บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สาย ได้เข้ามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ อีกทั้งความต้องการของผู้บริโภคในการรับส่งข้อมูลยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และหลากหลายเป็นลำดับ กล่าวคือ การรับส่งสัญญาณข้อมูลจะไม่ได้มีเฉพาะสัญญาณเสียงพูดดังเช่นในอดีต แต่จะมีสัญญาณประเภทข้อมูลเพิ่มมากขึ้น เช่น สัญญาณรูปภาพ และสัญญาณวิดีโอ ฯ จึงส่งผลให้แบบแผนการเข้าถึงแบบหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) นั้น ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากคุณสมบัติที่เหนือกว่าแบบแผนการเข้าถึงแบบหลายทางชนิดอื่น ๆ ทั้งในด้านของ ความจุของระบบ ความสามารถในการรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และความทนทานต่อการลดทอนจากเฟดดิงภายในช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ (Frequency Selective Fading) [1] จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้น จึงส่งผลให้ ระบบ Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) [2,3] ได้รับความสนใจ และเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับแบบแผนการเข้าถึงแบบหลายทางของการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3

เนื่องด้วยข้อดีของระบบการรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์ (Multi-Carrier Modulation : MCM) [4] ในด้านของความทนทานต่อการเกิดเฟดดิงแบบเลือกความถี่ และความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราข้อมูลที่สูง จึงได้มีผู้เสนอให้นำเทคนิคการรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์ เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ CDMA ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ระบบ Multi-Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) [2]-[6] ระบบ Multi-Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC-DS-CDMA) และระบบ Multi-Tone Code Division Multiple Access (MT-CDMA) ซึ่งแบบแผนการเข้าถึงแต่ละชนิดดังกล่าว จะมีกรรมวิธีในการเข้าถึงสัญญาณ และจุดเด่น-จุดด้อยที่แตกต่างกันออกไป อนึ่ง ระบบที่ได้รับความสนใจ และเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายที่สุด คือ ระบบ MC-CDMA ซึ่งเกิดจากการร่วมกันของระบบ CDMA และเทคนิคการรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์แบบ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) [6], [7] จึงส่งผลให้ระบบ MC-CDMA มีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล และการใช้แถบความถี่สูง รวมถึงยังมีความทนทานต่อการเกิด เฟดดิงแบบเลือกความถี่ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีช่วงเวลาของสัญลักษณ์ (Symbol) ที่ยาวอีกด้วย นอกจากนั้นแล้วระบบ MC-CDMA นั้น ยังสามารถนำเทคนิคทางกรรมวิธีสัญญาณดิจิตอลเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดความซับซ้อนในการรับส่งข้อมูลทั้งทางภาครับ และภาคส่ง ได้อีกด้วย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมา และแบบแผนการเข้าถึงแบบหลายทางของระบบ MC-CDMA จากนั้นจะอธิบายถึงเครื่องรับแบบ ต่าง ๆ สำหรับผู้ใช้หลายคน อัลกอริทึมการประมาณช่องสัญญาณที่มีผู้เสนอขึ้นมา รวมถึงปัญหาของอัลกอริทึมดังกล่าว ท้ายที่สุดจะกล่าวถึงแนวทาง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบท และการนิยามสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ OFDM และระบบ MC-CDMA

- **ระบบ OFDM**

ระบบ OFDM เป็นหนึ่งในเทคนิคการรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบสื่อสาร เนื่องจากความทนทานต่อการลดทอนจากเฟดดิงของช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ และสัญญาณรบกวนประเภทแถบความถี่แคบ โดยในระบบ OFDM นั้น สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปในคลื่นพาห์ย่อยที่มีแถบความถี่แคบ ๆ หลายคลื่นพาห์ ดังนั้นเมื่อเกิดการเฟดดิงแบบความถี่แคบขึ้นจึงจะส่งผลให้มีข้อมูลเพียงส่วนน้อยในบางคลื่นพาห์ย่อยเท่านั้นที่จะได้รับผลกระทบ ซึ่งตรงกันข้ามกับระบบการรับส่งข้อมูลแบบคลื่นพาห์เดียว ซึ่งบิตข้อมูลจะได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อเกิดเฟดดิงแบบความถี่แคบขึ้น

แต่เดิมนั้นการรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์นั้น แถบความถี่โดยรวมทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยตามความถี่ออกเป็นแถบความถี่แคบ ๆ ตามจำนวนที่ต้องการ โดยไม่มีการซ้อนทับกัน และทำการแยกส่งสัญลักษณ์ข้อมูลที่แตกต่างกันไปในแต่ละคลื่นพาห์ย่อย เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างคลื่นพาห์ อย่างไรก็ดี การจัดสรรแถบความถี่ประเภทนี้จะให้ประสิทธิภาพการใช้แถบความถี่ที่ต่ำ ดังนั้น ในปีค.ศ.1960 ได้มีการนำเสนอระบบ OFDM ขึ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถทำให้คลื่นพาห์ย่อยมีการซ้อนทับกันได้ ในขณะที่ยังคงสามารถหลีกเลี่ยงการรบกวนกันระหว่างคลื่นพาห์ได้ ซึ่งทำได้โดยอาศัยความตั้งฉาก (Orthogonality) ระหว่างคลื่นพาห์ย่อย โดยการจัดระยะห่างระหว่างคลื่นพาห์ย่อยให้มีค่าเท่ากับ 1/T เมื่อ T คือ ช่วงเวลาคาบของสัญญาณข้อมูล ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้แถบความถี่ของระบบ OFDM สูงกว่าเทคนิคการรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์แบบอื่น ๆ ซึ่งทางฝั่งเครื่องรับจะประกอบไปด้วยกลุ่มของดีมอดูเลเตอร์ ซึ่งแต่ละตัวจะทำหน้าที่ดีมอดูเลตสัญญาณข้อมูลจากแต่ละคลื่นพาห์ย่อยออกมา และเมื่อรวมสัญญาณทั้งหมดในช่วงคาบสัญญาณก็จะได้ข้อมูลตามที่ต้องการ

นอกจากข้อดีของระบบ OFDM ที่กล่าวมาแล้วนั้น ระบบ OFDM ยังสามารถลดผลกระทบจากการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (Inter-Symbol Interference : ISI) ได้เป็นอย่างดีอีก

ด้วย ซึ่งส่งผลให้การรับส่งข้อมูลมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้น้อยลง เนื่องจากอัตราข้อมูลสำหรับคลื่นพาห์ย่อยแต่ละคลื่นมีค่าไม่สูงนัก และการที่ใช้คลื่นพาห์ย่อยหลาย ๆ คลื่นทำให้สัญลักษณ์แต่ละตัวมีช่วงเวลาที่ยาวมากขึ้น ในการเพิ่มอัตราการรับส่งข้อมูลของระบบ OFDM นั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนคลื่นพาห์ย่อยให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งการมอดูเลตสัญญาณในระบบ OFDM นั้นยังสามารถนำการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) [8] มาประยุกต์ใช้เพื่อลดความซับซ้อนของเครื่องส่ง และเครื่องรับได้อีกด้วย

- ระบบ MC-CDMA

ระบบ MC-CDMA ซึ่งถูกนำเสนอ โดย Nathan Yee [2] ในปี ค.ศ. 1993 นั้นอาศัยหลักการประยุกต์ใช้การรับส่งข้อมูลแบบหลายคลื่นพาห์ในระบบ OFDM ร่วมกับกับเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัส ซึ่งการรับส่งข้อมูลในลักษณะหลายคลื่นพาห์ย่อยนี้ทำให้อัตราสัญลักษณ์ในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยมีค่าลดต่ำลง ทำให้สามารถส่งข้อมูลในอัตราที่สูงได้ในขณะที่ช่วงเวลาของสัญลักษณ์ยังคงมีค่ายาวอยู่ ทำให้คาบของสัญลักษณ์ข้อมูลมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยรหัสชนิดจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (DS-CDMA) จึงทำให้การซิงโครไนซ์ (Synchronize) สัญญาณสามารถกระทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งการที่ช่วงคาบของสัญลักษณ์มีความยาวมากขึ้นนั้น ยังส่งผลให้ระบบ MC-CDMA มีความทนทานต่อการเกิดการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ ซึ่งเกิดจากการซ้อนทับกันของสัญญาณที่เดินทางมาในแต่ละวิถีของช่องสัญญาณแบบพหุวิถี (Multi-path channel) [1] ได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของระบบการรับส่งข้อมูลแบบ MC-CDMA จะพบว่ามีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างของการรับส่งข้อมูลในระบบ OFDM แต่จะมีข้อแตกต่างคือ ในระบบ OFDM นั้น สัญลักษณ์ข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์จะถูกแยกส่งไปในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยที่แตกต่างกันในเวลาเดียวกัน ในขณะที่ระบบ MC-CDMA นั้น ข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์จะได้รับการแผ่โดยรหัสแผ่ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้แต่ละชิป (Chip) ส่งผ่านไปในแต่ละคลื่นพาห์ย่อย กล่าวคือ ข้อมูลที่ทำการส่งในคลื่นพาห์ย่อย ณ เวลาหนึ่ง ๆ จะเป็นข้อมูลเพียงสัญลักษณ์เดียวเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบ MC-CDMA มีไดเวอร์ซิตี้ทางความถี่ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบ OFDM นั่นเอง

1.2 เครื่องรับสำหรับระบบ MC-CDMA

1.2.1 เครื่องรับแบบธรรมดา (Conventional Receiver หรือ Matched Filter: MF)

เครื่องรับแบบธรรมดานี้จะอาศัยเฉพาะรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่ต้องการเท่านั้นในการแยกสัญญาณของผู้ใช้ที่ต้องการออกจากสัญญาณรวมทั้งหมดที่ได้รับ ซึ่งจะอาศัยสมมุติฐานว่าค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto Correlation) ของสัญญาณของผู้ใช้ที่สนใจจะมีค่าสูง และค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross Correlation) ระหว่างสัญญาณของผู้ใช้คนที่สนใจกับสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นมีค่าน้อยจนสามารถละเลยได้ โดยมิได้มีกระบวนการในการหักล้างสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่น (Multiple Access Interference: MAI) ออกไปก่อน ระบบจึงจะมองสัญญาณแทรกสอดเหล่านั้นเสมือนเป็นสัญญาณรบกวน ดังนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบสูงขึ้น จะส่งผลให้การตัดสินสัญลักษณ์ข้อมูลของเครื่องรับแบบธรรมดานี้มีโอกาสผิดพลาดมากขึ้นตาม

นอกจากนี้เมื่อการควบคุมกำลังที่ภาคส่งไม่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Imperfect Power Control) ซึ่งจะส่งผลเสมือนกับการเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-Far Effect) ขึ้นในระบบ จะส่งผลให้ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างผู้ใช้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้การตัดสินสัญลักษณ์ข้อมูลมีโอกาสผิดพลาดมากยิ่งขึ้น จากข้อเสียดังกล่าวของเครื่องรับแบบธรรมดา จึงมีการเสนอเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายขึ้นเพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดดังกล่าว

1.2.2 เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย (Multiuser Detection: MUD)

เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องรับแบบธรรมดาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และความต้องการเพิ่มความจุของระบบเพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในระบบ เครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายราย [9]-[12] จึงถูกนำเสนอขึ้น ซึ่งเครื่องรับสำหรับผู้ใช้หลายรายจะอาศัยหลักการกำจัดสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ให้กับผู้ใช้ที่ต้องการ โดยจะนำเอาความรู้เกี่ยวกับรหัสแผ่ และกำลังสัญญาณของผู้ใช้รายอื่นมาช่วยในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดดังกล่าว อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาด้านการควบคุมกำลังของสัญญาณลงได้เป็นอย่างดี จึงส่งผลให้เครื่องรับชนิดนี้มีความทนทานต่อการเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกลได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

ในปี ค.ศ. 1984 Verdu S. ได้นำเสนอเครื่องรับที่เหมาะที่สุด (Optimum Receiver) [13] ซึ่งเป็นเครื่องรับที่มีอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate: BER) ต่ำสุด และยังได้แสดงให้เห็นว่าแท้ที่จริงแล้วระบบ CDMA นั้นไม่ได้ถูกจำกัดด้วยปัญหาการแทรกสอดระหว่างผู้ใช้หรือปรากฏการณ์ใกล้-ไกลแต่อย่างใด หากแต่ปัญหาทั้งสองชนิดนี้เป็นข้อจำกัดของเครื่องรับแบบ

ธรรมดาเท่านั้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความซับซ้อน และความต้องการทราบข้อมูลต่าง ๆ ที่มากเกินกว่าจะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทางปฏิบัติของเครื่องรับที่เหมาะสมที่สุด จึงมีการนำเสนอเครื่องรับที่มีความเหมาะรองลงไป (Sub-Optimum Receiver) [14] ซึ่งให้สมรรถนะที่ด้อยกว่าเครื่องรับที่เหมาะที่สุด แต่มีความซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งเครื่องรับที่มีความเหมาะสมรองลงไปนั้นมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดต้องการข้อมูลที่จำเป็นต่อการตัดสินบิตข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไปอีกด้วย

1.2.2.1 **เครื่องรับที่เหมาะที่สุด**(Optimum Receiver)

เครื่องรับที่เหมาะที่สุดสำหรับระบบ CDMA ซึ่งถูกเสนอโดย Verdu S. นั้น อาศัยหลักการของ Maximum-Likelihood Sequence Estimation (MLSE) ในการพิจารณาข้อมูลที่ส่งมา โดยจะพิจารณาจากชุดข้อมูลซึ่งเป็นไปได้ทั้งหมดจำนวน 2^k แบบ เมื่อ k คือจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดภายในระบบ ซึ่งเครื่องรับแบบเหมาะที่สุดนี้จะถือว่าชุดของข้อมูลที่ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะคล้ายกับลำดับของสัญญาณที่รับได้มากที่สุด เป็นข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งมาจริง แม้ว่าเครื่องรับแบบเหมาะที่สุดจะมีสมรรถนะสูง อย่างไรก็ดีข้อเสียที่สำคัญของเครื่องรับแบบนี้คือ มีความซับซ้อนในการคำนวณสูงและความซับซ้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างมากตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งเครื่องรับชนิดนี้ยังต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้และพารามิเตอร์ของระบบจำนวนมาก จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงจะมุ่งเน้นไปที่เครื่องรับที่เหมาะรองลงไป ซึ่งมีค่าความซับซ้อนในการคำนวณต่ำกว่า

1.2.2.2 **เครื่องรับที่เหมาะที่สุดรองลงไป** (Sub-optimum Receiver)

เป็นเครื่องรับที่มีสมรรถนะด้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องรับที่เหมาะที่สุด แต่ยังคงมีสมรรถนะที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบธรรมดา ในขณะที่มีค่าความซับซ้อนไม่มากนักรวมถึงค่าความซับซ้อนนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามจำนวนผู้ใช้ดังเช่นในกรณีของเครื่องรับที่เหมาะที่สุด ทำให้เครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานจริง โดยเครื่องรับที่เหมาะสมรองลงไปนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เครื่องรับแบบเชิงเส้น และเครื่องรับแบบไม่เชิงเส้น

1.2.2.2.1 **เครื่องรับแบบเชิงเส้น** (Linear Receiver)

เครื่องรับแบบเชิงเส้นจะประกอบด้วยเครื่องรับแบบธรรมดาจำนวนเท่ากับจำนวนของผู้ใช้ทุกคนในระบบ โดยภายหลังจากการคูณสัญญาณที่ได้รับด้วยรหัสแผ่ของผู้ใช้ที่ต้องการแล้ว สัญญาณที่ได้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการแบบเชิงเส้น แล้วจึงค่อยนำผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวไปตัดสินบิตข้อมูล โดยเครื่องรับแบบเชิงเส้นที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ

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

เครื่องรับแบบดีคอร์รีเลตนี้ ใช้กระบวนการแบบเชิงเส้นที่จะทำการคูณสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับแบบธรรมดาด้วยเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ (Correlation Matrix) ของรหัสของผู้ใช้ทุกคนในระบบเพื่อกำจัดผลของ MAI โดยไม่นำผลของสัญญาณรบกวน (Noise) มาพิจารณา ด้วยเหตุนี้กระบวนการกำจัด MAI ของเครื่องรับชนิดนี้จึงไปเพิ่มสัญญาณรบกวนให้แก่สัญญาณที่รับได้ ดังนั้นเครื่องรับชนิดนี้จะสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมเฉพาะในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อยหรือค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงเท่านั้น

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

เครื่องรับชนิดนี้มีข้อดีเหนือกว่าเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลต คือ มีการพิจารณาทั้งผลของ MAI และผลของสัญญาณรบกวน โดยการใช้กระบวนการแบบเชิงเส้นที่มีผลตอบเป็นเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของรหัสของผู้ใช้รวมกับเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน เนื่องจากเครื่องรับชนิดนี้มีการพิจารณาผลของสัญญาณรบกวนด้วย ดังนั้นกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่ามากเครื่องรับจึงมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลต ส่วนในกรณีที่กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อย เครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลต อนึ่งเครื่องรับชนิดนี้จะมีค่าความซับซ้อนสูง และต้องการทราบค่าเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวนอีกด้วย

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

เครื่องรับชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการประมาณสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่นในระบบแล้วนำสัญญาณที่ประมาณได้ไปหักล้างออกจากสัญญาณรวมทั้งหมดเพื่อให้เหลือเฉพาะสัญญาณของผู้ใช้ที่สนใจเท่านั้นก่อนนำไปตัดสินบิตข้อมูล โดยสมรรถนะของเครื่องรับ

ประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับความถูกต้องในการประมาณสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่น เครื่องรับแบบไม่เชิงเส้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

- **เครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน** (Parallel Interference Cancellation: PIC)

เครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน [15] นี้ทำงานโดยอาศัยหลักการประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนออกมาก่อนในขั้นตอนแรกโดยเครื่องรับแบบธรรมดา จากนั้นจะทำการแผ่บิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนยกเว้นผู้ใช้ที่สนใจออกด้วยรหัสแผ่ของผู้ใช้แต่ละคนดังเช่นเดียวกันกับในภาคส่ง แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปหักล้างจากสัญญาณรวมที่รับได้เพื่อกำจัดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นออกไปก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการตัดสินบิตของผู้ใช้คนที่สนใจ โดยเครื่องรับชนิดนี้จะมีสมรรถนะที่ดีในระบบที่มีการควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ แต่เมื่อการควบคุมกำลังไม่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ เครื่องรับชนิดนี้จะให้สมรรถนะในการประมาณสัญญาณแทรกสอดที่ไม่ดีนัก แต่เครื่องรับชนิดนี้สามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณบิตข้อมูลในขั้นแรกได้ โดยการเปลี่ยนเครื่องรับแบบธรรมดาเป็นเครื่องรับแบบดีคอร์รีเลเตอร์ หรือเครื่องรับชนิดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาดต่ำสุด

- **เครื่องรับแบบหักล้างสัญญาณแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง** (Successive Interference Cancellation: SIC)

เครื่องรับแบบหักล้างสัญญาณแทรกสอดอย่างต่อเนื่อง [16,17] นี้จะทำงานโดยอาศัยหลักการว่า สัญญาณของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงควรจะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดต่อผู้ใช้รายอื่นสูงตามไปด้วย ดังนั้นเครื่องรับชนิดนี้จะดีเทกต์สัญญาณบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดออกมาก่อนโดยใช้เครื่องรับแบบธรรมดา จากนั้นจึงทำการคูณกลับด้วยรหัสแผ่ของผู้ใช้คนดังกล่าว จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปหักล้างออกจากสัญญาณรวมที่รับได้เพื่อหักล้างผลของสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้คนนี้ออกจากสัญญาณรวม เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้แล้วก็จะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังแรงสุดและสัญญาณรวมของผู้ใช้ทุกคนยกเว้นผู้ใช้ที่มีกำลังแรงสุด แล้วจึงนำสัญญาณรวมที่ผ่านการหักล้างนี้ ไปหาบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดในบรรดาผู้ใช้ที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่องรับแบบธรรมดา ต่อจากนั้นก็จะทำซ้ำกระบวนการข้างต้นไปเรื่อย ๆ ซึ่งจะได้บิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนออกมาอย่างต่อเนื่องกันตามลำดับความแรงของสัญญาณ จนครบตามจำนวนผู้ใช้ จากการทำงานดังกล่าวจะเห็นว่าผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดจะถูกตัดสินบิตออกมาเป็นคนแรก ส่วนผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำสุดจะถูกตัดสินบิตข้อมูลเป็นคนสุดท้ายซึ่งจะก่อให้เกิดระยะเวลาประวิงอย่างมาก โดยเฉพาะ

ผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำมาก ๆ แต่เป็นผลให้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการส่งด้วยกำลังที่ไม่เท่ากัน และให้สมรรถนะสูงขึ้นสำหรับผู้ใช้ที่มีกำลังของสัญญาณน้อยกว่าลำดับถัดมา เนื่องจากมีการประมาณสัญญาณจากผู้ใช้ที่มีกำลังสูงกว่าไปหักล้างจากสัญญาณรวมที่รับได้ ซึ่งเป็นการลดสัญญาณแทรกสอดลงให้กับผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่าตามลำดับ ยกเว้นผู้ใช้ที่กำลังสูงสุดเนื่องจากถูกตัดสินบิตข้อมูลเป็นคนแรกจึงไม่มีการเพิ่มความน่าเชื่อถือจากการหักล้างสัญญาณรบกวนจากผู้ใช้รายอื่น

- **เครื่องรับแบบหักล้างการแทรกสอดแบบผสม** (Hybrid Interference Cancellation: HIC)

เครื่องรับชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการ คือ การนำเครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบขนาน และเครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบต่อเนื่องมาทำงานร่วมกัน เพื่อกำจัดข้อเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องรับแต่ละวิธี และทำให้ได้สมรรถนะที่เหมาะสมในสภาพการใช้งานจริง โดยเครื่องรับชนิดหักล้างสัญญาณแทรกสอดแบบผสมนี้มีข้อดี คือ สามารถลดการประวิงเวลาและแก้ไขความไม่สมบูรณ์ในการควบคุมกำลังสัญญาณที่ด้านส่งไปในเวลาเดียวกัน

- **เครื่องรับชนิดที่นำข้อมูลที่ตัดสินแล้วมาป้อนกลับ** (Decorrelating Decision-Feedback Detector: DDFB)

เครื่องรับชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการ คือ จะนำข้อมูลที่ถูกตัดสินแล้วมาป้อนกลับเข้าในระบบอีกครั้งหนึ่ง โดยในการประมาณสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้ในระบบจะประกอบไปด้วยวงจรกรอง 2 วงจร คือ วงจรกรองแบบป้อนไปข้างหน้าและวงจรกรองแบบป้อนกลับ โดยวงจรกรองแบบป้อนไปข้างหน้า ทำหน้าที่กำจัดผลของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่าออกจากผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงกว่า ส่วนวงจรกรองแบบป้อนกลับมีหน้าที่ป้อนผลการตัดสินบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงกว่าเพื่อนำไปช่วยในการตัดสินบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำกว่าตามลำดับ

1.3 ปัญหาของระบบ MC-CDMA

เนื่องจากระบบ MC-CDMA มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับระบบ OFDM คือ จะมีการแยกส่งสัญลักษณ์ข้อมูลออกเป็นหลายคลื่นพาห์ย่อย จึงเป็นการยากต่อการดีเทกต์สัญญาณในทุกคลื่นพาห์ย่อยในเวลาเดียวกัน อีกทั้งระบบ MC-CDMA นั้น อาศัยการดีมอดูเลตสัญญาณแบบร่วมนัย (Coherent Detection) ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการดีมอดูเลต

สัญญาณแบบไม่ร่วมนัย (Non-coherent Detection) ซึ่งในการดีมอดูเลตสัญญาณแบบร่วมนัยนั้น การทราบค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณที่ถูกต้องเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง ดังนั้น การประมาณและแก้ไขผลกระทบจากช่องสัญญาณ จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ และเป็นส่วนที่ขาดไม่ได้ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบ MC-CDMA

นอกจากผลกระทบโดยตรงของการลดทอนจากช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการตัดสินสัญลักษณ์ข้อมูลของระบบ MC-CDMA แล้วนั้น อีกหนึ่งปัญหาสำคัญซึ่งมีสาเหตุมาจากช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ด้วยเช่นกัน คือ ปัญหาการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้ (Multiple Access Interference: MAI) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่มักจะพบในระบบการสื่อสารแบบหลายผู้ใช้ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบรหัสแผ่ของผู้ใช้ทุกคนให้ตั้งฉากกับรหัสแผ่ของผู้ใช้คนอื่นภายในระบบ อย่างไรก็ตาม เมื่อสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนถูกรบกวนด้วยผลของช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ ทำให้สัญญาณในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยได้รับผลกระทบจากการลดทอนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความตั้งฉากระหว่างกันของรหัสแผ่ของผู้ใช้ภายในระบบสูญเสียไป จึงส่งผลให้เกิดการรบกวนกันระหว่างคลื่นพาห์ (Inter-Carrier Interference: ICI) ขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้ขึ้นในระบบ

1.4 วิธีการแก้ไขปัญหาที่มีผู้เสนอ

จากปัญหาเรื่องการลดทอนจากช่องสัญญาณดังที่ได้กล่าวมาแล้ว งานวิจัยหลายเรื่องจึงได้พิจารณาถึงผลกระทบของช่องสัญญาณที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ MC-CDMA รวมถึงกรรมวิธีต่าง ๆ ในการประมาณ และแก้ไขผลกระทบของช่องสัญญาณ [18]-[27] ซึ่งการประมาณช่องสัญญาณนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์นำร่องช่วยประมาณ (Pilot-symbol-aided channel estimation) และการประมาณช่องสัญญาณประเภทไม่ใช้สัญลักษณ์นำร่อง [19], [23]-[24] หรือการประมาณช่องสัญญาณแบบบอด (Blind channel estimation) [25], [26] โดยการประมาณช่องสัญญาณส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในงานวิจัยนั้น มักจะเป็นประเภทใช้สัญลักษณ์นำร่อง เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องของการประมาณ ความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ดีกว่า และค่าความซับซ้อนในการคำนวณที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการประมาณช่องสัญญาณแบบไม่ใช้สัญลักษณ์นำร่อง

อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณนั้น มีอยู่มากมายซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่แตกต่างกันไป เช่น

- วิธีการประมาณแบบพื้นฐาน หรือการประมาณแบบกำลังสองน้อยสุด (Least Square) เป็นกรรมวิธีการประมาณช่องสัญญาณซึ่งง่ายที่สุด มีค่าความซับซ้อนในการคำนวณไม่มากนัก แต่ให้ค่าความถูกต้องของการประมาณ และความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณไม่ดีนัก โดยเฉพาะในระบบที่ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างเร็ว
- วิธีค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด (Minimum Mean Square Error: MMSE) [23]-[24], [27] เป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องในการประมาณสูง แต่ไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีความสลับซับซ้อนสูงมาก และยังต้องการรู้ค่าพารามิเตอร์บางตัวของช่องสัญญาณซึ่งไม่สามารถหาได้ง่ายนักในทางปฏิบัติ
- วิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) [23], [25] เป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องในการประมาณสูง แต่ไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีความสลับซับซ้อนสูง และต้องการระยะเวลาประวิงในการคำนวณ อีกทั้งการประมาณช่องสัญญาณโดยวิธี Maximum Likelihood นี้นั้นยังต้องการค่าบัฟเฟอร์ในการเก็บข้อมูลด้านคุณลักษณะของช่องสัญญาณสูงอีกด้วย
- วิธีการประมาณช่องสัญญาณบนพื้นฐานของปริภูมิย่อย (Subspace based) [26], [27] ใช้คุณสมบัติความตั้งฉากระหว่างปริภูมิของสัญญาณ และปริภูมิของสัญญาณรบกวน แต่วิธีการประมาณช่องสัญญาณบนพื้นฐานของปริภูมิย่อยนั้นมีข้อจำกัด คือ ถ้ามีจำนวนผู้ใช้ในระบบมาก หรือจำนวนวิถีของช่องสัญญาณมีค่ามาก จะไม่สามารถทำการประมาณช่องสัญญาณได้อย่างถูกต้อง
- ฯลฯ

เนื่องจากประสิทธิภาพ และความสามารถในการนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงของอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้ งานวิจัยหลายเรื่องจึงได้หันมาให้ความสนใจนำอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้ เช่น ลีสต์มีนสแควร์อัลกอริทึม (Least Mean Square: LMS) นอร์แมลไลซ์ลีสต์มีนสแควร์อัลกอริทึม(Normalized Least Mean Square: NLMS) และรีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึม (Recusive Least Squares: RLS) เข้ามาประยุกต์ใช้สำหรับการประมาณช่องสัญญาณเนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งในด้านของค่าความถูกต้องในการประมาณที่อยู่ในเกณฑ์สูง และมีค่าความซับซ้อนในการคำนวนไม่สูงนัก

รีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึม [28], [29] เป็นอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้อีกแบบหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านของ ตัวกรองแบบปรับตัวได้ ระบบควบคุมชนิด

ปรับตัวอัตโนมัติ และการประมาณช่องสัญญาณ เนื่องมาจาก RLS อัลกอริทึมนั้น นอกจากจะมีค่าความผิดพลาดในการประมาณที่ต่ำแล้ว ยังมีความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็วได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้แบบอื่น ๆ นอกจากนั้นแล้ว รีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึมยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายโดยไม่ขึ้นกับแบบแผนการมอดูเลต และแบบแผนในการจัดวางสัญลักษณ์นำร่องอีกด้วย

1.5 แนวทางของวิทยานิพนธ์

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอวิธีการประมาณ และแก้ไขผลกระทบของการลดทอนจากช่องสัญญาณแบบเลือกความถี่ โดยอาศัยการประมาณช่องสัญญาณประเภทใช้สัญลักษณ์นำร่องในแนวแกนเวลา ซึ่งมีการนำอัลกอริทึมชนิดปรับตัวแบบรีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการประมาณช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารไร้สายแบบ MC-CDMA โดยจะพิจารณาที่ช่องสัญญาณการสื่อสารระหว่างสถานีฐานไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่ปลายทาง หรือข่ายเชื่อมโยงขาลง (Downlink) ซึ่งช่องสัญญาณของแต่ละผู้ใช้จะเป็นอิสระต่อกัน เป็นหลัก อีกทั้งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังจะเสนอกรรมวิธีการปรับปรุงรีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพในการประมาณสูงยิ่งขึ้น โดยการเสนอให้มีการปรับแต่ง รวมถึงกรรมวิธีในการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การลืม (Forgetting Factor) [28]-[30] ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมรรถนะของ RLS อัลกอริทึมให้มีความเหมาะสมต่อสภาวะช่องสัญญาณในแต่ละขณะ ซึ่งเป็นผลให้การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม จะมีความถูกต้องในการประมาณสูงมากยิ่งขึ้น และจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรับส่งของระบบ MC-CDMA มีค่าสูงยิ่งขึ้นในที่สุด

1.6 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนากรรมวิธีการประมาณ และแก้ไขผลกระทบของคุณลักษณะช่องสัญญาณที่มีต่อสัญญาณข้อมูลในข่ายเชื่อมโยงขาลงของ MC-CDMA โดยการนำ หลักการของอัลกอริทึมชนิดปรับตัวได้แบบ RLS เข้ามาประยุกต์ใช้

2. ปรับปรุงการประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึม โดยอาศัยกรรมวิธีในการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลืมเพื่อปรับปรุงให้การประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม มีประสิทธิภาพ และความถูกต้องในการประมาณสูงยิ่งขึ้น

1.7 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

เพื่อนำเสนอกรรมวิธีการประมาณช่องสัญญาณ สำหรับช่องสัญญาณขาลงของระบบ MC-CDMA ที่มีการนำระเบียบวิธีชนิดปรับตัวได้แบบ RLS เข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อลดผลกระทบจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยอัลกอริทึมการประมาณช่องสัญญาณจะเป็นแบบอาศัยสัญลักษณ์นำร่อง และจัดวางสัญลักษณ์นำร่องในแนวแกนเวลา โดยสมรรถนะของระบบจะต้องเหนือกว่ากรณีที่ไม่มีการประมาณช่องสัญญาณ และกรณีการประมาณช่องสัญญาณแบบปกติ

นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้นำเสนอกรรมวิธีการปรับปรุงการประมาณช่องสัญญาณโดย RLS อัลกอริทึม โดยมุ่งเน้นที่กระบวนการปรับค่าสัมประสิทธิ์การลืม ให้มีค่าเหมาะสมกับช่องสัญญาณในแต่ละขณะ เพื่อให้มีความถูกต้องในการประมาณสูงยิ่งขึ้น โดยจะพิจารณาสมรรถนะของระบบจากค่าอัตราผิดพลาดบิต (Bit Error Rate: BER) เป็นหลัก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาการสื่อสารจากสถานีฐานไปยังอุปกรณ์ปลายทาง หรือช่องสัญญาณขาลง (Downlink) เป็นหลัก ช่องสัญญาณที่พิจารณาจะมีลักษณะเป็นช่องสัญญาณแบบพหุวิถี (Multipath Channel) ซึ่งมีการเกิดเฟดดิงแบบเลือกความถี่ในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยจะมีการกระจายตัวแบบเรย์ลี (Rayleigh fading) และมีสัญญาณรบกวนแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN) โดยจะถือว่าระบบมีการซิงโครไนซ์ (Synchronize) อย่างสมบูรณ์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัลกอริทึมสำหรับประมาณ และแก้ไขผลกระทบของช่องสัญญาณที่มีอยู่ในระบบการสื่อสารต่าง ๆ

2. ได้อัลกอริทึมสำหรับประมาณ และแก้ไขผลกระทบของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMAขาลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ

3. เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระบบสื่อสาร MC-CDMA ต่อไป

1.9 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMA โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ศึกษาและเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMA กับระบบการสื่อสารแบบต่าง ๆ

- ศึกษาชนิดของช่องสัญญาณ และผลกระทบของช่องสัญญาณต่อระบบการสื่อสารแบบ MC-CDMA
- ศึกษาเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณและแก้ไขผลของช่องสัญญาณสำหรับระบบ การสื่อสารแบบ MC-CDMA และระบบการสื่อสารแบบหลายคลื่นพาห์ย่อย อื่น ๆ

2. ศึกษาเปรียบเทียบ วิเคราะห์ และทดสอบอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณจากงานที่มีผู้เสนอแล้ว

3. ปรับปรุง พัฒนาอัลกอริทึมให้มีความสามารถในการประมาณช่องสัญญาณที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ

4. ทดสอบประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณ และระบบที่มีการใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอในการชดเชยผลกระทบของช่องสัญญาณ

5. สรุป รวบรวม วิจารณ์ผลการทดสอบระบบ และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.10 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่1 บทนำ แนะนำถึงความรู้เบื้องต้นของระบบ MC-CDMA และเครื่องรับแบบต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในระบบนี้ และได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของการประมาณช่องสัญญาณด้วย จากนั้นได้กล่าวถึง แนวทางวัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานและการนิยามสัญลักษณ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึง รายละเอียดแบบจำลองการรับส่งข้อมูลของระบบ MC-CDMA , รายละเอียดของ RLS อัลกอริทึม, ปัจจัยที่ผลผลเสียต่อระบบที่นำเสนอ,รูปแบบของช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองระบบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้, วิธีการประมาณช่องสัญญาณที่ใช้ในกรณีที่มีการศึกษาถึงผลของความผิดพลาดในการประมาณช่องสัญญาณด้วย และท้ายที่สุดจะอธิบายถึงวิธีวัดสมรรถนะที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้การประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึม ในการประมาณช่องสัญญาณในเครือข่ายเชื่อมโยงขาลงของระบบ MC-CDMA และการประมาณช่องสัญญาณโดยรีเคอซีฟลีสต์สแควร์อัลกอริทึมที่ได้รับการประยุกต์โดยมีกระบวนการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การลืมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณให้กับระบบ

นอกจากนี้แล้วยังนำเสนอถึงกระบวนการปรับปรุงค่าคุณลักษณะช่องสัญญาณภายในส่วนของสัญลักษณ์ข้อมูลอีกด้วย

บทที่ 4 ผลการจำลองระบบเพื่อทดสอบถึงสมรรถนะของระบบที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับพัฒนางานวิจัยต่อไป

1.11 นิยามสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์เล็ก หมายถึง สัญญาณในแต่ละเวลา หรือแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์หรือเวกเตอร์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์เล็กที่มีเส้นอยู่เหนือสัญลักษณ์ หมายถึงเวกเตอร์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ หมายถึง เมตริกซ์

สัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ที่อยู่ในวงเล็บและมีดรรชนีห้อยท้ายหมายถึงหลักหรือแถวหนึ่ง ๆ ของเมตริกซ์

และนิยามสัญลักษณ์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะถูกใช้ไปตลอดวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย