\theta_{m,i}$  คือ แรนดอมเฟส

$\cos\{2\pi(f_c + \frac{F}{T_b})t + \theta_{m,i}\}$  คือ สมการคลื่นพาหะย่อยที่มีการแรนดอมเฟสที่ใช้ในการคูณกลับ

INTEG คือ วงจรอินทิเกรเตอร์

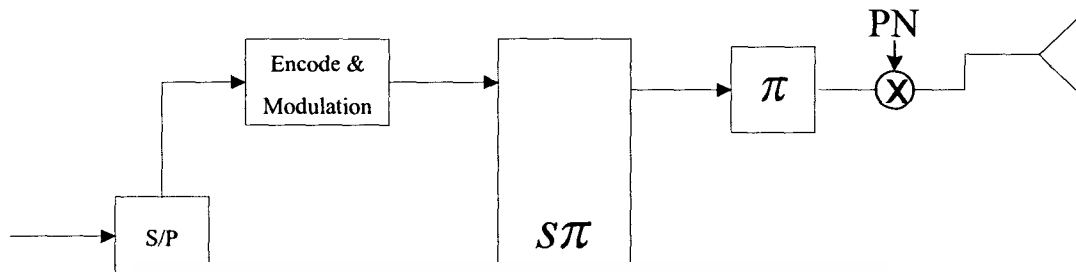
ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

1. สัญญาณจะถูกนำมาคูณกลับด้วยค่าความถี่ของพาหะย่อยทั้ง N ตัว
2. สัญญาณแต่ละตัวที่เป็นลำดับการแผ่จะถูกนำมาแผ่กลับด้วยชุดรหัสการแผ่กลับ ( $d_{0,N-1}$ )
3. เมื่อสัญญาณถูกแผ่กลับเรียบร้อยแล้ว นำสัญญาณแต่ละชุดที่ได้มารวมกัน
4. นำสัญญาณเข้าวงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรเปรียบเทียบ จะได้ชุดบิตข้อมูลเดิมออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO-CDMA

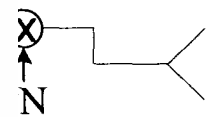
#### 3.2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO-CDMA ในภาคส่ง



รูป

การที่  
มาในระบบ แ  
ถูกทำการเข้าร  
นะบล็อกไปเป็น  
ไทม์อินเตอร์ลี  
จะถูกนำมาผ่า  
ในลักษณะเซ

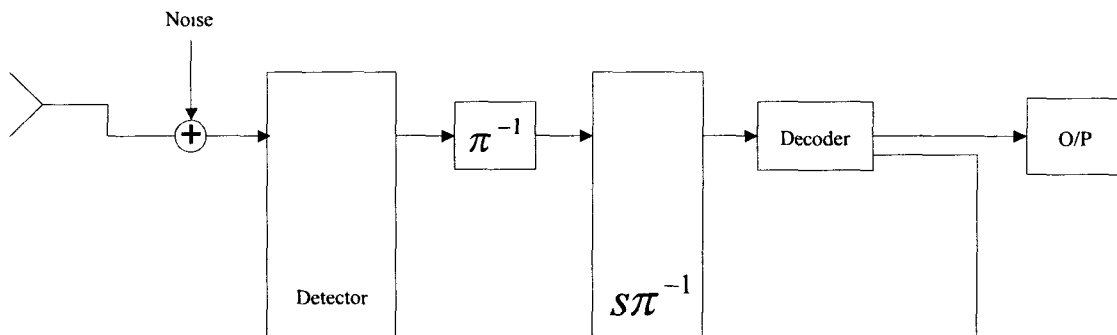
ของเฟรม ซึ่งเมื่อค่าทั้งสองนี้มีค่าจะทำให้ข้อมูลที่ส่งมีข้อผิดพลาดลดน้อยลงจากต้นฉบับและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และขั้นตอนสุดท้ายก่อนจะทำการส่งสัญญาณออกไปผ่านเสาส่งสัญญาณจะต้องนำค่าที่ได้เหล่านั้น มาทำการคูณด้วยรหัส PN ซึ่งเป็นรหัสแม่ หลังจากนั้นก็จะสามารถทำการส่งสัญญาณที่ได้ผ่านการทำสเปรดสเปกตรัม ซึ่งเป็นรูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณในระบบ CDMA



ภาคส่ง

ที่ผู้ใช้ส่งข้อมูลเข้า  
งจากนั้นข้อมูลจะ  
ณจากสัญญาณแ  
ผ่านกระบวนการ  
มา ข้อมูลทั้งหมด  
งานเป็นขั้นตอน  
ความผิดพลาด

3.2.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO-CDMA ในภาครับแบบไทม์โดเมน



รูปที่ 3.4 1

ในระ  
สัญญารบค  
เทกเตอร์ (d  
(spatial deinte

บไทม์โดเมน

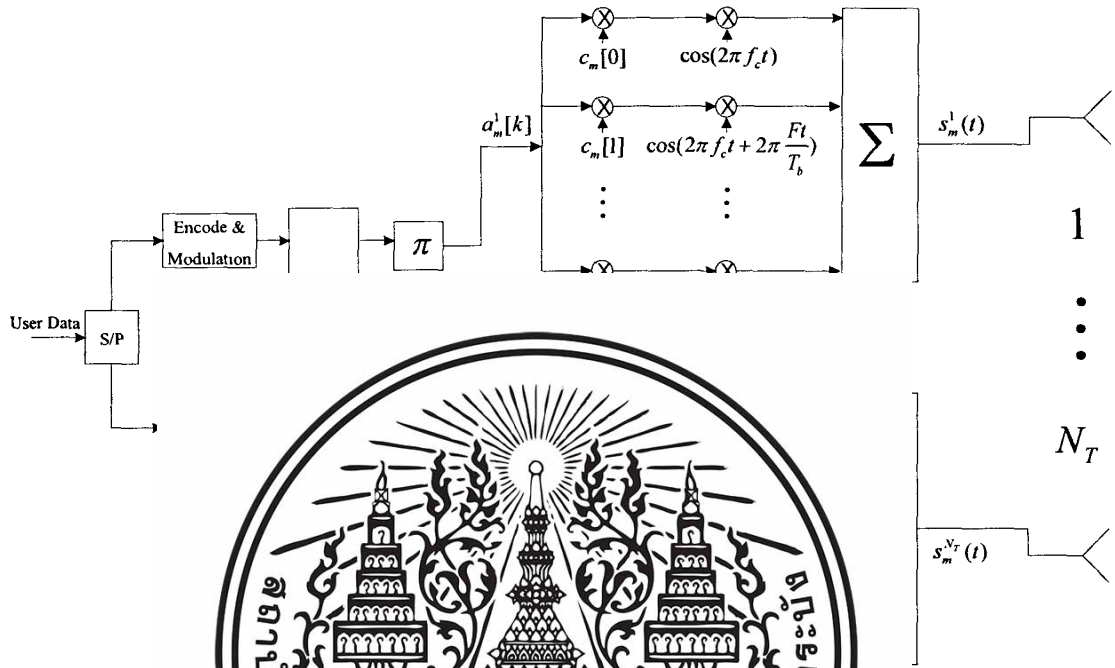
งสัญญาณก็จะเกิด  
เวนออกด้วยตัว ดี  
เซี่ยลตีอินเตอร์ลีฟ  
การไทม์ตีอินเตอร์

ลีฟ (time deinterleaving) เพื่อทำการสลับตำแหน่งของบิตข้อมูลให้กลับมามากต้อง แต่กระบวนการ  
ที่ผ่านมานั้นอาจทำให้ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลนั้นมีไม่มากพอ จึงต้องทำการ  
ป้อนค่ากลับ โดยนำข้อมูลที่ได้มาผ่านกระบวนการไทม์อินเตอร์ลีฟและสเปเชียลอินเตอร์ลีฟอีก  
ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ไปลบออกจากสัญญาณข้อมูลที่ต้องการ หรือเป็นการวนซ้ำเพื่อให้ได้สัญญาณที่  
มีการรบกวนน้อยที่สุด และให้อัตราความผิดพลาดของบิตต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA

#### 3.3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ในภาคส่ง



รูปที่

เมื่อส่ง

เข้าอนุกรมของ  
ข้อมูลของผู้ใช้

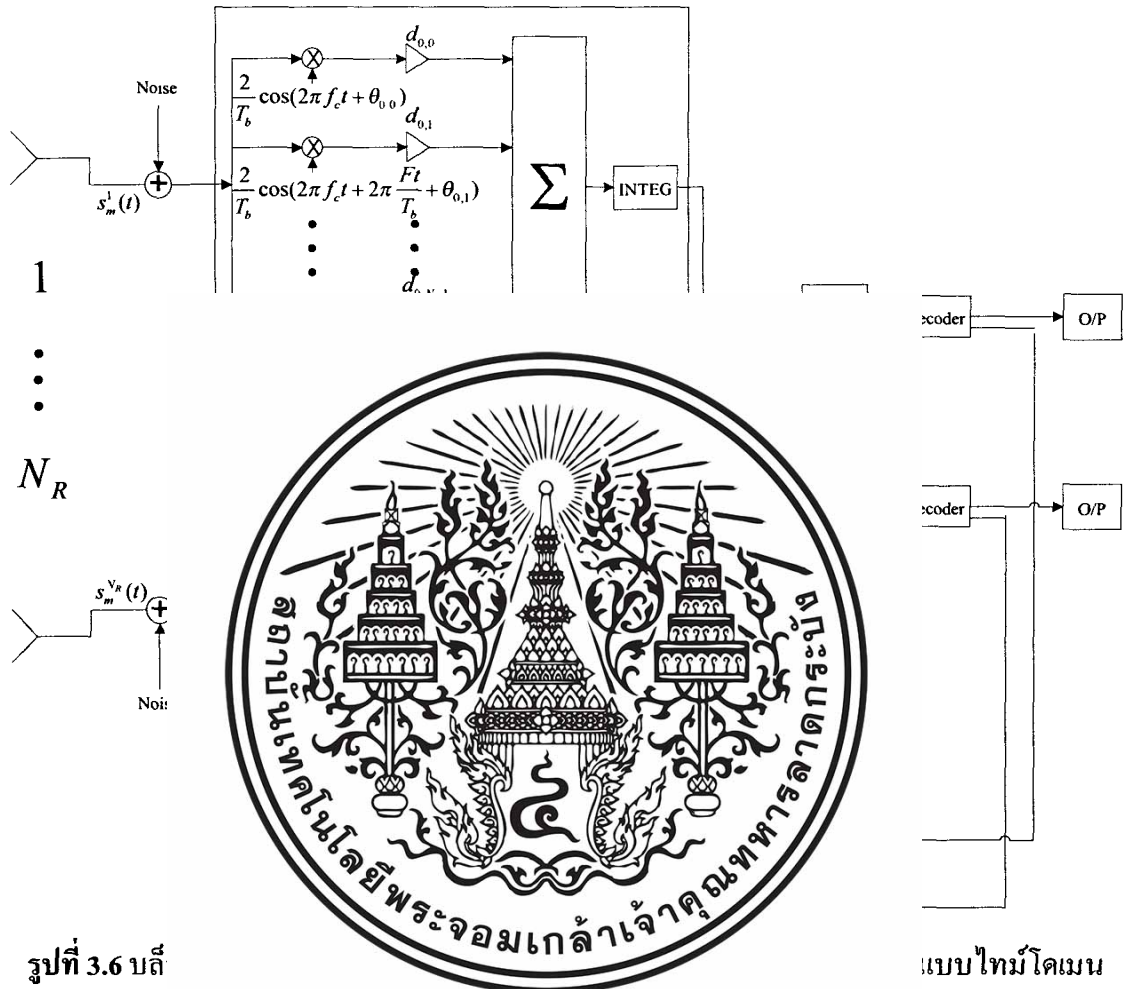
พาหะค่าต่างๆที่เป็นอโทโกนอลกันตามสูตร  $\cos\{2\pi(f_c + \frac{F}{T_b}i)t\}$  หลังจากนั้นก็จะนำมา  
รวมกันเฉพาะในผู้ใช้แต่ละราย แล้วจึงค่อยนำข้อมูลของทุกๆ ผู้ใช้มารวมกัน โดยแยกคนละ  
สายอากาศเพื่อที่จะทำการส่งสัญญาณไปยังภาครับต่อไป

ภาคส่ง

โคงจากข้อมูลโดย  
เตอร์สี่ฟแล้ว บิต  
นำไปคูณกับคลื่น

3.3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ในภาครับแบบใหม่

โดเมน



รูปที่ 3.6 บล็อก

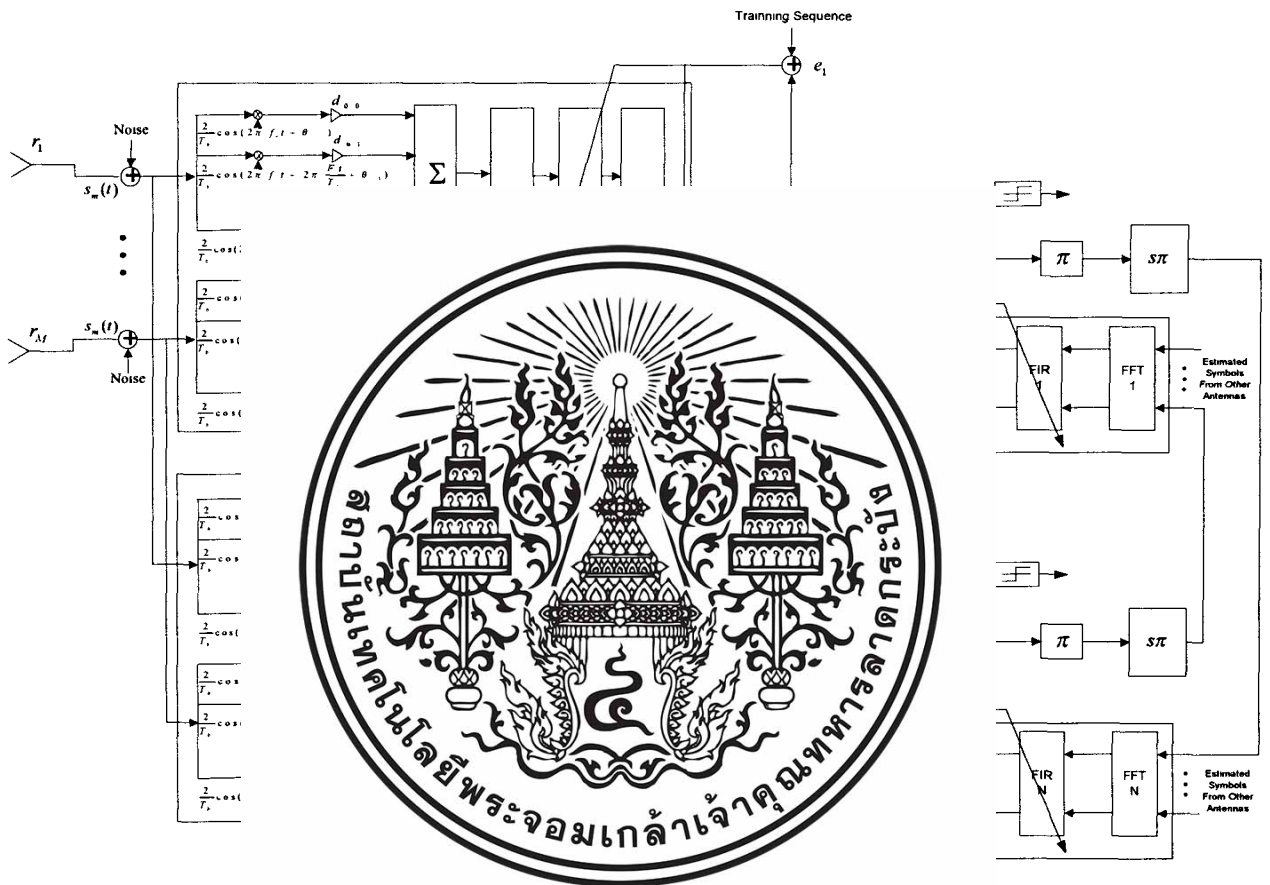
แบบใหม่โดเมน

ในภาครับเมื่อรับสัญญาณที่ส่งมาแล้ว สัญญาณจะถูกนำมาคูณกลับด้วยคลื่นพาหะแต่ละค่า เพื่อที่จะทำให้ได้ค่าบิตข้อมูลออกมา แล้วหลังจากนั้นจึงทำการถอดรหัส PN ออก แล้วทำการถอดสัญญาณในรูปแบบของ MIMO CDMA ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น โดยเทคนิคการวนกลับนั้นยังคงทำในลักษณะเดิมตามรูปแบบของ MIMO CDMA

## บทที่ 4

### การออกแบบภาครับแบบฟรีแควนซีโดเมน

#### 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ของภาครับแบบฟรีแควนซีโดเมน



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MIMO MC-CDMA ของภาครับแบบฟรีแควนซีโดเมน

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา มา เราเห็นว่าภาครับแบบฟรีแควนซีโดเมนที่ปรับค่าได้ (adaptive frequency domain) สามารถลดความซับซ้อนของการคำนวณ ในส่วนของการตีเทกข้อมูลของระบบการสื่อสารได้เป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับภาครับแบบไทม์โดเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 ได้นำระบบพรีแควนซีโดเมนมาใช้กับภาครับแบบ MIMO MC-CDMA สัญญาณที่รับได้จากทุกเสาอากาศภาครับจะถูกแยกเข้าไปในส่วนของดีเทกเตอร์แต่ละตัว โดยแต่ละดีเทกเตอร์จะประกอบด้วยคลื่นพาหะและรหัส PN ของแต่ละค่า ซึ่งในการแยกแยะสัญญาณที่มาจากหลายๆ เส้นทางนี้จะมีการคำนวณที่มีความซับซ้อนที่สูง ดังนั้นเราจึงได้นำวิธีการแปลงให้เป็นพรีแควนซีโดเมนเข้ามาใช้ ซึ่งจะถูกละเปลี่ยนโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fast Fourier Transform: FFT) จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก FFT เป็นพรีแควนซีโดเมนแล้วจะถูกป้อนเข้าไปในวงจรกรองไปข้างหน้า (feed-forward filter) เพื่อทำการคูณในรูปแบบพรีแควนซีโดเมน จากนั้นก็ใช้อินเวอร์สฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Inverse Fast Fourier Transform: IFFT) แปลงสัญญาณเอาต์พุต

ต้องการ

สัญญาณพรีแควนซีโดเมน

ในโดเมนที่เร

แปลงให้อยู่ในรูป

(4.1)

ซึ่ง



(4.2)

และ

$$\Omega_l = \sum_{l=0}^{M-1} r_l^l e^{-\frac{j2\pi l q t}{M}} \tag{4.3}$$

FFT(.) แทนฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม และ  $\Omega_l^q, q = 1, \dots, M$  , คือสัญญาณที่ถูกแปลง FFT ของเสาอากาศภาครับที่มีจำนวน  $M$  เสา ที่เวลาครั้งที่  $t$

ให้  $w_f^{l,k}(t)$  คือ  $M \times 1$  ในรูปโดเมนของเวกเตอร์สัมพันธ์ในแถบวงจรกรองไปข้างหน้าสำหรับเสาส่งลำดับที่  $l$  ระหว่างการวนรอบที่  $k$  ที่เวลาครั้งที่  $t$  โดยให้

$$w_f^{l,k}(t) = [w_{f,0}^{l,k}(t), \dots, w_{f,q}^{l,k}(t), \dots, w_{f,M-1}^{l,k}(t)]^T \tag{4.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $w_{f,q}^{\prime,k}(t)$ ,  $q=1,\dots,M$  คือสัมประสิทธิ์ของแถบวงจรรองไปข้างหน้าทีสอดคล้องกับเสาอากาศลำดับที่  $q$

ให้  $\Psi_{f,i}^{\prime,k}$  แทนสัญญาณที่ถูกแปลง FFT มาจาก  $w_{f,i}^{\prime,k}(t)$  แสดงด้วย

$$\Psi_{f,i}^{\prime,k} = \text{fft}(w_{f,i}^{\prime,k}(t)) \quad (4.5)$$

โดย

$$(4.6)$$

และ



$$(4.7)$$

ซึ่ง  $\Psi_{f,i}^{\prime,k}(q)$  ส่งลำดับที่  $i$  เข้าไปในวงจรในรูปแบบของเวลา  $t$  สำหรับ

สำหรับเสาอากาศ  $k$  จากนั้นส่ง  $\Omega_i$  ไปข้างหน้า  $\Psi_{f,i}^{\prime,k}$  เรวนรอบที่  $k$  ที่

$$\Gamma_i = \text{diag}(\Omega_i) \cdot \Upsilon_{f,i} \quad (4.8)$$

ซึ่ง  $\text{diag}(\cdot)$  คือ Diagonal Matrix

$\bar{F}_i^{\prime,k}$  จะถูกแปลงกลับเป็นแบบไทม์โดเมน โดยการใช้อินเวอร์สฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (IFFT) ซึ่งเอาต์พุตของวงจรรองไปข้างหน้าสำหรับเสาอากาศลำดับที่  $i$  ในการวนรอบที่  $k$  ณ เวลา  $t$  แสดงด้วย

$$F_i^{\prime,k} = \text{ifft}(\bar{F}_i^{\prime,k}) \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$F_i^{',k} = \frac{1}{M} \sum_{l=0}^{M-1} \bar{F}_i^{',k} e^{-j2\pi l} \tag{4.10}$$

ให้  $F_i^{',k}$  เป็นเอาต์พุตในรูปโดเมนของวงจรรองไปข้างหน้าสำหรับเสาอากาศลำดับที่  $i$  ในการวนรอบที่  $k$  ที่เวลา  $t$  แสดงด้วย

$$r_{i,k} = \dots \tag{4.11}$$

โดย  $I_F$  คือ  $I_F$   
 วนรอบรอบแ  
 กระบวนการก  
 symbol) ที่ได  
 หลังจ  
 โดยสัญลักษณ์  
 วงจรรองป้อ  
 สัญลักษณ์  
 โดเมนโดยใช้  
 ช่วงสัญลักษณ์



ยทั้งหมด ในการ  
 แต่ยังไม่ม  
 มาณ (estimated  
 การตีเทกชั่นด้วย  
 โอนกลับเข้าไปใน  
 ให้เป็นฟรีควนซ์  
 แทนด้วย  $\Lambda_i^{',k}$  ที่

$$\dots \tag{4.12}$$

โดยที่

$$\Lambda_i^{',k} = [\Lambda_{i,1}^{',k}, \dots, \Lambda_{i,b}^{',k}, \dots, \Lambda_{i,N-1}^{',k}] \tag{4.13}$$

และ

$$\Lambda_{i,b}^{',k} = \sum_{m=1}^{KN-1} \hat{x}_{i,m}^{',k} e^{-j2\pi am / KN-1}; \quad a \in (1 \cdot N-1) \tag{4.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $\hat{x}_{i,p}^{',k}$  คือ  $(N-1) \times 1$  เวกเตอร์ของสัญลักษณ์แบบซอฟต์แวร์ที่ได้จากการประมาณ (estimated soft symbols) ที่การวนรอบที่  $k$  จากวงจรถอดรหัสแมปที่เสาอากาศลำดับที่  $i$  ระหว่างช่วงเวลา  $t$  แสดงโดย

$$\hat{x}_{i,p}^{',k} = (\hat{x}_i^{1,k}, \hat{x}_i^{2,k}, \dots, \hat{x}_i^{i-1,k}, \hat{x}_i^{i+1,k}, \dots, \hat{x}_i^{N,k}) \quad (4.15)$$

ให้  $w_b^{',k}(t)$  คือ  $(N-1) \times 1$  สัมประสิทธิ์ของวงจรกรองป้อนกลับที่อยู่ในรูปโดเมนของเสาอากาศลำดับที่  $i$  ที่เวลา  $t$  แสดงโดย

$$(4.16)$$

กำหนดให้  $\Psi_i'$



$$(4.17)$$

ซึ่ง

$$(4.18)$$

และ

$$\Psi_{i,b}^{',k}(a) = \sum_{m=0}^{N-2} w_{i,b}^{',k}(m) e^{\frac{-j2\pi am}{N-1}} \quad (4.19)$$

โดยเอาต์พุตของ FFT แทนด้วย  $\Lambda_i^{',k}$  จากนั้นนำมาใช้ในวงจรป้อนกลับร่วมกับสัมประสิทธิ์ในรูปปริเวณซีโดเมนของวงจรป้อนกลับ  $\Psi_{i,b}^{',k}$  เพื่อที่จะทำการคูณกันในรูปปริเวณซีโดเมน สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองป้อนกลับคือ  $\bar{F}_{i,b}^{',k}$  ที่ช่วงสัญลักษณ์ที่  $t$  แสดงโดย

$$\bar{F}_{i,b}^{',k} = (\text{diag}(\Lambda_i^{',k}) \cdot \Psi_{i,b}^{',k}) \quad (4.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\bar{F}_{i,b}^{l,k}$  ถูกแปลงกลับไปสู่โดเมนโดย IFFT โดยเอาต์พุตของวงจรรองป้อนกลับสำหรับเสาอากาศที่  $i$  ของผู้ใช้คนที่  $p$  ระหว่างการวนรอบที่  $k$  ที่ช่วงสัญลักษณ์ที่  $l$  แสดงโดย

$$F_{i,b}^{l,k} = \text{ifft}(\bar{F}_{i,b}^{l,k}) \quad (4.21)$$

โดยที่

$$F_{i,b}^{l,k} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \bar{F}_{i,b}^{l,k} e^{-j2\pi m \frac{N-l}{N}} \quad (4.22)$$

ให้  $F_{i,b}^{l,k}$   
ระหว่างการวน

อากาศลำดับที่  $i$

(4.23)

ซึ่ง  $I_B = [1 \ C$   
ที่ถูกตีเทกได้จ  
โดยส  
(adaptive dete  
สัญลักษณ์ที่  $l$



หมด โดยเอาต์พุต  
อื่นๆในระบบ  
อร์แบบปรับค่าได้  
รอบที่  $k$  ที่ช่วง

$$y_i^{l,k} = x_i^{l,k} + n_i^{l,k} \quad (4.24)$$

ซึ่ง  $F_{i,b}^{l,k}$  และ  $F_{i,p}^{l,k}$  แทนเอาต์พุตในรูปโดเมนที่ออกจากวงจรรองไปข้างหน้าและวงจรรองป้อนกลับที่มาจากสัมประสิทธิ์ของวงจรรองไปข้างหน้า  $w_f^{l,k}(t)$  และวงจรรองป้อนกลับ  $w_b^{l,k}(t)$  ที่แสดงในสมการที่ 4.4 และ 4.16 ได้ถูกพิจารณาซ้ำๆด้วยอัลกอริทึม LMS แบบปรับค่าได้ (adaptive Least Mean Square: LMS Algorithm) ดังนั้นค่าเฉลี่ยทางสถิติของค่าความผิดพลาดยกกำลังสอง (MSE) แสดงโดย

$$\zeta = E[|e(t)|^2] = E[|y_i^{l,k} - x_i^{l,k}|^2] \quad (4.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $y_i^{',k}$  คือเอาต์พุตจากซอฟต์แวร์ดีเทกเตอร์ (soft detector output) ในรูปไทม์โดเมน และสามารถแสดงให้อยู่ในรูปไทม์โดเมนโดยแสดงร่วมกับอัลกอริทึม LMS ดังแสดงในสมการที่ 4.26

$$y_i^{',k} = w_f^{',kH}(t)r_i(t) + w_b^{',kH}\hat{x}_i^{',k}(t) \quad (4.26)$$

โดยที่

$$w_f^{',k}(t+1) = w_f^{',k}(t) + u_f^{',k}(t+1)e(t) \quad (4.27)$$

และ

$u_f^{',k}$  และ  $u_b^{',k}$



(4.28)

(4.29)

และ

(4.30)

$P_f^{',k}$  และ  $P_b^{',k}$  มาจาก

$$P_f^{',k}(t+1) = \alpha_f^{-1}P_f^{',k}(t) - \alpha_f^{-1}u_f^{',k}(t+1)r_i^H(t)P_f^{',k}(t) \quad (4.31)$$

และ

$$P_b^{',k}(t+1) = \alpha_b^{-1}P_b^{',k}(t) - \alpha_b^{-1}u_b^{',k}(t+1)\hat{x}_i^{',kH}(t)P_b^{',k}(t) \quad (4.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของภาครับแบบไทม์โดเมนและฟรีควนซีโดเมน

### 4.2.1 ไทม์โดเมน

ในการคำนวณของภาครับแบบไทม์โดเมนที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้ (adaptive iteration) โดยใช้อัลกอริทึม LMS นั้น กำหนดให้  $N$  คือจำนวนเสาส่ง  $M$  คือจำนวนเสารับ การคูณของวงจรกรองไปข้างหน้าเท่ากับ  $2M + 1$  และ การคูณของวงจรกรองป้อนกลับเท่ากับ  $2(N - 1) + 1$  ดังนั้นจะได้สมการการคำนวณทั้งหมดคือ  $NI(2M + 2N)$  เมื่อ  $N$  คือจำนวนของเสาส่ง  $M$  คือจำนวนของเสารับ และ  $I$  คือจำนวนรอบการวนซ้ำของสัญญาณ

### 4.2.2 ฟรีควนซีโดเมน

ในกา  
อัลกอริทึม LM  
วงจรกรองป้อน  
 $NI(\log_2(2M$   
 $I$  คือจำนวนร  
เราสา  
กับภาครับแบบ  
ตัวอย่าง  
กำหนดให้  $N$   
สมการคำนวณ  
แทนค่า



ได้ โดยใช้  
) และการคูณของ  
จำนวนทั้งหมดคือ  
เนของเสารับ และ  
คเมนเปรียบเทียบ

สมการคำนวณ  
แทนค่า

$$(5)(20)(\log_2(2(5) + 1) + \log_2(2(5) - 1)) = 663$$

$\cdot \log_2(2N - 1))$

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณเปรียบเทียบความซับซ้อนของแบบไทม์โดเมนและฟรีควนซีโดเมน

| Algorithm                 | Adaptive LMS  |                                       |
|---------------------------|---------------|---------------------------------------|
|                           | Time Domain   | Frequency Domain                      |
| Number of Multiplications | $NI(2M + 2N)$ | $NI(\log_2(2M + 1) + \log_2(2N - 1))$ |
| Computational Complexity  | 2000          | 663                                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 ค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1. จำนวนผู้ใช้ 3 ราย
2. จำนวนรหัสผ่าน 7 บิต
3. ทำการทดลองในช่วงของค่า SNR ตั้งแต่ 15 ถึง 50 เดซิเบล
4. ความถี่ของคลื่นพาหะ ( $f_c$ ) 2 กิกะเฮิร์ตซ์
5. ร
6. ค
7. ค
8. จี
9. ก
10. จี



รทดลองหนึ่งครั้ง

## 5.2 ผลการทดลองของภาครับแบบไทม์โดเมน

การทดลองของภาครับแบบไทม์โดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS นั้น เราจะเปรียบเทียบด้วยการใช้จำนวนสายอากาศในภาครับและภาคส่งที่ต่างกันออกไป และด้วยจำนวนรอบของการวนซ้ำ ซึ่งจะแสดงด้วยค่าอัตราความผิดพลาดของบิต ณ ค่า SNR ต่างๆ

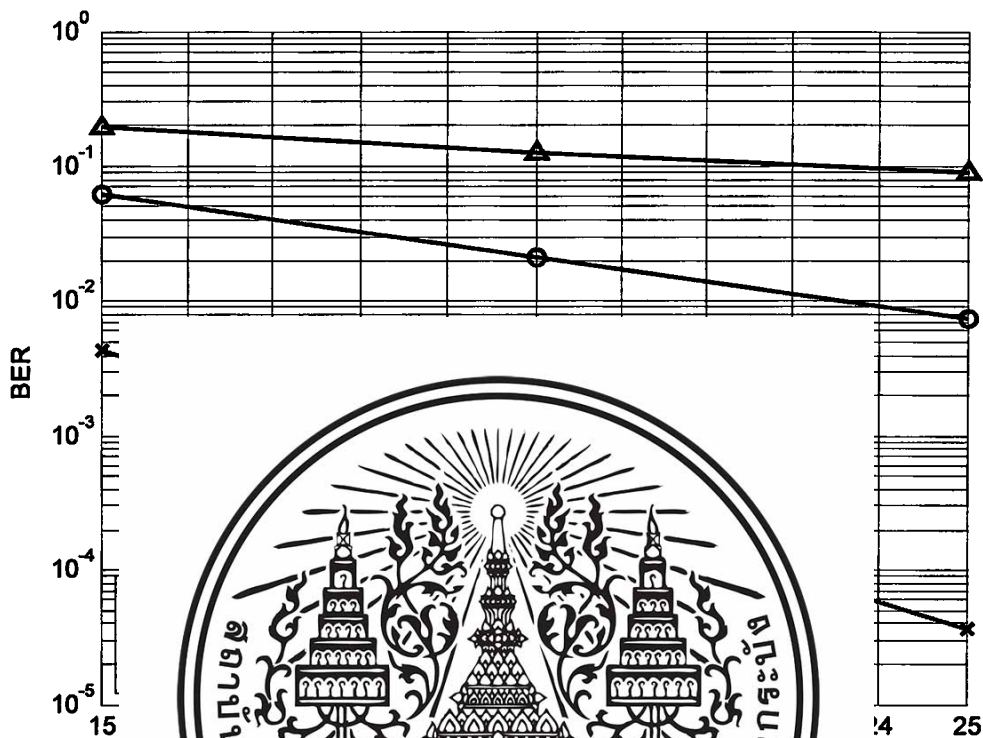
### 5.2.1 เมื่อเปรียบเทียบระบบ CDMA กับระบบ MC-CDMA



รูปที่ 5.1 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะ และระบบ CDMA แบบคลื่นพาหะเดียวปกติ โดยใช้สายอากาศส่ง 1 สายและรับ 1 สาย

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะมีค่าอัตราความผิดพลาดของบิตน้อยกว่าระบบ CDMA แบบคลื่นพาหะเดียวปกติ และจะสังเกตได้ว่าเมื่อค่า SNR ยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตก็จะลดลงไปเรื่อยๆ

5.2.2 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนสายอากาศ



รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพของระบบ 1x2 สาย และ 1x1 สาย

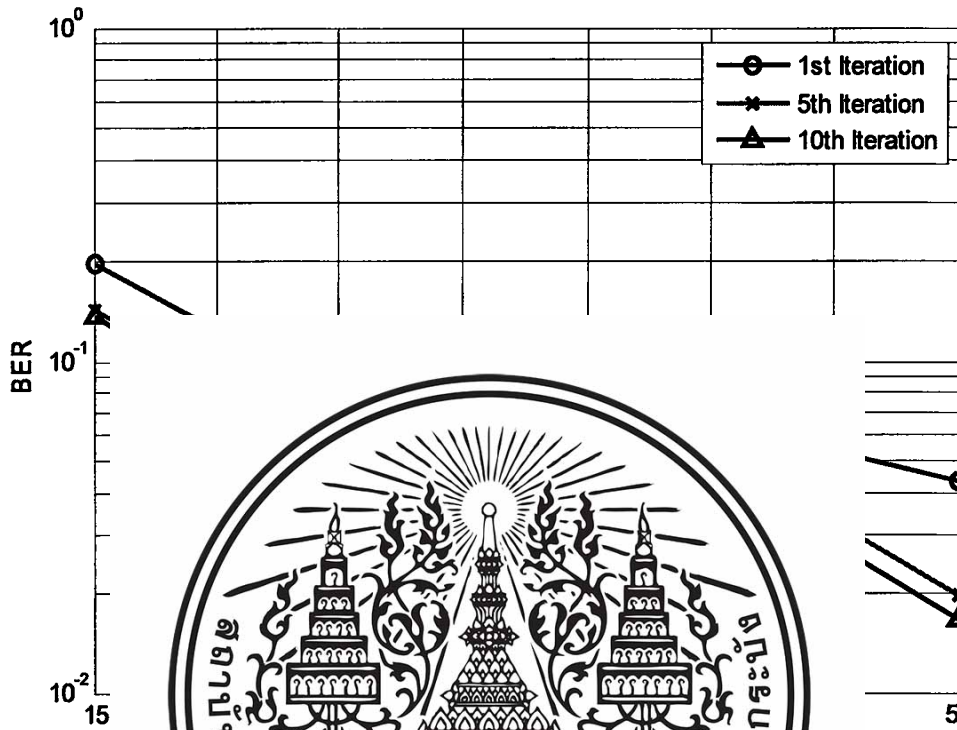
ประสิทธิภาพของระบบ 1x1 สาย

จากรูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพของระบบ 1x2 สาย และ 1x1 สาย

DMA แบบหลายคลื่นพาหะเป็น

ประสิทธิภาพที่ใช้สายอากาศ 1x1 สาย แต่เมื่อเพิ่มสายอากาศทางภาคส่งเป็น 2 สายจะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตมากขึ้นกว่าระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่ใช้สายอากาศ 1x1 สาย อีกทั้งจะสังเกตได้ว่าเมื่อค่า SNR ยังมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตก็จะลดลงไปเรื่อยๆ

5.2.3 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบการวนซ้ำที่ใช้สายอากาศ 2x1 สาย



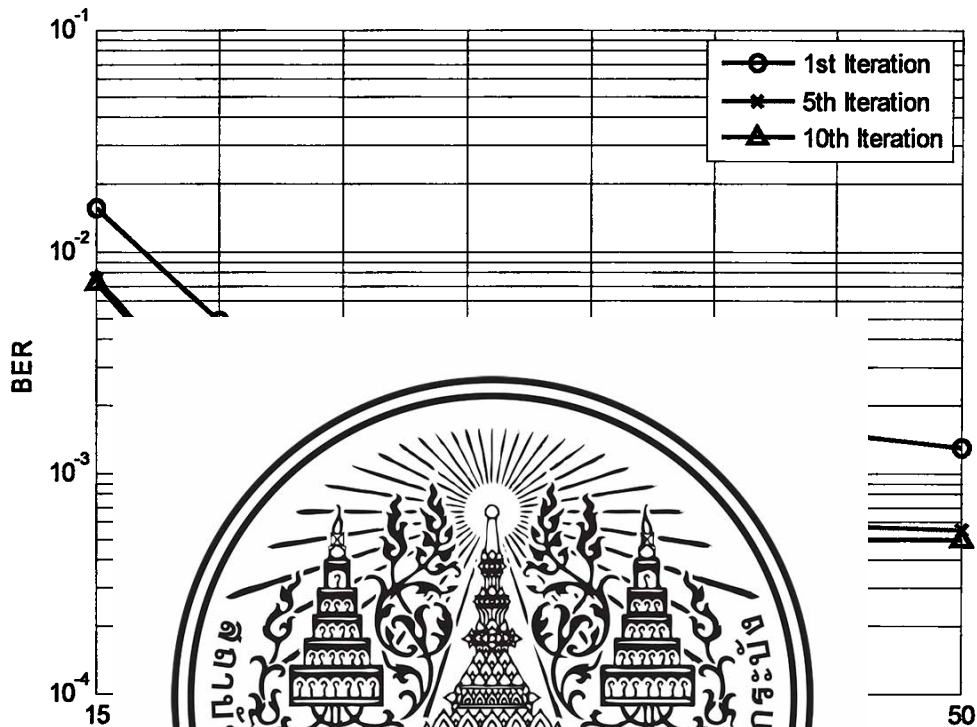
รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพที่ได้ที่ใช้อัลกอริ

