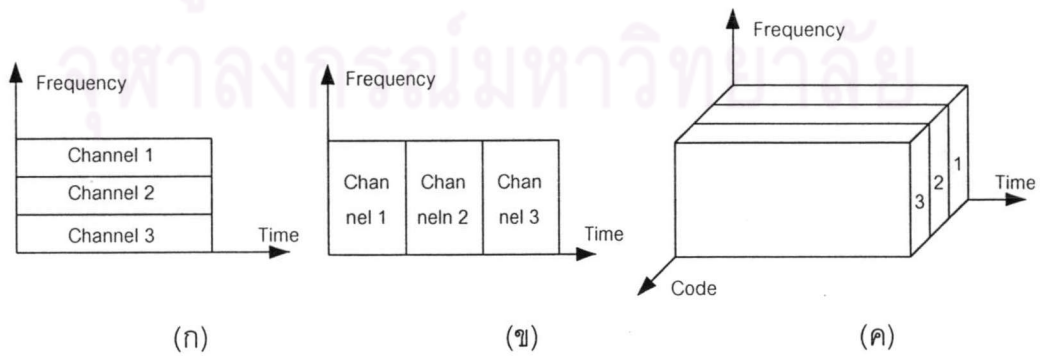
บทที่ 1

บทนำ

ในขณะที่ทรัพยากรความถี่ที่ถูกจัดสรรให้กับระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ (Cellular Mobile Communication Systems) มีอยู่อย่างจำกัด แต่เมื่อพิจารณาจำนวนของผู้ใช้ (User) ของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ดังกล่าวจะพบว่ามีจำนวนมากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเรื่อยๆ จึงได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเทคนิคการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Techniques) (ดูรูปที่ 1.1) เพื่อให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น โดยเริ่มพัฒนาจากระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบแอนะลอกซึ่งใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access, FDMA) ไปสู่ระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบดิจิตอลซึ่งใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access, TDMA) และ ในปัจจุบันเทคนิคการเข้าถึงหลายทางที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากและคาดว่าจะมีส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบโทรคมนาคมไปสู่ระบบโทรคมนาคมยุคที่ 3 (The Third Generation Communication Systems) ได้แก่เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access, CDMA) ซึ่งผู้ใช้ทุกคนสามารถส่งสัญญาณ (Signal) เข้าไปในระบบในเวลาและความถี่เดียวกันได้ โดยเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ 1) เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping CDMA, FH-CDMA) 2) เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยการกระโดดเปลี่ยนเวลา (Time Hopping CDMA, TH-CDMA) และ 3) เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้ลำดับตรง (Direct Sequence CDMA, DS-CDMA) [1] สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบ DS-CDMA เท่านั้น เนื่องจากได้มีการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบ (ก) แบ่งความถี่ (FDMA) (ข) แบ่งเวลา (TDMA) และ (ค) แบ่งรหัส (CDMA)

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในบทนี้อธิบายถึงข้อดีและปัญหาของระบบ DS-CDMA[1] ในปัจจุบัน จากนั้นจะอธิบายถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ (Multiuser Receivers) ประเภทต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมา และปัญหาของเครื่องรับแบบขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบขนานชนิดปรับตัวได้แบบบอดซึ่งเป็นแนวทางการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้ง แนวทาง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ระบบ DS-CDMA

ในระบบ DS-CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแยกจากกันด้วยรหัสแผ่ (Spreading Code) ที่แตกต่างกัน โดยสัญญาณซึ่งเครื่องรับที่สถานีฐานได้รับจะเป็นผลรวมของสัญญาณที่ผู้ใช้แต่ละคนส่งเข้ามาในเซลล์ (Cell) ระบบดังกล่าวมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายประการเช่น มีแฟกเตอร์การใช้ความถี่ซ้ำ (Frequency Reuse Factor) เท่ากับ 1, มีความทนทานต่อเฟดดิงแบบหลายวิถี (Miltipath Fading Resistant) และสามารถทำซอฟต์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff) ได้เป็นต้น [2][3] [4] ในการดีเทกต์ (Detect) สัญญาณของผู้ใช้คนที่ต้องการระบบ DS-CDMA ในปัจจุบัน (Conventional DS-CDMA Systems) จะใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ (Matched Filter, MF) ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงผลจากการแทรกสอดเนื่องจากสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ ภายในเซลล์ (ถือว่าสัญญาณจากผู้ใช้คนอื่นๆ เป็นเสมือนสัญญาณรบกวน (Noise)) โดยเครื่องรับชนิดนี้จะใช้รหัสแผ่ของผู้ใช้คนที่ต้องการสำหรับแก้การแผ่ (Despread) สัญญาณที่ได้รับ แล้วป้อนสัญญาณที่ผ่านการแก้การแผ่เข้าไปในอุปกรณ์ตัดสินบิต (Decision Device) เพื่อที่จะตัดสินบิตข้อมูลที่ส่งมาต่อไป ผลจากการแก้การแผ่ข้างต้นทำให้เกิดค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-Correlation) ระหว่างรหัสแผ่ขึ้น ซึ่งถ้ารหัสแผ่ของผู้ใช้แต่ละคนตั้งฉากกัน[2] (Orthogonal) อย่างสมบูรณ์ เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ก็จะเป็นเครื่องรับแบบเหมาะที่สุด (Optimal receiver) [5] แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติ ช่องสัญญาณ (Channel) ส่วนใหญ่จะมีความเป็นอะซิงโครนัส[3] (Asynchronism) อยู่ระดับหนึ่ง จึงทำให้เป็นไปไม่ได้ที่จะออกแบบให้รหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกคนตั้งฉากกันอย่างสมบูรณ์ที่ค่าทุกค่าของออฟเซตเวลาที่จะเกิดขึ้น [6] จากความไม่ตั้งฉากกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างรหัสแผ่นี้เองทำ

---

[1] ระบบ DS-CDMA ในที่นี้หมายถึงระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ที่ใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้ลำดับตรง

[2] ผลจากการที่รหัสแผ่ของผู้ใช้ตั้งฉากกันอย่างสมบูรณ์คือ ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสแผ่ของผู้ใช้แต่ละคู่จะเป็นศูนย์

[3] ผลของความเป็นอะซิงโครนัสของช่องสัญญาณจะทำให้สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน (เกิดออฟเซตเวลา (Time Offset) ขึ้น) โดยออฟเซตเวลาดังกล่าวมีการแจกแจงแบบสุ่ม

ให้เกิด *การแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Interference, MAI)*[4] ซึ่งจะไปจำกัดความจุ (Capacity) และสมรรถนะ (Performance) ของระบบ DS-CDMA โดยเฉพาะกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงเครื่องรับด้วยกำลังที่ไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่าเกิด *ปรากฏการณ์ใกล้ไกล (Near-Far Effect)* เพราะถึงแม้ว่าโดยทั่วไปการแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางที่เกิดจากผู้ใช้แต่ละคนจะน้อย แต่เมื่อผู้ใช้ในเซลล์มีจำนวนมาก (เป็นผลที่คาดหวังจากการใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้ลำดับตรง) หรือกำลังของสัญญาณจากผู้ใช้คนอื่นๆ สูงขึ้น การแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางที่เกิดขึ้นก็มีค่าสูงพอที่จะทำให้ความจุและสมรรถนะของระบบลดลงได้อย่างมาก

1.2 **เครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์** (Multiuser Receivers)

จากข้อเสียเปรียบของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ที่กล่าวถึงข้างต้น จึงมีแนวความคิดที่จะนำเอาข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนในเซลล์เช่น รหัสแผ่ เวลา (Timing) ขนาด (Amplitude) และเฟส (Phase) ของสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคนในเซลล์ เป็นต้น เข้ามาใช้ร่วมกันเพื่อให้การตัดสินบิตของผู้ใช้แต่ละคนมีความถูกต้องมากขึ้น โดยเครื่องรับประเภทดังกล่าวถูกเรียกว่า *เครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ (Multiuser Receivers)* [5][6][8][9] เนื่องจากสถานีฐานจะมีข้อมูลเกี่ยวกับรหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกคนในเซลล์และมีข้อจำกัดในด้านความซับซ้อน (Complexity) เช่น ต้นทุน ขนาดและน้ำหนัก เป็นต้น น้อยกว่าสถานีเคลื่อนที่ (Mobile Station) เครื่องรับประเภทนี้จึงเหมาะที่จะใช้ที่สถานีฐาน (Base Station) หรือข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น[5] (Uplink) อย่างไรก็ตาม ความจุและสมรรถนะของระบบที่ปรับปรุงได้โดยการใช้เครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ก็ยังมีขอบเขตบน (Upper Bound) อยู่ซึ่งค่าขอบเขตดังกล่าวเกิดจากผลของ การแทรกสอดระหว่างเซลล์ (Intercell Interference) กล่าวคือ ถ้ากำหนดให้การแทรกสอดภายในเซลล์ (Intracell Interference) มีค่าเป็น I และการแทรกสอดระหว่างเซลล์คิดเป็นสัดส่วน f เมื่อเทียบกับการแทรกสอดภายในเซลล์ และถึงแม้จะสมมติว่าสามารถกำจัดการแทรกสอดภายในเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์ก็ยังคงพบว่าความจุหรือสมรรถนะของระบบที่ปรับปรุงได้จะถูกจำกัดอยู่ที่ค่า $(1+f)/f$ เท่า ซึ่งโดยทั่วไปในระบบเซลลูลาร์ค่าสัดส่วนการแทรกสอดระหว่างเซลล์ f จะเท่ากับ 0.55 ดังนั้นสมรรถนะของระบบ

---

[4] อีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดผลของ การแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางได้ก็คือการควบคุมกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน (Power Control) ซึ่งนอกจากวิธีการดังกล่าวจะทำให้ความซับซ้อนของระบบสูงขึ้นแล้ว ยังพบว่าความไม่ถูกต้อง (Inaccuracies) ในการควบคุมกำลังส่งสามารถส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลงได้[7]

[5] เนื่องจากข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นมีความจุที่จำกัดกว่าข่ายเชื่อมโยงขาลง(Downlink) ดังนั้นการเพิ่มความจุให้กับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นโดยที่ความจุที่เพิ่มขึ้นนั้นยังไม่เกินความจุของข่ายเชื่อมโยงขาลงจึงทำให้ความจุโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นได้ [8]

ที่ปรับปรุงได้จะอยู่ที่ 2.8 เท่า จากข้อจำกัดดังกล่าวทำให้*ในการพัฒนาเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์จำเป็นต้องมีการชดเชยข้อดีข้อเสีย (Tradeoff) ระหว่างความซับซ้อนและสมรรถนะของเครื่องรับด้วย* [6]

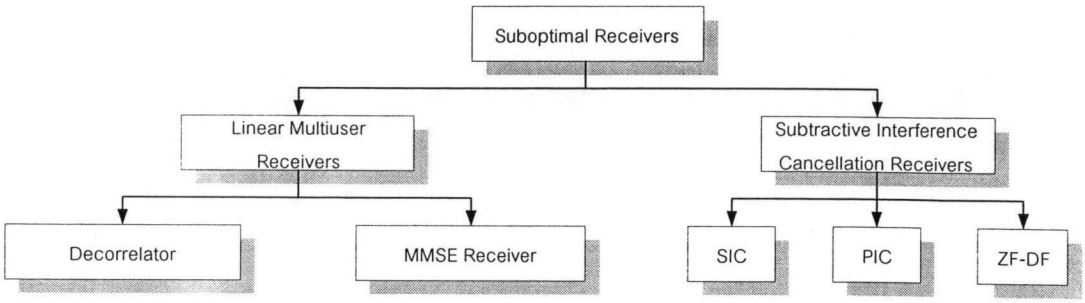
เครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ 1) เครื่องรับแบบเหมาะที่สุด (Optimal Receiver) และ 2) เครื่องรับแบบซับออปติมัล (Suboptimal Receiver)

1.2.1 เครื่องรับแบบเหมาะที่สุด (Optimal Receiver) [5][6][8][9]

ถูกเสนอโดย Sergio Verdu เครื่องรับประเภทนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ และส่วนซึ่งใช้ 2) Viterbi Algorithm ในการทำ Maximum-Likelihood Sequence Estimation (MLSE) แม้ว่าความจุและสมรรถนะของระบบที่ใช้เครื่องรับชนิดนี้จะสูงกว่าระบบที่ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์มาก แต่เนื่องจากความซับซ้อนของเครื่องรับดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ตามจำนวนผู้ใช้ รวมทั้งยังจำเป็นต้องประมาณ เวลา ขนาด และเฟสของสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคนด้วย (เนื่องจากค่าเหล่านี้ไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้า) ทำให้เครื่องรับดังกล่าวไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ

1.2.2 เครื่องรับแบบซับออปติมัล (Suboptimal Receivers)

จากปัญหาความซับซ้อนของเครื่องรับแบบเหมาะที่สุด ทำให้งานวิจัยในระยะหลังมุ่งพัฒนาเครื่องรับแบบเหมาะสมรองลงไปซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าและมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบเหมาะที่สุดออกมาหลายประเภท โดยเครื่องรับแบบเหมาะสมรองลงไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ 1) เครื่องรับแบบเชิงเส้น (Linear Multiuser Receivers) ซึ่งใช้วิธีการแปลงเชิงเส้น (Linear Transform) กับสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ เพื่อที่จะลดผลของการแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางที่ผู้ใช้แต่ละคนมีต่อกัน และ 2) เครื่องรับซึ่งใช้หลักการของการขจัดสัญญาณแทรกสอดโดยการหักล้าง (Subtractive Interference Cancellation Receivers) ซึ่งใช้วิธีการประมาณสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนขึ้นมาใหม่แล้วนำสัญญาณของผู้ใช้ (ที่สร้างสัญญาณแทรกสอด) ที่ประมาณได้ไปหักล้างออกจากสัญญาณรวมที่ได้รับเพื่อลดผลของการแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางที่ผู้ใช้คนที่พิจารณาได้รับ เครื่องรับทั้ง 2 ประเภทหลักดังกล่าวยังสามารถแบ่งย่อยเป็นเครื่องรับประเภทต่างๆ ได้ตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เครื่องรับแบบซับออปติมัล

1.2.2.1 เครื่องรับแบบเชิงเส้น (Linear Multiuser Receivers)

เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลเตอร์ (DeCorrelator, DC, เสนอโดย Lupas และ Verdu [5][6][8]): เครื่องรับแบบนี้ใช้อินเวอร์ส (Inverse) ของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม (Cross Correlation Matrix) ในการแปลงสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยพบว่า เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลเตอร์สามารถกำจัดการแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ต้องประมาณขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคน และสมรรถนะของเครื่องรับไม่ขึ้นกับกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆ (Interfering Users) แต่มีข้อเสียคือเครื่องรับแบบนี้ทำให้สัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้น (Noise Enhancement) และที่สำคัญที่สุดก็คือจะต้องคำนวณหาอินเวอร์สของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม (Cross Correlation Matrix) ซึ่งทำได้ยากในทางปฏิบัติ

เครื่องรับแบบ Minimum Mean Square Error (MMSE, เสนอโดย Xie Short และ Rushforth [5][6][8]): เครื่องรับแบบนี้ใช้อินเวอร์สของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้ามดัดแปลง (Modified Cross Correlation Matrix) ในการแปลงสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยพบว่าเครื่องรับแบบ MMSE สามารถกำจัดการแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ทำให้กำลังของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือต้องมีการประมาณความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน (Noise Variance) และขนาดของสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคน และเช่นเดียวกันกับเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลเตอร์ เครื่องรับแบบนี้ก็ต้องคำนวณหาอินเวอร์สของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้ามดัดแปลงซึ่งทำได้ยากในทางปฏิบัติเช่นกัน

1.2.2.2 เครื่องรับซึ่งใช้หลักการของการขจัดสัญญาณแทรกสอดโดยการหักล้าง (Subtractive Interference Cancellation Receivers)

เครื่องรับแบบขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบตามลำดับ (Successive Interference Cancellation, SIC) [5][6][8]: เครื่องรับแบบนี้มีหลักการทำงานเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณสูงที่สุด

2. ดีเทกต์สัญญาณของผู้ใช้ในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ และตัดสินบิตของผู้ใช้คนดังกล่าวออกมา
3. สร้างสัญญาณของผู้ใช้คนนั้นขึ้นมาใหม่โดยใช้บิตที่ตัดสินได้ในขั้นตอนที่ 2 รหัสแผ่ และค่าประมาณของเวลา ขนาดและเฟสของสัญญาณของผู้ใช้คนดังกล่าว
4. นำสัญญาณที่สร้างได้จากขั้นตอนที่ 3 ไปหักล้างจากสัญญาณที่รับได้
5. ทำการหาผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณสูงรองลงมา และทำซ้ำ จากข้อ 2 ถึง 5 ไปจนถึงผู้ใช้คนสุดท้ายที่มีกำลังของสัญญาณต่ำที่สุด

ถ้าสมมติว่าสัญญาณแทรกสอดที่สร้างได้ในขั้นตอนที่ 3 ถูกต้อง พบว่าในแต่ละรอบของการดีเทกต์สัญญาณด้วยเครื่องรับแบบ SIC จะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดในรอบนั้นออกมา ในขณะเดียวกันก็สามารถกำจัดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้ที่มีกำลังสูงที่สุดในแต่ละรอบออกไปจากสัญญาณรวมได้ทีละคนๆ จนถึงผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำที่สุด ข้อดีของเครื่องรับแบบ SIC คือมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์อย่างเห็นได้ชัด แต่ข้อเสียของเครื่องรับแบบนี้ก็คือเกิดการประวิง (Delay) และจำเป็นต้องมีการเรียงลำดับผู้ใช้ตามกำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคน

เครื่องรับแบบขจัดสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน (Parallel Interference Cancellation, PIC) (เสนอโดย Varanasi และ Aazhang [5][6][8]): มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องรับแบบ SIC แต่แทนที่จะหักล้างสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้ทีละคน เครื่องรับแบบนี้จะนำบิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่ตัดสินได้จาก เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ มาสร้างสัญญาณของผู้ใช้ทุกคนจากนั้นก็นำสัญญาณของผู้ใช้ทุกคนที่สร้างได้ (ยกเว้นคนที่ต้องการ) ไปหักล้างจากสัญญาณที่รับได้ จากนั้นก็นำสัญญาณที่หักล้างแล้วไปผ่านเข้าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์อีกครั้งหนึ่ง และนำไปตัดสินบิตต่อไป เนื่องจากเครื่องรับแบบนี้ทำการหักล้างสัญญาณของผู้ใช้พร้อมๆ กัน จึงไม่ทำให้เกิดการประวิงมากเหมือนกับเครื่องรับแบบ SIC

เมื่อพิจารณาเครื่องรับทั้งสองชนิดพบว่า มีข้อได้เปรียบเสียเปรียบต่างกันดังนี้ [8] คือ

- เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างสมบูรณ์ พบว่าเครื่องรับแบบ PIC จะมีสมรรถนะที่ดีกว่า เครื่องรับแบบ SIC
- เมื่อการควบคุมกำลังส่งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ พบว่าเครื่องรับแบบ SIC จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องรับแบบ PIC

นอกจากนั้นปัญหาสำคัญอีกข้อหนึ่งที่ทั้งเครื่องรับแบบ SIC และ PIC มีร่วมกันก็คือ สมรรถนะของเครื่องรับทั้งสองแบบขึ้นอยู่กับความถูกต้องของบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาใช้

ประมาณสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนสำหรับใช้ในการหักล้างออกจากสัญญาณที่รับได้ เนื่องจากการใช้บิตข้อมูลที่ผิดพลาดมาประมาณสัญญาณสำหรับหักล้างจะเป็นการเพิ่มสัญญาณแทรกสอดเป็นสองเท่าของสัญญาณแทรกสอดเดิม

เครื่องรับแบบ Zero-Forcing Decision-Feedback (ZF-DF, เสนอโดย Duel-Hallen [5] [6][8]): เครื่องรับแบบนี้ประกอบด้วยส่วนที่เป็น 1) Partial Decorrelator ซึ่งใช้อินเวอร์สขององค์ประกอบของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้ามที่ได้จากการทำ Choesky Decomposition และส่วนที่ 2) ซึ่งทำงานแบบเดียวกันกับเครื่องรับแบบ SIC เครื่องรับแบบนี้มีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ แต่มีข้อเสียที่มีความซับซ้อนสูงเนื่องจากต้องมีการทำ Choesky Decomposition และมีการหาอินเวอร์สขององค์ประกอบของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้ามที่ได้จากการทำ Choesky Decomposition นอกจากนั้นในส่วนที่ทำการหักล้างสัญญาณแบบ SIC ก็ยังทำให้เกิดการประวิงด้วย

จากเครื่องรับประเภทต่างๆ ที่ได้เสนอมาทั้งหมดพบว่าเครื่องรับที่ใช้หลักการของการหักล้างสัญญาณ มีความซับซ้อนน้อยกว่าเครื่องรับแบบเชิงเส้น ในขณะที่มีสมรรถนะไม่แตกต่างจากเครื่องรับแบบเชิงเส้นมากนัก ดังนั้นเครื่องรับที่ใช้หลักการของการหักล้างสัญญาณจึงน่าที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ดีกว่าเครื่องรับแบบเชิงเส้น และในกลุ่มของเครื่องรับที่ใช้หลักการของการหักล้างสัญญาณด้วยกันก็พบว่าเครื่องรับแบบ PIC น่าจะเหมาะสำหรับนำไปใช้ในทางปฏิบัติมากที่สุดเนื่องจากมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี และมีความซับซ้อนที่ต่ำ รวมทั้งยังทนต่อความคลาดเคลื่อนในการประมาณเฟสและความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์ได้ดีอีกด้วย [10][11]

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสมรรถนะของเครื่องรับแบบ PIC มีความสัมพันธ์อย่างมากกับ 1) ความถูกต้องในการประมาณขนาดของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคน (ความคลาดเคลื่อนในการประมาณขนาดของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องรับลดลงได้อย่างมาก [12]) และ 2) ความถูกต้องของบิตข้อมูลที่ใช้ประมาณสัญญาณแทรกสอดสำหรับหักล้าง งานวิจัยต่อๆ มา จึงถูกเสนอขึ้นเพื่อแก้ปัญหา 2 ข้อที่ได้กล่าวถึงข้างต้นดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

เพื่อให้บิตข้อมูลที่ใช้สำหรับประมาณสัญญาณแทรกสอดเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น Varanasi และ Aazhang [13] จึงเสนอให้ใช้เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลเตอร์ (DC) แทนเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ที่ใช้อยู่ในเครื่องรับแบบ PIC เดิมเพื่อให้บิตข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสัญญาณแทรกสอดมีความถูกต้องมากขึ้น โดยพบว่าวิธีการดังกล่าวทำให้สมรรถนะของเครื่องรับแบบ PIC ดีขึ้นมาก แต่เครื่องรับ PIC แบบนี้ก็ยังคงต้องใช้ค่าประมาณของขนาดสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนอยู่

จากข้อเสียเปรียบของเครื่องรับแบบ PIC ที่เสนอใน [13] Siveski, Bar-Ness และ Chen [7][14] จึงได้เสนอเครื่องรับแบบ Blind Adaptive PIC (BA_PIC) ที่มีโครงสร้างแบบเดียวกับเครื่องรับใน [13] แต่ใช้ตัวขจัดที่ปรับตัวแบบบอด[6] (Blind Adaptive Canceller) สำหรับประมาณสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้แต่ละคนขึ้นมาใหม่ซึ่งทำให้เครื่องรับแบบนี้ไม่ต้องมีการประมาณขนาดของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคน และในการปรับสัมประสิทธิ์ของตัวขจัด (Canceller Coefficient) เครื่องรับดังกล่าวจะใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานของสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับ (Mean of Output Energy, MOE) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) และปรับสัมประสิทธิ์ของตัวขจัดด้วยอัลกอริทึมเกรเดียนต์ (Gredient Algorithm) จาก [14] พบว่าเครื่องรับแบบนี้ (MOE_DC_BA_PIC) มีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล (Near-Far Resistance) และมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับ Single User Bound (SUB) เมื่อระดับสัญญาณแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางมีค่าสูง

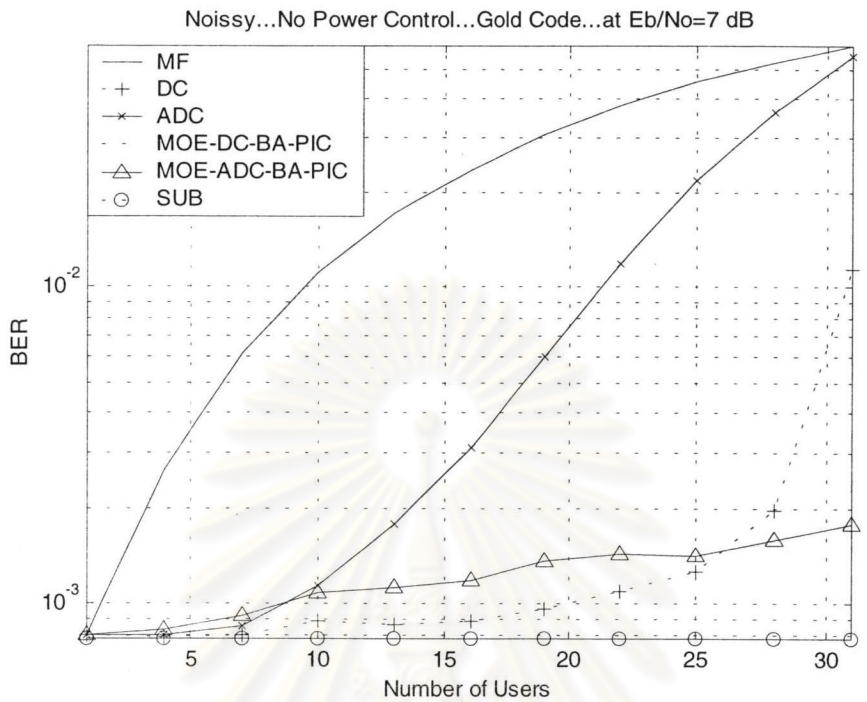
นอกจากการปรับตัวแบบบอดที่เสนอใน [7][14] แล้ว Bar-Ness Siveski และ Chen [15] ยังได้เสนออัลกอริทึมที่ใช้การลดค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแทนการลดพลังงานของสัญญาณ และเรียกอัลกอริทึมดังกล่าวว่า Bootstrapped Decorrelating Algorithm โดยพบว่าเครื่องรับที่ปรับสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ด้วยอัลกอริทึมนี้จะมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC เมื่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, SNR) มีค่าสูงๆ แต่ที่อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนต่ำๆ พบว่าสมรรถนะของเครื่องรับดังกล่าวจะด้อยกว่าเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC

ถึงแม้ว่าเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC จะมีสมรรถนะที่ดี แต่พบว่าโครงสร้างของเครื่องรับดังกล่าวยังคงมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลเตอร์ อยู่ด้วย Chen และ Do [16] จึงเสนอให้ใช้เครื่องรับแบบ Approximate DeCorrelator (ADC) ซึ่งเสนอโดย Mandayam และ Verdu [17] แทนเครื่องรับแบบดีคอรีเลเตอร์ที่ใช้อยู่เดิม และพบว่าเครื่องรับดังกล่าว (MOE_ADC_BA_PIC) มีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC โดยเฉพาะเมื่อระดับสัญญาณแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางมีค่าสูงๆ ในขณะที่เครื่องรับแบบนี้มีความซับซ้อนต่ำกว่ามากเนื่องจากไม่ต้องคำนวณหาอินเวอร์สของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ข้าม

---

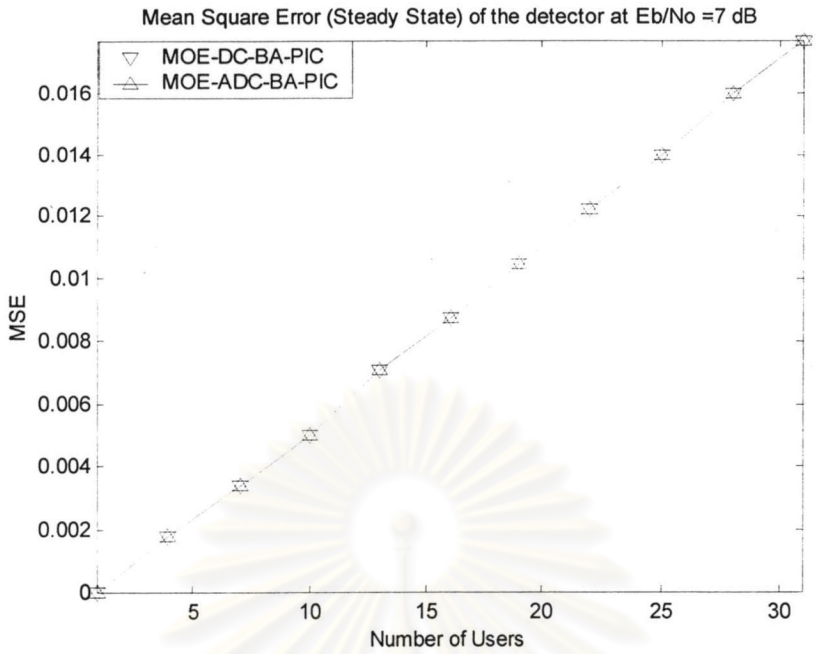
[6] การปรับตัวแบบบอดคือการปรับตัวที่ไม่ต้องใช้ชุดเทรน (Traning Sequences)

1.4 แนวทางของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

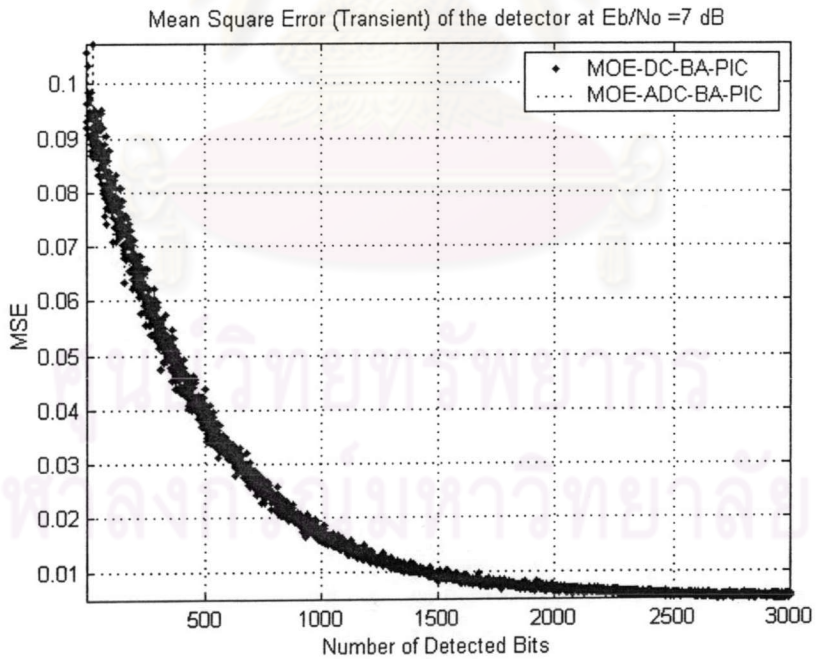


รูปที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตผิดพลาด กับ จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ ของเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC และแบบ MOE_ADC_BA_PIC ในกรณีช่องสัญญาณซิงโครนัสและมีการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ จากการจำลองแบบเบื้องต้น

จากผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) เบื้องต้นในช่องสัญญาณซิงโครนัส (Synchronous Channel) แบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN) ที่มีการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ (Imperfect Power Control) ของเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC และ เครื่องรับแบบ MOE_ADC_BA_PIC พบว่าถึงแม้ที่จำนวนผู้ใช้ต่ำๆ สมรรถนะของเครื่องรับทั้งสองแบบจะใกล้เคียงกับ SUB แต่ที่จำนวนผู้ใช้สูงๆ สมรรถนะของเครื่องรับดังกล่าวจะด้อยกว่า SUB อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 1.3) ทั้งนี้เนื่องจากความผิดพลาดในการประมาณสัญญาณแทรกสอดจากการเข้าถึงหลายทางซึ่งเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผู้ใช้ในเซลล์ (ดูรูปที่ 1.4) นอกจากนั้นยังพบว่า การลู่เข้า (Convergence) ของเครื่องรับดังกล่าวยังค่อนข้างช้าอีกด้วย (ดูรูปที่ 1.5) โดยคาดว่าข้อเสียเปรียบทั้งสองข้อดังกล่าว น่าจะเกิดจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เครื่องรับดังกล่าวใช้ในการปรับสัมประสิทธิ์ของตัวขจัด งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอฟังก์ชันวัตถุประสงค์ขึ้นมาใหม่ โดยเสนอให้ลดความแปรปรวนของพลังงานของสัญญาณขาออก (Variance of Output Energy, VOE) ที่ออกจากเครื่องรับแทนการลดค่าเฉลี่ยของพลังงานของสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับ (MOE)



รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง กับ จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ ของเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC และแบบ MOE_ADC_BA_PIC ในกรณีช่องสัญญาณซิงโครนัสและมีการควบคุมกำลังไม่สมบูรณ์ จากการจำลองแบบเบื้องต้น



รูปที่ 1.5 ลักษณะการลู่เข้าของเครื่องรับแบบ MOE_DC_BA_PIC และแบบ MOE_ADC_BA_PIC ในกรณีช่องสัญญาณซิงโครนัสและไม่มีการควบคุมกำลังเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากับ 10 คน จากการจำลองแบบเบื้องต้น

1.5 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อเสนอวิธีการปรับปรุงเครื่องรับ (Receiver) ณ สถานีฐาน (Base Station) ซึ่งปรับตัวแบบบอด (Blind Adaptive) โดยเครื่องรับดังกล่าวจะต้องปรับตัวได้เร็ว และให้อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate, BER) ที่มีค่าต่ำ แต่ในขณะเดียวกันก็มีความซับซ้อนของโครงสร้างไม่สูงมากนัก เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในระบบจริงได้

1.6 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.6.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอ (VOE_DC_BA_PIC และ VOE_ADC_BA_PIC) กับเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์, ดีคอรีเลเตอร์, MOE_DC_BA_PIC, MOE_ADC_BA_PIC และ SUB ทั้งกรณีที่ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

1.6.2 ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีผลต่ออัตราบิตผิดพลาด และอัตราการลู่เข้าของเครื่องรับซึ่งได้แก่ ค่าช่วงก้าว (Step size) และขนาดของหน้าต่าง (Window size) ที่ใช้ในการประมาณค่าทางสถิติ

1.6.3 ประเมินสมรรถนะ, ความซับซ้อน รวมทั้งข้อดีข้อเสียของเครื่องรับที่เสนอ

1.6.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแนวความคิดนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติ

1.7 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1.7.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องรับที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้ว และทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแต่ละชนิด

1.7.2 เขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องรับในขั้นตอนที่ 1 และเปรียบเทียบความถูกต้องกับผลที่เสนอไว้ในเอกสารอ้างอิง

1.7.3 วิเคราะห์เครื่องรับแต่ละชนิดว่ามีข้อดีและข้อเสียอย่างไร เลือกเครื่องรับที่สามารถนำมาใช้ได้ในทางปฏิบัติ

1.7.4 ออกแบบและปรับปรุงเครื่องรับที่สนใจนั้น

1.7.5 เขียนโปรแกรมทดสอบผล

1.7.6 ประเมินและสรุปผล

1.7.7 เขียนวิทยานิพนธ์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เนื่องจากเครื่องรับที่ปรับปรุงนี้มีความซับซ้อนไม่สูงมากนัก และคาดว่าสามารถขจัดผลของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนที่เครื่องรับไม่ต้องการได้ตามสภาพระบบที่เปลี่ยนไปโดยไม่จำเป็นต้องประมาณขนาดสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้แต่ละคน อีกทั้งคาดว่าเครื่องรับดังกล่าวมีอัตราการลู่เข้าที่เร็ว จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในระบบจริงได้ นอกจากนั้นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับอีกประการหนึ่งก็คือจะสามารถลดความซับซ้อนของกระบวนการควบคุมกำลัง (Power Control) ได้ เพราะว่าไม่จำเป็นต้องใช้กระบวนการควบคุมกำลังที่มีความแม่นยำสูง

1.9 ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในบทนี้อธิบายถึงความเป็นมาของระบบ CDMA ข้อดีและปัญหาของระบบ DS-CDMA ในปัจจุบัน จากนั้นอธิบายถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ประเภทต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมา และปัญหาของเครื่องรับแบบ BA_PIC ซึ่งเป็นแนวทางการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้ง แนวทาง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน ในบทนี้จะกล่าวถึง แบบจำลองของช่องสัญญาณ (Channel Model) หลักการทำงานของเครื่องรับมัลติยูสเซอร์แบบพื้นฐานได้แก่ เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์, ดีคอรีเลเตอร์, ADC, MOE_DC_BA_PIC และ MOE_ADC_BA_PIC

บทที่ 3 เครื่องรับที่เสนอ เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการทำงานของเครื่องรับที่เสนอ การวิเคราะห์สมรรถนะและความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอ

บทที่ 4 ผลการวิจัย ในบทนี้จะเป็นการประเมินสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulations) โดยจะพิจารณาจาก ลักษณะการลู่เข้า (Transient Behavior), ความสามารถในการประมาณสัญญาณแทรกสอด, อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate, BER) และความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-Far Effect Tolerance) นอกจากนั้นจะได้พิจารณาถึงผลของค่าช่วงก้าว (Step Size) และขนาดของหน้าต่างที่ใช้ประมาณค่าเฉลี่ยทางสถิติที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องรับที่เสนอด้วย

บทที่ 5 บทสรุป เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในบทนี้เป็นการสรุปสมรรถนะโดยรวมของเครื่องรับที่เสนอ, ความซับซ้อนของเครื่องรับที่เสนอ และความเป็นไปได้ในการนำเครื่องรับที่เสนอนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติ