

บทที่ 5

ผลการทำนายและทดสอบประสิทธิภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในบทที่ 4 ซึ่งเริ่มจากผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนายแต่ละแบบ และขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบโปรแกรมตัวทำนายที่ใช้หลักการของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอย เทียบกับตัวทำนายที่ใช้หลักการของโครงข่ายประสาท 3 แบบ และวัดประสิทธิภาพการทำนายโดยใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR)

5.1 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนายแบบต่าง ๆ

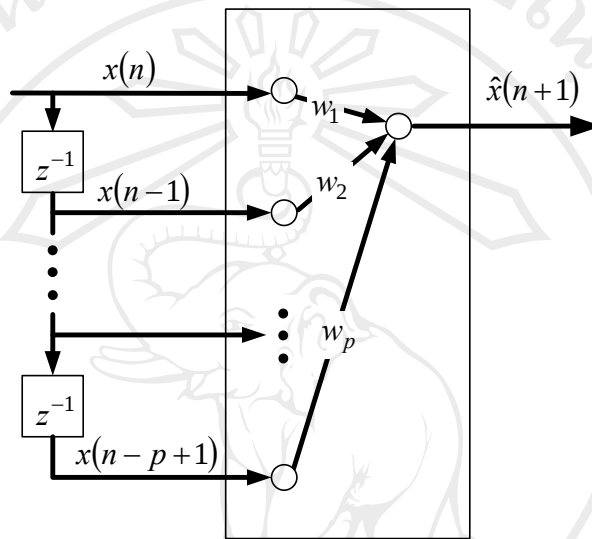
จากขั้นตอนการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนายแต่ละแบบ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งได้แก่ตัวทำนาย Adaline ตัวทำนาย MLP ตัวทำนาย Hybrid และตัวทำนาย SVR ต่อไปจะทำการหาแบบจำลองของตัวทำนายทั้งสี่แบบโดยใช้ชุดข้อมูลเดียวกันจำนวน 1,500 ค่า ซึ่งสามารถสรุปกระบวนการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้แบบจำลองสำหรับตัวทำนายทั้งสี่แบบดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 สรุปพารามิเตอร์ที่ต้องการหาสำหรับตัวทำนายทั้งสี่แบบ

ตัวทำนาย	พารามิเตอร์ที่ต้องการหา
ตัวทำนาย Adaline	จำนวนค่าย้อนหลัง (p)
ตัวทำนาย MLP	จำนวนค่าย้อนหลัง (p) และจำนวนโนนดซ่อน (q)
ตัวทำนาย Hybrid	Module-1 : Adaline จำนวนค่าย้อนหลัง (p_A) Module-2 : MLP จำนวนค่าย้อนหลัง (p_M) MLP จำนวนโนนดซ่อน (q_M)
ตัวทำนาย SVR	จำนวนค่าย้อนหลัง (p) ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ε) พารามิเตอร์กำหนดค่าการเรียนรู้ (σ) และ พารามิเตอร์ควบคุมความคลาดเคลื่อน (C)

5.1.1 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย Adaline

ตัวทำนายโครงข่ายประสาทเชิงเส้นแบบปรับตัวได้ (Adaptive Linear: Adaline) เป็นตัวทำนายโครงข่ายประสาทแบบเชิงเส้น (Linear Neural Network) สำหรับการหาแบบจำลองที่เหมาะสม จะพิจารณาค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ที่ให้ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ที่น้อยที่สุด



รูปที่ 5.1 ผังการทำงานของตัวทำนาย Adaline

การทำนายของตัวทำนาย Adaline เป็นไปตามสมการ

$$\hat{x}(n+1) = \sum_{j=1}^p w_j x(n-j+1) \quad (5.1)$$

จากการทดลองโดยเปลี่ยนจำนวนโหนดขาเข้า (Input Node) หรือจำนวนข้อมูลย้อนกลับ ตั้งแต่ 2 จนถึง 50 ค่าแล้ววัดสมรรถนะของแบบจำลอง สามารถสรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline ได้ดังตารางที่ 5.2 โดยมีรายละเอียดการทดลองวัดค่า MSE ดังตารางที่ 5.3 และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 5.2 สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และตารางที่ 5.4 รูปกราฟที่ 5.3 สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 5.2 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline

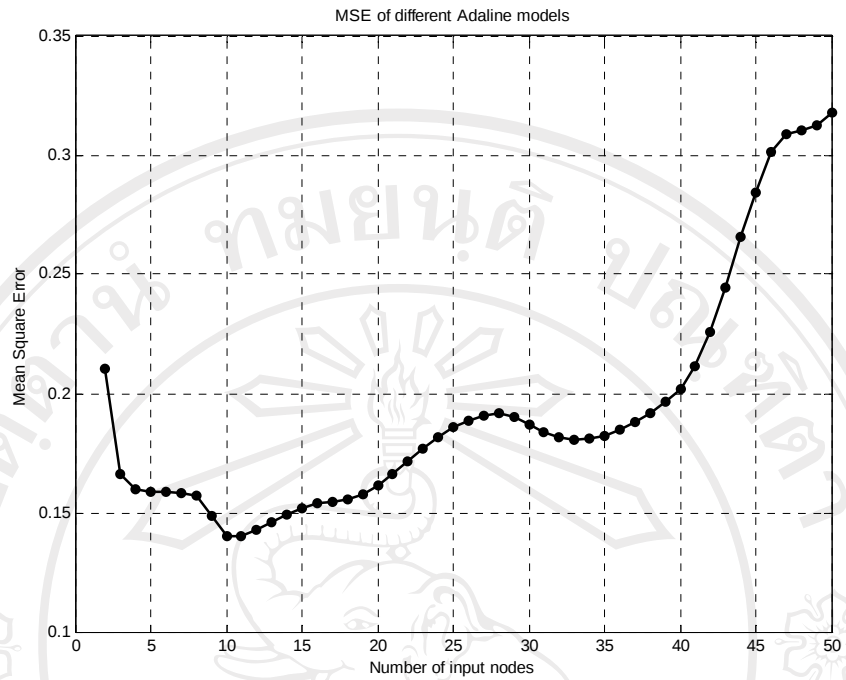
	5 km/h	50 km/h
จำนวนค่าย้อนหลัง (p)	11	4

ตารางที่ 5.3 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p)
ของตัวทำนาย Adaline ที่เครื่องถูกขายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

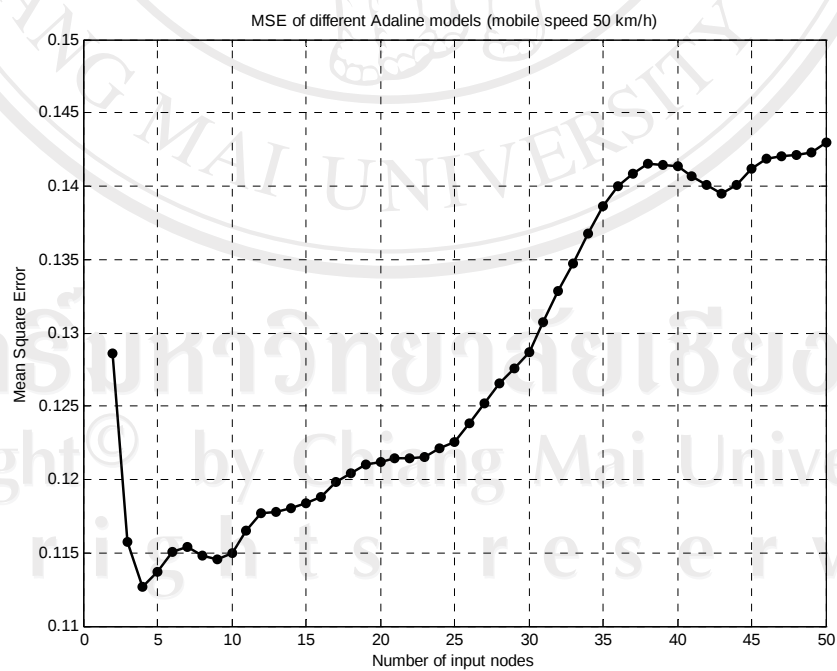
p	MSE	p	MSE
2	0.21058	27	0.19088
3	0.16619	28	0.19171
4	0.15976	29	0.19026
5	0.15879	30	0.18703
6	0.15876	31	0.18359
7	0.15835	32	0.18148
8	0.15692	33	0.18054
9	0.14891	34	0.18108
10	0.14038	35	0.18233
11	0.14021	36	0.18479
12	0.14288	37	0.18821
13	0.14615	38	0.19194
14	0.14905	39	0.19645
15	0.15181	40	0.20195
16	0.15389	41	0.21134
17	0.15476	42	0.22576
18	0.15548	43	0.24455
19	0.15770	44	0.26545
20	0.16168	45	0.28457
21	0.16633	46	0.30144
22	0.17131	47	0.30882
23	0.17690	48	0.31056
24	0.18187	49	0.31235
25	0.18580	50	0.31769
26	0.18877		

ตารางที่ 5.4 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p)
ของตัวทำนาย Adaline ที่เครื่องถูกจ่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

p	MSE	p	MSE
2	0.12859	27	0.12519
3	0.11573	28	0.12659
4	0.11265	29	0.12758
5	0.11374	30	0.12869
6	0.11509	31	0.13073
7	0.11539	32	0.13283
8	0.11478	33	0.13470
9	0.11457	34	0.13674
10	0.11502	35	0.13861
11	0.11647	36	0.14002
12	0.11773	37	0.14085
13	0.11780	38	0.14152
14	0.11804	39	0.14145
15	0.11836	40	0.14138
16	0.11877	41	0.14069
17	0.11980	42	0.14008
18	0.12043	43	0.13953
19	0.12106	44	0.14006
20	0.12119	45	0.14118
21	0.12144	46	0.14188
22	0.12148	47	0.14206
23	0.12151	48	0.14215
24	0.12211	49	0.14226
25	0.12259	50	0.14296
26	0.12385		



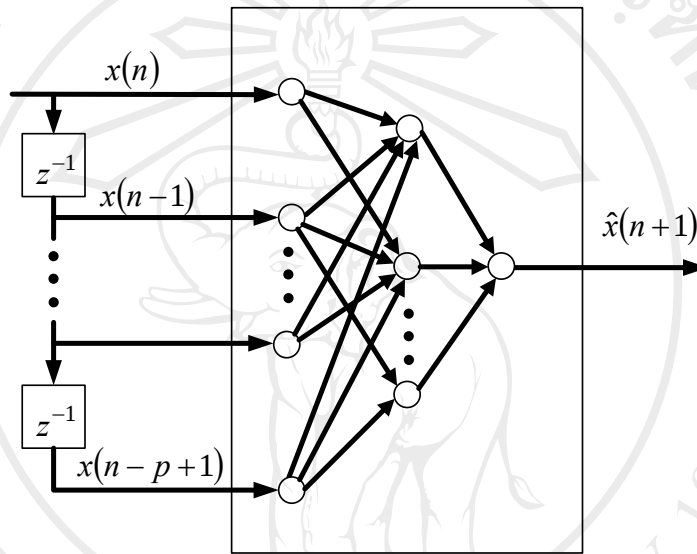
รูปที่ 5.2 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.3 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Adaline
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.1.2 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย MLP

ตัวทำนายโครงข่ายประสาทไม่เชิงเส้นแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron : MLP) เป็นตัวทำนายโครงข่ายประสาทแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Neural Network) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็น 1 ชั้นซ่อน แล้วทำการพิจารณาแบบจำลองที่เหมาะสมจากจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) และจำนวนโหนดซ่อน (q)



รูปที่ 5.4 ฟังก์ชันการทำงานของตัวทำนาย MLP

การทำนายของตัวทำนาย MLP เป็นไปตามสมการ

$$u_i(n) = \sum_{j=1}^p w_{ji} x(n-j+1) \quad i=1,2,\dots,q \quad (5.2)$$

$$z_i(n) = \tanh[u_i(n)] \quad (5.3)$$

$$\hat{x}(n+1) = \sum_{i=1}^q v_i z_i(n) \quad (5.4)$$

Input

รายละเอียดของตัวทำนาย MLP จะมีข้อมูลขาเข้าเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังเพื่อทำนายค่าถัดไปของสัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกับตัวทำนาย Adaline แต่สำหรับตัวทำนาย MLP จะประกอบไปด้วย 1 ชั้นซ่อน และจำนวนโหนดซ่อนจะใช้ฟังก์ชันถ้ายโอนไม่เป็นเชิงเส้นแบบไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ซิกมอยด์ (Hyperbolic Tangent Sigmoid Function) และสำหรับโหนดขาออกจะใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) [6]

สัญญาณขาเข้าจะใช้ชุดเดียวกันกับตัวทำนาย Adaline ทำการเลือกหาโมเดลที่เหมาะสมที่สุด โดยการเลือกจำนวนโหนดซ่อน (Hidden Node) จะพิจารณาจำนวนโหนดตั้งแต่ 1 ถึง 3 โหนดซ่อน และเปลี่ยนจำนวนข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ 2 จนถึง 50 ค่า สามารถสรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP ได้ดังตารางที่ 5.5 โดยมีรายละเอียดการทดลองวัดค่า MSE ดังตารางที่ 5.6 และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 5.5 สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และตารางที่ 5.7 รูปกราฟที่ 5.6 สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 5.5 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP

	5 km/h	50 km/h
จำนวนค่าย้อนหลัง (p)	15	22
จำนวนโหนดซ่อน (q)	2	1

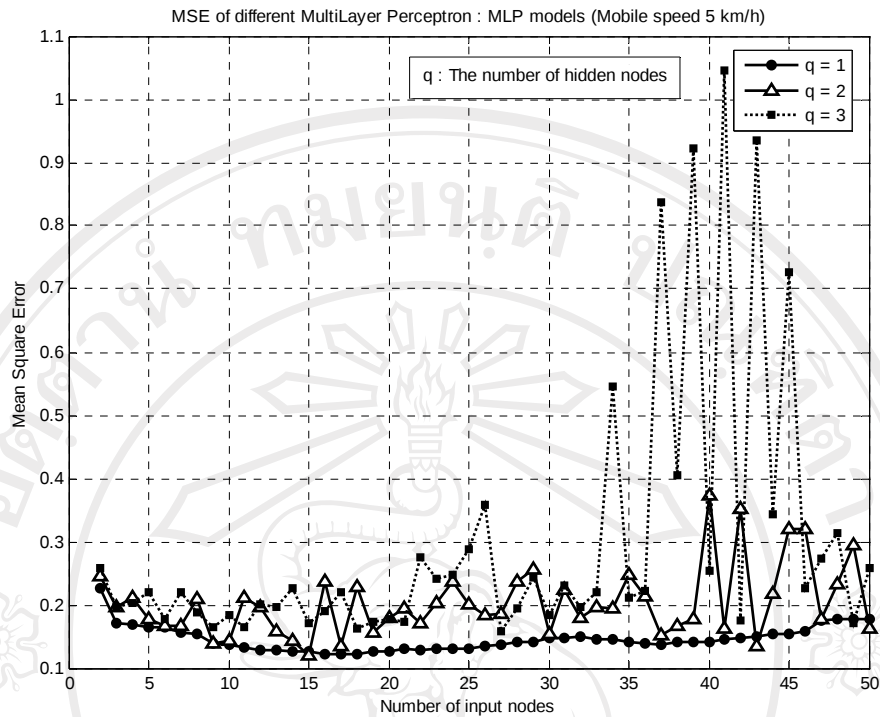
ตารางที่ 5.6 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p)
ของตัวทำนาย MLP ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

p	MSE		
	$q = 1$	$q = 2$	$q = 3$
2	0.22634	0.24564	0.25859
3	0.17060	0.19732	0.19685
4	0.16847	0.21090	0.20233
5	0.16389	0.17778	0.21921
6	0.16575	0.16696	0.17707
7	0.15632	0.16701	0.22123
8	0.15363	0.20955	0.18733
9	0.13911	0.14042	0.16522
10	0.13640	0.14311	0.18319
11	0.13304	0.21094	0.16417
12	0.12901	0.19733	0.20064
13	0.12801	0.15812	0.19599
14	0.12591	0.14335	0.22628
15	0.12568	0.12049	0.17218
16	0.12266	0.23785	0.18953
17	0.12184	0.13564	0.21988
18	0.12331	0.22889	0.16353
19	0.12649	0.15668	0.17254
20	0.12651	0.17887	0.17858
21	0.13003	0.19530	0.17334
22	0.12820	0.17169	0.27450
23	0.13058	0.20285	0.24115
24	0.13069	0.23722	0.24846
25	0.13164	0.20096	0.28735
26	0.13568	0.18454	0.35826
27	0.13793	0.18592	0.15899
28	0.14218	0.23729	0.19445
29	0.14187	0.25718	0.24403
30	0.14684	0.15473	0.18448
31	0.14800	0.22448	0.23015
32	0.15009	0.17962	0.19659
33	0.14499	0.19780	0.21942
34	0.14639	0.19427	0.54532
35	0.14072	0.24754	0.21239
36	0.13962	0.21415	0.22272
37	0.13789	0.15133	0.83748
38	0.14168	0.16736	0.40632
39	0.14115	0.17798	0.92156
40	0.14175	0.37420	0.25436
41	0.14598	0.16287	1.04680
42	0.14794	0.35242	0.17642
43	0.14927	0.13422	0.93550
44	0.15372	0.21833	0.34314
45	0.15498	0.31929	0.72582
46	0.15770	0.31950	0.22666
47	0.17618	0.17812	0.27321
48	0.17676	0.23374	0.31305
49	0.17849	0.29546	0.17143
50	0.17848	0.16357	0.25868

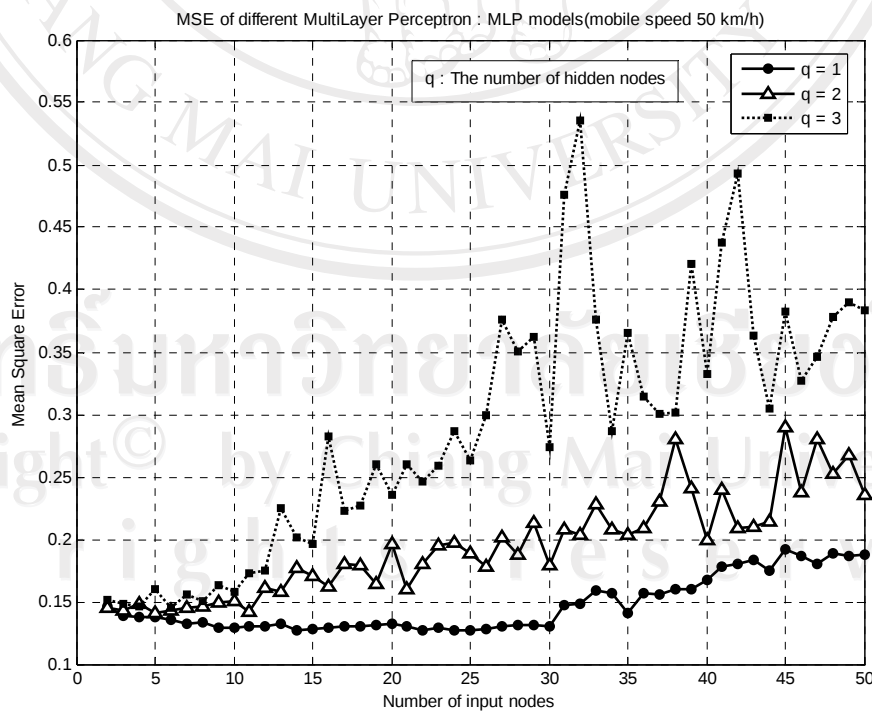
ตารางที่ 5.7 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p)
ของตัวทำนาย MLP ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

p	MSE		
	$q = 1$	$q = 2$	$q = 3$
2	0.14619	0.14563	0.15201
3	0.13926	0.14280	0.14810
4	0.13815	0.14806	0.14659
5	0.13763	0.14110	0.15980
6	0.13601	0.14312	0.14557
7	0.13269	0.14571	0.15575
8	0.13309	0.14655	0.15025
9	0.12903	0.14902	0.16302
10	0.12927	0.15106	0.15767
11	0.13051	0.14225	0.17331
12	0.13007	0.16158	0.17525
13	0.13201	0.15766	0.22514
14	0.12751	0.17729	0.20175
15	0.12856	0.17071	0.19586
16	0.12905	0.16238	0.28276
17	0.12999	0.18043	0.22305
18	0.12980	0.17930	0.22755
19	0.13111	0.16480	0.25996
20	0.13266	0.19593	0.23524
21	0.12988	0.15989	0.26034
22	0.12660	0.17983	0.24667
23	0.12956	0.19526	0.25883
24	0.12718	0.19716	0.28659
25	0.12710	0.18862	0.26374
26	0.12794	0.17827	0.29985

p	MSE		
	$q = 1$	$q = 2$	$q = 3$
27	0.13015	0.20128	0.37639
28	0.13139	0.18797	0.35078
29	0.13136	0.21373	0.36208
30	0.13079	0.17906	0.27392
31	0.14767	0.20747	0.47608
32	0.14832	0.20362	0.53594
33	0.15936	0.22772	0.37620
34	0.15722	0.20762	0.28717
35	0.14145	0.20389	0.36562
36	0.15735	0.20955	0.31408
37	0.15565	0.23000	0.30009
38	0.15959	0.28007	0.30163
39	0.16015	0.24054	0.42064
40	0.16758	0.19938	0.33291
41	0.17816	0.23944	0.43754
42	0.18031	0.20912	0.49300
43	0.18365	0.20984	0.36277
44	0.17455	0.21403	0.30498
45	0.19186	0.29010	0.38232
46	0.18679	0.23804	0.32746
47	0.17995	0.28056	0.34666
48	0.18899	0.25238	0.37769
49	0.18645	0.26774	0.38945
50	0.18752	0.2359	0.38375



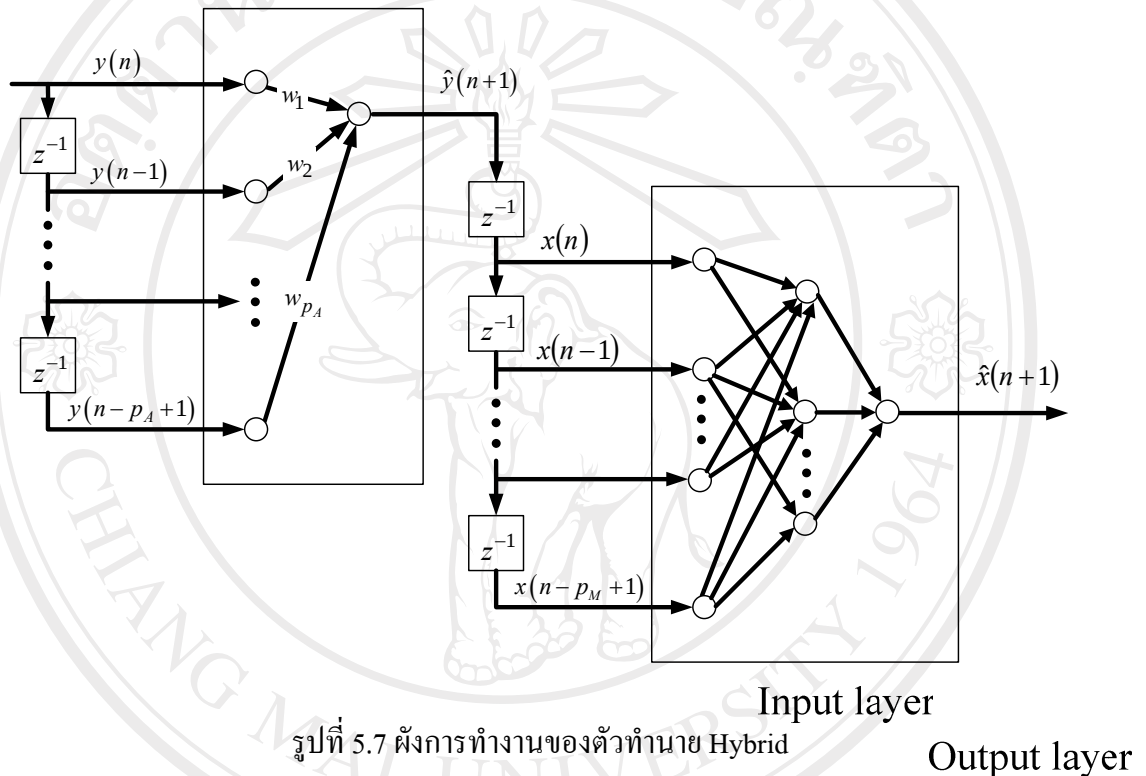
รูปที่ 5.5 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.6 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย MLP
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.1.3 ผลการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย Hybrid

เป็นตัวทำนายแบบผสม โดยโมดูลที่ 1 เป็นตัวทำนาย Adaline และโมดูลที่ 2 เป็นตัวทำนาย MLP มาต่อเรียงกัน สำหรับข้อมูลขาเข้าจะเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน นำมาผ่านตัวทำนาย Adaline ซึ่งข้อมูลขาออกที่ได้จะนำมาเป็นข้อมูลขาเข้าของตัวทำนาย MLP ซึ่งจะต้องมีการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับโมดูลที่ 2 ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 5.7



ใช้สัญญาณชุดเดียวกับตัวทำนาย Adaline และ MLP สำหรับโมดูลที่ 1 จะได้ผลค่าย้อนหลัง (p_A) เช่นเดียวกับตัวทำนาย Adaline ที่ได้ทำการทดสอบไปแล้วข้างต้น สำหรับโมดูลที่ 2 เป็นตัวทำนาย MLP ได้มีการทดสอบใหม่ซึ่งสามารถสรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Hybrid ได้ดังตารางที่ 5.8 โดยมีรายละเอียดการทดลองวัดค่า MSE ได้ดังตารางที่ 5.9 และแสดงเป็นกราฟ ดังรูปที่ 5.8 สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และตารางที่ 5.10 รูปกราฟที่ 5.9 สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 5.8 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย Hybrid

		5 km/h	50 km/h
Module-1 : Adaline	จำนวนค่าย้อนหลัง (p_A)	11	4
Module 2 : MLP	จำนวนค่าย้อนหลัง (p_M)	12	22
	จำนวนโหนดซ่อน (q_M)	2	1

Adaline

Module - 1

ตารางที่ 5.9 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p_M)
ของตัวทำนาย Hybrid ในส่วน โมดูลที่ 2 ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

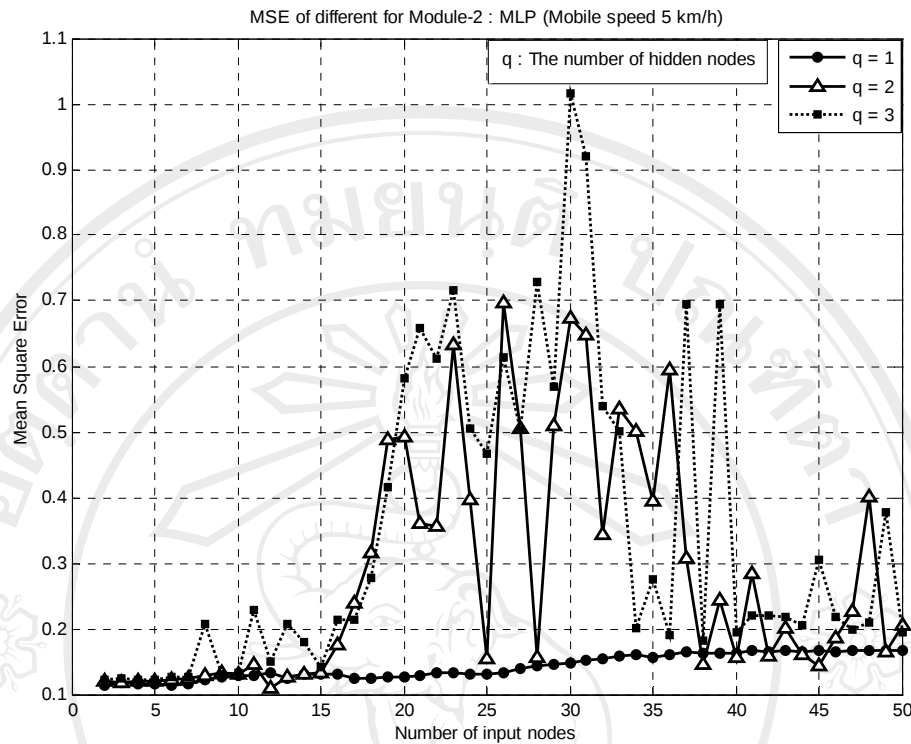
p_M	MSE		
	$q_M = 1$	$q_M = 2$	$q_M = 3$
2	0.11465	0.11923	0.12256
3	0.11719	0.11806	0.12421
4	0.11633	0.12036	0.12157
5	0.11587	0.12091	0.12234
6	0.11389	0.12142	0.12755
7	0.11511	0.12495	0.12643
8	0.12287	0.12969	0.20794
9	0.12588	0.13282	0.13149
10	0.12773	0.13154	0.13237
11	0.12865	0.14681	0.22801
12	0.13253	0.11001	0.14945
13	0.12519	0.12724	0.2082
14	0.13008	0.13042	0.18059
15	0.12982	0.13221	0.14201
16	0.13039	0.17521	0.2141
17	0.12484	0.23964	0.21356
18	0.12391	0.31606	0.27871
19	0.12657	0.48799	0.41586
20	0.12625	0.49181	0.5825
21	0.12971	0.3596	0.65863
22	0.13247	0.35558	0.61102
23	0.13214	0.63316	0.71701
24	0.13168	0.39776	0.50495
25	0.13032	0.15361	0.46618
26	0.13309	0.6974	0.6145

p_M	MSE		
	$q_M = 1$	$q_M = 2$	$q_M = 3$
27	0.13850	0.50496	0.50213
28	0.14415	0.15708	0.72899
29	0.14657	0.50852	0.56821
30	0.14840	0.67344	1.01510
31	0.15277	0.64717	0.92066
32	0.15428	0.34350	0.53980
33	0.15894	0.53458	0.50019
34	0.15959	0.50150	0.20007
35	0.15703	0.39388	0.27652
36	0.16111	0.59472	0.19031
37	0.16430	0.30850	0.69452
38	0.16179	0.14642	0.18113
39	0.16243	0.24262	0.69542
40	0.16371	0.15602	0.19484
41	0.16711	0.28344	0.21950
42	0.16465	0.15884	0.22003
43	0.16657	0.20082	0.21776
44	0.16556	0.16088	0.20623
45	0.16626	0.14400	0.30497
46	0.16538	0.18698	0.21740
47	0.16635	0.22578	0.19895
48	0.16717	0.40028	0.20987
49	0.16622	0.16415	0.37716
50	0.16728	0.20453	0.19459

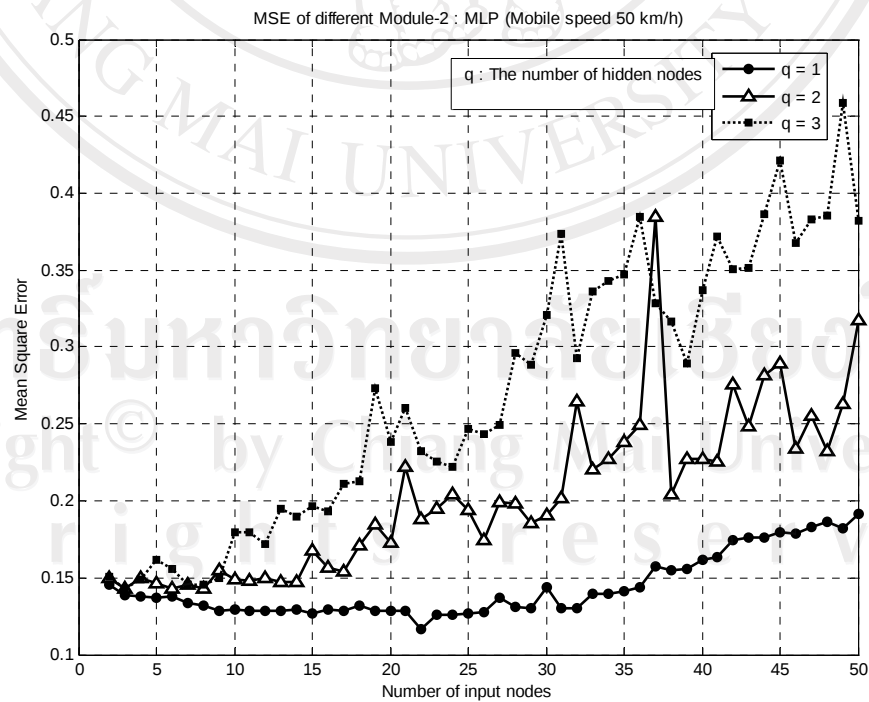
ตารางที่ 5.10 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p_M)
ของตัวทำนาย Hybrid ในส่วนโมดูลที่ 2 ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

p_M	MSE		
	$q_M = 1$	$q_M = 2$	$q_M = 3$
2	0.14565	0.15013	0.15050
3	0.13865	0.14301	0.14323
4	0.13817	0.14950	0.14897
5	0.13742	0.14650	0.16184
6	0.13772	0.14325	0.15574
7	0.13330	0.14525	0.1458
8	0.13189	0.14309	0.14572
9	0.12814	0.15527	0.14990
10	0.12951	0.14883	0.17934
11	0.12835	0.14789	0.17987
12	0.12809	0.15012	0.17167
13	0.12853	0.14744	0.19465
14	0.12962	0.14741	0.19005
15	0.12717	0.16736	0.19686
16	0.12938	0.15664	0.19338
17	0.12815	0.15436	0.21146
18	0.13176	0.17143	0.21301
19	0.12847	0.18490	0.27312
20	0.12832	0.17263	0.23837
21	0.12892	0.22214	0.26018
22	0.11621	0.18814	0.23211
23	0.12598	0.19492	0.22542
24	0.12570	0.20445	0.22214
25	0.12681	0.19424	0.24658
26	0.12734	0.17415	0.24345

p_M	MSE		
	$q_M = 1$	$q_M = 2$	$q_M = 3$
27	0.13694	0.19897	0.24925
28	0.13066	0.19798	0.29602
29	0.13046	0.18531	0.28889
30	0.14423	0.19095	0.32097
31	0.13062	0.20131	0.37333
32	0.13058	0.26483	0.29260
33	0.13953	0.22030	0.33627
34	0.13960	0.22756	0.34280
35	0.14099	0.23813	0.34713
36	0.14354	0.24939	0.38491
37	0.15709	0.38507	0.32809
38	0.1547	0.20417	0.31636
39	0.15578	0.22721	0.28927
40	0.16181	0.22687	0.33716
41	0.16331	0.22511	0.37208
42	0.17472	0.27613	0.35103
43	0.17600	0.24841	0.35109
44	0.17594	0.28133	0.38656
45	0.17956	0.28915	0.42134
46	0.17838	0.23388	0.36776
47	0.18318	0.25552	0.38270
48	0.18611	0.23250	0.38581
49	0.18236	0.26306	0.45831
50	0.19135	0.31705	0.38247



รูปที่ 5.8 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับโมดูลที่ 2 : MLP
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.9 การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับโมดูลที่ 2 : MLP
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.1.4 การหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวทำนาย SVR

สำหรับตัวทำนาย SVR จะใช้ข้อมูลสัญญาณชุดเดียวกับตัวทำนายโครงข่ายประสาทจำนวน 1,500 ค่า และในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกับตัวทำนายโครงข่ายประสาทดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.2.1

5.1.4.1 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องถูกจ่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

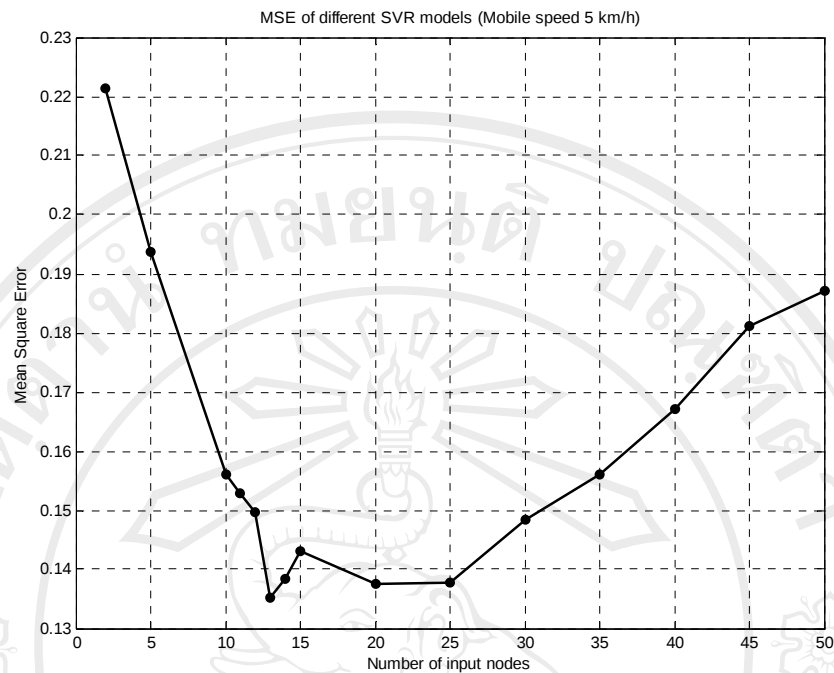
ตัวทำนาย SVR จะมีพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาคือ ค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) และพารามิเตอร์อื่นอีก 3 พารามิเตอร์ และได้กำหนดค่าเริ่มต้นไว้ดังนี้

- พารามิเตอร์กำหนดค่าการเรียนรู้ (σ) เป็น 0.5
- ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ε) เป็น 0.001
- พารามิเตอร์ควบคุมความคลาดเคลื่อน (C) เป็น 10

จากการทดสอบโดยใช้ข้อมูลค่าย้อนหลังค่าต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ 2, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 40, 45 และ 50 ค่าย้อนหลัง โดยทำการหาค่า MSE อย่างละเอียดเมื่อเข้าไปใกล้ค่าต่ำสุด ซึ่งในการทดลองนี้คือค่า 11, 12, 13 และ 14 แล้ววัดสมรรถนะของแบบจำลอง สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย SVR ที่เครื่องถูกจ่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

p	MSE	p	MSE
2	0.22129	20	0.13752
5	0.19370	25	0.13780
10	0.15607	30	0.14830
11	0.15279	35	0.15608
12	0.14959	40	0.16714
13	0.13521	45	0.18118
14	0.13840	50	0.18717
15	0.14302		

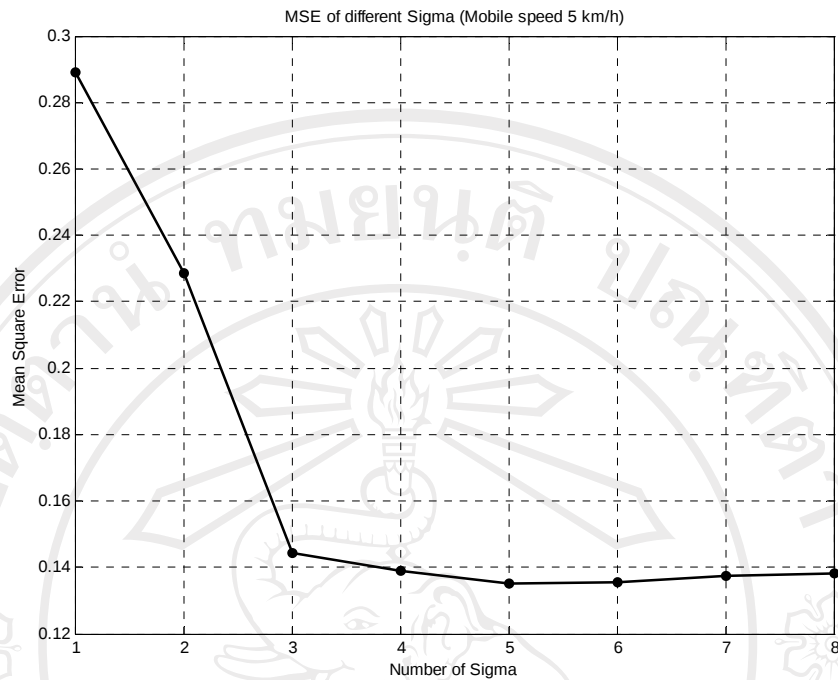


รูปที่ 5.10 การเลือกค่า p ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่าข้อมูลย้อนหลังที่ให้ค่า MSE ต่ำที่สุดคือจำนวน 13 ค่า ต่อมาจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ σ โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., 8 ซึ่งขั้นตอนนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์อื่นดังนี้ $\varepsilon = 0.001$, $p = 13$ และ $C = 10$

ตารางที่ 5.12 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

σ	MSE
1	0.28919
2	0.22868
3	0.14433
4	0.13906
5	0.13521
6	0.13554
7	0.13735
8	0.13832

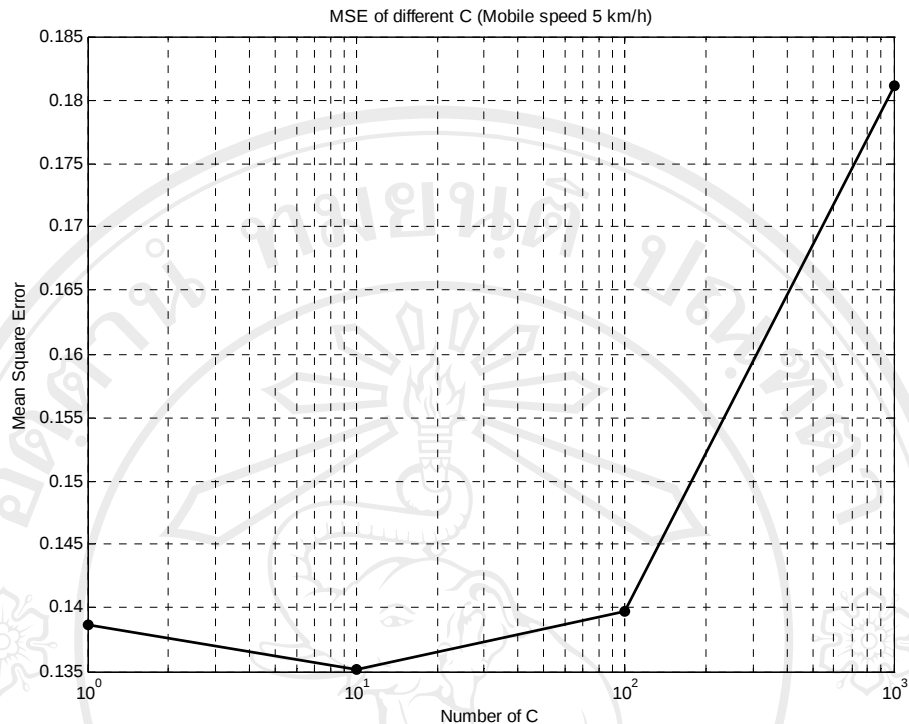


รูปที่ 5.11 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า σ ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดคือ $\sigma = 5$ หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ C โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1; 10; 100 และ 1,000 และกำหนดพารามิเตอร์อื่นดังนี้ $\varepsilon = 0.001$, $p = 13$ และ $\sigma = 5$

ตารางที่ 5.13 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

C	MSE
1	0.13867
10	0.13521
100	0.13975
1,000	0.18116



รูปที่ 5.12 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า C ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดที่ $C = 10$ ดังนั้นสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับตัวทำนาย SVR สำหรับกรณีที่สัญญาณมี ค่า SNR = 0 dB และมีความเร็วเครื่องลูกข่ายที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ดังตารางที่ 5.17

5.1.4.2 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

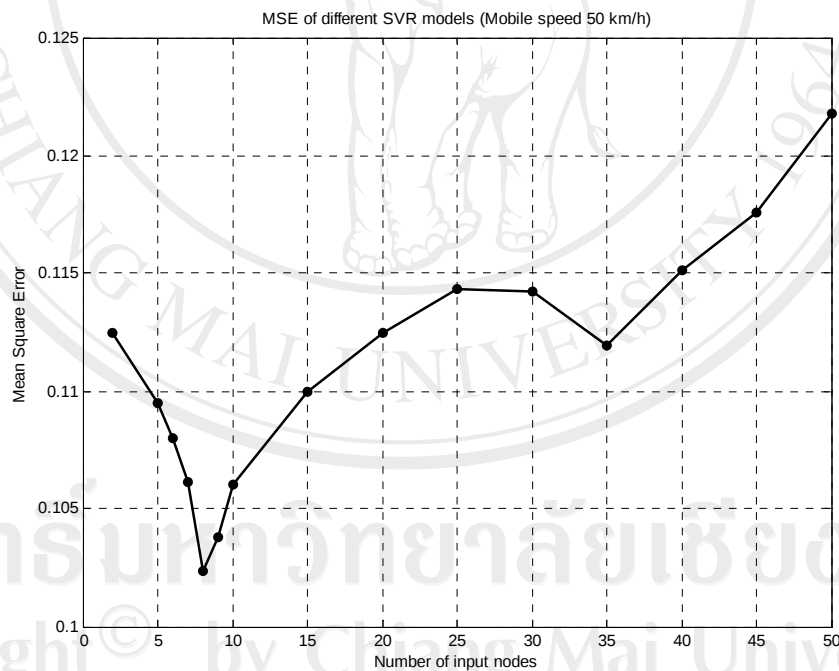
การหาแบบจำลองที่เหมาะสมจะทำตามวิธีการเดียวกับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ข้อมูลสัญญาณจะเกิดจากเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงชุดเดียวกับข้อมูลสัญญาณโครงข่ายประสาท มีการกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นไว้ดังนี้

- พารามิเตอร์กำหนดค่าการเรียนรู้ (σ) เป็น 0.5
- ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ε) เป็น 0.001
- พารามิเตอร์ควบคุมความคลาดเคลื่อน (C) เป็น 10

จากการทดสอบโดยใช้ข้อมูลค่าย้อนหลังค่าต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ 2, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 40, 45 และ 50 ค่าย้อนหลัง โดยทำการหาค่า MSE อย่างละเอียดเมื่อเข้าใกล้ค่าต่ำสุด ซึ่งในการทดลองนี้คือค่า 6, 7, 8 และ 9 แล้ววัดสมรรถนะของแบบจำลอง สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p)
ของตัวทำนาย SVR ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

p	MSE	p	MSE
2	0.11248	20	0.11248
5	0.10949	25	0.11436
6	0.10801	30	0.11424
7	0.10614	35	0.11195
8	0.10237	40	0.11514
9	0.10379	45	0.1176
10	0.10606	50	0.1218
15	0.10999		

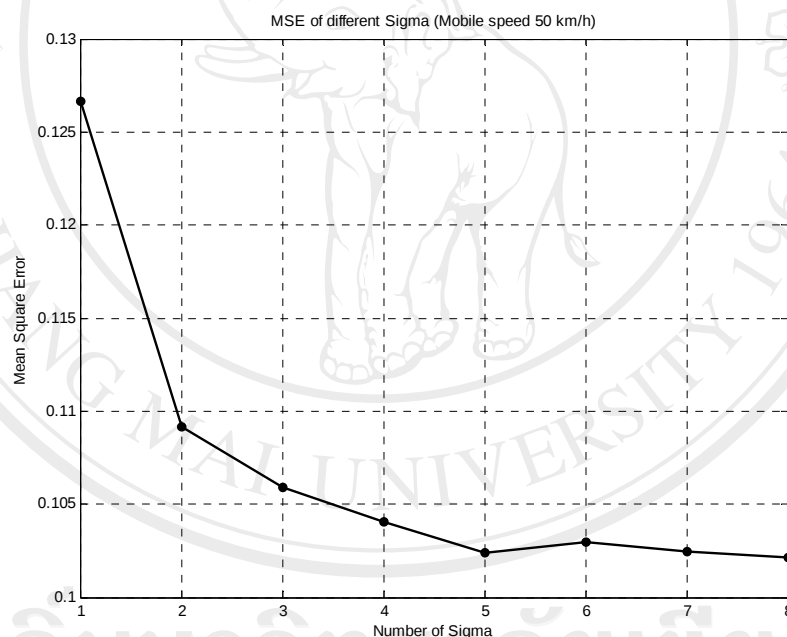


รูปที่ 5.13 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่าข้อมูลย้อนหลังที่ให้ค่า MSE ต่ำที่สุดคือจำนวน 8 ค่า ต่อมาจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ σ โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., 8 ซึ่งขั้นตอนนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์อื่นดังนี้ $\varepsilon = 0.001$, $p = 8$ และ $C = 10$

ตารางที่ 5.15 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

σ	MSE
1	0.28919
2	0.22868
3	0.14433
4	0.13906
5	0.13521
6	0.13554
7	0.13735
8	0.13832



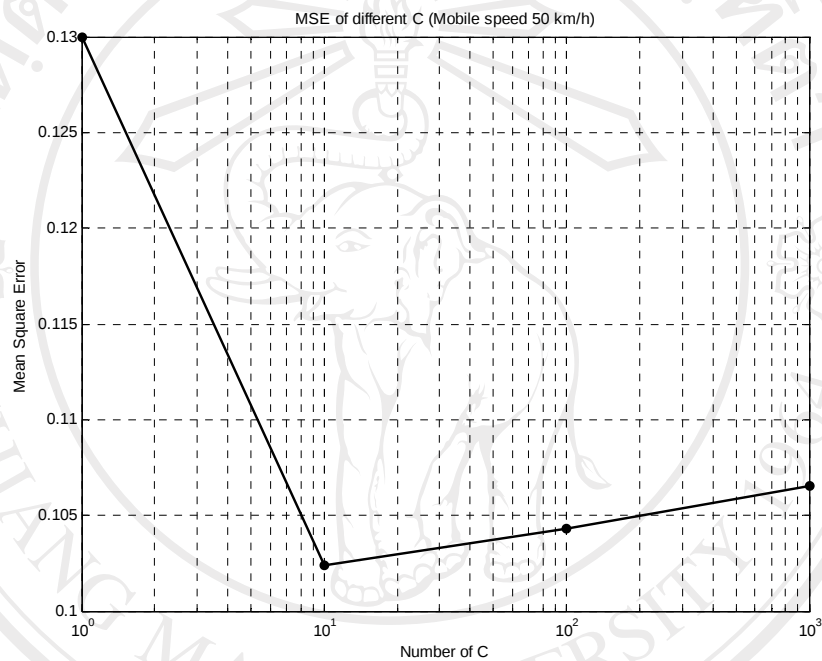
รูปที่ 5.14 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR

ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า σ ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดคือ $\sigma = 5$ หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ C โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1; 10; 100 และ 1,000 และกำหนดพารามิเตอร์อื่นดังนี้ $\varepsilon = 0.001$, $p = 8$ และ $\sigma = 5$

ตารางที่ 5.16 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

C	MSE
1	0.13867
10	0.13521
100	0.13975
1,000	0.18116



รูปที่ 5.15 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า C ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดที่ $C = 10$ ดังนั้นสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับตัวทำนาย SVR สำหรับกรณีที่สัญญาณมี ค่า SNR = 0 dB และมีความเร็วเครื่องลูกข่ายที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR

	5 km/h	50 km/h
จำนวนค่าย้อนหลัง (p)	13	8
ε	0.001	0.001
σ	5	5
C	10	10

5.2 ผลการทำนายของตัวทำนายทั้งสี่แบบ

หลังจากที่ได้ทำการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนายแต่ละแบบ ต่อมาจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวทำนายกับชุดข้อมูลที่ยังไม่เคยเห็น โดยกำหนดให้ชุดข้อมูลนี้มีจำนวน 1,500 ค่า จำนวนทั้งหมด 30 ชุด รวมเป็น 45,000 ค่าทดสอบ สำหรับเครื่องลูกข่ายที่ความเร็ว 5 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถสร้างจากแบบจำลองของ Jakes นำมาทดสอบกับตัวทำนายที่ได้สร้างขึ้นมาและทำการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า SNR_{gain} ได้ผลตามตารางที่ 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.18 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนายทั้งสี่แบบ สำหรับกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ชุดทดสอบ	ค่า SNR_{gain} จากตัวทำนาย			
	Adaline	MLP	Hybrid	SVR
1	9.91	9.22	9.70	10.08
2	9.66	8.94	8.38	10.21
3	11.16	11.43	12.24	11.99
4	8.60	8.64	9.88	7.77
5	11.36	10.01	10.21	10.17
6	8.21	8.76	8.59	9.37
7	7.02	8.09	8.06	7.36
8	11.03	10.38	10.55	10.76
9	9.17	10.83	10.25	11.92
10	10.00	9.66	10.12	7.33
11	7.07	8.06	7.02	9.37
12	5.40	6.10	5.63	8.27
13	12.55	11.53	12.28	11.89
14	9.31	9.79	9.65	12.19
15	10.80	10.70	10.68	9.65
16	8.56	8.69	9.28	9.36
17	9.08	10.15	9.18	9.97
18	10.38	10.04	10.90	11.07

19	7.17	7.77	7.52	9.16
20	6.03	7.37	7.60	9.11
21	9.39	9.75	10.42	9.92
22	10.62	11.49	10.59	11.84
23	9.03	9.39	9.43	10.53
24	8.67	9.26	8.89	11.28
25	8.92	9.01	9.28	10.02
26	11.08	10.23	11.50	11.99
27	9.44	9.56	9.76	9.20
28	7.59	8.70	8.60	9.19
29	8.47	9.26	9.91	11.67
30	8.25	9.65	9.53	10.79

ตารางที่ 5.19 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนายทั้งสี่แบบ สำหรับกรณีเครื่องถูกย้ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

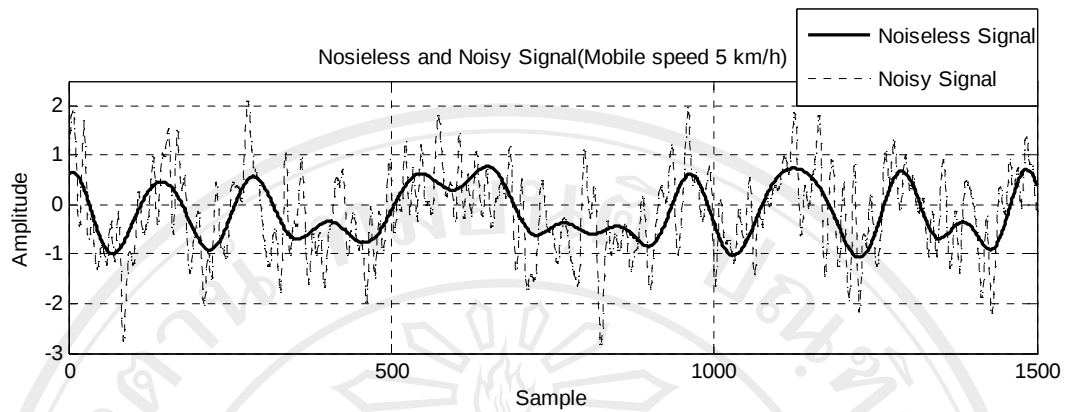
ชุดทดสอบ	ค่า SNR_{gain} จากตัวทำนาย			
	Adaline	MLP	Hybrid	SVR
1	-2.64	-5.76	-7.70	-2.98
2	-0.32	-2.72	-4.88	-1.45
3	-0.69	-1.19	-3.81	1.13
4	1.75	0.23	-2.34	2.23
5	2.87	1.92	-0.91	3.11
6	5.98	4.43	1.83	7.51
7	7.86	6.25	4.00	6.62
8	9.92	8.60	6.76	9.74
9	10.86	9.36	8.12	10.27
10	14.52	12.04	12.45	12.98
11	17.04	14.59	16.60	17.24
12	19.83	16.08	21.52	19.23

13	22.01	17.57	26.89	27.37
14	21.62	17.43	25.37	25.45
15	18.90	15.67	19.70	20.44
16	15.74	14.47	14.46	14.57
17	13.04	11.77	10.92	12.27
18	-3.60	-6.97	-8.76	-2.01
19	-2.22	-5.24	-7.13	-1.14
20	-0.41	-3.28	-5.28	-0.40
21	1.58	-0.53	-3.13	0.92
22	3.08	1.75	-0.96	2.78
23	5.55	4.03	1.45	5.03
24	6.20	5.08	2.57	7.59
25	8.76	7.36	5.19	7.99
26	10.29	9.22	7.51	9.84
27	12.67	10.97	10.27	10.76
28	15.33	13.33	13.69	13.73
29	18.93	16.31	20.03	17.14
30	20.35	16.58	24.00	20.54

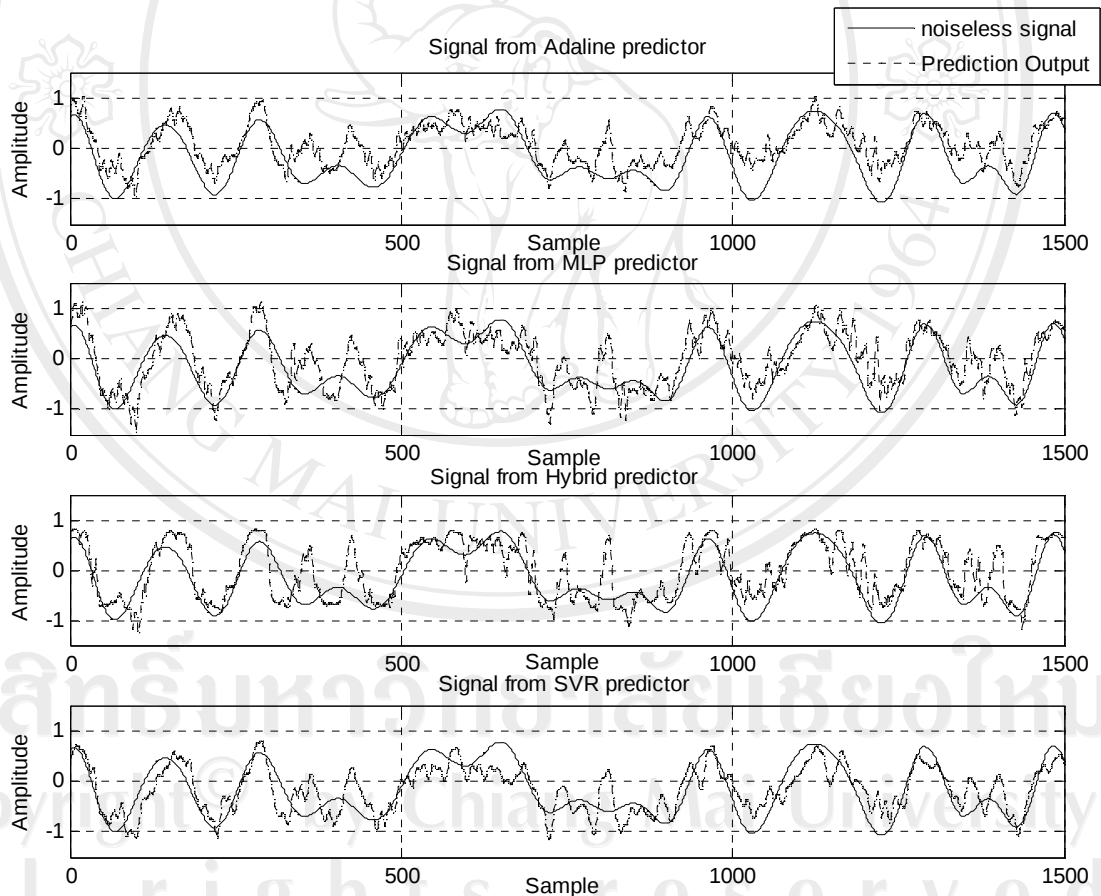
จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนำมาหาค่าเฉลี่ยของ SNR_{gain} ที่ได้ตามตารางที่ 5.20 และจากรูปที่ 5.17 และ 5.19 เป็นรูปตัวอย่างสัญญาณจากชุดข้อมูลชุดหนึ่ง เป็นสัญญาณที่ได้จากการทำนายของเครื่องถูกย้ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

ตารางที่ 5.20 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} เฉลี่ยจากตัวทำนายทั้งสี่แบบ

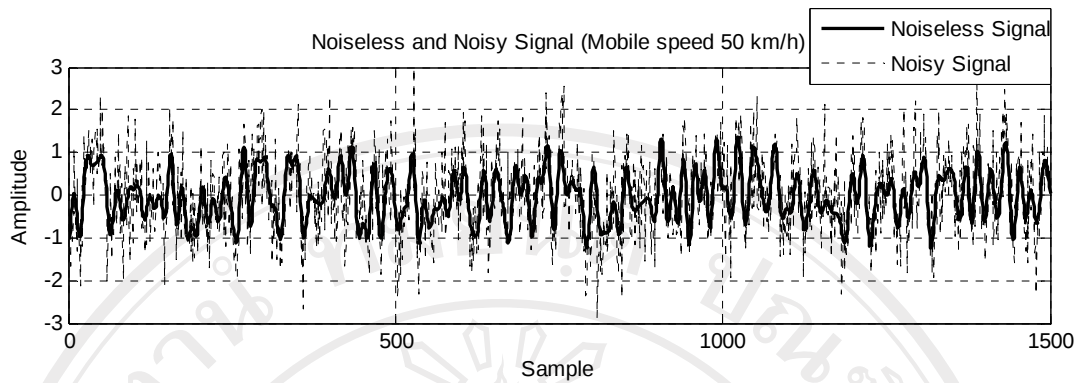
ตัวทำนาย	ค่า SNR_{gain}	
	5 km/h	50 km/h
Adaline	9.13	9.16
MLP	9.42	6.98
Hybrid	9.52	6.95
SVR	10.11	9.28



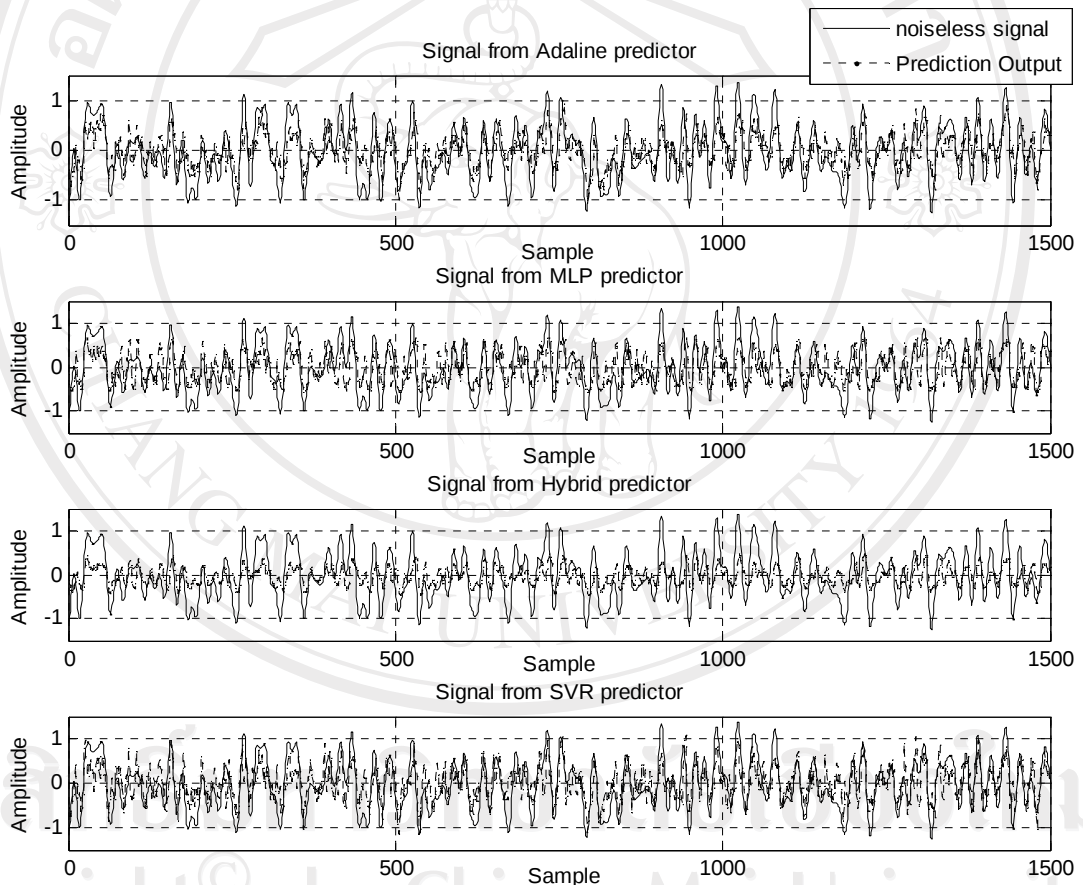
รูปที่ 5.16 ตัวอย่างสัญญาณที่ใช้ทดสอบสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.17 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนายสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.18 ตัวอย่างสัญญาณที่ใช้ทดสอบสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.19 ตัวอย่างสัญญาณจากการทำนายสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เมื่อพิจารณาผลการทำนายค่าสัญญาณจากตัวทำนายทั้งสี่แบบ พบว่าตัวทำนาย SVR ให้การทำนายที่ดีกว่าตัวทำนายแบบโครงข่ายประสาท โดยเมื่อความเร็วเครื่องลูกข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้การทำนายมีความถูกต้องลดลง

5.3 ความจุของระบบ

จากการทำนายโดยตัวทำนายทั้ง 4 แบบคือ ตัวทำนาย Adaline ตัวทำนาย MLP ตัวทำนาย Hybrid และตัวทำนาย SVR พบว่าสามารถได้ผลที่ดีโดยใกล้เคียงกับค่าสัญญาณจริง ซึ่งตัวทำนาย SVR ให้ค่าที่ดีที่สุดเมื่อวัดประสิทธิภาพด้วยค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ดังนั้นเพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบซีดีเอ็มเอที่ชัดเจนขึ้น จะพิจารณาความจุของระบบที่เพิ่มขึ้นโดยอ้างอิงจากหัวข้อ 2.8 ที่ได้กล่าวมาแล้ว

กำหนดให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอแบบไคเรกซ์ซีเควนซ์ (DS-SS) มีการรับข้อมูลด้วยอัตรา 10 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) มีอัตราชิปส์เป็น 10 เมกะชิปส์ต่อวินาที (Mchips/s) และค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน $(E/N_0)_{\min}$ ที่ระบบยังสามารถทำงานได้คืออยู่ที่ 9 เดซิเบล (dB) ซึ่งในงานวิจัยนี้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ได้จากการทดลองต่างๆ เป็นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจากเครื่องลูกข่ายเครื่องเดียว $(E/N_0)_S$ จึงสามารถคำนวณหาจำนวนผู้ใช้ที่มากที่สุดในระบบได้จากสมการ 2.15

$$N_{\max} = 1 + K \left[\frac{(E/N_0)_S - (E/N_0)_{\min}}{(E/N_0)_S (E/N_0)_{\min}} \right]$$

จาก $(E/N_0)_{\min} = 9$ dB แปลงหน่วยค่าอัตราส่วนจากหน่วย dB ไปเป็นหน่วยอัตราส่วนปกติจาก $\left(\frac{E}{N_0}\right)_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{E}{N_0}\right)$ จะได้ $(E/N_0)_{\min} = 7.94$ และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจากเครื่องลูกข่ายเครื่องเดียว $(E/N_0)_S$ ซึ่งหมายถึงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณรบกวนขาวแบบเกาส์โดยจะพิจารณาจากตารางที่ 5.20 และสำหรับค่าอัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain : K) จะหาได้จาก $K = (10^7/10^4) = 1,000$ เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ 2.15 จะได้ผลดังตารางที่ 5.21

5.3.1 ความจุของระบบกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1) ตัวทำนาย Adaline

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 9.13 \text{ dB} = 8.18$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{8.18 - 7.94}{8.18 \times 7.94} \right] = 4.7 \approx 4$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 4

2) ตัวทำนาย MLP

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 9.42 \text{ dB} = 8.75$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{8.75 - 7.94}{8.75 \times 7.94} \right] = 12.6 \approx 12$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 12

3) ตัวทำนาย Hybrid

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 9.52 \text{ dB} = 8.95$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{8.95 - 7.94}{8.95 \times 7.94} \right] = 15.21 \approx 15$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 15

4) ตัวทำนาย SVR

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 10.11 \text{ dB} = 10.26$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{10.26 - 7.94}{10.26 \times 7.94} \right] = 29.48 \approx 29$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 29

5.3.2 ความจุของระบบกรณีเครื่องถูกขยับเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1) ตัวทำนาย Adaline

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 9.16 \text{ dB} = 8.24$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{8.24 - 7.94}{8.24 \times 7.94} \right] = 5.59 \approx 5$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 5

2) ตัวทำนาย MLP

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 6.98 \text{ dB}$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $(E/N_0)_{\min}$ ที่กำหนดไว้ที่ 9 dB ดังนั้นระบบในสถานะนี้ใช้งานไม่ได้

3) ตัวทำนาย Hybrid

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 6.95 \text{ dB}$ ซึ่งน้อยกว่าค่า $(E/N_0)_{\min}$ ที่กำหนดไว้ที่ 9 dB ดังนั้นระบบในสถานะนี้ใช้งานไม่ได้เช่นกัน

4) ตัวทำนาย SVR

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 9.28 \text{ dB} = 8.47$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{8.47 - 7.94}{8.47 \times 7.94} \right] = 8.88 \approx 8$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 8

ตารางที่ 5.21 ค่าความจุของระบบจากผลการทำนายของตัวทำนายทั้งสี่แบบ

ตัวทำนาย	จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุด ($N_{\max}$)	
	5 km/h	50 km/h
Adaline	4	5
MLP	12	-
Hybrid	15	-
SVR	29	8

จากตารางที่ 5.20 และ 5.21 จะพบว่าเมื่อตัวทำนายสามารถทำนายค่าสัญญาณได้ดีขึ้น ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจะมีค่ามากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ระบบมีความจุหรือจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น และจากการที่ตัวทำนาย SVR สามารถทำนายได้ดีกว่าตัวทำนายแบบอื่น ทำให้จำนวนผู้ใช้ที่ทำนายจากตัวทำนาย SVR มีจำนวนมากที่สุดจากตัวทำนายทั้งสี่แบบนี้

5.4 ตัวทำนาย SVR โดยใช้หลักการของครอสแวลิดชันแบบ 5 กลุ่ม

จากการทดลองที่ผ่านมาจะเป็นการเลือกแบบจำลองโดยใช้วิธีการดังหัวข้อ 4.2.1 ซึ่งพบว่าตัวทำนาย SVR ให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าตัวทำนายโครงข่ายประสาท อย่างไรก็ตามปัญหาอย่างหนึ่งในการหาแบบจำลองก็คือการโอเวอร์ฟิต (Over-Fitting) หมายถึงการที่แบบจำลองสามารถทำนายข้อมูลชุดสอนได้ดีมาก แต่เมื่อนำไปทำนายข้อมูลชุดทดสอบที่ไม่เคยเห็น (Blind Test Set) กลับได้ผลการทำนายที่ไม่ดี ซึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนิยมการทำครอสแวลิดชัน (Cross Validation : CV) ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงนำเสนอการเลือกแบบจำลองของตัวทำนาย SVR โดยใช้หลักการของครอสแวลิดชันซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แบบ 5 กลุ่ม และต่อไปนี้จะเรียกว่า ตัวทำนาย SVR (5-fold CV) โดยใช้ข้อมูลชุดสอนและชุดทดสอบชุดเดียวกันกับการทดลองกับตัวทำนาย 4 แบบก่อนหน้านี้ เมื่อได้แบบจำลองที่เหมาะสมแล้วจะนำไปทดสอบชุดข้อมูลที่ยังไม่เคยเห็นเพื่อหาอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

5.4.1 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้หลักการของคอสแวลิเคชันแบบ 5 กลุ่ม

ในขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบตัวทำนาย Support Vector Regression (SVR) โดยใช้หลักการคอสแวลิเคชันแบบ 5 กลุ่มในการหาแบบจำลองที่เหมาะสมและวัดเกณฑ์สมรรถนะโดยใช้ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) โดยใช้ข้อมูลสัญญาณจำนวน 1500 ค่าสัญญาณ และกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- พารามิเตอร์กำหนดค่าการเรียนรู้ (σ) เป็น 0.5
- ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ε) เป็น 0.001
- พารามิเตอร์ควบคุมความคลาดเคลื่อน (C) เป็น 100,000

ทำการฝึกสอนข้อมูล โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังค่าต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ค่าย้อนหลัง และเพื่อเปรียบเทียบกับตัวทำนายโครงข่ายประสาทจึงมีการทดสอบเพิ่ม คือ 11, 16, 17, 18, 19 ค่าย้อนหลัง ซึ่งเมื่อฝึกสอนแล้วจะนำแบบจำลองที่ได้มาทดสอบ โดยกำหนดการทดสอบไว้ 3 แบบคือ

Set1 คือ การทดสอบกับ 1 ส่วนที่ยังไม่เคยฝึกสอน

Set2 คือ การทดสอบกับทั้ง 5 ส่วน

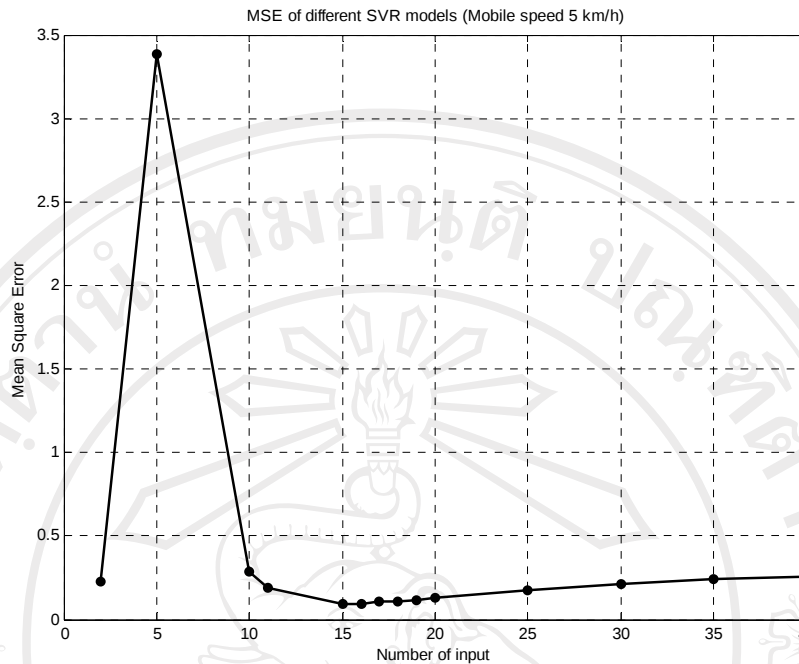
Set3 คือ การทดสอบกับ 4 ส่วนที่ผ่านการฝึกสอนแล้ว

ตารางที่ 5.22 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p) ของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จำนวนข้อมูลย้อนหลัง	No.	set1	set2	set3
$p = 2$	1.	2.2776e-001	2.1921e-001	2.1700e-001
	2.	2.5061e-001	2.1938e-001	2.1067e-001
	3.	2.7433e-001	2.2494e-001	2.1229e-001
	4.	6.3497e-001	2.9857e-001	2.1131e-001
	5.	3.1211e-001	2.3327e-001	2.1351e-001
$p = 5$	1.	5.8711e+000	1.2046e+000	3.7898e-002
	2.	3.3857e+000	7.3134e-001	3.2446e-002
	3.	4.0811e+000	8.5134e-001	3.5875e-002
	4.	7.4567e+000	1.5633e+000	3.5930e-002
	5.	4.1577e+001	8.3555e+000	3.6038e-002

$p = 10$	1.	5.1004e-001	1.0209e-001	1.0000e-004
	2.	4.1166e-001	8.5615e-002	9.7437e-005
	3.	3.5245e-001	7.0969e-002	9.6964e-005
	4.	3.5147e-001	7.1559e-002	9.7767e-005
	5.	2.8590e-001	5.7318e-002	9.8020e-005
$p = 11$	1.	2.0194e-001	4.0543e-002	9.6273e-005
	2.	2.0630e-001	4.1850e-002	9.6645e-005
	3.	2.2362e-001	4.4956e-002	9.6815e-005
	4.	1.9068e-001	3.8214e-002	9.8222e-005
	5.	2.1686e-001	4.3481e-002	9.6746e-005
$p = 15$	1.	1.0312e-001	2.0700e-002	1.0102e-004
	2.	9.1704e-002	1.8464e-002	9.4730e-005
	3.	1.0809e-001	2.1688e-002	9.5238e-005
	4.	1.0326e-001	2.0543e-002	9.5612e-005
	5.	9.6131e-002	1.9296e-002	9.5555e-005
$p = 16$	1.	1.0822e-001	2.1721e-002	1.0131e-004
	2.	8.9920e-002	1.7971e-002	9.4963e-005
	3.	1.0699e-001	2.1453e-002	9.5346e-005
	4.	1.0771e-001	2.1381e-002	9.5242e-005
	5.	1.0126e-001	2.0320e-002	9.5329e-005
$p = 17$	1.	1.1818e-001	2.3640e-002	9.7832e-005
	2.	1.0767e-001	2.1446e-002	9.6330e-005
	3.	1.2602e-001	2.5158e-002	1.0024e-004
	4.	1.0776e-001	2.1291e-002	9.6148e-005
	5.	1.1318e-001	2.2633e-002	9.6408e-005
$p = 18$	1.	1.4243e-001	2.8529e-002	9.6520e-005
	2.	1.0753e-001	2.1417e-002	9.6079e-005
	3.	1.1299e-001	2.2609e-002	9.6308e-005
	4.	1.2446e-001	2.4969e-002	1.0291e-004
	5.	1.2225e-001	2.4518e-002	9.6608e-005
$p = 19$	1.	1.3509e-001	2.7095e-002	1.0285e-004
	2.	1.1753e-001	2.3461e-002	9.6518e-005
	3.	1.2994e-001	2.6014e-002	9.6985e-005
	4.	1.3077e-001	2.5965e-002	9.6985e-005
	5.	1.2101e-001	2.4269e-002	9.6810e-005

$p = 20$	1.	1.4604e-001	2.9286e-002	1.0331e-004
	2.	1.2825e-001	2.5634e-002	9.6901e-005
	3.	1.3910e-001	2.7845e-002	9.6695e-005
	4.	1.3901e-001	2.7604e-002	9.7372e-005
	5.	1.3067e-001	2.6201e-002	9.6932e-005
$p = 25$	1.	1.9578e-001	3.9235e-002	1.0535e-004
	2.	1.7850e-001	3.5890e-002	9.8445e-005
	3.	1.8328e-001	3.6675e-002	9.8763e-005
	4.	1.8598e-001	3.7065e-002	9.8396e-005
	5.	1.7603e-001	3.5273e-002	9.8304e-005
$p = 30$	1.	2.2633e-001	4.5346e-002	1.0618e-004
	2.	2.1620e-001	4.3601e-002	9.8966e-005
	3.	2.1764e-001	4.3545e-002	9.8824e-005
	4.	2.2709e-001	4.5378e-002	9.9132e-005
	5.	2.1406e-001	4.2882e-002	9.9126e-005
$p = 35$	1.	2.4832e-001	4.9743e-002	1.0636e-004
	2.	2.3991e-001	4.8445e-002	9.9271e-005
	3.	2.4239e-001	4.8502e-002	9.9236e-005
	4.	2.5657e-001	5.1335e-002	9.9143e-005
	5.	2.4136e-001	4.8344e-002	9.9426e-005
$p = 40$	1.	2.6470e-001	5.3020e-002	1.0655e-004
	2.	2.5583e-001	5.1706e-002	9.9380e-005
	3.	2.6011e-001	5.2053e-002	9.9395e-005
	4.	2.7808e-001	5.5680e-002	9.9411e-005
	5.	2.6134e-001	5.2340e-002	9.9457e-005

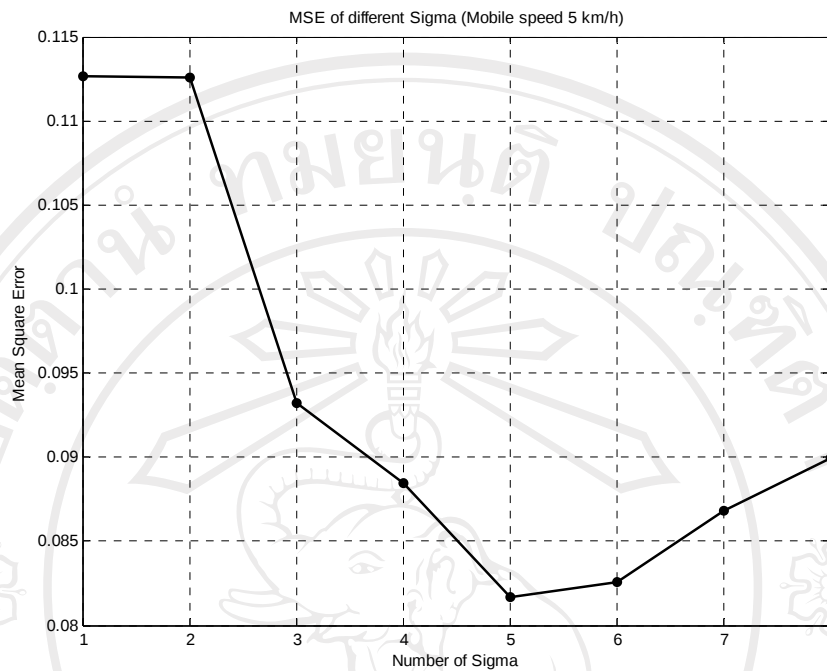


รูปที่ 5.20 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากการทดสอบพบว่าข้อมูลย้อนหลัง (p) จำนวน 16 ค่า จะให้ค่า MSE ต่ำที่สุด ที่ส่วน (Fold) No.2 คือ $8.9920\text{e-}02$ และสำหรับงานวิจัยนี้ จะกำหนดค่าการทำนายที่ยอมรับได้ (ε) ที่ ทศนิยม 2 ตำแหน่ง นั่นคือ $\varepsilon = 0.001$ ต่อมาจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ σ โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., 8 ($\varepsilon = 0.001$, $p = 16$)

ตารางที่ 5.23 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องถูกขยับความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

σ	MSE
1	1.1267e-001
2	1.1258e-001
3	9.3252e-002
4	8.8447e-002
5	8.1690e-002
6	8.2583e-002
7	8.6791e-002
8	8.9935e-002

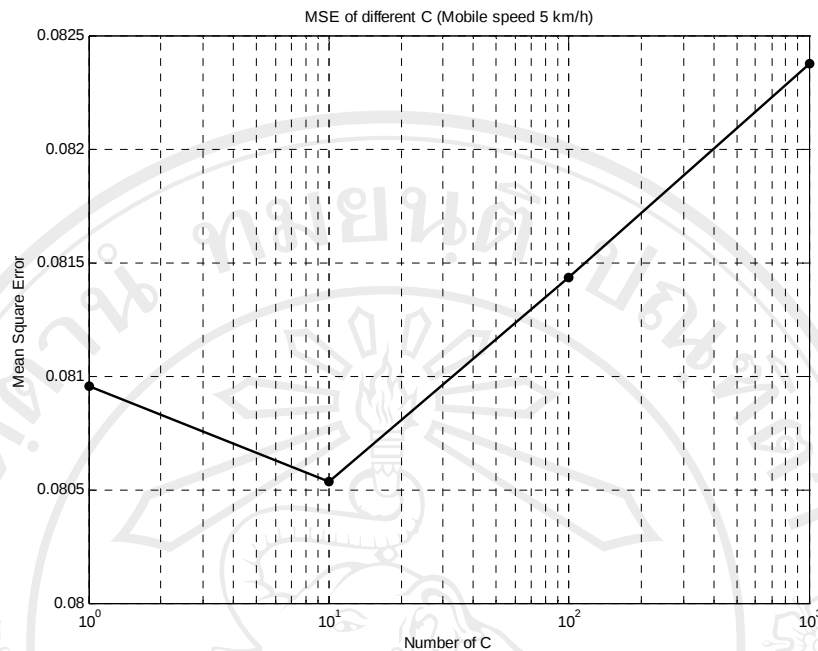


รูปที่ 5.21 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า σ ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดที่ $\sigma = 5$ โดยมีค่า MSE = 8.1690e-002 หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ C โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1; 10; 100 และ 1,000 ($\varepsilon = 0.001$, $p = 16$ และ $\sigma = 5$)

ตารางที่ 5.24 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

C	MSE
1	8.0954e-002
10	8.0532e-002
100	8.1436e-002
1,000	8.2376e-002



รูปที่ 5.22 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า C ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดที่ $C = 10$ โดยมีค่า $MSE = 8.0532e-002$ ดังนั้นสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับตัวทำนาย SVR สำหรับกรณีที่สัญญาณมีค่า SNR = 0 dB และมีความเร็วเครื่องลูกข่ายที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ดังตารางที่ 5.28

5.4.2 การหาแบบจำลองสำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้หลักการของครอสเวลิเดชันแบบ 5 กลุ่ม

สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีวิธีการหาแบบจำลองที่เหมาะสมเหมือนกับกรณีเครื่องลูกข่ายมีความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้จำนวนข้อมูลสัญญาณ 1500 ค่า และกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- พารามิเตอร์กำหนดค่าการเรียนรู้ (σ) เป็น 5
- ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ε) เป็น 0.001
- พารามิเตอร์ควบคุมความคลาดเคลื่อน (C) เป็น 10

ทำการฝึกสอนข้อมูล โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังค่าต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ค่าย้อนหลัง และเพื่อเปรียบเทียบกับตัวทำนายโครงข่ายประสาทจึงมีการทดสอบเพิ่ม คือ 16, 17, 18 ค่าย้อนหลัง ซึ่งเมื่อฝึกสอนแล้วจะนำแบบจำลองที่ได้มาทดสอบ โดยกำหนดการทดสอบไว้ 3 แบบคือ

Set1 คือ การทดสอบกับ 1 ส่วนที่ยังไม่เคยฝึกสอน

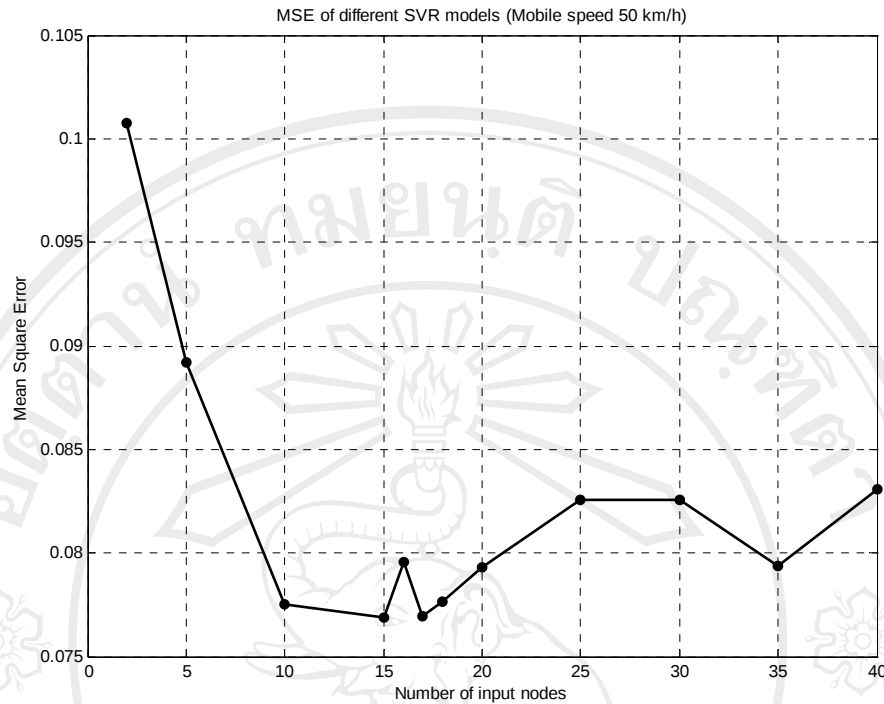
Set2 คือ การทดสอบกับทั้ง 5 ส่วน

Set3 คือ การทดสอบกับ 4 ส่วนที่ผ่านการฝึกสอนแล้ว

ตารางที่ 5.25 ค่า MSE จากการทดลองเปลี่ยนค่าจำนวนข้อมูลย้อนหลัง (p)
ของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องถูกขายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จำนวนข้อมูลย้อนหลัง	No.	set1	set2	set3
$p = 2$	1.	1.1219e-001	1.1085e-001	1.1083e-001
	2.	1.1085e-001	1.1144e-001	1.1125e-001
	3.	1.1760e-001	1.1043e-001	1.0871e-001
	4.	1.1557e-001	1.1082e-001	1.0966e-001
	5.	1.0073e-001	1.1065e-001	1.1300e-001
$p = 5$	1.	9.7645e-002	9.6464e-002	9.6582e-002
	2.	9.6841e-002	9.6206e-002	9.5837e-002
	3.	1.0516e-001	9.6203e-002	9.3765e-002
	4.	9.6520e-002	9.5891e-002	9.5987e-002
	5.	8.9216e-002	9.6425e-002	9.7864e-002
$p = 10$	1.	9.4232e-002	8.6968e-002	8.5328e-002
	2.	9.0950e-002	8.7249e-002	8.6064e-002
	3.	1.0115e-001	8.6659e-002	8.2819e-002
	4.	8.5588e-002	8.6702e-002	8.7179e-002
	5.	7.7525e-002	8.7034e-002	8.9437e-002
$p = 15$	1.	9.2596e-002	8.4210e-002	8.2482e-002
	2.	9.7020e-002	8.4715e-002	8.1385e-002
	3.	1.0286e-001	8.4094e-002	7.9204e-002
	4.	8.2018e-002	8.4232e-002	8.4949e-002
	5.	7.6913e-002	8.4684e-002	8.6740e-002
$p = 16$	1.	9.2062e-002	8.3225e-002	8.1244e-002
	2.	9.2942e-002	8.3607e-002	8.1029e-002
	3.	1.0275e-001	8.3065e-002	7.7974e-002
	4.	8.3130e-002	8.3899e-002	8.3996e-002
	5.	7.9574e-002	8.3927e-002	8.5075e-002

$p = 17$	1.	8.9865e-002	8.2099e-002	8.0294e-002
	2.	9.2248e-002	8.2572e-002	7.9898e-002
	3.	1.0474e-001	8.2464e-002	7.6503e-002
	4.	8.3689e-002	8.2398e-002	8.2075e-002
	5.	7.6973e-002	8.2421e-002	8.3794e-002
$p = 18$	1.	8.8507e-002	8.1045e-002	7.9285e-002
	2.	9.0877e-002	8.1565e-002	7.9000e-002
	3.	1.0569e-001	8.1282e-002	7.4832e-002
	4.	8.3425e-002	8.1150e-002	8.0638e-002
	5.	7.7676e-002	8.1641e-002	8.2580e-002
$p = 20$	1.	9.1255e-002	8.0222e-002	7.7473e-002
	2.	9.0444e-002	8.0050e-002	7.7235e-002
	3.	1.0631e-001	8.0691e-002	7.3982e-002
	4.	8.2424e-002	7.9594e-002	7.8927e-002
	5.	7.9324e-002	8.0412e-002	8.0665e-002
$p = 25$	1.	9.6106e-002	7.8341e-002	7.3832e-002
	2.	9.0925e-002	7.7447e-002	7.3809e-002
	3.	1.0482e-001	7.7730e-002	7.0603e-002
	4.	8.6686e-002	7.7013e-002	7.4660e-002
	5.	8.2585e-002	7.8415e-002	7.7312e-002
$p = 30$	1.	9.6727e-002	7.5363e-002	6.9963e-002
	2.	9.6695e-002	7.4477e-002	6.8643e-002
	3.	1.0696e-001	7.4617e-002	6.6080e-002
	4.	8.6921e-002	7.4037e-002	7.0922e-002
	5.	8.2533e-002	7.4756e-002	7.2530e-002
$p = 35$	1.	9.7737e-002	7.0719e-002	6.4079e-002
	2.	9.5487e-002	7.0265e-002	6.3619e-002
	3.	1.0510e-001	7.0591e-002	6.1426e-002
	4.	9.0469e-002	7.0140e-002	6.4926e-002
	5.	7.9399e-002	6.9481e-002	6.6573e-002
$p = 40$	1.	1.0317e-001	6.7367e-002	5.8615e-002
	2.	9.9310e-002	6.6858e-002	5.8321e-002
	3.	1.1307e-001	6.7973e-002	5.5888e-002
	4.	9.3652e-002	6.7508e-002	6.0810e-002
	5.	8.3050e-002	6.5928e-002	6.1253e-002

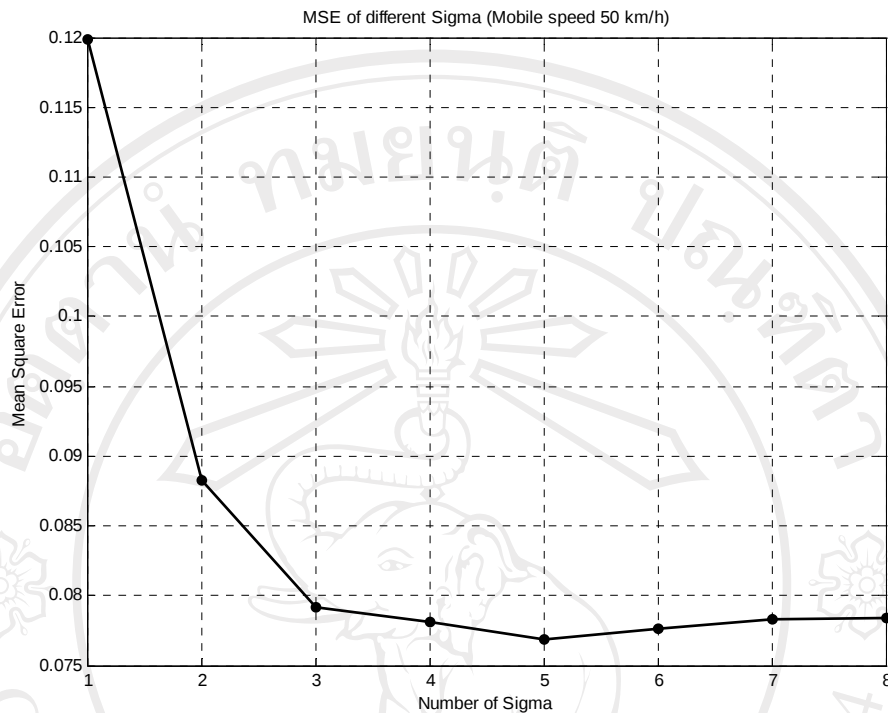


รูปที่ 5.23 การเลือกค่าย้อนหลัง (p) ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่า การที่ใช้ข้อมูลย้อนหลังจำนวนมากขึ้น ค่า MSE มีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่ง ค่า MSE จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกจุดที่ MSE ต่ำที่สุดนั่นก็คือ ใช้ข้อมูลย้อนหลังจำนวน (p) 15 ค่า เพื่อทำนายค่าถัดไป ซึ่งได้ MSE ต่ำสุดคือ $7.6913\text{e-}002$ ต่อมาจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ σ โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., 8 ($\varepsilon = 0.001$, $p = 15$)

ตารางที่ 5.26 การเปลี่ยนค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

σ	MSE
1	1.1983e-001
2	8.8233e-002
3	7.9142e-002
4	7.8149e-002
5	7.6913e-002
6	7.7652e-002
7	7.8260e-002
8	7.8388e-002

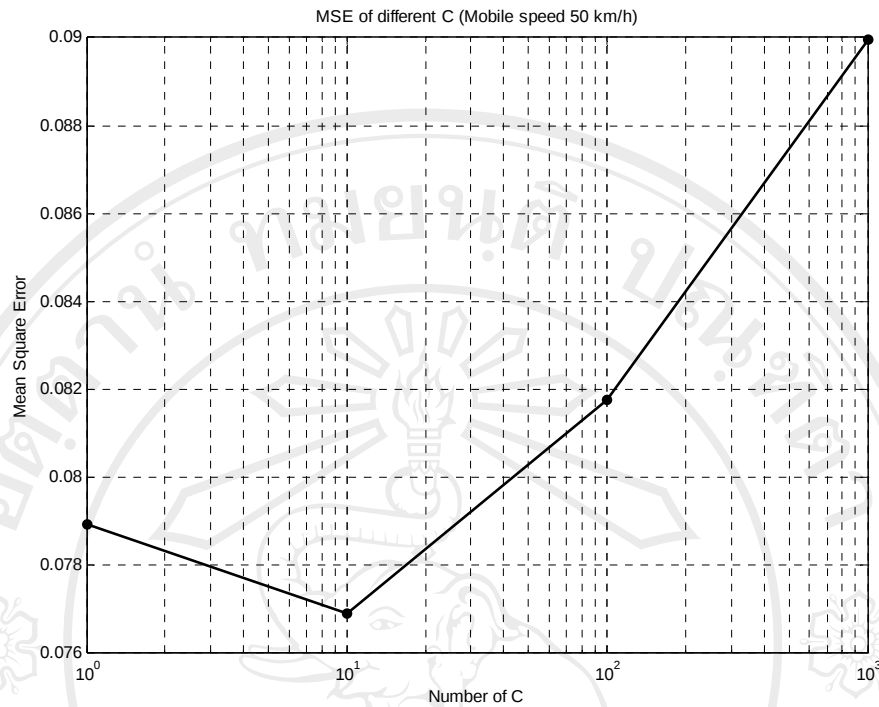


รูปที่ 5.24 การเลือกค่า σ ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า σ ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดที่ $\sigma = 5$ ดังเดิมโดยมีค่า $MSE = 7.6913e-002$ ต่อมาจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ C โดยเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 1; 10; 100 และ 1,000 ($\varepsilon = 0.001$, $p = 15$ และ $\sigma = 5$)

ตารางที่ 5.27 การเปลี่ยนค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)
ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

C	MSE
1	7.8947e-002
10	7.6913e-002
100	8.1772e-002
1,000	8.9952e-002



รูปที่ 5.25 การเลือกค่า C ที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ที่เครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พบว่าค่า C ที่ทำให้ MSE น้อยที่สุดที่ $C = 10$ ดังเดิมโดยมีค่า $MSE = 7.6913e-002$ ดังนั้นสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ของตัวทำนาย SVR ที่เหมาะสมสำหรับ สัญญาณที่มี $SNR = 0$ dB และมีความเร็วเครื่องลูกข่ายที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ดังตารางที่ 5.28

ตารางที่ 5.28 สรุปแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)

	5 km/h	50 km/h
จำนวนค่าย้อนหลัง (p)	16	15
ε	0.001	0.001
σ	5	5
C	10	10

5.4.3 ผลการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV)

หลังจากที่ได้ทำการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับตัวทำนาย SVR โดยใช้หลักการของครอสแวลิดะชันแบบ 5 กลุ่มแล้ว ต่อมาจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวทำนายกับชุดข้อมูลที่ยังไม่เคยเห็น โดยมีเงื่อนไขต่างๆ เช่นเดียวกับการทดสอบตัวทำนายก่อนหน้านี้ทั้งสี่แบบ

ตารางที่ 5.29 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนาย SVR (5-fold CV) สำหรับกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ชุดทดสอบ	ค่า SNR_{gain}	ชุดทดสอบ	ค่า SNR_{gain}
1	11.07	16	10.36
2	10.84	17	10.04
3	13.50	18	12.25
4	9.22	19	10.54
5	10.57	20	10.20
6	10.72	21	10.01
7	8.62	22	12.87
8	11.74	23	11.39
9	12.64	24	12.37
10	8.65	25	10.91
11	10.43	26	14.05
12	8.90	27	9.96
13	13.05	28	10.29
14	13.44	29	12.89
15	10.50	30	11.52

ตารางที่ 5.30 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ที่ทดสอบกับตัวทำนาย SVR (5-fold CV)

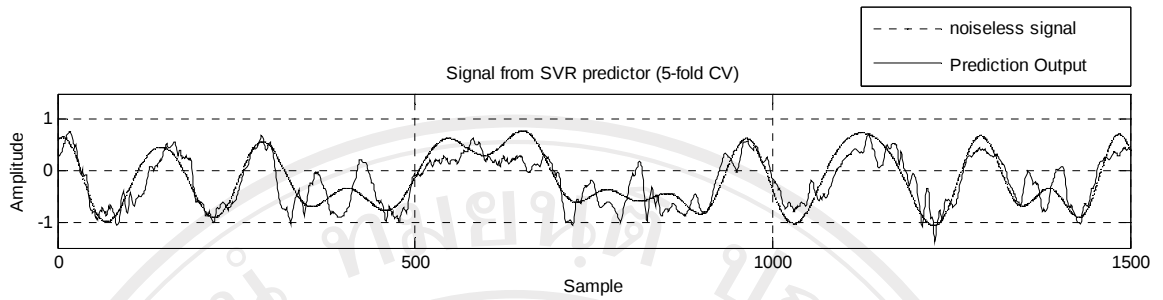
สำหรับกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ชุดทดสอบ	ค่า SNR_{gain}	ชุดทดสอบ	ค่า SNR_{gain}
1	-11.38	16	16.55
2	-3.98	17	13.33
3	-2.14	18	-13.30
4	2.06	19	-9.97
5	2.37	20	-3.78
6	7.17	21	-1.71
7	7.24	22	4.18
8	10.17	23	6.03
9	11.46	24	8.32
10	14.49	25	8.99
11	17.89	26	11.14
12	24.09	27	13.30
13	33.77	28	15.79
14	30.16	29	21.25
15	21.05	30	28.46

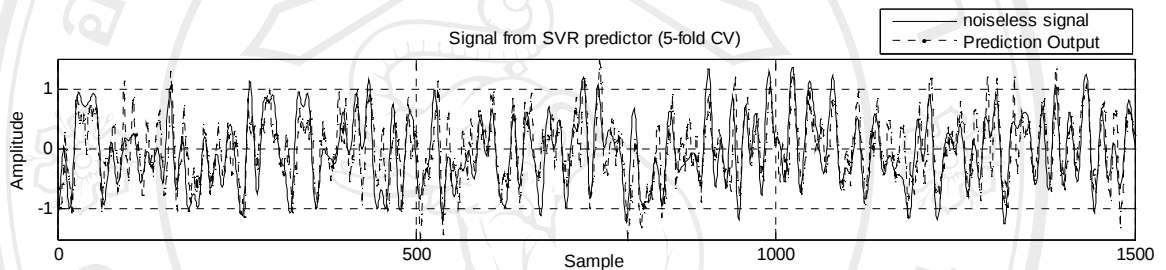
จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนำมาหาค่าเฉลี่ยของ SNR_{gain} ที่ได้ตามตารางที่ 5.31 และจากรูปที่ 5.26 และ 5.27 เป็นรูปตัวอย่างสัญญาณจากชุดข้อมูลชุดหนึ่งซึ่งเป็นชุดเดียวกันกับรูปที่ 5.16 และ 5.18 เป็นผลสัญญาณที่ได้จากการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

ตารางที่ 5.31 ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} เฉลี่ยจากตัวทำนาย SVR (5-fold CV)

ตัวทำนาย	ค่า SNR_{gain}	
	5 km/h	50 km/h
SVR (5-fold CV)	11.12	9.43



รูปที่ 5.26 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV)
สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.27 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV)
สำหรับเครื่องลูกข่ายความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.4.4 ความจุของระบบจากตัวทำนาย SVR (5-fold CV)

การหาค่าความจุของระบบ โดยแบ่งเป็นกรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถหาได้ดังนี้

- 1) กรณีเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 11.12 \text{ dB} = 12.94$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{12.94 - 7.94}{12.94 \times 7.94} \right] = 49.66 \approx 49$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น 49

2) กรณีเครื่องถูกขยับเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากการทดลองมีค่า $(E/N_0)_S = 9.43 \text{ dB} = 8.77$ แทนค่าในสมการ

$$N_{\max} = 1 + 1000 \left[\frac{8.77 - 7.94}{8.77 \times 7.94} \right] = 12.92 \approx 12$$

จะได้จำนวนผู้ใช้งานที่สุดเป็น 12

ตารางที่ 5.32 ค่าความจุของระบบจากผลการทำนายของตัวทำนาย SVR (5-fold CV)

ตัวทำนาย	จำนวนผู้ใช้งานที่สุด ($N_{\max}$)	
	5 km/h	50 km/h
SVR (5-fold CV)	49	12

เมื่อเปรียบเทียบผลจากตารางที่ 5.21 และ 5.32 จะพบว่าตัวทำนาย SVR โดยใช้หลักการของครอสแวลิดะชันแบบ 5 กลุ่ม สามารถทำนายค่าสัญญาณได้ดีที่สุดโดยสังเกตจากอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR_{gain} ซึ่งส่งผลให้ระบบมีความจุหรือจำนวนผู้ใช้งานขึ้น