

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอรูปแบบของการประมาณช่องสัญญาณโดยอาศัยสัญลักษณ์นำช่วยประมาณ ในทางเวลา ซึ่งมีการนำรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ สำหรับประมาณช่องสัญญาณในข่ายเชื่อมโยงขาลงของระบบสื่อสารไร้สาย MC-CDMA ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมรรถนะ และความถูกต้องในการประมาณให้กับระบบ เพื่อให้การรับส่งข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่เดิมนั้นรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมนั้นได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในด้านของตัวกรองแบบปรับตัวได้ ระบบควบคุม ชนิดปรับตัวอัตโนมัติ และการประมาณคุณลักษณะของสัญญาณ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้สำหรับการประมาณช่องสัญญาณ ในข่ายเชื่อมโยงขาลงของระบบ MC-CDMA นอกจากนั้นแล้ววิทยานิพนธ์นี้ยังนำเสนอถึงวิธีปรับปรุงสมรรถนะของการประมาณช่องสัญญาณด้วยรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึม โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลืมนของอัลกอริทึมให้สอดคล้องเหมาะสมกับโครงสร้างของเฟรมข้อมูล และสภาวะแวดล้อมของช่องสัญญาณในขณะต่าง ๆ ซึ่งวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลืมนของการประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึมที่ได้นำเสนอนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีที่แตกต่างกัน ตามกรรมวิธีในการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลืมน ดังนี้

- การประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมนเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น (RLS Channel Estimation with Linearly Increasing Forgetting Factor)
- การประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมนสองระดับ (RLS Channel Estimation with Two Step Forgetting Factor)
- การประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอร์ซีฟลีส์ตส์แควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมนสามารถปรับตัวได้ (RLS Channel Estimation with Adaptive Forgetting Factor)

ซึ่งวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลืมนในแต่ละประเภทนั้นจะมีความเหมาะสม และค่าความซับซ้อนในการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภท และคุณลักษณะของช่องสัญญาณเป็นหลัก

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะของระบบที่นำเสนอเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในการประมาณช่องสัญญาณขาลงของระบบ MC-CDMA เทียบกับกรณีที่เหมาะสมที่สุด การประมาณช่องสัญญาณสามารถทำได้ถูกต้อง และกรณีของการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีลีสต์แควร์ ที่สภาวะแวดล้อมของช่องสัญญาณที่มีลักษณะเดียวกัน จะพบว่า การประมาณช่องสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมอัลกอริทึมนั้น สามารถให้ค่าความถูกต้องในการประมาณที่สูงกว่ากรณีการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธีลีสต์แควร์ ซึ่งส่งผลให้ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ได้มีค่าต่ำกว่าด้วย นอกจากนี้แล้วการประมาณช่องสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมอัลกอริทึมนั้นยังมีความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าผลตอบสนองของช่องสัญญาณได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ดังจะเห็นได้จากผลการจำลองระบบที่การประมาณช่องสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมอัลกอริทึมนั้นสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีทั้งในสภาวะที่ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งการประมาณช่องสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมอัลกอริทึมยังมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง กล่าวคือสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยไม่ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการมอดูเลตสัญญาณอีกด้วย

ค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ และค่าความถูกต้องในการประมาณของการประมาณช่องสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึม ได้แก่

- ค่าสัมประสิทธิ์การลืม

ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความเชื่อถือ หรือค่าถ่วงน้ำหนักที่มีต่อข้อมูลที่ผ่านมาในอดีตของระบบ โดย สำหรับระบบที่ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว และแปรผันมาก การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การลืมควรกำหนดให้มีค่าต่ำ (เข้าใกล้ศูนย์) เพื่อให้ น้ำหนักกับข้อมูลทางสถิติของช่องสัญญาณที่คำนวณได้ในปัจจุบันมากกว่าข้อมูลทางสถิติของช่องสัญญาณที่ได้จากการคำนวณในอดีต ในทางตรงกันข้ามระบบที่ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ไม่รวดเร็วนัก ค่าสัมประสิทธิ์การลืมที่ใช้ควรเลือกให้มีค่าค่อนข้างสูง (เข้าใกล้หนึ่ง) เพื่อให้ระบบเชื่อถือข้อมูลทางสถิติของช่องสัญญาณที่คำนวณได้ในอดีต และอาศัยความสัมพันธ์ของสัญญาณในทางเวลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณให้มีค่าสูงยิ่งขึ้น

- ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวของสัญลักษณ์นำร่องต่อสัญลักษณ์ข้อมูลภายในเฟรมข้อมูล

เนื่องมาจากรูปแบบการจัดวางสัญลักษณ์นำร่องสำหรับการประมาณช่องสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึม ที่กำหนดให้ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบจัดวางสัญลักษณ์นำร่องในแนวแกนเวลา ดังนั้นค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวของสัญลักษณ์นำร่อง ต่อสัญลักษณ์ข้อมูลภายในเฟรมข้อมูล จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยยิ่งค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวของสัญลักษณ์นำร่องต่อสัญลักษณ์ข้อมูลภายในเฟรมข้อมูล และความถี่ในการแทรกสัญลักษณ์นำร่อง มีค่ามากขึ้นเท่าไร ค่าความถูกต้องในการประมาณช่องสัญญาณย่อมมีค่าสูงมากยิ่งขึ้นเท่านั้น แต่การแทรกสัญลักษณ์นำร่องที่มากเกินไปจนความจำเป็นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณมีค่าลดลง

ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จึงควรกำหนดให้มีค่าเหมาะสมกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณเป็นหลัก

เมื่อพิจารณาสมรรถนะของระบบที่มีการประยุกต์ใช้งานการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลิมจะพบว่าการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลิมทั้ง 3 ประเภทจะมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมแบบปกติ และเมื่อพิจารณาการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลิมทั้ง 3 ประเภทจะพบว่า

- การประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลิมเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น

ประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีสต์แควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลิมเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นนั้นมีค่าขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าตั้งต้น และค่าสุดท้ายของสัมประสิทธิ์การลิมของระบบ อนึ่ง จากผลการทดสอบระบบจะพบว่าการกำหนดค่าตั้งต้น และค่าสุดท้ายของสัมประสิทธิ์การลิมนั้นจะส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพในการประมาณของระบบไม่มากนัก

- การประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสองระดับ

ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสองระดับนั้น ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การลืมหค่าต่ำ และสัมประสิทธิ์การลืมหค่าสูงของระบบ รวมถึงช่วงระยะเวลาความยาวของค่าสัมประสิทธิ์การลืมหทั้งสองประเภท หนึ่งจากผลการทดสอบระบบจะพบว่า การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้งสามนั้น จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสองระดับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เช่นเดียวกับกับในกรณีของการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น

- การประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสามารถปรับตัวได้

จากผลการจำลองระบบจะพบว่า ค่าประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสามารถปรับตัวได้นั้น จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าตั้งต้นของสัมประสิทธิ์การลืมห และค่าอัตราการเรียนรู้เป็นหลัก ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ควรพิจารณาจากค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณเป็นหลัก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่มีการประยุกต์ใช้งานการประมาณช่องสัญญาณ โดยรีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึมที่มีการปรับปรุ่ค่าสัมประสิทธิ์การลืมห จะพบว่า การประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสามารถปรับตัวได้จะมีสมรรถนะสูงที่สุด ตามมาด้วยการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น และการประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึม ประเภทค่าสัมประสิทธิ์การลืมหสองระดับ

เมื่อพิจารณาระบบที่มีการประยุกต์ใช้การประมาณช่องสัญญาณโดย รีเคอร์ซีฟลีส์ต์สแควร์อัลกอริทึมแบบต่าง ๆ เข้าร่วมกับกรรมวิธีการปรับปรุ่ค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลจะพบว่า ระบบที่มีการประยุกต์ใช้กรรมวิธีการปรับปรุ่ค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบที่ไม่มีการประยุกต์ใช้กรรมวิธีการปรับปรุ่ค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูล

โดยการปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลโดยวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นนั้นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณในส่วนของสัญญาณข้อมูลโดยวิธีการเฉลี่ยในทุกค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และค่าความถี่ดอปเพลอร์สูงสุด แต่กรรมวิธีการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลทั้งสองวิธีนั้นจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ประสิทธิภาพของการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลโดยวิธีการที่นำจากกระบวนการตัดสินใจจะมีความทนทานต่อค่าความรวดเร็วในการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณสูง และมีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับค่าความถี่ดอปเพลอร์สูงสุดของช่องสัญญาณ แต่จะมีข้อด้อยคือไม่คงทนต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้นการกำหนดประเภทของการปรับปรุงค่าคุณลักษณะของสัญญาณภายในส่วนของสัญญาณข้อมูลนั้น จึงควรกำหนดให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมของช่องสัญญาณเป็นหลัก

5.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบที่นำเสนอ

ข้อดี

- ระบบมีค่าความถูกต้องในการประมาณช่องสัญญาณสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลสูงขึ้นอีกด้วย
- ระบบสามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็วยิ่งขึ้นเนื่องจากการประมาณช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับวิธีการมอดูเลตสัญญาณ และวิธีการจัดวางสัญญาณนำร่องแบบต่าง ๆ ได้

ข้อเสีย

- การประมาณช่องสัญญาณที่นำเสนอจะมีค่าความซับซ้อนเพิ่มขึ้นกว่าการประมาณช่องสัญญาณแบบปกติ
- การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมให้กับระบบ อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการประมาณช่องสัญญาณของระบบลดลงได้

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

สำหรับงานที่ควรจะได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไป คือ

- 1) ศึกษา และพัฒนาการประมาณช่องสัญญาณที่นำเสนอให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้จำนวนสัญลักษณ์นำร่องลดลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณ
- 2) ศึกษา และพัฒนากรรณวิธีการประยุกต์ใช้การปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลแบบอื่น ๆ เข้ากับระบบที่นำเสนอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการประมาณ
- 3) ศึกษา และพัฒนารูปแบบในการจัดวางสัญลักษณ์นำร่องเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการประมาณช่องสัญญาณประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณสูงยิ่งขึ้น
- 4) นำกรณวิธีการประมาณช่องสัญญาณที่นำเสนอ ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการจัดวางสัญลักษณ์นำร่องในรูปแบบอื่น ๆ
- 5) พัฒนาการประยุกต์ใช้วิธีการประมาณช่องสัญญาณที่นำเสนอเข้าร่วมกับการประมาณความถี่ออฟเซตของช่องสัญญาณ



คุรุวิทยุทธรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย