

**รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยงบประมาณปี 2546**  
**โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 2 เรื่อง**  
**การเชื่อมต่อทางอากาศของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4**

**ผู้รับผิดชอบโครงการ**

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

หัวหน้าโครงการ

**วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

1. ศึกษาความเป็นไปได้ และข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารไร้สาย ที่จะนำมาใช้ในอนาคต ซึ่งคาดว่าจะระบบ MC-CDMA
2. นำเสนอกรรมวิธีในการแก้ไขปัญหา และข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบ MC-CDMA
3. พัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อรองรับการนำระบบ MC-CDMA ไปใช้งานจริง

**แนวเหตุผล**

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายมีความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ความต้องการบริการต่าง ๆ ในระบบการสื่อสารไร้สายมีมากขึ้นอย่างไม่น่าเชื่อ จากความต้องการดังกล่าวทำให้มีการวิจัยพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายในอนาคตอย่างมากไปทั่วโลก เพื่อให้ประเทศไทยของเราก้าวทันเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยงานในสาขาดังกล่าวด้วยเช่นกัน จากการศึกษาในเบื้องต้น ระบบการสื่อสารไร้สายในอนาคตน่าจะอยู่บนพื้นฐานรูปแบบการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันที่เรียกว่า MC-CDMA (Multicarrier Code Division Multiple Access) ซึ่งระบบ MC-CDMA นี้เป็นการรวมกันของระบบ CDMA และระบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ระบบ MC-CDMA นี้มีจุดเด่นคือ มันมีสมรรถนะการใช้งานแถบความถี่ที่ดีมาก ได้รับประโยชน์จากความหลากหลายทางความถี่ (Frequency Diversity) และทนทานต่อการเฟดดิ้งหลายวิถี (Multipath Fading) อย่างไรก็ตาม ระบบ MC-CDMA ยังได้รับผลกระทบจากปัญหาความเหลื่อมของความถี่ (Frequency Offset) ปัญหาการมีช่วงป้องกันไม่พอ (Insufficient Cyclic Prefix) ปัญหาการมีระดับสัญญาณเปลี่ยนแปลงในทางเวลาในช่วงกว้าง (High Peak To Average Power Ratio) ปัญหาเกี่ยวกับการใช้ Waveform shaping และปัญหาการแทรกสอดจากการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน (Multiple Access Interference) นอกจากนี้ยังต้องมีการวิจัยเกี่ยวกับการประมาณช่องสัญญาณ การประมาณ Frequency Offset และการประมาณค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่สำคัญสำหรับการนำระบบ MC-CDMA ในใช้งานจริงในทางธุรกิจ

**แผนงานวิจัย**

โครงการวิจัยย่อยนี้ได้แบ่งออกเป็นแผนงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อให้ครอบคลุมส่วนสำคัญ ๆ ของระบบโทรคมนาคมไร้สายในอนาคตได้เป็นส่วนใหญ่ (โดยรวมกับแผนงานในโครงการวิจัยย่อยทางด้านสาขาอากาศยาน) ทั้งนี้ในปีที่ 2 นี้จะทำการศึกษารายละเอียดในแต่ละปัญหาย่อย ๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1. แผนงานวิจัยด้านการประมาณค่าช่องสัญญาณ  
แผนงานวิจัยนี้พิจารณาการประมาณค่าช่องสัญญาณในระบบ MC-CDMA ทั้งในช่องทางขาขึ้นและขาลง กลุ่มวิจัยได้พัฒนาเทคนิคการปรับค่าสัมประสิทธิ์การลืม (Forgetting Factor) สำหรับการ

ประมาณช่องสัญญาณขาลง แบบปรับตัวได้ และในขณะนี้นักวิจัยกำลังพัฒนาเทคนิคการประมาณช่องสัญญาณขาขึ้นแบบที่ไม่ต้องใช้สัญญาณอ้างอิง

2. แผนงานวิจัยด้านการประมาณค่า Frequency Offset  
แผนงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การประมาณค่า Frequency Offset ในช่องสัญญาณขาลง ที่ได้รับผลกระทบจากการเฟดดิ้งหลายวิถี งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอเทคนิคการประมาณความยาวของช่องสัญญาณ และการประมาณค่า Frequency Offset ที่เกินกว่าช่วง  $-0.5$  ถึง  $0.5$
3. แผนงานวิจัยด้านแก้ปัญหา High Peak To Average Power Ratio  
แผนงานวิจัยนี้สนใจปัญหาเกี่ยวกับเรื่อง High Peak To Average Power Ratio ในงานวิจัยนี้มีการใช้เทคนิค Partial Transmit Sequence ในระบบ MC-CDMA เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีค่า Peak To Average Power Ratio น้อย ร่วมกับ Multiuser Detection
4. แผนงานวิจัยด้านแก้ปัญหา Insufficient Cyclic Prefix และ Frequency offset  
แผนงานวิจัยนี้พิจารณาปัญหา Insufficient Cyclic Prefix และ Frequency offset พร้อมกัน โดยเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องรับแบบ Multiuser detection with ISI cancellation (MUD-ISIC) แผนงานวิจัยนี้ยังได้ทำการพัฒนาเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับเครื่องรับ MUD-ISIC เพื่อให้เครื่องรับดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริง และยังได้พิจารณาถึงความจำเป็นของการใช้ Cyclic Prefix ด้วย
5. แผนงานวิจัยด้านแก้ปัญหาเกี่ยวกับการใช้ Waveform shaping  
แผนงานวิจัยนี้พิจารณาการใช้ Waveform shaping เพื่อแก้ปัญหาคาร์รี่ยุ่ไหลของสเปกตรัมออกไปนอกแถบความถี่ที่ได้รับอนุญาต การใช้ Waveform shaping ทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมา ซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการแก้ไข
6. แผนงานวิจัยด้านเทคโนโลยีหลายเสาอากาศส่งหลายเสาอากาศรับ (MIMO)  
แผนงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ เทคโนโลยี MIMO ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก กลุ่มวิจัยได้พยายามนำหลักการของ MIMO เข้ามาเพิ่มสมรรถนะของระบบ MC-CDMA ทั้งในด้านความจุของระบบ และอัตราความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูล นอกจากนี้ยังได้พิจารณาการประมาณช่องสัญญาณในระบบ MIMO ด้วย
7. แผนงานวิจัยด้านเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทคชัน (Multiuser Detection)  
แผนงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาเครื่องรับในการแก้ปัญหา MAI ในระบบ MC-CDMA โดย Multiuser Detection ที่สนใจเป็น Multiuser Detection รูปแบบใหม่ที่มีความน่าสนใจ ได้แก่ Multiuser Detection แบบ Iterative (Turbo) Multiuser detection และแบบ Widely Linear Multiuser Detection

## 1. แผนงานวิจัยด้านการประมาณค่าช่องสัญญาณ

### 1.1 การประมาณคุณลักษณะช่องสัญญาณขาลง

#### 1.1.1 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบของช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ที่ส่งผลกระทบต่อการสื่อสารไร้สายในระบบ MC-CDMA
2. พัฒนา และปรับปรุงสมรรถภาพของการประมาณ และแก้ไขผลกระทบของคุณลักษณะของช่องสัญญาณขาลงสำหรับระบบสื่อสารไร้สายแบบ MC-CDMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล

#### 1.1.2 ขอบเขตหรือเป้าหมายของแผนงานวิจัย

นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการประมาณ และแก้ไขผลกระทบจากช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ โดยอาศัยสัญลักษณ์อ้างอิง ในข่ายเชื่อมโยงขาของระบบ MC-CDMA ซึ่งมีการนำ RLS อัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ และปรับปรุงพัฒนาเทคนิคการปรับค่าสัมประสิทธิ์การลืม (Forgetting Factor) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการประมาณให้กับระบบ

#### 1.1.3 งานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

1. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMA รวมถึงข้อดี และข้อเสียของระบบเมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายประเภทอื่นๆ
2. ศึกษาชนิดของช่องสัญญาณ และผลกระทบของช่องสัญญาณต่อระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMA
3. ศึกษาเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณ และแก้ไขผลของช่องสัญญาณสำหรับระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMA และระบบการสื่อสารแบบหลายคลื่นพาห่อย่อย อื่น ๆ จากงานที่มีผู้เสนอแล้ว โดยการประมาณช่องสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ
  - การประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิง (Pilot-symbol-aided channel estimation)
  - การประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิง หรือการประมาณแบบบอด (Blind channel estimation)

โดย ถึงแม้ว่าการประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิงนั้น จะให้ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิง เนื่องจากต้องทำการส่งสัญลักษณ์อ้างอิงไปพร้อมกับสัญญาณข้อมูลด้วย แต่การประมาณคุณลักษณะช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิงนั้น มีข้อดีคือ สามารถให้ค่าความถูกต้องแม่นยำของการประมาณ (Estimation accuracy) และความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลง (Tracking performance) ของช่องสัญญาณได้ดีกว่าการประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิง อีกทั้งการประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงนั้น ยังมีข้อเสียในด้านของค่าความผิดพลาดของการประมาณสะสม (Propagation error) ซึ่งอาจก่อให้เกิดการลู่ออก (Diverge) ของระบบขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะการประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิงเป็นหลัก

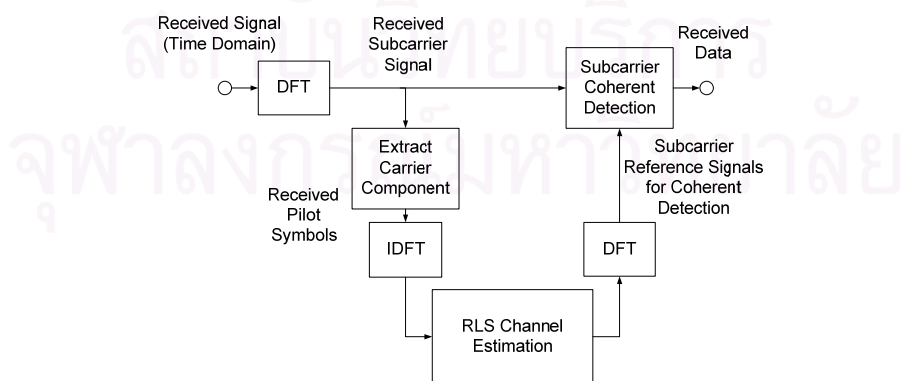
ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิงนั้น มีอยู่มากมาย ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมแตกต่างกันไป เช่น

- วิธีการประมาณแบบพื้นฐาน เป็นกรรมวิธีการประมาณช่องสัญญาณซึ่งง่ายที่สุด แต่ให้ค่าความถูกต้องของการประมาณ และความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณไม่ดีนัก
- วิธี Minimum Mean Square Error (MMSE) เป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องในการประมาณสูง แต่ไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีความซับซ้อนสูงมาก และยังต้องการรู้ค่าพารามิเตอร์บางตัวของช่องสัญญาณซึ่งไม่สามารถหาได้ง่ายนักในทางปฏิบัติ
- วิธี Least Square (LS) มีค่าความซับซ้อนในการคำนวณไม่มากนัก แต่ก็ให้ค่าความถูกต้องในการประมาณที่ไม่ดีนัก โดยเฉพาะในระบบที่ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างเร็ว
- ฯลฯ

#### 4. นำเสนอวิธีการประมาณช่องสัญญาณที่เหมาะสมโดยอาศัยรีเคอซีฟลีสแควร์สแควร์ (Recursive Least Squares: RLS) อัลกอริทึม

จากความไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานของอัลกอริทึมในการประมาณช่องสัญญาณดังกล่าว ประกอบกับรีเคอซีฟลีสแควร์สแควร์อัลกอริทึม (Recursive Least Squares: RLS) เป็นอีกหนึ่งในอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านของ ตัวกรองแบบปรับตัวได้ ระบบควบคุมชนิดปรับตัวอัตโนมัติ และการประมาณช่องสัญญาณ เนื่องมาจาก RLS อัลกอริทึมนั้น นอกจากจะมีค่าความผิดพลาดในการประมาณที่ต่ำแล้ว ยังมีความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็วได้เป็นอย่างดี อีกด้วย จึงมีแนวความคิดที่จะนำเอารีเคอซีฟลีสแควร์อัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้สำหรับประมาณช่องสัญญาณขาของระบบ MC-CDMA

การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่ให้ค่าความถูกต้องในการประมาณสูง เนื่องมาจากนอกจากจะอาศัยความสัมพันธ์ของค่าสัญญาณที่ได้รับได้ และสัญญาณที่ต้องการใน โดเมนความถี่แล้ว ยังอาศัยค่าความสัมพันธ์ และค่าทางสถิติของสัญญาณใน โดเมนเวลามาช่วยในการประมาณค่าช่องสัญญาณอีกด้วย โดยกระบวนการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมใน โดเมนความถี่นั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1.1



รูปที่ 1.1.1 กระบวนการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมใน โดเมนความถี่

โดยค่าพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมนั้นคือ ค่า forgetting factor ซึ่งเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการประมาณ และความสามารถในการ

ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของ RLS อัลกอริทึม ซึ่งต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของสัญญาณ กล่าวคือ ถ้าสัญญาณมีคุณลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลามากนัก ค่า forgetting factor ที่เลือกใช้ควรจะมีค่ามาก (เข้าใกล้หนึ่ง) เพื่อให้ระบบจดจำค่า และเชื่อถือค่าทางสถิติของสัญญาณในอดีต เพื่อช่วยในการประมาณสัญญาณในปัจจุบัน ในทางตรงกันข้าม ถ้าคุณลักษณะของสัญญาณมีความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ค่า forgetting factor ที่เลือกใช้ควรจะมีค่าน้อย เพื่อให้ระบบเชื่อถือคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ได้จากการประมาณในปัจจุบัน มากกว่าค่าทางสถิติของสัญญาณที่รับได้ในอดีต

5. นำเสนอเทคนิคการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลืมนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการประมาณช่องสัญญาณโดยอาศัยรีเคอร์ซีฟลีตส์สแควร์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่า forgetting factor เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อ ประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม ดังนั้นการเลือกค่า forgetting factor ที่เหมาะสมต่อคุณลักษณะช่องสัญญาณในแต่ละขณะ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการประมาณช่องสัญญาณของระบบมีค่าสูงยิ่งขึ้น

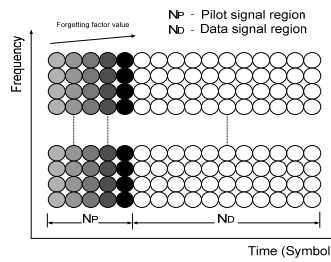
การประมาณช่องสัญญาณที่มีกระบวนการในการปรับเลือกค่า forgetting factor ของ RLS อัลกอริทึม ที่นำเสนอในโครงร่างวิทยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

- การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม ประเภท forgetting factor เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น
- การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม ประเภท forgetting factor ปรับตัวได้

#### 5.1 การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมประเภท forgetting factor เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น

การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม ประเภท forgetting factor เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น นั้นจะมีความแตกต่างจาก การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมทั่วไป คือ ค่า forgetting factor ที่เลือกใช้นั้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าต่ำสุดที่กำหนด จนถึงค่าสูงสุดที่กำหนดอย่างเชิงเส้น ตามลำดับสัญญาณ แทนการใช้ forgetting factor ค่าเดียวเช่นในการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 1.1.2 เนื่องมาจากการประมาณช่องสัญญาณแบบอาศัยสัญญาณอ้างอิงนั้น จะกระทำที่ช่วงต้นของเฟรมข้อมูลในส่วนที่เป็นสัญญาณอ้างอิงเท่านั้น แล้วค่าคุณลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการประมาณนั้น จะถูกนำมาใช้เป็นค่าคุณลักษณะโดยประมาณตลอดช่วงปลายของเฟรมข้อมูลที่เหลือทั้งหมดซึ่งเป็นส่วนข้อมูลของผู้ใช้ จนกว่าจะถึงส่วนของสัญญาณอ้างอิงในเฟรมข้อมูลถัดไป ซึ่งจะมีการประมาณช่องสัญญาณอีกครั้ง ดังนั้น คุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนปลายของเฟรมข้อมูลปัจจุบัน และส่วนต้นของเฟรมข้อมูลถัดไป จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากคุณลักษณะช่องสัญญาณที่ประมาณได้จากต้นเฟรมข้อมูลเป็นอย่างมาก เนื่องจากผ่านช่วงของข้อมูลซึ่งมีระยะยาวมากเมื่อเทียบกับส่วนของสัญญาณอ้างอิง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ค่า forgetting factor ที่มีค่าน้อยในช่วงต้นของชุดสัญญาณอ้างอิง เพื่อให้ระบบเชื่อถือคุณลักษณะที่ได้รับจากการประมาณช่องสัญญาณในปัจจุบันมากกว่าข้อมูลทางสถิติที่ได้รับจากการประมาณจากเฟรมข้อมูลก่อนหน้า แล้วจึงเพิ่มค่า forgetting factor ให้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นในส่วนที่เหลือของชุดสัญญาณอ้างอิง เพื่อใช้ข้อมูลทางสถิติของการประมาณก่อนหน้ามาช่วยในการประมาณในสัญญาณปัจจุบัน





รูปที่ 1.1.2 โครงสร้างเฟรมข้อมูลของการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึม ประเภท forgetting factor เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น

## 5.2 การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมประเภท forgetting factor ปรับตัวได้

ในการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมประเภท forgetting factor ปรับตัวได้นั้น ค่า forgetting factor จะสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เองตามสภาวะแวดล้อมของช่องสัญญาณในแต่ละขณะ ซึ่งจะการปรับเปลี่ยนค่า forgetting factor ให้เหมาะสมกับคุณลักษณะช่องสัญญาณในแต่ละขณะ จะส่งผลให้การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม มีสมรรถนะสูงขึ้น ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่า forgetting factor จะปรับเปลี่ยนตามฟังก์ชันเป้าหมาย ซึ่งจะพยายามทำให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Squared Error, MSE) มีค่าน้อยที่สุด

### 1.1.4 เปรียบเทียบผลการจำลองระบบที่มีการประมาณช่องสัญญาณแบบที่นำเสนอ

#### ผลการจำลองระบบ

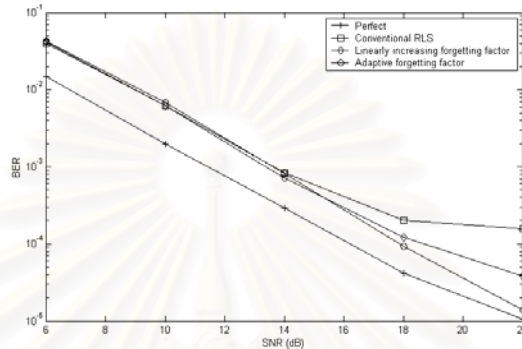
ในการจำลองผลระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการประมาณช่องสัญญาณที่นำเสนอ ได้มีการจำลองผลโดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.1.1

ตารางที่ 1.1.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ

Number of user	1
Spreading code	Walsh
Spreading factor	16
Number of subcarriers	16
Symbol duration	15.6 microseconds
Modulation scheme	QPSK
Packet length	55 symbols
- Data	50 symbols
- Pilot	5 symbols
Channel	4-path Rayleigh
Receiver type	MRC
Conventional RLS algorithm	
Forgetting factor	0.69
Linearly increasing forgetting factor	
Low forgetting factor	0.55
High forgetting factor	0.69
Forgetting factor adaptation	
Initial forgetting factor	0.69
Learning rate	0.00001

### การทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพของระบบในเชิงของอัตราความผิดพลาดบิต

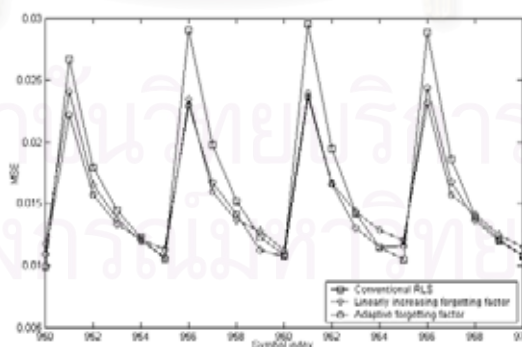
ในการทดลองนี้ได้ทำการจำลองระบบ โดยปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เพื่อวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต โดยทำการทดลองเปรียบเทียบผลของการประมาณช่องสัญญาณในกรณีการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมปกติ การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลืมน และกรณีที่สมมุติว่าการประมาณช่องสัญญาณเป็นไปได้อย่างถูกต้องสามบรรทัด ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 1.1.3



รูปที่ 1.1.3 แสดงอัตราความผิดพลาดบิต เทียบกับค่าอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

### การทดลองที่ 2 ประสิทธิภาพของระบบในเชิงของอัตราความผิดพลาดในการประมาณ

ในการทดลองนี้ได้ทำการจำลองระบบ เพื่อวัดค่าอัตราความผิดพลาดของการประมาณ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบผลของการประมาณช่องสัญญาณในกรณีการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมปกติ และการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึมที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลืมน ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 1.1.4

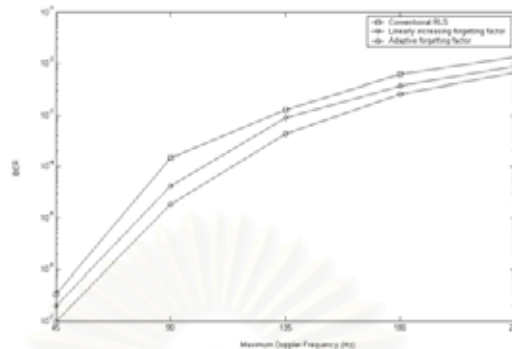


รูปที่ 1.1.4 แสดงอัตราความผิดพลาดของการประมาณ

### การทดลองที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบในเชิงของความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ

ในการทดลองนี้ได้ทำการจำลองระบบ โดยปรับเปลี่ยนค่าความถี่คอปเพลอร์สูงสุด เพื่อวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิตของการประมาณ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบผลของการประมาณ

ช่องสัญญาณในกรณีการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมปกติ และการประมาณช่องสัญญาณ โดย RLS อัลกอริทึมที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลืม ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 1.1.5



รูปที่ 1.1.5 แสดงอัตราความผิดพลาดบิต เทียบกับค่าความถี่ดอปเพลอร์สูงที่สุด

### 1.1.5 งานที่จะดำเนินการต่อไป

1. แก้ไข และปรับปรุงกรรมวิธีที่นำเสนอให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
2. ทดลอง และรวบรวมผลการประมาณช่องสัญญาณเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอ
3. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

### 1.1.6 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

#### 1.1.6.1 Thesis Proposal

“Pilot-Symbol-Aided Channel Estimation with Recursive Least Squares Algorithm for The Downlink of MC-CDMA”

#### 1.1.6.2 International Conference Papers

P. Khunabut, S. Kunaruttanapruk, P. Tansongcharoen and S. Jitapunkul, “On The Improvement of RLS Channel estimation in Forward Link of MC-CDMA System,” in *Proc. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, May 2004.

P. Khunabut, S. Kunaruttanapruk, P. Tansongcharoen and S. Jitapunkul, “RLS Channel Estimation with Forgetting Factor Adaptation for the Downlink of MC-CDMA,” in *Proc. IEEE. International Conference on Networking, Sensing and Control*, March 2004.