จากรูปร่างความผิดพลาดลดลงไปเรื่อยๆ

วนซ้ำและปรับค่า

จะทำให้ค่าอัตราผิดพลาดของบิตก็จะ

### 5.2.4 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบการวนซ้ำที่ใช้สายอากาศ 2x2 สาย (MIMO)



รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพ  
ที่ได้ที่ใช้อัลกอริ

จากรูป  
ความผิดพลาด  
ลดลงไปเรื่อยๆ

วนซ้ำและปรับค่า

จะทำให้ค่าอัตรา  
ผิดพลาดของบิตก็จะ

### 5.3 ผลการทดลองของภาครับแบบพีริควอนซีโดเมน

การทดลองของภาครับแบบพีริควอนซีโดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS นั้น เราจะทำการเปรียบเทียบกับแบบไทม์โดเมน โดยจะเปรียบเทียบด้วยจำนวนรอบของการวนซ้ำและจำนวนผู้ใช้ ซึ่งจะแสดงด้วยค่าอัตราความผิดพลาดของบิต ณ ค่า SNR ต่างๆ เช่นเดิม

#### 5.3.1 เมื่อเปรียบเทียบแบบไทม์โดเมนกับพีริควอนซีโดเมนที่ใช้สายอากาศ 2x1 สาย

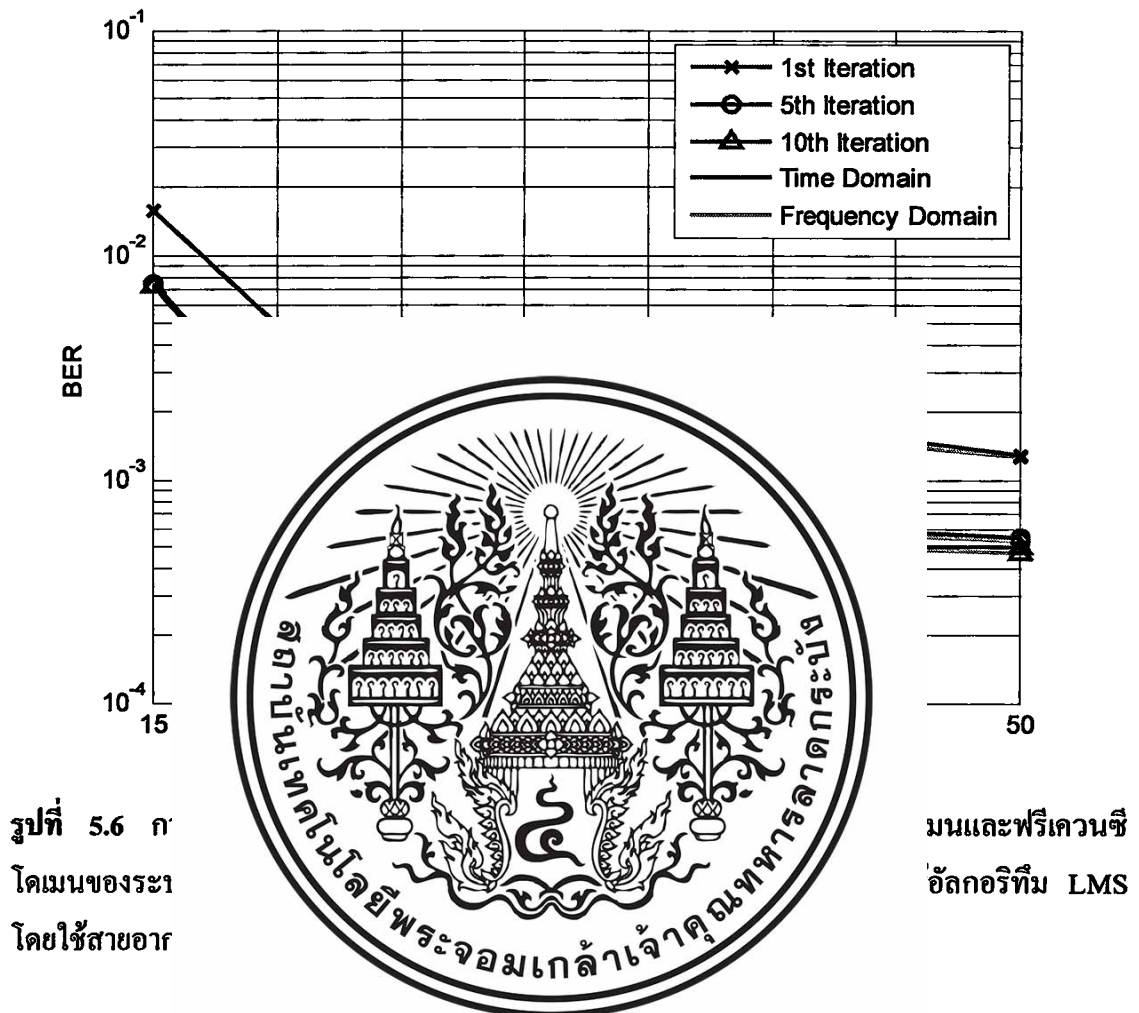


รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างภาครับแบบไทม์โดเมนและพีริควอนซีโดเมนของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS โดยใช้สายอากาศส่ง 2 สายและรับ 1 สาย

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของภาครับแบบไทม์โดเมนและพีริควอนซีโดเมนนั้นใกล้เคียงกันมาก หรืออาจกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพเท่ากัน โดยเมื่อทำการวนซ้ำด้วยจำนวนรอบที่มากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตน้อยลง และเมื่อค่า SNR ยังมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตก็จะลดลงไปเรื่อยๆ

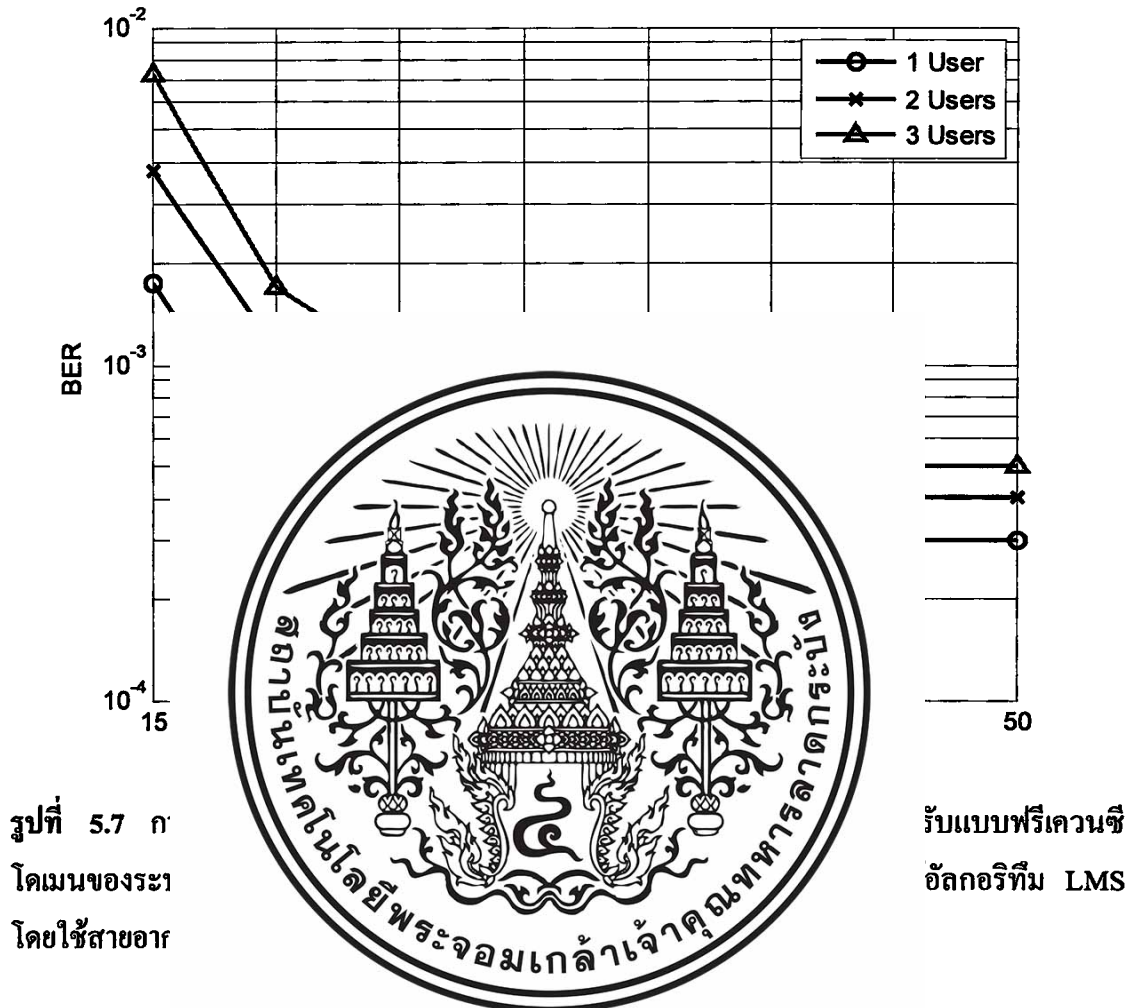
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 เมื่อเปรียบเทียบแบบใหม่โดเมนกับฟรีควอนซีโดเมนที่ใช้สายอากาศ 2x2 สาย



จากรูป  
โดเมนนั้นใกล้เคียงกันมาก หรืออาจกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพเท่ากัน โดยเมื่อทำการวนซ้ำด้วย  
จำนวนรอบที่มากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตน้อยลง และเมื่อค่า SNR ยังมีค่าเพิ่มขึ้น  
ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตก็จะลดลงไปเรื่อยๆ

### 5.3.3 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้



รูปที่ 5.7 ก  
โดเมนของระนาบ  
โดยใช้สายอากาศ

รับแบบฟรีควอนตัม  
อัลกอริทึม LMS

จากรู

ควอนตัมโดเมนของ

ระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้ที่ใช้อัลกอริทึม LMS ด้วยจำนวนผู้ใช้งานที่ 1 ราย 2 ราย และ 3 ราย โดยใช้สายอากาศส่ง 2 สายและรับ 2 สาย และใช้ผลของการวนซ้ำรอบที่ 10 จะเห็นว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตก็จะมากขึ้น และเมื่อค่า SNR ยังมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตก็จะลดลงไปเรื่อยๆ



### 6.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ในการทำงานของระบบ CDMA แบบหลายคลื่นพาหะที่มีการวนซ้ำและปรับค่าได้ที่ใช้ อัลกอริทึม LMS นี้ หากจะนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานจริง ควรจะทำการพัฒนาในส่วนของอีควอไลเซอร์ ซึ่งถ้าดูจากผลการทดลองของเราแล้วจะเห็นว่าอัลกอริทึม LMS นั้น ความเร็วในการลู่เข้ายังไม่ดีพอ จึงควรศึกษาหาอัลกอริทึมใหม่ๆ เข้ามาใช้แทน ซึ่งอาจจะสามารถช่วยให้ดีเทกเตอร์มีความเร็วในการลู่เข้าที่ดีขึ้นได้ และทดลองศึกษาหาวิธีการใหม่ๆ ที่อาจจะมาช่วยลดความซับซ้อนของระบบลงได้อีก ซึ่งอาจจะทำให้ต้นทุนในการสร้างระบบนี้ต่ำลงไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ. 2548. เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย CDMA. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ. 2546. หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Mohinder Jankiraman. 2004. **Space-Time Codes and MIMO Systems**. Norwood : Artech House.

N. Y

**Rayleigh Fad**

Mobile Radio

Shins

**Communicati**

Vijay

**Wireless/Pers**

Valeri

Chichester : Jc

A. A.

**employing fre**

Proceedings of



ier CDMA in a

sonal, Indoor and

for 4G Mobile

tions of cdma in

id Applications.

ng architectures

ems. ISCAS '04.

H. H. *et al.*, 2003. **Frequency Domain adaptive equalization for MIMO systems**. presented at Vehicular Technology Conference. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58<sup>th</sup>.

L. Martoyo, T. Weiss, F. Capar, and F. K. Jondral. 2003. **Low complexity CDMA downlink receiver based on frequency domain equalization**. presented at Vehicular Technology Conference. VTC 2003 IEEE 58<sup>th</sup>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

เครื่องรับสัญญาณความซับซ้อนต่ำสำหรับระบบ CDMA  
แบบหลายคลื่นพาหะในระบบโครงข่ายไร้สายภายในอาคาร  
**LOW COMPLEXITY RECEIVER FOR MULTI-CARRIER CDMA  
IN INDOOR WIRELESS RADIO NETWORKS**



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 83076  
วัน,เดือน,ปี..... - 5 ส.ค. 2551

b. 11964182  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LOW COMPLEXITY RECEIVER FOR MULTI-CARRIER CDMA  
IN INDOOR WIRELESS RADIO NETWORKS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
หัวข้อปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ชื่อนักศึกษา นาย ทรงธรรม ลีเที่ยงธรรม รหัสนักศึกษา 47010266  
นาย พายุทัต ลือชาพานิชย์กุล รหัสนักศึกษา 47010509  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. จักรี ทิฆมภาคย์วิศิษฐ์  
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ  
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ  
ปีการศึกษา

ป:



้อยแล้ว

วิศิษฐ์)

ษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้