

บทที่ 4

ผลการทดลองการสร้างกลับจุดที่หายไปด้วยแบบจำลองมาตรฐาน

ในบทนี้จะเป็นการทดลองเปรียบเทียบระหว่างผลการสร้างกลับจุดที่หายไปด้วยการใช้ ฟัซซีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอย (Fuzzy Support Vector Regression) กับซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนสำหรับการถดถอย (Support Vector Regression) โดยใช้แบบจำลองทั่วไปที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ Toy-Car Engine Hood, Stanford Bunny, Horse และ Dragon ซึ่งมีความแตกต่างทั้งความละเอียดในการสแกน จำนวนจุดที่หายไป ขนาดวัตถุ ฯลฯ ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองที่ใช้ในการแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดแบบจำลองที่นำมาใช้ในการทดลอง

ชื่อโมเดล	Toy-Car Engine Hood	Stanford Bunny	Horse (ครึ่งตัว)	Dragon
จำนวนจุดในชุดฝึกสอน	340	8460	22415	24254
จำนวนจุดที่หายไป	136	924	856	477
จำนวนเส้น	7	35	32	75
ความละเอียดในการสแกน (ไมครอน)	1000	100	10	100
ขนาดวัตถุ กว้าง x ยาว x สูง (เซนติเมตร)	16x34x9	12x16x15	7x16x8	4.5x10x8

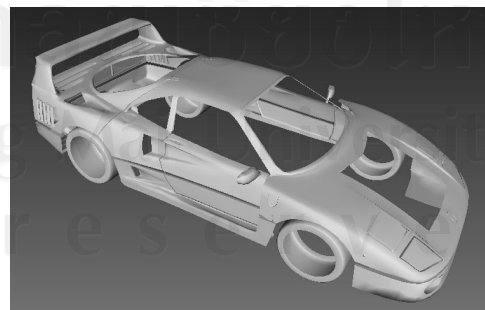
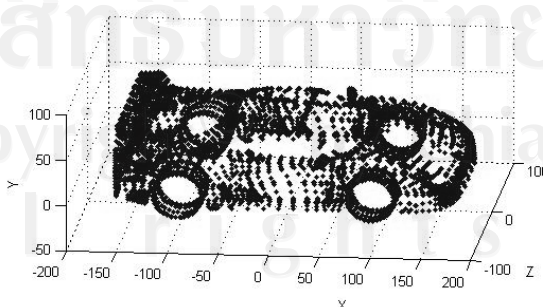
รายละเอียดที่แสดงดังตารางที่ 4.1 นั้นจะถูกนำมาทำการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ถึง 4.4 การทดลองจะเริ่มจากการนำเอาข้อมูลของจุดแต่ละจุดบนวัตถุ มาทำการเรียงตามแนวแกนที่เหมาะสม ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1 จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็นเส้น ๆ เพื่อสร้างชุดฝึกสอน หรือ Training Set เพื่อฝึกสอนให้แก่ระบบ โดยแบ่งเป็นชุดทดสอบแวลิดেশัน 10 ชุด หรือ Validation Set เพื่อหาโครงสร้างที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยหรือ MAE น้อยที่สุดไปทดลองกับชุด

ทดสอบแบบบอดหรือ Blind Set แล้วทำการวัดประสิทธิภาพโดยการคำนวณค่า MAE เช่นเดียวกัน จากนั้นทำการสร้างพื้นผิวขึ้นมาจากจุดที่สร้างกลับได้ เปรียบเทียบกับผลจริง (ground Truth) ซึ่งการแสดงผลการทดลองในที่นี้จะใช้ “จุดสีน้ำเงิน” แทนผลจริง และ “จุดสีแดง” แทนผลที่ได้จากการทดลอง แล้วให้ผู้สังเกต 20 คนลงความเห็นว่ายี่สิบจริงเพียงใด จากนั้นจะนำผลการสร้างกลับจุดที่ได้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญใช้เป็นข้อมูลในการสร้างพื้นผิว (Texture) เพื่อจำลองพื้นผิวของวัตถุออกมาเป็นรูปทรงโดยใช้โปรแกรม MeshLab [19] ซึ่งเป็นโปรแกรมเปิด (opensource) ในการขึ้นรูป (Render) เพื่อให้ผู้สังเกต 20 คนตอบแบบสอบถามอีกครั้งนั่นเอง

ในการทดลองจะแยกการทดลองแต่ละแบบจำลองออกจากกัน และทำการเปรียบเทียบผลการสร้างกลับจุดระหว่างการใช้ FSVR และ SVR การใช้ค่าความเป็นสมาชิกทั้งที่เป็นฟังก์ชันแบบเชิงเส้น และที่เป็นฟังก์ชันแบบกำลังสอง รวมถึงผลของการใช้เคอร์เนลที่แตกต่างกันอันได้แก่ ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear), ฟังก์ชันพหุนาม (Polynomial) และ ฟังก์ชันเกาส์เซียนเรเดียลเบสิส (Gaussian Radial basis function: RBF) อีกด้วย

4.1 ผลการทดลองการสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Toy-Car

แบบจำลอง Toy-Car จะมีส่วนที่หายไปอยู่บริเวณกระโปรงรถ จึงมีชื่อเรียกแบบจำลองนี้โดยทั่วไปว่า Toy-Car Engine Hood ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแบบจำลองได้มาจากการสแกนครั้งละ 180 องศา การทดลองนี้จะเป็นการฝึกสอนระบบในแนวแกน z เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนลที่แตกต่างกัน โดยเลือกโครงสร้างที่ให้ผลค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของชุดเวกเตอร์ มาทดสอบกับชุดทดสอบแบบบอด ซึ่งในแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Toy-Car นี้จะใช้ชุดข้อมูลซึ่งได้แก่ การใช้ชุดข้อมูล 3, 5 และ 7 จุดก่อนหน้า โดยมีค่า $\varepsilon = 0.0001$ เหมือนกัน



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนที่หายไปของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear เปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลจำนวนจุดก่อนหน้านี้ที่ต่างกัน โดยจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดในหน่วยของมิลลิเมตร ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 230$ และ $p = 4$ ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 80$ และ $\sigma = 0.75$

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood ในการใช้เคอร์เนล Linear

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้านี้	5 จุดก่อนหน้านี้	7 จุดก่อนหน้านี้
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	12.1654	8.5425	5.9005
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	14.2542	9.0452	6.6099
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น			
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	9.8456	6.0024	3.2451
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	11.9945	8.5461	4.1586
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง			
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	5.4651	3.8456	2.8935
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	7.8845	4.9754	3.1831

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 7 จุดก่อนหน้านี้ ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood ในการใช้
เคอร์เนล Polynomial

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า
ชุดเฉลี่ยเคชันของ SVR	5.7357	0.4926	1.3938
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	6.9593	0.6415	47640
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น			
ชุดเฉลี่ยเคชันของ FSVR	3.4681	0.3829	0.3216
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	4.6840	0.5013	2.7122
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง			
ชุดเฉลี่ยเคชันของ FSVR	2.4193	0.1856	0.0538
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	1.5476	0.2644	1.5054

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial คือการใช้
FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 5 จุดก่อนหน้า ให้ค่า
ผิดพลาดประมาณ 0.26 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการใช้เคอร์เนล Linear
ผลของการใช้เคอร์เนล Polynomial ให้ผลที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood ในการใช้
เคอร์เนล RBF

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	2.7769	0.1149	0.3548
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	3.9410	0.2015	0.4525
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น			
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	2.4910	0.0956	0.1688
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	3.8559	0.1070	0.2830
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง			
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	1.5830	0.0809	0.0985
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	3.5329	0.0986	0.1254

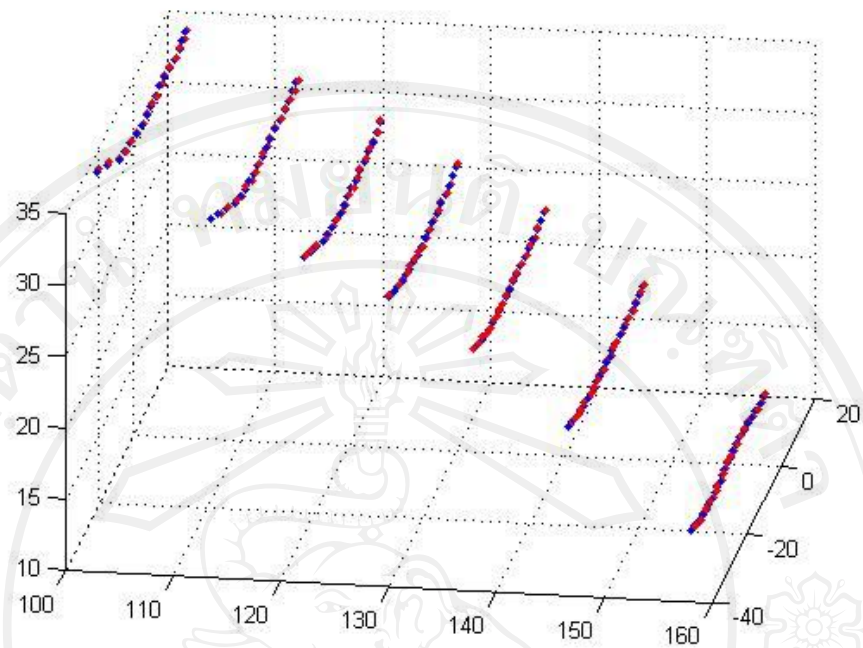
จากตารางที่ 4.4 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 5 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดกับเคอร์เนลอื่น ๆ จะพบว่า RBF ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood

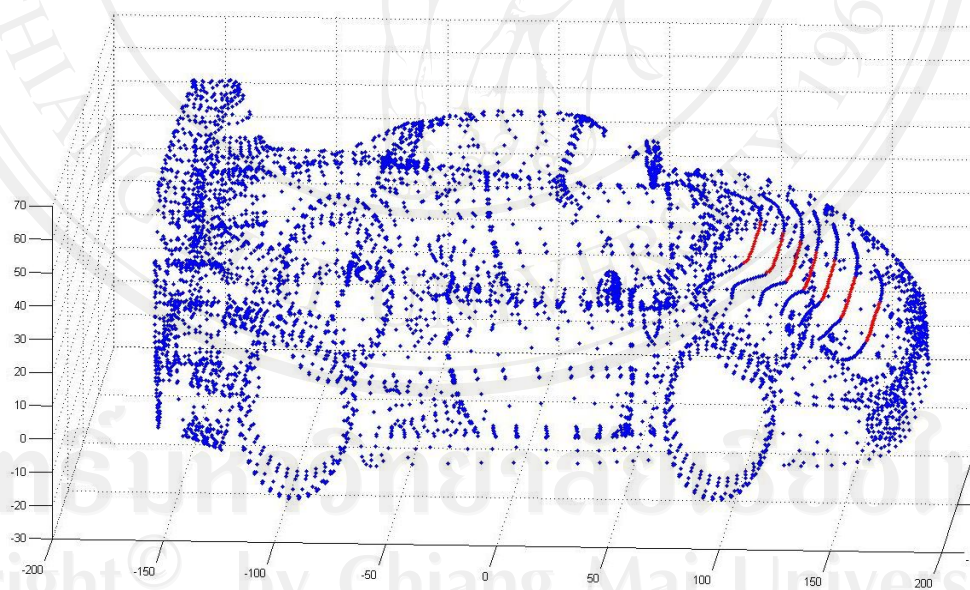
	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
เคอร์เนล	Linear	Polynomial	RBF
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	7 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า
ชุดเวลิเดชันของ SVR	5.9005	0.4926	0.1149
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	6.6099	0.6415	0.2015
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น			
ชุดเวลิเดชันของ FSVR	3.2451	0.3829	0.0956
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	4.1586	0.5013	0.1070
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง			
ชุดเวลิเดชันของ FSVR	2.8935	0.1856	0.0809
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	3.1831	0.2644	0.0986

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 นั้นจะเห็นว่าการทดลองสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Toy-Car นั้นจะให้ผลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยดีที่สุดคือ 0.0986 มิลลิเมตรซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จาก FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง ใช้เคอร์เนล RBF และใช้ชุดฝึกสอนแบบ 5 จุดก่อนหน้านั้นเอง

เมื่อได้ผลที่การสร้างกลับจุดที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการนำผลสร้างกลับจุดที่ได้มาแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขึ้นรูปแบบจำลองเป็นแบบ Point Cloud เพื่อดูผลการขึ้นรูปว่าสมจริงเพียงใด ผลการสร้างกลับจุดเป็นดังรูปที่ 4.2 และผลการลงความเห็นของผู้สังเกตเป็นดังตารางที่ 4.6



(ก)



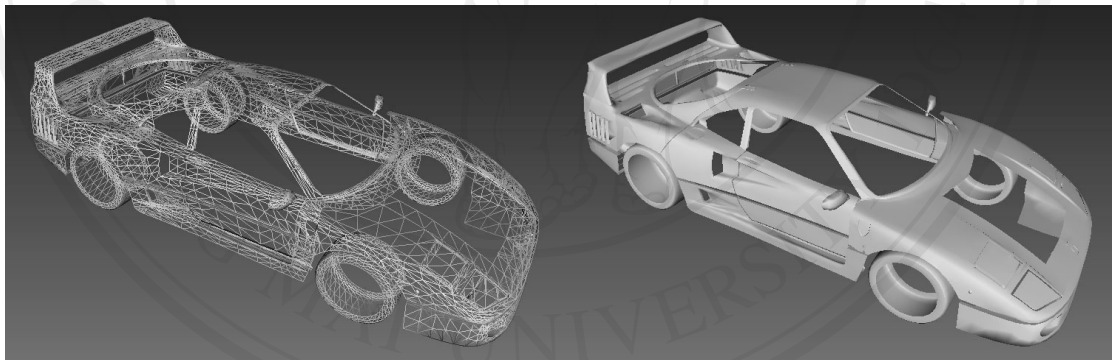
(ข)

รูปที่ 4.2 ผลการขึ้นรูปด้วยคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood
(ก) เปรียบเทียบผลการทดลองกับ Ground truth (ข) ผลการสร้างกลับจุดที่หายไป

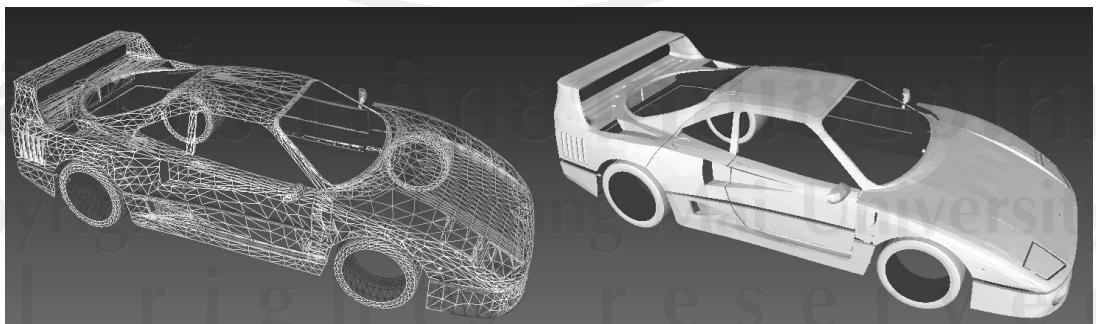
ตารางที่ 4.6 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น ของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood

ไม่สมจริง เลย	สมจริง น้อยมาก	สมจริง ค่อนข้างน้อย	สมจริง ปานกลาง	สมจริง ค่อนข้างมาก	สมจริง มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
			7 คน	12 คน	1 คน

จากผลการตอบแบบสอบถาม พบว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างกลับ
จุดนั้น สมจริงค่อนข้างมากคิดเป็น 60% และ 35% คิดว่าสมจริงปานกลาง และ 5% คิดว่าสมจริงที่สุด
จากนั้นนำจุดทั้งหมดที่สร้างกลับได้ของแบบจำลองไปให้ผู้เชี่ยวชาญนำไปใช้ในการขึ้น
รูปแบบจำลองโดยการใส่พื้นผิวให้แก้วัตถุ และแสดงผลออกมาเป็นโมเดลใน 3 มิติ รูปที่ 4.3 แสดง
รูปโมเดล 3 มิติก่อนและหลังการทดลองที่ผู้เชี่ยวชาญนำข้อมูลไปใช้ต่อ จากนั้นนำโมเดล 3 มิติที่ได้
ไปให้ผู้สังเกต 20 คนตอบแบบสอบถาม ผลการตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4.7



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 ผลการขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood

(ก) ก่อนการทดลอง (ข) หลังการทดลอง

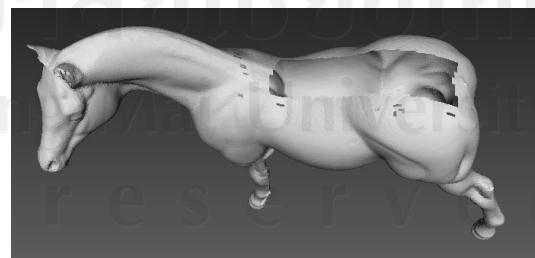
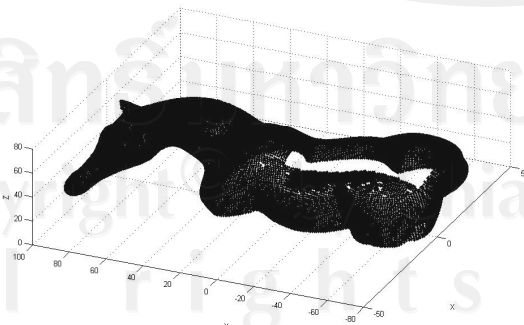
ตารางที่ 4.7 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น การขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Toy-Car Engine Hood

ไม่สมจริง เลข	สมจริง น้อยมาก	สมจริง ค่อนข้างน้อย	สมจริง ปานกลาง	สมจริง ค่อนข้างมาก	สมจริง มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
				4 คน	16 คน

จากผลการตอบแบบสอบถามจะพบว่าหลังการสร้างพื้นผิวแล้ว จะพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้สึกว่ แบบจำลองมีความสมจริงเพิ่มมากขึ้น โดยความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างพื้นผิวนั้น สมจริงมากที่สุดคิดเป็น 80% และ 20% คิดว่าสมจริงค่อนข้างมาก อีกด้วย

4.2 ผลการทดลองการสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Horse

แบบจำลอง Horse เป็นแบบจำลองมาตรฐานที่นิยมนำมาศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปใน 3 มิติ โดยพื้นผิวที่หายไปของแบบจำลองนี้อยู่ที่ส่วนหลังดังรูปที่ 4.4 ต้นแบบของการสแกนแบบจำลองนี้ มาจากการสแกนทีละ 90 องศา การทดลองนี้จะเป็นการฝึกสอนระบบในแนวแกน x เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนลที่แตกต่างกัน โดยเลือกโครงสร้างที่ให้ผลค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของชุดแวลูเคชัน มาทดสอบกับชุดทดสอบแบบบอด ซึ่งในแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Horse นี้จะใช้ชุดข้อมูลซึ่งได้แก่ การใช้ชุดข้อมูล 3, 5, 7 และ 9 จุดก่อนหน้า โดยมีค่า $\mathcal{E} = 0.0001$ เหมือนกัน



รูปที่ 4.4 แสดงส่วนที่หายไปของแบบจำลอง Horse

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear เปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลจำนวนจุดก่อนหน้าที่แตกต่างกัน โดยจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดในหน่วยของมิลลิเมตร ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 300$ และ $p = 4$ ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 100$ และ $\sigma = 0.45$

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Horse ในการใช้เคอร์เนล Linear

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์เคชันของ SVR	5.7559	4.1747	3.7429	2.9985
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	6.5666	5.7863	4.8541	3.7094
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์เคชันของ FSVR	4.8593	3.7131	3.0024	2.3684
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	5.9887	5.0541	4.2241	3.4878
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์เคชันของ FSVR	3.6728	3.1842	2.1377	1.6543
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	4.1780	3.6206	3.1252	2.2135

จากตารางที่ 4.8 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Horse ในการใช้เคอร์เนล Polynomial

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวลิเดชันของ SVR	3.3445	2.1507	1.8453	0.1837
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	4.7754	3.0020	0.8964	0.2729
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวลิเดชันของ FSVR	2.1749	1.9633	0.9551	0.1214
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	3.7008	2.6454	1.278	0.2201
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวลิเดชันของ FSVR	1.8852	1.0470	0.2123	0.0539
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	2.5614	0.9896	0.8741	0.1138

จากตารางที่ 4.9 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการใช้เคอร์เนล Linear ผลของการใช้เคอร์เนล Polynomial ให้ผลที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Horse ในการใช้เคอร์เนล RBF

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวลิเดชันของ SVR	0.0530	0.0387	0.0291	0.0169
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	0.0624	0.0400	0.0295	0.0159
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวลิเดชันของ FSVR	0.0380	0.0322	0.0178	0.0122
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	0.0417	0.0371	0.0265	0.0090
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวลิเดชันของ FSVR	0.0349	0.0284	0.0150	0.0061
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	0.0348	0.0278	0.0157	0.0077

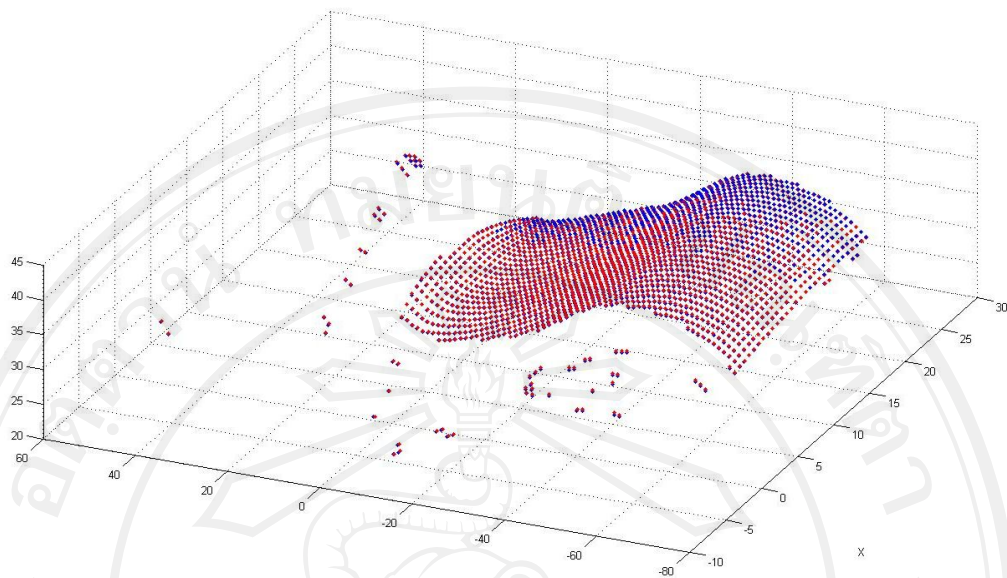
จากตารางที่ 4.10 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF ก็คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 0.008 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดกับเคอร์เนลอื่น ๆ จะพบว่า RBF ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Horse

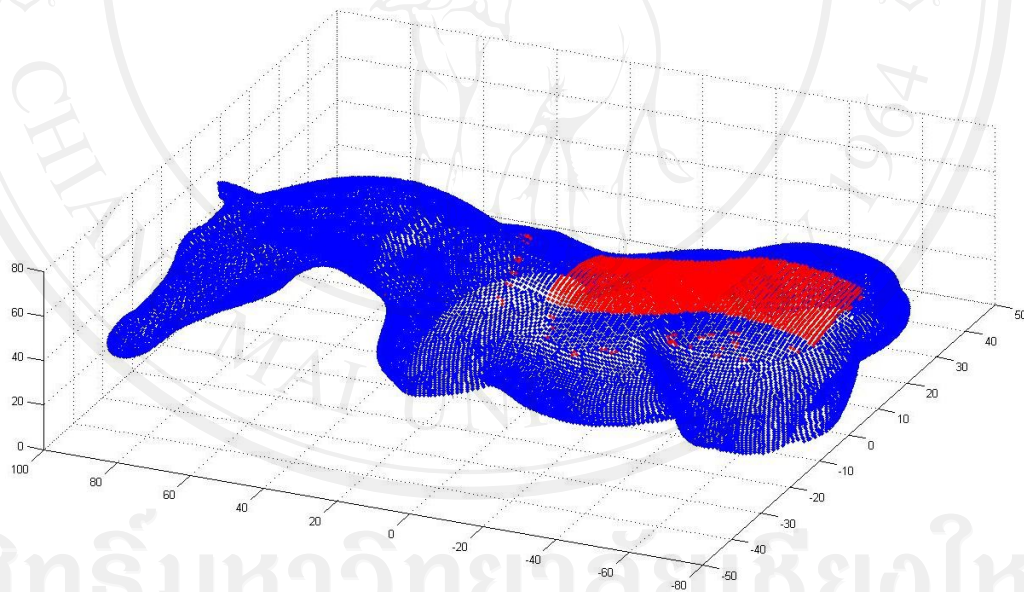
	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
เคอร์เนล	Linear	Polynomial	RBF
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	9 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเฉลี่ยเคชันของ SVR	2.9985	0.1837	0.0169
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	3.7094	0.2729	0.0159
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น			
ชุดเฉลี่ยเคชันของ FSVR	2.3684	0.1214	0.0122
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	3.4878	0.2201	0.0090
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง			
ชุดเฉลี่ยเคชันของ FSVR	1.6543	0.0539	0.0061
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	2.2135	0.1138	0.0077

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 นั้นจะเห็นว่าการทดลองสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Toy-Car นั้นจะให้ผลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยดีที่สุดคือ 0.0077 ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จาก FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง ใช้เคอร์เนล RBF และใช้ชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้านั้นเอง

เมื่อได้ผลที่การสร้างกลับจุดที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการนำผลสร้างกลับจุดที่ได้ มาแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขึ้นรูปแบบจำลองเป็นแบบ Point Cloud เพื่อดูผลการขึ้นรูปว่าสมจริงเพียงใด ผลการสร้างกลับจุดเป็นดังรูปที่ 4.5 และผลการลงความเห็นของผู้สังเกตเป็นดังตารางที่ 4.12



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 ผลการขึ้นรูปด้วยคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Horse

(ก) เปรียบเทียบผลการทดลองกับ Ground truth (ข) ผลการสร้างกลับจุดที่หายไป

จากผลการขึ้นรูปจะพบว่ามึบางจุดกระจายปะปนอยู่ จุดดังกล่าวเป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการสังเกตว่า โครงสร้างในการทดสอบจะสามารถคำนวณจุดเหล่านี้ออกมาได้ถูกต้องเพียงใด เนื่องจากมีบางจุดไม่ได้อยู่ในแนวเส้นที่ใช้ฝึกสอน

ตารางที่ 4.12 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น ของแบบจำลอง Horse

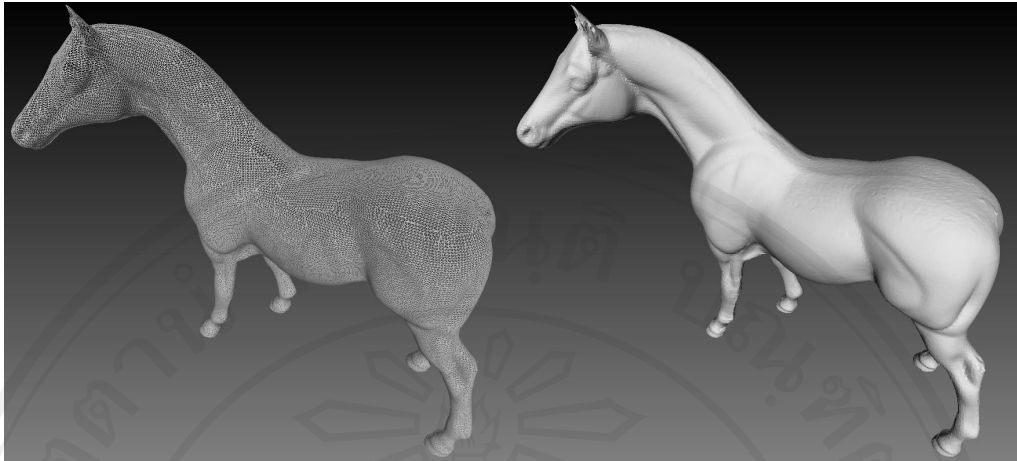
ไม่สมจริง เลย 0	สมจริง น้อยมาก 1	สมจริง ค่อนข้างน้อย 2	สมจริง ปานกลาง 3	สมจริง ค่อนข้างมาก 4	สมจริง มากที่สุด 5
				14 คน	6 คน

จากผลการตอบแบบสอบถาม พบว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างกลับจุดนั้น สมจริงค่อนข้างมากคิดเป็น 70% และ 30% คิดว่าสมจริงที่สุด

จากนั้นนำจุดทั้งหมดที่สร้างกลับได้ของแบบจำลองไปให้ผู้เชี่ยวชาญนำไปใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองโดยการใส่พื้นผิวให้แก่วัตถุ และแสดงผลออกมาเป็นโมเดลใน 3 มิติ รูปที่ 4.6 แสดงรูปโมเดล 3 มิติก่อนและหลังการทดลองที่ผู้เชี่ยวชาญนำข้อมูลไปใช้ต่อ จากนั้นนำโมเดล 3 มิติที่ได้ไปให้ผู้สังเกต 20 คนตอบแบบสอบถาม ผลการตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4.13



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 ผลการขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Horse

(ก) ก่อนการทดลอง (ข) หลังการทดลอง

ตารางที่ 4.13 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น การขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Horse

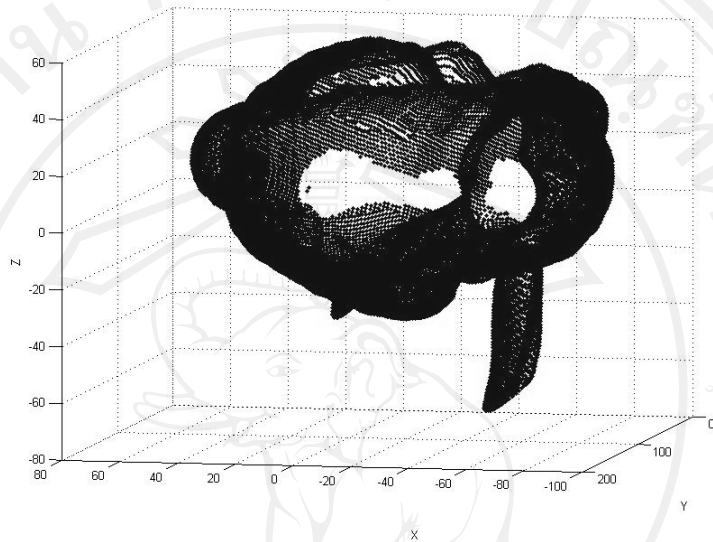
ไม่สมจริง เลย	สมจริง น้อยมาก	สมจริง ค่อนข้างน้อย	สมจริง ปานกลาง	สมจริง ค่อนข้างมาก	สมจริง มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
				3 คน	17 คน

จากผลการตอบแบบสอบถามจะพบว่าหลังการสร้างพื้นผิวแล้ว จะพบว่าแบบจำลองมีความสมจริงเพิ่มมากขึ้น โดยความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างกลับจุดนั้นสมจริงค่อนข้างมาก 15% และ 85% คิดว่าสมจริงมากที่สุดอีกด้วย

4.3 ผลการทดลองการสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Stanford Bunny

แบบจำลอง Stanford Bunny เป็นชุดข้อมูลที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางในงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลอง 3 มิติ แบบจำลองชุดนี้จะพบส่วนที่หายไป 2 ส่วนคือส่วนหัว และสันหลังดังรูปที่ 4.7 การสแกนแบบจำลองที่นำมาทดลองนี้ ได้มาจากการสแกนทีละ 90 องศา การทดลองนี้จะเป็นการฝึกสอนระบบในแนวแกน x เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนลที่แตกต่างกัน โดยเลือกโครงสร้างที่ให้ผลค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของชุดเวกเตอร์ มาทดสอบกับชุดทดสอบแบบบอด

ซึ่งในแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Stanford Bunny นี้จะใช้ชุดข้อมูลซึ่งได้แก่ การใช้ชุดข้อมูล 3, 5, 7 และ 9 จุดก่อนหน้า โดยมีค่า $\varepsilon = 0.0001$ เหมือนกัน และจะใช้โครงสร้างของการสอนเป็นโครงสร้างเดียวกับทั้งแบบจำลอง



รูปที่ 4.7 แสดงส่วนที่หายไปของแบบจำลอง Stanford Bunny

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear เปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลจำนวนจุดก่อนหน้าที่แตกต่างกัน โดยจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดในหน่วยของมิลลิเมตร ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial

พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 380$ และ $p = 2$ ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 120$ และ $\sigma = 0.65$

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Stanford Bunny ในการใช้เคอร์เนล Linear

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	9.4764	8.7609	7.0267	5.2128
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	10.5796	9.4913	8.2091	6.7513
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	8.1074	6.9359	5.7353	4.6724
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	9.8574	8.0730	7.6355	6.2758
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	7.9225	6.1352	5.3055	4.0254
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	8.5595	7.6227	6.8402	5.9456

จากตารางที่ 4.14 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Stanford Bunny ในการใช้เคอร์เนล Polynomial

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	1.9327	0.7136	0.4446	0.6802
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	2.5434	1.5057	0.5127	1.9327
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	1.3188	0.8505	0.3800	1.0994
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	2.0411	1.0062	0.4315	1.2995
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	1.0622	0.4856	0.3399	0.5027
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	1.9893	0.8407	0.4051	1.0041

จากตารางที่ 4.15 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 7 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการใช้เคอร์เนล Linear ผลของการใช้เคอร์เนล Polynomial ให้ผลที่ได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Stanford Bunny ในการใช้เคอร์เนล RBF

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	0.7829	0.5013	0.3956	0.4415
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	0.8013	0.6224	0.4415	0.5191
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	0.5467	0.4974	0.3626	0.4399
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	0.6548	0.5211	0.4242	0.5145
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	0.4224	0.3856	0.3191	0.4278
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	0.5826	0.3644	0.3214	0.5094

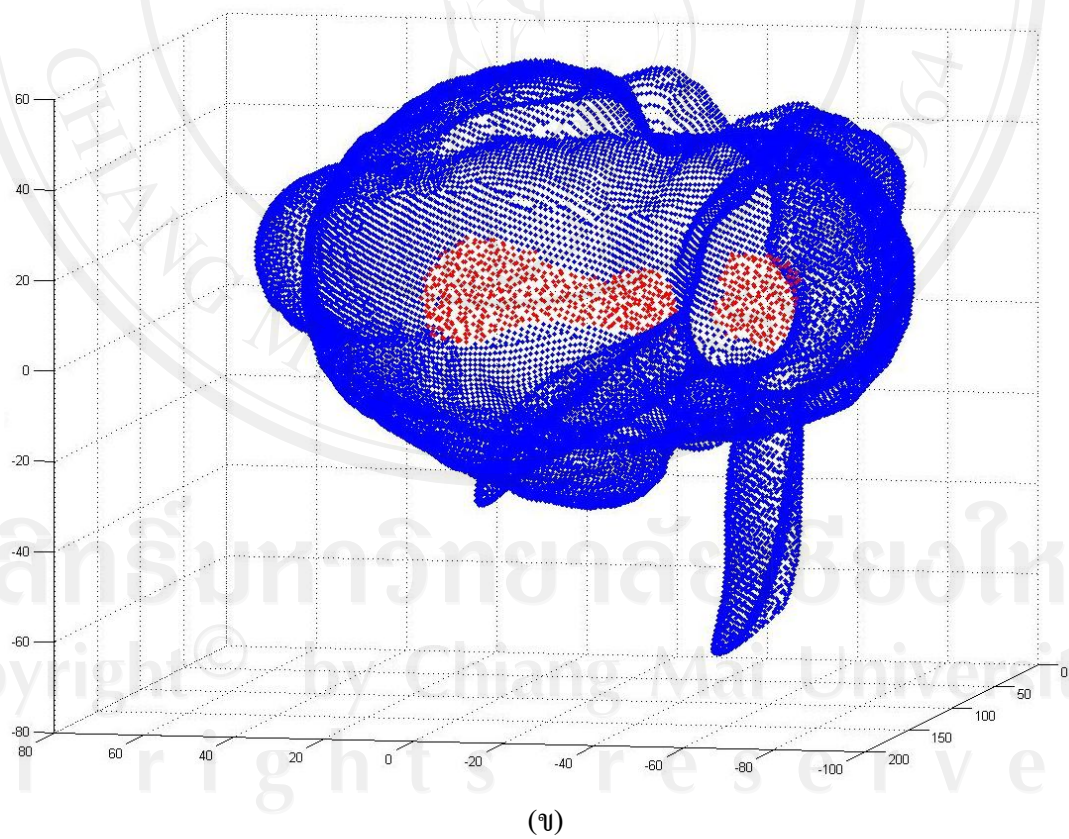
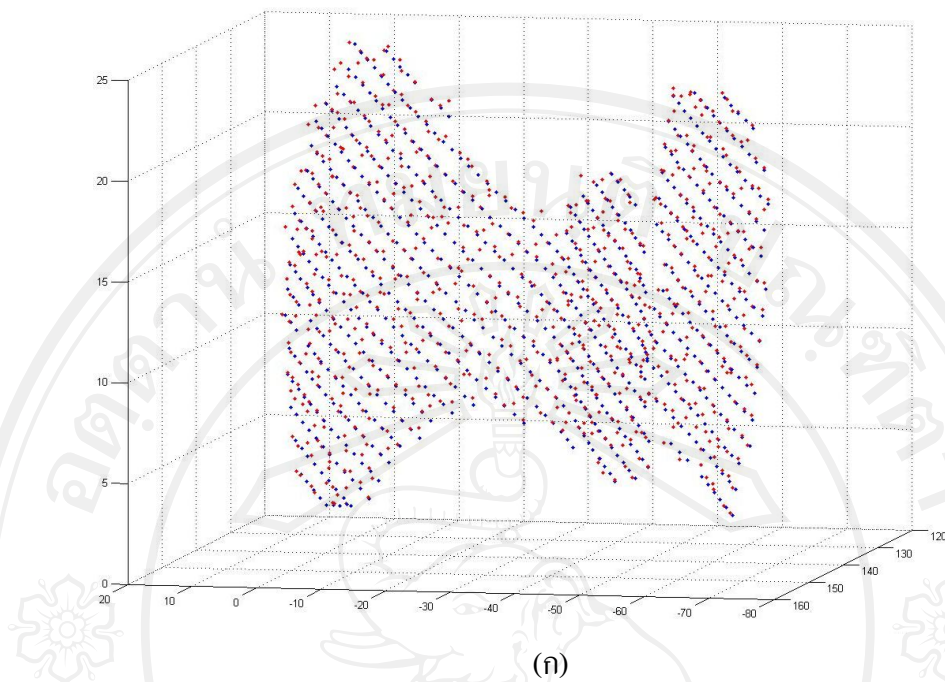
จากตารางที่ 4.16 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 7 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดกับเคอร์เนลอื่น ๆ จะพบว่า RBF ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Stanford Bunny

	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
เคอร์เนล	Linear	Polynomial	RBF
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	9 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	5.2128	0.4446	0.3956
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	6.7513	0.5127	0.4415
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น			
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	4.6724	0.3800	0.3626
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	6.2758	0.4315	0.4242
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง			
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	4.0254	0.3399	0.3191
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	5.9456	0.4051	0.3214

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.17 นั้นจะเห็นว่าผลการทดลองสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Toy-Car นั้นจะให้ผลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยดีที่สุดคือ 0.3214 มิลลิเมตรซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จาก FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง ใช้เคอร์เนล RBF และใช้ชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้านั้นเอง

เมื่อได้ผลที่การสร้างกลับจุดที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการนำผลสร้างกลับจุดที่ได้มาแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขึ้นรูปแบบจำลองเป็นแบบ Point Cloud เพื่อดูผลการขึ้นรูปว่าสมจริงเพียงใด ผลการสร้างกลับจุดเป็นดังรูปที่ 4.8 และผลการลงความเห็นของผู้สังเกตเป็นดังตารางที่ 4.18



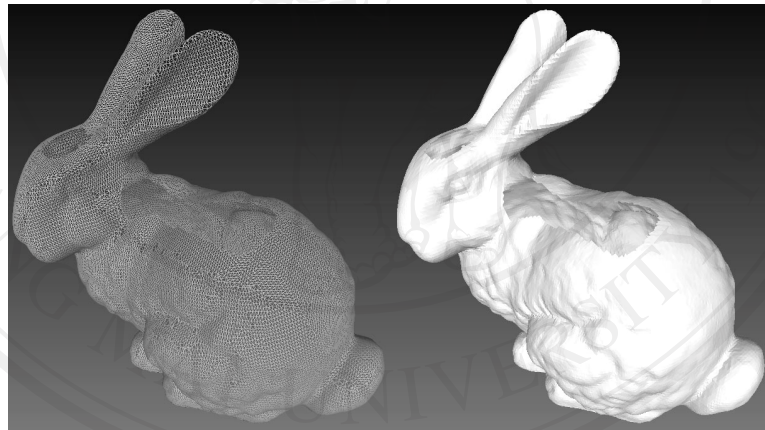
รูปที่ 4.8 ผลการขึ้นรูปด้วยคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Stanford Bunny
(ก) เปรียบเทียบผลการทดลองกับ Ground truth (ข) ผลการสร้างกลับจุดที่หายไป

ตารางที่ 4.18 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น ของแบบจำลอง Stanford Bunny

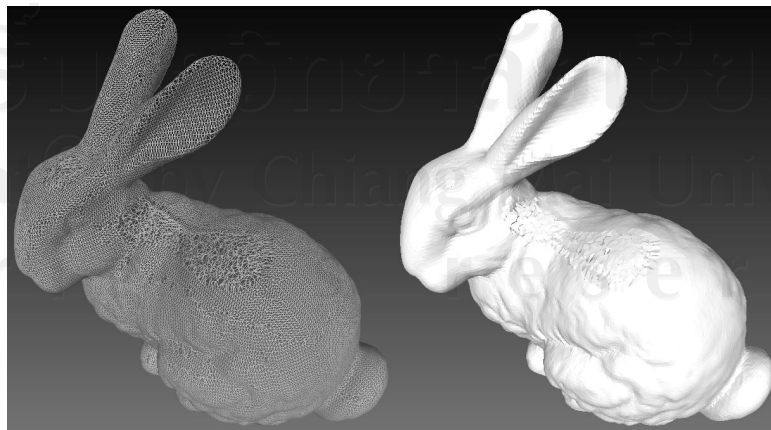
ไม่สมจริง เลย	สมจริง น้อยมาก	สมจริง ค่อนข้างน้อย	สมจริง ปานกลาง	สมจริง ค่อนข้างมาก	สมจริง มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
		10 คน	10 คน		

จากผลการตอบแบบสอบถาม พบว่าความคิดเป็นส่วนใหญเห็นว่าการสร้างกลับ
จุดนั้น สมจริงปานกลางคิดเป็น 50% และ 50% คิดว่าสมจริงค่อนข้างน้อย

จากนั้นนำจุดทั้งหมดที่สร้างกลับได้ของแบบจำลองไปให้ผู้เชี่ยวชาญนำไปใช้ในการขึ้น
รูปแบบจำลองโดยการใส่พื้นผิวให้แก่วัตถุ และแสดงผลออกมาเป็นโมเดลใน 3 มิติ รูปที่ 4.9 แสดง
รูปโมเดล 3 มิติก่อนและหลังการทดลองที่ผู้เชี่ยวชาญนำข้อมูลไปใช้ต่อ จากนั้นนำโมเดล 3 มิติที่ได้
ไปให้ผู้สังเกต 20 คนตอบแบบสอบถาม ผลการตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4.19



(ก)



(ข)



รูปที่ 4.9 ผลการขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Stanford Bunny

(ก) ก่อนการทดลอง (ข) หลังการทดลอง

(ค) ภาพขยายส่วนหัว (ง) ภาพขยายส่วนสันหลัง

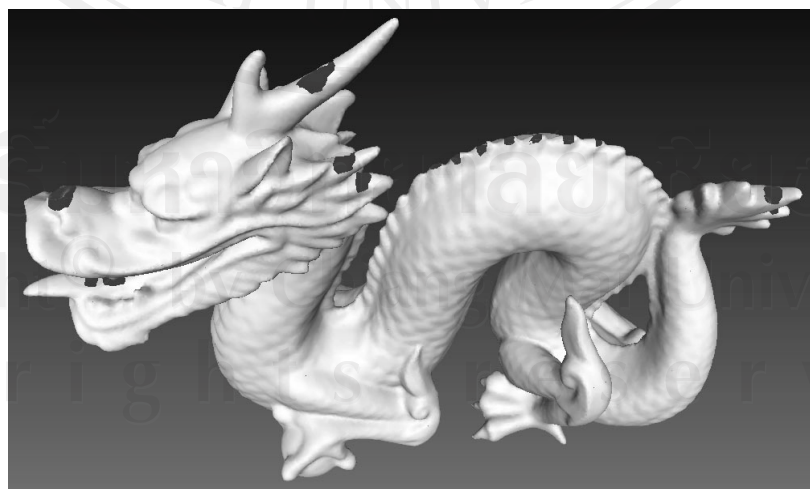
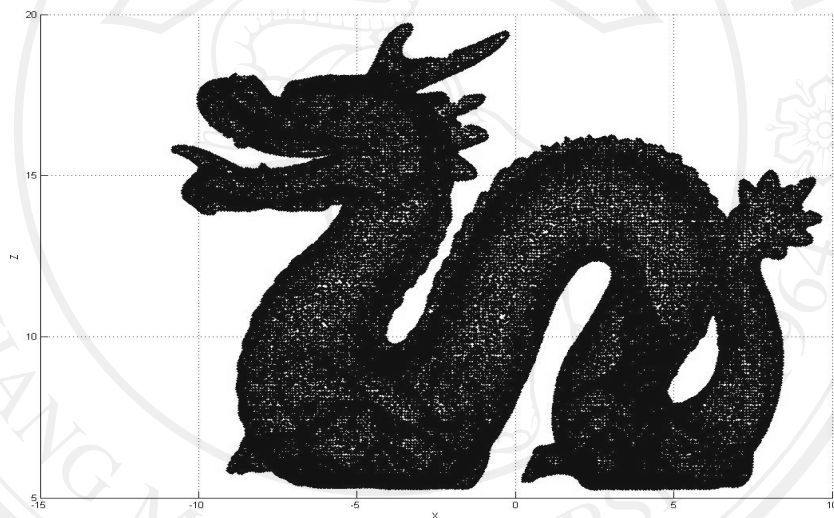
ตารางที่ 4.19 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น การขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Stanford Bunny

ไม่สมจริง เลย	สมจริง น้อยมาก	สมจริง ค่อนข้างน้อย	สมจริง ปานกลาง	สมจริง ค่อนข้างมาก	สมจริง มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
		8 คน	12 คน		

จากผลการตอบแบบสอบถามจะพบว่าหลังการสร้างพื้นผิวแล้ว จะพบว่าแบบจำลองมีความสมจริงเพิ่มมากขึ้น โดยความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างกลับจุดนั้นสมจริงค่อนข้างน้อย 40% และ 60% คิดว่าสมจริงปานกลางที่สุด ซึ่งหากพิจารณาผลการขึ้นดังรูปที่ 4.8 แล้วจะพบว่าจุดที่สร้างกลับค่อนข้างกระจัดกระจาย และผลจากรูปที่ 4.9 (ก) และ (ง) การขึ้นพื้นผิวบริเวณส่วนหัวและส่วนสันหลังมีความแตกต่างจากพื้นผิวอื่นอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากการฝึกสอนร่วมกันของพื้นผิวที่เป็นส่วนหัวและส่วนสันหลังไม่เหมาะสม การทดลองสร้างกลับจุดของแบบจำลองนี้ควรมีการปรับปรุงการทดลองซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 5

4.4 ผลการทดลองการสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Dragon

แบบจำลอง Dragon แบบจำลองชุดนี้มีส่วนของพื้นผิวที่หายไป 7 ส่วนและลักษณะพื้นผิวแตกต่างกันมาก โดยพื้นผิวที่หายไปของแบบจำลองนี้อยู่ที่ส่วนจมูก, อก, เขา, หู, ปาก, หลัง, และหาง แบบจำลองนี้ได้มาจากการสแกนที่ละ 45 องศา การทดลองนี้จะเป็นการฝึกสอนระบบในแนวนอน y เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนลที่แตกต่างกัน โดยเลือกโครงสร้างที่ให้ผลค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของชุดแวลูเคชัน มาทดสอบกับชุดทดสอบแบบบอด ซึ่งในแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Toy-Car นี้จะใช้ชุดข้อมูลซึ่งได้แก่ การใช้ชุดข้อมูล 3, 5 และ 7 จุดก่อนหน้า โดยมีค่า $\epsilon = 0.0001$ เหมือนกัน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้โครงสร้างของการสอนเป็นโครงสร้างเดียวกับทั้งแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงส่วนที่หายไปของแบบจำลอง Dragon

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear เปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลจำนวนจุดก่อนหน้าที่แตกต่างกัน โดยจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดในหน่วยของมิลลิเมตร ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 420$ และ $p = 8$ ตารางที่ 4.22 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF พารามิเตอร์ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดคือการใช้ $C = 250$ และ $\sigma = 0.85$

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Dragon ในการใช้เคอร์เนล Linear

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	15.9987	14.6336	12.7921	10.889
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	16.9355	15.5521	13.1173	11.2566
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	13.5665	12.3296	10.9475	9.0076
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	14.2547	13.3286	11.2674	10.6755
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	11.2111	10.9475	9.1649	8.5716
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	12.4775	11.2674	10.2596	9.5373

จากตารางที่ 4.20 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Linear คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 9.5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Dragon ในการใช้เคอร์เนล Polynomial

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	10.7860	9.6427	8.9022	7.1320
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	11.6701	10.9714	9.8441	8.9462
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	9.2134	8.1449	7.0595	6.1224
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	10.0099	9.2725	8.6856	8.8423
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	8.9031	7.4882	6.1594	5.4030
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	9.1060	8.9487	8.0093	7.6912

จากตารางที่ 4.21 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล Polynomial คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 7.7 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการใช้เคอร์เนล Linear ผลของการใช้เคอร์เนล Polynomial ให้ผลที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแบบจำลอง Dragon ในการใช้เคอร์เนล RBF

เคอร์เนล	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร			
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	3 จุดก่อนหน้า	5 จุดก่อนหน้า	7 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเวกเตอร์ของ SVR	6.4522	6.1650	5.0512	4.1511
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	11.1251	10.1554	8.4851	7.1945
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบเชิงเส้น				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	5.9591	5.7310	4.3049	3.7150
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	7.5108	9.3416	7.7108	6.9024
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีแบบกำลังสอง				
ชุดเวกเตอร์ของ FSVR	5.1531	4.9456	3.4521	2.1564
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	9.5624	8.1284	7.1547	6.5541

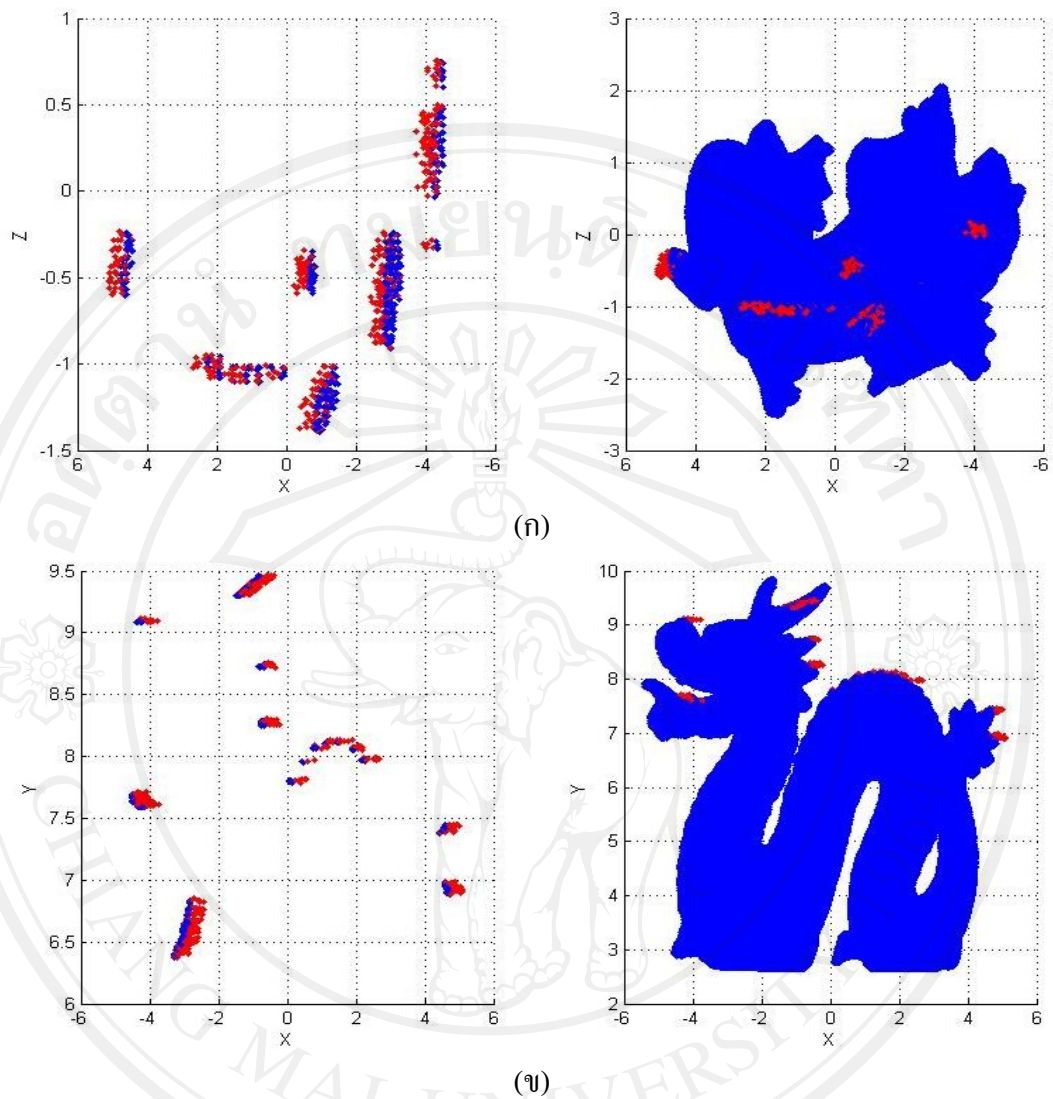
จากตารางที่ 4.22 จะพบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุดของการใช้เคอร์เนล RBF ก็คือการใช้ FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง และชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้า ให้ค่าผิดพลาดประมาณ 6.6 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ดีที่สุดกับเคอร์เนลอื่น ๆ จะพบว่า RBF ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของแต่ละเคอร์เนลในการทดลองกับแบบจำลอง Dragon

	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย หน่วย เป็น มิลลิเมตร		
เคอร์เนล	Linear	Polynomial	RBF
ชุดฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด	9 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า	9 จุดก่อนหน้า
ชุดเฉลี่ยเคชันของ SVR	10.8890	7.1320	4.1511
ชุดทดสอบแบบบอดของ SVR	11.2566	8.9462	7.1945
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyแบบเชิงเส้น			
ชุดเฉลี่ยเคชันของ FSVR	9.0076	6.1224	3.7150
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	10.6755	8.8423	6.9024
ผลการทดลองการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟuzzyแบบกำลังสอง			
ชุดเฉลี่ยเคชันของ FSVR	8.5716	5.4030	2.1564
ชุดทดสอบแบบบอดของ FSVR	9.5373	7.6912	6.5541

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.23 นั้นจะเห็นว่าการทดลองสร้างกลับจุดที่หายไปของแบบจำลอง Dragon นั้นจะให้ผลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยดีที่สุดคือ 6.5541 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จาก FSVR โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบกำลังสอง ใช้เคอร์เนล RBF และใช้ชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้านั้นเอง

เมื่อได้ผลที่การสร้างกลับจุดที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการนำผลสร้างกลับจุดที่ได้ มาแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขึ้นรูปแบบจำลองเป็นแบบ Point Cloud เพื่อดูผลการขึ้นรูปว่าสมจริงเพียงใด ผลการสร้างกลับจุดเป็นดังรูปที่ 4.10 และผลการลงความเห็นของผู้สังเกตเป็นดังตารางที่ 4.24



รูปที่ 4.10 ผลการขึ้นรูปด้วยคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Dragon

(ก) เปรียบเทียบผลการทดลองกับ Ground truth และผลการสร้างกลับจุดที่หายไป ด้านบน

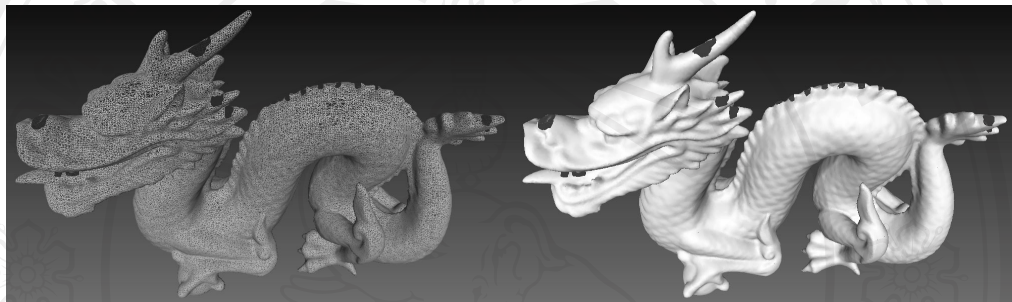
(ข) เปรียบเทียบผลการทดลองกับ Ground truth และผลการสร้างกลับจุดที่หายไป ด้านข้าง

ตารางที่ 4.24 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น ของแบบจำลอง Dragon

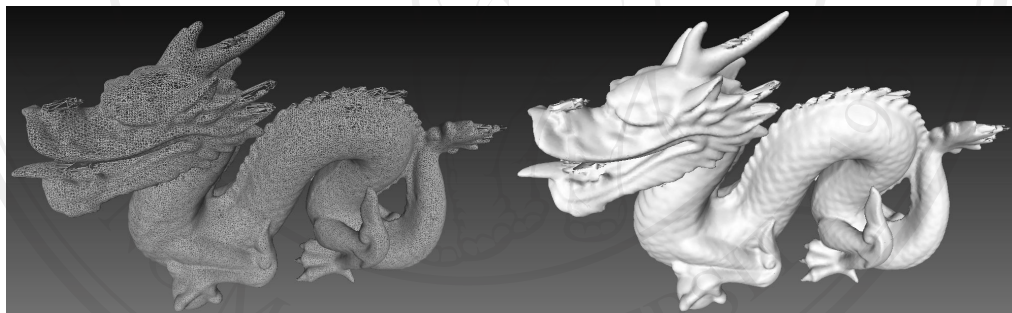
ไม่สมจริง	สมจริง	สมจริง	สมจริง	สมจริง	สมจริง
เลย	น้อยมาก	ค่อนข้างน้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
12 คน	6 คน	2 คน			

จากผลการตอบแบบสอบถาม พบว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างกลับจุดนั้น 60% เห็นว่าไม่สมจริงเลย, 30% เห็นว่าสมจริงน้อยมาก และ 10% เห็นว่าสมจริงค่อนข้างน้อยนั่นเอง

จากนั้นนำจุดทั้งหมดที่สร้างกลับได้ของแบบจำลองไปให้ผู้เชี่ยวชาญนำไปใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองโดยการใส่พื้นผิวให้แก่วัตถุ และแสดงผลออกมาเป็นโมเดลใน 3 มิติ รูปที่ 4.11 แสดงรูปโมเดล 3 มิติก่อนและหลังการทดลองที่ผู้เชี่ยวชาญนำข้อมูลไปใช้ต่อ จากนั้นนำโมเดล 3 มิติที่ได้ไปให้ผู้สังเกต 20 คนตอบแบบสอบถาม ผลการตอบแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4.25



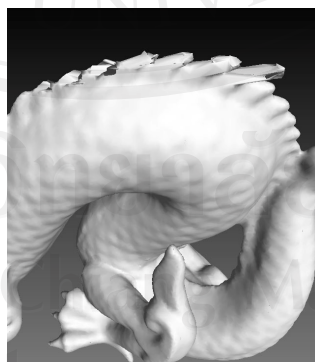
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.11 ผลการขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Dragon

(ก) ก่อนการทดลอง (ข) หลังการทดลอง

(ค) ภาพขยายส่วนอก (ง) ภาพขยายส่วนหลัง (จ) ภาพขยายหาง

ตารางที่ 4.25 ผลการตอบแบบสอบถามความคิดเห็น การขึ้นพื้นผิวของแบบจำลอง Dragon

ไม่สมจริง เลย	สมจริง น้อยมาก	สมจริง ค่อนข้างน้อย	สมจริง ปานกลาง	สมจริง ค่อนข้างมาก	สมจริง มากที่สุด
0	1	2	3	4	5
8 คน	10 คน	2 คน			

จากผลการตอบแบบสอบถามจะพบว่าหลังการสร้างพื้นผิวแล้ว จะพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้สึกว่ แบบจำลองมีความสมจริงเพิ่มมากขึ้น โดยความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าผลของการสร้างพื้นผิวนั้น ไม่สมจริงเลยคิดเป็น 40%, สมจริงน้อยมากคิดเป็น 50% และสมจริงค่อนข้างน้อยคิดเป็น 10% อีกด้วย

จากผลการทดลองแม้จะพบว่าชุดฝึกสอนแบบ 9 จุดก่อนหน้าให้ผลดีที่สุดและผลการทดลอง FSVR ให้ผลดีกว่า SVR แต่ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ยังถือว่ามีความมากอย่างเห็นได้ชัด แบบจำลอง Dragon จึงต้องมีการปรับปรุงการทดลอง ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 5

จากผลการทดลองทั้งหมดในบทนี้ สามารถสรุปได้ว่าพื้นผิวที่หายไปของแบบจำลอง Toy-Car และ Horse สามารถสร้างกลับได้ โดยใช้กระบวนการ FSVR ซึ่งให้ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ SVR ซึ่งเป็นผลความผิดพลาดที่ถือว่ายอมรับได้ แต่ในส่วนของผลการทดลองของแบบจำลอง Stanford Bunny และ Dragon แม้ว่าผลที่ได้จากกระบวนการของ FSVR จะให้ผลดีที่สุด แต่ผลการทดลองที่ได้ยังถือว่ามีความผิดพลาดสูง ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้มีการปรับปรุงการทดลองซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 5 และขึ้นรูปแบบจำลองพร้อมแสดงผลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามอีกด้วย