บทที่ 1

บทนำ

ในการสื่อสารโทรศัพท์ไร้สายนั้นแบบแผนการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส(Code Division Multiple Access: CDMA) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะระบบนี้มีความจุของระบบที่สูงเหนือกว่าแบบแผนการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งทางเวลาและทางความถี่ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป โดยแบบแผนการเข้าถึงแบบแบ่งด้วยรหัสนี้จะมีจุดเด่นอยู่ที่ความเหมาะสมในการรองรับข้อมูลแบบมัลติมิเดียที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงและนอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อช่องสัญญาณเฟดดิงแบบเลือกความถี่ Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในระบบโทรศัพท์ไร้สายในยุคที่ 3 เช่น ในระบบ Future Public Land Mobile Telecommunication System (FPLMTS) และ Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

ในปัจจุบันแบบแผนการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสที่มีการใช้หลักการของระบบ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) เข้าร่วมด้วยได้ถูกนำเสนอขึ้น นั่นคือ ระบบ Multi-Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) [1-3] เนื่องจากเทคโนโลยีนี้สามารถใช้เทคนิคทางกรรมวิธีสัญญาณดิจิตอลเข้ามาใช้ร่วมด้วย จึงทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะทำให้ภาครับและภาคส่งมีความซับซ้อนที่ไม่สูงและมีความทนทานต่อเฟดดิงแบบเลือกความถี่ นอกจากนี้ยังมีการใช้แถบความถี่ที่มีประสิทธิภาพอีกด้วย

1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ OFDM และ ระบบ MC-CDMA

OFDM เป็นวิธีการส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์แบบหนึ่งซึ่งข้อมูลจะถูกส่งผ่านคลื่นพาห์ย่อยจำนวนหนึ่งด้วยอัตราเร็วที่ต่ำลง สาเหตุหลักที่มีการนำระบบนี้มาใช้เพราะระบบนี้มีความทนทานต่อเฟดดิงแบบเลือกความถี่และสัญญาณรบกวนที่มีแถบความถี่แคบ ซึ่งในระบบที่มีการใช้คลื่นพาห์เดียวนั้น สัญญาณรบกวนที่มีแถบความถี่แคบๆ มีความสามารถที่จะทำให้การส่งข้อมูลทั้งระบบเสียหายรุนแรงได้ แต่ในระบบที่มีการใช้หลายคลื่นพาห์ย่อยนั้น จะมีข้อมูลในคลื่นพาห์ย่อยเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะได้รับผลกระทบ โดยหลักการของการส่งข้อมูลด้วยหลายคลื่นพาห์นี้ ได้ถูกนำเสนอโดย R. W. Chang ซึ่งตีพิมพ์เป็นครั้งแรกในกลางปี ค.ศ. 1960 ในวารสาร Bell System Technology

ในระบบการส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์เดิมนั้น แถบความถี่โดยรวมของทั้งระบบจะถูกแบ่งย่อยทางความถี่เป็นช่องสัญญาณย่อยที่ไม่มีการซ้อนทับกัน แต่ละช่องสัญญาณย่อยจะถูกมอดูเลตด้วยสัญลักษณ์ข้อมูลที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นการดีที่หลีกเลี่ยงการซ้อนทับกันของช่องสัญญาณย่อยเพื่อป้องกันการรบกวนกันเองระหว่างช่องสัญญาณย่อย แต่อย่างไรก็ดีวิธีการเช่นนี้จะทำให้มีการใช้แถบความถี่ที่ไม่มีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะช่วยในการแก้ปัญหานี้ ในกลางปี ค.ศ.1960 นั้นเองได้มีการนำเสนอระบบ Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) โดยระบบนี้จะใช้วิธีการที่สามารถให้คลื่นพาห์ย่อยที่มีการซ้อนทับกันได้ ซึ่งการที่มีการซ้อนทับกันระหว่างช่องสัญญาณย่อยได้นี้ คลื่นพาห์ย่อยแต่ละคลื่นจำเป็นที่จะต้องมีความตั้งฉาก (Orthogonality) ซึ่งกันและกัน เพื่อที่แต่และช่องสัญญาณย่อยจะได้ไม่รบกวนกันเอง และเพื่อที่จะให้คลื่นพาห์ย่อยเหล่านั้นมีความตั้งฉากกัน คลื่นพาห์ย่อยเหล่านั้นต้องมีระยะห่างระหว่างกันเท่ากันเป็น 1/T เมื่อ T คือ ช่วงเวลา 1 คาบของสัญญาณข้อมูล ซึ่งทางฝั่งเครื่องรับจะประกอบไปด้วยกลุ่มของดีมอดูเลเตอร์ ซึ่งแต่ละตัวจะทำหน้าที่แปลงข้อมูลจากแต่ละคลื่นพาห์ย่อยเป็นค่าไฟตรง และเมื่อรวมสัญญาณทั้งหมดในช่วง 1 คาบสัญญาณก็จะได้ข้อมูลที่ต้องการออกมา

ได้มีหลายงานวิจัยที่ให้ความสนใจในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบการส่งข้อมูล OFDM นี้ โดยในปี ค.ศ. 1971 Weinstein และ Ebert ได้ทำการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธี Discrete Fourier Transform (DFT) เข้ากับระบบนี้ในขั้นตอนของการมอดูเลตและการดีมอดูเลต หลังจากนั้นได้มีการใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) เข้าช่วยอีกด้วย ซึ่งทำให้ลดความซับซ้อนในการประมวลผลลงอย่างมาก

ในปี ค.ศ. 1960 เทคนิค OFDM ได้ถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงของหน่วยงานทางทหาร เช่น KINEPLEX , ANDDEFT, KATHRYN ตัวอย่างเช่น ในระบบ KATHRYN นั้นมีการทำงานที่ความถี่สูงโดยใช้คลื่นพาห์ย่อยทั้งสิ้น 34 คลื่นพาห์ย่อย ซึ่งมีระยะห่างระหว่างกัน 82 Hz

ในปี ค.ศ. 1980 ระบบ OFDM ได้ถูกนำมาวิจัยเพื่อใช้ในการสื่อสารรูปแบบต่าง ๆ เช่น โมเด็มความเร็วสูง ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอล และระบบบันทึกข้อมูล ซึ่งระบบเหล่านี้มีการใช้เทคนิค OFDM สำหรับการมัลติเพลกซ์สัญญาณ QAM