#### 1.1.6.3 Software

Simulation software, developed in MATLAB and C

## 1.2 การประมาณคุณลักษณะช่องสัญญาณขาขึ้น

### 1.2.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยย่อย

1. เพื่อพัฒนากรรมวิธีวิเคราะห์ ประมาณ และแก้ไขผลกระทบของคุณลักษณะช่องสัญญาณที่มีต่อสัญญาณข้อมูล ในช่องสัญญาณขาขึ้นของระบบมัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงขึ้น
2. ปรับปรุงอัลกอริทึมที่ใช้ประมาณค่าช่องสัญญาณขาขึ้นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



## 1.2.2 แนวเหตุผล

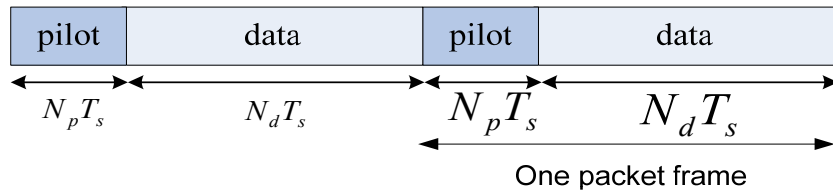
เนื่องจากการทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลในระบบโทรศัพท์นั้นจะมีการถูกลดทอนสัญญาณในตัวกลางซึ่งเกิดจากสัญญาณข้อมูลที่ทำการส่งมีการสะท้อนกับวัตถุต่างๆ ในตัวกลาง เช่น ศึก, ภูเขา ฯลฯ ทำให้สัญญาณที่ส่งไปถึงฝั่งภาครับสัญญาณล่าช้าแตกต่างกัน ทำให้เกิดผลของการลดทอนของสัญญาณที่ทำการส่งไป และนอกจากนั้นยังมีผลของความถี่ออฟเซตด้วย ดังนั้นถ้าเราสามารถทำการประมาณคุณลักษณะช่องสัญญาณได้ถูกต้องจะทำให้ผลการรับค่าสัญญาณที่ทำการส่งมาได้ถูกต้องมากขึ้น ดังนั้น การประมาณช่องสัญญาณจึงมีความสำคัญต่อระบบ มัลติแคเรียร์ซีดีเอ็มเอ ดังนั้นในโครงการวิจัยย่อยนี้จึงเน้นไปที่การศึกษาวิธีการประมาณช่องสัญญาณซึ่งในการประมาณช่องสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิง (Pilot-Symbol-Aided Channel Estimation) และการประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิง (Blind Channel Estimation) ซึ่งในโครงการวิจัยย่อยนี้จะศึกษาการประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงและใช้สัญญาณอ้างอิงเพื่อศึกษาข้อดีและข้อเสียในแต่ละส่วนเพื่อนำข้อดีของแต่ละมาใช้ร่วมกันเพื่อปรับปรุงการประมาณช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 1.2.3 งานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

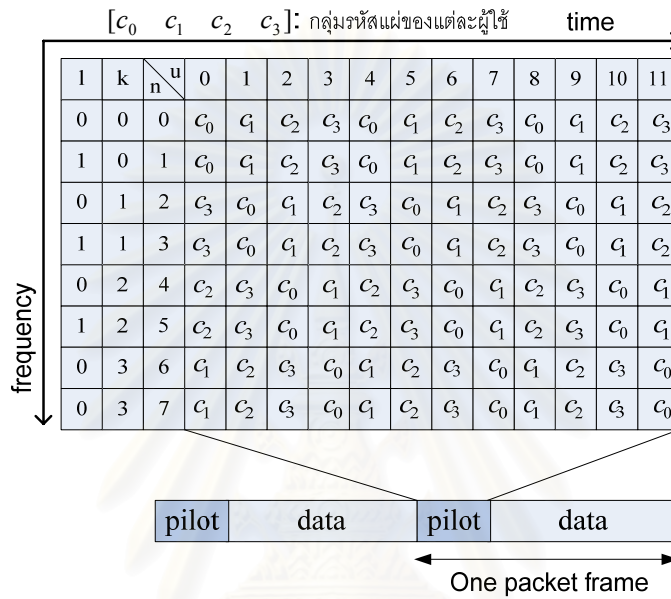
1. ศึกษาภาพรวมของระบบ MC-CDMA และข้อดีข้อเสียของระบบ MC-CDMA
2. ศึกษาบทความการประมาณช่องสัญญาณขาขึ้นแบบใช้สัญลักษณ์อ้างอิงและการประมาณช่องสัญญาณแบบไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงทั้งในระบบ MC-CDMA, MIMO และ OFDM เพื่อทำการศึกษาหาแนวทางในการประมาณช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. จากการศึกษาพบว่า การประมาณช่องสัญญาณในช่องสัญญาณขาขึ้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

- a. การประมาณช่องสัญญาณขาขึ้นประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิง (Pilot-Symbol-Aided Channel Estimation)

กระบวนการประมาณคุณลักษณะช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์อ้างอิงนั้น จะทำการโดยอาศัยการส่งบิตสัญลักษณ์อ้างอิง (pilot bits) แทรกเข้าไประหว่างเฟรมของข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งจำนวนของสัญลักษณ์อ้างอิง และความถี่ในการแทรกสัญลักษณ์อ้างอิงนั้น ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของช่องสัญญาณกล่าวคือ ถ้าช่องสัญญาณมีความเปลี่ยนแปลงเร็วมาก จำนวนและความถี่ในการแทรกสัญลักษณ์อ้างอิงก็ต้องมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นรูปแบบในการแทรกสัญลักษณ์อ้างอิงจึงขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของช่องสัญญาณเป็นหลักต่อมาเมื่อสัญญาณที่ทำการส่งมาถึงภาครับ ภาครับจะทำการแยกส่วนที่เป็นข้อมูลออกจากส่วนที่เป็นสัญลักษณ์อ้างอิง จากนั้นจะนำส่วนที่เป็นสัญลักษณ์อ้างอิงที่รับได้ ไปทำการเปรียบเทียบกับสัญลักษณ์อ้างอิงที่ทราบค่าอยู่ก่อนแล้ว เพื่อใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะช่องสัญญาณ จากนั้นจะนำค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณที่ประมาณได้ไปปรับปรุงในส่วนของข้อมูล เพื่อให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับที่ภาคส่งได้ส่งมาจริง จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการประมาณ โดยใช้สัญลักษณ์อ้างอิงนั้นจะให้ประสิทธิภาพในการประมาณค่าในช่องสัญญาณและความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลง (tracking performance) ของช่องสัญญาณได้ดีกว่าการประมาณช่องสัญญาณแบบที่ไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงแต่เนื่องจากต้องทำการส่งสัญลักษณ์อ้างอิงไปพร้อมกับสัญญาณข้อมูลด้วยทำให้ประสิทธิภาพของการใช้แถบความถี่ลดลงกว่าแบบที่ไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิง



รูปที่ 1.2.1 รูปแบบแพ็คเกจที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบขาขึ้น



รูปที่ 1.2.2 การจัดเรียงของกลุ่มรหัสในแต่ละสัญลักษณ์อ้างอิง

b. การประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิง (Blind Channel Estimation)

เนื่องจากการประมาณช่องสัญญาณในช่องสัญญาณขาขึ้นแบบใช้สัญลักษณ์มีการใช้สัญลักษณ์จำนวนมากในการประมาณช่องสัญญาณให้ถูกต้องดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะนำวิธีการประมาณช่องสัญญาณแบบไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงมาใช้ในการประมาณช่องสัญญาณเพื่อลดจำนวนช่องสัญญาณที่สูญเสียไปในการประมาณช่องสัญญาณ โดยจากที่ศึกษามาในการประมาณช่องสัญญาณแบบไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงจะใช้วิธีการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace โดยในการประมาณช่องสัญญาณแบบไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงแบบ Subspace นั้นจะมีข้อเสียคือเวลาที่ใช้ในการคำนวณการประมาณช่องสัญญาณช่องสัญญาณทำให้การประมาณช่องสัญญาณแบบนี้ไม่สามารถใช้งานได้เมื่อช่องสัญญาณอยู่ในสถานะที่ช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงเร็ว (Fast Fading) ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดในการนำวิธีการประมาณช่องสัญญาณแบบใช้สัญลักษณ์อ้างอิงเข้ามาช่วยในการประมาณแบบไม่ใช้สัญลักษณ์อ้างอิงเพื่อปรับปรุงให้ระบบการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace และใช้สัญลักษณ์อ้างอิงที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้นทั้งในแง่ของการใช้สัญลักษณ์อ้างอิงที่ลดน้อยลง และสามารถประมาณช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณแบบเร็วได้

4. จากทำการศึกษาคำอธิบายการประมาณช่องสัญญาณช่องสัญญาณในระบบ MIMO พบว่าในการประมาณช่องสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 แบบคือการประมาณช่องสัญญาณแบบกำหนดให้ช่องสัญญาณในแต่ละเสา

- อากาศไม่มีความสัมพันธ์กันกับการกำหนดให้ช่องสัญญาณในแต่ละเสาอากาศมีความสัมพันธ์กันซึ่งในการประมาณช่องสัญญาณแบบหลังมีความใกล้เคียงกับการประมาณช่องสัญญาณจริงที่เกิดขึ้นในระบบ
- หลังจากทำการศึกษาคุณสมบัติของช่องสัญญาณในระบบ MIMO และพบว่าการประมาณช่องสัญญาณของระบบ MIMO นั้นช่องสัญญาณที่ต้องประมาณนั้นจะมีความสัมพันธ์กันดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะนำคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์ของแต่ละเสาอากาศมาช่วยในการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace ที่มีการใส่สัญลักษณ์อ้างอิงเพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการประมาณช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น

### การประมาณช่องสัญญาณโดยการใช้วิธี Subspace-Based

วิธีการ Subspace-Based จะเริ่มต้นโดยการหาค่า Eigenvalues Decomposition ของสัญญาณที่รับได้ โดยสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์  $R_{yy}$  โดยสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$R_{yy} = \sum_{l=1}^{J(G-L_{ch})} \lambda_l v_l v_l^H \quad (26)$$

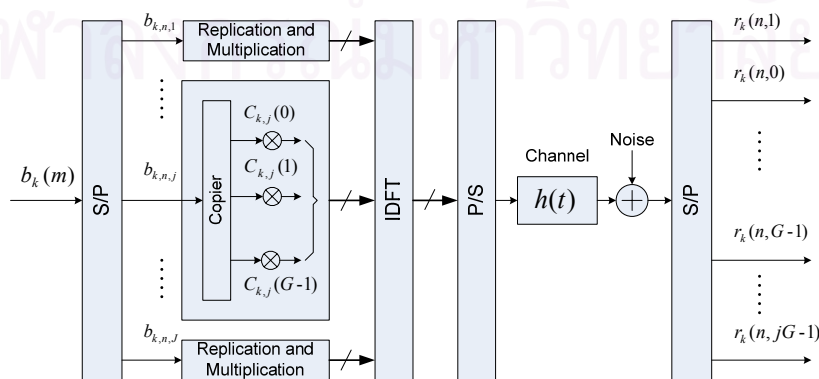
โดยที่  $\lambda_l$  และ  $v_l$  เป็นค่าของ Eigenvalues และค่า Eigenvectors ของ  $R_{yy}$  ตามลำดับ

ต่อมาเราทำการเรียงค่าของ Eigenvalues ตามลำดับต่อไปนี้  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{J(G-L_{ch})}$  หลังจากการเรียงค่า Eigenvalues เราจะเห็นได้ว่าค่าของ Eigenvectors ที่มีค่าของ Eigenvalues มากซึ่งมีขนาดเป็น JK และมีค่าไม่เท่ากับศูนย์จะเป็นส่วนที่เป็น Subspace ของสัญญาณและในส่วนที่มีค่าของ Eigenvalues น้อยลงมาตามลำดับ  $J(G-L_{ch}-k)$  เป็นส่วนของ Subspace ที่เป็นส่วนของสัญญาณรบกวนและจากที่กล่าวมาจะได้ว่า Subspace ที่เป็นส่วนของสัญญาณจะมีคุณสมบัติตั้งฉากกับ Subspace ที่เป็นส่วนของสัญญาณรบกวนโดยเราจึงกำหนดให้เมทริกซ์  $U_n$  เป็นค่าของเมทริกซ์ Subspace ที่เป็นส่วนของสัญญาณรบกวนโดยมีขนาดของมิติเท่ากับ  $J(G-L_{ch}) \times J(G-L_{ch}-k)$  โดยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$U_n = [v_{JK+1} \quad v_{JK+2} \quad \dots \quad v_{J(G-L_{ch})}] \quad (27)$$

ต่อมาทำการใช้คุณสมบัติความตั้งฉากระหว่าง Subspace ส่วนที่เป็นของสัญญาณกับ Subspace ส่วนที่เป็นของสัญญาณรบกวนจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$U_n^H W_k = 0$$



รูปที่ 1.2.3 Baseband Model ของระบบ MC-CDMA

จากการศึกษาการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace เดิมพบว่าข้อดีของการประมาณช่องสัญญาณแบบนี้คือไม่ต้องใช้สัญลักษณ์อ้างอิงในการประมาณช่องสัญญาณแต่มีข้อเสียในการประมาณช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเร็วไม่สามารถประมาณได้ดังนั้นจึงทำการใส่สัญลักษณ์อ้างอิงเข้าไปในระบบเพื่อให้การประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace มีการลู่เข้าของช่องสัญญาณที่เร็วมากขึ้นเพื่อให้สามารถประมาณช่องสัญญาณแบบเร็วได้

#### 1.2.4 งานที่จะดำเนินการต่อไป

1. ศึกษาการประมาณช่องสัญญาณแบบใช้สัญลักษณ์เพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้ในระบบประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace
2. ทำการศึกษามหาสัมพันธ์เกี่ยวกับการเรียงตัวของสัญลักษณ์อ้างอิงที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดความยาวของสัญลักษณ์อ้างอิงเพื่อนำมาใช้ในระบบการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace ที่มีการใช้สัญลักษณ์อ้างอิงเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ทำการศึกษาระบบการประมาณช่องสัญญาณในระบบ MIMO ที่กำหนดให้ช่องสัญญาณมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในแต่ละเสาอากาศเพื่อนำมาใช้ในการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace ที่มีการใช้สัญลักษณ์อ้างอิงเพื่อให้การประมาณช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. ทำการศึกษามหาสัมพันธ์ของช่องสัญญาณทางเวลาเพื่อช่วยในการประมาณช่องสัญญาณให้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น
5. ทำการสร้างแบบจำลองระบบที่มีการประมาณช่องสัญญาณแบบ Subspace ที่มีการใช้สัญลักษณ์อ้างอิงและทำการทดลองปรับปรุงวิธีการดังที่กล่าวมาเพื่อทดสอบว่าสามารถทำให้ระบบการประมาณช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือไม่
6. วิเคราะห์ และ สรุปผล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2. แผนงานวิจัยด้านการประมาณค่า Frequency Offset

### 2.1 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

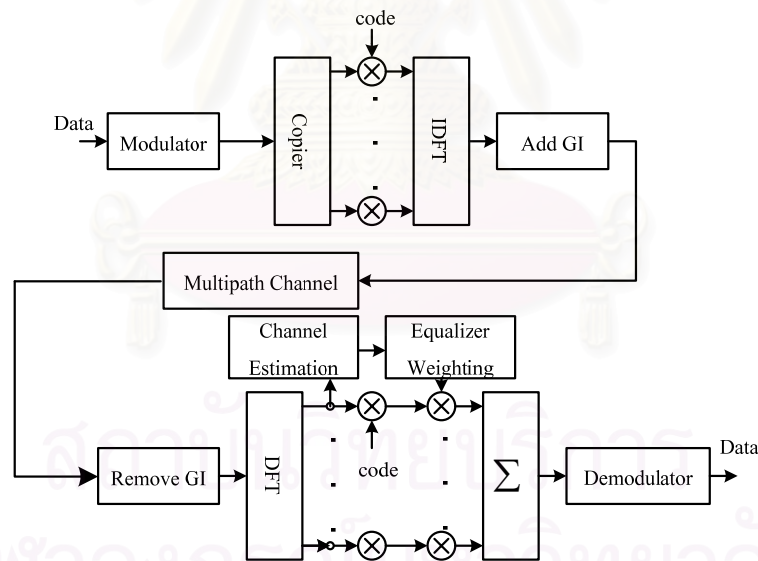
1. พัฒนา และปรับปรุงสมรรถนะของระบบสื่อสารแบบ Multi-carrier CDMA โดยแก้ไขความผิดพลาดเนื่องจากความถี่ออฟเซต
2. ปรับปรุงอัลกอริทึมที่ใช้ประมาณค่าความถี่ออฟเซต

### 2.2 ขอบเขตหรือเป้าหมายของแผนงานวิจัย

นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการประมาณและแก้ไขความถี่ออฟเซต เพื่อลด ICI อันเนื่องมาจากผลของความถี่ออฟเซตในระบบ Multi-carrier CDMA โดยพิจารณาการสื่อสารระหว่างสถานีฐานไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่ปลายทาง (Downlink) ที่มีการลดทอนของช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ โดยในการวิจัยนี้ใช้อัตราผิดพลาดโดยเฉลี่ย (BER) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

### 2.3 ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

2.3.1 ศึกษา ระบบ Multi-carrier CDMA (MC-CDMA) ทั้งด้านภาคส่งและภาครับ ซึ่งโครงสร้างของระบบสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ MC-CDMA

2.3.2 ศึกษาผลกระทบของความถี่ออฟเซตต่อระบบจากบทความทางวิชาการต่างๆ

2.3.3 ศึกษาการประมาณความถี่ออฟเซตแบบต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายโดยแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ดังนี้

#### A. แบบแผนการประมาณโดยใช้สัญลักษณ์อ้างอิง (Reference symbol Estimation)

การประมาณแบบนี้ต้องส่งสัญลักษณ์อ้างอิงทุกช่วงเวลาหนึ่งที่แน่นอนโดย Young Park เสนอรูปแบบการจัดวางสัญลักษณ์อ้างอิงแบบต่างๆ และ ปี ค.ศ. 1998 Rupp ได้เสนอวิธีการส่งสัญลักษณ์อ้างอิงแบบต่อเนื่องทางเวลาทุกช่วงเวลาหนึ่ง (Training sequences) เพื่อประมาณค่าความถี่ออฟเซต ซึ่งเป็นการลด



ประสิทธิภาพการใช้เบนคีวิตเป็นอย่างมาก งานวิจัยต่อมาจึงมุ่งเน้นที่จะลดจำนวนสัญลักษณ์อ้างอิง ซึ่ง Jae - Hyun Seo และ Sliskovic เสนอวิธีการประมาณโดยใช้สัญลักษณ์อ้างอิง 2 สัญลักษณ์ที่ติดกัน จากนั้น Fernandez - Getino Garcia ใช้อัลกอริทึม Maxi-mum Likelihood ประมาณความถี่ออฟเซตจาก Scattered pilot

#### B. แบบแผนการประมาณแบบบอด (Blind Estimation)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยพิจารณาจากสัญญาณที่นำมาประมาณ ดังนี้

- ประมาณความถี่ออฟเซตจากสัญญาณที่รับโดยละทิ้งช่วงเวลาการรบกวน

Chang และ Visser [8, 9] เสนออัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ชนิด LMS และ NLMS ตามลำดับ ซึ่ง NLMS สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ออฟเซตและประมาณได้แม่นยำกว่า และ Bian เสนออัลกอริทึม over-sample เพื่อขยายช่วงการประมาณความถี่ออฟเซตจาก (-0.5, 0.5) เป็น (-1, 1) แต่อัลกอริทึมทั้งหมดที่กล่าวมานี้ไม่สามารถประมาณค่าที่ถูกต้องเมื่อช่องสัญญาณแบบเกิดเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่

- ประมาณความถี่ออฟเซตจากสัญญาณที่รับได้บริเวณช่วงเวลาการรบกวน

การประมาณแบบนี้สามารถประมาณค่าความถี่ออฟเซตได้ภายในช่วง (-0.5, 0.5) เท่านั้น โดยสมการประมาณไม่ได้คำนึงผลกระทบของช่องสัญญาณ ทำให้ค่าที่ประมาณได้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากสัญญาณช่วงต้นที่นำมาใช้ในการคำนวณถูกรบกวนโดยช่องสัญญาณ ดังนั้น ปี ค.ศ. 2003 Songping จึงได้นำเสนอวิธีการประมาณช่องสัญญาณเพื่อหาจำนวนเส้นทางของช่องสัญญาณหลายวิถี (Multi-path channel) แบบปรับตัวได้ ซึ่งกรรมวิธีการประมาณจำนวนเส้นทางของช่องสัญญาณมีความซับซ้อน และใช้เวลาในการประมวลผลเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Fast varying channel)

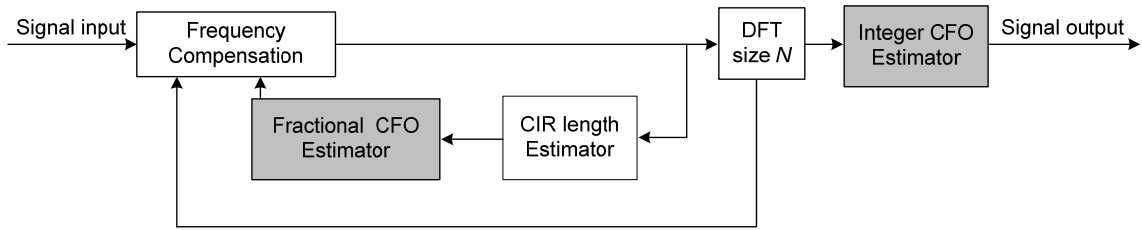
นอกจากนี้ ปี ค.ศ. 2002 Jiao เสนอวิธีการประมาณค่าความถี่ออฟเซตที่ครอบคลุมช่วงกว้างขึ้นจากงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งสามารถประมาณค่าได้ในช่วง  $(-0.5P, 0.5P)$  เมื่อ  $P = \pm 1, 3, 5, \dots$  โดยแยกการประมาณออกเป็น 2 ส่วน คือ ประมาณค่าความถี่ออฟเซตที่อยู่ในช่วง (-0.5, 0.5) ในโดเมนเวลา โดยประมาณจากสัญญาณที่รับได้บริเวณช่วงเวลาการรบกวน และประมาณความถี่ออฟเซตที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม ในโดเมนความถี่

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้ อัลกอริทึมต่างๆ ที่ถูกเสนอไม่สามารถประมาณค่าความถี่ออฟเซตเมื่อพิจารณาช่วงที่กว้างกว่า (-0.5, 0.5) และไม่สามารถประมาณค่าที่ถูกต้องเมื่อพิจารณาแบบเลือกความถี่

2.3.4 เสนอวิธีการประมาณความถี่ออฟเซตที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาในแง่ของความซับซ้อนในการประมาณและประสิทธิภาพของระบบ โดยโครงสร้างความถี่ออฟเซตที่นำเสนอประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ดังนี้

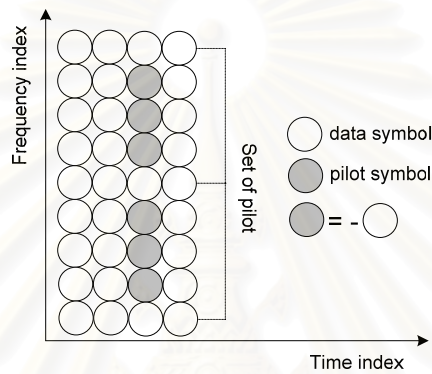
- การประมาณความถี่ออฟเซตที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม ( Fractional Frequency Offset estimation: FFO) ซึ่งสามารถประมาณค่าความถี่ออฟเซตได้ในช่วง (-0.5, 0.5)
- การประมาณความถี่ออฟเซตที่เป็นจำนวนเต็ม ( Integer Frequency Offset estimation: IFO) ซึ่งสามารถประมาณค่าความถี่ออฟเซตที่มีค่า  $\pm I$  เมื่อ  $I$  เป็นสมาชิกของจำนวนเต็มบวก

โดยประมาณค่าความถี่ออฟเซตที่ไม่เป็นจำนวนเต็มก่อน จากนั้นจึงประมาณความถี่ออฟเซตที่เป็นจำนวนเต็มตามลำดับดังรูปที่ 2.2



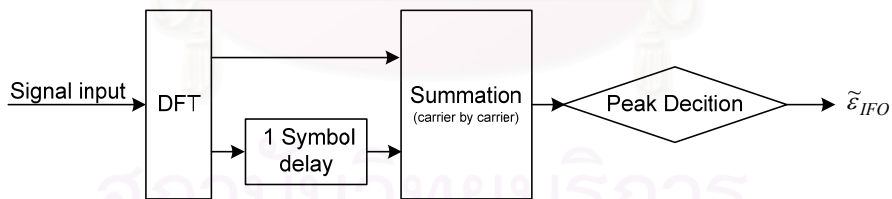
รูปที่ 2.2 โครงสร้างการประมาณความถี่ออฟเซต

และ โครงสร้างของสัญญาณสำหรับประมาณความถี่ออฟเซตเป็นดังนี้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสัญญาณสำหรับประมาณความถี่ออฟเซต

จากรูปที่ 3 ต้องมีการแทรกสัญลักษณ์อ้างอิงสำหรับการประมาณ IFO โดยจำนวนคลื่นพาห่อย่อยที่มีการส่งสัญลักษณ์อ้างอิงนั้นขึ้นอยู่กับระบบและต้องทดสอบต่อไปว่า ค่าที่เหมาะสมคือค่าใด



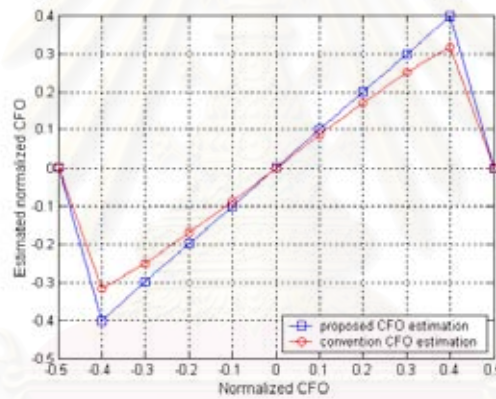
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนของการประมาณ IFO

2.3.5 เปรียบเทียบผลการจำลองระบบที่มีการประมาณค่าความถี่ออฟเซตแบบต่างๆ ดั้งเดิม และแบบที่นำเสนอในการจำลองระบบทั้งหมด สามารถพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ

Parameters	Value
Length of signature sequence	32
Number of sub-carrier ( $N$ )	32
Frequency selective fading :	
Number of paths or CIR length ( $L$ )	4
Component	Rayleigh
Guard period ( $N_g$ )	10 bits
Number of data bit	10,000 bits
Modulation scheme	BPSK
FFT	64 points

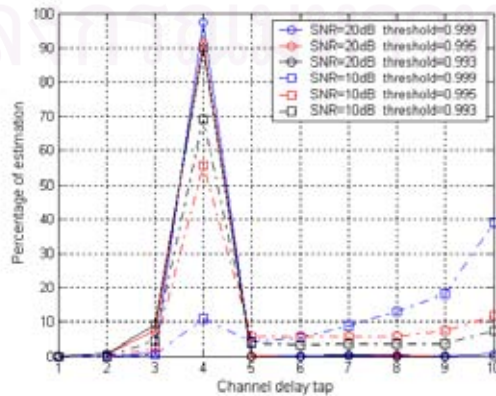
- การทดลองที่ 1 แสดงค่าความถี่ออฟเซตที่สามารถประมาณได้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนของการประมาณ IFO

รูปที่ 2.5 แสดงค่าความถี่ออฟเซตที่สามารถประมาณได้เทียบกับค่าความถี่ออฟเซตต่างๆ ในช่วง  $(-0.5, 0.5)$  และกำหนดค่า SNR เท่ากับ 20 dB จากรูปแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถประมาณความถี่ออฟเซตได้ใกล้เคียงกว่า อัลกอริทึมแบบดั้งเดิม

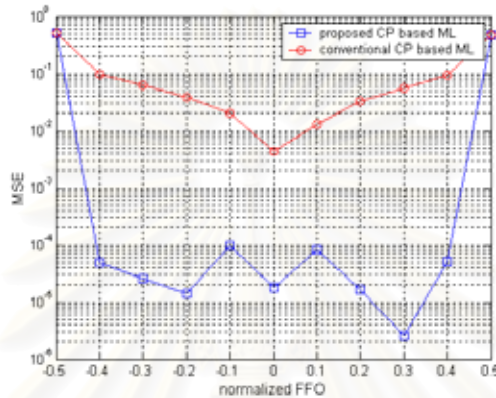
- การทดลองที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ในการประมาณ removable paths



รูปที่ 2.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ของการประมาณ removable paths

การทดลองนี้กำหนดค่า removable paths เท่ากับ 4 และพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถประมาณค่า removable path ได้ถูกต้องประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ สำหรับระบบที่มี SNR เท่ากับ 20 dB และประมาณได้ถูกต้อง 70 เปอร์เซ็นต์สำหรับระบบที่มี SNR เท่ากับ 10 dB โดยค่า threshold มีผลอย่างมากต่อระบบที่มี SNR ต่ำ

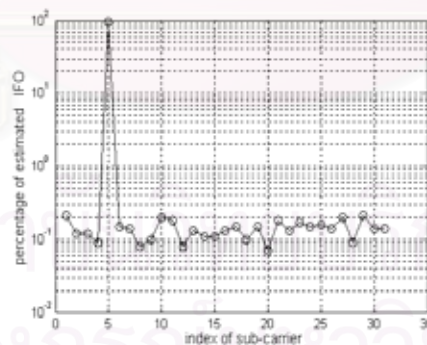
- การทดลองที่ 3 แสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ย



รูปที่ 2.7 แสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเทียบกับค่าความถี่ออฟเซต

พิจารณาจากรูปที่ 2.7 พบว่าสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 นั่นคือ ค่า MSE ของการประมาณค่าความถี่ออฟเซตของกรรมวิธีที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีแบบดั้งเดิม

- การทดลองที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ในการประมาณ IFO



รูปที่ 2.8 เปอร์เซนต์ในการประมาณ IFO

ในการทดลองนี้กำหนดให้ IFO มีค่าเท่ากับ 4 (ค่าที่ normalized แล้ว) ตามกรรมวิธีที่นำเสนอ ค่า IFO ที่หาได้จะมีค่าเท่ากับคลื่นพาห่อย่อยววกหนึ่ง ซึ่งจากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีที่นำเสนอสามารถประมาณค่า IFO ได้อย่างแม่นยำ คือ มีเปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์

#### 2.4 ส่วนของงานที่จะดำเนินการต่อไป

6. แก้ไข และปรับปรุงกรรมวิธีที่นำเสนอให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
7. ทดลอง และรวบรวมผลการประมาณความถี่ออฟเซตทั้งหมด
8. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

## 2.5 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้

### 2.5.1 Thesis Proposal

“FREQUENCY OFFSET CORRECTION FOR MULTI-CARRIER CDMA SYSTEMS OVER FREQUENCY SELECTIVE FADING CHANNEL”

### 2.5.2 International Conference Papers

P. Tansongcharoen, S. Kunaruttanapruk, P. Kunabut, R. Kanchanawat and S. Jitapunkul, “NOVEL OPTIMUM SIGNATURE SEQUENCES IN MC-CDMA SYSTEM WITH FREQUENCY SELECTIVE FADING CHANNEL,” Proc. IEEE ISSPIT 2003, Dec 2003.

P. Tansongcharoen, P. Kunabut, S. Kunaruttanapruk and S. Jitapunkul, “IMPROVED CARRIER SYNCHRONIZATION FOR MULTI-CARRRIER CDMA SYSTEMS OVER FREQUENCY SELECTIVE FADING CHANNEL,” Proc. IEEE SPWC 2004, June 2004.

### 2.5.3 Software

Simulation software, developed in MATLAB



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### 3. แผนงานวิจัยด้านแก้ปัญหา High Peak To Average Power Ratio

#### 3.1 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาการลด PAPR สำหรับระบบการสื่อสาร MC-CDMA โดยใช้เทคนิค PTS
2. เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะของระบบ MC-CDMA ที่ใช้เทคนิค PTS โดยใช้เครื่องรับที่ได้เสนอ

#### 3.2 ปัญหาทางด้าน PAPR ของ MC-CDMA

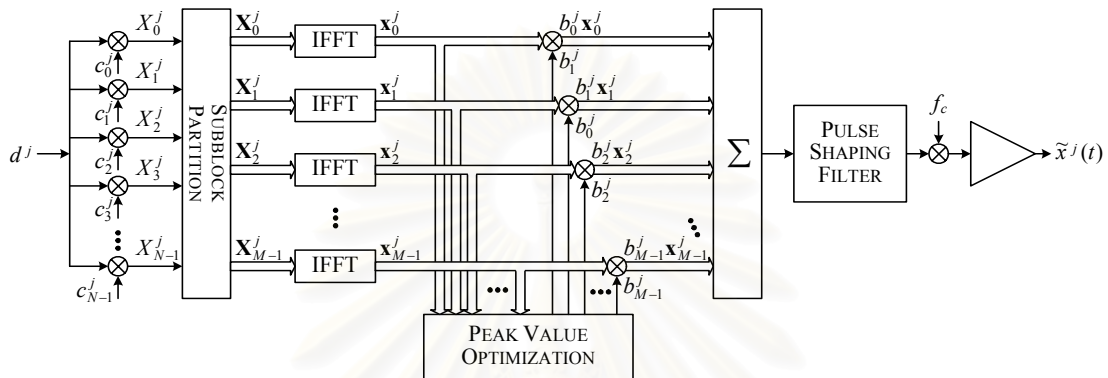
MC-CDMA ได้รับการคาดหมายว่าจะเป็นเทคนิคสำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 เนื่องจากเทคนิคนี้ทำให้อัตราสัญลักษณ์ในคลื่นพหุขั้วแต่ละคลื่นลดต่ำลงซึ่งเป็นผลมาจากการนำการมอดูเลตแบบหลายคลื่นพหุขั้วมาใช้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถส่งข้อมูลในอัตราที่สูงได้ในขณะที่ช่วงเวลาของสัญลักษณ์ยังคงยาวอยู่ นั่นคือการรับส่งข้อมูลเป็นไปได้อย่างขึ้น และนอกจากนี้ยังทำให้สัญญาณทนทานต่อเฟดดิ้งเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของช่องสัญญาณในขณะที่ใช้แบนด์-วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการที่ MC-CDMA มีโครงสร้างที่ใช้คลื่นพหุขั้วหลายคลื่น ก็จะมีปัญหาอื่นตามมาด้วยเช่นกัน ดังเช่นความยากในการซิงโครไนซ์คลื่นพหุขั้ว ความไวต่อออฟเซตทางความถี่ และ PAPR ที่มีค่าสูงมากซึ่งเกิดจากการที่ใช้คลื่นพหุขั้วเป็นจำนวนมาก ข้อด้อยสุดท้ายนี้เป็นสาเหตุที่ระบบ MC-CDMA เลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้งานขยายเชิงเส้นคุณภาพสูงหรือไม่ก็ Back off จุดทำงานของวงขยายไม่เชิงเส้นลง ซึ่งเป็นวิธีแก้ไขดั้งเดิมที่ใช้กันมาเพื่อรับมือกับสัญญาณที่มีค่า PAPR สูงมาก วิธีทั้งสองดังกล่าวทำให้การขยายเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ใช้พลังงานแบดเตอร์มากเกินความจำเป็น และเครื่องส่งมีราคาสูง ดังนั้นเทคนิคในการลด PAPR จึงสำคัญสำหรับระบบการส่งหลายคลื่นพหุขั้ว

#### 3.3 การศึกษางานวิจัยในอดีต

มีการเสนอวิธีการลด PAPR ขึ้นมาหลายวิธี ตัวอย่างเช่น Deliberate Clipping, Peak Windowing, Code Selecting, Selective Mapping (SLM), Partial Transmit Sequences (PTS) และอื่น ๆ ใน Deliberate Clipping ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด จะมีการรับสัญญาณก่อนที่จะขยายซึ่งให้ค่า PAPR ที่ดีแต่สมรรถนะก็ลดลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีวิธี Peak Windowing ขึ้นมา วิธีนี้จะมีการคูณค่ายอดของสัญญาณที่มีค่ามากด้วย Window (อาทิเช่น Kaiser Window หรือ Hamming Window) ซึ่งจะปลด Hard Limiting Effect ที่มีอยู่ในวิธี Deliberate Clipping ส่งผลให้ Out-of-Band Distortion ลดน้อยลงลงไป วิธีนี้ให้สมรรถนะดีกว่าวิธีแรก แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีนี้ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไป สำหรับ Code Selecting นั้นจำนวนรหัสที่มีค่า PAPR ต่ำนั้นมีจำกัดและ PAPR ของรหัสนั้นอาจไม่ได้ต่ำถึงระดับที่ต้องการ ใน SLM จะมีการคูณสัญญาณในโดเมนความถี่ด้วยเวกเตอร์ที่สร้างขึ้นอย่างสุ่มหลาย ๆ เวกเตอร์และเลือกเวกเตอร์ที่ทำให้สัญลักษณ์ในโดเมนเวลาที่มีค่า PAPR ต่ำที่สุดมาใช้ สำหรับ PTS นั้นก็ใช้หลักการเดียวกันกับ SLM พร้อมกันนั้นยังมีความยืดหยุ่นในการลด PAPR อีกด้วย ในแบบแผนนี้จะแบ่งคลื่นพหุขั้วออกเป็นบล็อกย่อยแยกจากกันหลาย ๆ บล็อก จากนั้นจึงแปลงค่าเฟสของบล็อกย่อยแต่ละบล็อกด้วย Phase Rotation Factor เพื่อที่จะให้ PAPR ของสัญญาณมีค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ เทคนิคทั้งสองนี้เพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบ แต่สามารถปรับปรุงค่าทางสถิติของสัญญาณหลายคลื่นพหุขั้วให้ดีขึ้น โดยสูญเสียประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อย เริ่มแรกนั้น PTS ได้เสนอขึ้นมาสำหรับการสื่อสารบนข่ายเชื่อมโยงขวางใน OFDM หลังจากนั้นได้มีการศึกษาวิจัย PTS บนข่ายเชื่อมโยงขวางในระบบ MC-CDMA

### 3.4 ระบบและเครื่องรับที่นำเสนอและผลการจำลองระบบ

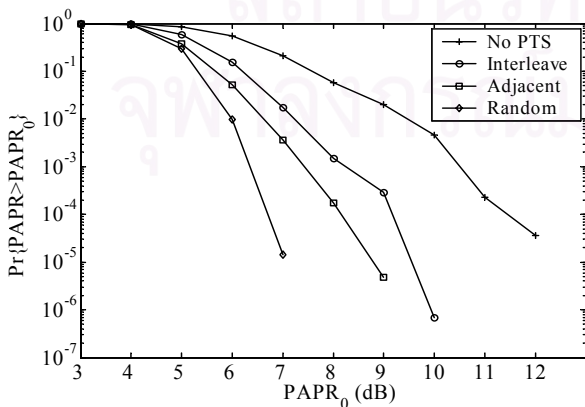
ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น การวิจัยนี้จึงเป็นการวิจัยวิธีที่จะลดค่า PAPR ของสัญญาณ MC-CDMA บนข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น โดยนำเอาเทคนิค PTS มาใช้และดัดแปลงให้เหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ เป็นแบบแผนที่ไม่ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไป และใช้กับระบบที่ใช้คลื่นพาห่อย่อยจำนวนเท่าใดก็ได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังไม่จำกัดการใช้งานเฉพาะกับแบบแผนการมอดูเลตแบบแผนใดแบบหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์ค่า PAPR ของสัญญาณ MC-CDMA ที่ใช้เทคนิค PTS จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก



รูปที่ 3.1 แบบจำลองเครื่องส่งที่ใช้เทคนิค PTS

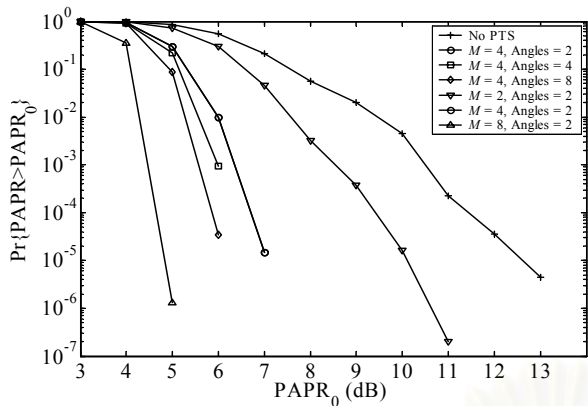
ในกรณีของข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นนั้นเทคนิค PTS ต้องใช้กับสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายแยกกัน ไม่ใช่สัญญาณรวมของผู้ใช้ทุกคนดังในกรณีข่ายเชื่อมโยงขาลง ดังนั้นในกรณีเทคนิค PTS บนข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นนั้น (ดูรูปที่ 3.1) จะมีการแบ่งเวกเตอร์คลื่นพาห่อย่อยของผู้ใช้แต่ละรายออกเป็นเวกเตอร์ย่อย จากนั้นจึงใช้ Phase Rotation Factor ในการหมุนเฟสของบล็อกแต่ละบล็อก นั้นหมายความว่าคลื่นพาห่อย่อยที่อยู่ในบล็อกเดียวกันจะได้รับการหมุนเฟสไปเท่า ๆ กัน จากนั้นจึงเลือกตัวประกอบการหมุนเฟสที่ให้ค่า PAPR ของสัญญาณรวมจากบล็อกย่อยทุกบล็อกมีค่าน้อยที่สุดมาใช้ ในวิธี PTS นี้เครื่องรับต้องรู้วิธีการสร้างสัญญาณที่ส่งออกมา เพื่อที่จะได้แปลงกลับได้ ทำให้ต้องสูญเสียประสิทธิภาพลงเล็กน้อยในการส่ง Side Information เกี่ยวกับ Phase Rotation Factor ด้วย

สำหรับการแบ่งบล็อกย่อยนั้น โดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ Interleaved, Adjacent และ Random) ในกรณีแบบ Interleaved นั้นจะรวมคลื่นพาห่อย่อยที่ระยะห่างทุก ๆ ค่าหนึ่งมาไว้ในบล็อกย่อยเดียวกัน ในกรณีแบบ Adjacent จะรวมคลื่นพาห่อย่อยที่อยู่ติดกันมาไว้ในบล็อกย่อยเดียวกัน และสุดท้ายในกรณีแบบ Random จะ



รวมคลื่นพาห่อย่อยมาไว้ในบล็อกย่อยหนึ่ง ๆ รูปทางด้านซ้ายแสดงสมรรถนะทางด้าน CCDF ของ PAPR สำหรับการแบ่งบล็อกย่อยแบบต่าง ๆ CCDF เป็นความน่าจะเป็นที่ PAPR ของสัญญาณหนึ่ง ๆ มีค่าเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้กำหนดไว้ นั้นหมายความว่าแกนตั้งเป็นความน่าจะเป็นที่ PAPR มีค่าเกินค่าในแกนนอน นอกจากนี้ในรูปจะมึกราฟของระบบที่ไม่ใช้เทคนิค PTS รวมอยู่ด้วย จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ใช้

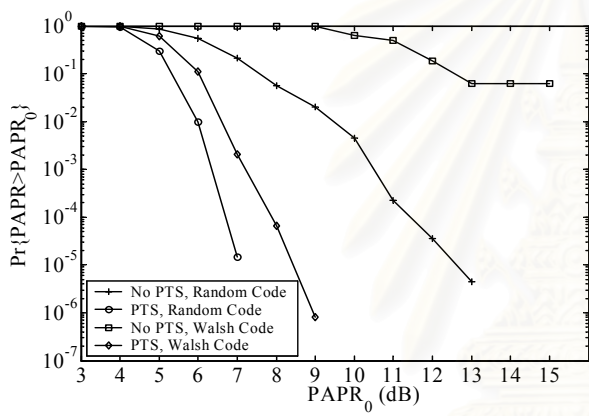
เทคนิค PTS แล้วระบบ PTS ลด PAPR ได้เป็นอย่างดี โดยการแบ่งบล็อกย่อยแบบ Random ให้สมรรถนะดีที่สุด รองลงมาจะเป็นแบบ Adjacent รองลงมาอีกจะเป็นแบบ Interleaved กล่าวคือที่ร้อยละ 1 PAPR (ค่า PAPR ที่ความ



เป็นไปได้ 0.01) การแบ่งแบบ Interleaved ลด PAPR ได้ประมาณ 2.3 dB ส่วนแบบ Adjacent ลดไปได้ 2.9 dB และสุดท้ายแบบ Random ลดลงได้ 3.5 dB ดังนั้นในการจำลองระบบต่อไปจะใช้การแบ่งบล็อกย่อยแบบ Random เป็นหลัก

รูปทางด้านซ้ายแสดงกราฟ CCDF ของระบบ PTS ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเฟสที่ใช้และจำนวนบล็อกย่อยค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 2 ถึง 8 ตามลำดับ สังเกตว่ายิ่งเพิ่มจำนวนเฟส CCDF ก็ยิ่ง

ลดลงไปอีก แต่ให้ผลเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในทางกลับกันการเปลี่ยนแปลงจำนวนบล็อกย่อยให้ผลที่ดีกว่า จากรูปพบว่าจำนวนบล็อกย่อยเป็น 4 และจำนวนของเฟสที่ใช้เป็น 2 นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมในแง่ของความซับซ้อนในการคำนวณ เนื่องจากจำนวนการคำนวณเพิ่มเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามจำนวนบล็อกย่อยและจำนวนเฟสที่ใช้



สมรรถนะทางด้าน CCDF ของระบบ PTS ที่ใช้รหัสสุ่มและรหัสวอลช์และการแบ่งบล็อกย่อยเป็นแบบ Random และจำนวนบล็อกย่อยกับจำนวนเฟสที่ใช้เป็น 4 และ 2 ตามลำดับแสดงอยู่ในรูปทางด้านซ้าย พร้อมกันนั้นจะแสดง CCDF สำหรับระบบที่ไม่ใช้ PTS สำหรับรหัสสุ่มและรหัสวอลช์ไว้เปรียบเทียบอีกด้วย สังเกตว่าในกรณีของระบบที่ไม่ใช้ PTS เมื่อเปรียบเทียบกับรหัสสุ่มแล้ว รหัสวอลช์ให้ค่า PAPR สูงมากด้วยเหตุที่รหัสวอลช์มีลักษณะ

เป็นรายการในโดเมนความถี่ ดังนั้นสัญญาณที่ได้ในโดเมนเวลาจึงมีลักษณะเป็นพัลส์ อย่างไรก็ตามสามารถลดค่า PAPR นี้ลงไปได้มากโดยการ ใช้ PTS แม้ว่ายังไม่ต่ำเท่ากับในกรณีรหัสสุ่ม การที่รหัสวอลช์มีค่า PAPR ที่สูงมากนี้ก็จะได้รับผลจากการอิมพัลส์และความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายกำลังเป็นอย่างมาก ผลที่ได้คือมีสมรรถนะทาง BER เลวลง

เมื่อสัญญาณมาถึงเครื่องรับและแปลง DFT ไปในโดเมนความถี่แล้ว การแปลงกลับจะทำได้โดยคูณ Conjugate ของ Phase Rotation Factor กลับเข้าไป จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลต่อตามชนิดของเครื่องรับที่ใช้

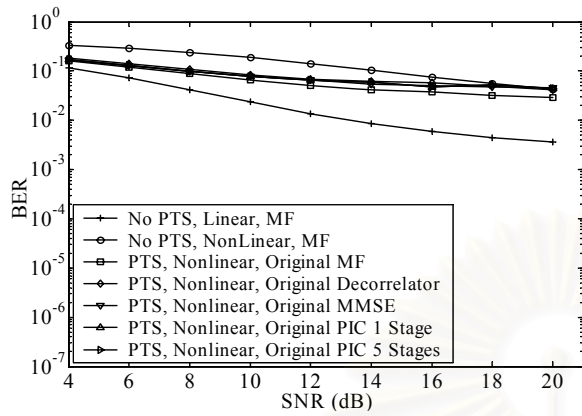
ในกรณีที่ใช้แมตซ์ฟิลเตอร์เป็นเครื่องรับ แมตซ์ฟิลเตอร์แต่ละเครื่องถูกแมตซ์เข้ากับรหัสที่ถูกคูณด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนที่สอดคล้องกัน นั่นคือใช้เกณฑ์ MRC

ในกรณีของ Decorrelator นั้น Decorrelator เป็นเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายซึ่งจะนำเอาดีพุดจากแมตซ์ฟิลเตอร์มาประมวลผลต่อโดยการคูณด้วยอินเวอร์สของคอร์รีเลชันเมตริกซ์ของรหัสที่ถูกคูณด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนที่สอดคล้องกัน

สำหรับ MMSE จะแทนที่ อินเวอร์สของคอร์รีเลชันเมตริกซ์ของดีคอร์รีเลเตอร์ด้วยอินเวอร์สของคอร์รีเลชันเมตริกซ์บวกด้วยเมตริกซ์แยงที่มีสมาชิกเป็นส่วนกลับของ SNR

ส่วนใน PIC นั้นจะดึงเอาดีพุดจากชุดแมตซ์ฟิลเตอร์ จากนั้นจึงนำมาแก้รหัสของผู้ใช้ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกัน ซึ่งรหัสนั้นก็ถูกคูณด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนที่สอดคล้องกันเช่นกัน จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้นี้มาลบ

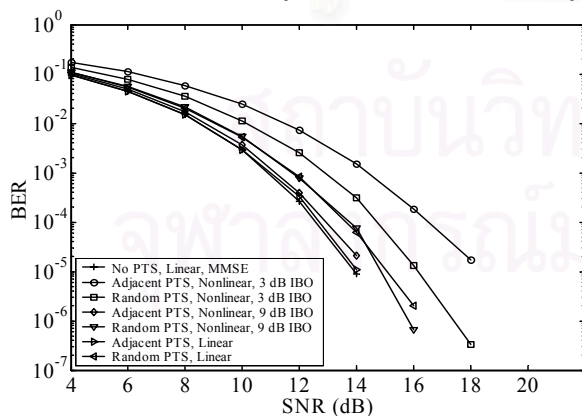
ออกจากสัญญาณที่ได้รับที่ได้แปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่แล้ว โดยไม่ต้องนำสัญญาณของผู้ใช้ที่สนใจมาลบด้วย จากนั้นสัญญาณที่เหลือสำหรับผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแมตช์ด้วยรหัสที่ถูกคูณด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักของใช้นั้น ๆ เครื่องรับแบบ PIC นี้สามารถมีได้หลายชั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น



สมรรถนะเชิง BER ของระบบ MC-CDMA ที่ใช้รหัสวอลซ์สำหรับเครื่องรับต่าง ๆ ที่ใช้รหัสเดิมในการประมวลผลสัญญาณในกรณีที่มีค่า IBO เป็น 3 dB แสดงอยู่ในรูปทางซ้าย พบว่าเมื่อวงจรขยายมีความไม่เป็นเชิงเส้น สมรรถนะทาง BER จะลดถอยลงไปมาก เนื่องจากรหัสเดิมจะให้ค่า PAPR สูงมากจึงได้รับผลจากความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายมากตามไปด้วย หลังจากที่ใช้เทคนิค PTS พบว่าสมรรถนะทาง BER ดีขึ้นมาเนื่องจากไป

