หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การเข้าถึงหลายทางในระบบการสื่อสารเป็นกระบวนการซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้มากกว่า 1 คน สามารถใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกันได้ วิธีการเข้าถึงหลายทางที่นิยมในอดีตนั้นได้แก่ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยความถี่ และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยเวลา วิธีการทั้งสองนั้นผู้ใช้แต่ละคนในระบบจะถูกแบ่งแยกจากกันด้วยความกว้างแถบ หรือเวลาในการส่ง ตามลำดับ เนื่องจากความไม่แน่นอนของช่องสัญญาณทำให้วิธีการเข้าถึงหลายทางในอดีตทั้ง 2 วิธีมีข้อจำกัด รวมทั้งความต้องการความจุของระบบที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการพัฒนารูปแบบของการเข้าถึงหลายทางชนิดใหม่ขึ้นมา วิธีการเข้าถึงหลายทางวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากคือการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส (Code Division Multiple Access) ซึ่งนิยมเรียกโดยย่อว่า CDMA

ระบบ CDMA เป็นระบบที่ผู้ใช้ทุกคนสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณโดยใช้ความกว้างแถบและเวลาในการส่งเดียวกันได้ ระบบ CDMA สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ แบบการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping, FH) และแบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรงหรือเรียกว่าไดเรกต์ซีเควนซ์ (Direct Sequence, DS) สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เน้นเฉพาะระบบการสื่อสารแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หรือ DS-CDMA (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) เท่านั้น เนื่องจากเป็นประเภทที่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้แล้ว ข้อด้อยที่สำคัญของระบบ DS-CDMA คือ ปัญหาของการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้ (Multiple Access Interference, (MAI)) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-Far effect) การแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องใช้การควบคุมกำลังส่ง (power control) ที่เข้มงวด เพื่อลดความซับซ้อนของการควบคุมกำลังส่ง และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (Multiuser Detection) หลายชนิด จึงถูกเสนอขึ้นมาใช้เป็นเครื่องรับของระบบ DS-CDMA

ในบทนี้จะแนะนำความเป็นมาของระบบ DS-CDMA และปัญหาต่างๆของระบบ DS-CDMA จากนั้นจะกล่าวถึงการใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน และปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น อันเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงแนวทาง, วัตถุประสงค์, ขอบเขตของของวิทยานิพนธ์, ขั้นตอนการดำเนินงาน, ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์ และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA

แรกเริ่มระบบ CDMA ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการรักษาความปลอดภัยของการสื่อสารทางทหารของกองทัพสหรัฐอเมริกาในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยเป็นเทคโนโลยีที่เรียกว่า การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum, SS) โดยข้อมูลที่มีความกว้างแถบต่ำจะถูกนำมาแผ่ออกเป็นข้อมูลที่มีความกว้างแถบกว้าง วิธีการนี้มีความทนทานต่อการถูกรบกวนโดยสัญญาณความกว้างแถบแคบ และการถูกดักจับจากทางฝ่ายตรงกันข้าม การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท [1,2,3,4] ได้แก่

1) **แบบการกระโดดเปลี่ยนความถี่** ในวิธีนี้ช่วงความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารจะถูกแบ่งออกเป็น N ช่อง และในระหว่างการส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้จะมีการกระโดดไปมาของสัญญาณในช่วงความถี่ N ช่องนั้น โดยแบบแผนของการกระโดดจะเป็นไปตามรหัสที่กำหนด
2) **แบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง** ในวิธีนี้ข้อมูลแต่ละบิตจะถูกแทนที่ด้วยรหัสซึ่งเป็นบิตจำนวนมากจำนวนหนึ่ง และเรียกหนึ่งบิตของรหัสนี้ว่าชิป (chip)

ในยุคต่อมาเทคโนโลยีการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ได้ถูกพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่โดดเด่นในเชิงพาณิชย์ และถูกพัฒนาเป็นวิธีการเข้าถึงหลายทาง โดยเรียกว่าระบบ CDMA เพื่อใช้ในระบบการสื่อสารที่มีผู้ใช้จำนวนมาก แทนที่วิธีการเข้าถึงหลายทางในอดีต ระบบ CDMA ที่สามารถนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันอยู่บนพื้นฐานของการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่แบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หรือที่เรียกกันว่า DS-CDMA

ผู้ใช้ทุกคนในระบบ DS-CDMA จะส่งสัญญาณออกมาในความกว้างแถบและเวลาเดียวกัน โดยสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแบ่งแยกออกจากกันด้วยชุดรหัสเฉพาะสำหรับแต่ละผู้ใช้ที่เรียกกันว่าลำดับลายมือชื่อ (Signature sequence) หรือ สเปรดดิงโค้ด (spreading code) สำหรับทางด้านส่งผู้ใช้แต่ละคนจะแทนข้อมูลแต่ละบิตด้วยสเปรดดิงโค้ดดังกล่าวตามหลักการของการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่แบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หลังจากนั้นผู้ใช้แต่ละคนก็จะส่งสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วออกไปในช่องสัญญาณ ดังนั้นในช่องสัญญาณจะประกอบด้วยสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่ปะปนกันจนไม่สามารถเข้าใจได้ สำหรับทางด้านรับ ข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแบ่งแยกออกจากกันโดยใช้ สเปรดดิงโค้ดที่ผู้ใช้แต่ละคนใช้ในตอนมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่

ผู้ที่ริเริ่มเสนอระบบ DS-CDMA มาใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นครั้งแรก คือ บริษัท QUALCOMM ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในปี ค.ศ. 1989 บริษัท QUALCOMM ได้เสนอให้ระบบ DS-CDMA เป็นมาตรฐานสำหรับของแอร์-อินเตอร์เฟซ (Air-Interface) สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 อย่างไรก็ดีเนื่องจากระบบ DS-CDMA

เป็นระบบใหม่ ในช่วงแรกระบบ DS-CDMA จึงยังไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร บริษัท QUALCOMM ได้ใช้เวลาถึง 4 ปีเพื่อสาธิตระบบ DS-CDMA ในที่ต่างๆทั่วโลก รวมทั้งค้นคว้าวิจัยวิธีแก้ไขปัญหาต่างๆของระบบ DS-CDMA จนระบบ DS-CDMA เป็นที่ยอมรับ และในที่สุด Telecommunications Industry Association (TIA) ก็ได้ยอมรับให้ระบบ DS-CDMA เป็นมาตรฐานของแอร์-อินเตอร์เฟซ (Air-Interface) สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลเซลลูลาร์ (digital cellular) ยุคที่ 2 เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน ค.ศ. 1993 โดยมาตรฐานนี้มีชื่อเรียกว่า มาตรฐาน IS-95 ซึ่งมาตรฐานนี้กำหนดให้แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้างแถบเป็น 1.228 MHz ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ในอนาคตอันใกล้นี้จะเป็นยุคของการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 (มาตรฐาน UMTS ของยุโรป และมาตรฐาน IMT-2000 ของนานาชาติ) สำหรับการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 นี้จะมีความต้องการทางด้านความจุที่เพิ่มขึ้น และต้องการบริการที่หลากหลายมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นตามไปด้วย ขีดจำกัดของการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยความถี่ และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยเวลา ทำให้วิธีการเข้าถึงหลายทางเหล่านี้ไม่สามารถรองรับความต้องการเหล่านั้นได้ ระบบ DS-CDMA จึงมีบทบาทสำคัญต่อการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 มาตรฐานของแอร์-อินเตอร์เฟซในระบบ CDMA สำหรับการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 3 ซึ่งอยู่ในระหว่างพัฒนามีอยู่ด้วยกัน 2 มาตรฐานหลักๆ คือมาตรฐาน WCDMA ของยุโรปและญี่ปุ่น และมาตรฐาน Wideband cdmaOne (หรือในอีกชื่อหนึ่งคือ cdma2000) ของอเมริกาเหนือ มาตรฐานเหล่านี้จะกำหนดให้แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้างแถบตั้งแต่ 5 MHz ขึ้นไป ดังนั้นในกรณีมาตรฐาน IS-95 ซึ่งมีความกว้างแถบเพียง 1.228 MHz จึงถูกเรียกเป็น CDMA แถบแคบ (narrowband CDMA) และมาตรฐานใหม่เหล่านี้ถูกเรียกเป็น CDMA แถบกว้าง (wideband CDMA) [5,6,7]

1.2 เครื่องรับแบบธรรมดา (Conventional Receiver)

เครื่องรับแบบธรรมดาที่ใช้ในระบบ DS-CDMA หรือที่เรียกกันว่าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ (matched filter) เป็นเครื่องรับที่ตั้งสมมุติฐานว่าค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณของผู้ใช้คนที่สนใจ กับสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆมีค่าน้อย หรืออีกนัยหนึ่งคือมีสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆน้อย ดังนั้นในกรณีที่สัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆมีค่ามาก เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะในแง่ของอัตราความผิดพลาดที่ไม่ดี เป็นผลให้ต้องลดจำนวนของผู้ใช้ในระบบลงเพื่อให้อัตราความผิดพลาดของเครื่องรับอยู่ในระดับที่ต้องการ ปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ระดับสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆมีค่ามาก ปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเกิดจากกำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่รับได้ที่เครื่องรับไม่เท่ากัน ทั้งนี้อาจจะเกิดจากระยะห่างของ

ผู้ใช้แต่ละคนจากเครื่องรับไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้เครื่องรับแบบธรรมดานี้มีประสิทธิภาพที่ดีจึงต้องมีการควบคุมกำลังส่งอย่างเข้มงวด เพื่อให้กำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่รับได้ที่เครื่องรับมีค่าเท่ากัน สำหรับมาตรฐานของการสื่อสารไร้สายในรุ่นที่ 2 หรือ มาตรฐาน IS-95 ได้กำหนดให้ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์นี้เท่านั้น

1.3 มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน (Multiuser Detection)

สืบเนื่องจากปัญหาของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้ จึงได้มีการเสนอมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันเพื่อมาใช้แทนเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันเป็นเครื่องรับที่พยายามกำจัดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆ แทนที่จะพิจารณาว่าสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆ มีค่าน้อยเหมือนเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดต่างๆ ถูกสรุปอยู่ใน [8-18] ในปี ค.ศ. 1984 Verdu ได้เสนอเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด (optimal receiver) ซึ่งเป็นมัลติยูสเซอร์ ดีเทกชันที่มีสมรรถนะในแง่ของอัตราความผิดพลาดดีที่สุด โดย Verdu ได้แสดงให้เห็นว่าระบบ CDMA นั้นแท้จริงแล้วไม่ได้เป็นระบบที่ถูกจำกัดด้วยปัญหาสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้หรือปัญหาปรากฏการณ์ใกล้-ไกลดังที่เข้าใจกันมาแต่อย่างใด ทั้งสองประการนี้เป็นข้อจำกัดของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์เท่านั้น ไม่ใช่ข้อจำกัดของระบบ CDMA

หลังจากนั้นเป็นต้นมา มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันก็ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดมีความซับซ้อนสูงมาก รวมทั้งต้องการข้อมูลต่างๆ มากเกินกว่าที่จะนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ งานวิจัยเกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจึงมุ่งเน้นไปยังมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่มีสมรรถนะต่ำลงแต่มีความซับซ้อนน้อยกว่า หรือที่นิยมเรียกกันว่าเครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป (sub-optimum receiver) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดต่างๆ ได้ถูกเสนอขึ้น แต่ละชนิดต้องการข้อมูลที่ต่างกัน และมีความเหมาะสมในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ภาพรวมของหลักการของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันประเภทต่างๆที่มีผู้เสนอขึ้นจะเป็นดังนี้

1.3.1 เครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด (Optimum receiver)

มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่เป็นเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดถูกเสนอโดย S. Verdu มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดนี้ใช้หลักการของ Maximum-Likelihood Sequence Estimation (MLSE) ในการหาลำดับของสัญญาณที่ส่งมา นั่นคือจะพิจารณาชุดของข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมดและถือว่าชุดของข้อมูลที่ทำให้ได้สัญญาณเหมือนลำดับของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดเป็นข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งมา อย่างไร

พยสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก็ตามแม้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันประเภทนี้จะมีสมรรถนะที่ดีมากแต่ก็มีข้อเสียคือ มีความซับซ้อนสูงมากรวมทั้งยังเพิ่มตามจำนวนผู้ใช้แบบเอกซ์โพเนนเชียล และต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้รวมถึงระบบจำนวนมาก จึงทำให้ไม่สามารถทำได้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปยังเครื่องรับซึ่งมีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดแต่ยังให้สมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์เป็นหลัก

1.3.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไป (Sub-optimum receiver)

เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปเป็นเครื่องรับที่มีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุดแต่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์รวมทั้งความซับซ้อนไม่ได้เพิ่มตามจำนวนผู้ใช้แบบเอกซ์โพเนนเชียล เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปสามารถแบ่งได้เป็นประเภทที่สำคัญ 2 ประเภท คือ แบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น

1.3.2.1 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบเชิงเส้น

เครื่องรับชนิดนี้จะประกอบด้วยเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้ทุกคนในระบบ โดยสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ของผู้ใช้ทุกคนจะถูกนำมาผ่านกระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้น จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปตัดสินใจบิต เครื่องรับชนิดนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของกระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้นที่ใช้ ดังนี้

- **ดีคอรีเลเตอร์ (decorrelator)** เครื่องรับชนิดนี้ใช้กระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบสนองเป็นเมทริกซ์ผกผันของเมทริกซ์สหสัมพันธ์ (correlation matrix) ของสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้ทุกคนในระบบ เครื่องรับชนิดนี้ไม่ได้มีการนำผลของสัญญาณรบกวน (noise) มาพิจารณาด้วย ดังนั้นในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่ามาก เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ไม่ดี
- **เครื่องรับชนิดทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด (Minimum Mean Square Error (MMSE) receiver)** เครื่องรับชนิดนี้ใช้กระบวนการที่เป็นแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบสนองเป็นอินเวอร์สของเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้รวมกับเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน เนื่องจากเครื่องรับชนิดนี้มีการพิจารณาผลของสัญญาณรบกวนด้วย ดังนั้นในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่ามากเครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะดีกว่าดีคอรีเลเตอร์ สำหรับในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อยเครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะใกล้เคียงกับดีคอรีเลเตอร์

1.3.2.2 เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบไม่เชิงเส้น

เครื่องรับชนิดนี้โดยทั่วไปแล้วจะทำงานโดยการประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ ในระบบแล้วนำไปหักล้างออกจากสัญญาณโดยรวม (สัญญาณที่รับมาได้) สัญญาณที่ถูกหักล้างแล้วจะถูกนำไปสู่กระบวนการเพื่อตัดสินใจบิตของผู้ใช้คนที่สนใจ สมรรถนะของเครื่องรับชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการประมาณสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ ถ้ามีความถูกต้องมากเครื่องรับชนิดนี้ก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีตามไปด้วย เครื่องรับที่มีการทำงานในลักษณะดังกล่าวและเป็นที่สนใจในงานวิจัยมีด้วยกัน 4 ชนิดคือ

- **เครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนาน (Multistage receiver หรือ Parallel Interference Cancellation(PIC))** หลักการของเครื่องรับแบบนี้คือจะทำการประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนออกมาก่อนในขั้นแรกโดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ แล้วนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการหักล้างการรบกวนของผู้ใช้คนอื่นๆ ออกจากสัญญาณโดยรวม ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจบิตของผู้ใช้คนที่สนใจ เครื่องรับชนิดนี้อาจจะเพิ่มความถูกต้องของการประมาณบิตข้อมูลในขั้นแรกโดยการเปลี่ยนเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์เป็นดีคอรีเลเตอร์ หรือเครื่องรับชนิดทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด รวมถึงการใช้วิธีอื่นๆ เช่นการถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาดร่วมด้วย

- **เครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่อง (Successive Interference Cancellation (SIC))** หลักการของเครื่องรับแบบนี้คือ หาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังแรงที่สุดออกมาก่อนโดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ หลังจากนั้นหักล้างการรบกวนของผู้ใช้คนนี้ออกจากสัญญาณรวม และนำสัญญาณรวมที่ผ่านการหักล้างนี้ไปหาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดในบรรดาผู้ใช้ที่ยังไม่ได้ตรวจจับสัญญาณโดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ เมื่อทำซ้ำกระบวนการเดิมไปเรื่อยๆก็จะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนออกมาอย่างต่อเนื่องกัน เครื่องรับชนิดนี้สามารถจะเพิ่มความถูกต้องของการประมาณบิตข้อมูลในขั้นแรกได้ด้วยวิธีเดียวกับที่ใช้ในเครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนาน

- **เครื่องรับแบบหักล้างอย่างผสม (Hybrid Interference Cancellation)** เนื่องจากในสภาวะที่มีปรากฏการณ์ใกล้-ไกล เครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนานมีสมรรถนะสู้เครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่องไม่ได้ แต่เครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนานจะมีค่าหน่วงเวลาในกระบวนการน้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่องมาก จึงมีงานวิจัยเสนอใช้เครื่องรับแบบหักล้างอย่างผสมโดยบางส่วนของเครื่องรับชนิดนี้จะเป็นการหักล้างอย่างขนาน และบางส่วนเป็นการหักล้างอย่างต่อเนื่อง เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบหักล้างอย่างขนาน และจะมีค่าหน่วงเวลาในกระบวนการน้อยกว่าเครื่องรับแบบหักล้างอย่างต่อเนื่อง

- **เครื่องรับแบบป้อนกลับ (Decision Feedback Receiver)** เป็นเครื่องรับที่ประกอบด้วยวงจรกรอง 2 วงจรได้แก่ วงจรกรองไปข้างหน้า และวงจรกรองป้อนกลับ โดยวงจรกรองไปข้างหน้ามีทำหน้าที่กำจัดผลของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่าออกจากผู้ใช้มีกำลังสูงกว่า ส่วนวงจรกรองป้อนกลับมีหน้าที่ป้อนผลการตัดสินใจบิตของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงกว่า เพื่อไปช่วยในการตัดสินใจบิตของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่า เครื่องรับชนิดนี้มีสมรรถนะที่ดีมาก ทว่าเครื่องรับชนิดนี้ก็มีความซับซ้อนสูงมากเช่นกัน

นอกจากลักษณะที่กล่าวไปแล้วเครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปแบบไม่เชิงเส้นยังมีอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายเครื่องรับแบบเชิงเส้น คือสัญญาณที่รับมาได้จะถูกนำไปผ่านเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์สำหรับผู้ใช้ทุกคนในระบบ ต่างกันที่ผลลัพธ์จากเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์จะนำไปผ่านกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นแทน

1.3.3 เครื่องรับที่มีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติ

เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปทั้งแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้นที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีความซับซ้อนของเครื่องรับที่สูงมาก ตัวอย่างเช่น ต้องมีการหาเมทริกซ์ผกผันโดยสม่ำเสมอ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากเสนอเครื่องรับที่มีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติ [19] เพื่อลดความซับซ้อนดังกล่าว นอกจากนี้ผลจากการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติ ทำให้เครื่องรับบางชนิดไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนอื่นๆ ในระบบ เป็นผลให้เครื่องรับเหล่านั้นมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง

1.4 เครื่องรับที่มีการปรับตัวโดยอัตโนมัติและไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนอื่น ๆ

เครื่องรับประเภทนี้เป็นเครื่องรับที่ได้รับความสนใจอย่างมากในงานวิจัย เนื่องจากเป็นเครื่องรับที่มีความซับซ้อนของกระบวนการต่ำ มีสมรรถนะที่ดี และต้องการทราบสเปรดดิงโค้ดเฉพาะของผู้ใช้คนที่สนเท่านั้น การที่เครื่องรับชนิดนี้สามารถทำงานได้โดยไม่จำเป็นต้องทราบสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนอื่นๆ ทำให้เครื่องรับชนิดนี้มีข้อได้เปรียบมากมาย เช่น สามารถทำงานที่เครื่องลูกข่ายได้ สามารถทำงานในสภาวะที่มีผู้ใช้ที่ไม่รู้จักได้ และมีโครงสร้างที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของผู้ใช้ในระบบ เป็นต้น เครื่องรับประเภทนี้สามารถแบ่งตามฟังก์ชันจุดประสงค์ (cost function)ได้ ดังนี้

- **เครื่องรับที่มีการปรับตัวเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด (MMSE adaptive detector)** [19] เครื่องรับชนิดนี้จะใช้เทรนนิงซีเควนซ์ (training sequence) ในกระบวนการปรับตัวเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด เครื่องรับชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องทราบแม้กระทั่งสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจ สิ่งที่เครื่องรับชนิดนี้ต้องการคือเทรนนิงซีเควนซ์ และคาบเวลาของผู้ใช้คนที่สนใจเท่านั้น อย่างไรก็ดีการใช้เครื่องรับชนิดนี้ทำให้ระบบต้องเสียทรัพยากรของระบบไปบางส่วนสำหรับการส่งเทรนนิงซีเควนซ์
- **เครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณออกต่ำที่สุด (Minimum Mean Output Energy (MMOE) blind adaptive detector)** [20] เครื่องรับชนิดนี้จะปรับตัวเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณออกต่ำที่สุดร่วมกับการใช้ข้อกำหนดเกี่ยวกับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจ เครื่องรับชนิดนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถปรับตัวได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้เทรนนิงซีเควนซ์ ลักษณะการปรับตัวโดยไม่จำเป็นต้องใช้เทรนนิงซีเควนซ์นี้เรียกกันว่าการปรับตัวแบบบอด (Blind Adaptation) เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ด้อยกว่าเครื่องรับที่มีการปรับตัวโดยใช้เทรนนิงซีเควนซ์เล็กน้อย
- **เครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยขั้นตอนคอนแสตนต์มอดุลัส (Constant Modulus Algorithm (CMA) blind adaptive detector)** [21] เครื่องรับชนิดนี้เป็นเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดอีกชนิดหนึ่ง โดยการใช้ขั้นตอนคอนแสตนต์มอดุลัส เครื่องรับชนิดนี้จะใช้สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจเป็นค่าเริ่มต้น ประสิทธิภาพของเครื่องรับชนิดนี้มีความไม่แน่นอน ในบางกรณีเครื่องรับชนิดนี้จะปรับตัวไปสู่คำตอบที่ไม่ต้องการ ได้มีงานวิจัยนำข้อกำหนดเกี่ยวกับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจมาใช้ร่วมกับขั้นตอนคอนแสตนต์มอดุลัส วิธีการนี้ถูกเรียกว่าขั้นตอนลิเนียร์ลีคอนเสตรนคอนแสตนต์มอดุลัส (Linearly Constrained Constant Modulus Algorithm , (LCCMA)) [22] ซึ่งจะช่วยรับประกันผลลัพธ์ของการปรับตัวของเครื่องรับชนิดนี้ไม่ให้ไปสู่คำตอบที่ไม่ต้องการ ในบางกรณีเครื่องรับชนิด LCCMA นี้จะมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องรับที่มีการใช้เทรนนิงซีเควนซ์ แต่ในบางกรณีเครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่มีการใช้เทรนนิงซีเควนซ์ แต่ก็ยังคงใกล้เคียงกับเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณออกต่ำที่สุด ด้วยข้อดีดังกล่าวของเครื่องรับชนิดนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งเน้นไปยังการลดความซับซ้อนของเครื่องรับชนิดนี้

1.5 ปัญหาของเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยขั้นตอนลิเนียร์ลีคอนเสตรนคอนแสตนต์มอดุลัส

โดยปกติความซับซ้อนส่วนใหญ่ของเครื่องรับที่มีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติจะอยู่ที่กระบวนการปรับตัว ซึ่งความซับซ้อนดังกล่าวจะแปรผันตามจำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการปรับตัว (Adaptive coefficients) หรือค่าน้ำหนักถ่วง (Adaptive weights) โดยทั่วไปแล้วเครื่องรับที่มีการปรับตัวโดยอัตโนมัติที่ใช้ในระบบ DS-CDMA จะมีจำนวนของค่าน้ำหนักถ่วงเท่ากับจำนวนบิตของสเปรดดิงโค้ด ซึ่งมักจะมีจำนวนบิตมาก ดังนั้นจึงเป็นปัญหาสำหรับกระบวนการปรับตัว นอกจากปัญหาดังกล่าวซึ่งเป็นปัญหาทั่วไปของเครื่องรับที่มีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติแล้วเป็นที่ทราบกันดีว่าขั้นตอนคอนแสตนต์มอดุลัส (รวมทั้งขั้นตอนลิเนียร์ลีคอนเสตรนคอนแสตนต์-มอดุลัส) มีผลลัพธ์ที่ไม่แน่นอน โดยขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าเริ่มต้น และสภาพแวดล้อมของผู้ใช้ในระบบ สิ่งเหล่านี้ทำให้การลดความซับซ้อนของกระบวนการปรับตัวด้วยขั้นตอนคอนแสตนต์-มอดุลัสยากขึ้นไปอีก

1.6 วิธีการแก้ปัญหาที่มีผู้เสนอขึ้นมา

ได้มีงานวิจัยในอดีตเสนอวิธีการลดความซับซ้อนของเครื่องรับที่มีการปรับตัวเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด และเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณออกต่ำที่สุด โดยการใช้การแปลงแบบต่างๆเพื่อลดจำนวนของค่าน้ำหนักถ่วง [23-26] อย่างไรก็ดียังไม่ได้มีงานวิจัยเสนอวิธีการลดความซับซ้อนของเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี CMA และวิธี LCCMA นอกจากนี้วิธีที่ถูกเสนอมานั้นยังคงมีข้อด้อย เช่น ต้องการหน่วยความจำจำนวนมาก ไม่สามารถตัดสินใจแบบบิตต่อบิตได้ เป็นต้น

1.7 แนวทางของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการนำกระบวนการลดความซับซ้อนที่ถูกเสนอไว้ในเครื่องรับที่มีการปรับตัวเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด และเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณออกต่ำที่สุด มาดัดแปลงใช้กับเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยขั้นตอนลิเนียร์ลีคอนเสตรนคอนแสตนต์มอดุลัส นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังเสนอวิธีแก้ปัญหาข้อด้อยต่างๆ ของวิธีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงที่ถูกเสนอในอดีตที่นำมาปรับใช้กับเครื่องรับ โดยการใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง (Transformation searching algorithm)

1.8 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคการลดความซับซ้อนในเครื่องรับที่ใช้การปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี LCCMA
2. เปรียบเทียบและวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องรับที่ใช้เทคนิคการลดความซับซ้อนเทียบกับเครื่องรับที่ไม่มีการลดความซับซ้อน

1.9 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

สำหรับขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้คือ นำเสนอรวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพของโครงสร้างแบบลดความซับซ้อนในเครื่องรับที่ใช้การปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี LCCMA ในระบบ DS-CDMA ทั้งในกรณีที่ผู้ใช้แต่ละคนในระบบมีค่าหน่วงเวลาสัมพัทธ์เท่ากับศูนย์ (ระบบซิงโครนัส) และในกรณีที่ผู้ใช้แต่ละคนในระบบมีค่าหน่วงเวลาสัมพัทธ์ไม่เท่ากับศูนย์ (ระบบอะซิงโครนัส) สำหรับช่องสัญญาณที่มีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (Additive White Gassian Noise, (AWGN)) เท่านั้น (ไม่คิดผลของคลื่นหลายวิถีรวมทั้งเฟดดิง) โดยที่เครื่องรับจะทราบสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจเท่านั้น

1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้โครงสร้างของเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี LCCMA ที่มีจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงสำหรับวงจรกรองปรับตัวได้ที่ลดลง และมีอัตราการลู่เข้าที่เร็วขึ้น

1.11 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

1) ศึกษา ค้นคว้าและเก็บรวบรวมกรรมวิธีต่างๆ ที่มีผู้เสนอขึ้นซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
   - ศึกษาเครื่องรับแบบปกติ หรือเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ที่ใช้ในระบบ DS-CDMA
   - ศึกษาเครื่องรับแบบเชิงเส้นซึ่งมีผู้เสนอขึ้น
   - ศึกษาเครื่องรับแบบไม่เชิงเส้นซึ่งมีผู้เสนอขึ้น
   - ศึกษาเครื่องรับแบบเชิงเส้นที่มีการปรับตัวโดยอัตโนมัติ
2) วิเคราะห์และทดสอบกรรมวิธีต่างๆในอดีต

- วิเคราะห์หาข้อดีข้อเสียของเครื่องรับแต่ละแบบ
- วิเคราะห์ผลของการลดความซับซ้อนในเครื่องรับชนิดทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำที่สุด และเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี MOE ที่เคยถูกเสนอในอดีต
- เขียนโปรแกรมสร้างแบบจำลองระบบและทำการทดสอบเปรียบเทียบผลที่ได้ของกรรมวิธีแต่ละแบบ

3) พัฒนาวิธีการลดความซับซ้อนในเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี LCCMA

4) ทดสอบกรรมวิธีที่เสนอขึ้น และประเมินผลระบบ

5) สรุป วิจารณ์ และเขียนวิทยานิพนธ์

1.12 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ มีเนื้อหาเกี่ยวกับความเป็นมาของวิทยานิพนธ์, ความสำคัญของปัญหา, ปริทัศน์วรรณกรรม (Literature review), วัตถุประสงค์, ขอบเขตของงานวิจัย, ภาพรวมของวิทยานิพนธ์ และนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ เป็นต้น

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสาเหตุของ MAI, แบบจำลองระบบของระบบ DS-CDMA ซึ่งสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบรหัสสั้น (short code), วิธีการวัดค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองระบบ รวมทั้งความหมายของค่าต่างๆที่วัดขึ้นมา ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดต่างๆที่เกี่ยวข้อง และเทคนิคการลดความซับซ้อนโดยการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของเครื่องรับเหล่านั้น

บทที่ 3 เทคนิคการลดความซับซ้อนในเครื่องรับที่ใช้การปรับตัวแบบบอดด้วยขั้นตอนลิเนียร์ลีคอนเสตรนคอนแสตนต์มอดุลัส เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีของเทคนิคการลดความซับซ้อนที่นำมาปรับใช้กับเครื่องรับที่ใช้การปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี LCCMA ข้อดีและข้อเสียต่างๆของเทคนิคการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงเหล่านั้น แนวคิดของระเบียบวิธีค้นหาการแปลงในการแก้ปัญหาข้อด้อยของวิธีที่นำมาปรับใช้ รวมทั้งขั้นตอนของระเบียบวิธีค้นหาการแปลง

บทที่ 4 ผลการวิจัย ในบทนี้จะเป็นส่วนของผลการวิจัยและการวิจารณ์สมรรถนะของเครื่องรับที่มีการปรับตัวแบบบอดด้วยวิธี LCCMA ที่มีการใช้เทคนิคการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงด้วยวิธีต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยการใช้เวกเตอร์เจาะจง, การ

ลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยการใช้การแปลงอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าการใช้เวกเตอร์เจาะจง การลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยการใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง และอัตราการลู่เข้าของเครื่องรับ

บทที่ 5 บทสรุป จะสรุปเกี่ยวกับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป

1.13 นิยามสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ตัวเขียนเล็กแบบตัวบางจะหมายถึงสัญญาณในแต่ละเวลา หรือแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมทริกซ์หรือเวกเตอร์

สัญลักษณ์ที่แทนเวกเตอร์จะถูกพิมพ์ด้วยตัวพิมพ์เล็กแบบตัวหนา และสัญลักษณ์ที่แทนเมทริกซ์จะถูกพิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่แบบตัวหนา

และนิยามสัญลักษณ์ข้างบนนี้จะถูกใช้ไปตลอดทุกบทของวิทยานิพนธ์