ในปี ค.ศ. 1990 เทคนิค OFDM ได้ถูกนำมาใช้งานสำหรับระบบสื่อสารข้อมูลที่ใช้แถบความถี่กว้างต่าง ๆ เช่น ช่องสัญญาณในระบบวิทยุ FM ระบบ High bit rate digital subscriber line (HDSL :1.6 Mbps) ระบบ asymmetric digital subscriber line (ADSL : 6Mbps) digital audio broadcasting (DAB) และในระบบ high-definition television (HDTV)

ในปี ค.ศ. 1993 Nathan Yee ได้นำเสนอ ระบบการ เข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส ที่มีการประยุกต์ใช้เทคนิค OFDM เข้าร่วมด้วยโดยเรียกระบบนี้ว่า Multi-Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) ซึ่งจะทำให้มีช่วงคาบของสัญญาณที่ยาวกว่าเดิม เมื่อเทียบกับระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (DS-CDMA) ที่นิยมใช้กันอยู่แต่เดิม ซึ่งระบบ MC-CDMA นี้จะทำให้การซิงโครไนท์สัญญาณทำได้ง่ายขึ้นและป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (intersymbol interference)

ถึงแม้โครงสร้างสัญญาณของระบบ MC-CDMA นั้นจะคล้ายคลึงกับโครงสร้างสัญญาณของระบบ OFDM ในกรณีที่คลื่นพาห์ย่อยถูกจัดให้อยู่ชิดกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่วัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์คลื่นพาห์ย่อยนี้จะแตกต่างกัน ในระบบ OFDM นั้นสัญญาณสัญลักษณ์ข้อมูลหลายสัญลักษณ์จะถูกส่งผ่านคลื่นพาห์ย่อยที่แตกต่างกันไปพร้อม ๆ กัน แต่ในระบบ MC-CDMA นั้นมีเพียงสัญลักษณ์ข้อมูลเดียวที่จะถูกส่งผ่านไปทุก ๆ คลื่นพาห์ย่อย ณ เวลาหนึ่ง ๆ โดยสัญลักษณ์ข้อมูลนั้นจะถูกแผ่ด้วยชุดรหัสแผ่ก่อน

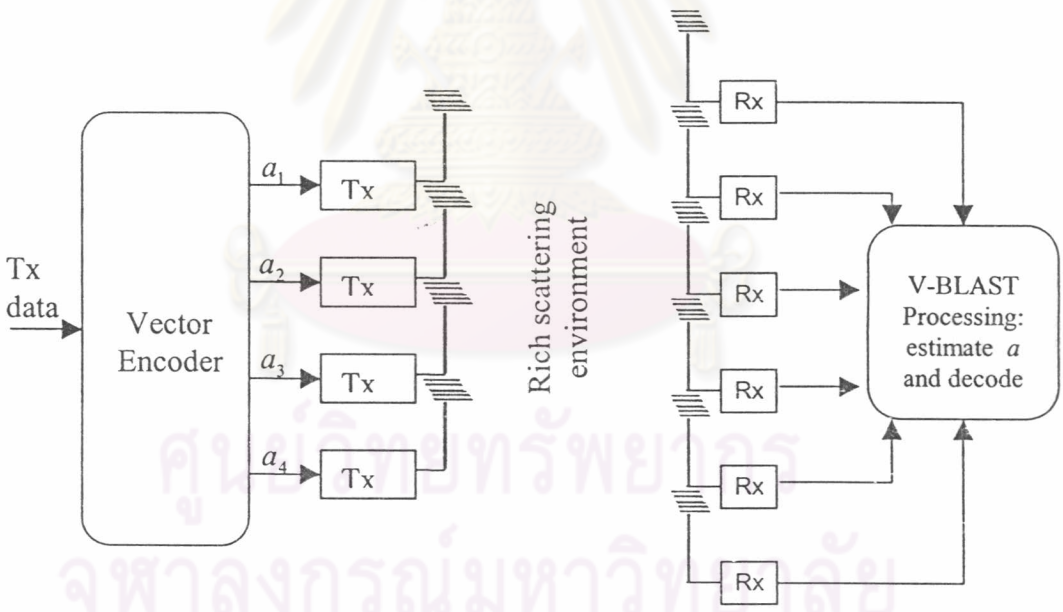
1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ V-BLAST

ในปัจจุบันนี้งานวิจัยในสาขาทฤษฎีการสื่อสารข้อมูลได้แสดงให้เห็นว่า ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายแบบพหุวิถีนั้นจะมีลักษณะเป็นช่องสัญญาณแบบ Multiple-input Multiple-Output (MIMO) ซึ่งจะมีความจุของช่องสัญญาณที่สูงมากเมื่อมีการเกิดการกระเจิงของคลื่นสัญญาณที่มากเพียงพอและมีความต้องการใช้ระบบการประมวลผลที่เหมาะสมอีกด้วย ในปัจจุบันได้หลายงานวิจัยที่ใช้ความสำคัญกับระบบ MIMO นี้ [4-7] ตัวอย่างหนึ่งของระบบที่กล่าวถึงนี้ คือ ระบบในสถาปัตยกรรม BLAST โดยระบบ D-BLAST (Diagonally Bell Laboratories Layered Space time) ได้ถูกนำเสนอขึ้นโดย Foschini [5] ในปี ค.ศ. 1996 ระบบ D-BLAST นั้นจะมีการใช้สายอากาศหลายสายอากาศทั้งทางภาครับและทางภาคส่งซึ่งจะมีโครงสร้างการเข้ารหัสแบบบล๊อคที่จัดลำดับชั้นแบบทแยงมุมในมิติของตำแหน่งและเวลา นั่นคือข้อมูลหนึ่ง ๆ จะถูกส่งจากสายอากาศทางภาคส่งคนละเวลาเรียงต่อกันไป โดยในสภาพแวดล้อมที่มีเฟดดิงแบบเรย์ลี โครงสร้างการประมวลผลแบบนี้จะนำไปสู่อัตราการส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนของสายอากาศ ซึ่งอัตราข้อมูลที่ได้นี้จะมีค่าประมาณร้อยละ 90 ของค่าความจุของชานอน (Shannon Capacity) ซึ่งถือว่าสูงมาก

อย่างไรก็ดี สถาปัตยกรรม D-BLAST นี้มีข้อเสียอยู่ที่การมีความซับซ้อนที่สูงมากจนไม่เหมาะสมที่จะใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 Foschini ได้นำเสนอระบบ BLAST ขึ้นมาอีกครั้งในรูปแบบที่มีความซับซ้อนที่น้อยลงโดยเรียกระบบใหม่นี้ว่า ระบบ V-BLAST

(Vertical Bell Laboratories Layered Space Time) พร้อมทั้งได้มีการทดลองทำการใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการวิจัยด้วย ซึ่งระบบที่ได้นี้มีประสิทธิภาพทางสเปกตรัม (spectrum efficiency) อยู่ในช่วง 20-40 bps/Hz ที่ช่วงของ SNR (Signal to Nose Ratio) 24- 34 dB ถึงแม้ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะเกิดจากการทดลองในสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้มีสัญญาณรบกวนอย่างรุนแรง แต่ผลลัพธ์ที่ได้นี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพทางสเปคตรัมที่สูงมากอย่างไม่เคยมีมาก่อนเมื่อเทียบกับเทคนิคต่าง ๆ ที่มีอยู่แต่เดิม

แผนผังแบบจำลองของระบบ V-BLAST ได้ถูกแสดงดังในรูปที่ 1-1 ทั้งนี้ ข้อมูลแต่ละสายจะถูกดีมัลติเพลกซ์ออกเป็น M สายข้อมูล จากนั้นแต่ละสายของข้อมูลได้ถูกเข้ารหัสและถูกส่งไปยังสายอากาศทางภาคส่งแต่ละตัวตามลำดับ โดยที่กำลังของสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกจากสายอากาศภาคส่งแต่ละตัวจะแปรผันตามค่า 1/M ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดจะไม่ขึ้นกับจำนวนสายอากาศแต่อย่างใด ซึ่งข้อมูลที่รับได้ที่สายอากาศภาครับแต่ละตัวจะมีข้อมูลของสายอากาศภาคส่งแต่ละตัวปนกันอยู่ด้วย จากนั้นจะต้องนำไปผ่านกระบวนการ V-BLAST เพื่อแยกแยะข้อมูลที่ถูกส่งแต่ละตัวออกมา



รูปที่1-1 แผนผังแบบจำลองการรับส่งข้อมูลของระบบ V-BLAST

ความแตกต่างของระบบ D-BLAST และ V-BLAST อยู่ที่กระบวนการเข้ารหัสแบบเวกเตอร์ซึ่งในระบบ D-BLAST นั้นจะมีการส่งข้อมูลซ้ำในระหว่างสายข้อมูลด้วย ซึ่งการเข้ารหัสแบบบล็อคของระบบ D-BLAST นั้นจะมีอัตราการเข้ารหัสที่สูงกว่าระบบ V-BLAST เมื่อใช้จำนวนสายอากาศทางภาครับและภาคส่งที่เท่ากัน ส่วนในระบบ V-BLAST นั้นกระบวนการเข้ารหัสจะมีเพียงกระบวนการดีมัลติเพลกซ์ ไม่ได้มีการเข้ารหัสระหว่างสายข้อมูลแต่อย่างใด

ข้อแตกต่างระหว่างระบบ V-BLAST จากเทคนิคการเข้าถึงแบบหลายทางแบบต่าง ๆ คือ ระบบ BLAST จะใช้แถบความถี่จำนวนน้อย ในขณะที่เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส (CDMA) และเทคนิคการเข้าถึงหลายทางที่มีการแผ่ทางสเปคตรัมแบบอื่น ๆ นั้นมีความจำเป็นที่จะต้องใช้แถบความถี่กว้าง ข้อแตกต่างถัดมาคือ ในระบบ BLAST นั้น สัญญาณข้อมูลแต่ละสายนั้นจะใช้แถบความถี่ทั้งหมดที่มีอยู่ร่วมกัน ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกทางความถี่ (FDMA) และนอกจากนั้นระบบ BLAST จะส่งสัญญาณข้อมูลทั้งหมดในทุก ๆ สายข้อมูลออกไปพร้อม ๆ กัน ณ เวลาเดียวกัน ซึ่งจะแตกต่างกับระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกทางเวลา (TDMA) จากเหตุผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระบบ BLAST จะมีประสิทธิภาพทางสเปคตรัมที่สูงกว่าเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบอื่น

ลักษณะของระบบ BLAST นั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความตั้งฉาก (Orthogonality) กันและกันระหว่างสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งในแต่ละสาย แต่จะอาศัยสภาพลักษณะของช่องสัญญาณเองในการแยกแยะสัญญาณที่ต้องการออกมาทางภาครับ โดยช่องสัญญาณนี้จะต้องมีการเกิดพหุวิถีที่มากเพียงพอ

1.3 เครื่องรับแบบธรรมดา (Conventional Receiver)

เครื่องรับแบบธรรมดาหรือที่เรียกว่าอีกชื่อหนึ่งว่าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ (matched filter) เครื่องรับชนิดนี้จะมีการใช้เฉพาะรหัสแผ่ของผู้ใช้รายที่ต้องการเท่านั้นในการแยกแยะข้อมูลของผู้ใช้คนดังกล่าว โดยจะถือว่าค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณของผู้ใช้คนที่สนใจกับสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นมีค่าน้อย หรือผลของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่น (Multiple access Interferrence:MAI) มีค่าน้อยนั่นเอง ในกรณีที่มีจำนวนของผู้ใช้ในระบบมาก ซึ่งสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่นก็จะมีค่ามาก ทำให้สมรรถนะของระบบที่มีการใช้เครื่องรับแบบธรรมดานี้มีค่าที่ต่ำ เพราะเครื่องรับชนิดนี้ไม่คำนึงถึงผลของ MAI นั่นเอง

นอกจากนี้เมื่อการควบคุมกำลังที่ภาคส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ไกล้-ไกล (near-far effect) ขึ้นในระบบ โดยปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนเดินทางมาถึงยังสถานีฐานโดยมีกำลังที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้ผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดที่มีต่อผู้ใช้ที่มีกำลังสัญญาณต่ำมีมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้เครื่องรับแบบธรรมดานี้มีประสิทธิภาพที่ดีจะต้องมีการควบคุมกำลังส่งอย่างเข้มงวดเพื่อให้สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนมาถึงยังสถานีฐานด้วยกำลังที่เท่ากัน

1.4 เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย (Multiuser Detection) [8-14]

เนื่องจากปัญหาของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่นในเครื่องรับแบบธรรมดานั้น เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายจึงได้ถูกเสนอขึ้นทั้งนี้จะนำเอาความรู้เกี่ยวกับรหัสแผ่และกำลังสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นมาช่วยในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดด้วย

งานวิจัยเริ่มแรกของเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1979 โดย Schneuder ได้นำเสนอเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายที่ชื่อ zero-forcing decorrelating detector แต่งานวิจัยที่จุดประกายให้เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายและมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง คือ เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด (Optimum receiver) ซึ่งถูกนำเสนอโดย Verdu ในปี ค.ศ. 1984 หลังจากนั้นเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก นอกจากนี้แล้ว Verdu ยังได้แสดงให้เห็นว่า ปัญหาสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นและผลจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกล นี้เป็นข้อจำกัดของเครื่องรับแบบธรรมดาเท่านั้นมิใช่ข้อจำกัดของระบบ CDMA แต่อย่างไรก็ดี เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดนี้จะมีความซับซ้อนที่สูงมากเกินกว่าที่จะนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ ต่อมาจึงได้มีการนำเสนอเครื่องรับที่มีความเหมาะสมรองลงไป (sub-optimum receiver) ถึงแม้จะมีสมรรถนะที่ต่ำลงแต่มีความซับซ้อนที่น้อยกว่า ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายที่มีผู้เสนอขึ้นจะเป็นดังนี้

1.4.1 เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Receiver)

เครื่องรับเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบ CDMA ถูกเสนอโดย Verdu เครื่องรับชนิดนี้ใช้หลักการของ Maximum-Likelihood Sequence Estimation (MLSE) ในการหาลำดับของสัญญาณที่ส่งมา นั่นคือ จะพิจารณาชุดของข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวน 2^k แบบ เมื่อ k คือจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในระบบและถือว่าชุดของข้อมูลที่ทำให้สัญญาณเหมือนกับสัญญาณที่ได้รับมากที่สุด เป็นข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งมา อย่างไรก็ตามแม้ว่าเครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ดีมาก แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ มีความซับซ้อนสูงมาก ซึ่งความซับซ้อนจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้แบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) อีกทั้งยังต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของผู้ใช้และพารามิเตอร์ของระบบจำนวนมาก จึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปยังเครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป

1.4.2 **เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป** (Sub-optimum Receiver)

เป็นเครื่องรับที่มีสมรรถนะที่ต่ำกว่าเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดแต่มีความซับซ้อนที่ต่ำกว่าและยังคงมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องรับแบบธรรมดาอยู่มากรวมทั้งความซับซ้อนไม่ได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้แบบเอกซ์โพเนนเชียล จึงทำให้เครื่องรับชนิดนี้เหมาะสมกับการนำมาใช้งานจริงในทางปฏิบัติโดยเครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เครื่องรับแบบเชิงเส้นและเครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น

1.4.3 **เครื่องรับแบบเชิงเส้น** (Linear Receiver)

เครื่องรับชนิดนี้ประกอบด้วยเครื่องรับแบบธรรมดาของผู้ใช้ทุกคนในระบบโดยสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบธรรมดาซึ่งเป็นการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยรหัสแผ่ของผู้ใช้คนที่เราต้องการ จะถูกนำมาผ่านกระบวนการแบบเชิงเส้น แล้วจึงค่อยนำผลรับที่ได้ไปทำการตัดสินบิตข้อมูล เครื่องรับแบบเชิงเส้นมีอยู่ 2 ชนิดที่สำคัญ ดังนี้

- **เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลต** (Decorrelating Detector:DD)

เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลตนี้ใช้กระบวนการแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบเป็นเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ (Correlation Matrix) ของรหัสของผู้ใช้ทุกคนในระบบเพื่อกำจัด MAI โดยไม่นำผลของสัญญาณรบกวน (Noise) มาพิจารณา ด้วยเหตุนี้กระบวนการกำจัด MAI ของเครื่องรับชนิดนี้จึงไปเพิ่มสัญญาณรบกวนให้แก่สัญญาณที่รับได้ ดังนั้นกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่ามากหรือค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ ๆ เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลตจึงมีสมรรถนะไม่ดี

- **เครื่องรับชนิดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำสุด** (Minimum Mean Square Error Receiver:MMSE)

เครื่องรับชนิดนี้ใช้กระบวนการแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบเป็นเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของรหัสของผู้ใช้รวมกับเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน เนื่องจากเครื่องรับชนิดนี้มีการพิจารณาผลของสัญญาณรบกวนด้วย ดังนั้นกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่ามากเครื่องรับจึงมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลต ส่วนในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อย เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.4 **เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น** (Non-Linear Receiver)

เครื่องรับชนิดนี้จะนำสัญญาณที่ได้จากการประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นในระบบไปหักล้างออกจากสัญญาณรวม แล้วจึงนำสัญญาณที่ถูกหักล้างแล้วไปตัดสินบิตข้อมูลได้บิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่ต้องการ ดังนั้นถ้าสามารถประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นได้ถูกต้องเครื่องรับชนิดนี้ก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีไปด้วย เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้นที่เป็นที่สนใจในงานวิจัยมีดังนี้

-เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างขนาน (Parallel Interference Cancellation: PIC)

เครื่องรับชนิดนี้จะนำสัญญาณที่ผ่านเครื่องรับแบบธรรมดามาทำการประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนออกมาก่อน แล้วนำบิตข้อมูลที่ประมาณได้ของผู้ใช้ทุกคนยกเว้นผู้ใช้คนที่สนใจไปใช้ในการหักล้างออกจากสัญญาณรวมเพื่อกำจัดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นออกไปก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจบิตของผู้ใช้คนที่สนใจ โดยเครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ดีในระบบที่มีการควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ เครื่องรับชนิดนี้สามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณบิตข้อมูลในขั้นแรก โดยการเปลี่ยนเครื่องรับแบบดั้งเดิมเป็นเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลตหรือเครื่องรับทั้งสองชนิดที่นำมาใช้นี้อาจเป็นแบบปรับตัวได้

-เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation: SIC)

เครื่องรับชนิดนี้จะทำการหาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังแรงที่สุดออกมาก่อนโดยใช้เครื่องรับแบบธรรมดา แล้วจึงนำไปหักล้างออกจากสัญญาณรวมที่รับได้เพื่อหักล้างผลของสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้คนนี้ออกจากสัญญาณรวม เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้แล้วก็จะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังแรงที่สุดและสัญญาณรวมของผู้ใช้ทุกคนยกเว้นผู้ใช้ที่มีกำลังแรงที่สุด แล้วจึงนำสัญญาณรวมที่ผ่านการหักล้างนี้ไปหาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงที่สุดในบรรดาผู้ใช้ที่เหลืออยู่โดยใช้เครื่องรับแบบธรรมดา ต่อจากนั้นก็จะทำซ้ำกระบวนการข้างต้นไปเรื่อย ๆ ซึ่งจะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนออกมาอย่างต่อเนื่องกันตามลำดับความแรงของสัญญาณจนครบทุกคน จากการทำงานดังกล่าวจะเห็นว่าผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงที่สุดจะถูกตัดสินบิตออกมาเป็นคนแรก ส่วนผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำที่สุดจะถูกตัดสินข้อมูลออกมาเป็นคนสุดท้ายถึงแม้กระบวนการนี้จะทำให้เกิดการประวิงเวลาที่สูง แต่ก็จะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำ เนื่องจากมีการประมาณสัญญาณจากผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงกว่าไปหักล้างจากสัญญาณรวมที่รับได้ซึ่งเป็นการลดสัญญาณแทรกสอดให้กับผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำกว่านั่นเอง

-เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบผสม (Hybrid Interference Cancellation: HIC)

เครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบผสมในระบบ CDMA ถูกเสนอโดย Sun S. และ Koulakiotis D. หลักการทำงานของเครื่องรับชนิดนี้คือ การนำเครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน และเครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องมาทำงานร่วมกัน เพื่อกำจัดข้อเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธี และทำให้ได้สมรรถนะที่เหมาะสมในสภาพการใช้งานจริง โดยเครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบผสมนี้มีข้อดีที่สามารถลดการประวิงเวลาและแก้ไขความไม่สมบูรณ์ในการควบคุมกำลังสัญญาณที่ด้านส่งไปในเวลาพร้อมกัน

-เครื่องรับชนิดที่นำข้อมูลที่ตัดสินแล้วมาป้อนกลับ (Decorrelating Decision – Feedback Detector: DDFB)

เครื่องรับชนิดนี้จะนำข้อมูลที่ตัดสินแล้วมาป้อนกลับเข้าในระบบ ได้ถูกเสนอไว้โดย Hallen A. หลักการทำงานของเครื่องรับชนิดนี้คือ ในการประมาณสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ในระบบจะประกอบไปด้วยวงจรกรอง 2 วงจร คือ วงจรกรองแบบป้อนไปข้างหน้าและวงจรกรองแบบป้อนกลับ โดยวงจรกรองแบบป้อนไปข้างหน้าทำหน้าที่กำจัดผลของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่าออกจากผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงกว่า ส่วนวงจรกรองแบบป้อนกลับมีหน้าที่ป้อนผลการตัดสินบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงกว่าเพื่อนำไปช่วยในการตัดสินบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำกว่า

1.5 การนำระบบ MC-CDMA มาประยุกต์ใช้ระบบ MIMO แบบ V-BLAST

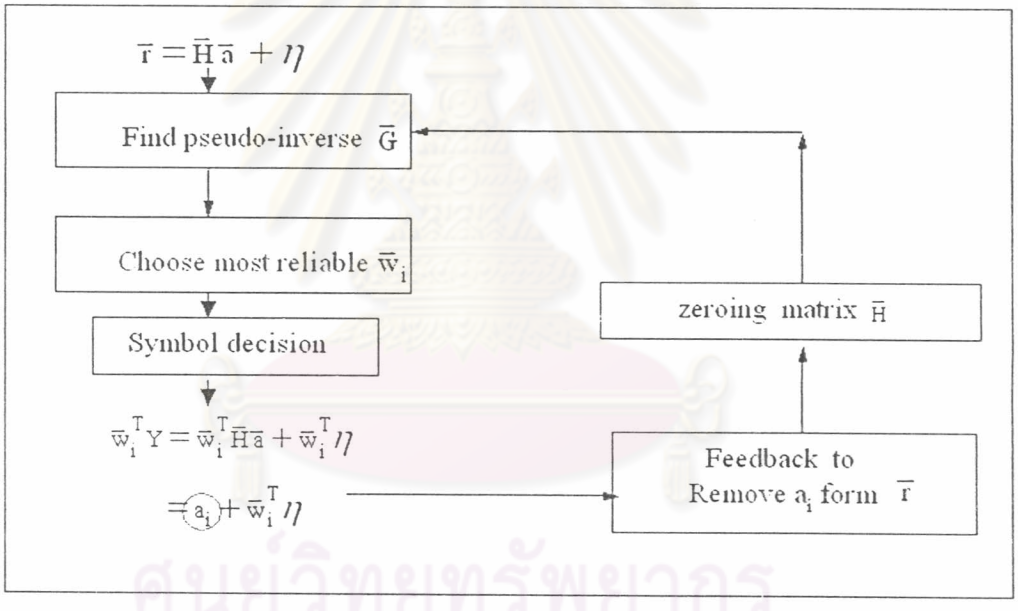
ระบบสื่อสาร MC-CDMA (Multicarrier Code division Multiple access) เป็นระบบการเข้าถึงหลายทางด้วยรหัสวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจเนื่องจากมีความทนทานสูงต่อการเกิดเฟดดิง (fading) ในช่องสัญญาณและยังมีความทนทานต่อสัญญาณแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Intersymbol interference : ISI) ได้ดีอีกด้วย

ในระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่4 ระบบสื่อสารจะต้องมีความสามารถที่จะรองรับการใช้งานที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงยิ่งขึ้นไปอีกจนถึงระดับ 10 Mbps เพื่อรองรับการบริการรูปแบบใหม่ ๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ [15] ดังนั้นจึงได้เสนอแนวคิดที่จะนำเอาวิธีการรับส่งข้อมูลแบบหลายสายอากาศ (multiple antenna) ที่ใช้สถาปัตยกรรม V-BLAST เข้ามาใช้ร่วมกับระบบ MC-CDMA เพื่อเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูล โดยการเลือกนำมาใช้กับระบบ MC-CDMA แทนระบบ DS-CDMA นั้นเนื่องจากระบบ MC-CDMA มีความทนทานต่อเวลาหน่วง (delay time) ที่ไม่เท่ากันของสัญญาณที่รับได้ที่สายอากาศทางภาครับแต่ละตัว

โดยวิทยานิพนธ์นี้จะใช้รูปแบบการรับส่งข้อมูลตามที่ได้ถูกเสนอไว้โดย Sfar S., Murch R. D., and Letaief K. B. ในปี ค.ศ.2001 [16] โดยจะเลือกพิจารณาเฉพาะการส่งข้อมูลทางช่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (up link) เท่านั้น โดยการส่งข้อมูลของสายอากาศแต่ละสายอากาศในทางฝั่งส่งข้อมูลของระบบ V-BLAST ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะถูกแทนที่ด้วยการส่งข้อมูลจากผู้ใช้บริการโทรศัพท์ไร้สายแต่ละคน ส่วนในทางฝั่งรับหรือสถานีฐานจะประกอบไปด้วยสายอากาศหลายสายอากาศดังเดิม ทั้งนี้ผู้ใช้บริการโทรศัพท์ไร้สายแต่ละคนสามารถที่จะส่งข้อมูลโดยใช้รหัสแผ่ที่เหมือนกันได้

1.6 ปัญหาความซับซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST

ขั้นตอนในกระบวนการ V-BLAST จะเป็นดังรูปที่1-2



รูปที่1-2 แผนผังแสดงอัลกอริทึมของระบบ V-BLAST

เมื่อ $\bar{r}$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับ

$\bar{H}$ คือ เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ

$\bar{w}_i$ คือ เวกเตอร์นัลลิงก์ของผู้ใช้คนที่ i

$\bar{a}$ คือ เวกเตอร์สัญลักษณ์ข้อมูลของผู้ใช้ทุกคน

η คือ เวกเตอร์ของสัญญาณรบกวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขั้นตอนที่ 1 นั้น จะต้องทำการคำนวณ Moore-Penrose pseudo-inverse ของเมตริกซ์ของช่องสัญญาณ $\bar{H}$ โดย h_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณของสายอากาศที่ j ไปยังสายอากาศที่ i ทางภาครับ หลังจากนั้นสัญญาณที่น่าเชื่อถือที่สุดจะถูกเลือกออกมาโดยพิจารณาจากค่านอร์ม ของแต่ละแถวของเมตริกซ์ $\bar{G}$ ของช่องสัญญาณ ขั้นตอนต่อมาสัญญาณข้อมูลจะถูกถอดรหัสและตัดสินบิตข้อมูล และนำบิตข้อมูลที่ตัดสินแล้วนั้นไปใช้ในการสร้างสัญญาณให้เหมือนทางภาคส่งอีกครั้งเพื่อใช้ในการลบออกจากสัญญาณรวมที่รับมาได้ ขั้นตอนต่อมาจะเป็นกระบวนการแทนที่คอลัมน์ของเมตริกซ์ $\bar{H}$ ด้วยค่าศูนย์ โดยคอลัมน์นี้จะต้องสอดคล้องกับข้อมูลจากสายอากาศภาคส่งที่ตัดสินบิตข้อมูลไปแล้ว หลังจากนั้นกระบวนการที่กล่าวมานี้จะถูกทำซ้ำอีกครั้งตั้งแต่ขั้นตอนแรก โดยจะเลือกจากสัญญาณข้อมูลน่าเชื่อถือรองลงไปมาทำการตัดสินบิตข้อมูลลำดับถัดไป โดยที่การทำการตัดสินบิตข้อมูลตามลำดับนี้จะทำให้สมรรถนะของระบบที่ได้มีค่าดีที่สุด

จากกระบวนการข้างต้นที่กล่าวมานั้นขั้นตอนของการทำ pseudo-inverse นั้นจะก่อให้เกิดความซับซ้อนที่สูงมาก เมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ ที่เหลือ โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดของเมตริกซ์ของช่องสัญญาณที่จะทำการ pseudo-inverse นั่นเอง ซึ่งขนาดของเมตริกซ์ $\bar{H}$ นี้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของสายอากาศทางภาคส่งและจำนวนของสายอากาศทางภาครับ และเมื่อนำเอาอัลกอริทึม V-BLAST มาประยุกต์ใช้เข้ากับระบบ MC-CDMA แล้ว เมตริกซ์ที่จะต้องนำไปทำ pseudo-inverse จะเป็นเมตริกซ์ space-code cross correlation ($\widetilde{R}$) แทนเมตริกซ์ $\bar{H}$ โดยเมตริกซ์ $\widetilde{R}$ นิยามโดย

$$\widetilde{R} = \sum_{p=1}^{P} \psi_p^H \psi_p \qquad \text{.....(1-1)}$$

เมื่อ สมาชิกของเมตริกซ์ ψ_p ซึ่งมีขนาด $N \times K$ คือ $\psi_{p,i,j}$ นิยามโดย

$$\psi_{p,i,j} = c_j(i) H_{p,j}(i) \qquad \text{.....(1-2)}$$

เมื่อ $H_{p,j}(i)$ คือ สัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ ของคลื่นพาห์ย่อยที่ i ของผู้ใช้คนที่ j มายังสายอากาศภาครับที่ p

$c_j(i)$ คือ ชิพที่ i ของรหัสของผู้ใช้คนที่ j

p คือ ดรรชนีแสดงหมายเลขของสายอากาศทางภาครับซึ่งมีทั้งสิ้น P สายอากาศ

N คือ ความยาวของรหัสแผ่ที่ใช้

และ K คือ จำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในระบบ

ดังนั้นความซับซ้อนของระบบ MC-CDMA ที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึม V-BLAST จึงขึ้นอยู่กับขนาดของเมตริกซ์ $\widetilde{R}$ แทน โดยที่ขนาดของเมตริกซ์ $\widetilde{R}$ นี้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ใน

ระบบทั้งหมด ดังนั้นหากสมมติว่ามีผู้ใช้ในระบบที่สถานีฐานต้องรับผิดชอบจำนวน 30 คน ทางภาครับก็จะต้องมีการทำ pseudo-inverse ทั้งสิ้น 30 ครั้งจึงจะได้ข้อมูล 1 สัญลักษณ์ของผู้ใช้ทุกคนออกมาซึ่งจะมีความซับซ้อนที่สูงมาก นอกจากนี้การทำ pseudo-inverse 30 ครั้งนี้จะเกิดขึ้นเรียงต่อกันในทางเวลา ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่มากเป็นเหตุให้ไม่เหมาะสมต่อการส่งข้อมูลที่ต้องการเวลาหน่วง (delay time) ต่ำ

1.7 วิธีการปรับปรุงและพัฒนา สมรรถนะของอัลกอริทึม V-BLAST ที่มีผู้นำเสนอขึ้นมา

เนื่องจากอัลกอริทึม V-BLAST ที่ถูกนำเสนอโดย Foschini นั้นจะยังคงมีความซับซ้อนที่สูงมาก ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติดังนั้นจึงมีหลาย ๆ งานวิจัยได้ถูกเสนอขึ้นเพื่อลดความซับซ้อนของอัลกอริทึมนี้ โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 2000 Wong Kwan Wai, Chi-Ying Tsui และ Roger S. Cheng [17] ได้เสนอวิธีการลดความซับซ้อนโดยใช้กระบวนการ Gram-Schmitt Orthogonalization (GSO) แทนกระบวนการ pseudo-inverse และได้เสนอวิธีการจัดลำดับการตัดสินบิตข้อมูลด้วยวิธีการที่เหมาะสมรองลงไป (Sub Optimal Decoding Order) โดยวิธีการนี้สามารถลดความซับซ้อนได้ถึงร้อยละ 53 เมื่อใช้จำนวนสายอากาศทางภาครับและภาคส่งเท่ากับ 12 และ 8 ตามลำดับ แต่สมรรถนะของระบบที่ได้จะต่ำลงมากเมื่อเทียบกับอัลกอริทึม V-BLAST ที่มีอยู่เดิม

ในปี ค.ศ. 2002 Daniel Ka, Chan So และ Roger Cheng [18] ได้เสนอวิธี Layered Maximum Likelihood Detection (L-MLD) ขึ้นมาเพื่อใช้ปรับปรุงอัลกอริทึม V-BLAST โดยจะพิจารณาสัญญาณที่รับได้ซึ่งมีเวลาหน่วงเกิดขึ้นว่าเป็นสัญญาณที่ถูกส่งมาจากสายอากาศจินตภาพ (imaginary antenna) อีกสายอากาศหนึ่งและจะถูกนำไปใช้ร่วมในการประมวลผลด้วย ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียเพราะจำเป็นที่จะต้องเพิ่มจำนวนของสายอากาศทางภาครับขึ้นแทน ทำให้เกิดต้นทุนในการติดตั้งระบบที่เพิ่มขึ้น

ต่อมา Daniel Ka, Chan So และ Roger Cheng ได้เสนอวิธี Maximum Likelihood Detection แบบอื่น ๆ ขึ้นอีก [19] ได้แก่ zero-forcing maximum ratio combining (ZF-MRC) และ group maximum likelihood detection (G-MLD) โดยวิธี ZF-MRC นั้นจะใช้หลักการของ maximum ratio combining เข้ามาช่วยรวมสัญญาณที่ผ่านการเกิดพหุวิถีเพื่อใช้ช่วยในการตัดสินบิตข้อมูลด้วย ถึงแม้วิธีนี้จะมีความเรียบง่ายและมีความซับซ้อนที่ต่ำแต่สมรรถนะของระบบที่ได้จะไม่ดีนัก ส่วนวิธี G-MLD นั้น มีวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธีการ L-MLD แต่จะทำ

กระบวนการ maximum likelihood detection เป็นกลุ่มแทน โดยความซับซ้อนที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนสัญญาณในกลุ่ม

นอกจากงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการลดความซับซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST แล้ว ยังมีงานวิจัยที่เสนอขึ้นโดยมุ่งเน้นเพื่อพัฒนา สมรรถนะของอัลกอริทึม V-BLAST ให้ดียิ่งขึ้น โดยงานวิจัยที่น่าสนใจสามารถสรุปได้ดังนี้

ในปี ค.ศ. 2000 Woon-Joon Choi, Rohit Negi และ John M.Cioffi [20] ได้เสนอวิธีการที่นำเอา maximum likelihood detection (ML) มาใช้ร่วมกับ วิธี decision feedback equalization ที่ใช้อยู่ในระบบ V-BLAST เดิม ทำให้สมรรถนะของระบบโดยรวมดีขึ้น

ในปี ค.ศ. 2001 Ashish Bhurgave, Rui J.P. de Figueireo และ Torbjorn Eltoft [21] ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงอัลกอริทึม V-BLAST โดยอ้างอิงจากวิธี maximum likelihood โดยจะลดจำนวนสัญลักษณ์ที่จะนำมาใช้ตัดสินบิตข้อมูลแต่ละครั้งลงและใช้เทคนิค multiple slicing เข้าร่วมด้วย ถึงแม้จะสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบได้สูงขึ้นแต่ความซับซ้อนจะเพิ่มขึ้นมากด้วยเช่นกัน

ในปี ค.ศ. 2002 Yuan Li [22] ได้นำเสนออัลกอริทึมเพื่อพัฒนาให้ระบบ V-BLAST สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น โดยอัลกอริทึมนี้จะประกอบไปด้วยเครื่องรับย่อยหลายเครื่อง ซึ่งแต่ละตัวจะทำหน้าที่เหมือนดังระบบ V-BLAST เดิมแต่จะใช้เมตริกซ์ของช่องสัญญาณที่มีขนาดลดลง โดยเครื่องรับย่อยแต่ละตัวนี้จะทำงานขนานไปพร้อม ๆ กัน ระบบที่ได้จะมีสมรรถนะที่ดีขึ้นแต่ยังคงมีความซับซ้อนที่สูง

1.8 แนวทางของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลของระบบ 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 ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งความสนใจในการพยายามลดความซับ

ซ้อนของอัลกอริทึม V-BLAST นี้ลงด้วย เพื่อให้รูปแบบการส่งข้อมูลที่นำเสนอนี้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ

1.9 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาให้ระบบ MC-CDMA มีความจุที่เพิ่มมากขึ้นและมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยประยุกต์ใช้หลักการของสถาปัตยกรรม V-BLAST เข้าร่วมด้วย

2. ปรับปรุงอัลกอริทึม V-BLAST ในการหักล้างสัญญาณแทรกสอด เพื่อนำมาใช้กับระบบ MC-CDMA อย่างเหมาะสม และให้มีความซับซ้อนของระบบลดลง

1.10 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

นำเสนอรูปแบบการส่งข้อมูลของระบบ MC-CDMA ที่มีการนำเอาอัลกอริทึมของสถาปัตยกรรม V-BLAST มาประยุกต์ใช้โดยสามารถที่จะลดผลของสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ที่ใช้รหัสแผ่ต่างกัน (MAI) และสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ที่ใช้รหัสแผ่เดียวกัน (CAI) ได้เป็นอย่างดี โดยจะต้องมีสมรรถนะที่เหนือกว่าเมื่อเทียบกับระบบ MC-CDMA ที่มีความจุเท่ากัน

นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงอัลกอริทึมของสถาปัตยกรรม V-BLAST ให้มีความซับซ้อนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ โดยจะพิจารณาสมรรถนะของระบบด้วยค่า BER (Bit Error Rate) เป็นหลัก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองระบบเฉพาะที่การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่ปลายทางไปยังสถานีฐาน (Uplink) และพิจารณาระบบเฉพาะในกรณีซิงโครนัสเท่านั้น โดยช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองระบบนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน COST207 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่มีทั้งการเกิด Additive White Gaussian Noise (AWGN) และมีการเกิดเฟดดิงแบบเรย์ลี (Rayleigh fading) นอกจากนี้แล้วยังมีการเกิดเฟดดิงแบบพหุวิถี (Multipath fading)อีกด้วย

1.11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทางเลือกที่เพิ่มขึ้นในการส่งข้อมูลอัตราสูงในระบบ MC-CDMA ที่คาดว่าจะมีบทบาทสำคัญในการสื่อสารในอนาคต โดยรูปแบบการส่งข้อมูลที่นำเสนอนี้มีความซับซ้อนที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.12 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาค้นคว้าระบบสื่อสารMC-CDMA รวมทั้งเครื่องรับและแบบแผนการส่งข้อมูลต่างๆ ที่มีผู้เสนอขึ้นในระบบสื่อสาร MC-CDMA โดยมีรายละเอียดดังนี้
   - ศึกษาระบบ MC-CDMA
   - ศึกษาเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ชนิดต่างๆที่ใช้ในระบบ MC-CDMA
   - ศึกษาวิธีการส่งข้อมูลหลายอัตราแบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบ MC-CDMA
   - ศึกษาสถาปัตยกรรม V-BLAST และแนวทางการนำมาใช่ร่วมกับระบบ MC-CDMA
   - ศึกษาวิธีการปรับปรุง อัลกอริทึม V-BLAST แบบต่าง ๆ ที่ได้มีผู้นำเสนอไว้
2. วิเคราะห์และทดสอบระบบที่ใช้เครื่องรับที่เคยมีผู้เสนอแล้ว อันประกอบด้วย
   - วิเคราะห์หาข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแต่ละแบบ
   - เขียนโปรแกรมจำลองระบบที่ใช้แบบแผนและเครื่องรับต่างๆ ดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบผลของในแต่ละระบบ
3. ศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้สถาปัตยกรรม V-BLAST ร่วมกับระบบการสื่อสารอื่นๆ
4. ประเมินสมรรถนะของระบบ MC-CDMA ที่ประยุกต์ใช้สถาปัตยกรรม V-BLAST
5. ปรับปรุง พัฒนาอัลกอริทึมใหม่เพื่อลดความซับซ้อนระบบ MC-CDMA ที่ใช้สถาปัตยกรรม V-BLAST
6. ทดสอบอัลกอริทึมที่คิดค้นขึ้น และประเมินผล
7. สรุป วิจารณ์ และรวบรวมผลการจำลองระบบเพื่อจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.13 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ แนะนำถึงความรู้เบื้องต้นของระบบ MC-CDMA และเครื่องรับแบบต่างๆที่มีการใช้งานในระบบนี้ และได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของระบบ V-BLAST ด้วย จากนั้นได้กล่าวถึง แนวทางวัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานและการนิยามสัญลักษณ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึง รายละเอียดแบบจำลองการรับส่งข้อมูลของระบบ MC-CDMA รายละเอียดของอัลกอริทึม V-BLAST ปัจจัยที่ส่งผลเสียต่อระบบที่นำเสนอ รูปแบบของช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองระบบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วิธีการ

ประมาณช่องสัญญาณที่ใช้ในกรณีที่มีการศึกษาถึงผลของความผิดพลาดในการประมาณช่องสัญญาณด้วย และท้ายที่สุดจะอธิบายถึงวิธีวัดสมรรถนะที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 ในบทนี้ได้กล่าวถึงระบบ MC-CDMAที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึม V-BLAST ที่นำเสนอและอัลกอริทึมลดความซับซ้อนรูปแบบต่างๆที่นำเสนอ

บทที่ 4 ผลการทดลองแสดงถึงสมรรถนะของระบบที่นำเสนอ ในเงื่อนไขต่างๆรวมทั้งแสดงถึงค่าความซับซ้อนและสมรรถนะของเครื่องรับที่ใช้อัลกอริทึมลดความซับซ้อนที่นำเสนอ

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับพัฒนางานวิจัยต่อไป

1.14 นิยามสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์เล็ก หมายถึง สัญญาณในแต่ละเวลา หรือแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์หรือเวกเตอร์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์เล็กที่มีเส้นอยู่เหนือสัญลักษณ์ หมายถึงเวกเตอร์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ หมายถึง เมตริกซ์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ที่อยู่ในวงเล็บและมีดรรชนีห้อยท้ายหมายถึงหลักหรือแถวหนึ่งๆของเมตริกซ์

และนิยามสัญลักษณ์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะถูกใช้ไปตลอดวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย