

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบซีดีเอ็มเอ	6
2.1 พื้นฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบซีดีเอ็มเอ	6
2.2 สเปกตรัม	8
2.3 ประเภทรหัสที่ใช้ในระบบซีดีเอ็มเอ	14
2.4 การรับส่งสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย	15
2.4.1 การส่งสัญญาณไปข้างหน้า	15
2.4.2 การส่งสัญญาณด้านย้อนกลับ	16
2.5 ปัญหาของการส่งสัญญาณ	18
2.6 แบบจำลองช่องสัญญาณ	21
2.6.1 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ชิฟต์ (Doppler Shift)	21
2.6.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายเส้นทาง (Multipath Channel Model)	21
2.6.3 สัญญาณรบกวนขาว	23

2.7 การควบคุมกำลัง	23
2.8 ความจุของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีดีเอ็มเอ	24
บทที่ 3 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีน	27
3.1 พื้นฐานเกี่ยวกับซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีน	27
3.1.1 หลักการลดความเสี่ยงเชิงโครงสร้างให้ต่ำสุด	28
3.1.2 ฟังก์ชันเคอร์เนล	30
3.1.3 ฟังก์ชันการสูญเสีย	31
3.2 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีนสำหรับการแบ่งกลุ่ม	32
3.3 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอย	33
3.3.1 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอยเชิงเส้น	34
3.3.2 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอยไม่เชิงเส้น	37
บทที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมตัวทำนายค่ากำลังด้านย้อนกลับ	39
4.1 การเตรียมข้อมูล	40
4.2 การหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด	42
4.2.1 ขั้นตอนการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด	43
4.2.2 ขั้นตอนการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชีนโดยใช้หลักการของครอสแวลิดชันแบบ 5 กลุ่ม	44
4.3 เกณฑ์วัดประสิทธิภาพในการทำนาย	45
บทที่ 5 ผลการทำนายและทดสอบประสิทธิภาพ	47
5.1 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนายแบบต่าง ๆ	47
5.1.1 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย Adaline	48
5.1.2 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย MLP	52
5.1.3 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย Hybrid	57
5.1.4 การหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย SVR	61
5.1.4.1 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องถูกลักขัย ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	61
5.1.4.2 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องถูกลักขัย ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	64

5.2 ผลการทำนายของตัวทำนายทั้งสี่แบบ	68
5.3 ความจุของระบบ	73
5.3.1 ความจุของระบบกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	74
5.3.2 ความจุของระบบกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	75
5.4 ตัวทำนาย SVR โดยใช้หลักการของครอสเวลิเดชันแบบ 5 กลุ่ม (5-fold CV)	76
5.4.1 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้หลักการของครอสเวลิเดชันแบบ 5 กลุ่ม	77
5.4.2 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้หลักการของครอสเวลิเดชันแบบ 5 กลุ่ม	82
5.4.3 ผลการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV)	88
5.4.4 ความจุของระบบจากตัวทำนาย SVR (5-fold CV)	90
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	92
6.1 สรุปผลการวิจัย	92
6.2 ข้อเสนอแนะ	97
บรรณานุกรม	98
ประวัติผู้เขียน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแพ็คเกจ	17
3.1 รูปแบบของฟังก์ชันเคอร์เนล	30
3.2 ฟังก์ชันการสูญเสีย	31
5.1 สรุปขั้นตอนการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนายทั้งสี่แบบ	47
5.2 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline	48
5.3 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย Adaline ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	49
5.4 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย Adaline ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	50
5.5 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP	53
5.6 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย MLP ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	54
5.7 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย MLP ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	55
5.8 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Hybrid	57
5.9 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย Hybrid ในส่วน โมดูลที่ 2 ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	58
5.10 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย Hybrid ในส่วน โมดูลที่ 2 ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	59
5.11 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย SVR ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	61
5.12 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	62

ตารางที่	หน้า
5.13 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	63
5.14 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	65
5.15 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	66
5.16 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	67
5.17 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR	67
5.18 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนายทั้งสี่แบบ สำหรับกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	68
5.19 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนายทั้งสี่แบบ สำหรับกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	69
5.20 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} เฉลี่ยจากตัวทำนายทั้งสี่แบบ	70
5.21 ค่าความจุของระบบจากผลการทำนายของตัวทำนายทั้งสี่แบบ	76
5.22 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	77
5.23 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	80
5.24 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	81
5.25 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	83
5.26 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	85
5.27 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	86
5.28 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)	87

5.29	ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) สำหรับกรณีเครื่องถูกขยับเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	88
5.30	ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) สำหรับกรณีเครื่องถูกขยับเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	89
5.31	ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} เฉลี่ยจากตัวทำนาย SVR (5-fold CV)	89
5.32	ค่าความจุของระบบจากผลการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV)	91
6.1	สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนายแบบต่าง ๆ	93
6.2	ค่า SNR_{gain} ของตัวทำนายแต่ละแบบและเปอร์เซ็นต์แสดงประสิทธิภาพของตัวทำนาย SVR ที่ดีกว่าตัวทำนายโครงข่ายประสาท	94
6.3	ค่า SNR_{gain} ของตัวทำนายแต่ละแบบและเปอร์เซ็นต์แสดงประสิทธิภาพของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่ดีกว่าตัวทำนายอื่น	95
6.4	จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุด (N_{max}) ของตัวทำนายแต่ละแบบและเปอร์เซ็นต์จำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้นจากตัวทำนาย SVR เปรียบเทียบกับตัวทำนายโครงข่ายประสาท	95
6.5	จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุด (N_{max}) ของตัวทำนายแต่ละแบบและเปอร์เซ็นต์จำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้นจากตัวทำนาย SVR (5-fold CV) เปรียบเทียบกับตัวทำนายอื่น	96

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การจัดสรรช่องสื่อสารในแต่ละแบบ	6
2.2 เปรียบเทียบกำลังที่ใช้ในการส่งสัญญาณ	7
2.3 รูปแบบการนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำของเอฟดีเอ็มเอและทีดีเอ็มเอ สำหรับซีดีเอ็มเอใช้ความถี่เดียวกันทั้งหมด	8
2.4 วงจรภาคส่งสัญญาณซีดีเอ็มเอแบบฟรีควีนซีฮอปปีง (FH-CDMA)	9
2.5 วงจรภาคส่งสัญญาณซีดีเอ็มเอแบบไคเรกต์ซีควเอนซ์ (DS-SS-CDMA)	9
2.6 ตัวอย่างสัญญาณที่ผ่านการทำสเปกตรัมแบบไคเรกต์ซีควเอนซ์	10
2.7 รูปสัญญาณของผู้ใช้หมายเลข 1 ที่วงจรภาคส่ง	11
2.8 รูปสัญญาณของผู้ใช้หมายเลข 2 ที่วงจรภาคส่ง	12
2.9 รูปสัญญาณของผู้ใช้หมายเลข 3 ที่วงจรภาคส่ง	12
2.10 รูปสัญญาณที่วงจรภาครับ	13
2.11 ขั้นตอนการส่งสัญญาณด้านย้อนกลับของช่องสัญญาณทราฟฟิก	16
2.12 การเดินทางของสัญญาณ โดยตรง (Line of Sight : LOS)	18
2.13 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียแบบต่าง ๆ	18
2.14 การรับสัญญาณจากหลายทิศทาง	19
2.15 สัญญาณกำลังที่เกิดจากเฟดดิ้งหลายเส้นทางแบบเรย์ลีย์	20
2.16 ภาพรวมของการลดทอนของสัญญาณ	20
2.17 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายเส้นทางของ Jakes	22
2.18 การควบคุมกำลังแบบวงปิดในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบซีดีเอ็มเอ	24
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความซับซ้อนของระบบกับค่าความผิดพลาด	28
3.2 การแมปข้อมูลโดยฟังก์ชันเคอร์เนล	30
3.3 รูปแบบฟังก์ชันการสูญเสีย	31
3.4 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับการแบ่งกลุ่ม	32
3.5 ขั้นตอนของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอย	33

รูปที่	หน้า
3.6 การหาระนาบเกินที่เหมาะสมที่สุด	35
3.7 การแมปข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นในปริภูมิอินพุต ไปเป็นข้อมูลเชิงเส้นในปริภูมิลักษณะเด่น	37
3.8 สถาปัตยกรรมของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอย	38
4.1 ขั้นตอนการทำนายค่าสัญญาณจากข้อมูลย้อนหลัง	39
4.2 สัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวน (Noiseless Signal) และสัญญาณ ที่มีสัญญาณรบกวน (Noisy Signal) ที่ความเร็วเครื่องลูกข่าย 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	40
4.3 สัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวน (Noiseless Signal) และสัญญาณ ที่มีสัญญาณรบกวน (Noisy Signal) ที่ความเร็วเครื่องลูกข่าย 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	41
4.4 รูปแบบการทำนาย	42
4.5 การจัดการข้อมูลสำหรับการเลือกแบบจำลองของโครงข่ายประสาท	43
4.6 การจัดการข้อมูลสำหรับการเลือกแบบจำลอง โดยกระบวนการครอสแวลิดเคชันแบบ 5 กลุ่ม	45
5.1 ผังการทำงานของตัวทำนาย Adaline	48
5.2 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	51
5.3 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	51
5.4 ผังการทำงานของตัวทำนาย MLP	52
5.5 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	56
5.6 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	56
5.7 ผังการทำงานของตัวทำนาย Hybrid	57
5.8 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับโมดูลที่ 2 : MLP ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	60
5.9 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับโมดูลที่ 2 : MLP ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	60

รูปที่	หน้า
5.10 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	62
5.11 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	63
5.12 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	64
5.13 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	65
5.14 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	66
5.15 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	67
5.16 ตัวอย่างสัญญาณที่ใช้ทดสอบสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	71
5.17 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนาย สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	71
5.18 ตัวอย่างสัญญาณที่ใช้ทดสอบสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	72
5.19 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนาย สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	72
5.20 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	80
5.21 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	81
5.22 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	82
5.23 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	85

5.24	การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	86
5.25	การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	87
5.26	ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	90
5.27	ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	90
6.1	ภาพรวมขั้นตอนของงานวิจัยนี้	92