ปรับปรุง PAPR ให้ต่ำลง แต่สังเกตว่าไม่ว่าจะใช้เครื่องรับแบบใดก็ตามจะมี BER เกือบจะไม่ต่างจากกันเลย เนื่องจากมีผลจากค่าออร์ริเลชันที่เกิดจาก Phase Rotation Factor อยู่ จากกราฟจะเห็นแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่ม SNR ไปมากกว่านี้อีก BER ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้เทคนิค PTS จะลู่เข้าหากัน เนื่องจากที่ SNR ค่าต่ำจะได้รับผลกระทบจากการอ้อมตัวและความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายพร้อมกับสัญญาณรบกวนด้วย ส่วนที่ SNR ค่าสูงจะได้รับผลจากวงจรขยายเพียงอย่างเดียว

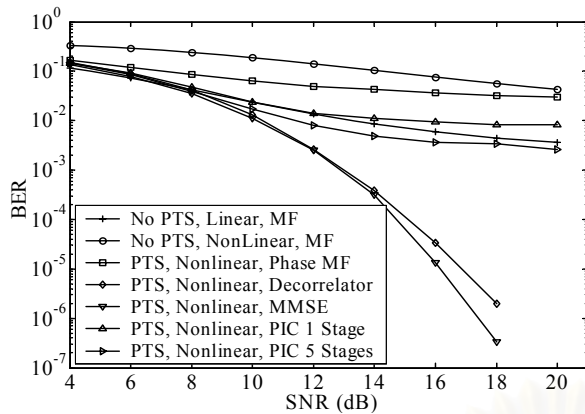
อย่างไรก็ตามเมื่อมาพิจารณาสัญญาณของผู้ใช้หนึ่ง ๆ พบว่าในกรณีของการมอดูเลตที่มีแอมพลิจูดคงที่ ดังเช่น PSK แบบต่าง ๆ นั้น ค่าของกำลังจะไม่ขึ้นกับสัญลักษณ์ข้อมูลแต่เป็นรหัสแทน และเนื่องจากรหัสของผู้ใช้แต่ละคนจะเหมือนเดิมตลอด ทำให้กำลังของสัญลักษณ์ข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์จะมีลักษณะเหมือนเดิมตลอดเช่นกัน ถึงแม้ว่าแอมพลิจูดจะมีลักษณะไม่เหมือนกันก็ตาม ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยน Phase Rotation Factor ถ้าไม่มีการเปลี่ยนรหัสของผู้ใช้ใหม่ ด้วยเหตุนี้จึงไม่จำเป็นต้อง Side Information เกี่ยวกับ Phase Rotation Factor นั่นคือไม่ต้องใช้แบนด์วิดท์เพิ่มเติมเป็นพิเศษ นี่เป็นข้อดีในการนำเทคนิค PTS มาใช้บน MC-CDMA เมื่อรวม Phase Rotation Factor ของผู้ใช้แต่ละรายเข้ากับรหัสของผู้ใช้นั้น จะได้รหัสใหม่ขึ้นซึ่งจะเรียกว่า Phase Code



รูปทางซ้ายแสดง BER ของระบบที่เครื่องรับใช้ Phase Code ในการประมวลผล ในรูปจะแสดงในกรณีที่วงจรขยายเป็นเชิงเส้นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบไว้ด้วย จะเห็นว่าเมื่อใช้เครื่องรับแบบ Phase Code จะให้สมรรถนะทาง BER ดีกว่ากรณีที่ใช้รหัสเดิมเป็นอย่างมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเครื่องรับที่ใช้ Phase Code ทำหน้าที่ได้ดีในการลดการรบกวนระหว่างผู้ใช้ที่เกิดจากการใช้ Phase Rotation ผนวกกับ PTS ทำหน้าที่ได้ดีที่จะ

ไม่ให้เกิดผลจากความไม่เป็นเชิงเส้น ทั้งนี้เครื่องรับ MMSE ให้ผลดีที่สุด รองลงมาจะเป็นเครื่องรับดีคอดอร์และ PIC ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่เครื่องรับเป็นแมตช์ฟิลเตอร์ เมื่อใช้รหัสเดิมกับใช้ Phase Code แมตช์กับสัญญาณ สังเกตว่าจะให้สมรรถนะทาง BER เหมือนกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากทั้งสองกรณีนี้สมมูลกัน





รูปทางซ้ายนี้ แสดง BER ของระบบที่ค่า IBO ต่าง ๆ สำหรับการแบ่งบล็อกย่อยแบบ Interleaved แบบ Adjacent และแบบ Random จาก รูป สังเกตได้ว่าเมื่อค่า IBO เพิ่มขึ้นผลจากการ อัดตัวและความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายจะยิ่ง น้อยลง เป็นผลให้ BER ลดต่ำลง และจะเห็นได้ว่า คือเมื่อผลจากวงจรขยายน้อยลง ช่วงที่ BER ลด ต่ำลงสำหรับการแบ่งบล็อกย่อยแต่ละแบบจะไม่ เท่ากัน โดยแบบ Interleaved จะลดได้น้อยสุด แบบ

Adjacent ลดได้รองลงมา และแบบ Random ลดได้มากที่สุด แต่ผลที่น่าสนใจคือการแบ่งบล็อกย่อยแบบ Adjacent จะให้สมรรถนะ BER เข้าใกล้กับในกรณีที่ระบบเป็นเชิงเส้นมากที่สุดเมื่อเพิ่ม IBO ขึ้น และยังไปกว่านั้นให้ สมรรถนะเทียบเคียงได้กับในกรณีที่ระบบเป็นเชิงเส้นเมื่อไม่มีผลจากวงจรขยายอยู่เลย ทั้งนี้วิเคราะห์ได้ว่าแบบ แขนงแบบ Adjacent จะยังคงทำให้ Phase Code ตั้งฉากกันอยู่ในขณะที่ลด PAPR ไปด้วย อย่างไรก็ตามการแบ่ง แบบประชิดนี้ลด PAPR ได้น้อยกว่าแบบ Random ดังนั้นเมื่อผลจากวงจรขยายมีมาก BER จึงต่ำกว่า แต่เมื่อผล จากวงจรขยายมีน้อยผลจากการที่รหัสตั้งฉากกันจะเด่นชัดขึ้นเป็นผลให้สมรรถนะทาง BER ดีกว่าแบบแขนงแบบ อื่น และเมื่อในระบบที่ไม่มีผลจากการอัดตัวหรือความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายเลขระบบที่ใช้ PTS จะมี สมรรถนะเทียบเคียงได้กับระบบที่ไม่ใช้เทคนิค PTS

3.5 ข้อดี-ข้อเสียของการนำเทคนิค PTS มาใช้กับระบบ MC-CDMA บนข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น และใช้เครื่องรับเป็น แบบรหัสเฟส

#### ข้อดี

1. แอมพลิจูดของสัญญาณและรวมไปถึงกำลังของสัญญาณลดลงไปได้มาก ทำให้ไม่สิ้นเปลืองแบตเตอรี่ และเป็นการใช้วงจขยายอย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีความยืดหยุ่นในการลด PAPR ทำให้สามารถลด PAPR ได้หลายระดับ โดยการปรับจำนวนบล็อก ย่อยหรือจำนวนเฟสที่ใช้หรือแม้แต่ปรับแบบแผนการแบ่งบล็อกย่อย นั่นหมายถึงสามารถเลือกขีดความสามารถ ของวงจขยายที่ต้องใช้ในเครื่องส่งได้หลายระดับ
3. ในกรณีที่เครื่องส่งมีขีดความสามารถต่ำมากสามารถเลือกใช้แบบแผนการแบ่งบล็อกย่อยแบบสุ่มโดย ยอมให้รหัสเฟสไม่ตั้งฉากกันซึ่งจะให้สมรรถนะที่ต่ำ ส่วนในกรณีที่เครื่องส่งมีขีดความสามารถสูงขึ้นไปมากก็สามารถ เลือกใช้แบบแผนการแบ่งบล็อกย่อยแบบประชิดได้เพื่อให้รหัสเฟสตั้งฉากกัน
4. ไม่ต้องเสียแบนด์วิดท์เพื่อใช้ในการส่งตัวประกอบการหมุนเฟส เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนตัว ประกอบการหมุนเฟสจนกว่าจะมีการเปลี่ยนรหัสของผู้ใช้

#### ข้อเสีย

1. มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นจากการหาเฟสที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งจำนวนครั้งในการแปลง IFFT ต่อหนึ่งรหัส จะเท่ากับจำนวนกลุ่ม
2. เครื่องรับต้องมีฟังก์ชันเพิ่มขึ้นมาในการใช้รหัสเฟส



### 3.6 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้

#### 3.6.1 Thesis

การลดกำลังค่ายอดต่อกำลังเฉลี่ยในเอ็มซี-ซีดีเอ็มเอ โดยใช้ลำดับส่งย่อย

(Peak to Average Power Ration Reduction in MC-CDMA using Partial Transmit Sequences)

#### 3.6.2 Upcoming International Conference Paper

Peak to Average Power Ration Reduction in MC-CDMA using Partial Transmit Sequences ที่การประชุม Wireless Telecommunications Symposium เมืองโพโมนา รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างวันที่ 13-15 พฤษภาคม พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4. แผนงานวิจัยด้านแก้ปัญหา Insufficient Cyclic Prefix และ Frequency Offset

##### 4.1 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคสำหรับแก้ปัญหา Insufficient Cyclic Prefix และ Frequency Offset ไปพร้อม ๆ กัน
2. เสนอเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับเครื่องรับ เพื่อให้สามารถนำเครื่องรับที่นำเสนอไปใช้งานได้จริง
3. พัฒนาเทคนิคการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าประมาณของพารามิเตอร์
4. ศึกษาผลกระทบและความจำเป็นของ Cyclic Prefix ต่อระบบ MC-CDMA

##### 4.2 การศึกษางานวิจัยในอดีต

งานส่วนมากเกี่ยวกับระบบ MC-CDMA นั้นพิจารณาการรับสัญญาณในฝั่งขาลงเป็นส่วนมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าช่องสัญญาณขาลงนั้นจะต้องรองรับอัตราส่งข้อมูลสูงกว่าในฝั่งขาขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาเชิงปฏิบัติของการสื่อสารมัลติมีเดียแบบเวลาจริง ทำให้ความต้องการอัตราส่งข้อมูลสูงในฝั่งขาขึ้นนั้น เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการวิจัยในช่องสัญญาณขาขึ้นจึงมีความจำเป็นเพิ่มมากขึ้น ช่องสัญญาณขาขึ้นนั้นมีความแตกต่างจากช่องสัญญาณขาลงอย่างมาก ในช่องสัญญาณขาขึ้น สัญญาณผู้ใช้แต่ละคนจะผ่านช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน และมีค่าของ Frequency Offset แตกต่างกันด้วย ในขณะที่ช่องสัญญาณขาลงนั้นสัญญาณของผู้ใช้ทุกคนจะผ่านช่องสัญญาณเหมือนกัน และมีค่า Frequency Offset เท่ากัน จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้เทคนิคที่ถูกพัฒนาสำหรับช่องสัญญาณขาลง ไม่สามารถนำมาใช้กับช่องสัญญาณขาขึ้นได้

##### 4.2.1 ปัญหา Insufficient Cyclic Prefix

ปัญหา Insufficient Cyclic Prefix นี้ได้ถูกพิจารณาทั้งในระบบ OFDM และ MC-CDMA ปรากฏการณ์ Insufficient Cyclic Prefix ทำให้เกิดการแทรกสอดข้ามสัญลักษณ์ (Intersymbol Interference, ISI) และการแทรกสอดข้ามคลื่นพาหะย่อย (Inter-carrier Interference, ICI) เทคนิคจำนวนมากที่ถูกนำเสนอเพื่อแก้ปัญหา Insufficient Cyclic Prefix ส่วนมากจะมีโครงสร้างเครื่องรับแบบ Decision Feedback Equalizer (DFE) โดยเครื่องรับดังกล่าวจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ทำหน้าที่หักล้าง ISI และทำหน้าที่ตัดสินใจตัดสินบิตข้อมูล สำหรับระบบ OFDM ส่วนสำหรับตัดสินใจตัดสินบิตข้อมูลจะทำการแก้ไข ICI ก่อนที่จะทำการตัดสินใจตัดสินบิต เทคนิคการแก้ไข ICI นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การใช้ Linear MMSE solution, Maximum likelihood sequence estimator, Iterative ICI generation and compensation เป็นต้น เทคนิคที่ถูกเสนอใช้ในระบบ OFDM ไม่สามารถนำไปใช้ในระบบ MC-CDMA ได้ เนื่องจากเทคนิคเหล่านี้ไม่ได้พิจารณาผลของ MAI เลย เทคนิคสำหรับระบบ MC-CDMA นั้นมี 2 ประเภทคือ ประเภทใช้การลบสัญญาณที่ได้รับผลจาก ISI ทั่วไป และประเภท DFE สำหรับประเภทแรกนั้นจะมีสมรรถนะที่ไม่ดีนัก เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป ทำให้ได้รับผลกระทบจาก noise มากขึ้น มากไปกว่านั้นการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องรับดังกล่าวยังเป็นที่ยังสงสัยว่าจะสามารถหาได้หรือไม่ สำหรับประเภท DFE นั้นงานในอดีตได้เสนอให้เงื่อนไข MMSE ในการออกแบบเครื่องรับ ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าว ทำให้ได้ส่วนในการตัดสินใจตัดสินบิตของ DFE เป็น มัลติยูสเซอร์ดีเทคชัน แบบ MMSE ดังนั้นเทคนิคนี้สามารถแก้ไขปัญหา MAI ได้เป็นอย่างดี

ปัญหาของเครื่องรับประเภท DFE นั้นอยู่ที่ประเด็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ โดยทั่วไปนั้นเทคนิคการประมาณช่องสัญญาณจะต้องมีสมมุติฐานว่า Cyclic Prefix นั้นเพียงพอ ซึ่งเป็นผลให้สามารถเขียน Channel ในรูปแบบของฟิลเตอร์ที่มีค่าหน่วยเวลาของแต่ละ tap เท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามเทคนิค

ดังกล่าวไม่สามารถใช้ในกรณี Insufficient Cyclic Prefix ได้ นอกจากนี้การวัด Non-uniform channel impulse response นั้นแทบเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากว่ามันจำเป็นต้องใช้แถบความถี่ที่กว้างมาก

#### 4.2.2 ปัญหา Frequency Offset

สาเหตุหลักของ Frequency Offset นั้นเกิดจากการไม่เท่ากันของเครื่องกำเนิดความถี่ที่ฝั่งส่งและฝั่งรับ ตามทฤษฎีแล้ว Frequency Offset อาจเกิดจากปรากฏการณ์ Doppler เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์การสื่อสาร ไร้สาย อย่างไรก็ตาม Frequency Offset ที่เกิดจากกรณีนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับที่เกิดจากเครื่องกำเนิดความถี่ ในช่วงสัญญาณขาลง เครื่องรับสามารถประมาณค่า Frequency Offset ได้โดยง่าย วิธีการประมาณค่า Frequency Offset มีหลากหลายตั้งแต่วิธีที่ต้องใช้สัญญาณอ้างอิง ไปจนกระทั่งวิธีแบบบอด ค่า Frequency Offset ที่ถูกประมาณได้สามารถนำไปใช้แก้ความไม่เท่ากันดังกล่าวได้ไม่ยาก โดยกระบวนการแก้ไข Frequency Offset นั้นทำแบบดิจิทัล มีความซับซ้อนน้อย ในช่วงสัญญาณขาขึ้น ปัญหา Frequency Offset มีความซับซ้อนมากกว่าในช่วงสัญญาณขาลงอย่างมาก เนื่องจากสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะมีค่า Frequency Offset ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ถึงแม้ว่าจะสามารถประมาณค่า Frequency Offset ออกมาได้ การแก้ไข Frequency Offset ก็ยังเป็นเรื่องยากอยู่ดี

วิธีการที่เป็นไปได้สำหรับแก้ไข Frequency Offset ในช่วงสัญญาณขาขึ้นนั้น ทำได้โดยการรวมผลกระทบจาก Frequency Offset เข้าไปเครื่องรับเลย แทนที่จะประมาณ Frequency Offset และแก้ไข ก่อนจะทำการตัดสินใจ การกำหนดคลื่นพาหะย่อยให้แก่แต่ละบิตข้อมูลนั้นก็มีความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหา Frequency Offset งานในอดีตได้แสดงให้เห็นว่า การใช้การกำหนดคลื่นพาหะย่อยแบบต่อเนื่อง ทำให้ได้รับอัตราการผิดพลาดบิตที่น้อยกว่าการกำหนดคลื่นพาหะย่อยแบบสลับ (Interleaved Scheme) ทั่ว ๆ ที่ความเป็นจริงแล้วการกำหนดคลื่นพาหะย่อยแบบสลับทำให้ได้ความหลากหลายทางความถี่สูงกว่าก็ตาม

#### 4.2.3 ปัญหา MAI

ปัญหา MAI ในระบบ MC-CDMA มีความคล้ายคลึงกับในระบบ DS-SS เป็นอย่างมาก ดังนั้นเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน ซึ่งได้รับการวิจัยค้นคว้ามาอย่างมากในระบบ DS-SS สามารถนำมาใช้ในระบบ MC-CDMA ได้ มีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาการนำมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันประเภทต่าง ๆ มาใช้ในระบบ MC-CDMA รวมถึงงานบางส่วนของกลุ่มวิจัยนี้ด้วย

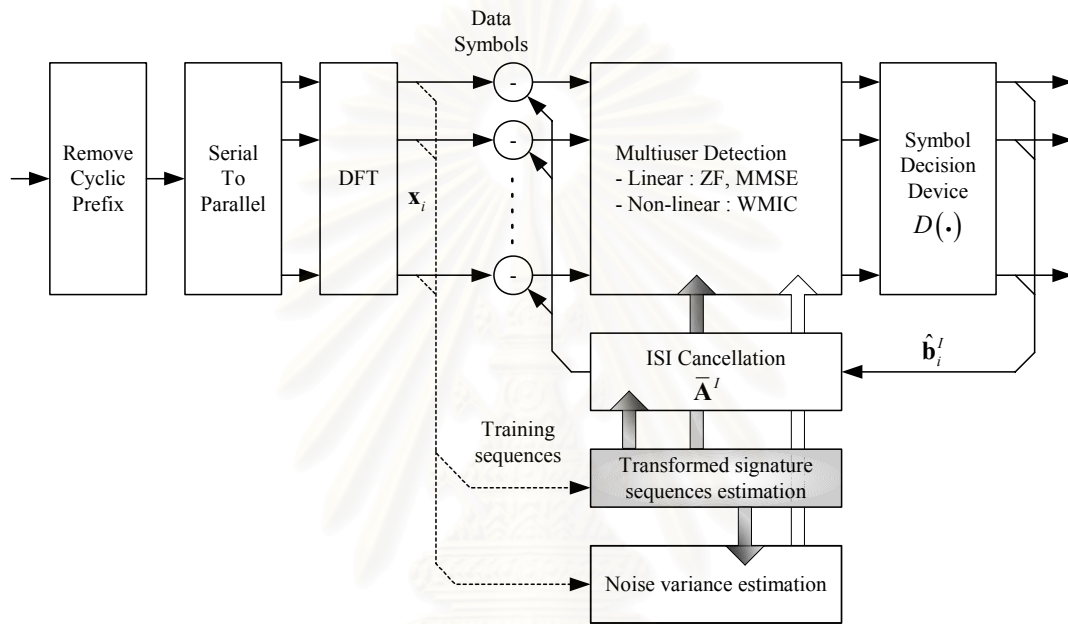
### 4.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบ MC-CDMA ที่มีปัญหา Insufficient Cyclic Prefix และ Frequency Offset

ในช่วงแรกของงานวิจัย นักวิจัยได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ระบบ MC-CDMA ที่มีปัญหา Insufficient Cyclic Prefix และ Frequency Offset ขึ้นมา เพื่อให้เข้าใจได้ถึงกายภาพ และคุณลักษณะของปัญหา แบบจำลองดังกล่าวมีประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบเครื่องรับชนิดใหม่ เพื่อมาแก้ปัญหา ในงานวิจัยนี้ได้สมมุติการจัดระเบียบสัญญาณแบบ Quasi-synchronous ซึ่งอนุญาตให้สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนสามารถมีค่านช่วงเวลาจากจุด synchronize ได้เล็กน้อย จากสมมุติฐานดังกล่าวทำให้การตัดสินใจที่สนใจได้รับผลกระทบจากบิตที่สนใจ และบิตก่อนหน้าเท่านั้น ค่า Frequency Offset นั้นกำหนดไว้อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5 จากแบบจำลองที่ได้ นักวิจัยได้พบว่า Insufficient Cyclic Prefix การเฟดดิ้งหลายวิถี และ Frequency Offset สามารถรวมไว้ในแบบจำลองในรูปแบบทั่วไป ผ่านทาง Transformed Signature Sequence โดย Transformed Signature Sequence นั้นเป็นฟังก์ชันของ Signature Sequence เริ่มต้น Insufficient Cyclic Prefix การเฟดดิ้งหลายวิถี และ Frequency

Offset จากความรู้ดังกล่าวทำให้สามารถพัฒนาเครื่องรับที่มีโครงสร้างแบบ DFE เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เครื่องรับที่นำเสนอ นั้นสามารถรองรับการใช้งานมัลติยูสเซอร์ดีเทคชันได้หลายประเภท

#### 4.4 เครื่องรับที่นำเสนอ

เครื่องรับที่นำเสนอมีโครงสร้างแบบ DFE กล่าวคือมีส่วนสำหรับหักล้าง ISI และใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทคชันในการตัดสินใจข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคน โดยการทำงานทั้งหมดจะอยู่บนพื้นฐานของ Transformed Signature Sequence ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องรับที่นำเสนอ นั้น แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องรับที่นำเสนอ

มัลติยูสเซอร์ดีเทคชันหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้และทดสอบในเครื่องรับที่นำเสนอ โดยใช้การจำลองระบบในคอมพิวเตอร์ ผลของการจำลองระบบนั้นแสดงในรูปที่ 4.2 มัลติยูสเซอร์ดีเทคชันที่ถูกนำมาทดสอบได้แก่ Decorrelating Detector (DD), MMSE Detector, Weighted Multistage Interference Cancellation (WMIC) และมัลติยูสเซอร์ดีเทคชันที่เกิดจากการรวมกันของ DD/MMSE detector กับ WMIC จากผลการจำลองระบบพบว่า DD มีสมรรถนะที่ดีเฉพาะในกรณีที่มัลติยูสเซอร์ดีเทคชันในระบบไม่มาก สมรรถนะของ DD เข้าใกล้กับ MMSE detector เฉพาะในกรณีที่มัลติยูสเซอร์ดีเทคชันในระบบไม่มากและมีค่ากำลังของ noise ต่ำ มัลติยูสเซอร์ดีเทคชันกลุ่ม WMIC มีสมรรถนะที่เหนือกว่าพวก DD และ MMSE detector ในเกือบทุกสถานการณ์ การเลือกค่า weight factor ที่ดีช่วยให้สมรรถนะของ WMIC ดีขึ้นอย่างชัดเจน การใช้ MMSE detector หรือ DD มาร่วมกับ WMIC ก็ช่วยให้สมรรถนะดีขึ้นอย่างมาก

ตารางที่ 4.1 รูปแบบของ WMIC ที่นำมาทดสอบ

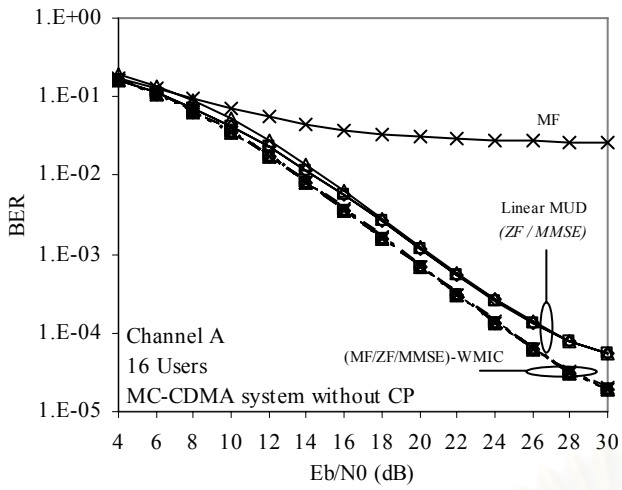
Name	N.S.	Initial stage	Weight factor
MF-WMIC.1	3	MF	0.6,0.8,1.0
MF-WMIC.2	3	MF	1.0,1.0,1.0
ZF-WMIC.1	3	ZF MUD	0.6,0.8,1.0
ZF-WMIC.2	3	ZF MUD	1.0,1.0,1.0
MMSE-WMIC.1	3	MMSE MUD	0.6,0.8,1.0
MMSE-WMIC.2	3	MMSE MUD	1.0,1.0,1.0

ตารางที่ 4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณที่ใช้ทดสอบ

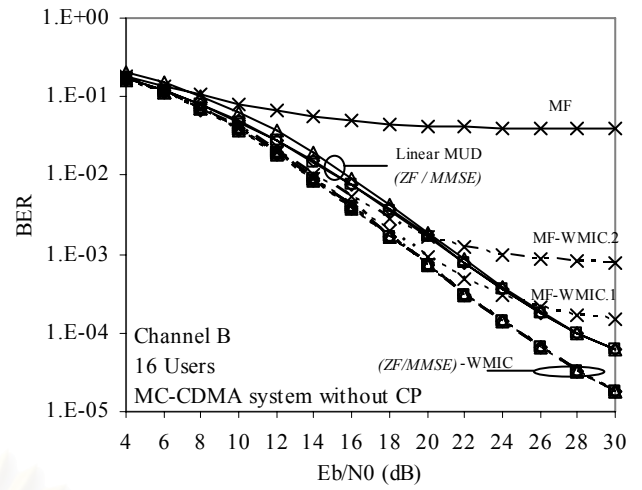
Channel	Path no. ( $l$ )	Path delays ( $\tau_k(l)$ )
A	0	$\tau_k(0) = 0$
	1	$\tau_k(1) = 4.5T_C$
B	0	Randomly selected from set, $\tau_k(0) \in \{0, 0.5T_C, T_C, 1.5T_C, 2T_C\}$
	1	Lagging by $2.5T_C$ after the zero-th path, $\tau_k(1) = \tau_k(0) + 2.5T_C$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

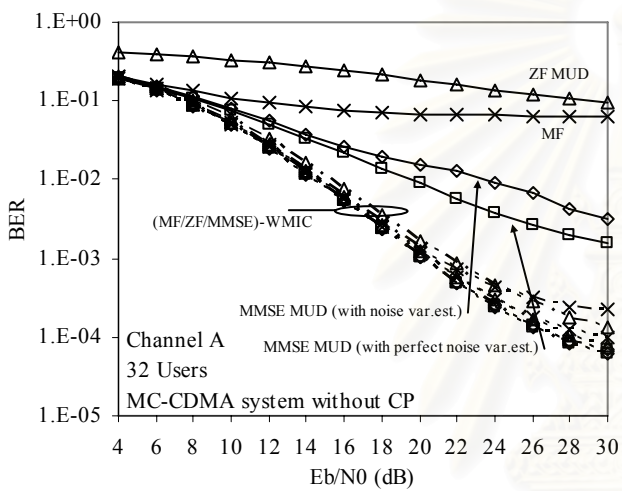




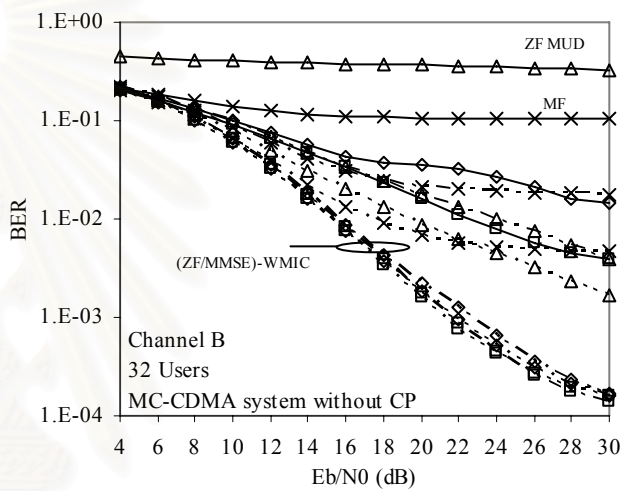
a) 16 users, channel A



b) 16 users, channel B



c) 32 users, channel A



d) 32 users, channel B

- ×— MF
- MMSE MUD with Perfect Noise Variance Estimation
- ◇— MMSE MUD with Noise Variance Estimation
- △— ZF MUD
- ×--- MF-WMIC.1
- MMSE-WMIC.1 with Perfect Noise Variance Estimation
- ◇--- MMSE-WMIC.1 with Noise Variance Estimation
- △--- ZF-WMIC.1
- ×--- MF-WMIC.2
- MMSE-WMIC.2 with Perfect Noise Variance Estimation
- ◇--- MMSE-WMIC.2 with Noise Variance Estimation
- △--- ZF-WMIC.2

รูปที่ 4.2 อัตราความผิดพลาดบิตของมัลติยูสเซอร์ทีเทคชันแต่ละประเภท

#### 4.5 การประมาณค่าพารามิเตอร์

##### 4.5.1 การประมาณ Transformed Signature Sequence

นักวิจัยได้พัฒนาเทคนิคการประมาณค่า Transformed Signature Sequence ที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 วิธี ดังได้สรุปเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.3 เทคนิคเหล่านี้ต้องการใช้สัญญาณอ้างอิงที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ วิธีการ (1) (2) และ (4) เป็นตัวประมาณที่ไม่ลำเอียง (unbiased estimator) และวิธีการ (1) และ (2) สามารถทำให้ได้รับ minimum mean square error นอกจากวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว นักวิจัยได้พัฒนา Least Squares Estimator ซึ่งสามารถใช้กับสัญญาณใดก็ได้ ตัวประมาณนี้กำลังนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ในช่วงที่ส่งบิตข้อมูลธรรมดา

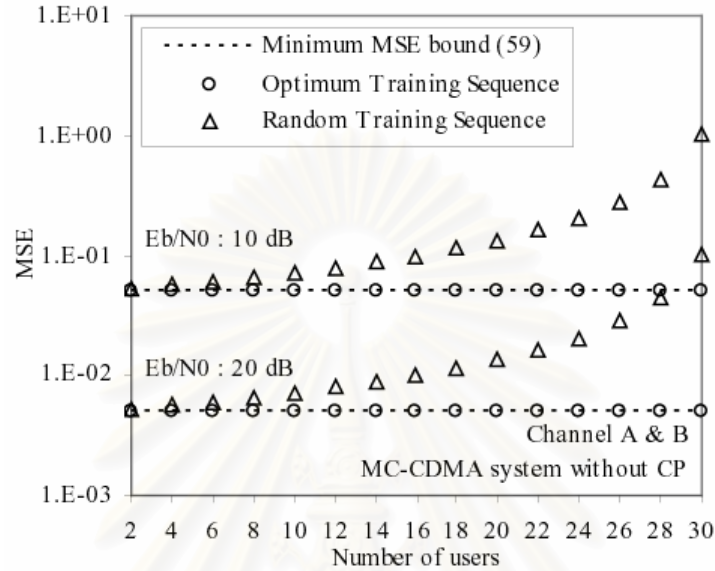
ตารางที่ 4.3 สรุปเปรียบเทียบเทคนิคการประมาณค่า Transformed Signature Sequence

	เทคนิค	จำนวนสัญญาณอ้างอิง*
1	Interleaved orthogonal sequence scheme วิธีนี้สัญญาณอ้างอิงถูกสร้างจากการสลับแต่ละชิพของ Sequence 2 อัน ที่ตั้งฉากกัน เช่น Hadamard-Walsh Sequence ข้อดี: มีลักษณะสัญญาณต่อเนื่อง ทำให้มีการกระจายสเปกตรัมไม่มาก มีการเฉลี่ยผลของ noise อย่างเต็มที่ ข้อเสีย: ต้องใช้จำนวนสัญญาณอ้างอิงมาก ทำให้เสียสมรรถนะการใช้งาน แถบความถี่	4K+1
2	Alternate pilot scheme สำหรับวิธีนี้ สัญญาณอ้างอิงของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแทรกไว้คนละเวลากัน โดยมีการแทรกช่วงว่างเข้าไประหว่างสัญญาณอ้างอิงด้วย ข้อดี: ใช้จำนวนสัญญาณอ้างอิงไม่มาก ข้อเสีย: มีลักษณะสัญญาณไม่ต่อเนื่อง มีการเฉลี่ยผลของ noise ไม่เต็มที่	2K+1
3	Adaptive Estimation Scheme ใช้ระเบียบวิธีปรับตัวเช่น LMS และ RLD ในการประมาณ ข้อดี: สามารถทำงานใน Decision Direct Mode ข้อเสีย: ต้องการจำนวนสัญญาณอ้างอิงมาก มีการลู่อื่นเข้า และได้รับผลกระทบการ Gradient Noise	N/A
4	Cyclic Orthogonal Sequence Scheme เป็นการใช้สัญญาณอ้างอิงที่มีลักษณะ Cyclic Orthogonal ข้อดี: ใช้จำนวนสัญญาณอ้างอิงไม่มาก มีลักษณะสัญญาณต่อเนื่อง มีการเฉลี่ยผลของ noise อย่างเต็มที่	2K+1

\*จำนวนสัญญาณอ้างอิงสำหรับระบบที่มีผู้ใช้ K คน

#### 4.5.2 การประมาณกำลังของ noise

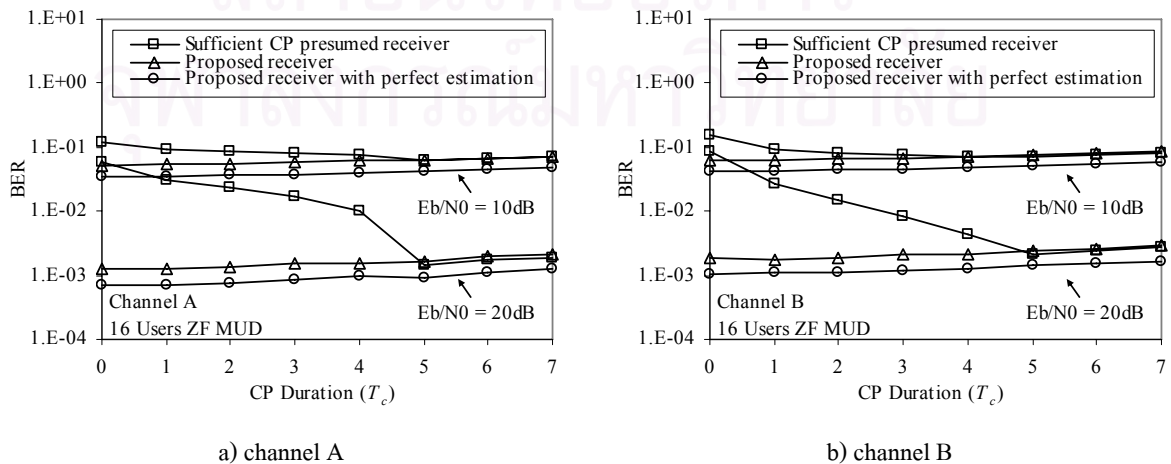
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันบางประเภท เช่น MMSE Detector นั้นต้องการการประมาณค่ากำลังของ noise นักวิจัยได้พัฒนาเทคนิคการประมาณค่ากำลังของ noise โดยใช้ Transformed training sequence ที่ประมาณได้กับค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณที่รับได้ ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะในระดับที่น่าพอใจของตัวประมาณกำลังของ noise



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบ LS estimator ที่ใช้สัญญาณอ้างอิงแบบสุ่ม และแบบที่ใช้สัญญาณอ้างอิงแบบดีที่สุด

#### 4.6 การวิเคราะห์ความจำเป็นของการใช้ Cyclic Prefix

งานส่วนมากที่มีมาในอดีตนั้น ต้องการ cyclic prefix ที่ยาวกว่าความยาวของช่องสัญญาณ เพื่อให้เครื่องรับมีความซับซ้อนน้อย และเพื่อให้สามารถประมาณช่องสัญญาณโดยใช้แบบจำลอง sampled spaced impulse response อย่างไรก็ตามความต้องการเหล่านี้ได้ถูกกำจัดลงเนื่องจากเครื่องรับที่สถานีฐานในฝั่งขาขึ้นนั้นสามารถมีความซับซ้อนสูงได้ และการประมาณพารามิเตอร์ที่จำเป็นสามารถทำได้โดยใช้กรรมวิธีในหัวข้อที่แล้ว นอกจากนี้การใช้ cyclic prefix ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป ทำให้อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อ noise มีค่าลดลง จากผลการจำลองระบบพบว่าเมื่อใช้เครื่องรับที่นำเสนอ ร่วมกับเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อที่แล้ว สมรรถนะที่ดีที่สุด ได้มาจากระบบที่ไม่มีการใช้ cyclic prefix เลย



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องรับกับปริมาณการใช้ cyclic prefix

#### 4.7 การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับจำลองระบบ

เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคที่ได้นำเสนอ จำเป็นจะต้องพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการจำลองระบบ ซอฟต์แวร์ดังกล่าวได้ถูกเริ่มค้นพัฒนาขึ้นมาเมื่อหลายปีที่แล้ว และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาหลัก ๆ ในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา มีดังนี้

##### 4.7.1 การเชื่อมต่อกับ โปรแกรม MATLAB

โปรแกรม MATLAB นั้นเป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลองทางคณิตศาสตร์ดีมาก มันได้รวมฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์พร้อมใช้ไว้มากมาย เช่นการทำ matrix decomposition การหา inverse matrix การออกแบบวงจรกรองคิพิตัล เป็นต้น ซึ่งฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เหล่านี้จะต้องเสียเวลามากเมื่อนำมาเขียนในภาษา C++ นอกจากนั้นการแก้ไขจุดคิดยังเป็นไปได้ยาก การใช้โปรแกรม MATLAB แต่เพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ซอฟต์แวร์สำหรับจำลองระบบทำงานช้า ดังนั้นนักวิจัยจึงได้เพิ่มเติมฟังก์ชันการเชื่อมต่อกับ โปรแกรม MATLAB เข้าไปในโปรแกรมการจำลองระบบที่พัฒนาด้วยภาษา C++ โดยซอฟต์แวร์หลักจะไปทำการเรียกฟังก์ชันของ โปรแกรม MATLAB และมีการถ่ายโอนค่าตัวแปรระหว่างทั้ง 2 โปรแกรม

##### 4.7.2 การแก้ไขซอฟต์แวร์ให้ทำงานแบบ Multithread

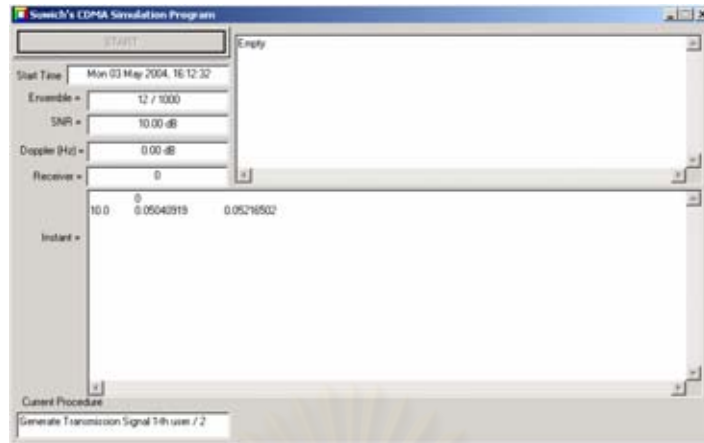
ปัญหาของซอฟต์แวร์ในรุ่นก่อนหน้าก็คือตัวหน้าต่างของโปรแกรม ไม่สามารถอ่านได้ในระหว่างที่ทำการรันการทดลอง จึงทำให้ไม่สามารถจะติดตามและหยุดการทำงานของมันได้เมื่อจำเป็น ดังนั้นนักวิจัยจึงแก้ไขซอฟต์แวร์เดิมจากที่เป็นแบบ Single Thread ไปเป็นแบบ Multithread

##### 4.7.3 Serial to parallel และ oversampling

ในปัจจุบัน การวิจัยนี้พิจารณาในระบบ MC-CDMA ที่เหมือนกันระบบจริง ๆ มากขึ้น จึงต้องมีกระบวนการทำ Serial to parallel และมีการใช้ non-uniform spaced channel model ซอฟต์แวร์จึงถูกพัฒนาให้รองรับสิ่งเหล่านี้

##### 4.7.4 Time Varying Channel

ซอฟต์แวร์สามารถสร้างสัมประสิทธิ์ช่องสัญญาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว สัมพันธ์กับค่าความถี่ Doppler และค่าเสปคตรัม Doppler ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น รองรับสเปกตรัม Doppler แบบต่าง ๆ ดังนี้ “Rice”, “Jake”, “Gauss I” และ “Gauss II”



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างหน้าต่างซอฟต์แวร์สำหรับจำลองระบบ

#### 4.8 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้

##### 4.8.1 Dissertation Proposal

“RECEIVER AND PARAMETER ESTIMATION TECHNIQUES FOR QUASI-SYNCHRONOUS REVERSE LINK MULTICARRIER CDMA SYSTEM”

##### 4.8.2 International Conference Papers

Suwich Kunaruttanapruk and Somchai Jitapunkul, “THE NOVEL DECISION FEEDBACK EQUALIZER FOR OFDM SYSTEM WITH INSUFFICIENT CYCLIC PREFIX,” Proc. IEEE CNSR 2004, May 2004.

Suwich Kunaruttanapruk and Somchai Jitapunkul, “PARTIAL WEIGHT MULTISTAGE INTERFERENCE CANCELLATION FOR REVERSE LINK MC-CDMA SYSTEM USING PILOT ASSISTED CHANNEL ESTIMATION,” Proc. IEEE CNSR 2004, May 2004.

##### 4.8.3 Software

Simulation software, developed in C++ language on MS Windows platform

สุวิช คุนารัตนาปุรูก  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## 5. แผนงานวิจัยด้านแก้ปัญหาเกี่ยวกับการใช้ Waveform shaping

### 5.1 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหารูปแบบต่างๆ ของการทำ Waveform Shaping จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งในระบบ MC-CDMA และ OFDM เพื่อสรุพบหาข้อดีข้อเสียของ Waveform แบบต่างๆ
2. ปรับปรุงตัว Waveform ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อมุ่งการแก้ปัญหาของ Out of Band Energy และยังคงลดการเกิดของ ISI และ ICI ได้อีกด้วย
3. เพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ ในการนำ Waveform Shaping มาใช้เป็นส่วนหนึ่งในระบบที่จะเสนอและนำไปใช้ในระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4

### 5.2 แนวเหตุผล

ปัญหาความทนทานต่อ Multi-path Channel, Frequency Offset ที่ต่ำ และปัญหา Out of Band Energy ที่มีค่ามาก เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบ MC-CDMA ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เนื่องจาก Multi-path Channel และ Frequency Offset จะทำให้แต่ละคลื่นพาท่อย่อยสูญเสียความเป็นฉากซึ่งกันและกัน อีกทั้งยังทำให้สัญลักษณ์ในแต่ละคลื่นพาท่อย่อยเกิดการแทรกสอดซึ่งกันและกัน ทำให้เกิด ISI (Inter-Symbol Interference) และ ICI (Inter-Carrier Interference) ขึ้น ส่วน Out of Band Energy จะทำให้ Bandwidth Efficiency ลดลง ดังนั้นการเพิ่มความทนทานต่อ Multi-path Channel และ Frequency Offset จะทำให้ลดผลของ ISI และ ICI ลงได้ ในขณะที่เดียวกันการลด Out of Band Energy จะทำให้ Bandwidth Efficiency ดีขึ้น และยังสามารถจำกัดช่วงความถี่ได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การทำ Waveform Shaping เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ MC-CDMA ได้ ในแง่ของการลด Out of Band Energy และยังสามารถจำกัดช่วงความถี่ได้ แต่ข้อเสียของการทำ Waveform Shaping นั้น ยังส่งผลให้เกิด ICI ขึ้น ฉะนั้น โครงการวิจัยย่อยฉบับนี้ จะเน้นไปที่การศึกษารูปแบบ Waveform ต่างๆ การทำ Windowing และแนวคิดใหม่ๆ ในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบ MC-CDMA ดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

### 5.3 ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

1. ศึกษาภาพรวมของระบบ MC-CDMA
2. ศึกษาการทำ Waveform Shaping แบบต่างๆ จากบทความที่นำเสนอทั้งในระบบ MC-CDMA และ OFDM ตัวอย่างเช่น
  - a. R. Li and G. Stette, "Time-limited Orthogonal Multicarrier Modulation Schemes", IEEE Transactions on Communications, vol. 43, no. 2 / 3 / 4, February / March / April 1995.
  - b. H. Nikookar and R. Prasad, "Waveshaping of Multicarrier Signal for Data Transmission over Wireless Channels", 1997 IEEE.
  - c. L. L. Yang and L. Hanzo, "Performance of Generalized Multicarrier DS-SS Using Various Chip Waveforms", IEEE Transactions on Communications, vol. 51, no.5, May 2003.
3. ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะของการทำ Windowing เช่น Rectangular Window, Half-sin Window และ Raised Cosine Window เป็นต้น เปรียบเทียบโดยคำนึงถึงผลของ ICI เป็นหลัก

Type of Window	Inter-Carrier Interference ( ICI )
Condition : Waveform is the sinusoidal wave	
Rectangular Window	-1.7447e-014
Half-Sin Window	-104.6509
Raised Cosine Window	
Roll-Off Factor = 0.10	-11.6651
Roll-Off Factor = 0.25	-87.1248
Roll-Off Factor = 0.50	0.1066

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า Rectangular Window จะให้ค่า ICI ต่ำที่สุด แต่เนื่องจาก Rectangular Window ไม่สามารถนำมาใช้ได้ทางปฏิบัติ จึงทำให้ไม่เหมาะสม ในขณะที่ Half-Sin Window ให้ค่า ICI ที่สูงกว่า Raised Cosine Window มาก ทำให้ Raised Cosine Window จึงเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการศึกษาต่อไป และโดยงานวิจัยทั่วไป ก็เลือกใช้ Raised Cosine Window ในการจำกัดรูปร่างของ Waveform โดยที่ค่า ICI ของ Raised Cosine Window นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า Roll-Off Factor เป็นสำคัญ

4. ศึกษาการทำงานของการทำงาน Windowing โดยเน้นไปที่ Raised Cosine Window เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ใช้กันทั่วไปในงานวิจัยต่างๆ และ โดยได้ศึกษาจากบทความวิจัย ดังต่อไปนี้
  - a. C. Muschallik, “Improving an OFDM Reception using an Adaptive Nyquist Windowing”, IEEE Transaction on Consumer Electronics, vol. 42, pp. 259-269, Aug. 1996.
  - b. X. G. Xia, “A Family of Pulse-Shaping Filters with ISI-Free Matched and Unmatched Filter Properties”, IEEE Transactions on Communications, vol. 45, no. 10, October 1997.
  - c. N. S. Alagha and P. Kabal, “Generalized Raised Cosine Filters”, IEEE Transactions on communications, vol. 47, no. 7, July 1999.
  - d. S. Muller-Weinfurter and J. Huber, “Robust OFDM Reception with Near-Optimum Nyquist Window”, in Proceeding of 50<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference, Amsterdam, The Netherlands, pp. 289-293, September 1999.
  
5. ศึกษา Raised Cosine Windowing โดยมุ่งเน้นไปที่ การลดผลของ ISI และ ICI ที่เกิดจากการทำ Windowing เพื่อให้การทำ Windowing มีความสมบูรณ์มากขึ้น

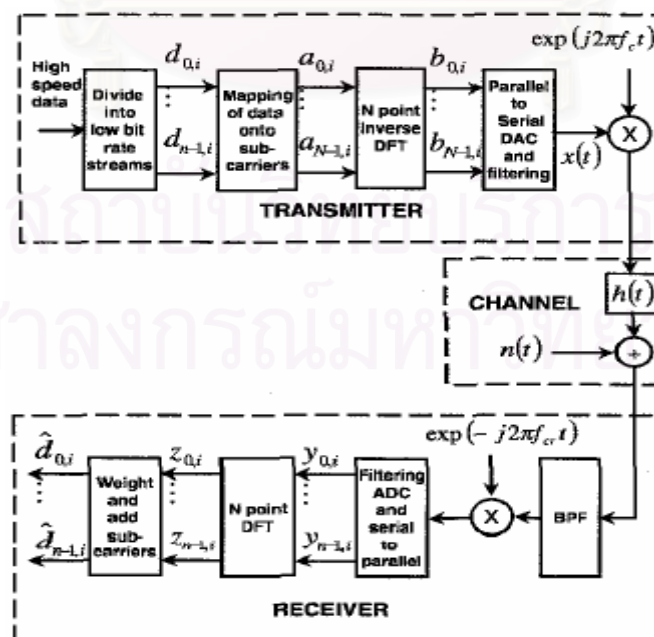
จากการศึกษาพบว่า การทำ Windowing นั้น สามารถลด Out of Band Energy ลงได้ และยังสามารถ Design รูปแบบของ Window ในลักษณะของ ISI-Free เพื่อป้องกันการเกิด ISI แต่ก็ยังได้รับผลกระทบของ ICI อยู่ดี การแก้ไขโดยทั่วไป คือ การเติม Guard Interval เข้าไปในช่วง Ripple ของ Raised Cosine Window นั้นเอง ซึ่งถ้าทำในฝั่งภาคส่งก็ต้องเพิ่มช่วงของ Guard Interval เพื่อให้ครอบคลุมช่วง Ripple ของ Window ในขณะที่ถ้าทำในฝั่งรับ จะทำให้การลดของ Out of Band Energy จะดีมาน้อยเพียงไหนนั้น ขึ้นอยู่กับช่วงของ Guard Interval ที่เหลือจากการโดนผลกระทบของ ISI จาก Multi-path Channel.

6. ดังนั้นจึงได้หันมาศึกษาเกี่ยวกับ Polynomial Cancellation Coding ( PCC ) แทนการทำ Windowing เนื่องจากสามารถลดปัญหาของ Out of Band Energy ได้ดีกว่า และ มีความทนทานต่อการเกิด ISI และ ICI อันเนื่องมาจาก Multi-path Channel และ Frequency Offset ได้ดีกว่า โดยได้ศึกษาจากบทความวิจัยของ Jean Armstrong เป็นหลัก เนื่องจากเป็นเทคนิคขั้นพื้นฐานที่นำมา บทความที่ได้ศึกษา มีดังนี้
- J. Armstrong, “Analysis of new and existing methods of reducing intercarrier interference due to carrier frequency offset in OFDM”, IEEE Transactions on Communications, vol. 47, pp. 365-369, March 1999.
  - J. Armstrong, J. Shentu and C. Tellambura, “Frequency Domain Equalization for PCC-OFDM with overlapping symbol periods”,
  - K. R. Panta and J. Armstrong, “Spectral Analysis of OFDM signals and its Improvement by Polynomial Cancellation Coding”, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 939-943, Nov. 2003.
  - J. Armstrong, P. M. Grant and G. Povey, “Polynomial Cancellation Coding of OFDM to reduce Intercarrier interference due to Doppler spread”, IEEE Globecom, vol. 5, pp. 2771-2776, 1998.
  - H. Kang, Y. Kim, W. Hwang and K. Kim, “BER performance of the OFDM system with Polynomial Cancellation Coding under frequency offset”,

เพื่อให้เข้าใจในแนวคิดพื้นฐานของเทคนิค PCC จึงขอแนะนำอย่างคร่าวๆ ดังนี้

#### Polynomial Cancellation Coding Technique ( PCC )

Polynomial Cancellation Coding เป็นเทคนิคการเข้ารหัสสำหรับระบบ OFDM โดยที่ข้อมูลที่ต้องการส่งจะถูกมอดูเลตเข้ากับกลุ่มของคลื่นพาห่อย่อยแทนที่จะถูกมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห่อย่อยเดียวตามแบบปกติ



รูปที่ 5.1 แบบจำลองของระบบ OFDM ที่ใช้เทคนิค PCC

จากรูป ระบบ PCC-OFDM มีกระบวนการเพิ่มขึ้นมาทั้งทางภาคส่ง (Mapping of Data onto Sub-Carriers) และภาครับ (Weight and add Sub-Carriers) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ OFDM ทั่วไป

ระบบ PCC-OFDM นั้น จะแบ่งข้อมูลความเร็วสูงที่ต้องการจะส่งออกเป็น  $n$  ช่องของบิตข้อมูล ความเร็วต่ำแบบขนาน โดย  $d_{0,i} \cdots d_{n-1,i}$  แทนบิตข้อมูลแต่ละช่อง ที่คาบของบิตข้อมูล  $i$  จากนั้นบิตข้อมูลจะผ่านเข้าสู่กระบวนการการรวมบิตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาห่อย่อยแล้ว โดย  $a_{0,i} \cdots a_{N-1,i}$  แทนบิตข้อมูลที่มอดูเลต  $N$  คลื่นพาห่อย่อย ที่คาบของบิตข้อมูล  $i$  หลังจากนั้นจะผ่านกระบวนการเหมือนกับระบบ OFDM ทั่วไป แล้วจึงส่งไปยังช่องสัญญาณหลายวิถี

โดยในระบบ OFDM ปกติ ค่า  $n = N$  และ ค่า  $a_{k,i} = d_{k,i}$  ( $k$  แทนจำนวนของคลื่นพาห่อย่อย) เนื่องจากหนึ่งบิตข้อมูลจะถูกมอดูเลตเข้ากับแต่ละคลื่นพาห่อย่อย ในขณะที่ระบบ PCC-OFDM นั้น หนึ่งบิตข้อมูลจะถูกมอดูเลตเข้ากับกลุ่มของคลื่นพาห่อย่อย โดยใช้สมการที่ 3 ในการให้น้ำหนักแต่ละคลื่นพาห่อย่อยในกลุ่มเดียวกัน ตัวอย่างเช่น กำหนดให้กลุ่มของคลื่นพาห่อย่อย  $k = 2$  เพราะฉะนั้นหนึ่งบิตข้อมูลจะถูกมอดูเลตเข้ากับกลุ่มของคลื่นพาห่อย่อยโดยให้น้ำหนัก  $+1$  กับ  $-1$  ในกรณีนี้ค่า  $n = N/2$  และ ค่า  $a_{k,i} = d_{k,i}, a_{k+1} = -d_{k,i}$  เป็นต้น

การรวมกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดในทางปฏิบัติ คือ การรวมกลุ่มระหว่างสองคลื่นพาห่อย่อยที่อยู่ข้างเคียงกัน เนื่องจากผลเสียที่เกิดขึ้นของเทคนิค PCC ที่จะกล่าวในตอนต่อไป

ค่าสัมประสิทธิ์ในการให้น้ำหนัก โดย  $k$  แทนจำนวนของคลื่นพาห่อย่อยต่อหนึ่งกลุ่ม เป็นดังสมการ

$$\text{Polynomial} = (1 - x)^{k-1}$$

ข้อดีของเทคนิค PCC คือ

1. มีความทนทานต่อความถี่ออฟเซต (Robustness to Frequency Offset)
2. มีความทนทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี (Robustness to Multi-Path Channel)
3. ลดพลังงานภายนอกช่วงความถี่ (Reduce Out of Band Energy)

ข้อเสียของเทคนิค PCC คือ

Bandwidth Efficiency จะลดลงเป็นจำนวนเท่าของจำนวนคลื่นพาห่อย่อยที่รวมกลุ่มกัน ยกตัวอย่างเช่น การรวมกันของสองคลื่นพาห่อย่อยจะทำให้ Bandwidth Efficiency ลดลงสองเท่า กล่าวคือ จะส่งข้อมูลได้น้อยกว่าปกติสองเท่า

#### 5.4 ส่วนงานที่จะดำเนินการต่อไป

1. ศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค Polynomial Cancellation Coding ( PCC ) เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ เพิ่มขึ้น
2. ศึกษาหาวิธีแก้ไขปรับปรุงข้อเสียของเทคนิค PCC
3. ทำการประยุกต์เทคนิค PCC ให้สามารถนำมาใช้ได้ในระบบ MC-CDMA โดยมุ่งเน้นไปที่ฝั่ง Uplink เนื่องจากมีแนวโน้มที่ว่า จะลบข้อเสียของเทคนิค PCC ออกไปได้
4. สร้างแบบจำลองระบบ MC-CDMA โดยที่นำเทคนิค PCC เข้ามาใช้ เพื่อทดสอบดูว่า สามารถนำมาใช้ได้จริงกับระบบหรือไม่ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบได้หรือไม่
5. วิเคราะห์ และ สรุปผล

## 6. แผนงานวิจัยด้านเทคโนโลยีหลายเสาอากาศส่งหลายเสาอากาศรับ (MIMO)

### 6.1. วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. นำเอาระบบ MIMO มาใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ MC-CDMA เพื่อเพิ่มความจุและความเร็วในการส่งข้อมูลของระบบ
2. เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบ MIMO ให้มีความซับซ้อนที่เหมาะสมที่จะใช้งานจริงในทางปฏิบัติ
3. การประมาณช่องสัญญาณในระบบ MIMO ให้มีความถูกต้องและลดความซับซ้อนในกระบวนการประมาณ

### 6.2. ขอบเขตหรือเป้าหมายของแผนงานวิจัย

แผนงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลของระบบ MC-CDMA ให้มีความจุโดยรวมของระบบที่มากยิ่งขึ้นและมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยอาศัยหลักการของสถาปัตยกรรม V-BLAST ซึ่งเป็นระบบแบบ Multiple-input Multiple-output (MIMO) ประเภทหนึ่ง โดยอัลกอริทึมของสถาปัตยกรรม V-BLAST นี้ จะช่วยให้ผู้ใช้งานในระบบ สามารถใช้รหัสที่เหมือนกันได้ ทำให้ได้ความจุของระบบที่เพิ่มขึ้นและสามารถใช้ชุดรหัสที่มีความยาวสั้น ทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่สูงขึ้นได้

แต่อย่างไรก็ดีความซับซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST ที่จะนำประยุกต์ใช้นี้จะยังคงมีความซับซ้อนที่สูงมาก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จะมุ่งความสนใจในการพยายามลดความซับซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST นี้ลงด้วย เพื่อให้รูปแบบการส่งข้อมูลที่นำเสนอมีความเหมาะสมในการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ

โดยจะพิจารณาสมรรถนะของระบบด้วยค่า BER (Bit Error Rate) เป็นหลัก ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะทำการจำลองระบบเฉพาะที่การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่ปลายทางไปยังสถานีฐาน (Uplink) และพิจารณาเฉพาะในกรณีเชิงโคโรนัสเท่านั้น โดยช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองระบบนี้เป็นไปตามมาตรฐาน COST207 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่มีทั้งการเกิด Additive White Gaussian Noise (AWGN) และมีการเกิดเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh fading) นอกจากนี้แล้วยังมีการเกิด เฟดดิ้งแบบพหุวิถี (Multipath fading) อีกด้วย

### 6.3. ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

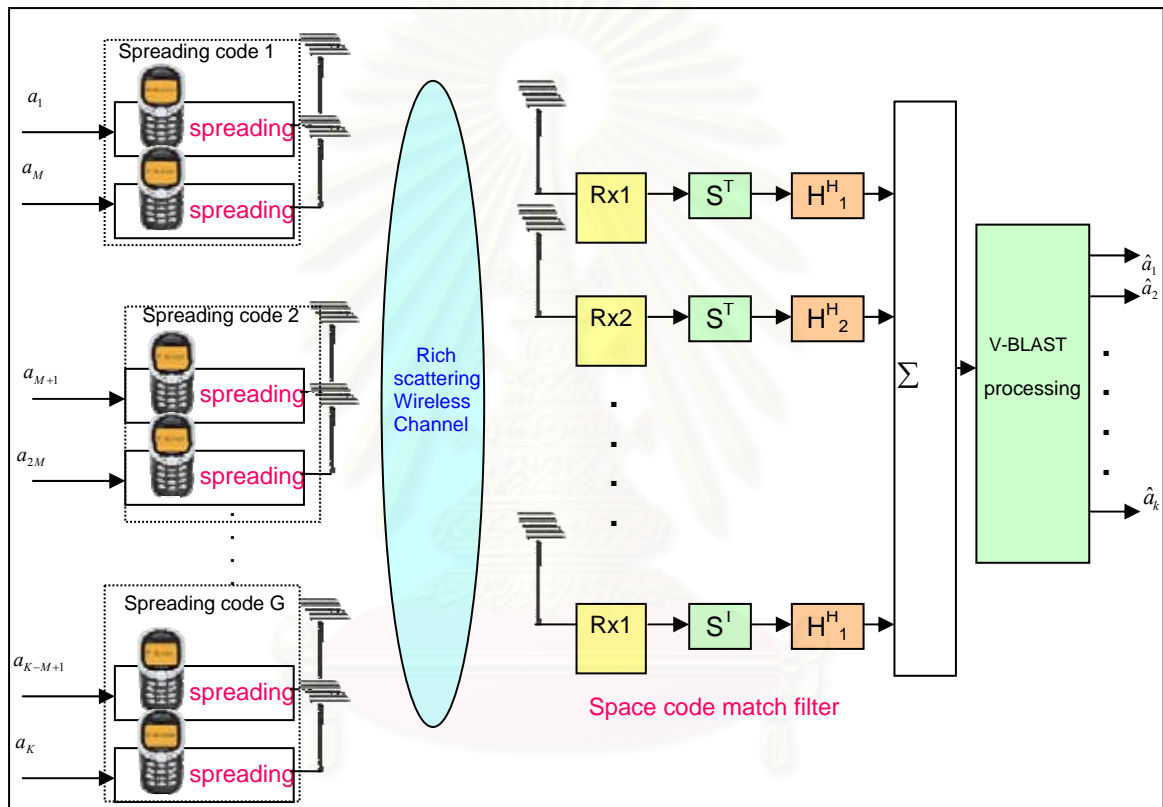
#### 6.3.1) การดัดแปลงสถาปัตยกรรมวี-บีเอสทีสำหรับระบบสื่อสาร เอ็มซี-ซีดีเอ็มเอ

##### 6.3.1.1) เสนอระบบ Multi-carrier CDMA (MC-CDMA) ที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึม V-BLAST

แผนงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะการส่งข้อมูลทางขาเชื่อมโยงขาขึ้น (up link) เท่านั้น โดยการส่งข้อมูลของสายอากาศแต่ละตัวในทางฝั่งส่งข้อมูลของระบบ V-BLAST ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะถูกแทนที่ด้วยการส่งข้อมูลจากผู้ให้บริการโทรศัพท์ไร้สายแต่ละคน ส่วนทางฝั่งรับหรือสถานีฐานจะประกอบไปด้วยสายอากาศหลายตัวเช่นกัน ทั้งนี้ผู้ให้บริการโทรศัพท์ไร้สายแต่ละคนสามารถที่จะส่งข้อมูลโดยใช้รหัสที่เหมือนกันได้ ซึ่งในระบบ MC-CDMA นั้นจะมีคุณสมบัติของโคแอดอร์ซิตีทางความถี่ ทำให้ข้อมูลในแต่ละชิพของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกลดทอนโดยเฟดดิ้งของช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน และจะอาศัยความแตกต่างนี้เองเพื่อมาใช้ในการแยกแยะข้อมูลของผู้ใช้ที่ใช้รหัสเหมือนกันออกมา ส่วนข้อมูลจากผู้ใช้ที่ใช้รหัสที่ต่างกันก็จะสามารถแยกแยะออกจากกันได้โดยอาศัยคุณสมบัติตั้งฉากของชุดรหัสแต่ละตัวตามหลักการของระบบ CDMA ทั่วไป

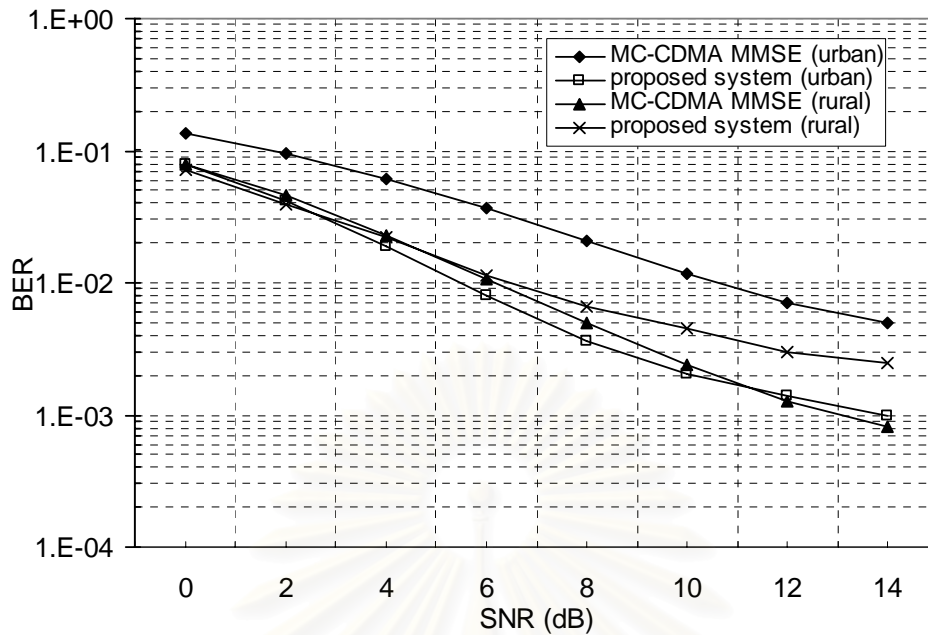


ในการใช้ระบบ MC-CDMA ร่วมกับวิธี V-BLAST นี้ จะมีสัญญาณแทรกสอดที่เราต้องพิจารณา 2 ประเภท ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ ประเภทแรก คือ สัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ที่ใช้อัตราข้อมูลที่ต่างกัน (MAI) โดยจะเกิดจากการที่ชุดรหัสแพร่สัญญาณเดียวกันถูกส่งไปเมื่อผ่านช่องสัญญาณ ซึ่งสัญญาณแทรกสอดประเภทนี้จะเกิดขึ้นในระบบ CDMA ทุกระบบอยู่แล้ว เครื่องรับแมตซ์ฟิลเตอร์ที่มีการใช้วิธีการปรับเท่าแบบ maximum ratio combining (MRC) จะถูกนำมาใช้ในการลดผลของ MAI นี้ ส่วนสัญญาณแทรกสอดอีกประเภทคือ สัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ที่ใช้อัตราข้อมูลที่เหมือนกัน (CAI) ซึ่งเกิดจากสายข้อมูลที่ถูกส่งจากผู้ใช้อื่นที่ใช้อัตราข้อมูลที่เหมือนกัน ซึ่งอัลกอริทึม V-BLAST จะถูกนำมาใช้ในการหักล้างสัญญาณแทรกสอดประเภทนี้



รูปที่ 1 แบบจำลองของระบบ MC-CDMA ที่ใช้ร่วมกับสถาปัตยกรรม V-BLAST

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 BER เล็กน้อยของระบบที่นำเสนอเปรียบเทียบกับระบบ MC-CDMA ในสภาพแวดล้อมแบบชนบท และแบบเมือง

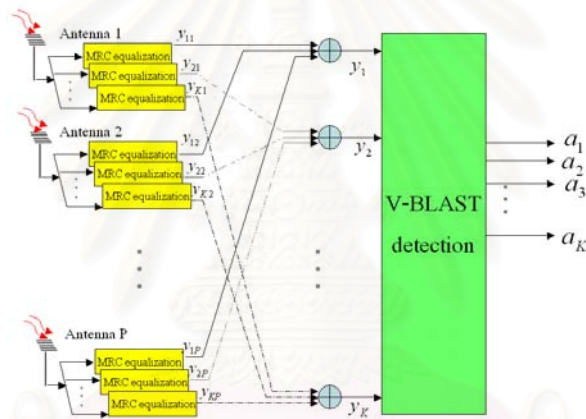
จากรูปที่ 2 นี้จะแสดงถึง อัตราความผิดพลาดบิต เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนกำลังต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งจะทำการจำลองการรับส่งข้อมูลทั้งในบริเวณสภาพแวดล้อมแบบเมืองและสภาพแวดล้อมแบบชนบท ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าสมรรถนะของระบบที่นำเสนอมีสมรรถนะที่ดีในสภาพแวดล้อมแบบเมืองมากกว่าในสภาพแวดล้อมแบบชนบท ทั้งนี้มีเหตุผลมาจาก ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนที่ส่งไปยังขั้วสัญญาณรบกวน ส่วนในระบบ MC-CDMA ดังเดิมนั้นสมรรถนะของระบบจะเป็นไปในทางกลับกัน โดยที่ในสภาพแวดล้อมชนบทจะให้สมรรถนะของระบบที่ดีกว่าในสภาพแวดล้อมแบบเมือง ทั้งนี้เพราะผลกระทบจากเฟดดิ้งของสภาพแวดล้อมแบบในเมืองจะมีคุณสมบัติการเลือกความถี่ที่สูงนั่นเอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่นำเสนอและระบบ MC-CDMA เดิมนั้นจะเห็นได้ว่าในสภาพแวดล้อมแบบเมืองนั้น ระบบที่นำเสนอจะมีสมรรถนะที่เหนือกว่าระบบ MC-CDMA เดิม โดยประมาณ 4 dB ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมแบบเมือง ส่วนในสภาพแวดล้อมแบบชนบทนั้น สมรรถนะของระบบที่นำเสนอจะใกล้เคียงกับระบบ MC-CDMA เดิมในช่วงที่อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนต่ำๆ และจะมีสมรรถนะที่ต่ำกว่าในช่วงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ระบบที่นำเสนอนี้ก็จะยังมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในสภาพแวดล้อมแบบชนบท เนื่องจากระบบที่นำเสนอจะสามารถใช้รหัสที่มีอัตราเผื่อที่ต่ำจึงสามารถทำให้อัตราส่งข้อมูลด้วยอัตราที่สูงขึ้นได้

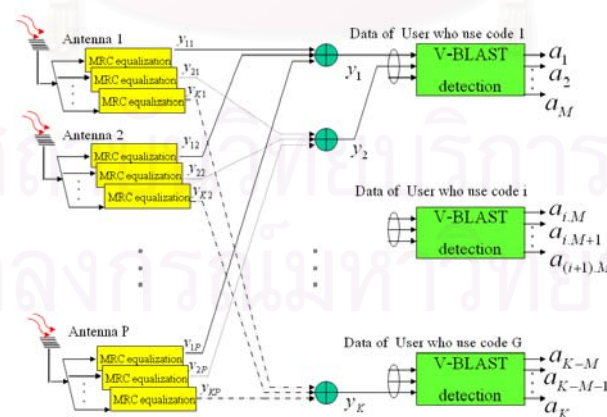
### 6.3.1.2 เสนออัลกอริทึมที่ถูกปรับปรุงเพื่อลดความซับซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST เดิมด้วยวิธีการละทิ้งผลของ MAI

ระบบที่นำเสนอนี้จะมีสัญญาณแทรกสอด 2 ประเภท ที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา นั่นคือ สัญญาณแทรกสอด MAI และสัญญาณแทรกสอด CAI โดยสัญญาณ MAI นั้นคือสัญญาณแทรกสอดระหว่างกลุ่มผู้ใช้ที่ใช้รหัสที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนและผลจากเฟดดิ้งชนิดเลือกความถี่ทำให้รหัสแผ่สัญญาณความถี่ออกไป ส่วนสัญญาณ CAI นั้น คือ สัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ภายในกลุ่มเดียวกันหรือระหว่างผู้ใช้ที่ใช้รหัสเหมือนกันนั่นเอง

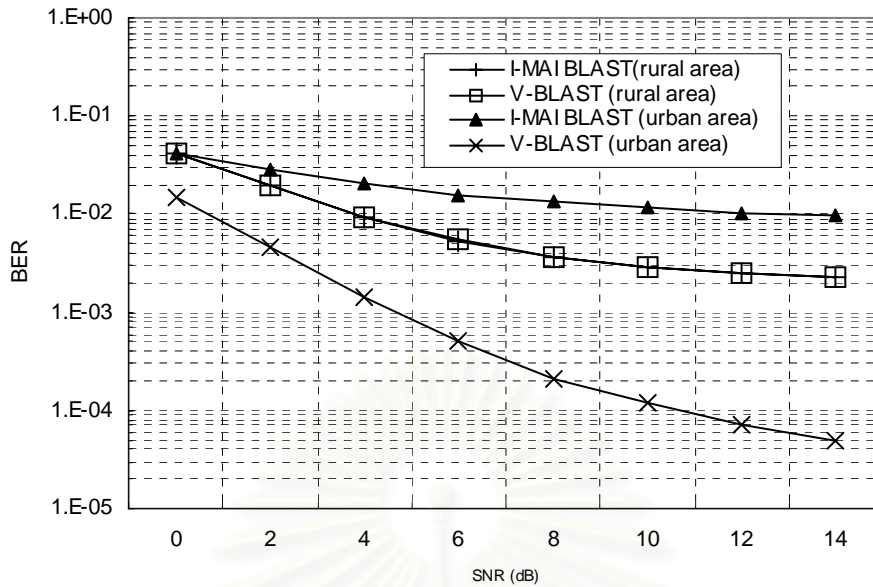
เพื่อต้องการที่จะลดความซับซ้อนของอัลกอริทึมของระบบที่นำเสนอ ในกรณีที่ระบบมี MAI น้อย เราอาจจะละทิ้งผลของ MAI นี้ลงไปได้ โดยลดขนาดของเมตริกซ์ space-code cross correlation ( $\tilde{R}$ ) ที่จะนำมาใช้ในการประมวลผลลง โดยขนาดของเมตริกซ์ space-code cross correlation ( $\tilde{R}'$ ) ใหม่ที่ได้จะเป็นเมตริกซ์จัตุรัสและมีขนาดที่เล็กลง โดยกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยเมตริกซ์  $\tilde{R}'$  นี้มีเพียงเฉพาะส่วน CAI และส่วนของสัญญาณที่ต้องการของเมตริกซ์  $\tilde{R}$  เดิม เท่านั้น อย่างไรก็ตามจำเป็นที่จะต้องพึงสังวรไว้ว่าวิธีการลดความซับซ้อนในรูปแบบนี้จะใช้ได้เฉพาะในกรณีที่ระบบมี สัญญาณ MAI ในปริมาณที่น้อยเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ระบบมีการส่งข้อมูลที่มี SNR สูง หรือในสภาพแวดล้อมที่มีเฟดดิ้งแบบเรียบ



รูปที่ 3 (ก) แสดงเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึม V-BLAST



รูปที่ 3 (ข) แสดงเครื่องรับที่ใช้วิธีการละทิ้งผลของ MAI



รูปที่ 4 BER เล็กน้อยแสดงสมรรถนะของเครื่องรับ I-MAI BLAST ซึ่งมีการใช้รหัสแรมที่มีอัตราแรมเท่ากับ 16

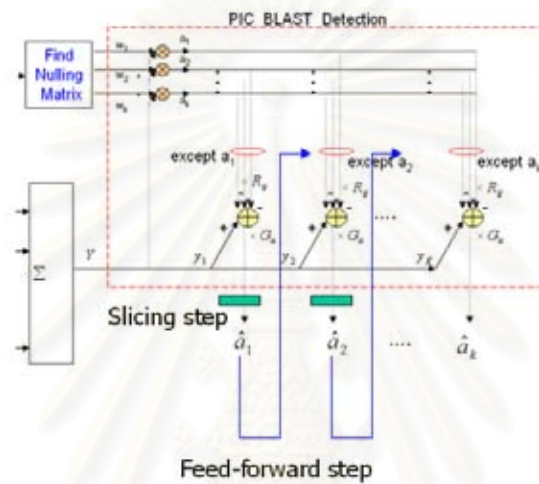
ผลของเครื่องรับที่ใช้วิธีการละทิ้งผลของ MAI นี้ ในสภาพแวดล้อมแบบเมืองนั้น จะมีสมรรถนะที่ต่ำลงมากเมื่อเทียบกับเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึม V-BLAST แบบเดิม ทั้งนี้เพราะผลของสัญญาณ MAI นั้นเอง โดยในสภาพแวดล้อมแบบเมืองจะมีการเกิดเฟดดิ้งแบบเลือกความถี่เกิดขึ้นมากทำให้รหัสแรมที่ใช้มีการสูญเสียความถี่กระจายระหว่างกันไป ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดแบบ MAI ที่มากตามมา ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องรับที่มีการละทิ้งผลของ MAI นี้จะไปต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในสภาพแวดล้อมแบบเมืองนี้ ในขณะที่สภาพแวดล้อมแบบชนบทนั้นเครื่องรับที่มีการละทิ้งผลของ MAI นี้จะมีสมรรถนะที่ดีเท่ากับเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึม V-BLAST เดิม ทั้งในกรณีที่รหัสแรมที่มีอัตราแรม 16 และ 32 ดังแสดงในรูปที่ 4 สาเหตุที่ กรณีนี้ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันเพราะในสภาพแวดล้อมแบบชนบทนั้นไม่มีปริมาณสัญญาณแทรกสอด MAI ที่น้อยอยู่แล้ว ดังนั้นการรหัสแรมที่มีอัตราแรมที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบแต่อย่างใด

#### 6.3.1.4 เสนออัลกอริทึมที่ถูกปรับปรุงเพื่อลดความซับซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST เดิมด้วยวิธีการ multiple slicing ร่วมกับวิธีการหักล้างสัญญาณแบบผสม

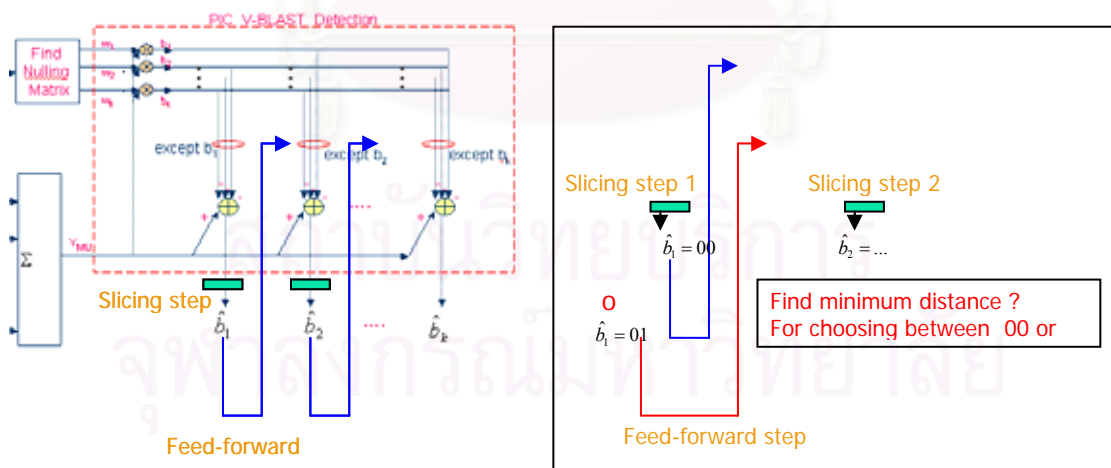
โดยอัลกอริทึม V-BLAST ที่ประยุกต์ใช้วิธีการหักล้างสัญญาณแบบผสมที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่แล้วจะมีค่าความซับซ้อนที่ต่ำลงมากเมื่อเทียบกับอัลกอริทึม V-BLAST เดิม ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้นำเอาหลักการของวิธีการ multiple slicing มาประยุกต์ใช้เพื่อที่จะทำให้อัลกอริทึมที่ใช้วิธีการหักล้างสัญญาณแบบผสมนั้นมีสมรรถนะที่ดีขึ้น โดยแลกกับความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้น ไม่มากนัก เพื่อให้ได้มาซึ่งอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมทั้งในแง่ที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีและในแง่ที่มีความซับซ้อนที่เหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ

โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอนี้จะคล้ายคลึงกับกรรมวิธีการตรวจรับแบบเหมาะสมที่สุด โดยการตัดสินใจสัญลักษณ์ข้อมูลของผู้ใช้รายหนึ่ง จะมีพื้นฐานอยู่บนระยะของค่าความผิดพลาดในการตัดสินใจสัญลักษณ์ข้อมูลของผู้ใช้รายอื่นในลำดับถัดไปด้วย หลักการสำคัญสำหรับอัลกอริทึมนี้จะมี 2 ประการ

1. ตามเงื่อนไขของ maximum likelihood นั้น การตัดสินใจสัญลักษณ์ข้อมูล 1 ครั้งจะอาศัยค่าระยะความผิดพลาดของผู้ใช้ทุกคน (K คน) ในการตัดสินใจ นั่นคือจะรวมการพิจารณาค่าความผิดพลาดของผู้ใช้คนที่จะถูกนำมาตัดสินใจต่อไปในอนาคตทุกคนที่เหลือด้วย แต่ในอัลกอริทึมที่เสนอนี้จะนำมาใช้เป็นพื้นฐานเพียง T คนเท่านั้น ( $T \leq M$ ) นั่นคือเสมือนเรามองผลรวมของค่าความผิดพลาดของผู้ใช้ล่วงหน้าไปเพียง T รายเท่านั้น ดังนั้นค่าความซับซ้อนที่ได้จะมีค่าที่ลดลงมาก
2. แทนที่จะพิจารณาเพียงสัญลักษณ์ที่น่าจะเป็นไปได้ที่สุดเพียงตัวเดียวเท่านั้นเหมือนดังกรณีอัลกอริทึม V-BLAST เดิม เราจะพิจารณาสัญลักษณ์จำนวน S สัญลักษณ์ที่น่าจะเป็นไปได้แทน โดยจะเลือกจากสัญลักษณ์ที่มีค่าระยะความผิดพลาดน้อยสุด S ตัวแรกแทนนั่นเอง

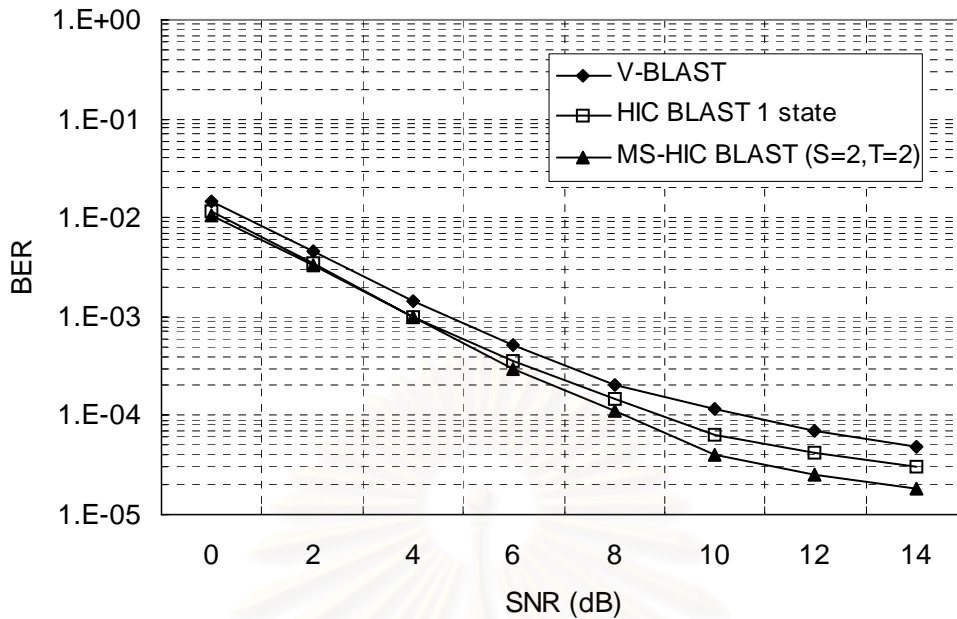


รูปที่ 5 แบบจำลองภาครับของระบบ MC-CDMA ที่ใช้สถาปัตยกรรม V-BLAST ที่ประยุกต์ใช้แนวคิดของการหากล้างสัญญาณรบกวนแบบผสม



รูปที่ 6 แบบจำลองภาครับของระบบ MC-CDMA ที่ใช้สถาปัตยกรรม V-BLAST ที่ประยุกต์ใช้แนวคิดของการหากล้างสัญญาณรบกวนแบบผสมร่วมกับวิธี Multiple slicing





รูปที่ 7 BER เฉลี่ย แสดงสมรรถนะของเครื่องรับ MS-HIC BLAST (S=2,T=2)

จากรูปที่ 7 ซึ่งแสดงสมรรถนะเปรียบเทียบกันของเครื่องรับที่ใช้การหักล้างสัญญาณแบบผสมร่วมกับวิธี multiple slicing กับเครื่องรับที่ใช้การหักล้างสัญญาณแบบผสมธรรมดา และเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึม V-BLAST เดิม ในกรณีที่กำหนดให้มีความผิดพลาดในการประมาณช่องสัญญาณเกิดขึ้น โดยทำการส่งข้อมูลเป็นเฟรมข้อมูลที่มีความยาว 150 สัญลักษณ์ จากรูปที่ 7 นี้ จะเห็นได้ว่าสมรรถนะของเครื่องรับที่ใช้วิธีการหักล้างสัญญาณแบบผสมร่วมกับวิธี multiple slicing นี้ จะมีสมรรถนะที่เหนือกว่าเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึม V-BLAST เดิมประมาณ 2-3 dB โดยที่ค่าความซับซ้อนเพียงร้อยละ 28.65 ของอัลกอริทึม V-BLAST เดิมเท่านั้นและจะเห็นได้ว่าการผนวกกระบวนการ multiple slicing นี้เข้าไปจะทำให้เครื่องรับนี้มีสมรรถนะที่เหนือกว่าเครื่องรับที่ใช้วิธีการหักล้างสัญญาณแบบผสมธรรมดาประมาณ 1-2 dB โดยแลกกับความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 0.71 เท่านั้น

### 6.3.2) การประมาณช่องสัญญาณในระบบ MIMO

#### 6.3.2.1 ศึกษาภาพรวมของระบบ MIMO ( Multiple-input Multiple-output )

- 1) เทคนิคการส่งสัญญาณ MIMO ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ
- 2) ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องรับในระบบ MIMO โดยเครื่องรับที่น่าสนใจดังนี้

##### 1. Maximum Likelihood Receivers

- มีการถอดรหัสแบบเวกเตอร์ ( vector decoding ) และเป็นเครื่องรับที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (optimal receiver)
- กรณีที่เป็น equal likely, temporal uncoded transmit symbol, เครื่องรับแบบ ML จะมีค่าการประมาณของสัญญาณเวกเตอร์ที่ส่งมาเป็นดังนี้

$$\hat{s} = \arg_s \min \left\| y - \sqrt{\frac{E_s}{M_T}} Hs \right\|^2 \quad (8)$$

เมื่อค่าต่ำสุดเป็นค่ารวมทุกสัญลักษณ์เวกเตอร์ที่ส่งมาของ s

- มีความซับซ้อนของเครื่องรับสูง

## 2. Linear Receivers

เพื่อลดปัญหาความซับซ้อนของเครื่องรับแบบ ML ซึ่งมีความสำคัญมาก สามารถทำได้โดย linear receiver front-ends โดยทำการแยกกลุ่มข้อมูลที่ภาคส่งและทำการถอดรหัสแบบอิสระของแต่ละกลุ่มข้อมูล เราจะทำการอธิบายเครื่องรับ 2 แบบที่เป็นแบบ linear receiver front-ends ได้แก่

- 1) Zero-forcing (ZF) receiver :
- 2) Minimum mean square error ( MMSE ) receiver

## 3. Successive Cancellation Receivers (SUC)

หลักการสำคัญการทำงานของเครื่องรับแบบ Successive cancellation (SUC) receivers คือ

- 1) การทำนัลลิ่ง ( Nulling ) คือ เริ่มจากการตรวจหาสัญลักษณ์ข้อมูลที่ต้องการ ( โดยใช้ ZF หรือ MMSE ) โดยจะพิจารณาเฉพาะสายข้อมูลที่ต้องการและจะพิจารณาสายข้อมูลที่เหลือเป็นสัญญาณรบกวน
- 2) การเล็อน (Slicing) หลังจากการตรวจหาสัญญาณจะทำการตัดสินใจตัดสินบิตข้อมูล
- 3) การตัดออก (Cancellation) คือ การนำบิตข้อมูลที่ตัดสินใจได้แล้วจากขั้นตอนที่สองมาลบออกจากสัญญาณที่รับเข้ามา จากนั้นทำซ้ำตั้งแต่เริ่มเพื่อทำการหาค่าของข้อมูลบิตจนครบทุกตัว

## 4. Ordered Successive Cancellation Receivers (OSUC)

เป็นการพัฒนาเครื่องรับแบบ SUC ที่สนใจเลือกสัญญาณที่มีค่า SNIR ที่สูง ซึ่งเครื่องรับแบบนี้รู้จักกันในชื่อ V-BLAST เครื่องรับแบบ OSUC นี้จะมีความซับซ้อนของเครื่องรับมากกว่าเครื่องรับแบบ SUC เล็กน้อย เนื่องมาจากจะต้องคำนวณและเปรียบเทียบค่า SNIR ของสัญญาณที่เหลือแต่ละขั้นตอน

วิธี V-BLAST จะทำรับและส่งข้อมูล โดยจะเริ่มต้นจากการคิดคิพลอกซ์ข้อมูลของผู้ใช้ออกเป็นหลายสายข้อมูลและใช้สายอากาศคนละสายอากาศส่งออกไปพร้อม ๆ กัน โดยทุก ๆ สายข้อมูลจะถูกส่งไปโดยผ่านแถบความถี่เดียวกัน ดังนั้นวิธีการนี้จะเป็นการใช้แถบความถี่อย่างมีประสิทธิภาพด้วย และเพราะข้อมูลของผู้ใช้ถูกส่งขนานออกไปพร้อม ๆ กันผ่านหลายสายอากาศ ดังนั้นอัตราการส่งข้อมูลจึงเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตามจำนวนของสายอากาศที่ใช้

### 6.3.2.2. ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการส่งระหว่างการส่งแบบ Space-time diversity กับ spatial multiplexing

เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของแต่ละระบบ และเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของบิตข้อมูล โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี โดยมีการส่งกรณีละ 2 แบบ คือ เป็นกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ ซึ่งทำการส่งทั้งแบบ space-diversity และ spatial multiplexing ส่วนอีกกรณีคือ จำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณ โดยจะอาศัย รหัส ของระบบสื่อสารแบบ MC-CDMA มาช่วยในการแยกผู้ใช้บริการ โดยผลปรากฏ

ว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า BER ของทั้ง 4 กรณีแล้ว ระบบที่เป็นแบบ space-diversity ที่จำนวนผู้ใช้เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณมีค่า BER ต่ำสุด

6.3.2.3 ศึกษาช่องสัญญาณในระบบ MIMO ที่มีความ correlate กันทางสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับ โดยมีบทความวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความ correlate นี้ที่สนใจมีดังนี้

- D. shiu, Gerard J.Foschini. M. J. Gans, and J. M. Kahn, “Fading correlation and Its effect on the Capacity of Multi-element Antenna Systems”:IEEE Trans. Commun.,2000 ทำการสร้างสมการความ correlate จากรูปแบบจำลอง One-Ring Model ซึ่งจากการสร้างช่องสัญญาณที่เป็นไปตามสมการของบทความวิจัยนี้ พบว่าช่องสัญญาณที่สร้างมีบางเงื่อนไขไม่เป็นไปตามบทความอาจมีสาเหตุมาจากการแทนค่าพารามิเตอร์บางค่าผิดไปเนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการแทนค่าพารามิเตอร์มากพอ

- H. Bolcskei, D. Gesbert, and A. J. Paulraj, “On the Capacity of OFDM-Based Spatial Multiplexing Systems” :IEEE Trans. Commun.,2002 สนใจเฉพาะผลกระทบที่เกิดจากความ correlate ของสายอากาศที่ภาครับ

- M. Chiani, M. z. Win, and A. Zanella, “On the Capacity of Spatially Correlated MIMO Rayleigh-Fading Channels ”:IEEE Trans. Inform. Theory,2003 ได้เพิ่มความสนใจผลของความ correlate ทางสายอากาศทางฝั่งส่ง พบว่าความ correlate ทางสายอากาศทางภาคส่งจะส่งผลกระทบต่อความจุทำให้ความจุของระบบลดลงมากกว่าความ correlate ที่สายอากาศทางภาครับ

6.3.2.4 ศึกษาเกี่ยวกับการประมาณช่องสัญญาณของระบบ MIMO โดยได้ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับการประมาณช่องสัญญาณดังนี้

- “On Channel Estimation in OFDM Systems : Jan-Jaap can de Beek, Ove Edfors, Magnus Sandell, Sarah Kare Wilson, and Per Ola Borjesson” : IEEE 1995 บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ช่องสัญญาณทางโดเมนเวลา ซึ่งพบว่าถ้าใช้ช่องสัญญาณทางโดเมนเวลาจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้มากขึ้น โดยการเลือกช่วงของช่องสัญญาณที่เหมาะสม

- “Channel Estimation for OFDM Systems with Transmitter Diversity in Mobile Wireless Channels” : Ye Li, Nambirajan Seshadri, and Sirikiat Ariyavisitakul.,: IEEE Journal,1999 บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการประมาณช่องสัญญาณ โดยอาศัยโดเมนเวลามาใช้ในการประมาณและมีการเลือกการ path ของช่องสัญญาณที่มีความสำคัญต่อระบบเท่านั้น ทำให้สามารถลดความซับซ้อนของระบบได้ โดยระบบที่พิจารณาเป็นระบบ OFDM ที่มีสายอากาศทางภาคส่งและภาครับอย่างละ 2

- “Optimum Training Sequences for OFDM Systems with Multiple Transmit Antennas”, Ye (Geoffrey) Li, IEEE 2000 บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบ pilot ที่ส่งออกจากสายอากาศว่าต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างไรเพื่อให้สามารถประมาณช่องสัญญาณได้ถูกต้องและลดความซับซ้อนลงได้

6.3.2.5 ส่วนงานที่จะดำเนินการต่อไป

เขียนโปรแกรมทดสอบการประมาณช่องสัญญาณ ตามบทความวิจัยเรื่อง “Channel Estimation for OFDM Systems with Transmitter Diversity in Mobile Wireless Channels”: Ye Li, Nambirajan Seshadri, and Sirikiat Ariyavisitakul. โดยจะเริ่มการประมาณจากช่วงที่เป็น pilot เพื่อนำค่าช่องสัญญาณที่ประมาณได้นั้นมาใช้

กับช่วงที่เป็นข้อมูล โดยระบบที่พิจารณาเป็นระบบ OFDM ที่มีสายอากาศทางภาคส่งและภาครับข้างละ 2 สายอากาศ มีการส่ง pilot ออกไปเพื่อประมาณช่องสัญญาณเริ่มต้น ส่วนช่วงข้อมูลมีการเข้ารหัส แบบ 16 state trellis code สำหรับการมอดูเลตแบบ 4-PSK โดยรูปแบบช่องสัญญาณที่สนใจมี 3 แบบ คือ two-ray profile, typical urban(TU), และ hilly terrain (HT)

ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณที่ทำตามบทความจากข้อ 1. โดยอาศัย ความรู้จากบทความวิจัยเรื่อง “On Channel Estimation in OFDM Systems : Jan-Jaap van de Beek, Ove Edfors, Magnus Sandell, Sarah Kare Wilson, and Per Ola Borjesson” ที่มีการเพิ่มส่วนของช่องสัญญาณที่เป็น โดเมนเวลาทางด้านหลัง ซึ่งคาดว่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการประมาณช่องสัญญาณมีความถูกต้องมากขึ้น

2 ทำการประมาณช่องสัญญาณโดยขยายระบบจากเดิมมีสายอากาศทางฝั่งส่งและรับฝั่งละ 2 สายอากาศ เพิ่มเป็น M สายอากาศทางฝั่งส่ง และ N สายอากาศทางฝั่งรับ

#### 6.4 ผลผลิตและหรือความสัมฤทธิ์ผลของงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

##### 6.4.1 Thesis

การตัดแปลงสถาปัตยกรรมวี-บีเอเอสทีสำหรับระบบสื่อสาร เอ็มซี-ซีดีเอ็มเอ บนพื้นฐานการหักล้างสัญญาณรบกวนแบบผสม

##### 6.4.2 Upcoming International Conference Paper

- บทความทางวิชาการเรื่อง V-BLAST Technique for Uplink MC-CDMA Systems in Rich Scattering Environment. โดย Kanchanawat, R., Kunaruttanaprak, S., Khunabut, P., Tansongcharoen, P., and Jitapunkul, S. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2004) (March 2004)

##### 6.4.3 software

- Simulation software, developed in C++ language

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 7. แผนงานวิจัยด้านเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทคชัน (Multiuser Detection)

### 7.1. Iterative (Turbo) Multiuser detection

#### 7.1.1 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทคชันในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะแบบ Iterative (Turbo) Multiuser detection จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งที่ใช้ในระบบ CDMA และ MC-CDMA
2. พัฒนาและปรับปรุงเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทคชันแบบ Iterative (Turbo) Multiuser detection เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา MAI ในระบบ MC-CDMA

#### 7.1.2. ขอบเขตหรือเป้าหมายของงานวิจัย

พัฒนาเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทคชันแบบ Iterative (Turbo) Multiuser detection เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา MAI ในระบบ MC-CDMA โดยพิจารณาการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่ปลายทางไปยัง สถานีฐาน (Uplink) ซึ่งจะมีการพิจารณาวิธีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel coding) ที่ใช้ใน Iterative Multiuser detection ทั้งแบบคอนโวลูชัน (Convolutional codes) และ แบบเทอร์โบ (Turbo codes)

#### 7.1.3. ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

##### 7.1.3.1. ศึกษาพื้นฐานของระบบ MC-CDMA

7.1.3.2. ศึกษาเครื่องรับแบบ Iterative (Turbo) Multiuser detection ทั้งที่ใช้ในระบบ CDMA และ MC-CDMA จากงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งสามารถสรุปรูปแบบและพัฒนาการของเครื่องรับแบบ Iterative Multiuser detection ได้ดังนี้

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งทั้งในระบบการสื่อสารแบบ CDMA และ MC-CDMA คือ การเกิด Multiple Access Interference (MAI) ซึ่งเกิดจากการที่ผู้ใช้ในระบบใช้ช่องสัญญาณในการสื่อสารร่วมกันทำให้สัญญาณจากผู้ใช้อื่นเข้ามารบกวนสัญญาณที่เราพิจารณา ดังนั้นจำนวนผู้ใช้ในระบบ CDMA และ MC-CDMA จึงถูกจำกัดด้วยผลของ MAI การที่เราสามารถออกแบบเครื่องรับให้สามารถลดผลของ MAI ลงได้ จะทำให้ความจุหรือจำนวนผู้ใช้ในระบบ CDMA และ MC-CDMA เพิ่มขึ้นได้ วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการลดผลของ MAI คือการใช้ Multiuser detection

เครื่องรับในช่วงแรกในระบบ CDMA นั้นจะประกอบด้วยชุดของ Single-user detection และ correlator สำหรับตรวจจับสัญญาณแม่ที่ถูกส่งมา เครื่องรับแบบนี้เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดในระบบ CDMA และจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด (optimum) ถ้าสัญญาณที่รับมาได้มีความดังจากกันอย่างแท้จริง ซึ่งไม่ได้มีการพิจารณาถึงผลของการเกิด MAI ดังนั้น เครื่องรับนี้จะมีประสิทธิภาพที่สามารถยอมรับได้เมื่อมีจำนวนผู้ใช้ในระบบน้อย แต่ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น

ประสิทธิภาพของระบบ CDMA จะสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างมากถ้าพิจารณาสัญญาณจากผู้ใช้ทั้งหมด แทนที่จะพิจารณาเฉพาะสัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนแยกกันไป Verdu เป็นคนแรกที่เสนอเครื่องรับแบบ Multiuser detection ที่ optimum ซึ่งเครื่องรับนี้จะใช้หลักการของ maximum likelihood ในการคำนวณ โดยพิจารณาในระบบ asynchronous ที่มีช่องสัญญาณแบบ AWGN ข้อเสียที่สำคัญของเครื่องรับนี้ คือ ความซับซ้อน (complexity) ที่ใช้จะเพิ่มขึ้นแบบ exponential ตามจำนวนผู้ใช้ ทำให้ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้จริง งานวิจัยในช่วงต่อมาจึงได้พยายามที่จะแก้ปัญหาค่าความซับซ้อนนี้เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งเมื่อลดความซับซ้อนของเครื่องรับลงก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงตามไปด้วย งานวิจัยที่ออกมามีความ

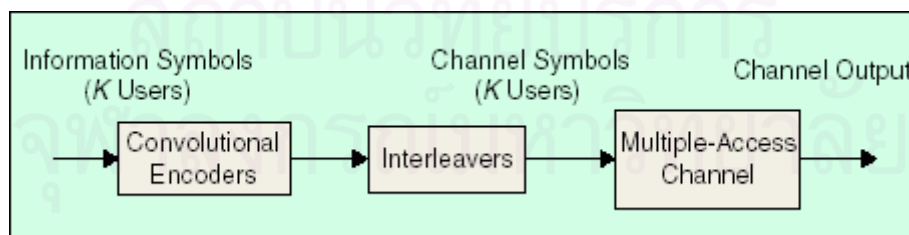


หลากหลายมาก โดยมีทั้งการใช้วิธี decorrelator detector, minimum mean square error (MMSE) detector หรือ projection receiver นอกจากนี้ ในงานวิจัยหลายชิ้นได้มีการใช้วิธีการป้อนกลับ (feedback) เพื่อลดผลของ MAI ซึ่งมีทั้งวิธี multistage detector, decision-feedback detector และ successive or parallel interference cancellation งานวิจัยส่วนมากที่ผ่านมานั้นจะพิจารณาในระบบที่ไม่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Uncoded system) แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบ CDMA จะมีการใช้การเข้ารหัสช่องสัญญาณและ interleaver ดังนั้น งานวิจัยในช่วงต่อมาจึงมีการพิจารณาระบบที่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Coded system) งานวิจัยในกลุ่มนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องรับแบบไม่วนซ้ำ (noniterative receiver) และ เครื่องรับแบบวนซ้ำ (iterative receiver)

สำหรับเครื่องรับแบบไม่วนซ้ำ Giallorenzi และ Wilson ได้พัฒนาเครื่องรับของ Verdu ให้สามารถใช้ได้ในระบบที่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ ซึ่งเครื่องรับนี้เป็นเครื่องรับที่ optimum โดยมีการใช้รหัสคอนโวลูชันในการเข้ารหัสช่องสัญญาณและพิจารณาในระบบ asynchronous CDMA อย่างไรก็ตาม เครื่องรับนี้ก็ยังคงมีความซับซ้อนอยู่มาก นั่นคือ มีความซับซ้อนเป็น  $O(2^{Kv})$  เมื่อ K คือจำนวนผู้ใช้ และ v คือ code constraint length ซึ่งต่อมาทั้งสองคนก็ได้เสนอวิธีลดความซับซ้อนลง แต่ประสิทธิภาพที่ได้ก็ลดลงตามไปด้วย

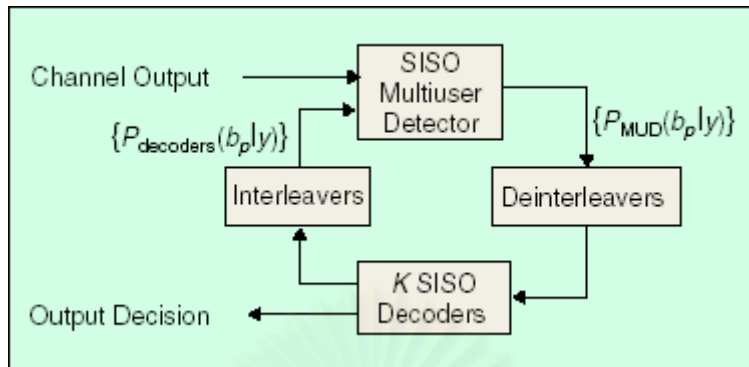
เมื่อไม่นานมานี้เครื่องรับแบบวนซ้ำได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการใช้หลักการเช่นเดียวกับการถอดรหัสแบบเทอร์โบ นั่นคือ ในรหัสแบบเทอร์โบจะมีการเข้ารหัสข้อมูลเดิมซ้ำกันสองครั้ง โดยใช้การเข้ารหัสแบบรีเคอร์ซีฟคอนโวลูชันจำนวนสองชุดโดยการเข้ารหัสชุดแรกจะใช้ข้อมูลโดยตรง ในขณะที่การเข้ารหัสชุดที่สองจะใช้ข้อมูลที่ผ่านการสลับลำดับด้วย interleaver แล้ว สำหรับการถอดรหัสจะใช้การวนซ้ำโดยจะมีตัวถอดรหัสจำนวนสองตัวสำหรับถอดรหัสข้อมูลแต่ละชุดที่ถูกลำส่งมา ข้อมูลที่ได้จากการถอดรหัสจากตัวถอดรหัสแต่ละตัวซึ่งเรียกว่า “Extrinsic information” จะถูกส่งไปยังตัวถอดรหัสอีกตัวเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการถอดรหัสต่อไป ซึ่งการส่งผ่านข้อมูลนี้จะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ ทำให้การถอดรหัสในรอบถัดมามีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เมื่อนำระบบนี้มาพิจารณาในระบบ CDMA ซึ่งมีการใช้รหัสคอนโวลูชันเพียงชุดเดียว เราจะมองการเข้ารหัสอีกชุดด้วย Multiple-Access Channel หรือ โครงสร้างของเครื่องส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่า มีลักษณะคล้ายกับการเข้ารหัสแบบ serially concatenated code โดยที่รหัสคอนโวลูชันเป็น outer code และ Multiple-Access Channel เป็น inner code



รูปที่ 1 The multiple-access channel with convolutional coding

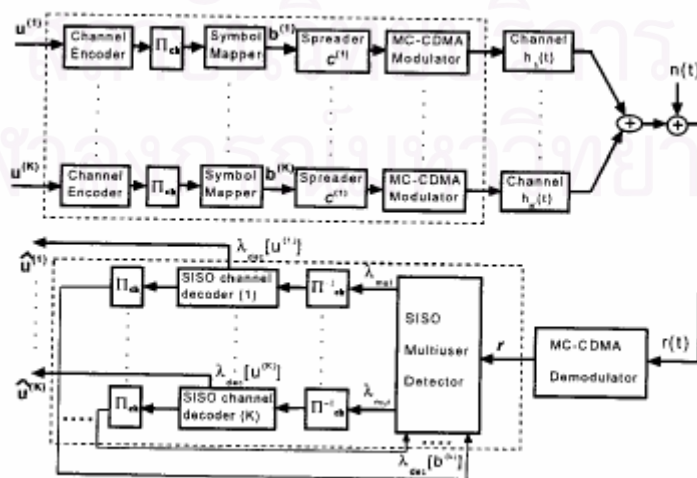
สำหรับการถอดรหัสนั้นสามารถแสดงอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งใช้การวนซ้ำเช่นเดียวกับการถอดรหัสแบบเทอร์โบ โดยในส่วนแรกจะเป็นการถอดรหัส Multiple-Access Channel ซึ่งจะใช้ SISO Multiuser detection ซึ่งรูปแบบการถอดรหัสนี้จะเรียกว่า “Turbo multiuser detection” นอกจากนี้ ยังสามารถใช้การเข้ารหัสแบบเทอร์โบแทนการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ก็จะทำให้มีความซับซ้อนมากขึ้น



รูปที่ 2 General structure of turbo multiuser detection

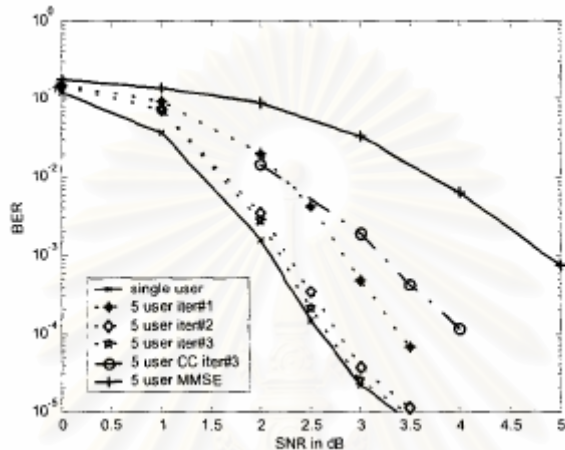
งานวิจัยที่ใช้เครื่องรับแบบวนซ้ำที่มีออกมานั้นจะทำการลดความซับซ้อนของเครื่องรับแบบนี้ลง โดย Moher พัฒนาเครื่องรับเพื่อใช้ในระบบ synchronous CDMA โดยใช้วิธี cross-entropy minimization และ Reed ได้เสนอเครื่องรับที่ใช้ในระบบ synchronous CDMA เช่นกัน โดยมีการศึกษาทั้งการใช้รหัสแบบคอนโวลูชันและรหัสแบบเทอร์โบ ซึ่งได้ประสิทธิภาพที่ดีอย่างไรก็ตามความซับซ้อนของเครื่องรับก็ยังคงเพิ่มขึ้นแบบ exponential ตามจำนวนผู้ใช้ ต่อมา Wang และ Poor ได้พัฒนาเครื่องรับแบบวนซ้ำที่ใช้ในระบบ asynchronous CDMA โดยได้มีการใช้ MMSE-based multiuser detection และ soft interference cancellation เพื่อลดความซับซ้อนของระบบด้วย

ในระบบ MC-CDMA นั้นสามารถนำหลักการของ Turbo multiuser detection มาใช้ได้เช่นกัน โดยได้มีการนำงานวิจัยของ Kafle และ Sesay ที่ได้นำหลักการของเครื่องรับแบบวนซ้ำในระบบ CDMA มาใช้ในระบบ MC-CDMA โดยโครงสร้างของระบบทั้งภาคส่งและภาครับแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยที่ภาคส่งจะมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณโดยใช้รหัสแบบเทอร์โบ ที่ภาครับส่วนของการทำ SISO Multiuser detection จะใช้หลักการของ optimal multiuser MAP



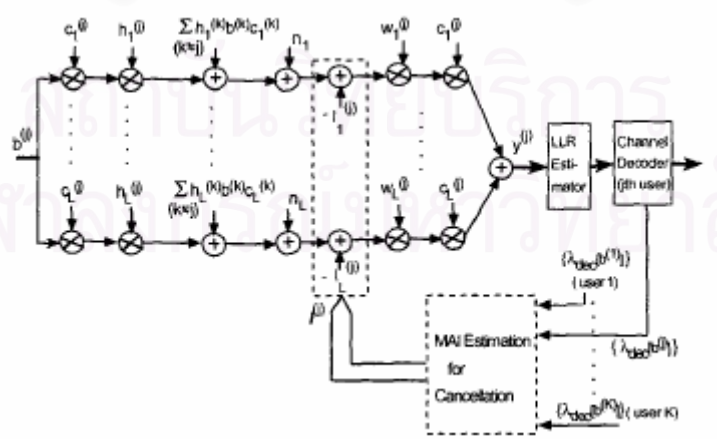
รูปที่ 3 MC-CDMA transmission with iterative multiuser detection

ผลของการ simulation เมื่อกำหนดให้ช่องสัญญาณเป็นแบบ frequency non-selective fading และใช้ subcarrier = 128 แสดงดังรูปที่ 4 จากกราฟจะมีการเปรียบเทียบเกี่ยวกับเครื่องรับที่ใช้การเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน และไม่มีการใช้การเข้ารหัสช่องสัญญาณ พบว่าเครื่องรับที่ใช้การเข้ารหัสช่องสัญญาณจะมี BER ที่ต่ำกว่า เครื่องรับที่ไม่ใช้ ในขณะที่การใช้รหัสเทอร์โบจะมีประสิทธิภาพดีว่าการใช้รหัสคอนโวลูชัน นอกจากนี้ การใช้จำนวนรอบในการวนซ้ำมากขึ้นจะทำให้ได้ BER ที่เข้าใกล้กับ BER ที่ได้จากการพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้งานเดียว



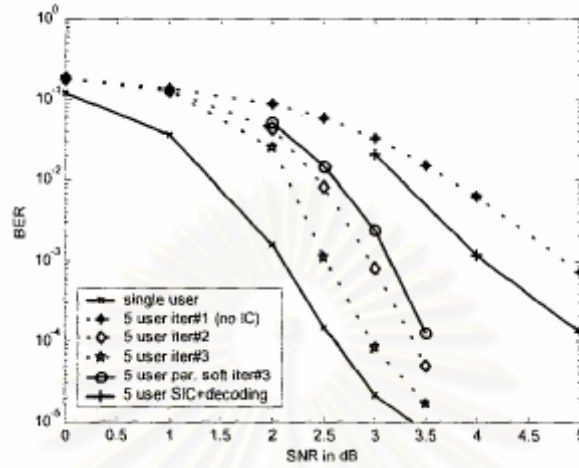
รูปที่ 4 ค่า BER จากการใช้ optimal multiuser MAP

ข้อเสียที่สำคัญของเครื่องรับที่ใช้ SISO Multiuser detection เป็นแบบ optimal multiuser MAP คือ ความซับซ้อนที่จะมีค่าแปรผันตามจำนวนของผู้ใช้ วิธีลดความซับซ้อนที่ Kafle และ Sesay เสนอ คือ การใช้ interference cancellation ดังรูปที่ 5 นั่นคือ แทนที่จะคำนวณค่า multiuser likelihood (MUL) โดยใช้วิธี multiuser MAP โดยตรงซึ่งมีความซับซ้อนสูง ก็จะใช้ interference cancellation เพื่อหักผลของ interference ของผู้ใช้งานอื่นก่อน และจึงทำการประมาณค่า MUL ซึ่งทำให้ลดความซับซ้อนลงได้มาก



รูปที่ 5 วิธี interference cancellation

ผลการทำ simulation จากการใช้วิธี interference cancellation แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าค่า BER ที่ได้จะยังคงดีขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการวนซ้ำ และเมื่อใช้จำนวนรอบการวนซ้ำเท่ากับ 3 วิธี interference cancellation จะแยกว่าวิธีที่ใช้ multiuser MAP ประมาณ 0.5 dB ที่ค่า BER เท่ากับ  $10^{-4}$



รูปที่ 6 ค่า BER จากการใช้ interference cancellation

7.1.3.3. เขียนโปรแกรมการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบเทอร์โบ (Turbo codes) โดยใช้ภาษาซี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเกี่ยวกับ iterative multiuser detection ทั้งที่ใช้ในระบบ CDMA และ ระบบ MC-CDMA และได้ทำ simulation เพื่อทดสอบอัลกอริทึมของการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบเทอร์โบว่าถูกต้องหรือไม่ โดยนำไปเปรียบเทียบกับผล simulation จากงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

#### 7.1.4. ส่วนของงานที่จะดำเนินการต่อไป

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับ iterative multiuser detection เพิ่มเติมทั้งที่ใช้ในระบบ CDMA และ ระบบ MC-CDMA เพื่อนำวิธีการที่แต่ละบทความเสนอไปหาข้อดี ข้อเสียเพื่อนำไปปรับปรุงต่อไป
2. เขียนโปรแกรมภาษาซีของระบบ MC-CDMA และนำไปรวมกับโปรแกรมเข้ารหัสแบบเทอร์โบที่ได้เขียนไปแล้ว เพื่อจะทดสอบเกี่ยวกับ iterative multiuser detection
3. พัฒนาเครื่องรับแบบ iterative multiuser detection ในระบบ MC-CDMA ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 7.2 เครื่องรับแบบ Widely Linear Multiuser Detection

### 7.2.1 วัตถุประสงค์ของโครงการย่อย

1. เพื่อศึกษารูปแบบต่างๆ ของการทำ Multiuser Detection ทั้งในระบบ DS-CDMA และ MC-CDMA เพื่อสรุปหาข้อดีข้อเสียของ Multiuser Detection แบบต่างๆ
2. ปรับปรุงการทำ Multiuser Detection ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อมุ่งการแก้ปัญหาของ MAI และยังลดการเกิดของ ISI และ ICI ได้อีกด้วย
3. พัฒนาเครื่องรับแบบ Widely Linear Multiuser Detection โดยมุ่งเน้นที่สัญญาณรบกวนที่ไม่ใช่แบบเกาส์เซียนขาว

## 7.2.2 แนวเหตุผล

ในระบบ CDMA แบบใหม่ได้มีการรวมเอาระบบ CDMA กับ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เข้าด้วยกันซึ่งจะถูกเรียกว่า Multi-Carrier (MC-) CDMA ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความนิยมอยู่ในขณะนี้ เนื่องมาจากข้อดีของทาง การส่งและภาครับสัญญาณซึ่งจะใช้การบวนการ FFT (fast fourier transform) โดยที่ไม่มีการเพิ่มความซับซ้อนให้กับทางภาคส่งและภาครับแต่อย่างใดและยังสามารถทนทานต่อการเลือกของช่องสัญญาณทางความถี่ (channel frequency selectivity) อีกด้วย แต่ทว่าในระบบภาครับอาจจะมีสัญญาณรบกวนจากการเข้าสู่หลายทาง (MAI) ดังนั้นการจำกัดสัญญาณแบบบอดโดยใช้วิธี widely linear และอาศัยอัลกอริทึมแบบ moe (minimum output energy) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการจำกัดสัญญาณรบกวนซึ่งจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบดั้งเดิมซึ่งจะใช้กระบวนการของวิธีข้อผิดพลาดค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุด Minimum mean square error (MMSE) โดยที่เครื่องรับดั้งเดิมแบบนี้จะต้องอาศัยเทรนนิ่งซีควเอนส์ (training sequence)

## 7.2.3 ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

### 1. ศึกษาภาพรวมของระบบ DS-CDMA และ MC-CDMA

### 2. ศึกษาเครื่องรับแบบบอด อาทิเช่น

#### 1. M.L. Honig U. Madhow, S. Verdu, "Blind Adaptive Multiuser Detection", IEEE

Transactions on Information Theory, vol.41, no.4, pp.944-960, Jul. 1995 สนใจเครื่องรับแบบบอดซึ่งไม่จำเป็นต้องทราบเทรนนิ่งซีควเอนส์ และยังมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องรับที่มีผู้ใช้คนเดียวในระบบ

#### 2. M.J. Rude, L.J. Griffiths, "A Linearly constrained Adaptive Algorithm for Constant

Modulus Signal Processing". Proc. EUSIPCO '92, pp.237-240, Barcelona, Spain, Sept. 1992. เป็นบทความที่นำอัลกอริทึมแบบปรับตัวโดยใช้ข้อจำกัดแบบมอดูลัสคงที่

#### 3. Tat M. Lok, Tan F. Wong and Jame S. Lehnert, "Blind adaptive signal reception for MC-

CDMA

systems in rayleigh fading channels". IEEE Transactions on communications, vol.47, no.3, march. 1999

### 3. ศึกษาเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายคน ที่อาศัยอัลกอริทึมแบบปรับตัวโดยใช้ข้อจำกัดแบบมอดูลัสคงที่แบบ

หลายสเตจ

จากบทความ G. Gelli and F. Verde, "Two-stage CMA blind multiuser detection for DS-CDMA systems in multipath

fading, " in Proc. of 2<sup>nd</sup> IEEE-EURASIP International Symposium on Image and Signal Processing and

Analysis, Pula, Croatia, pp. 622-627, 2001, ซึ่งในบทความได้กล่าวถึงเครื่องรับแบบนี้เป็น กระบวนการรับ

สัญญาณในเครื่องรับทางฝั่งภาครับในระบบ DS-CDMA ถ้าเราพิจารณาทางฝั่งขาขึ้นซึ่งสัญญาณของผู้ใช้แต่ละ

คนจะมาถึงทางภาครับไม่พร้อมกัน ( asynchronous ) ทำให้พบว่าทางภาครับจะมีสัญญาณรบกวน

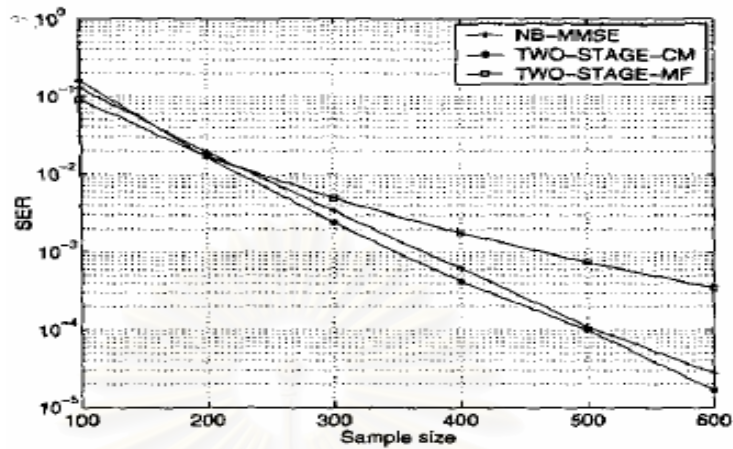
เนื่องจากผู้ใช้หลายคน เครื่องรับแบบบอดในระบบ DS-CDMA ต้องการที่จะทราบโค้ดแ่ทางฝั่งขาส่งของ

ผู้ใช้แต่ละคน ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบไม่บอด ( MMSE-receiver )



ข้อดีของเครื่องรับแบบนี้คือ

- i. สามารถที่จะขจัดปัญหาสัญญาณรบกวนแบบ MAI และ ISI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเราสามารถที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบ MMSE ดังกราฟผลการทดลอง



รูปที่ 1 ค่า Symbol error rate กับ Sample size

2) การวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องรับแบบบอดทางฝั่งขาขึ้นในระบบ MC-CDMA โดยในเครื่องรับแบบบอดนี้ได้ทำการวิเคราะห์สัญญาณ โดยจะประกอบไปด้วยสองสเตจ ซึ่งได้นำอัลกอริทึมแบบมอดูลัสคงที่เพื่อที่จะหาเวกเตอร์น้ำหนักที่ให้ค่าที่ดีที่สุด

ข้อเสียของเครื่องรับแบบนี้คือ

จะมีค่า complexity สูงทำให้มีความลำบากที่จะนำไปใช้งาน ได้จริง ดังนั้นควรมีการปรับปรุงเพื่อลดความซับซ้อนของเครื่องรับเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้จริง

4) ศึกษาเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึมแบบ A Blind widely linear Minimum-Output-Energy Algorithm ซึ่งจากบทความนี้สรุปได้ว่าเมื่อมีผู้ใช้ในระบบเพิ่มมากขึ้น เครื่องรับจะมีเสถียรภาพมากกว่าเครื่องรับแบบ Linear Minimum-Output-Energy Algorithm และค่า complexity ของเครื่องรับแบบ widely linear Minimum-Output-Energy Algorithm จะมีค่าน้อยกว่าด้วย

#### 7.2.4 ส่วนงานที่จะดำเนินการต่อไป

1) ศึกษากระบวนการวิเคราะห์ขั้นในระบบผู้ใช้หลายคนที่อาศัยอัลกอริทึม widely linear Minimum-Output-Energy เพิ่มเติมเพื่อที่จะเกิดแนวคิดใหม่ๆ เพิ่มขึ้น

2) ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับการจัดสัญญาณรบกวนในระบบที่ประกอบด้วย สัญญาณรบกวนที่ไม่ใช่แบบเกาส์เซียนขาว

3) จำลองระบบที่ประกอบด้วยเครื่องรับที่อาศัยการวิเคราะห์สัญญาณแบบบอดโดยอาศัยอัลกอริทึมแบบ widely linear Minimum-Output-Energy โดยมีสัญญาณรบกวนที่ไม่ใช่แบบเกาส์เซียนขาว เนื่องจากในชีวิตจริงเรามักจะเจอกับสัญญาณรบกวนที่ไม่ใช่แบบเกาส์เซียนขาว

4) วิเคราะห์ และ สรุปผล