บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการลดความซับซ้อนของเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector โดยเทคนิคที่นำเสนอหลักๆ มีด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่ วิธีที่นำเทคนิคต่างๆ ที่เคยถูกเสนอใช้สำหรับลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของเครื่องรับ MMOE blind adaptive detector และเครื่องรับ MMSE adaptive detector มาปรับใช้ และวิธีการลดมิติด้วยระเบียบวิธีค้นหาการแปลง ผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์บางส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาผลของเครื่องรับในปริภูมิของรหัสต่างๆ ทั้งนี้งานวิจัยในอดีตไม่ได้พิจารณาผลของปริภูมิของรหัสแต่อย่างใด

สิ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วง เมื่อเทียบกับเครื่องรับที่ไม่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงคือ มิติของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับ ซึ่งสิ่งที่มีผลต่อมิติของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับนี้ได้แก่ จำนวนผู้ใช้ในระบบ และค่าหน่วงเวลาสัมพัทธ์ของผู้ใช้แต่ละคนต่อผู้ใช้คนที่สนใจ สำหรับกำลังของสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนในระบบ และกำลังของสัญญาณรบกวน จะไม่มีผลต่อมิติของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับ เครื่องรับจะต้องการจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงมากขึ้น เมื่อมิติของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับเพิ่มขึ้น

เครื่องรับที่ไม่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วง และเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยการใช้เวกเตอร์เจาะจงจะมีความแปรผันของค่า SIR ในปริภูมิแต่ละปริภูมิของรหัสที่น้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วง สำหรับเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงเมื่อเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงมีจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยในปริภูมิของรหัสของค่า SIR ของเครื่องรับจะเพิ่มขึ้น และความแปรผันของค่า SIR ในปริภูมิแต่ละปริภูมิของรหัสของเครื่องรับจะลดลง ไม่ว่าจะใช้เทคนิคในการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงแบบใดก็ตาม ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องเลือกระหว่างความซับซ้อน (ในรูปของจำนวนค่าน้ำหนักถ่วง) และ สมรรถนะของเครื่องรับ เพื่อให้ได้สมรรถนะที่ดีพอสมควรก็จำเป็นที่จะต้องมีจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงมากพอสมควร

เครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยการลดมิติของสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์โดยใช้การแปลง DCT, HT, CSMF และ Summing Block มีสมรรถนะใกล้เคียงกัน ทั้งนี้การแปลง Summing Block มีความซับซ้อนน้อยที่สุด รองลงมาได้แก่การแปลง HT และ CSMF ที่มี

ความซับซ้อนใกล้เคียงกัน การแปลง DCT จะมีความซับซ้อนสูงที่สุด การแปลง Summing Block ถูกจำกัดด้วยรูปแบบการแปลงที่จำกัดและไม่สามารถเลือกได้ทำให้ในบางกรณีจะมีสมรรถนะด้อยกว่าเครื่องรับที่ใช้การแปลงอื่นๆ การแปลง HT มีรูปแบบที่จำกัดแต่มีเวกเตอร์การแปลงจำนวนมากในกลุ่มที่สามารถเลือกได้ การแปลง CSMF ไม่ถูกจำกัดด้วยรูปแบบ และมีเวกเตอร์การแปลงให้เลือกจำนวนมากทว่าเสี่ยงต่อการเกิดการเลือกสูญเปล่า อย่างไรก็ดีในการจำลองระบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบว่าโอกาสเกิดการเลือกสูญเปล่ามีค่อนข้างน้อย การแปลง DCT ถึงแม้จะมีความซับซ้อนสูงกว่าการแปลงแบบอื่นๆ แต่ก็มีความแพร่หลายมากกว่า เช่น มีอุปกรณ์สำเร็จรูปในการทำกระบวนการแปลง DCT เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี fast algorithm อีกด้วย การแปลง DCT ไม่ถูกจำกัดด้วยรูปแบบ มีเวกเตอร์การแปลงให้เลือกจำนวนมาก และไม่เกิดการเลือกสูญเปล่าแน่นอนเพราะว่าเป็นการแปลงแบบ unitary

การแปลงที่มีชุดเวกเตอร์การแปลงในกลุ่มจำนวนมาก เช่น การแปลง DCT, การแปลง HT และการแปลง CSMF จะสามารถเลือกเวกเตอร์การแปลงได้ 2 ลักษณะ คือ เลือกเวกเตอร์การแปลงที่ทำให้ผลลัพธ์ของสมการ (3-14) มากที่สุด และกำหนดใช้เวกเตอร์การแปลงลำดับที่ต้องการ พบว่าทั้ง 2 วิธีจะมีค่าเฉลี่ยในปริภูมิของรหัสของค่า SIR ของเครื่องรับใกล้เคียงกัน แต่ความแปรผันของค่า SIR ในแต่ละปริภูมิของรหัสของเครื่องรับที่ใช้การเลือกเวกเตอร์การแปลงที่ทำให้ผลลัพธ์ของสมการ (3-14) มากที่สุดจะน้อยกว่าเครื่องรับที่กำหนดใช้เวกเตอร์การแปลงที่ต้องการโดยไม่มีการเลือก สมรรถนะของเครื่องรับที่ใช้การแปลง Summing Block จะคล้ายกับกรณีที่ใช้การแปลงอื่นๆ แต่ไม่มีการเลือกเวกเตอร์การแปลง การคำนวณสมการ (3-14) มีพารามิเตอร์บางตัวซึ่งอยู่ในรูปค่าเฉลี่ยทางสถิติ ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้ค่าเฉลี่ยทางเวลามาแทนที่ สมรรถนะของเครื่องรับที่ใช้การเลือกเวกเตอร์การแปลงที่ทำให้ผลลัพธ์ของสมการ (3-14) มีค่ามากที่สุด จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนช่วงเวลาในการหาค่าเฉลี่ยทางเวลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยทางสถิติดังกล่าวมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อใช้ช่วงเวลาในการหาค่าเฉลี่ยทางเวลาเพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าการเลือกเวกเตอร์การแปลงที่ทำให้ผลลัพธ์ของสมการ (3-14) มากที่สุด จะมีสมรรถนะค่อนข้างดี ทว่ามันยังมีข้อด้อยดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 เช่น ต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บชุดข้อมูล ต้องคำนวณกำลังของสัญญาณออกจากเวกเตอร์การแปลงทุกตัวในกลุ่ม และการเลือกเวกเตอร์การแปลงสำหรับชุดข้อมูลใหม่ทำให้ต้องเริ่มการปรับตัวใหม่ทั้งหมด เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาข้อด้อยดังกล่าวจึงเป็นที่มาของระเบียบวิธีค้นหาการแปลง

ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง นอกจากจะช่วยแก้ปัญหาข้อด้อยต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว จากผลการจำลองระบบพบว่าเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง จะมีค่าเฉลี่ยของค่า SIR ในปริภูมิของรหัสที่ดีกว่าเครื่องรับที่ใช้การเลือกเวกเตอร์การแปลงที่

ทำให้ผลลัพธ์ของสมการ (3-14) มีค่ามากที่สุด และยังมีความแปรผันของค่า SIR ในแต่ละปริภูมิของรหัสที่ต่ำกว่าด้วย

สิ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของระเบียบวิธีค้นหาการแปลง 2 ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ จำนวนครั้งในการปรับตัวอย่างอิสระก่อนที่จะมีการเลือกเวกเตอร์การแปลงออก และระยะเวลาที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยทางเวลาเพื่อประมาณพารามิเตอร์ r_{MX}

การใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง จะต้องเลือกช่วงเวลาในการปรับตัวอย่างอิสระก่อนที่จะทำการเลือกเวกเตอร์การแปลงออกให้เหมาะสม ในกรณีที่เลือกน้อยเกินไปเครื่องรับก็จะมีสมรรถนะที่ไม่ดีเนื่องจากค่าน้ำหนักถ่วงที่นำมาคำนวณมีความไม่น่าเชื่อถือ แต่ถ้าเลือกมากเกินไปเครื่องรับก็ต้องการการปรับตัวด้วยจำนวนครั้งที่มากกว่าจะสามารถครอบคลุมกลุ่มของเวกเตอร์การแปลงที่มีให้เลือกทั้งหมด

การใช้ช่วงเวลาในการหาค่าเฉลี่ยทางเวลาเพื่อประมาณพารามิเตอร์ r_{MX} จะต้องเลือกให้เหมาะสมเช่นกัน ในกรณีที่เลือกน้อยเกินไป จะทำให้ความถูกต้องของพารามิเตอร์ดังกล่าวน้อย แต่ในกรณีที่เลือกมากจนเกินไปก็จะทำให้พารามิเตอร์ดังกล่าวครอบคลุมช่วงของสัญญาณในอดีตที่มีการเปลี่ยนแปลงไปแล้วมากจนเกินไป ในกรณีที่สภาวะแวดล้อมไม่มีการเปลี่ยนแปลงการหาค่าเฉลี่ยทางเวลาที่มากขึ้นเท่าใด ก็จะยิ่งส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องรับเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

ค่าเฉลี่ยของค่า SIR ในปริภูมิของรหัสของเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง ที่มีการเลือกเวกเตอร์การแปลงที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องรับโดยรวมน้อยที่สุดออกอย่างหยาบโดยดูจากค่าน้ำหนักถ่วงที่สัมพันธ์กับมันจะใกล้เคียงกับเครื่องรับที่ใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง ที่มีการเลือกเวกเตอร์การแปลงออกตามสมการที่ (3-27) แต่จะมีความแปรผันของค่า SIR ในแต่ละปริภูมิของรหัสที่มากกว่า อย่างไรก็ดีในกรณีที่การหาค่าพารามิเตอร์ r_{MX} มีความผิดพลาดมากขึ้น เช่น จากสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น ก็เป็นไปได้ว่าเครื่องรับที่ใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง ที่มีการเลือกเวกเตอร์การแปลงออกอย่างหยาบซึ่งไม่มีการพิจารณาผลของพารามิเตอร์ r_{MX} จะมีความแปรผันของค่า SIR ในแต่ละปริภูมิของรหัสที่น้อยกว่า

เครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงลงจะมีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่าเครื่องรับที่ไม่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วง แต่ทั้งนี้อัตราการลู่เข้าที่เร็วขึ้นนั้นสังเกตได้ยากเพราะว่าเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงมีสมรรถนะที่ด้อยกว่าเครื่องรับที่ไม่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงทำให้ช่วงที่มีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่านั้นสั้นมาก

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

สำหรับงานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไป คือ

1) การศึกษาสมรรถนะของเทคนิคการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงต่างๆ ในกรณีช่องสัญญาณอื่นๆ นอกเหนือจากช่องสัญญาณ AWGN เช่น ในช่องสัญญาณที่เกิดการเฟดดิ้ง (fading) เป็นต้น

2) พัฒนาเครื่องรับนี้ต่อไปในระบบ CDMA แบบหลายอัตรา (multirate DS-CDMA)

3) ปรับปรุงระเบียบวิธีค้นหาการแปลง ให้มีช่วงเวลาในการปรับตัวอิสระอย่างเหมาะสม ไม่กำหนดตายตัวเหมือนอย่างในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยอาจพิจารณาจากลักษณะของค่าน้ำหนักถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไปว่าเริ่มมีความคงที่น่าเชื่อถือพอหรือไม่ เป็นต้น

4) เนื่องจากงานวิจัยในส่วนนี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับงานในแขนงอื่นๆ เช่น ระบบ adaptive antenna array อย่างใกล้ชิด [32] จึงอาจนำระเบียบวิธีที่ได้นำเสนอนี้ไปใช้กับระบบอื่นๆ ซึ่งมีความต้องการเรื่องการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงอย่างมากเช่นกัน