อภินันทนาการ

การพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ลีพโมชั่นและการเรียนรู้ของเครื่อง

Development of sign language translates device using leap motion with machine learning

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 14 ก.ย. 2560
เลขทะเบียน 1919160
เลขเรียกหนังสือ

นายชัชวัฒน์	จิตรบุญ	รหัส 56361914	
นายณัฐพงศ์	วงค์สาร	รหัส 56361952	
นายสาโรช	กุจั่น	รหัส 56362300	

ฟร
ร357ก
2559

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2559

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ลีฟโมชั่นและการเรียนรู้ของเครื่อง
ผู้ทำโครงงาน	: 56361914 นายชัชวัฒน์ จิตรบุญ 56361952 นายณัฐพงศ์ วงค์สาร 56362300 นายสาโรช กุจั่น
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน	: อาจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(นายชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

.....กรรมการ

(ดร.ปัญญวัณ ลำเพาพงศ์)

.....กรรมการ

(ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ลีพโมชั่นและการเรียนรู้ของเครื่อง
ผู้ทำโครงงาน	: 56361914 นายชัชวัฒน์ จิตรบุญ 56361952 นายณัฐพงศ์ วงค์สาร 56362300 นายสาโรช กุจั่น
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน	: อาจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2559

บทคัดย่อ

เครื่องแปลภาษามือสามารถแยกเป็นสามส่วนประกอบอันได้แก่ (1) การนำเข้าสัญญาณของภาษามือ โดยโครงงานได้เลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับแบบสามมิติที่มีชื่อว่า Leap Motion Sensor ของ Leap Motion Inc. ซึ่งค่าสัญญาณที่ได้คือพิกัดตำแหน่งของข้อต่อต่างๆ ของนิ้วมือหนึ่ง หรือสองข้าง โดยจะประกอบด้วยชุดข้อมูลจำนวน 152 ค่าต่อหนึ่งมือ (2) การพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้ในการตีความของท่าทางที่ได้รับมา โดยโครงงานนี้ได้เลือกใช้อัลกอริทึม K-Nearest Neighbor เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม ค่า K ของอัลกอริทึม K-Nearest Neighbor ที่เลือกใช้มีค่าเท่ากับ 1, 5 และ 50 และจำนวนโหนดและชั้นซ่อนของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม ชุดแรกคือ 1 ชั้นซ่อนชั้นละ 50 โหนด ชุดที่สองคือ 2 ชั้นซ่อนชั้นละ 100 โหนด และชุดที่สามคือ 3 ชั้นซ่อนชั้นละ 100 โหนด (3) การแสดงผลด้วยการสังเคราะห์เสียงพูด โดยโครงงานได้มุ่งเน้นที่การพัฒนาโปรแกรมการอ่าน แปลความหมาย และสังเคราะห์เสียงพูดตามท่าทางภาษามือไทยด้วยภาษาโปรแกรมไพทอน โดยใช้อุปกรณ์และอัลกอริทึมดังที่กล่าวมา

การทดสอบเพื่อหาค่าผลความสำเร็จหรือความถูกต้องของการแปลภาษามือ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้สำหรับทำนายท่าทางและประโยคที่รับท่าทางจากอุปกรณ์ Leap motion อัลกอริทึมที่ใช้ในการทำนายประกอบไปด้วย (1) อัลกอรึทึม K-Nearest Neighbour 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1, 2และ3 กำหนดค่า K=1, 5, 50 ตามลำดับ (2) อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม มี 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน

เท่ากับ 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 50โหนด รูปแบบที่ 2 กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด รูปแบบที่ 3 กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 100 โหนด โดยทุกแบบของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมจะกำหนดให้ อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนตัมเท่ากับ 0.9 จำนวนการเรียนรู้สูงสุด 1000 รอบ ค่าความเสียหายที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.01 ในส่วนของการทำนายแบบประโยคจะเพิ่มเวลาในการหน่วงสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งออกเป็น 0.6 วินาที, 0.9 วินาทีและ 1.2 เพื่อหาเวลาในการหน่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบประโยคที่ดีที่สุด ท่าทางของภาษามือในโครงงานนี้จะใช้ท่าทางทั้งหมด 64 ท่าทาง ทั้ง 64 ท่าทางนี้สามารถผสมท่าทางแล้วเกิดคำได้ 141 คำ แบ่งออกเป็นตัวเลข 101 คำ เป็นคำ 40 คำ และสามารถผสมคำให้เป็นประโยคอย่างมีความหมายได้อย่างน้อย 20 ประโยค

ผลการทดลองจะพบว่าอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour ที่กำหนดให้ K มีค่าเท่ากับ 5 มีความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour รูปแบบอื่น ส่วนอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน โหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนดทุกชั้น มีความแม่นยำในการทำนายเฉลี่ยสูงที่สุดเทียบกับอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบอื่น เมื่อนำรูปแบบที่มีความแม่นยำสูงสุดของแต่ละอัลกอริทึมมาทำนายแบบประโยคพบว่าอัลกอริที่ม K-Nearest Neighbour ที่ K เท่ากับ 5 มีความแม่นยำในการทำนายแบบประโยคเฉลี่ยดีที่สุด เมื่อเทียบกับอัลกอริที่มโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด ในส่วนของการหน่วงเวลาสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งที่เวลา 1.2 ให้ผลการทำนายแบบประโยคดีที่สุด ดังนั้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการพัฒนาต้นแบบเครื่องแปลภาษามือไทยให้ครอบคลุมทุกหมวดหมู่ได้

Project Title	: Development of sign language translates device using leap motion with machine learning
Name	: Mr. Chadchawat Jitboon Code 56361914
	Mr. Natthapong Wongsan Code 56361952
	Mr. Sarot Kuchan Code 56362300
Project advisor	: Mr.Choopong Chauypen
Major	: Mechanical Engineering
Department	: Mechanical Engineering
Academic year	: 2559

Abstract

Sign language translates device can be classified into three components: (1) Sign language input component. This project used Leap motion sensor from Leap Motion Inc. The input signals are coordinate of joints of fingers in one or two hands. These input signals have 152 value per hand per period time. (2) Sign language translating program. This translating program develop base on K-nearest neighbor and neural network algorithm. The K value of K-nearest neighbor algorithm in our development and experiment equal to 1, 5 and 50 respectively. Moreover, three models of neural network are one hidden layer which has 50 node in each layer, two hidden layer and which has 100 node in each layer and three hidden layer and which has 100 node in each layer. (3) Voice recognition output. Python programing language using in this development. The main objective of project is development of computer base sign language translating program.

The experiments conduct with 64 posture input which this 64 posture can conduct 141 sign words. The 141 sign words are number 0 to 100 and another 40 normal sign word. Moreover. These sign words can conduct 20 sentence. First group of experiment are conducted to evaluate the percent of correct 141 sign words

translate of K-nearest neighbor algorithm which K equal to 1, 5 and 50 as present previously. The percent of correct translate equal to97.3%, 98.4% and 97.3%respectively. Second group of experiment are conducted to evaluate the percent of correct 141 sign words translate of neural network algorithm which has 100 node in each layer and three hidden layer and which has 100 node in each layer. The percent of correct translate equal to 98.3%, 98.4% and 97.4% respectively. Finally, experiment of 20 sign sentences translate are conducted. The percent of correct translate equal to 86.9% of K-nearest neighbor and 81.7% of neural network.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ลีพโมชั่นและการเรียนรู้ของเครื่องฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านซึ่งไม่อาจจะนามากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกใคร่ขอกราบพระคุณ นายชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนโครงงานการพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ลีพโมชั่นและการเรียนรู้ของเครื่องฉบับนี้ออกมาสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบ ท่านแรก ท่าน ดร.ปัญญวัณ ลำเพาพงศ์ ท่านที่สอง ท่าน ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของรูปเล่มโครงงานการพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ลีพโมชั่นและการเรียนรู้ของเครื่อง

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กาลังใจผู้ศึกษาเสมอมา ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
สารบัญกราฟ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 Leap Motion Controller	5
2.1.1 ข้อมูลต่างๆ ใน The Leap Motion Controller API	6
2.1.2 โครงสร้างภายใน Leap Motion Controller	8
2.2 Python	9
2.2.1 ภาษา Python	9
2.2.2 คุณสมบัติและความสามารถของภาษาไพธอน	9
2.3 ขั้นตอนการวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbour)	11
2.3.1 ระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean distance, Euclidean metric)	11
2.3.2 การเลือกคลาสให้ข้อมูลที่ยังไม่ทราบคลาส	12
2.4 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)	13
2.4.1 ฟังก์ชั่นกระตุ้น (Activation Function)	14

2.4.2 ฟังก์ชั่นค่าเสียหาย (Loss Function) 18
2.4.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) 19
2.4.4 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ข้อมูลย้อนกลับ (Back propagation Algorithm) 20
2.5 ภาษามือ (Thai Sign Language) 23
2.5.1 การสะกดนิ้วมือ 24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ 27
3.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน 27
3.2 วิธีการดำเนินและการรวบรวมข้อมูล 28
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลฝึกสอน 29
3.2.2 ขั้นตอนออกแบบอัลกอริทึม 31
3.2.3 ขั้นตอนการนำอัลกอริทึมมาใช้ในการทำนายท่าทาง 36
3.2.4 ขั้นตอนการนำอัลกอริทึมมาทำนายประโยค 37
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 39
บทที่ 4 ผลการทดลอง 41
4.1 กราฟแสดงผลการทำนายท่าทางของ KNN ที่ K ต่างๆ 41
4.2 กราฟแสดงผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบต่างๆ 42
4.3 กราฟแสดงผลการทำนายประโยคของ KNN ที่ K = 5 สำหรับสถานการณ์ต่างๆ 43
4.4 กราฟแสดงผลการทำนายแบบประโยคของ โครงข่ายประสาทเทียม ที่จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด ของสถานการณ์ต่างๆ 44
บทที่ 5 บทสรุป 45
5.1 สรุปผลการทำนาย 45
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 47
5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 49
เอกสารอ้างอิง 50
ภาคผนวก ก 53
ภาคผนวก ข 65
ภาคผนวก ค 90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน 3

ตารางที่ 2.1 หน่วยปริมาณของ Leap Motion 6

ตารางที่ 3.1 แสดงหมวดหมู่ของคำที่เลือกใช้ในโครงงาน 39

ตารางที่ ข.1 ผลการทำนายท่าทางของ KNN โดยกำหนดให้ K=1 66

ตารางที่ ข.2 ผลการทำนายท่าทางของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 69

ตารางที่ ข.3 ผลการทำนายท่าทางของ KNN โดยกำหนดให้ K=50 72

ตารางที่ ข.4 ผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 50 โหนด 75

ตารางที่ ข.5 ผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนด 78

ตารางที่ ข.6 ผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนด 81

ตารางที่ ข.7 ผลการทำนายประโยคของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 เวลาหน่วงเท่ากับ 0.6 วินาที 84

ตารางที่ ข.8 ผลการทำนายประโยคของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 เวลาหน่วงเท่ากับ 0.9 วินาที 85

ตารางที่ ข.9 ผลการทำนายประโยคของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 เวลาหน่วงเท่ากับ 1.2 วินาที 86

ตารางที่ ข.10 ผลการทำนายประโยคของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนดเวลาหน่วงเท่ากับ 0.6 วินาที 87

ตารางที่ ข.11 ผลการทำนายประโยคของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนดเวลาหน่วงเท่ากับ 0.9 วินาที 88

ตารางที่ ข.12 ผลการทำนายประโยคของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนดเวลาหน่วงเท่ากับ 1.2 วินาที 89

ตาราง ค.1 ตำแหน่งต่างๆของมือ 91

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 Leap Motion Controller	5
รูปที่ 2.2 ลักษณะมือ	6
รูปที่ 2.3 ลักษณะแต่ละนิ้ว	6
รูปที่ 2.4 การวาดนิ้วในลักษณะวงกลม	7
รูปที่ 2.5 ลักษณะแสดงการปัด	7
รูปที่ 2.6 ลักษณะการแตะ	8
รูปที่ 2.7 leap motion	8
รูปที่ 2.8 ภาษาเขียนโปรแกรมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปี 2014	10
รูปที่ 2.9 K-Nearest Neighbour	11
รูปที่ 2.10 เซลล์ประสาท	13
รูปที่ 2.11 โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม	14
รูปที่ 2.12 ฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิต	15
รูปที่ 2.13 ฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิตเมื่อโครงข่ายที่มีค่า b/w	15
รูปที่ 2.14 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเชิงเส้น	16
รูปที่ 2.15 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเชิงเส้นของโครงข่ายที่มีค่า b/w	16
รูปที่ 2.16 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนซิกมอยด์	17
รูปที่ 2.17 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนซิกมอยด์ของโครงข่ายที่มีค่า b/w	17
รูปที่ 2.18 multilayer perceptron โดยมีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น	19
รูปที่ 2.19 แบบสะกดนิ้วมือไทย	24
รูปที่ 2.20 แบบสะกดสระ วรรณยุกต์ และสัญลักษณ์อื่นๆ	25
รูปที่ 2.21 แบบสะกดตัวเลข	25
รูปที่ 2.22 วิธีการสะกดนิ้วมือ	26
รูปที่ 3.1 การตรวจจับท่าทางของมือจาก Leap motion	29
รูปที่ 3.2 หน้าต่างไฟล์ csv. ของข้อมูลการแสดงท่าทางห้องน้ำ 1	29
รูปที่ 3.3 หน้าต่างของโปรแกรม python	30
รูปที่ 3.4 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม python ขณะบันทึกท่าทาง	30
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของการบันทึกข้อมูลในรูปแบบ Flowchart	30
รูปที่ 3.6 รูปแบบ KNN ที่กำหนดค่า K=1	31

รูปที่ 3.7 รูปแบบ KNN ที่กำหนดค่า K=5 32
รูปที่ 3.8 รูปแบบ KNN ที่กำหนดค่า K=50 32
รูปที่ 3.9 โครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อนเท่ากับ 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 50 33
รูปที่ 3.10 โครงข่ายประสาทเทียมชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด 34
รูปที่ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อนเท่ากับ 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 ,2 และ 3 เท่ากับ 100 โหนด 34
รูปที่ 3.12 การทำงานของทำนายท่าทางของอัลกอริทึม 36
รูปที่ 3.13 หน้าต่างการทำนายท่าทาง (ด้านซ้ายมือ) 37
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการทำนายแบบประโยค 38
รูปที่ 5.1 ภาพของท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกันของท่าทางว่า ศูนย์, สิบท่าที่ 2, ห้าสิบท่าที่ 2 47
รูปที่ 5.2 ภาพของท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกันของท่าทางว่า สอง, หก 48
รูปที่ 5.3 ภาพของท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกันของท่าทางว่า หิวท่าที่ 1, ฉัน 48
รูปที่ ก.1 ท่าทางหมายเลข ID 0 54
รูปที่ ก.2 ท่าทางหมายเลข ID 1 54
รูปที่ ก.3 ท่าทางหมายเลข ID 2 54
รูปที่ ก.4 ท่าทางหมายเลข ID 3 54
รูปที่ ก.5 ท่าทางหมายเลข ID 4 54
รูปที่ ก.6 ท่าทางหมายเลข ID 5 54
รูปที่ ก.7 ท่าทางหมายเลข ID 6 55
รูปที่ ก.8 ท่าทางหมายเลข ID 7 55
รูปที่ ก.9 ท่าทางหมายเลข ID 8 55
รูปที่ ก.10 ท่าทางหมายเลข ID 9 55
รูปที่ ก.11 ท่าทางหมายเลข ID 10 55
รูปที่ ก.12 ท่าทางหมายเลข ID 11 55
รูปที่ ก.13 ท่าทางหมายเลข ID 12 56
รูปที่ ก.14 ท่าทางหมายเลข ID 13 56
รูปที่ ก.15 ท่าทางหมายเลข ID 14 56
รูปที่ ก.16 ท่าทางหมายเลข ID 15 56
รูปที่ ก.17 ท่าทางหมายเลข ID 16 56
รูปที่ ก.18 ท่าทางหมายเลข ID 17 56

รูปที่ ก.19 ท่าทางหมายเลข ID 18 57
รูปที่ ก.20 ท่าทางหมายเลข ID 19 57
รูปที่ ก.21 ท่าทางหมายเลข ID 20 57
รูปที่ ก.22 ท่าทางหมายเลข ID 21 57
รูปที่ ก.23 ท่าทางหมายเลข ID 22 57
รูปที่ ก.24 ท่าทางหมายเลข ID 23 57
รูปที่ ก.25 ท่าทางหมายเลข ID 24 58
รูปที่ ก.26 ท่าทางหมายเลข ID 25 58
รูปที่ ก.27 ท่าทางหมายเลข ID 26 58
รูปที่ ก.28 ท่าทางหมายเลข ID 27 58
รูปที่ ก.29 ท่าทางหมายเลข ID 28 58
รูปที่ ก.30 ท่าทางหมายเลข ID 29 58
รูปที่ ก.31 ท่าทางหมายเลข ID 30 59
รูปที่ ก.32 ท่าทางหมายเลข ID 31 59
รูปที่ ก.33 ท่าทางหมายเลข ID 32 59
รูปที่ ก.34 ท่าทางหมายเลข ID 33 59
รูปที่ ก.35 ท่าทางหมายเลข ID 34 59
รูปที่ ก.36 ท่าทางหมายเลข ID 35 59
รูปที่ ก.37 ท่าทางหมายเลข ID 36 60
รูปที่ ก.38 ท่าทางหมายเลข ID 37 60
รูปที่ ก.39 ท่าทางหมายเลข ID 38 60
รูปที่ ก.40 ท่าทางหมายเลข ID 39 60
รูปที่ ก.41 ท่าทางหมายเลข ID 40 60
รูปที่ ก.42 ท่าทางหมายเลข ID 41 60
รูปที่ ก.43 ท่าทางหมายเลข ID 42 61
รูปที่ ก.44 ท่าทางหมายเลข ID 43 61
รูปที่ ก.45 ท่าทางหมายเลข ID 44 61
รูปที่ ก.46 ท่าทางหมายเลข ID 45 61
รูปที่ ก.47 ท่าทางหมายเลข ID 46 61
รูปที่ ก.48 ท่าทางหมายเลข ID 47 61
รูปที่ ก.49 ท่าทางหมายเลข ID 48 62

รูปที่ ก.50 ท่าทางหมายเลข ID 49 62
รูปที่ ก.51 ท่าทางหมายเลข ID 50 62
รูปที่ ก.52 ท่าทางหมายเลข ID 51 62
รูปที่ ก.53 ท่าทางหมายเลข ID 52 62
รูปที่ ก.54 ท่าทางหมายเลข ID 53 62
รูปที่ ก.55 ท่าทางหมายเลข ID 54 63
รูปที่ ก.56 ท่าทางหมายเลข ID 55 63
รูปที่ ก.57 ท่าทางหมายเลข ID 56 63
รูปที่ ก.58 ท่าทางหมายเลข ID 57 63
รูปที่ ก.59 ท่าทางหมายเลข ID 58 63
รูปที่ ก.60 ท่าทางหมายเลข ID 59 63
รูปที่ ก.61 ท่าทางหมายเลข ID 60 64
รูปที่ ก.62 ท่าทางหมายเลข ID 61 64
รูปที่ ก.63 ท่าทางหมายเลข ID 62 64
รูปที่ ก.64 ท่าทางหมายเลข ID 63 64
รูปที่ ค.1 แสดงตำแหน่งต่างๆของมือ 91

สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 4.1 กราฟผลการทำนายท่าทางของ KNN ที่ K = 1 ,5 ,50 41

กราฟที่ 4.2 กราฟผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบต่างๆ 42

กราฟที่ 4.3 กราฟผลการทำนายประโยคของ KNN ที่ K = 5 สำหรับสถานการณ์ต่างๆ 43

กราฟที่ 4.4 กราฟผลการทำนายแบบประโยคของ โครงข่ายประสาทเทียม ที่จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด ของสถานการณ์ต่างๆ 44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันผู้พิการทางการสื่อความหมายในประเทศไทยมีจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้ผู้พิการเหล่านี้มีปัญหาทางการสื่อสารกับบุคคลทั่วไป เนื่องจากผู้พิการทางการสื่อความหมายจะใช้ภาษามือในการสื่อสารทำให้บุคคลทั่วไปที่ไม่ได้เรียนรู้ภาษามือไม่สามารถเข้าใจในการสื่อสารของผู้พิการได้

ในปัจจุบันกลุ่มผู้พิการเหล่านี้ได้มีผู้ตะหนักถึงความลำบากในการสื่อสารกับบุคคลทั่วไป ทำให้เกิดการคิดค้นและประดิษฐ์อุปกรณ์สื่อสารเสริมและทางเลือกอื่นแทนเสียงพูด (Augmentative Alternative Communication) [1] เพื่อมาทดแทนเสียงจริงที่ผู้พิการทางการสื่อความหายสูญเสียไปที่จะสามารถช่วยผู้พิการทางการสื่อสารให้สามารถสื่อสารกับคนทั่วไปได้นั้นมีจำนวนมากมายหลายประเภท ทั้งโปรแกรมช่วยสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์โดยใช้สัญรูป (icon) ถึงแม้ว่าจะมีการสร้างอุปกรณ์การประยุกต์และการพัฒนาเทคโนโลยีด้านภาษามือมากมาย แต่สำหรับภาษามือไทยในการแปลลักษณะท่าทางเป็นเสียงหรือข้อความยังมีอยู่ค่อนข้างน้อยและจำกัด

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) คือ การให้เครื่อง (ในที่นี้หมายถึงเครื่องคำนวณที่สามารถทำตามคำสั่งได้ เช่น คอมพิวเตอร์) เรียนรู้งานใดงานหนึ่งจากตัวอย่างหรือประสบการณ์จำนวนหนึ่งเพื่อให้ทำงานนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิ์ภาพได้จากตัวอย่างเพิ่มเติม

Leap Motion Controller เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมือหรือสิ่งของอื่นๆ ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีความละเอียดสูงและยังสามารถพัฒนาความสามารถของตัวอุปกรณ์ได้อีกในความอนาคต

จากแนวคิดที่เทคโนโยลีด้านการแปลภาษามือไทยมีค่อนข้างน้อยและจำกัด ผู้จัดทำโครงงานจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและการพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต้นแบบด้วยการใช้ Leap Motion

Controller และการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อให้ผู้พิการทางการสื่อความหมายสามารถติดต่อสื่สารกับบุคคลทั่วไปที่ไม่เข้าภาษามือไทยได้อย่างสะดวก เพิ่มความเท่าเทียมกันระหว่างผู้พิการกับบุคคลทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour สำหรับทำนายท่าทาง

1.2.2 เพื่อศึกษาอัลกอริทึม โครงข่ายประสาทเทียม สำหรับทำนายท่าทาง

1.2.3 เพื่อศึกษาการสื่อสารโดยใช้ภาษามือไทย

1.2.4 เพื่อศึกษาการทำงานและการใช้งานของ Leap Motion Controller

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้อัลกอริทึม K-Nearest Neighbour และ โครงข่ายประสาทเทียม ที่สามารถทำนายภาษามือที่กำหนดได้

1.3.2 เป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการพัฒนาเครื่องแปลภาษามือต่อไปในอนาคต

1.4 ขอบเขตโครงงาน

1.4.1 สร้างอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour และ โครงข่ายประสาทเทียม

1.4.2 กำหนดภาษามือไทยที่ใช้เป็นฐานข้อมูลของ K-Nearest Neighbour และโครงข่ายประสาทเทียม

1.4.3 ทำการทดลองและปรับค่าหาความแม่นยำของอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour และ โครงข่ายประสาทเทียม

1.4.4 เปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายแบบประโยคที่ใช้การหน่วงเวลาสำหรับจับท่าทางที่เวลาต่างๆ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 กำหนดภาษามือไทยที่ใช้ในการทำโครงงาน

1.5.3 ออกแบบอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour และ โครงข่ายประสาทเทียม

1.5.4 ทำการทดลอง

1.5.5 พัฒนาและปรับปรุงค่าเพื่อให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้น

1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบที่ได้

1.5.7 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2559				2560			
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง								
2.ออกแบบอัลกอริทึม K-Nearest Neighbour และ โครงข่ายประสาทเทียม และ Scikit learn								
3.ทำการทดลอง								
4.พัฒนาและปรับปรุงค่าเพื่อให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้น								
5.วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบที่ได้								
6.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

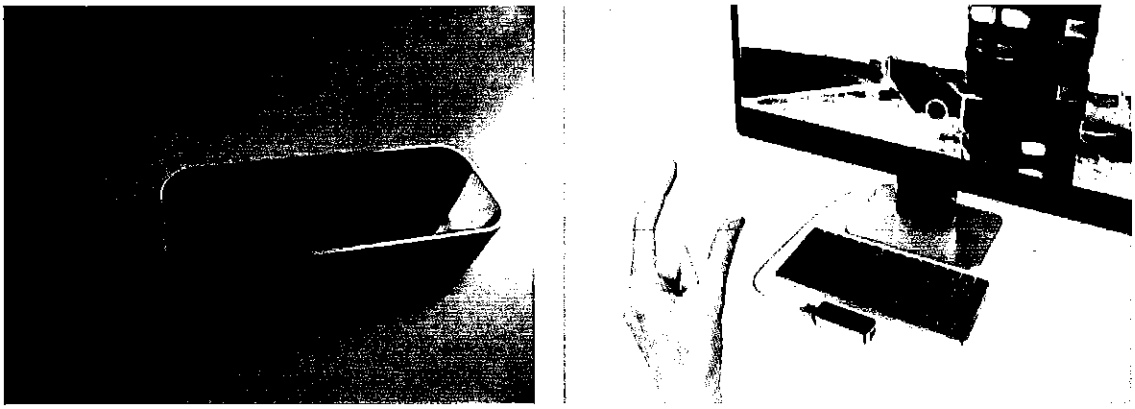
1.7.1 กระดาษ	500 บาท
1.7.1 จัดทำรูปเล่ม	2000 บาท
1.7.1 ค่าอุปกรณ์ Leap Motion Controller	3500 บาท
รวม	6000 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 Leap Motion Controller

Leap Motion Controller คืออุปกรณ์ที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมือ นิ้วมือ เพื่อนำมาใช้ในงานควบคุมคอมพิวเตอร์หรือประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ซึ่งการบังคับทำได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับหน้าจอ Leap Motion Controller สามารถตรวจจับตำแหน่งของวัตถุต่างๆ เป็นสามมิติ อ้างอิงตามแกนแนวยาว (X) แกนความสูง (Y) และแกนแนวขวาง (Z) มีจุด origin อยู่ตรงกลางของตัวอุปกรณ์ ตรวจจับท่าทางได้หลายแบบหลายทิศทาง [3] ซึ่งอาศัยการทำงานของสัญญาณอินฟาเรด มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงถึง 120 เฟรมต่อวินาที และมีความแม่นยำในระดับ 0.01 มิลลิเมตร [4] ภาษาที่สามารถพัฒนาแอปพลิเคชั่นให้ใช้งาน Leap Motion Controller ได้นั้นมี 9 ภาษา ได้แก่ C, C++, C#, Unity, Java, JavaScript, Python, Objective-C, Unreal [5] ทั้ง 9 ภาษานี้ทางผู้ผลิตของ Leap Motion Controller มีเอกสารให้อ่านศึกษาพร้อมมีโค้ดให้พัฒนาต่อ



รูปที่ 2.1 Leap Motion Controller [5]

The Leap Motion Controller API วัดปริมาณทางกายภาพแสดงในตางรางที่ 2.1 ดังนี้ [6]

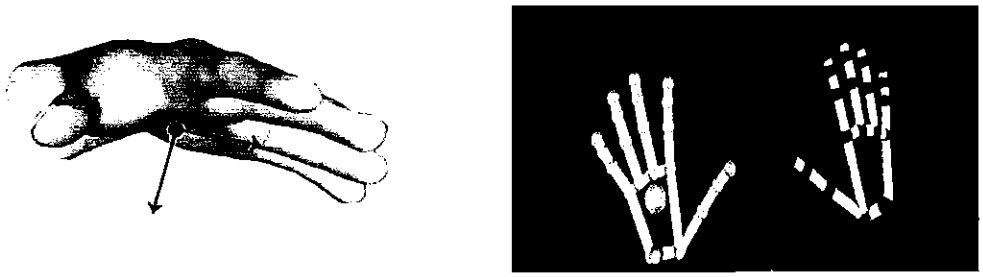
ปริมาณ	หน่วย
ระยะทาง	: มิลลิเมตร
เวลา	ไมโครวินาที (เว้นแต่จะระบุ)
ความเร็ว	มิลลิเมตร/วินาที
มุม	เรเดียน

ตารางที่ 2.1 หน่วยปริมาณของ Leap Motion

2.1.1 ข้อมูลต่างๆ ใน The Leap Motion Controller API

2.1.1.1 เฟรม (frame) คือข้อมูลทุกอย่างที่ Leap Motion Controller อ่านได้ 1 ครั้ง ซึ่งจะจับภาพด้วยความเร็ว สามารถจับภาพได้สูงสุด แต่ละเฟรมจะมีข้อมูลของมือ นิ้ว และท่าทาง

2.1.1.2 มือ (hand) เมื่อตัวอุปกรณ์ตรวจจับมือได้ จะส่งค่าแสดงตำแหน่ง ทิศทางของมือ และความเร็วของมือ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะมือ [7]

2.1.1.3 นิ้วมือ (finger) อุปกรณ์ตรวจจับการทำงานของนิ้วมือ รูปแบบลักษณะของมือ นิ้วมือ มีการระบุโดยชื่อประเภทเช่น นิ้วหัวแม่มือ (thumb), นิ้วชี้ (index), นิ้วกลาง (middle), นิ้วนาง (ring), และ นิ้วก้อย (pinky) ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ลักษณะแต่ละนิ้ว [7]

2.1.1.4 การตรวจจับท่าทาง (gesture) มี 3 แบบ คือวงกลม การปัด และการแตะ

ก. วงกลม (circle) คือการวาดนิ้วในลักษณะวงกลม โดยตัวอุปกรณ์สามารถตรวจจับตำแหน่ง ทิศทาง และขนาดของวงกลมที่เกิดขึ้นได้แล้วจะเก็บค่าจุดศูนย์กลาง ทิศทาง ความเร็ว และจำนวนรอบ ดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 การวาดนิ้วในลักษณะวงกลม [7]

ข. การปัด (swipe) คือการปัดนิ้วอย่างรวดเร็วในลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งตัวอุปกรณ์สามารถตรวจจับตำแหน่งและทิศทางได้แล้วจะเก็บค่าจุดเริ่มต้น จุดปัจจุบัน ทิศทาง และความเร็วการปัด ดังรูปที่ 2.5

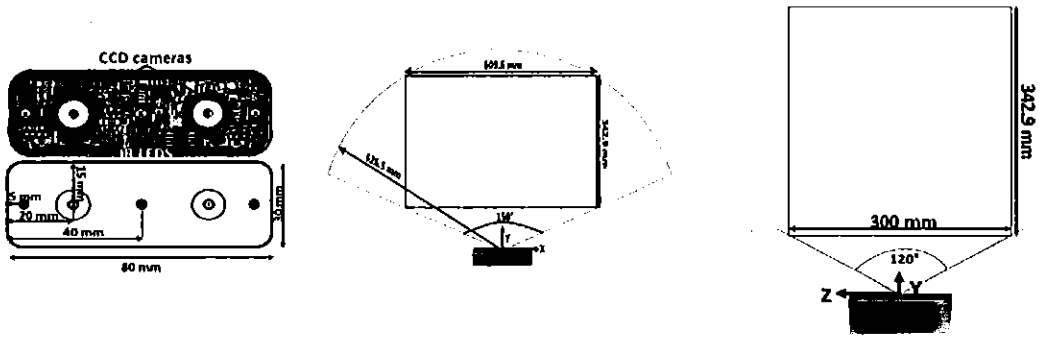
รูปที่ 2.5 ลักษณะแสดงการปัด [7]

ค. การแตะ (screenTap, keyTap) คือการใช้นิ้วเคลื่อนที่ลงแล้วขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะคล้ายกับการแตะจอสัมผัสที่ลอยอยู่บนอากาศ ตัวอุปกรณ์จะสามารถตรวจจับตำแหน่งของการแตะได้แล้วจะเก็บค่าตำแหน่งและทิศทางที่แตะ ดังรูปที่ 2.6 [7]

รูปที่ 2.6 ลักษณะการแตะ [7]

2.1.2 โครงสร้างภายใน Leap Motion Controller

แผนภาพแสดงเค้าร่างของส่วนประกอบหลักและขอบเขตการตรวจจับของ leap motion แสดงในรูปที่ 2.7 ในรูปที่ 2.7.ก ประกอบด้วยกล้อง CCD (Charge Coupled Device) 2 ตัว และมี LED อินฟาเรด จำนวน 3 ตัว รูปที่ 2.7.ข และ รูปที่ 2.7.ค แสดง ระยะตรวจจับของ leap motion Controller โดยมีระยะการตรวจจับตามยาว (ตามแนวแกนX) 609.6 มิลลิเมตร สูง (ตามแนวแกนY) 342.9 มิลลิเมตร กว้าง (ตามแนวแกนZ) 300 มิลลิเมตร มีมุมในการมองเห็น ตามแนวยาว 150 องศา และตามขวาง 120 องศา [8]



(ก.) Schematic view. (ข.) ขอบเขตการตรวจจับแนวแกน XY (ค.) ขอบเขตการตรวจจับแนวแกน XY

รูปที่ 2.7 Leap Motion Controller [8]

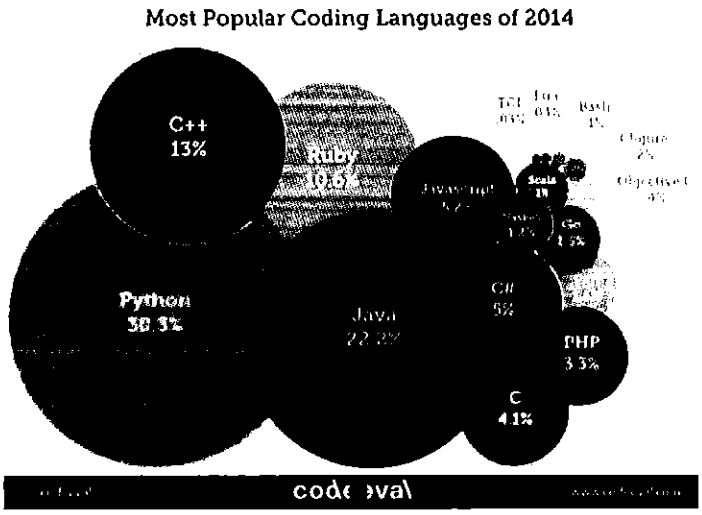
2.2 Python

2.2.1 ภาษา Python

ไพธอน (Python หมายถึง งูเหลือม ตามความหมายในพจนานุกรม) คือ ภาษาระดับสูงที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมอีกภาษาหนึ่งที่มีความสามารถสูงไม่แพ้ภาษาอื่นๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ถูกสร้างขึ้นโดยนักพัฒนาโปรแกรมชาวดัชท์ (Dutch) ชื่อ Guido van Rossum ประเทศเนเธอร์แลนด์ เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2499 ภาษาไพธอนได้รับอิทธิพลมาจากภาษา ABC ซึ่งมีความสามารถในการจัดการเกี่ยวกับข้อผิดพลาดของโปรแกรม (Exception handling) ได้ดี และดึงเอาความสามารถเด่นๆ ของภาษาระดับสูงอื่นๆ มาประยุกต์ดัดแปลงใช้กับไพธอนด้วย ส่งผลให้ภาษาไพธอนเป็นที่นิยมและใช้งานกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันเนื่องจากเป็นภาษาที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย รวดเร็ว รูปแบบการเขียนโปรแกรมมีความกะทัดรัด และมีประสิทธิภาพสูง จากการนำเอาคุณลักษณะเด่นของภาษาอื่นๆ มาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอดนี้เอง ไพธอนจึงถูกเรียกว่าเป็นภาษาที่มีหลายกระบวนทัศน์หรือหลายมุมมอง (Multi-paradigm languages) ซึ่งเป็นการ ผสมผสานรวมเอาแนวความคิดในการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันให้อยู่ในตัวของไพธอนคือ Object-oriented programming, Structured programming, Functional programming และ Aspect-oriented programming [9]

2.2.2 คุณสมบัติและความสามารถของภาษาไพธอน

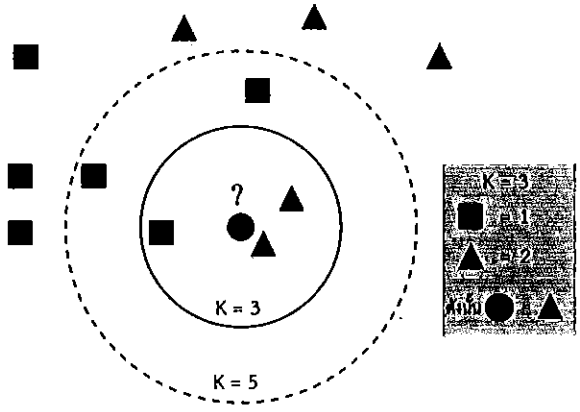
ไพธอนถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (Platform independent) กล่าวคือสามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการตระกูลวินโดวส์ (Windows NT, 2000, 2008, XP, 7, 8, 8.1) ตระกูลยู นิกส์-ลินกซ์ (Unix, Linux, xBSD) และตระกูลแมคด้วย (Macintosh) โดยระบบปฏิบัติการเหล่านี้ติดตั้งเพียงโปรแกรมแปลภาษาให้เป็นภาษาเครื่องของสถาปัตยกรรมนั้นๆ เท่านั้น ภาษาไพธอนเป็นซอฟต์แวร์เสรี (Open source software) เหมือนภาษาพีเอชพี (PHP) ทำให้ทุกคนสามารถนำไพธอนมาพัฒนาโปรแกรมได้ฟรีๆ โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และคุณสมบัติความเป็นซอฟต์แวร์เสรีทำให้มีโปรแกรมเมอร์ทั่วโลกเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ไพธอนมีความสามารถสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้สามารถครอบคลุมงานในลักษณะต่างๆ อย่างกว้างขวาง โดยในปี 2014 ภาษาไพธอนได้รับความนิยมเป็นอันดับ 1 แสดงดังรูปที่ 2.8 [9]



รูปที่ 2.8 ภาษาเขียนโปรแกรมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปี 2014 [9]

2.3 ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbour)

K-Nearest Neighbour หรือ KNN คือ วิธีในการเลือกคลาสคำตอบให้สำหรับชุดข้อมูล (input) [15] ที่ยังไม่ทราบคลาสคำตอบ แล้วตัดสินใจว่าชุดข้อมูลที่ยังไม่ทราบคลาสคำตอบนั้นอยู่ใกล้เคียงคลาสคำตอบใดมากที่สุด ด้วยการหาระยะห่างระหว่างแต่ละ Attribute ของชุดข้อมูลกับทุกคลาสคำตอบ โดยใช้วิธีการหาระยะทางแบบยุคลิด หลังจากนั้นนำผลรวมของค่าระยะห่างของแต่ละคลาสคำตอบมาเรียงค่าจากน้อยไปมากจำนวน K ตัว เพื่อหาว่าคลาสคำตอบที่นำมาเรียงกัน K ตัวนั้นมีคลาสคำตอบใดอยู่มากที่สุดซึ่งจะเป็นคลาสคำตอบของชุดข้อมูลที่ยังไม่ทราบคลาสคำตอบนั้น



รูปที่ 2.9 K-Nearest Neighbour

2.3.1 ระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean distance, Euclidean metric)

จะนำมาใช้ในการหาระยะห่างของแต่ละ Attribute เพื่อที่จะทราบว่าคลาสคำตอบใดใกล้ข้อมูลที่ยังไม่ทราบคลาสคำตอบมากที่สุด ในเรขาคณิตสัมบูรณ์ (absolute geometry) ระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างจุดสองจุด คือความยาวของส่วนของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดเหล่านั้น

กรณีหนึ่งมิติ ระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนเส้นจำนวนจริงคือค่าสัมบูรณ์องผลต่างของสองค่านั้น คำนวณได้จาก

$$d = \sqrt{(\Delta x)^2} = |x_2 - x_1| \tag{2.1}$$

เมื่อ x_1 และ x_2 คือจุดสองจุด (หรือจำนวนสองจำนวน) บนเส้นจำนวนจริง

กรณีสองมิติ ระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนเส้นจำนวนจริงคือค่าสัมบูรณ์ของผลต่างของสองค่านั้น คำนวณได้จาก

$$d=\sqrt{(\Delta x)^2+(\Delta y)^2}=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2} \qquad (2.2)$$

เมื่อ $\Delta x=(x_1,x_2)$ และ $\Delta y=(y_1,y_2)$ เป็นตำแหน่งระหว่าง x และ y

กรณีสามมิติ ระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนเส้นจำนวนจริงคือค่าสัมบูรณ์องผลต่างของสองค่านั้น คำนวณได้จาก

$$d=\sqrt{(\Delta x)^2+(\Delta y)^2+(\Delta z)^2}=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2} \qquad (2.3)$$

เมื่อ $\Delta x=(x_1,x_2)$, $\Delta y=(y_1,y_2)$ และ $\Delta z=(z_1,z_2)$ เป็นตำแหน่งระหว่าง x , y และ z

2.3.2 การเลือกคลาสให้ข้อมูลที่ยังไม่ทราบคลาส

การเลือกคลาสให้ข้อมูลที่ยังไม่ทราบคลาส สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P(w_n/x) &= \frac{F(x/w_i)}{F(x)} \\ &= \frac{F(x/w_i)}{\sum_{j=1}^{c} F(x/w_i)} \\ &= \frac{k_i}{\sum_{j=1}^{c} k_i} \end{aligned}$$

หรือ $P(w_n/x)=\frac{k_i}{k}$ (2.4)

เมื่อ k_i คือ จำนวนของ Class i ใดๆ

k คือ จำนวนทั้งหมด

ตัวอย่าง 2.1 ในการเลือกคลาสให้ชุดข้อมูลที่ยังไม่ทราบค่า จากการหาผลรวมของระยะทางและทำการเรียงคลาสจากผลรวมที่มีค่าน้อยที่สุดเรียงกัน ทั้งหมด 10 ชุด มี คลาส w_1 จำนวน 7 ตัว w_2 จำนวน 3 ตัว

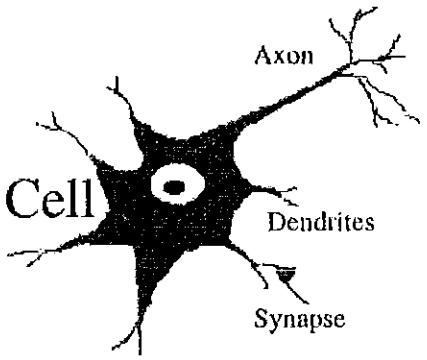
ชุด w_1 มี 7 ตัว คือ $P(w_1 / x) = \frac{7}{10} = 0.7$

ชุด w_2 มี 3 ตัว คือ $P(w_2 / x) = \frac{3}{10} = 0.3$

เพราะฉะนั้น ทำให้ทราบว่า $P(w_1 / x)$ มีค่ามากกว่า $P(w_2 / x)$ แสดงว่า w_1 แทนคลาสของชุดข้อมูลที่ไม่สามารถค่านี้ [16]

2.4 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

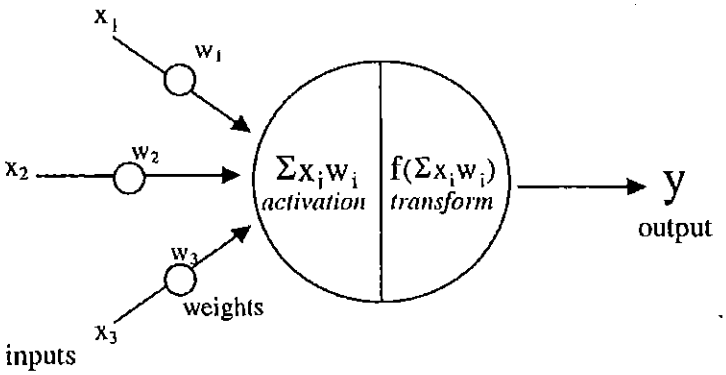
โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลคณิตศาสตร์ที่เป็นการเลียนแบบโครงข่ายประสาทข่ายสมองมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเซลล์ (cell body หรือ soma) แกนประสาทนำเข้าคือเดนไดรต์ (Dendrites) และแกนประสาทนำออกเรียกว่า แอกซอน (Axon) ส่วนที่รับสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาทอื่นๆเรียกว่าไซแนปส์ (Synapse) เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่ตัวเซลล์ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน



รูปที่ 2.10 เซลล์ประสาท

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญคือ โหนด (Node) หรือ ยูนิต (Unit), ตัวนำเข้า (Input), ตัวนำออก (Output) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมก็คือ เมื่อมีข้อมูลเข้าผ่านตัวนำเข้า ข้อมูลนั้นจะถูกคูณกับ

ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละโหนด และนำผลรวมของข้อมูลที่คูณกับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละโหนดผ่านฟังก์ชั่นกระตุ้นเพื่อส่งค่านำออกให้กับโหนดอื่นต่อไป โดยโหนดแต่ละโหนดจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของตัวนำเข้าต้องมากพอจึงจะสามารถส่งค่านำออกไปยังหน่วยอื่นได้



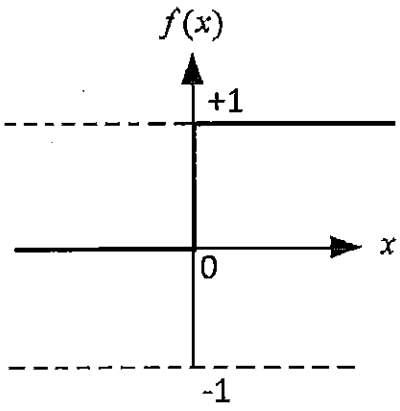
รูปที่ 2.11 โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม

2.4.1 ฟังก์ชั่นกระตุ้น (Activation Function)

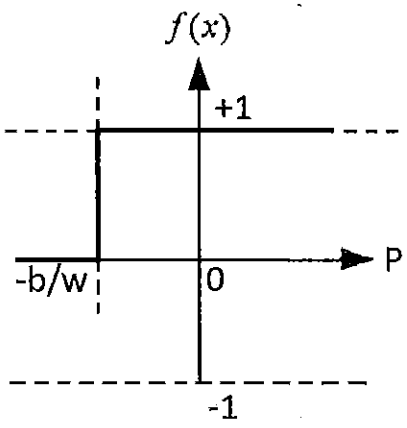
ฟังก์ชั่นกระตุ้น เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้สำหรับการตัดสินค่านำออกของแต่ละโหนดเพื่อส่งค่าให้โหนดอื่นในชั้นต่อไป [10] การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมและสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมกับปัญหาจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมถูกจัดอยู่ในกลุ่มอยู่ด้วยกันอย่างเหมาะสม ทำให้มีความถูกต้องสูง ดังนั้นการเลือกฟังก์ชั่นกระตุ้นมาใช้กับแบบจำลองที่เหมาะสมกับปัญหา จึงเป็นปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมให้ถูกต้อง

1. ฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Function)

เป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ใช้กับแบบจำลองอย่างง่าย เช่น ปัญหาที่ต้องการเพียงแบบจำลองชั้นเดียวในการทำงานแสดงใน รูปที่ 2.12 และ รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 ฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิต



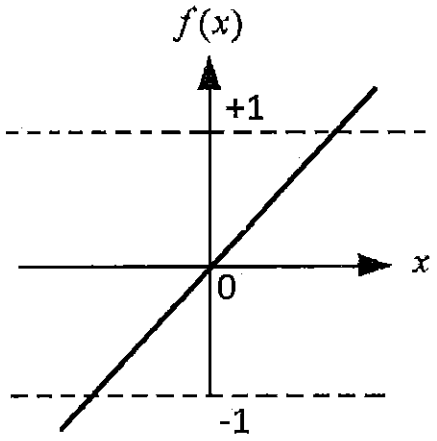
รูปที่ 2.13 ฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิตเมื่อโครงข่ายที่มีค่า b/w

จากกราฟที่แสดงดัง รูปที่ 2.12 ค่าฟังก์ชั่น $f(x)$ จะมีค่าเป็น 0 เมื่อค่าอินพุท(x) น้อยกว่า 0 และมีค่าเป็น 1 เมื่อค่าอินพุท(x) มากกว่าหรือเท่ากับ 0 สมการที่ (2.5) ส่วนรูปที่ 2.13 แสดงถึงลักษณะเด่นของฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิตเมื่อนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนัก(w) และค่าไบแอส(b) มีผลต่อค่าเอ้าท์พุท

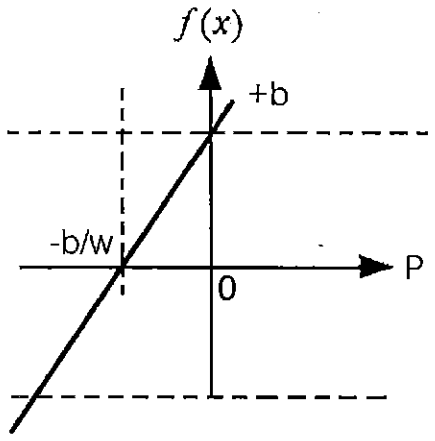
$$f(x)=\begin{cases}1 & if\ x\geq 0\\ 0 & if\ x<0\end{cases} \tag{2.5}$$

2. ฟังก์ชั่นเชิงเส้น (Linear Function)

เป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งการนำฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบนี้ไปใช้จะให้ผลลัพธ์ในการจำแนกที่ดีเมื่อข้อมูลอินพุทสามารถแบ่งแยกหรือมีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น ฟังก์ชั่นกระตุ้นเชิงเส้นมีลักษณะดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเชิงเส้น



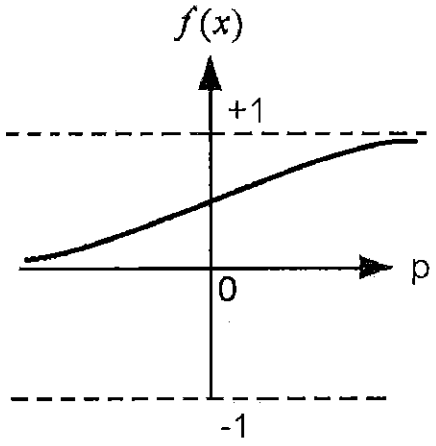
รูปที่ 2.15 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเชิงเส้นของโครงข่ายที่มีค่า b/w

จากรูปที่ 2.14 ค่าฟังก์ชั่น $f(x)$ ของฟังก์ชั่นกระตุ้นเชิงเส้นจะมีค่าเท่ากับค่าอินพุท (x) ส่วนรูปที่ 2.15 ค่าเอ้าท์พุท (x) เทียบกับค่าข้อมูลอินพุท (p) แสดงถึงลักษณะเด่นของฟังก์ชั่นกระตุ้นเชิงเส้นเมื่อนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่าไบแอสมีผลต่อค่าเอ้าท์พุท ดังสมการที่ (2.6)

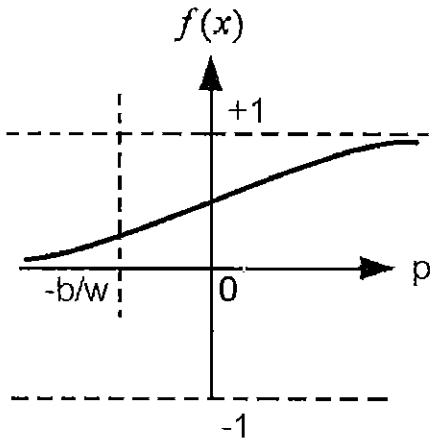
$$f(x)=x\,;\,x=(wp+b) \tag{2.6}$$

3. ฟังก์ชั่นซิกมอยด์ (Sigmoid Function)

เป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เป็นฟังก์ชั่นลักษณะคล้ายฟังก์ชั่นฮาร์ดลิมิตแบบสมมาตร [11] และเป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นที่นิยมใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back propagation) เนื่องจากเป็นฟังก์ชั่นที่สามารถหาอนุพันธ์ได้ทุกจุด [12] ฟังก์ชั่นถ่ายโอนซิกมอยด์มีลักษณะดังรูปที่ 2.16 และ รูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนซิกมอยด์



รูปที่ 2.17 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนซิกมอยด์ของโครงข่ายที่มีค่า b/w

จากรูปที่ 2.16 และ รูปที่ 2.17 ฟังชั่นถ่ายโอนแบบนี้จะรับค่าอินพุททุกค่า (อยู่ในช่วงบวกถึงลบอินฟินีตี้) แต่จะให้ค่าเอ้าท์พุทออกมาในช่วง 0 ถึง 1 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.7)

$$f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}} \;;\; x=(wp+b) \tag{2.7}$$

4. ฟังก์ชั่นซอฟต์แม็กซ์ (Softmax Function)

ฟังก์ชั่นซอฟต์แมกซ์ใช้สำหรับกรณีมีการคำนวณปัญหาคลาสหลาย (Multiclass Classifier) [13] สมการฟังก์ชอฟต์แม็กซ์สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$soft\max(x_i)=\frac{e^{s_i}}{\sum_{c}^{nclass} e^{s_c}} \tag{2.8}$$

2.4.2 ฟังก์ชั่นค่าเสียหาย (Loss Function)

ค่าความคลาดเคลื่อน หรือค่าเสียหาย คือค่าที่ได้จากการคำนวณเทียบกับค่าคำตอบที่คาดหวัง ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ประเภทดังนี้

1. ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (sum of squared error or SSE) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$SSE = \sum_{i} \left(t_{(i)} - x_{(i)} \right)^2 \tag{2.9}$$

เมื่อ x_i คือ ค่าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณ

t_i คือ ค่าของคำตอบที่คาดหวัง

2. เอนโทรปีไขว้ (Cross Entropy)

เอนโทรปีไขว้คือเอนโทรปีที่ถูกใช้ในทฤษฎีสารสนเทศ บอกถึงความไม่เป็นระเบียบของข้อมูล เมื่อค่าของข้อมูลไม่เป็นไปอย่างที่ควรจะเป็นความไม่เป็นระเบียบก็มากขึ้นเช่นเดียวกัน [14] เอนโทรปีไขว้มีอยู่ 2 กรณีได้แก่

กรณีที่ 1 คำตอบมีเพียงสองคลาส (Binary) เช่น 0 หรือ 1 และ ใช่ หรือ ไม่ใช่ เป็นต้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10 [13]

$$E = -\sum_{i=1}^{nout} \left(t_i \log\left(x_i\right) + \left(1 - t_i\right) \log\left(1 - x_i\right) \right) \tag{2.10}$$

กรณีที่ 2 คำตอบที่มีมากกว่าสองคลาส (Multi-Class) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11 [13]

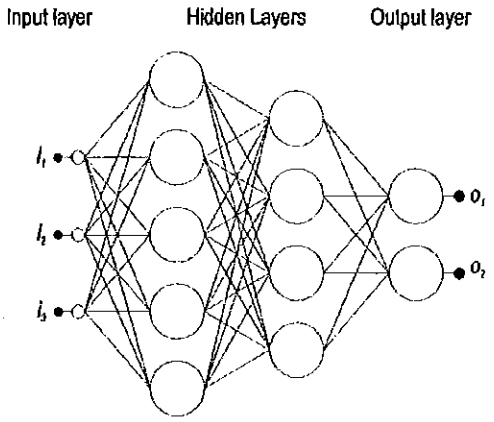
$$E = -\sum_{i}^{nclass} t_i \log\left(x_i\right) \tag{2.11}$$

เมื่อ x_i คือ ค่าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณ

t_i คือ ค่าของคำตอบที่คาดหวัง

2.4.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi-Layer Perceptron(MLP)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP จะประกอบไปด้วย ชั้นนำเข้า (Input Layer) เป็นชั้นแรกสุด ชั้นนำออก (Output Layer) เป็นชั้นท้ายสุด โดยมีชั้นซ่อน (Hidden Layer) เชื่อมอยู่ระหว่างชั้นนำเข้ากับชั้นนำออก การเรียนรู้โครงข่ายแบบ MLP นั้นเริ่มจากการนำข้อมูลเข้าไปยังชั้นนำเข้า เมื่อผ่านการคำนวณจากชั้นแรกแล้วผลลัพธ์จะถูกส่งต่อไปยังชั้นต่อไปนั่นก็คือชั้นซ่อน ซึ่งในแต่ละโหนดของชั้นซ่อนนี้ก็จะรับข้อมูลจากทุกโหนดในชั้นก่อนหน้ามาคำนวณ แล้วส่งไปยังชั้นถัดไปจนกระทั่งข้อมูลถูกส่งไปยังชั้นสุดท้าย ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมา หลังจากนั้นจะต้องมีการตรวจสอบค่านำออกที่ได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าคาดหวังที่ต้องการมากน้อยเพียงใด หากมีความคลาดเคลื่อนจากค่าคาดหวังมากเกินไปก็จะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักใหม่



รูปที่ 2.18 Multi-Layer Perceptron โดยมีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น

2.4.4 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ข้อมูลย้อนกลับ (Back propagation Algorithm)

อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ข้อมูลย้อนกลับเป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้ปรับค่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP ขั้นตอนในการเรียนรู้แบบแพร่ข้อมูลย้อนกลับ สามารถแบ่งออกได้ไปเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. เตรียมข้อมูลที่จะให้โครงข่ายเรียนรู้ รวมถึงกำหนดจำนวนชั้นซ่อนของโครงข่ายประสามเทียม กำหนดจำนวนโหนดในชั้นนำเข้า ชั้นซ่อนและชั้นนำออก จำนวนรอบสูงสุดในการเรียนรู้ ค่าความเสียหายที่ยอมรับได้ กำหนดค่าโมเมนต์ตัม และอัตราการเรียนรู้

2. กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละเส้นเชื่อม ระหว่างโหนดแต่ละชั้น สามารถสุ่มจากค่าจำนวนจริงที่มีค่าน้อยๆก็ได้

3. การป้อนข้อมูลไปข้างหน้า ในส่วนการคำนวณไปข้างหน้า สมการที่ใช้ในการคำนวณหาผลรวมของชั้นนำเข้าที่ไปยังโหนด j ในชั้นซ่อน สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$x_j = \sum_{i=1}^{n} x_i w_{ij} + b_j w_j \qquad (2.12)$$

เมื่อ x_i คือ ค่าข้อมูลตัวอย่างที่เข้ามายังโหนดตัวที่ I ในชั้นนำเข้า

x_j คือ ผลรวมของค่านำเข้าในโหนด j

n คือ จำนวนโหนดทั้งหมดของชั้นนำเข้า

w_{ij} คือ ค่าถวงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างโหนดนำเข้าตัวที่ I ไปยังโหนด j ในชั้นซ่อน

b_j คือ ค่าไบแอสของโหนด j มีค่าเท่ากับ 1

การคำนวณค่านำออกที่ชั้นซ่อนจะใช้ฟังชั่นซิกมอยด์ตามสมการที่ 2.13 ในการคำนวณ จะได้

$$o_j = \frac{1}{1+e^{-x_j}} \qquad (2.13)$$

เมื่อ o_j คือ ค่านำออกจากชั้นซ่อนโหนดที่ j

ค่านำออกจากชั้นซ่อนจะถูกส่งต่อเป็นค่านำเข้าให้กับชั้นซ่อนชั้นต่อไป จนถึงชั้นนำออกซึ่งเป็นชั้นสุดท้ายของโครงข่ายประสาทเทียม ค่าผลรวมนำเข้าที่เข้าไปยังโหนด k ของชั้นนำออกสามารถคำนวณจากสมการ 2.4 จะได้

$$x_k = \sum_{j=1}^{l} o_j w_{jk} + b_k w_k \qquad (2.14)$$

เมื่อ l คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในชั้นซ่อน

w_{jk} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างโหนด j ในชั้นซ่อน ไปยังโหนด k ในชั้นนำออก

o_j คือ ค่านำออกจากชั้นซ่อน

b_k คือ ค่าไบแอสของโหนด k มีค่าเท่ากับ 1

x_k คือ ผลรวมของค่านำเข้าจากชั้นก่อนหน้าเข้าในโหนด k

การคำนวณค่านำออกที่ชั้นนำออกจะใช้ฟังชั่นซอฟต์แมกซ์ ตามสมการที่ 2.15 ในการคำนวณ จะได้

$$o_k = \frac{e^{x_k}}{\sum_{c}^{nclass} e^{x_c}} \qquad (2.15)$$

เมื่อ o_k คือ ค่านำออกจากชั้นนำออกโหนดที่ k

n คือ จำนวนทั้งหมดของคลาสคำตอบ

4. คำนวณข้อมูลย้อนกลับ โดยการนำค่าที่ชั้นนำออกที่ได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบกับค่าคาดหวังที่ต้องการเพื่อคำนวณหาค่าความเสียหายและส่งค่าความเสียหายย้อนกลับไปยังชั้นต่างๆ และทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักใหม่

ในการคำนวณค่าเสียหายใช้เอนโทรปีไขว้ในการคำนวณ ตามสมการที่ 2.16 จะได้

$$E = -\sum_{k}^{nclass} t_k \log(o_k) \qquad (2.16)$$

เมื่อ E คือ ค่าความเสียหายรวมของชั้นนำออก

t_k คือ ค่านำออกที่คาดหวัง

o_k คือ ค่านำออกที่ได้จากการคำนวณ

n คือ คำนวณคลาสของค่านำออก

ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสามารถแยกออกเป็น 2 กรณีดังนี้

<u>กรณีพิจารณาที่ชั้นนำออก</u> ในการปรับค่าถ่วงน้ำหน้ำหนักที่ชั้นนำออก คำนวณได้จากสมการที่2.17 [10]

$$w_{jk}(n+1) = w_{jk}(n) + \Delta w_{jk}(n) \tag{2.17}$$

เมื่อ $w_{jk}(n+1)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นนำออกที่ปรับค่าใหม่

$w_{jk}(n)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักเดิมในชั้นนำออก

$\Delta w_{jk}(n)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นนำออกที่ต้องถูกปรับจากเดิม

โดย $\Delta w_{jk}(n)$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.18 [11]

$$\Delta w_{jk}(n) = \eta \delta_k o_j + \alpha \Delta w_{jk}(n-1) \tag{2.18}$$

เมื่อ η คือ อัตราการเรียนรู้

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนตัม

$\Delta w_{jk}(n-1)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นนำออกที่ต้องถูกปรับจากเดิมในครั้งก่อนหน้า

δ_k คือ ค่าเกรเดี้ยนของค่าความเสียหายที่โหนด k ในชั้นนำออก

ค่าเกรเดี้ยนที่ชั้นนำออกหาได้จากสมการที่2.19 [13]

$$\delta_k = (t_k - o_k)x_j \tag{2.19}$$

<u>กรณีพิจารณาที่ชั้นซ่อน</u> ในการปรับค่าถ่วงน้ำหน้ำหนักที่ชั้นซ่อนสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \Delta w_{ij}(n) \tag{2.20}$$

เมื่อ $w_{ij}(n+1)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นซ่อนที่ปรับค่าใหม่

$w_{ij}(n)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักเดิมในชั้นซ่อน

$\Delta w_{ij}(n)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นซ่อนที่ต้องถูกปรับจากเดิม

โดย $\Delta w_{ij}(n)$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.21

$$\Delta w_{ij}(n) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ij}(n-1) \quad (2.21)$$

เมื่อ $\Delta w_{ij}(n-1)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นซ่อนที่ต้องถูกปรับจากเดิมในครั้งก่อนหน้า

δ_j คือ ค่าเกรเดี้ยนของค่าความเสียหายที่โหนด j ในชั้นซ่อน

ค่าเกรเดี้ยนของชั้นซ่อนหาได้จากสมการที่ 2.22 [13]

$$\delta_j = -\sum_{k=1}^{m} (o_k - t_k)(w_{jk})(x_i(1-x_i)) \quad (2.22)$$

เมื่อ m คือ จำนวนโหนดทั้งหมดที่อยู่ในชั้นนำออก

5. ทำกระบวนการที่ 4 ซ้ำนกว่าค่าความเสียหายที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โครงข่ายจหยุดการปรับค่า และนำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้ต่อไป

2.5 ภาษามือไทย (Thai Sign Language)

ภาษามือเป็นภาษาแรกของผู้พิการทางการได้ยินที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร นักภาษาศาสตร์และนักมนุษยวิทยาได้ให้ความหมายของภาษามือว่า "ภาษามือเป็นภาษาของชุมชนคนหูหนวก เป็นภาษาที่มีระบบท่าทางการเคลื่อนไหวร่างกาย สีหน้า ท่ามือ และตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย" คนทั่วไปมักเข้าใจผิดว่าภาษามือเป็นภาษาสากล เพราะการใช้ภาษามือดูแล้วเหมือนๆกับภาษาใบ้ แต่ในความเป็นจริงแล้วภาษามือในแต่ละประเทศนั้นแตกต่างกันมาก [17]

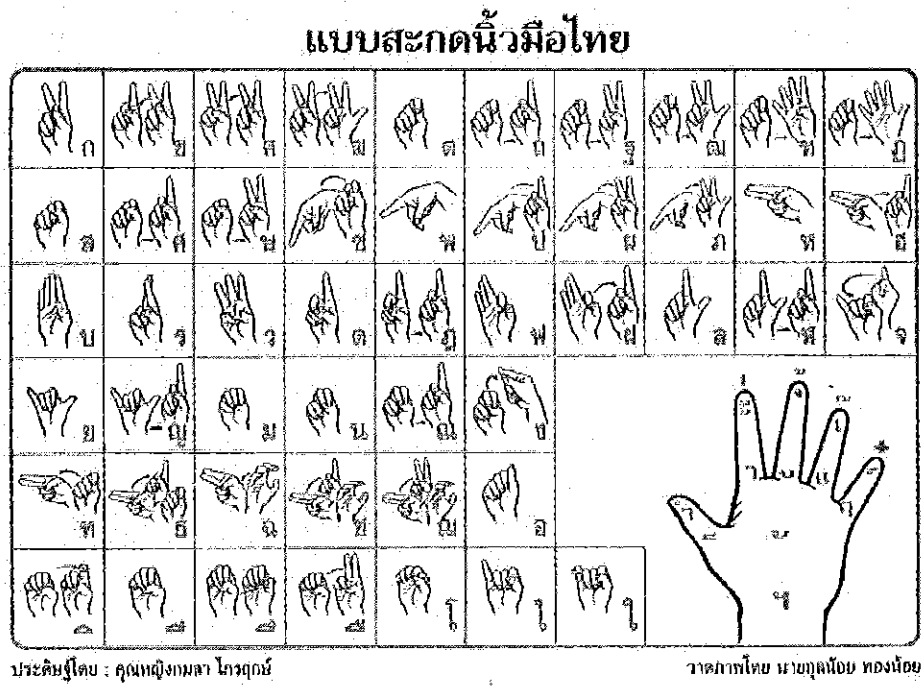
ภาษามือแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ ภาษามือธรรมชาติและภาษามือประดิษฐ์ ซึ่งภาษามือธรรมชาติ เป็นภาษาท่าทางที่คนผู้พิการทางการได้ยินและคนปกติคิดขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารกับคนทั่วๆ ไป และภาษาประดิษฐ์ เป็นภาษามือที่คนหูหนวกใช้เรียกชื่อสิ่งของเครื่องใช้หรืออากัปกิริยาต่างๆ ขึ้นอยู่กับท้องถิ่นโดยโดยมีโครงสร้างและไวยกรณ์ภาษามือ นอกจากภาษามือแล้วการสื่อสารกับคนหูหนวกจำเป็นต้องมีการสะกดนิ้วมือไทยในบางคำด้วย ได้แก่ กระสะกดพยัญชนะไทย ซึ่งการสะกดพยัญชนะไทย สระ และวรรณยุกต์นั้น จะเทียบเสียงจากภาษามืออังกฤษ และสะกดนิ้วมือเป็นตัวๆไปจนกลายเป็นคำ เพื่อง่ายต่อการใช้งาน ทั้งนี้ในการสื่อสารด้วยภาษามือมีเทคนิคในการใช้ภาษามือ ได้แก่ ควรเป็นท่าที่ทำง่าย สะดวก รวดเร็ว มีความหมายใกล้เคียงธรรมชาติ ไม่ทำเร็วหรือช้าเกินไป มี

การแสดงสีหน้า และการเคลื่อนไหวของใบหน้า ตลอดจนต้องคำนึงถึงโครงสร้างและไวยกรณ์ทางภาษา เช่น ท่ามือ การเคลื่อนไหวของมือ ทิศทางของฝ่ามือ จึงจะทำให้การใช้ภาษามือถูกต้องตรงตามความหมายที่ต้องจะสื่อสาร [18]

2.5.1 การสะกดนิ้วมือ

การสะกดนิ้วมือช่วยคนหูหนวกซึ่งเป็นผู้เรียนรู้ทางตาในการศึกษาหาความรู้และช่วยให้สื่อสารกันได้อย่างชัดเจนและสะดวก ดังนั้นการใช้ท่าทางต่างๆ พร้อมด้วยการสะกดด้วยนิ้วมือ จึงจำเป็นต่อการสื่อสารของคนหูหนวกเป็นอย่างยิ่ง การสะกดนิ้วมือของไทย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ [19]

ส่วนที่ 1 แบบสะกดตัวอักษร การเรียงลำดับของอักษรไทย สระ วรรณยุกต์ ในภาษามือจะแตกต่างกับ การเรียงอักษรปรกติ โดยอักษรภาษามือหรือแบบสะกดนิ้วมือไทย ได้เรียงลำดับตัวอักษรตามลักษณะท่ามือ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น ก ข ค และ ฆ ส่วนอักษรตัวต่อไปเป็น ตัว ต ถ ฐ ฒ ท ฏ (ทั้ง 6 ตัวนี้ มีลักษณะท่ามือคล้ายกัน) ตัว ฮ ซึ่งเป็นตัวอักษรสุดท้ายของตนปกติ แต่สำหรับคนหูหนวก ตัว ฮ จะอยู่ในกลุ่มของ ห เป็นต้น ดังนั้นอักษรตัวสุดท้ายของแบบสะกดนิ้วมือไทยคือ ตัว อ ตัวสะกดนิ้วมือของคนหูหนวกไทยไม่มีตัว ฃ ฅ เนื่องจากคนหูหนวก พบเห็นตัวอักษร 2 ตัวนี้ น้อยมาก แสดงดังรูปที่ 2.19 [20]



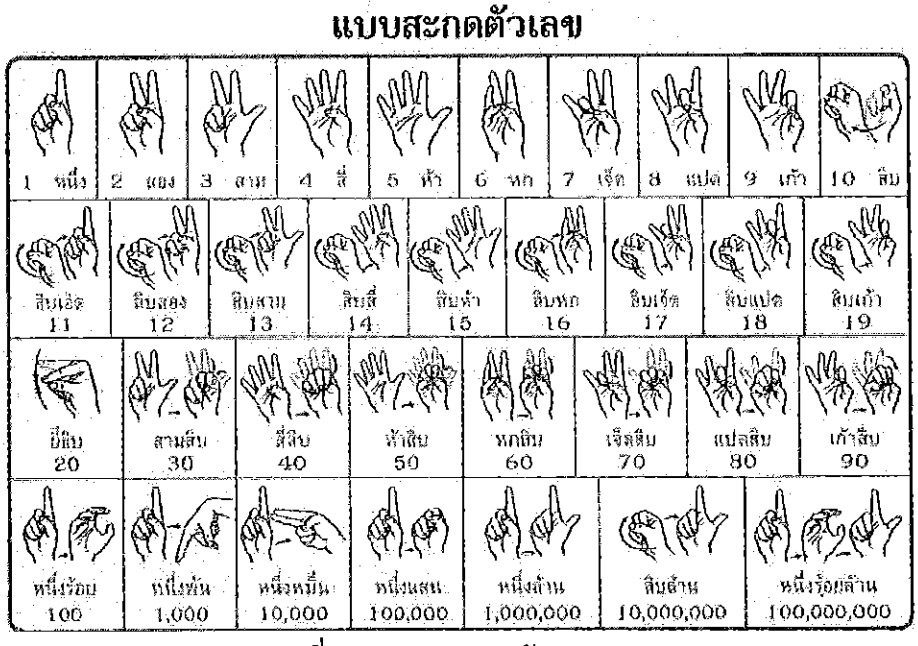
รูปที่ 2.19 แบบสะกดนิ้วมือไทย [20]

19181960
14 ก.ย. 2560
สำนักหอสมุด

ส่วนที่ 2 แบบสะกดนิ้วมือ สระ วรรณยุกต์ และสัญลักษณ์อื่นๆ ซึ่งได้จัดเรียงตามลักษณะที่คนหูหนวกเห็นและใช้อยู่ตามปรกติ ซึ่งไม่เหมือนกับการเรียงลำดับของสระในภาษาไทย แสดงดังรูปที่ 2.20

รูปที่ 2.20 แบบสะกดสระ วรรณยุกต์ และสัญลักษณ์อื่นๆ [20]

ส่วนที่ 3 แบบสะกดตัวเลข ซึ่งมีตั้งแต่ 1-10 และตัวเลขหลักสิบ ถึง หลักล้าน ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แบบสะกดตัวเลข [20]

ลักษณะสำคัญของการสะกดนิ้วมือไทยคือ การเคลื่อนไหวต่างๆ สัญลักษณ์ที่แสดงการเคลื่อนไหว เพื่อแสดงลำดับของของการทำท่าอักษรสะกดนิ้วมือโดยใช้ลูกศร (⟶) โดยกำหนดให้โคนอักษรเป็นท่าที่ 1 และปลายศรลูกศรเป็นท่าถัดไป ส่วนภาพที่เป็น เส้นประ (.....) หมายถึง การทำท่าเป็นลำดับแรก

การสะกดนิ้วมือ ผู้ใช้ควรแสดงอาการให้งดงาม โดยไม่ยกแขนเกะกะ ให้มีจังหวะคล้ายการพูดที่มีการเว้นวรรคตอน มีการเว้นระยะหายใจ ไม่ทำเร็วจนเกินไป หากในประโยคที่แสดงอาการนั้นจะต้องใช้คำที่มีการสะกดนิ้วมือร่วมด้วย ผู้ใช้ภาษามือควรสะกดคำให้ช้าและถูกต้อง เพื่อความชัดเจนและให้คู่สนทนาได้มีเวลาอ่านทันด้วย

คนหูหนวกส่วนใหญ่ใช้การสะกดนิ้วมือ เมื่อกล่าวถึง บุคคล ชื่อเฉพาะ ชื่อย่อ และสถานที่ ที่ไม่คุ้นเคย ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องและชัดเจน แสดงดังรูปที่ 2.22 [20]

รูปที่ 2.22 วิธีการสะกดนิ้วมือ [20]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์รวมถึงการวิธีดำเนินงาน การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำนายท่าทางภาษามือไทยโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง

3.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

งานโครงงานนี้ได้ใช้เครื่องมือในการดำเนินโครงงานดังต่อไปนี้

1 ด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.1 หน่วยประมวลผลการ Intel Core i7-3537U 2.50GHz

1.2 หน่วยความจำขนาด 4 GB

1.3 Leap Motion controller

2 ด้านซอฟต์แวร์ (Software)

2.1. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 10

2.2 Pycharm Community Edition 2016.3.2/Python 2.7

2.3 Microsoft Excel 2013

2.4 Leap Motion Software

2.5 Scikit learn

3.2 วิธีการดำเนินงานและการรวบรวมข้อมูล

1. ศึกษาลักษณะท่าทางที่บอกถึงความหมายของภาษามือไทยเพื่อทำการคัดเลือกท่าภาษามือสำหรับใช้ในการพัฒนา ประกอบไปด้วยลักษณะท่าทางภาษามือแบบท่านิ่งจังหวะเดียวและหลายจังหวะจากหมวดหมู่ต่างๆ และประโยคบทสนทนาพื้นฐาน

2. ศึกษาหลักการ ทฤษฎี หนังสือ และโครงงานเกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสร้างอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง อาทิเช่น ฟังก์ชั่นการถ่ายโอน ฟังก์ชั่นค่าเสียหาย ระยะทางแบบยุคลิด

3. เตรียมชุดข้อมูลฝึกสอนสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง

4. ทำการออกแบบอัลกอริทึม KNN กับ โครงข่ายประสาทเทียม

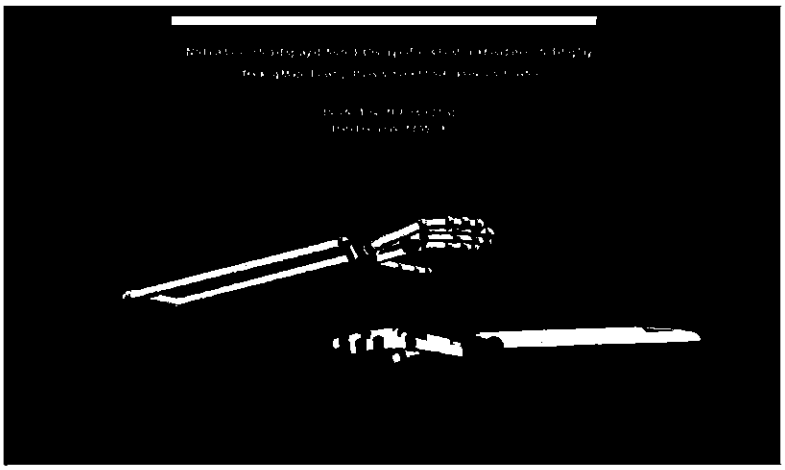
5. ทดลองใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบทำนายท่าทางและวัดความแม่นยำ

6. ทดลองใช้อัลกอริทึมทำนายแบบประโยค และวัดความแม่นยำ

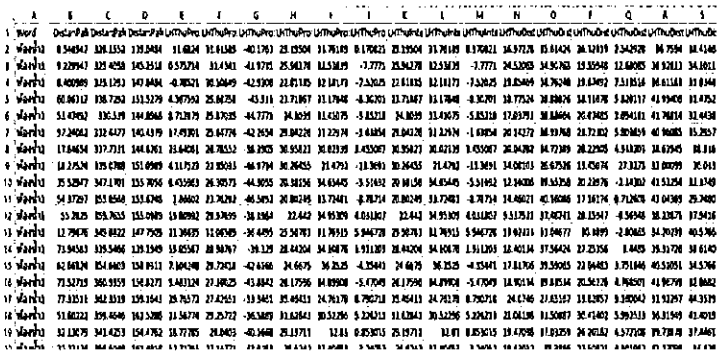
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูลฝึกสอน

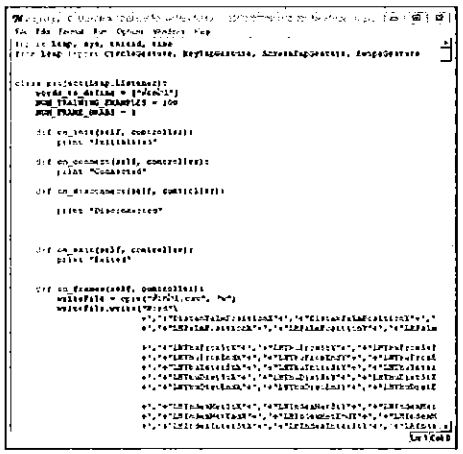
ในโครงงานนี้จะใช้ท่าทางทั้งหมด 64 ท่าทาง โดยทั้ง 64 ท่าทางนี้สามารถผสมท่าทางแล้วเกิดคำได้ 141 คำ แบ่งออกเป็นตัวเลข 101 คำ เป็นคำ 40 คำ และสามารถผสมคำให้เป็นประโยคอย่างมีความหมายได้อย่างน้อย 20 ประโยค ท่าทางทั้งหมดนี้จะใช้อุปกรณ์ Leap motion ในการตรวจจับตำแหน่งต่างๆ (แสดงในรูปที่ 3.1) ของมือทั้งหมด 152 ตำแหน่ง (แสดงในภาคผนวก ก) และบันทึกตำแหน่งเป็นข้อมูลลงในไฟล์ csv. แสดงในรูปที่ 3.2 โดยแถวคือ ชุดข้อมูล และคอลัมน์คือจำนวน feature ทั้งหมด 152 feature ในแต่ละท่าทางจะทำการบันทึกข้อมูลทั้งหมด 100 ชุด รวมทั้งหมดแล้วในโครงงานนี้มีข้อมูลทั้งหมด 6400 ชุด เพื่อเป็นชุดข้อมูลไว้สำหรับฝึกสอนอัลกอริทึม สำหรับโครงงานนี้ใช้ภาษา python ในการดำเนินการทั้งหมด แสดงในรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลแสดงการทำงานในรูปแบบ Flowchart ดังรูปที่ 3.5



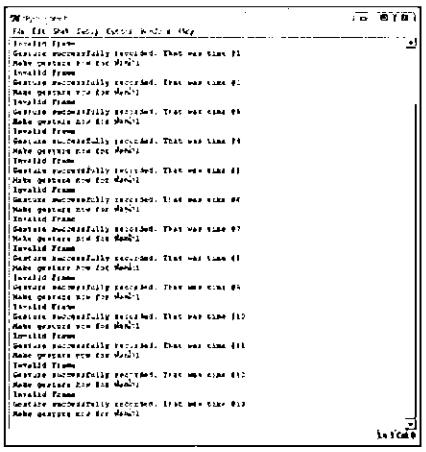
รูปที่ 3.1 การตรวจจับท่าทางของมือจาก Leap motion



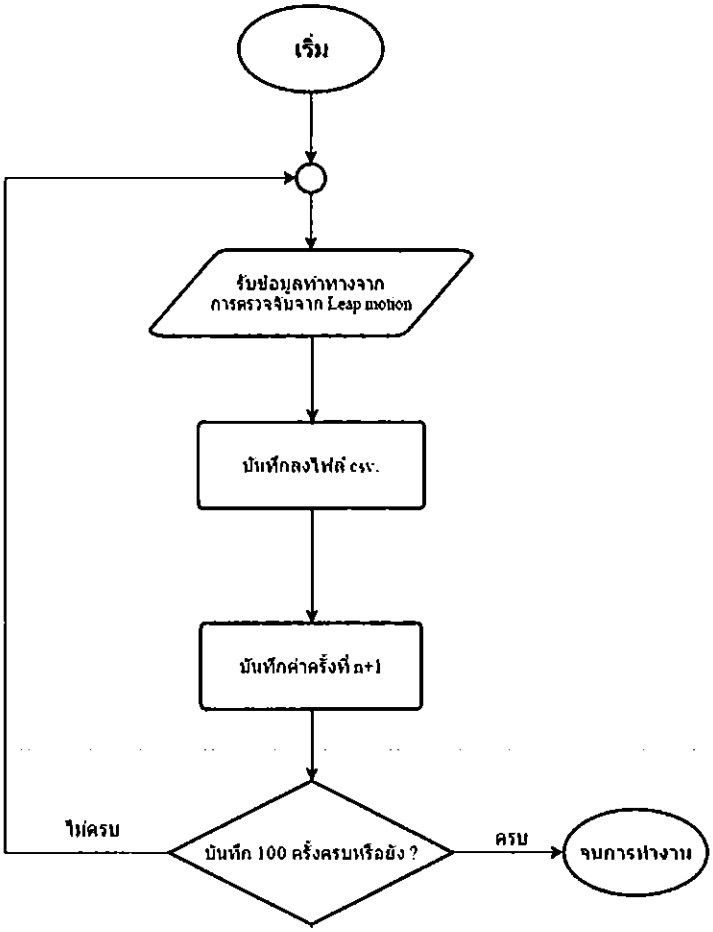
รูปที่ 3.2 หน้าต่างไฟล์ csv . ของข้อมูลการแสดงท่าทางห้องน้ำ 1



รูปที่ 3.3 หน้าต่างของโปรแกรม python



รูปที่ 3.4 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม python ขณะบันทึกท่าทาง



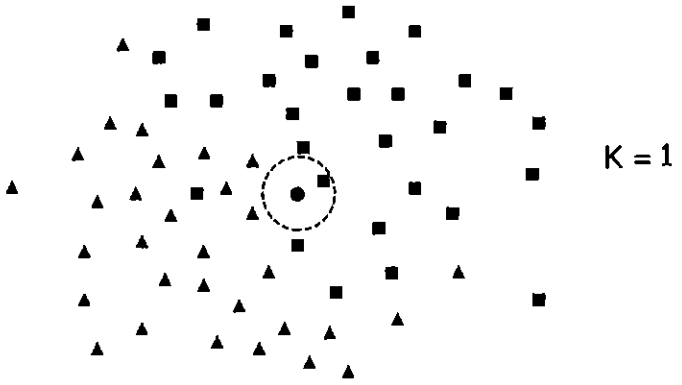
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของการบันทึกข้อมูล

3.2.2 ขั้นตอนออกแบบอัลกอริทึม

เนื่องจากการกำหนดพารามิตเตอร์ต่างๆของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมนั้น ยังไม่มีการกำหนดไว้ที่แน่นอน เนื่องจากรูปแบบของแต่ละของอัลกอริทึมมีผลต่อการแก้ปัญหาไม่เหมือนกัน จึงมีการกำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละอัลกอริทึม โดยโครงงานนี้ใช้โมดูล Scikit learn ในการออกแบบอัลกอริทึม รูปแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในโครงงานมีดังนี้

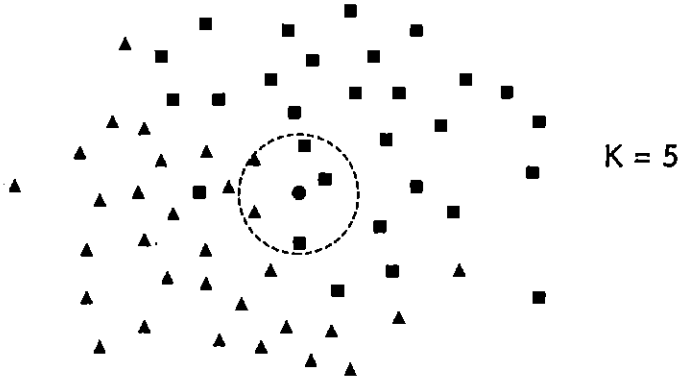
อัลกอริทึม KNN มี 3 รูปแบบ ดังนี้

- รูปแบบที่ 1 กำหนดให้ K เท่ากับ 1



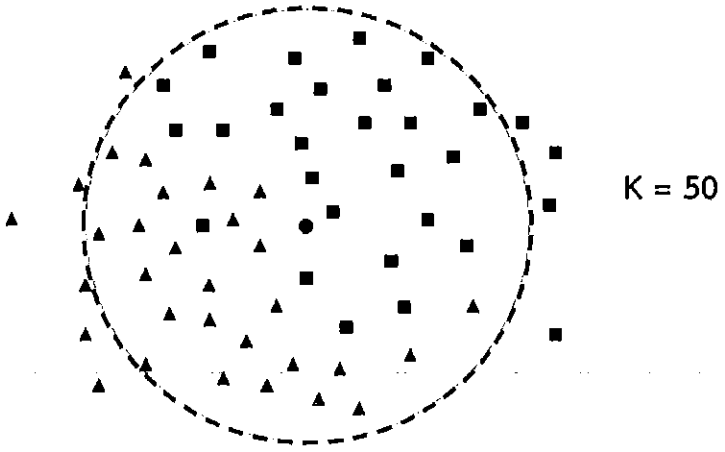
รูปที่ 3.6 รูปแบบ KNN ที่กำหนดค่า K=1

- รูปแบบที่ 2 กำหนดให้ K เท่ากับ 5



รูปที่ 3.7 รูปแบบ KNN ที่กำหนดค่า K=5

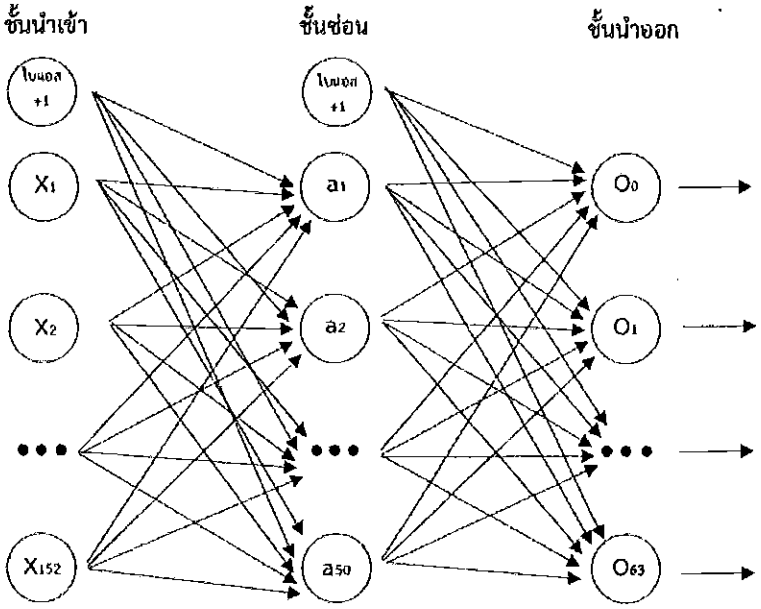
- รูปแบบที่ 3 กำหนดให้ K เท่ากับ 50



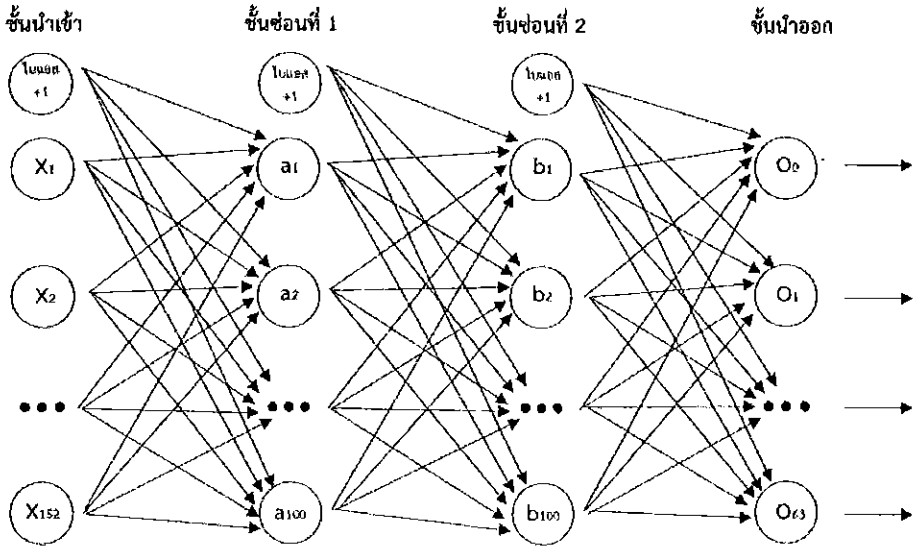
รูปที่ 3.8 รูปแบบ KNN ที่กำหนดค่า K=50

<u>อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม</u> มี 3 รูปแบบ โดยทุกแบบจะกำหนดให้ อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนตัมเท่ากับ 0.9 จำนวนรอบที่ทำการปรับค่าสูงสุด 1000 รอบ หรือ อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนตัมเท่ากับ 0.9 จำนวนการเรียนรู้สูงสุด 1000 รอบ ค่าความเสียหายที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.01

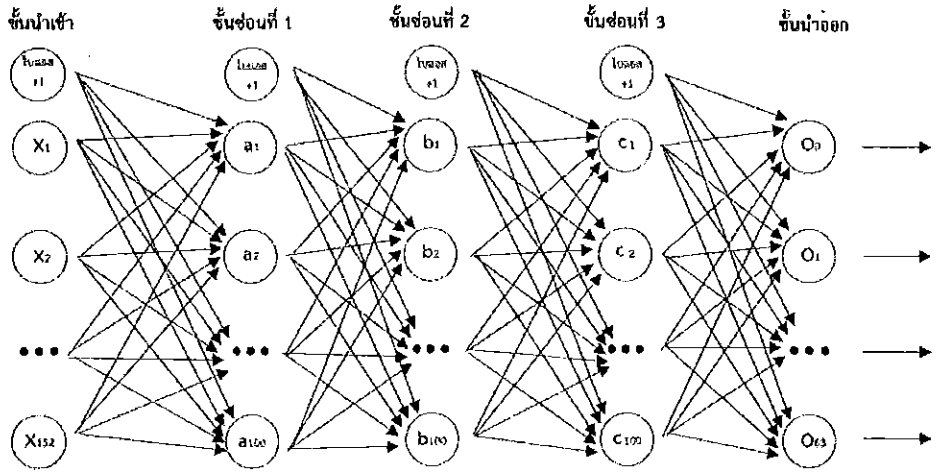
- รูปแบบที่ 1 กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 50 โหนด แสดงในรูปที่ 3.6
- รูปแบบที่ 2 กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด แสดงในรูปที่ 3.7
- รูปแบบที่ 3 กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 100 โหนด แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 โครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อนเท่ากับ 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 50



รูปที่ 3.10 โครงข่ายประสาทเทียมชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด



รูปที่ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อนเท่ากับ 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 100 โหนด

การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแสดงได้ดังนี้

1.) กำหนดค่าเริ่มต้นให้ค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมดในโครงข่ายประสาทเทียม

2.) WHILE ค่าความเสียยังมีความแตกต่างกันมากกว่า 0.01 กับรอบที่แล้ว และจำนวนรอบในการคำนวนยังไม่เกิน 1000 รอบ

3.) FOR $d \in D$ (d คือ ชุดข้อมูลหนึ่ง, D คือ = ชุดข้อมูลทั้งหมด)

4.) คำนวณค่านำเข้าของทุดโหนดเมื่อป้อนข้อมูล x_d เข้าในโครงข่ายประสาทเทียม

5,) FOR k = 1 ถึง n_{out}

6.) $$\delta_k \leftarrow (t_k - o_k)x_k$$

7.) END FOR

8.) FOR h = 1 ถึง n_{hidden}

9.) $$\delta_h \leftarrow -\sum_{k=1}^{nout}(o_k - t_k)(w_{jk})(o_j(1-o_j))$$

10.) END FOR

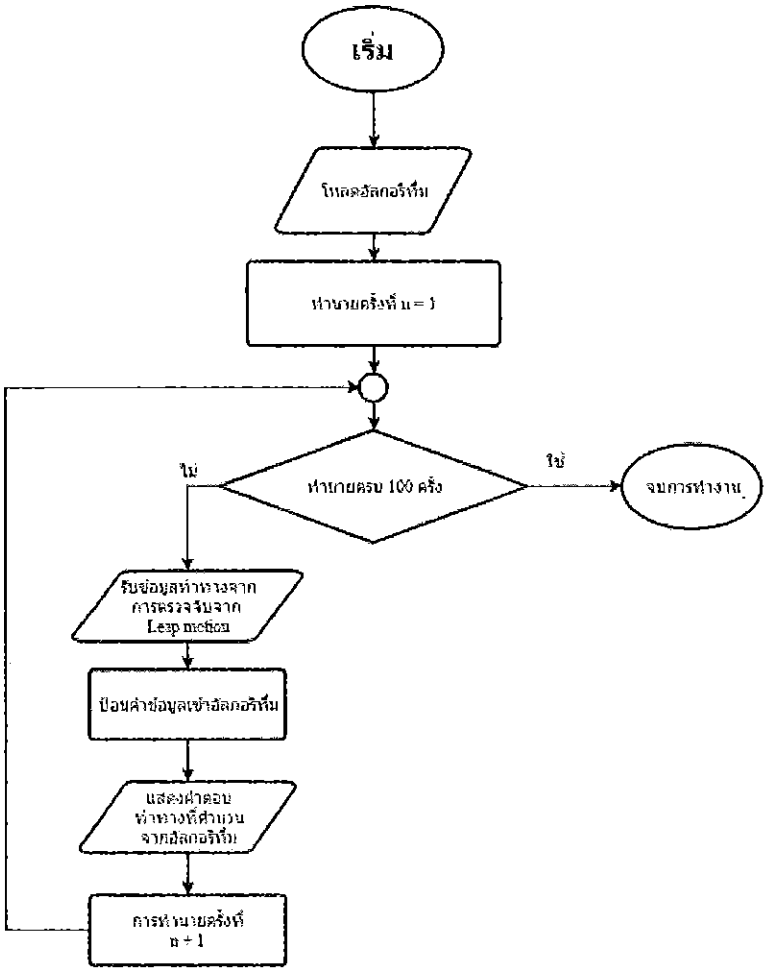
11.) $$w_{ij} \leftarrow w_{ij} + \eta\delta_j x_{ij}$$

12.) END FOR

13.) END WHILE

3.2.3 ขั้นตอนการนำอัลกอริทึมมาใช้ในการทำนายท่าทาง

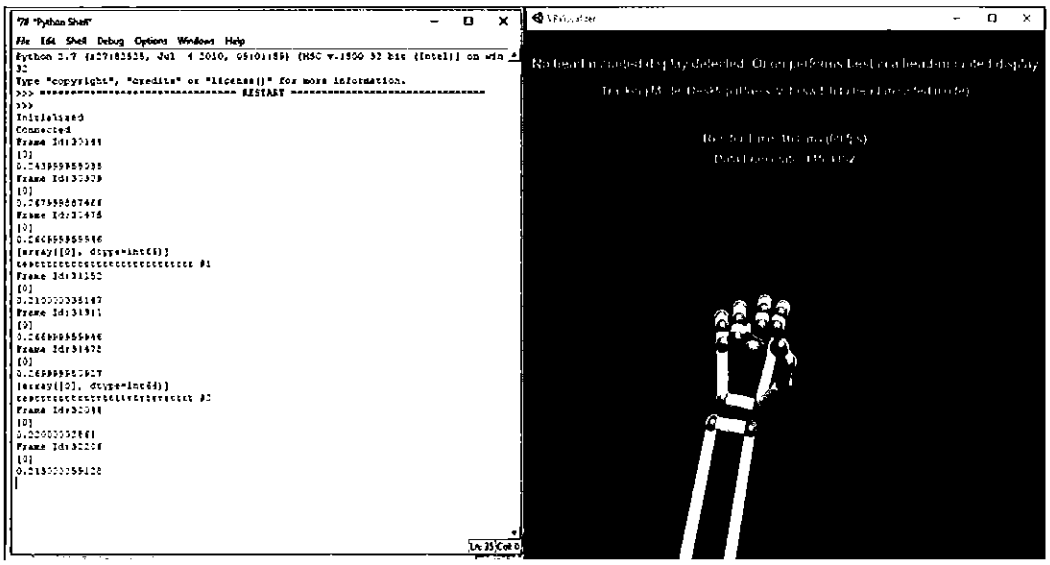
ขั้นตอนการนำอัลกอริทึมมาใช้การทำนายท่าทางแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.12 การทำงานของทำนายท่าทางของอัลกอริทึม

ขั้นตอนการงานนั้นเริ่มจากโหลดโครงข่ายประสาทเทียม หรือ KNN ที่สร้างมาในการทำนายท่าทาง จากนั้นทำการนำเข้าข้อมูลของท่าทางโดยใช้หลักการการดึงข้อมูลท่าทางเช่นเดียวกับการเตรียมชุดข้อมูลที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วจะนำข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม หรือ KNN ผลลัพธ์ที่คำนวณออกมาจากโครงข่ายประสาทเทียม หรือ KNN จะเป็นผลการทำนายจากท่าทางที่ป้อนเข้าไป จากนั้นแสดงข้อความแสดงในรูปภาพที่ 3.13 พร้อมเล่นไฟล์เสียงของคำที่เป็นผล

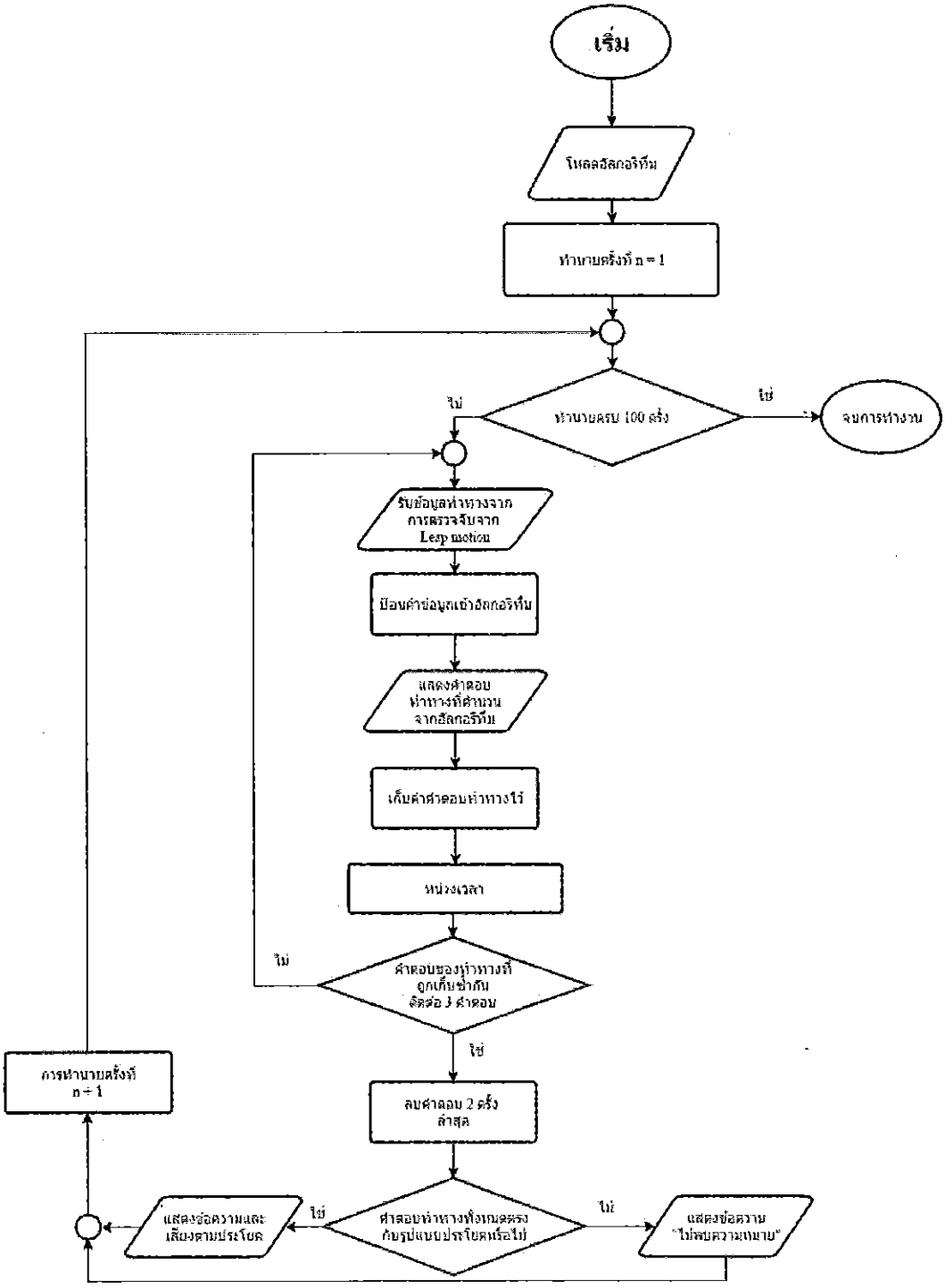
จากการทำนาย ในการวัดความแม่นยำผู้จัดทำโครงงานจะทำการทดลองให้อัลกอริทึมแต่ละรูปแบบทำนายท่าทางเดียวกับท่าทางของชุดฝึกสอนทั้ง 64 ท่าทาง ท่าทางละ 100 ครั้ง แล้วจึงบันทึกผลการทำนายและสรุปผล



รูปที่ 3.13 หน้าต่างการทำนายท่าทาง (ด้านซ้ายมือ)

3.2.4 ขั้นตอนการนำอัลกอริทึมมาทำนายประโยค

เมื่อได้ทดลองใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบมาทำนายท่าทางแล้ว หลังจากนั้นจะนำรูปแบบที่มีผลการทำนายท่าทางที่แม่นยำที่สุดของระหว่าง KNN กับ โครงข่ายประสาทเทียม มาทำนายแบบประโยค ขั้นตอนการทำนายแบบประโยคมีวิธีที่คล้ายกับการทำนายท่าทาง จะเพิ่มขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือส่วนของการเก็บคำตอบไว้เป็นชุดก่อนค่อยทำการแสดงผลเมื่อมีชุดคำตอบตรงกับชุดคำตอบที่กำหนดไว้ และขั้นตอนการหน่วงเวลาในจับท่าทางแต่ละครั้งในวินาทีที่ต่างกัน การวิจัยนี้จะแบ่งเวลาในการหน่วงสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งออกเป็น 0.6 วินาที, 0.9 วินาทีและ 1.2 วินาที เพื่อหาเวลาในการหน่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำท่าทางหลายท่าทางที่ต่อเนื่องกันให้โดยมีความสมบูรณ์ของประโยคมากที่สุด จากนั้นทำการบันทึกและสรุปผลการทดลอง ขั้นตอนการทำนายแบบประโยคแสดงในรูปแบบ Flowchart ดังนี้



รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการทำนายแบบประโยค

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากขั้นตอนวิธีการดำเนินงานและการรวบรวมข้อมูลข้างต้นคณะผู้วิจัดทำได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. การเลือกท่าทางของภาษามือไทย ในหมวดหมู่ประกอบด้วย หมวดทักทาย หมวดกิริยาอาการ หมวดบุคคล หมวดคำถาม หมวดพาหนะอาชีพ หมวดอารมณ์ความรู้สึก หมวดสภาพลักษณะ หมวดของใช้ หมวดสถาณที่และหมวดตัวเลข แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงหมวดหมู่ของคำที่เลือกใช้ในโครงงาน

หมวดหมู่	คำ
ทักทาย	สบายดี, ชื่อ, ขอโทษ, สวัสดี, ขอบคุณ, ยกเลิก, พบกันใหม่, โชคดี
กิริยาอาการ	ห่อ, ท่า, เดิน, เรียน, ขอ, ไป, กิน
บุคคล	อายุ, ฉัน, คุณ
คำถาม	อะไร, เท่าไหร่, ที่ไหน, กี่โมง, เมื่อไหร่
พาหนะ	แท็กซี่
อารมณ์ความรู้สึก	เกลียด, อิ่ม, หิว, เสียใจ, เป็นห่วง, เก่ง, ชอบ, ไม่สบาย, กลัว
สภาพ ลักษณะ	เข้าใจ, ไกล, ไม่เป็นไร, ยัง
ของใช้	ยา, เก้าอี้
สถาณที่	ห้องน้ำ
จำนวนตัวเลข	0-100

คำที่เลือกใช้ในโครงงานเป็นคำพื้นฐานที่ผู้พิการทางการสื่อความหมายจำต้องใช้ในชีวิตประจำวัน และแต่ละคำมีลักษณะท่าทางที่ไม่คล้ายคลึงกันมากนักทำให้งานต่อการทำนาย

2. การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลที่ได้จาก Leap motion ในการดึงข้อมูลตำแหน่งของมือและนิ้วมือนั้น ค่าเริ่มต้นที่ได้จะเป็นระยะทางจากแต่ละตำแหน่งของนิ้วมือเทียบกับจุด origin ซึ่งอยู่ตรงกลางของตัวอุปกรณ์ ในโครงงานนี้จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งจุดอ้างอิงจากเดิมที่อยู่ตรงกลางของ

ตัวอุปกรณ์ให้เป็นตำแหน่งที่กลางฝ่ามือของแต่ละมือแทน ในขณะที่มืออยู่ในตำแหน่งใดก็ตามบนระนาบที่อุปกรณ์สามารถตรวจจับได้ค่าระยะทางของตำแหน่งนิ้วมือจะเป็นระยะทางสัมพัทธ์กับกลางฝ่ามือเสมอ ค่าที่ได้จึงมีค่าต่างกันไม่มากนักเมื่อทำท่าที่เหมือนกันในพื้นที่ที่อุปกรณ์สามารถตรวจจับได้

3. ออกแบบอัลกอริทึมทำนายท่าทางภาษามือไทยโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม คณะผู้จัดทำโครงงานได้ใช้โหนดในชั้นนำเข้าข้อมูลจำนวน 152 โหนด เนื่องจากมีข้อมูลจากการวัดระยะทางในตำแหน่งต่างๆของมือจำนวน 152 ข้อมูล และใช้โหนดในชั้นนำออกจำนวน 64 โหนด เนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงงานต้องการค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณอยู่ในรูปของ “One hot” ตัวอย่างของ One hot เช่น มีตัวเลขคำตอบอยู่ 3 ตัว คือ 0, 1 และ 2 ค่าของ 0 ในรูปของ one hot คือ 000 ส่วนค่าของ 1 และ 2 ที่อยู่ในรูป one hot คือ 010 และ 001 ตามลำดับ เป็นต้น ซึ่งจำนวนโหนดในชั้นนำออก 64 โหนด สามารถทำให้อยู่ในรูป one hot ได้ 64 ท่าทางพอดี

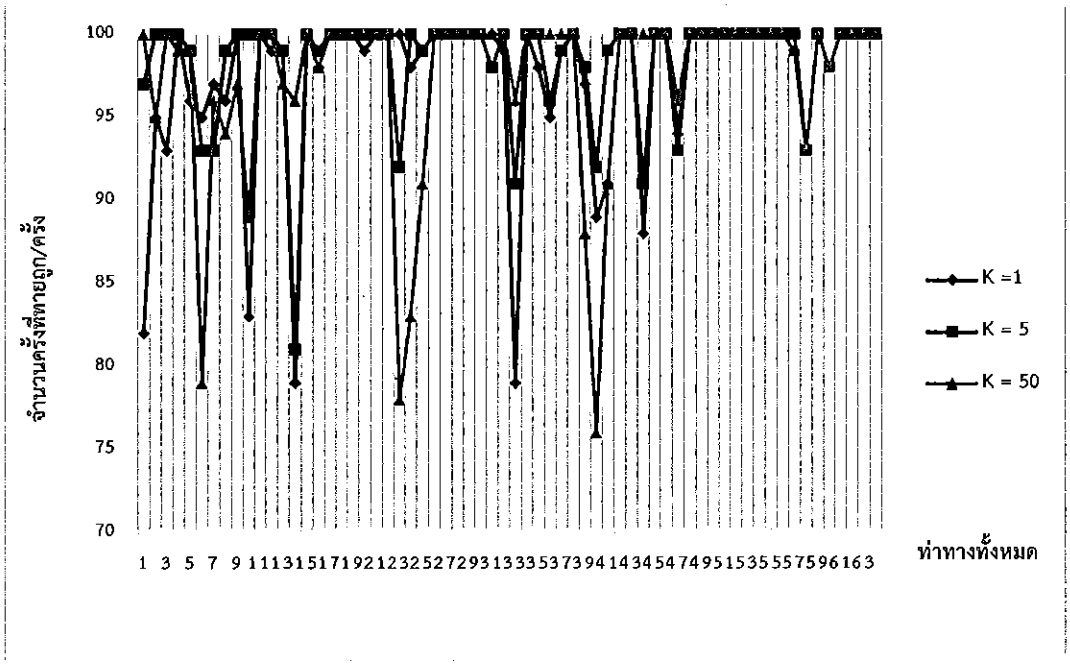
4. ในขั้นตอนการทำนายแบบประโยค สาเหตุที่เพิ่มขั้นตอนในส่วนของการเก็บคำตอบไว้จนกว่าจะมีคำตอบที่ซ้ำกันสามครั้งติดต่อกันที่แสดงในรูปที่ 3.11 เนื่องจากประโยคแต่ละประโยคมีจำนวนคำที่ไม่เท่ากัน ผู้ทำโครงงานจึงแก้ไขปัญหานี้คือเมื่อแสดงท่าทางของประโยคครบแล้วจะคงท่าทางสุดท้ายไว้สักครู่เพื่อให้อัลกอริทึมทำนายคำตอบซ้ำติดต่อกันสามคำตอบจึงจะจบกระบวนการทำนายแล้วค่อยทำงานส่วนของแสดงผลต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงถึงผลการทำนายท่าทางของอัลกอริทึม KNN และ โครงข่ายประสาทเทียม แบ่งเป็นการทดสอบของอัลกอริทึม KNN จำนวน 3 รูปแบบ และ โครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 3 รูปแบบ และ การทำนายแบบประโยค ดังกราฟต่อไปนี้

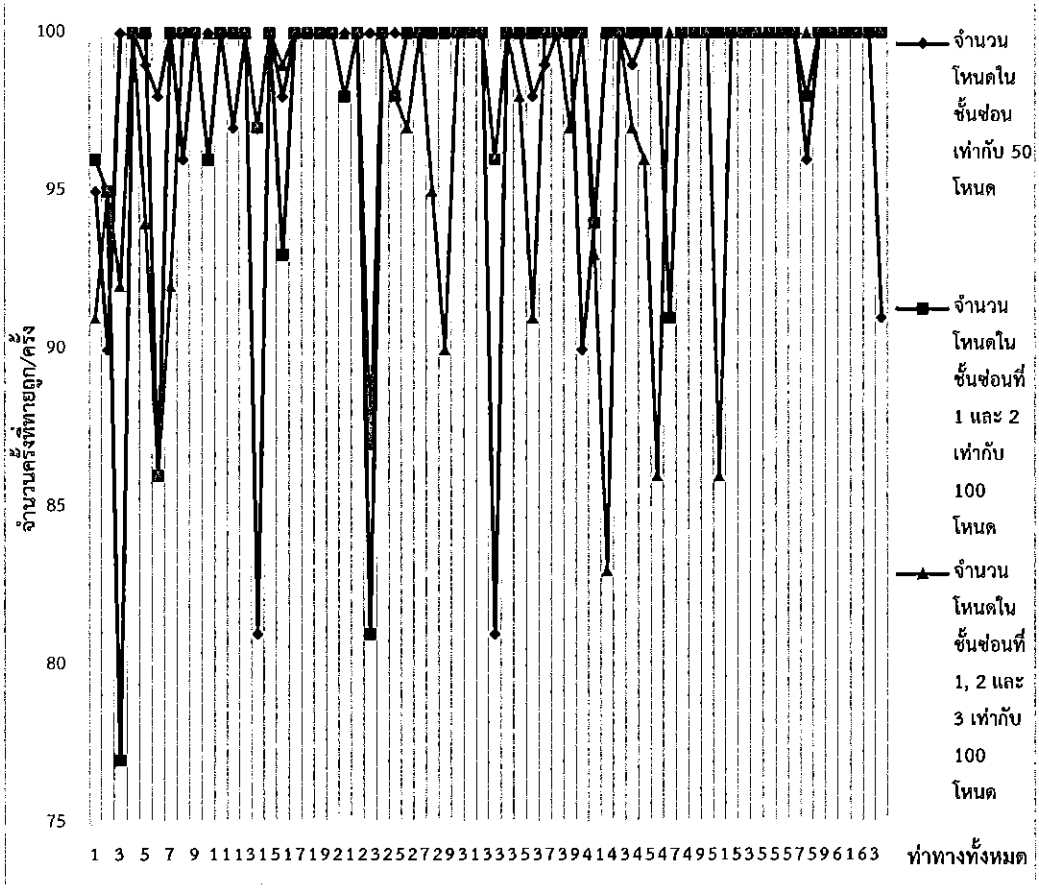
4.1 กราฟผลการทำนายท่าทางของ KNN ที่ K ต่างๆ



กราฟที่ 4.1 กราฟผลการทำนายท่าทางของ KNN ที่ K = 1, 5, 50

จากกราฟที่ 4.1 แสดงผลการทำนายท่าทางของอัลกอริทึม KNN โดยแนวแกน X แสดงท่าทางทั้งหมด แนวแกน Y แสดงจำนวนครั้งที่ทายถูก สังเกตได้ว่าเส้นกราฟ K = 1 มีความทำนายถูกต้องต่ำกว่า 80 ครั้ง ในท่าทางที่ 14 และท่าทางที่ 33 ส่วนเส้นกราฟ K = 50 มีความทำนายถูกต้องต่ำกว่า 80 ครั้ง ในท่าทางที่ 6, 23, 40 ตามลำดับ เมื่อสังเกตได้ว่าเส้นกราฟที่ K = 5 มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงกว่าเส้นกราฟที่ K = 1 และ K = 50

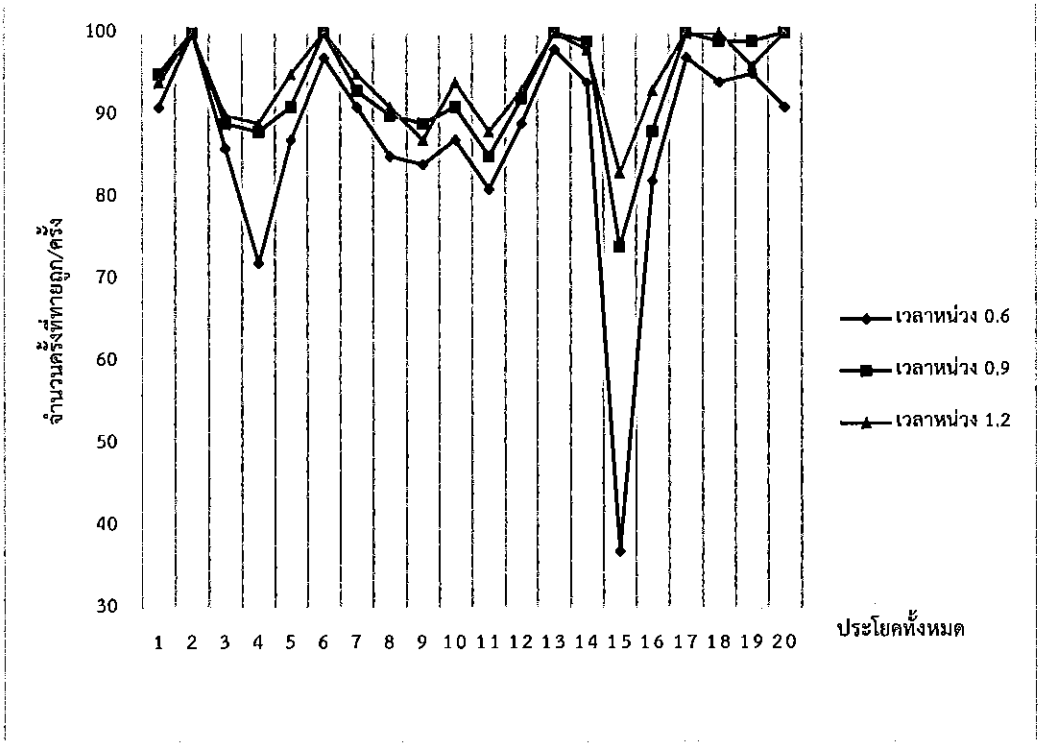
4.2 กราฟผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบต่างๆ



กราฟที่ 4.2 กราฟผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบต่างๆ

จากกราฟที่ 4.2 แสดงผลการทำนายอัลกอริทึมท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยแนวแกน X แสดงท่าทางทั้งหมด แนวแกน Y แสดงจำนวนครั้งที่ทายถูก จากกราฟสังเกตได้ว่าเส้นกราฟจำนวน 1 ชั้นซ่อน มีการทำนายถูกต้องต่ำกว่า 85 ครั้ง ในท่าทางที่ 14 และ ท่าทางที่ 33 ส่วนเส้นกราฟจำนวน 2 ชั้นซ่อน มีการทำนายถูกต้องต่ำกว่า 85 ครั้ง ในท่าทางที่ 3 และท่าทางที่ 23 และ ส่วนเส้นกราฟจำนวน 3 ชั้นซ่อน มีการทำนายถูกต้องต่ำกว่า 85 ครั้ง ในท่าทางที่ 42 เมื่อสังเกตจะเห็นว่าผลการทำนายจำนวน 1 ชั้นซ่อน และ จำนวน 3 ชั้นซ่อน มีการทำนายถูกต้องต่ำกว่า 85 ครั้งน้อยกว่าจำนวน 2 ชั้นซ่อน แต่ประสิทธิภาพรวมของจำนวน 2 ชั้นซ่อน มีประสิทธิภาพรวมสูงสุด

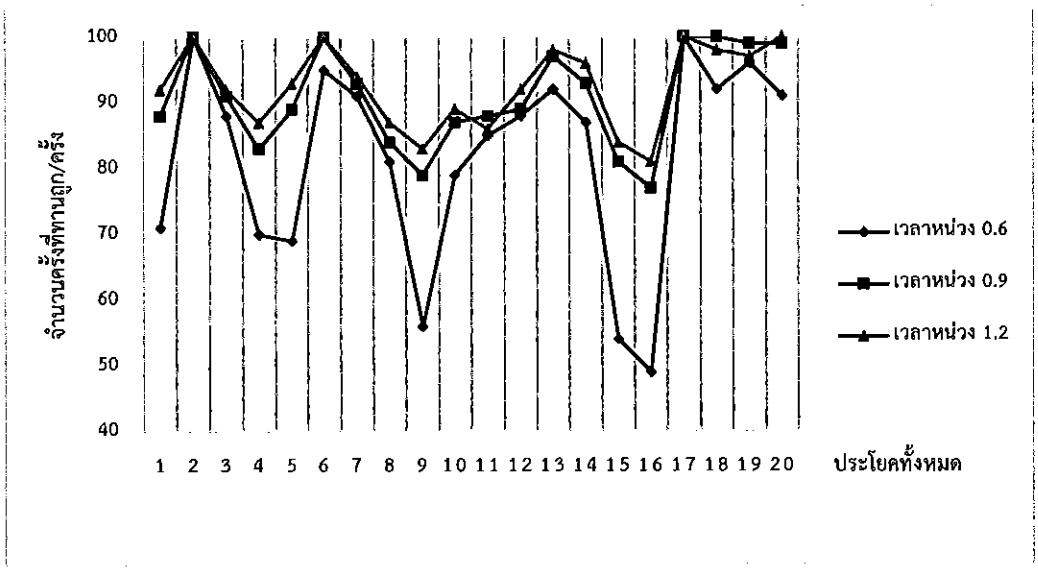
4.3 กราฟผลการทำนายประโยคของ KNN ที่ K = 5 สำหรับสถานการณ์ต่างๆ



กราฟที่ 4.3 กราฟผลการทำนายประโยคของ KNN ที่ K = 5 สำหรับสถานการณ์ต่างๆ

จากกราฟที่ 4.3 แสดงผลการทำนายประโยคของอัลกอริทึม KNN โดยแนวแกน X แสดงประโยคทั้งหมด แนวแกน Y แสดงจำนวนครั้งที่ทายถูก สังเกตได้ว่าเส้นกราฟเวลาหน่วง 0.6 มีการทำนายถูกต้องต่ำกว่า 80 ครั้ง ในประโยคที่ 4 และ ประโยคที่ 15 ส่วนเส้นกราฟเวลาหน่วง 0.9 มีความทำนายถูกต้องต่ำกว่า 80 ครั้ง ในประโยคที่ 15 เมื่อสังเกตได้ว่าเส้นกราฟเวลาหน่วง 1.2 มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงกว่าเส้นกราฟเวลาหน่วง 0.6 และ เวลาหน่วง 0.9

4.4 กราฟผลการทำนายแบบประโยคของ โครงข่ายประสาทเทียม ที่จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด ของสถานการณ์ต่างๆ



กราฟที่ 4.4 กราฟผลการทำนายแบบประโยคของ โครงข่ายประสาทเทียม ที่จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด ของสถานการณ์ต่างๆ

จากกราฟที่ 4.4 แสดงผลการทำนายประโยคของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม โดยแนวแกน X แสดงประโยคทั้งหมด แนวแกน Y แสดงจำนวนครั้งที่ทายถูก สังเกตได้ว่าเส้นกราฟเวลาหน่วง 0.6 มีการทำนายถูกต้องต่ำกว่า 80 ครั้ง ในประโยคที่ 1, 4, 5, 9, 15, 16 ส่วนเส้นกราฟเวลาหน่วง 0.9 มีความทำนายถูกต้องต่ำกว่า 80 ครั้ง ในประโยคที่ 9 และ ประโยคที่ 16 เมื่อสังเกตได้ว่าเส้นกราฟเวลาหน่วง 1.2 มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงกว่าเส้นกราฟเวลาหน่วง 0.6 และ เวลาหน่วง 0.9

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการทำนาย

สำหรับการทำนายประสิทธิภาพการทำนายท่าทางของภาษามือไทยโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องคณะผู้จัดทำโครงงานได้ทำการศึกษาอัลกอริทึมซึ่งประกอบไปด้วยอัลกอริทึม KNN และอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งเป็นอัลกอริทึม KNN 3 อัลกอริทึม ที่กำหนดให้ K มีค่าเท่ากับ 1, 5 และ 50 ตามลำดับ และอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม 3 อัลกอริทึม ประกอบไปด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 50 โหนด, จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 เท่ากับ 100 โหนด จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 เท่ากับ 100 โหนด และสุดท้ายคือจำนวนชั้นซ่อน 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 3 เท่ากับ 100 โหนด จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 เท่ากับ 100 โหนด จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 3 เท่ากับ 100 โหนด โดยใช้ข้อมูลที่เก็บบันทึกชุดเดียวกัน ที่ประกอบไปด้วยท่าทางทั้งหมด 64 ท่าทาง จำนวนข้อมูลท่าทางละ 100 ข้อมูล

ผลการทำนายของอัลกอริทึม KNN ที่กำหนด K มีค่าเท่ากับ 1 จากตาราง 4.1 พบว่ามีประสิทธิภาพการทำนายท่าทางเฉลี่ยเท่ากับ 97.3 %

ผลการทำนายของอัลกอริทึม KNN ที่กำหนด K มีค่าเท่ากับ 5 จากตาราง 4.2 พบว่ามีประสิทธิภาพการทำนายท่าทางเฉลี่ยเท่ากับ 98.42 %

ผลการทำนายของอัลกอริทึม KNN ที่กำหนด K มีค่าเท่ากับ 50 จากตาราง 4.3 พบว่ามีประสิทธิภาพการทำนายท่าทางเฉลี่ยเท่ากับ 97.31 %

สามารถสรุปได้ว่าการทำนายท่าทางของอัลกอริทึม KNN ที่กำหนดให้ K มีค่าเท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม KNN ที่กำหนดให้ K มีค่าเท่ากับ 1และ 50

ผลการทำนายของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 50 โหนด จากตาราง 4.4 พบว่ามีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 98.33 %

ผลการทำนายท่าทางของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด จากตาราง 4.5 พบว่ามีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 98.38 %

ผลการทำนายท่าทางของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 3 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 100 โหนดทุกชั้น จากตาราง 4.5 พบว่ามีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 97.43 %

สามารถสรุปได้ว่าการทำนายท่าทางของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนดทุกโหนด มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด และโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 3 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 100 โหนดทุกชั้น

และเมื่อนำอัลกอริที่มการเรียนรู้ของเครื่องแต่ละประเภทที่มีประสิทธิภาพในการทำนายท่าทางเฉลี่ยสูงที่สุดมาทำการทำนายแบบประโยคในการหน่วงเวลาสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งที่เวลา 0.6 วินาทีพบว่า ประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคของอัลกอริที่ม KNN ที่ K เท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 86.9% และประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคของอัลกอริที่มโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 81.7%

ผลการทำนายแบบประโยคในการหน่วงเวลาสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งที่เวลา 0.9 วินาที พบว่า ประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคของอัลกอริที่ม KNN ที่ K เท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพการทำนายประโยคเฉลี่ยเท่ากับ 93.1% และประสิทธิภาพการทำนายประโยคของอัลกอริที่มโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 90.85%

ผลการทำนายประโยคในการหน่วงเวลาสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งที่เวลา 1.2 วินาทีพบว่าประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคของอัลกอริที่ม KNN ที่ K เท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 94.3% และประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคของอัลกอริที่มโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด มีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 92.45%

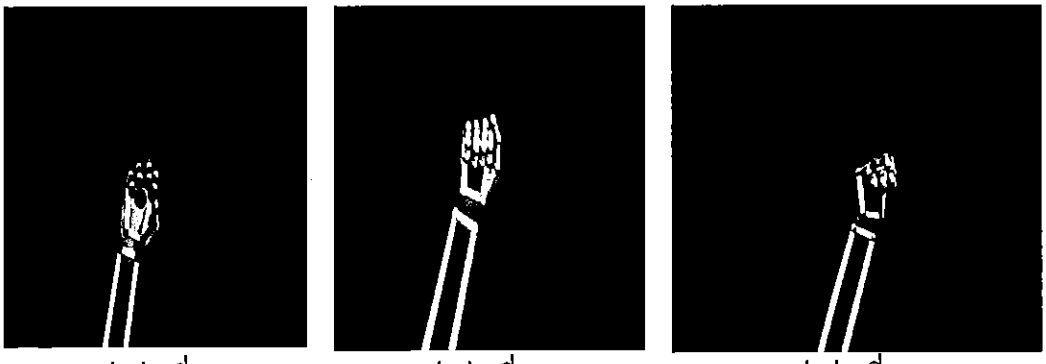
สามารถสรุปได้ว่าการหน่วงเวลาสำหรับจับท่าทางแต่ละครั้งที่เวลา 1.2 ให้ประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคดีที่สุด และ อัลกอริที่ม KNN ที่ K เท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพการทำนายแบบประโยคเฉลี่ยดีที่สุด เมื่อเทียบกับอัลกอริที่มโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 จำนวน ประกอบไปด้วยโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 100 โหนด ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการพัฒนาต้นแบบเครื่องแปลภาษามือไทยให้ครอบคลุมทุกหมวดหมู่ได้ แม้อัลกอริที่ม KNN จะมีประสิทธิภาพการทำนายเฉลี่ยมากกว่า

จากผลการทำนายของอัลกอริทึมทุกรูปแบบในบทที่ 4 มีความแม่นยำโดยรวมมากกว่า 80% แต่ละรูปแบบมีความแม่นยำเฉลี่ยแตกต่างกันไม่มากนักซึ่งเพียงพอสำหรับการทำนายโดยรวม จึงสรุปได้ว่าสามารถนำรูปแบบอัลกอริทึมที่ออกแบบจากโครงงานนี้ใช้เป็นต้นแบบของเครื่องแปลภาษามือได้ทุกรูปแบบ

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

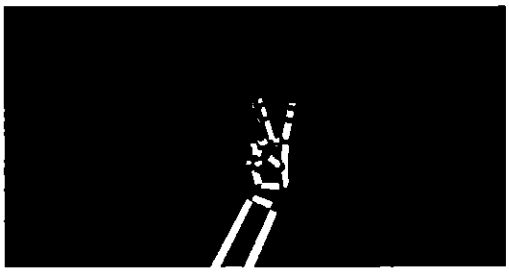
จากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

1.ท่าทางในการทดลองมีความคล้ายคลึงกันทำให้ผลการทำนายผิดพลาด แสดงดังตารางต่อไปนี้

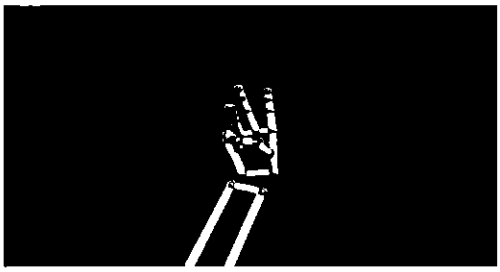


ท่าท่างที่ 1 ท่าท่างที่ 11 ท่าท่างที่ 14

รูปที่ 5.1 ภาพของท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกันของท่าทางว่า ศูนย์, สิบท่าที่ 2, ห้าสิบท่าที่ 2

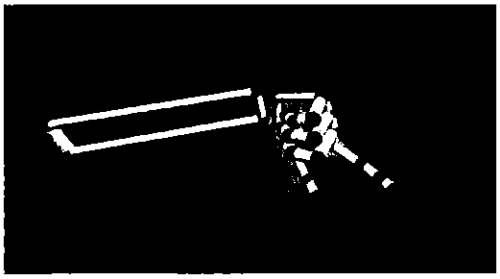


ท่าท่างที่ 3

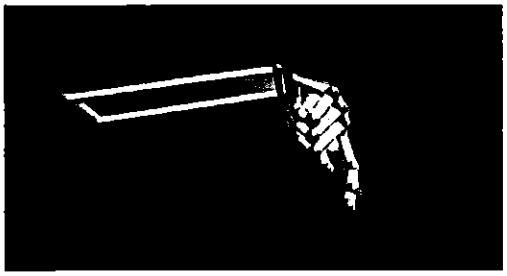


ท่าท่างที่ 7

รูปที่ 5.2 ภาพของท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกันของท่าทางว่า สอง, หก



ท่าท่างที่ 40



ท่าท่างที่ 18

รูปที่ 5.3 ภาพของท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกันของท่าทางว่า หิวท่าที่ 1, ฉัน

2.การเลือกค่า K ในอัลกอริที่ม KNN บางค่ามีผลทำให้การทำนายท่าทางนั้นเกิดความกำกวม เนื่องจากมีจำนวนคำตอบที่ใกล้ที่สุดเท่ากันหลายคำตอบ การเลือกค่า K ที่เหมาะสมจึงเป็นปัญหาโดยตรงในความแม่นยำของการทำนาย

3. การกำหนดชั้นซ่อนและกำหนดโหนดมีต่อการทำนายโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่

3.1 รูปแบบที่ 1 ของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถทำนายท่าทางที่ 2 และท่าทางที่ 33 ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งรูปแบบที่ 2 และ รูปแบบที่ 3 สามารถทำนายได้แม่นยำกว่ารูปแบบที่ 1

3.2 รูปแบบที่ 2 ของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถทำนายท่าทางที่ 3 ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งรูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 1 สามารถทำนายได้แม่นยำกว่ารูปแบบที่ 2

3.3 รูปแบบที่ 3 ของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถทำนายท่าทางที่ 6, ท่าทางที่ 23, ท่าทางที่ 42, ท่าทางที่ 46, ท่าทางที่ 51 ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 สามารถทำนายได้แม่นยำกว่ารูปแบบที่ 3

5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

จากการทำนายครั้งนี้ยังมีประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป หัวข้อที่จะอธิบายต่อไปนี้จะเป็นแนวทางให้สำหรับผู้ที่สนใจทราบถึงข้อจำกัดและสามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. อุปกรณ์ Leap motion ไม่สามารถตรวจจับมือได้ในกรณีที่มือทั้งสองข้างชิดกัน ตัวอย่างเช่น ท่าสวัสดีที่มีลักษณะของมือทั้งสองข้างประกบกัน

2. อุปกรณ์ Leap motion ไม่สามารถตรวจจับมือที่ซ้อนทับกันได้

3. เนื่องจากอุปกรณ์ Leap motion ใช้กล้องแบบ CCD ที่ใช้พลังงานสูงทำให้อุปกรณ์ร้อนอย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการพักอุปกรณ์เป็นระยะๆ

4. เพิ่มเติมลักษณะท่าทางให้ครอบคลุมทั้งหมดที่ใช้ในภาษามือไทย

5. ศึกษาฟังก์ชั่นกระตุ้นอื่นที่ใช้สำหรับอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม เช่น rectified linear unit function (relu function), hyperbolic tan function (tanh function) เพื่อความเหมาะสมในกรณีต่างๆ

6. ศึกษาวิธีการปรับค่าน้ำหนักวิธีอื่นที่ใช้สำหรับอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม เช่น Adaptive Moment Estimation (Adam)

7. ในการเลือกค่า K ในอัลกอริทึม KNN บางค่ามีผลทำให้การทำนายท่าทางนั้นเกิดความกำกวม เนื่องจากมีจำนวนคำตอบที่ใกล้ที่สุดเท่ากันหลายคำตอบ การเลือกค่า K ที่เหมาะสมจึงเป็นปัญหาโดยตรงในความแม่นยำของการทำนาย

8. ในกรณีที่มีชุดข้อมูลของท่าทางจำนวนมากอัลกอริทึม KNN จะใช้เวลาในการประมวลผลนานเพราะต้องทำการคำนวณระยะห่างกับข้อมูลทุกข้อมูลที่มี วิธีแก้ไขปัญหานี้เช่น การลดจำนวนตัวอย่างด้วยขั้นตอนวิธี Condensed nearest neighbor (CNN)

9. ในการบันทึกค่าท่าทางเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอนควรมี

เอกสารอ้างอิง

[1] เทคโนโลยีช่วยผู้พิการ.[internet].[สืบค้นเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2559].เข้าถึงได้จาก :

http://www.pwdsthai.com/index.php?option=com_content&view=article&id=585:%E0%B9%82%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A8%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%A2&catid=165&Itemid=559

[2] ผศ. ดร.ปริญญา สงวนสัตย์. การเรียนรู้ของเครื่อง[Machine Learning]. หน้า 4.

[3] [CR]Leap Motion Controller - นวัตกรรม Touchless บนคอมพิวเตอร์ อะไรที่มากกว่า Mouse Keyboard หรือ Touch Screen. [internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2559]

เข้าถึงได้จาก : http://pantip.com/topic/30833642

[4] Leap Motion Controller เทคโนโลยีการสั่งงานด้วยมือ. [internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2559]

เข้าถึงได้จาก : http://itsasontad.blogspot.com/2013/08/leap-motion-controller.html

[5] Leap Motion SDK and Plugin Documentation.[internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2559]

เข้าถึงได้จาก : https://lm-s-leapdev-amnesia.leapmotion.com/documentation/index.html?proglang=current

[6] API Overview.[internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2559].เข้าถึงได้จาก :

https://developer.leapmotion.com/documentation/javascript/devguide/Leap_Overview.html?proglang=javascript#sensor-images

[7] Leap Motion Controller.[internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2559]. เข้าถึงได้จาก :

https://onelaweb.wordpress.com/2013/03/23/%E0%B8%97%E0%B8%94%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%9A-leap-

motion-
controller-%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%99-d/

[8] Yajaira-Ilse Curiel-Razo, Octavio Icasio-Hernแndez, Leap motion controller three dimensional verification and polynomial , Instituto Politcnico Nacional, [สืบค้นเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2559]. เข้าถึงได้จาก :
http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.017

[9] ผศ.สุชาติ คุ้มมะณี.เชี่ยวชาญการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน (Programming expert with Python) . หน้า 18-19. [สืบค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2559]
เข้าถึงได้จาก: http://zeroschools.com/media/upload/884a66e2-fbff-4514-8363-726322690b5a.pdf

[10] ดวงเพ็ญ เจตน์พิพัตนพงษ์ และ รัชกฤช ธนพัฒนดล. 2553. "การศึกษาเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำแม่น้ำยมจังหวัดแพร่." วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 6,2 (กรกฎาคม-ธันวาคม): น.37-43.

[11] ผศ. ดร.ปริญญา สงวนสัตย์. การเรียนรู้ของเครื่อง(Machine Learning). หน้า92-130. 2558.

[12] วิสุทธิ์ กรรขำ. 2552. **การลดฮาร์มอนิคในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและโครงข่ายประสาทเทียม**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร. [สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2560]

[13] Peter Sadowski, "Notes on Backpropagation," University og California Trvine, pp1-4 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2560]

[14] [python] เอนโทรปีไขว้ในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.[internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2560]. เข้าถึงได้จาก :
http://phyblas.blog.jp/20161207.html

[15] K-Nearest Neighbor Classifier.[internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 14กุมภาพันธ์ 2560].

เข้าถึงได้จาก : cs.udru.ac.th/~krit/download/AI/Assignment%202(2554).doc

[16] ระยะทางแบบยุคลิด.[internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2560].เข้าถึงได้จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%A2%E0%B8%B8%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%94

[17] ราษฎร์ บุญญา. "ภาษามือ:ภาษาของคนหูหนวก." **วารสารวิทยาลัยราชสุดา.** 4/1 น.77-92 [สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2560]

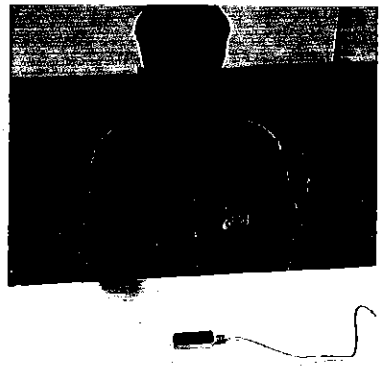
[18] ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาษามือ. [internet]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2560] เข้าถึงได้จาก : https://www.slideshare.net/PopJaturong/1-47394466

[19] http://www.tddf.or.th/signlang/?contentid=0137#banner [สืบค้นเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560]

[20] https://www.gotoknow.org/posts/172213 [สืบค้นเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560]

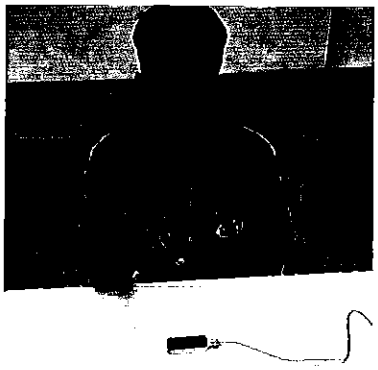
ภาคผนวก ก

รูปภาพแสดงท่าทาง

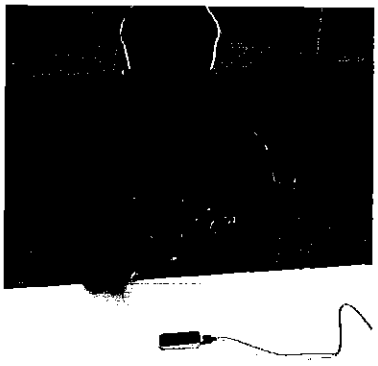


รูปที่ ก.1 ท่าทางหมายเลข ID 0

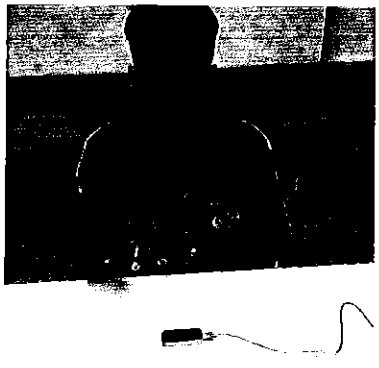
รูปที่ ก.2 ท่าทางหมายเลข ID 1



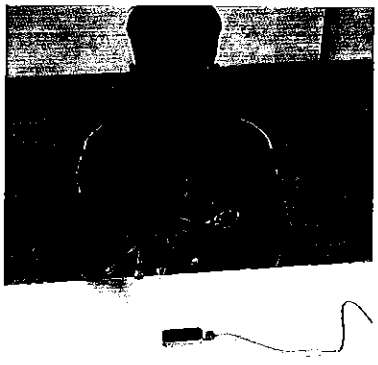
รูปที่ ก.3 ท่าทางหมายเลข ID 2



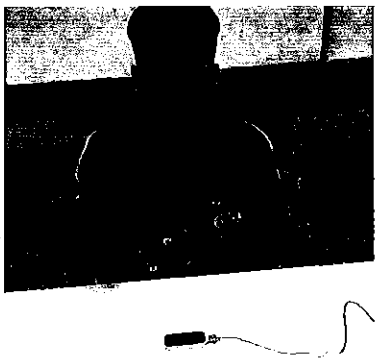
รูปที่ ก.4 ท่าทางหมายเลข ID 3



รูปที่ ก.5 ท่าทางหมายเลข ID 4

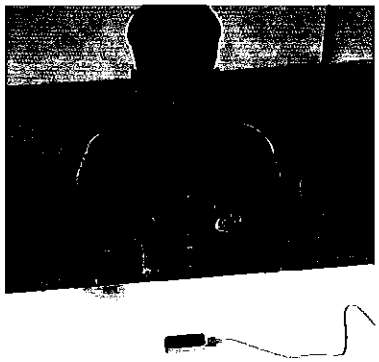


รูปที่ ก.6 ท่าทางหมายเลข ID 5

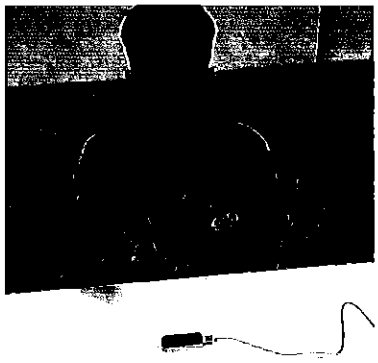


รูปที่ ก.7 ท่าทางหมายเลข ID 6

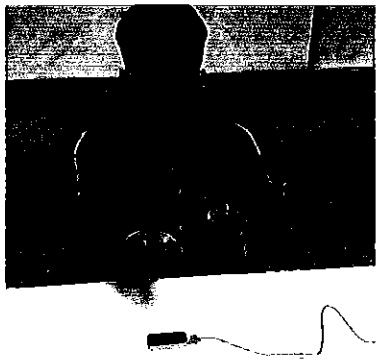
รูปที่ ก.8 ท่าทางหมายเลข ID 7



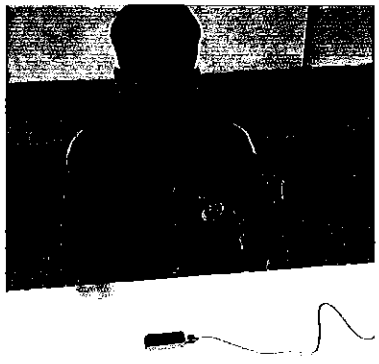
รูปที่ ก.9 ท่าทางหมายเลข ID 8



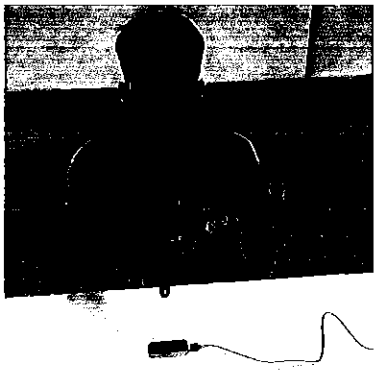
รูปที่ ก.10 ท่าทางหมายเลข ID 9



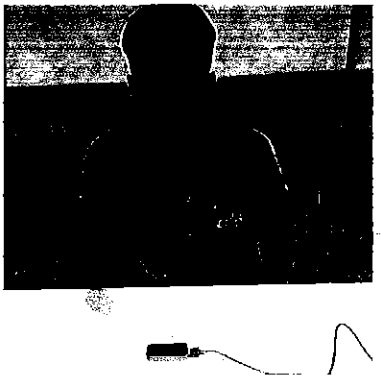
รูปที่ ก.11 ท่าทางหมายเลข ID 10



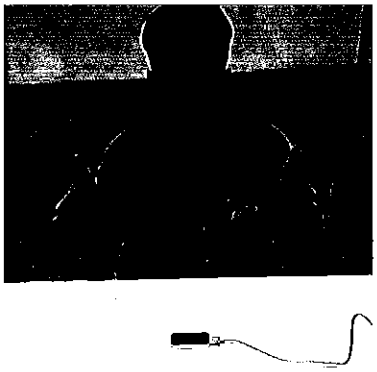
รูปที่ ก.12 ท่าทางหมายเลข ID 11



รูปที่ ก.13 ท่าทางหมายเลข ID 12



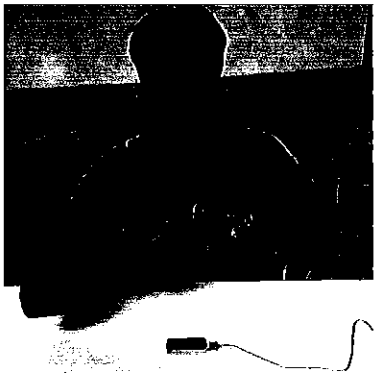
รูปที่ ก.14 ท่าทางหมายเลข ID 13



รูปที่ ก.15 ท่าทางหมายเลข ID 14

รูปที่ ก.16 ท่าทางหมายเลข ID 15

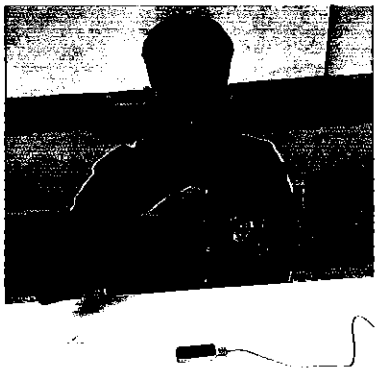
รูปที่ ก.17 ท่าทางหมายเลข ID 16



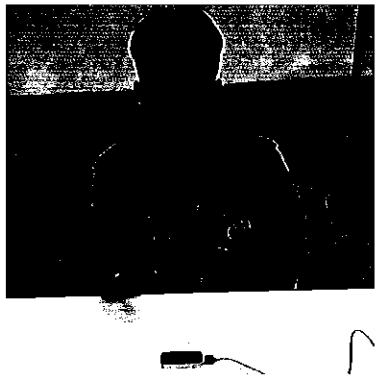
รูปที่ ก.18 ท่าทางหมายเลข ID 17

รูปที่ ก.19 ท่าทางหมายเลข ID 18

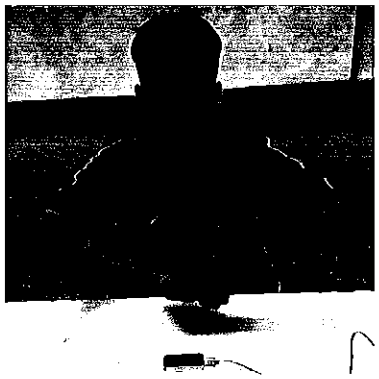
รูปที่ ก.20 ท่าทางหมายเลข ID 19



รูปที่ ก.21 ท่าทางหมายเลข ID 20



รูปที่ ก.22 ท่าทางหมายเลข ID 21



รูปที่ ก.23 ท่าทางหมายเลข ID 22

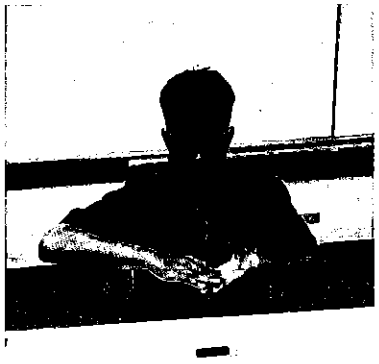
รูปที่ ก.24 ท่าทางหมายเลข ID 23

รูปที่ ก.25 ท่าทางหมายเลข ID 24

รูปที่ ก.26 ท่าทางหมายเลข ID 25

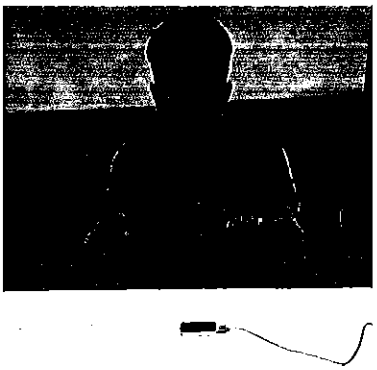
รูปที่ ก.27 ท่าทางหมายเลข ID 26

รูปที่ ก.28 ท่าทางหมายเลข ID 27

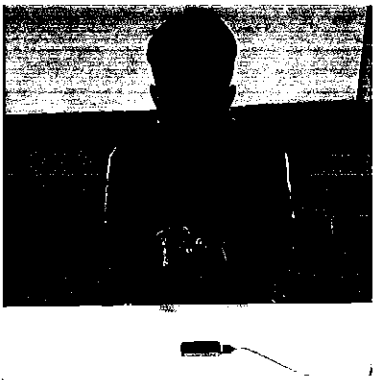


รูปที่ ก.29 ท่าทางหมายเลข ID 28

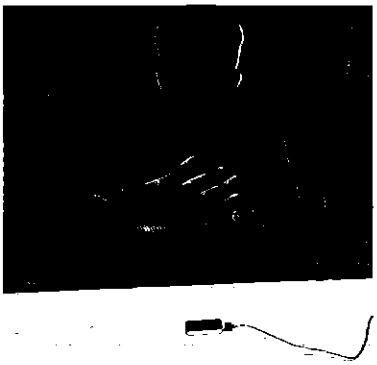
รูปที่ ก.30 ท่าทางหมายเลข ID 29



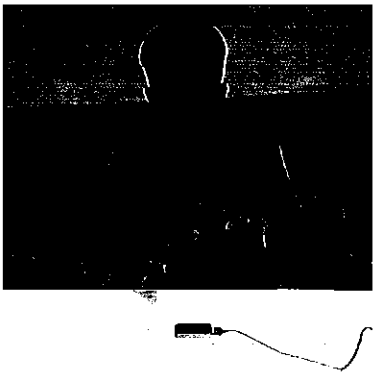
รูปที่ ก.31 ท่าทางหมายเลข ID 30



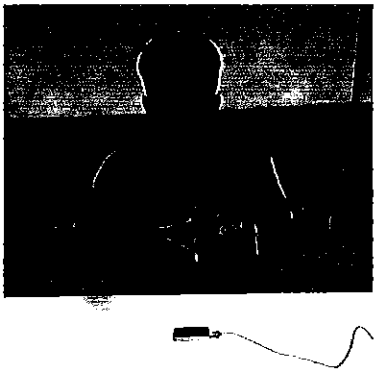
รูปที่ ก.32 ท่าทางหมายเลข ID 31



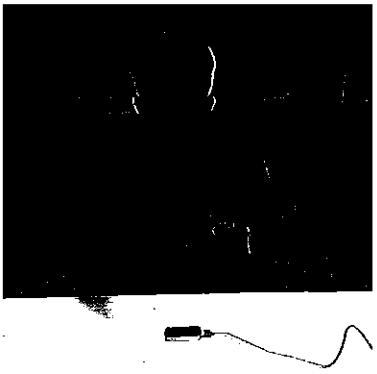
รูปที่ ก.33 ท่าทางหมายเลข ID 32



รูปที่ ก.34 ท่าทางหมายเลข ID 33

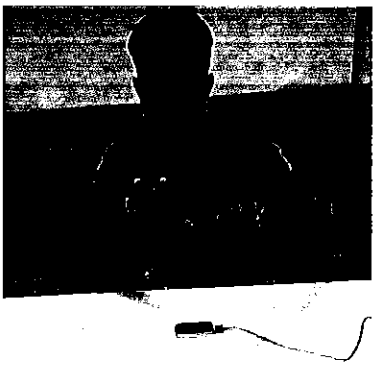


รูปที่ ก.35 ท่าทางหมายเลข ID 34



รูปที่ ก.36 ท่าทางหมายเลข ID 35

รูปที่ ก.37 ท่าทางหมายเลข ID 36

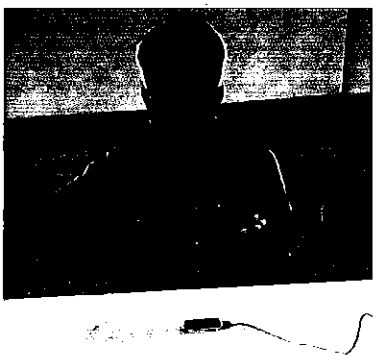


รูปที่ ก.38 ท่าทางหมายเลข ID 37

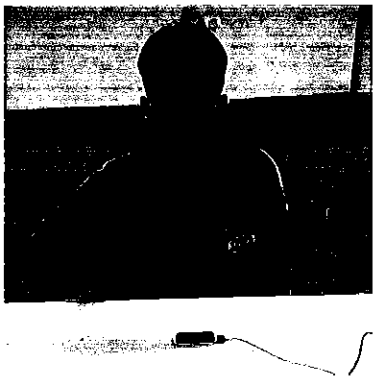
รูปที่ ก.39 ท่าทางหมายเลข ID 38

รูปที่ ก.40 ท่าทางหมายเลข ID 39

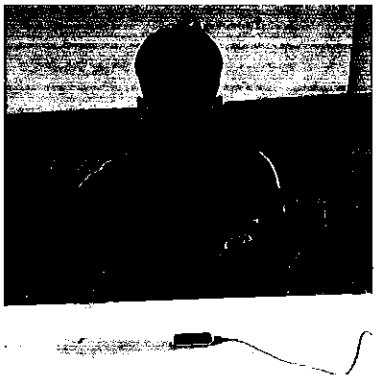
รูปที่ ก.41 ท่าทางหมายเลข ID 40



รูปที่ ก.42 ท่าทางหมายเลข ID 41

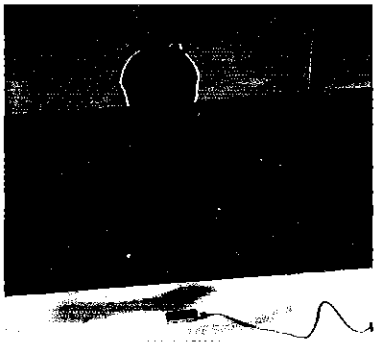


รูปที่ ก.43 ท่าทางหมายเลข ID 42

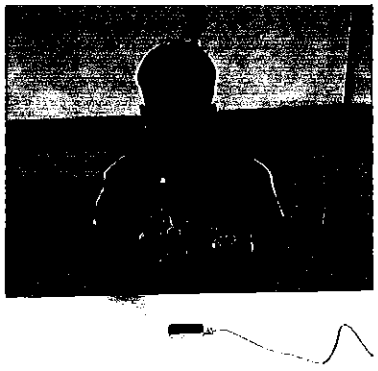


รูปที่ ก.44 ท่าทางหมายเลข ID 43

รูปที่ ก.45 ท่าทางหมายเลข ID 44



รูปที่ ก.46 ท่าทางหมายเลข ID 45



รูปที่ ก.47 ท่าทางหมายเลข ID 46

รูปที่ ก.48 ท่าทางหมายเลข ID 47

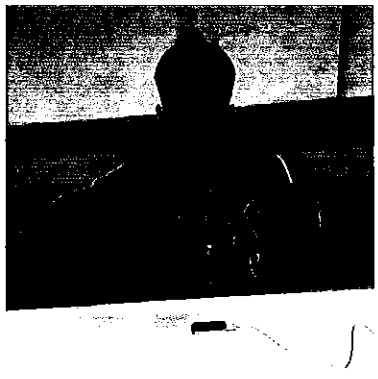
รูปที่ ก.49 ท่าทางหมายเลข ID 48

รูปที่ ก.50 ท่าทางหมายเลข ID 49

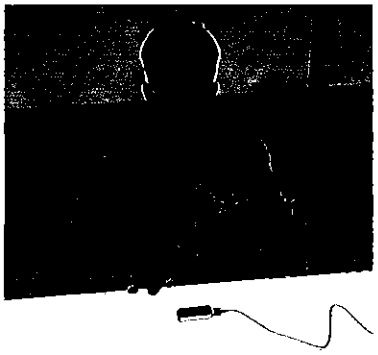
รูปที่ ก.51 ท่าทางหมายเลข ID 50

รูปที่ ก.52 ท่าทางหมายเลข ID 51

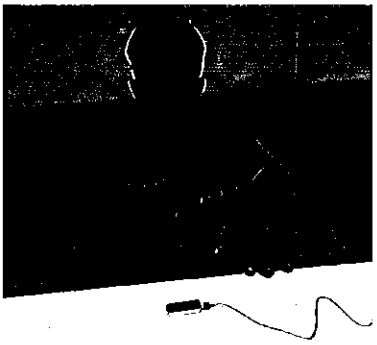
รูปที่ ก.53 ท่าทางหมายเลข ID 52



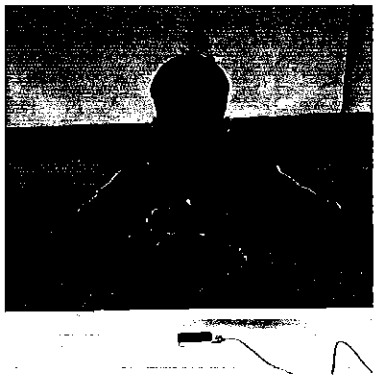
รูปที่ ก.54 ท่าทางหมายเลข ID 53



รูปที่ ก.55 ท่าทางหมายเลข ID 54

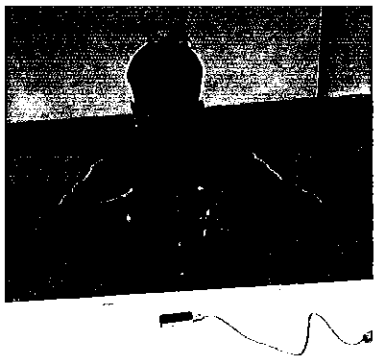


รูปที่ ก.56 ท่าทางหมายเลข ID 55

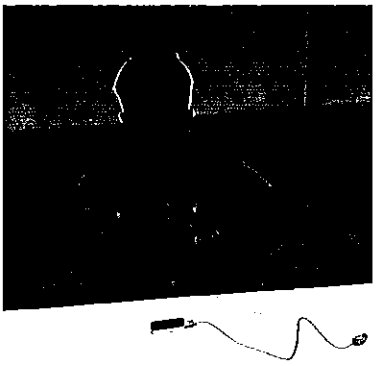


รูปที่ ก.57 ท่าทางหมายเลข ID 56

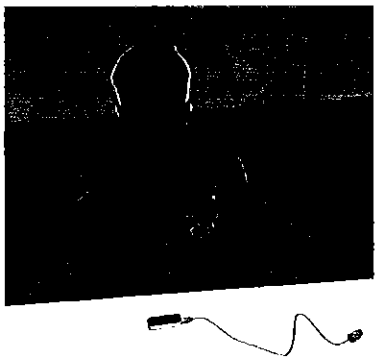
รูปที่ ก.58 ท่าทางหมายเลข ID 57



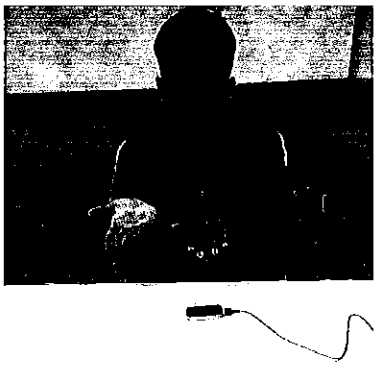
รูปที่ ก.59 ท่าทางหมายเลข ID 58



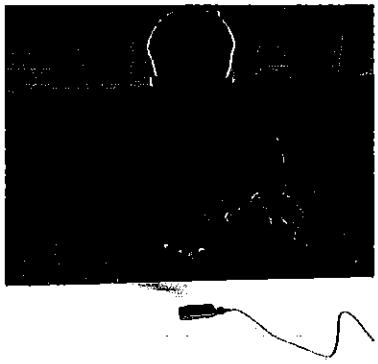
รูปที่ ก.60 ท่าทางหมายเลข ID 59



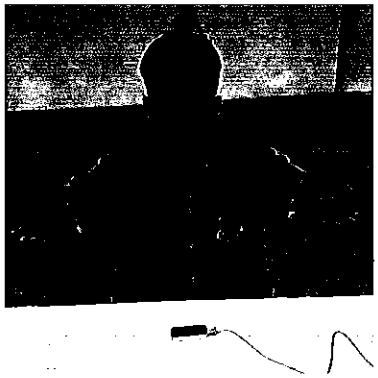
รูปที่ ก.61 ท่าทางหมายเลข ID 60



รูปที่ ก.62 ท่าทางหมายเลข ID 61



รูปที่ ก.63 ท่าทางหมายเลข ID 62



รูปที่ ก.64 ท่าทางหมายเลข ID 63

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทำนาย

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการทำนายท่าทางของ KNN โดยกำหนดให้ K=1

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
0	ตัวเลข 0	82
1	ตัวเลข 1	95
2	ตัวเลข 2	93
3	ตัวเลข 3	100
4	ตัวเลข 4	96
5	ตัวเลข 5	95
6	ตัวเลข 6	97
7	ตัวเลข 7	96
8	ตัวเลข 8	100
9	ตัวเลข 9	83
10	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 1	100
11	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 2	99
12	ตัวเลข 20 ท่าทางที่ 1	99
13	ตัวเลข 50 ท่าทางที่ 2	79
14	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 1, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
15	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 2	98
16	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 3	100
17	ฉัน	100
18	ชื่อ, เก้าอี้	100
19	อะไร, เท่าไหร่ ท่าทางที่ 1	99
20	กิน	100
21	ยัง	100
22	อายุ ท่าทางที่ 1, ไกล ท่าทางที่ 2	100
23	อายุ ท่าทางที่ 2	98
24	กลัว	99
25	สบายดี ท่าทางที่ 1	100
26	สบายดี ท่าทางที่ 2	100
27	ไม่เป็นไร	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
28	ขอโทษ	100
29	สวัสดี, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
30	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 1	100
31	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 2	99
32	ไม่สบาย	79
33	โชคดี	100
34	ชอบ ท่าทางที่ 1	98
35	ชอบ ท่าทางที่ 2	95
36	เก่ง	99
37	เป็นห่วง	100
38	เสียใจ	97
39	หิว ท่าทางที่ 1	89
40	หิว ท่าทางที่ 2	91
41	อิ่ม	100
42	เข้าใจ ท่าทางที่ 1	100
43	เข้าใจ ท่าทางที่ 2	88
44	ไป ท่าทางที่ 1	100
45	ไป ท่าทางที่ 2	100
46	ที่ไหน	94
47	กี่โมง	100
48	ยา ท่าทางที่ 1	100
49	ยา ท่าทางที่ 2	100
50	ขอ	100
51	เกลียด ท่าทางที่ 1	100
52	เกลียด ท่าทางที่ 2, ยกเลิก ท่าทางที่ 1	100
53	เรียน	100
54	เดิน ท่าทางที่ 1	100
55	เดิน ท่าทางที่ 2	100
56	ห้องน้ำ	99

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
57	ไกล ท่าทางที่ 2	93
58	แท็กซี่ ท่าทางที่ 1	100
59	แท็กซี่ ท่าทางที่ 2	98
60	แท็กซี่ ท่าทางที่ 3	100
61	ห่อ ท่าทางที่ 1	100
62	ห่อ ท่าทางที่ 2	100
63	ยกเลิก ท่าทางที่ 2	100
ความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ย		97.3

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทำนายท่าทางของ KNN โดยกำหนดให้ K=5

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
0	ตัวเลข 0	97
1	ตัวเลข 1	100
2	ตัวเลข 2	100
3	ตัวเลข 3	100
4	ตัวเลข 4	99
5	ตัวเลข 5	93
6	ตัวเลข 6	93
7	ตัวเลข 7	99
8	ตัวเลข 8	100
9	ตัวเลข 9	100
10	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 1	100
11	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 2	100
12	ตัวเลข 20 ท่าทางที่ 1	99
13	ตัวเลข 50 ท่าทางที่ 2	81
14	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 1, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
15	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 2	99
16	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 3	100
17	ฉัน	100
18	ชื่อ, เก้าอี้	100
19	อะไร, เท่าไหร่ ท่าทางที่ 1	100
20	กิน	100
21	ยัง	100
22	อายุ ท่าทางที่ 1, ไกล ท่าทางที่ 2	92
23	อายุ ท่าทางที่ 2	100
24	กลัว	99
25	สบายดี ท่าทางที่ 1	100
26	สบายดี ท่าทางที่ 2	100
27	ไม่เป็นไร	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
28	ขอโทษ	100
29	สวัสดี, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
30	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 1	98
31	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 2	100
32	ไม่สบาย	91
33	โชคดี	100
34	ชอบ ท่าทางที่ 1	100
35	ชอบ ท่าทางที่ 2	96
36	เก่ง	99
37	เป็นห่วง	100
38	เสียใจ	98
39	หิว ท่าทางที่ 1	92
40	หิว ท่าทางที่ 2	99
41	อิ่ม	100
42	เข้าใจ ท่าทางที่ 1	100
43	เข้าใจ ท่าทางที่ 2	91
44	ไป ท่าทางที่ 1	100
45	ไป ท่าทางที่ 2	100
46	ที่ไหน	93
47	กี่โมง	100
48	ยา ท่าทางที่ 1	100
49	ยา ท่าทางที่ 2	100
50	ขอ	100
51	เกลียด ท่าทางที่ 1	100
52	เกลียด ท่าทางที่ 2, ยกเลิก ท่าทางที่ 1	100
53	เรียน	100
54	เดิน ท่าทางที่ 1	100
55	เดิน ท่าทางที่ 2	100
56	ห้องน้ำ	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
57	ไกล ท่าทางที่ 2	93
58	แท็กซี่ ท่าทางที่ 1	100
59	แท็กซี่ ท่าทางที่ 2	98
60	แท็กซี่ ท่าทางที่ 3	100
61	ห่อ ท่าทางที่ 1	100
62	ห่อ ท่าทางที่ 2	100
63	ยกเลิก ท่าทางที่ 2	100
ความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ย		98.42

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทำนายท่าทางของ KNN โดยกำหนดให้ K=50

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
0	ตัวเลข 0	100
1	ตัวเลข 1	95
2	ตัวเลข 2	100
3	ตัวเลข 3	99
4	ตัวเลข 4	99
5	ตัวเลข 5	79
6	ตัวเลข 6	96
7	ตัวเลข 7	94
8	ตัวเลข 8	97
9	ตัวเลข 9	89
10	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 1	100
11	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 2	100
12	ตัวเลข 20 ท่าทางที่ 1	97
13	ตัวเลข 50 ท่าทางที่ 2	96
14	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 1, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
15	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 2	98
16	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 3	100
17	ฉัน	100
18	ชื่อ, เก้าอี้	100
19	อะไร, เท่าไหร่ ท่าทางที่ 1	100
20	กิน	100
21	ยัง	100
22	อายุ ท่าทางที่ 1, ไกล ท่าทางที่ 2	78
23	อายุ ท่าทางที่ 2	83
24	กลัว	91
25	สบายดี ท่าทางที่ 1	100
26	สบายดี ท่าทางที่ 2	100
27	ไม่เป็นไร	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
28	ขอโทษ	100
29	สวัสดี, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
30	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 1	100
31	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 2	100
32	ไม่สบาย	96
33	โชคดี	100
34	ชอบ ท่าทางที่ 1	100
35	ชอบ ท่าทางที่ 2	100
36	เก่ง	100
37	เป็นห่วง	100
38	เสียใจ	88
39	หิว ท่าทางที่ 1	76
40	หิว ท่าทางที่ 2	91
41	อิ่ม	100
42	เข้าใจ ท่าทางที่ 1	100
43	เข้าใจ ท่าทางที่ 2	100
44	ไป ท่าทางที่ 1	100
45	ไป ท่าทางที่ 2	100
46	ที่ไหน	96
47	กี่โมง	100
48	ยา ท่าทางที่ 1	100
49	ยา ท่าทางที่ 2	100
50	ขอ	100
51	เกลียด ท่าทางที่ 1	100
52	เกลียด ท่าทางที่ 2, ยกเลิก ท่าทางที่ 1	100
53	เรียน	100
54	เดิน ท่าทางที่ 1	100
55	เดิน ท่าทางที่ 2	100
56	ห้องน้ำ	99

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
57	ไกล ท่าทางที่ 2	93
58	แท็กซี่ ท่าทางที่ 1	100
59	แท็กซี่ ท่าทางที่ 2	98
60	แท็กซี่ ท่าทางที่ 3	100
61	ห่อ ท่าทางที่ 1	100
62	ห่อ ท่าทางที่ 2	100
63	ยกเลิก ท่าทางที่ 2	100
ความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ย		97.31

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 50 โหนด

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
0	ตัวเลข 0	95
1	ตัวเลข 1	90
2	ตัวเลข 2	100
3	ตัวเลข 3	100
4	ตัวเลข 4	99
5	ตัวเลข 5	98
6	ตัวเลข 6	100
7	ตัวเลข 7	96
8	ตัวเลข 8	100
9	ตัวเลข 9	100
10	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 1	100
11	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 2	97
12	ตัวเลข 20 ท่าทางที่ 1	100
13	ตัวเลข 50 ท่าทางที่ 2	81
14	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 1, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
15	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 2	98
16	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 3	100
17	ฉัน	100
18	ชื่อ, เก้าอี้	100
19	อะไร, เท่าไหร่ ท่าทางที่ 1	100
20	กิน	100
21	ยัง	100
22	อายุ ท่าทางที่ 1, ไกล ท่าทางที่ 2	100
23	อายุ ท่าทางที่ 2	100
24	กลัว	100
25	สบายดี ท่าทางที่ 1	100
26	สบายดี ท่าทางที่ 2	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
27	ไม่เป็นไร	100
28	ขอโทษ	100
29	สวัสดี, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
30	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 1	100
31	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 2	100
32	ไม่สบาย	81
33	โชคดี	100
34	ชอบ ท่าทางที่ 1	100
35	ชอบ ท่าทางที่ 2	98
36	เก่ง	99
37	เป็นห่วง	100
38	เสียใจ	100
39	หิว ท่าทางที่ 1	90
40	หิว ท่าทางที่ 2	94
41	อิ่ม	100
42	เข้าใจ ท่าทางที่ 1	100
43	เข้าใจ ท่าทางที่ 2	99
44	ไป ท่าทางที่ 1	100
45	ไป ท่าทางที่ 2	100
46	ที่ไหน	91
47	กี่โมง	100
48	ยา ท่าทางที่ 1	100
49	ยา ท่าทางที่ 2	100
50	ขอ	100
51	เกลียด ท่าทางที่ 1	100
52	เกลียด ท่าทางที่ 2, ยกเลิก ท่าทางที่ 1	100
53	เรียน	100
54	เดิน ท่าทางที่ 1	100
55	เดิน ท่าทางที่ 2	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
56	ห้องน้ำ	100
57	ไกล ท่าทางที่ 2	96
58	แท็กซี่ ท่าทางที่ 1	100
59	แท็กซี่ ท่าทางที่ 2	100
60	แท็กซี่ ท่าทางที่ 3	100
61	ห่อ ท่าทางที่ 1	100
62	ห่อ ท่าทางที่ 2	100
63	ยกเลิก ท่าทางที่ 2	91
ความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ย		98.33

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนด

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
0	ตัวเลข 0	96
1	ตัวเลข 1	95
2	ตัวเลข 2	77
3	ตัวเลข 3	100
4	ตัวเลข 4	100
5	ตัวเลข 5	86
6	ตัวเลข 6	100
7	ตัวเลข 7	100
8	ตัวเลข 8	100
9	ตัวเลข 9	96
10	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 1	100
11	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 2	100
12	ตัวเลข 20 ท่าทางที่ 1	100
13	ตัวเลข 50 ท่าทางที่ 2	97
14	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 1, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
15	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 2	93
16	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 3	100
17	ฉัน	100
18	ชื่อ, เก้าอี้	100
19	อะไร, เท่าไหร่ ท่าทางที่ 1	100
20	กิน	98
21	ยัง	100
22	อายุ ท่าทางที่ 1, ไกล ท่าทางที่ 2	81
23	อายุ ท่าทางที่ 2	100
24	กลัว	98
25	สบายดี ท่าทางที่ 1	100
26	สบายดี ท่าทางที่ 2	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
27	ไม่เป็นไร	100
28	ขอโทษ	100
29	สวัสดี, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
30	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 1	100
31	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 2	100
32	ไม่สบาย	96
33	โชคดี	100
34	ชอบ ท่าทางที่ 1	100
35	ชอบ ท่าทางที่ 2	100
36	เก่ง	100
37	เป็นห่วง	100
38	เสียใจ	100
39	หิว ท่าทางที่ 1	100
40	หิว ท่าทางที่ 2	94
41	อิ่ม	100
42	เข้าใจ ท่าทางที่ 1	100
43	เข้าใจ ท่าทางที่ 2	100
44	ไป ท่าทางที่ 1	100
45	ไป ท่าทางที่ 2	100
46	ที่ไหน	91
47	กี่โมง	100
48	ยา ท่าทางที่ 1	100
49	ยา ท่าทางที่ 2	100
50	ขอ	100
51	เกลียด ท่าทางที่ 1	100
52	เกลียด ท่าทางที่ 2, ยกเลิก ท่าทางที่ 1	100
53	เรียน	100
54	เดิน ท่าทางที่ 1	100
55	เดิน ท่าทางที่ 2	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
56	ห้องน้ำ	100
57	ไกล ท่าทางที่ 2	98
58	แท็กซี่ ท่าทางที่ 1	100
59	แท็กซี่ ท่าทางที่ 2	100
60	แท็กซี่ ท่าทางที่ 3	100
61	ห่อ ท่าทางที่ 1	100
62	ห่อ ท่าทางที่ 2	100
63	ยกเลิก ท่าทางที่ 2	100
ความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ย		98.38

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการทำนายท่าทางของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 3 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนด

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
0	ตัวเลข 0	91
1	ตัวเลข 1	95
2	ตัวเลข 2	92
3	ตัวเลข 3	100
4	ตัวเลข 4	94
5	ตัวเลข 5	86
6	ตัวเลข 6	92
7	ตัวเลข 7	100
8	ตัวเลข 8	100
9	ตัวเลข 9	100
10	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 1	100
11	ตัวเลข 10 ท่าทางที่ 2	100
12	ตัวเลข 20 ท่าทางที่ 1	100
13	ตัวเลข 50 ท่าทางที่ 2	97
14	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 1, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
15	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 2	99
16	ตัวเลข 100 ท่าทางที่ 3	100
17	ฉัน	100
18	ชื่อ, เก้าอี้	100
19	อะไร, เท่าไหร่ ท่าทางที่ 1	100
20	กิน	100
21	ยัง	100
22	อายุ ท่าทางที่ 1, ไกล ท่าทางที่ 2	87
23	อายุ ท่าทางที่ 2	100
24	กลัว	98
25	สบายดี ท่าทางที่ 1	97
26	สบายดี ท่าทางที่ 2	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
27	ไม่เป็นไร	95
28	ขอโทษ	90
29	สวัสดี, ขอบคุณ ท่าทางที่ 1	100
30	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 1	100
31	พบกันใหม่ ท่าทางที่ 2	100
32	ไม่สบาย	96
33	โชคดี	100
34	ชอบ ท่าทางที่ 1	98
35	ชอบ ท่าทางที่ 2	91
36	เก่ง	100
37	เป็นห่วง	100
38	เสียใจ	97
39	หิว ท่าทางที่ 1	100
40	หิว ท่าทางที่ 2	93
41	อิ่ม	83
42	เข้าใจ ท่าทางที่ 1	100
43	เข้าใจ ท่าทางที่ 2	97
44	ไป ท่าทางที่ 1	96
45	ไป ท่าทางที่ 2	86
46	ที่ไหน	100
47	กี่โมง	100
48	ยา ท่าทางที่ 1	100
49	ยา ท่าทางที่ 2	100
50	ขอ	86
51	เกลียด ท่าทางที่ 1	100
52	เกลียด ท่าทางที่ 2, ยกเลิก ท่าทางที่ 1	100
53	เรียน	100
54	เดิน ท่าทางที่ 1	100
55	เดิน ท่าทางที่ 2	100

หมายเลข ID	ชื่อของท่าทาง	การทำนาย
56	ห้องน้ำ	100
57	ไกล ท่าทางที่ 2	100
58	แท็กซี่ ท่าทางที่ 1	100
59	แท็กซี่ ท่าทางที่ 2	100
60	แท็กซี่ ท่าทางที่ 3	100
61	ห่อ ท่าทางที่ 1	100
62	ห่อ ท่าทางที่ 2	100
63	ยกเลิก ท่าทางที่ 2	100
ความแม่นยำในการทำนายท่าทางเฉลี่ย		97.43

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทำนายประโยคของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 เวลาหน่วงเท่ากับ 0.6 วินาที

ลำดับประโยค	สถานการณ์	ชื่อประโยค	ผลการทำนายประโยค (ครั้ง)	
			ถูก	ผิด
1	ทักทาย	คุณชื่ออะไร	91	9
2		กินข้าวหรือยัง	100	0
3		คุณอายุเท่าไหร่	86	14
4		ฉันอายุ	72	28
5		คุณสบายดีไหม	87	13
6		ขณะนี้เวลาเท่าไหร่	97	3
7		คุณทำอะไร	91	9
8	ถามเส้นทาง	ห้องน้ำไปทางไหน	85	15
6		แถวนี้มีร้านขายของไหม	84	16
10		ต้องเดินอีกไกลไหม	87	13
11		ฉันจะเรียกแท็กซี่	81	19
12		ไปที่ไหน	89	11
13	การสั่งอาหาร	อาหารอร่อย	98	2
14		สั่งอาหาร	94	6
15		ห่อกลับบ้าน	37	63
16		ยกเลิกรายการ	82	18
17		ขอเก้าอี้เสริม	97	3
18	อื่นๆ	ฉันชอบ	94	6
19		ฉันเป็นห่วงนะ	95	5
20		ฉันกลัว	91	9

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทำนายประโยคของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 เวลาหน่วงเท่ากับ 0.9 วินาที

ลำดับประโยค	สถานการณ์	ชื่อประโยค	ผลการทำนายประโยค (ครั้ง)	
			ถูก	ผิด
1	ทักทาย	คุณชื่ออะไร	95	5
2		กินข้าวหรือยัง	100	0
3		คุณอายุเท่าไหร่	89	11
4		ฉันอายุ	88	12
5		คุณสบายดีไหม	91	9
6		ขณะนี้เวลาเท่าไหร่	100	0
7		คุณทำอะไร	93	7
8	ถามเส้นทาง	ห้องน้ำไปทางไหน	90	10
6		แถวนี้มีร้านขายของไหม	89	11
10		ต้องเดินอีกไกลไหม	91	9
11		ฉันจะเรียกแท็กซี่	85	15
12		ไปที่ไหน	92	8
13	การสั่งอาหาร	อาหารอร่อย	100	0
14		สั่งอาหาร	99	1
15		ห่อกลับบ้าน	74	26
16		ยกเลิกรายการ	88	12
17		ขอเก้าอี้เสริม	100	0
18	อื่นๆ	ฉันชอบ	99	1
19		ฉันเป็นห่วงนะ	99	1
20		ฉันกลัว	100	0

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการทำนายประโยคของ KNN โดยกำหนดให้ K=5 เวลาหน่วงเท่ากับ 1.2 วินาที

ลำดับประโยค	สถานการณ์	ชื่อประโยค	ผลการทำนายประโยค (ครั้ง)	
			ถูก	ผิด
1	ทักทาย	คุณชื่ออะไร	94	6
2		กินข้าวหรือยัง	100	0
3		คุณอายุเท่าไหร่	90	10
4		ฉันอายุ	89	11
5		คุณสบายดีไหม	95	5
6		ขณะนี้เวลาเท่าไหร่	100	0
7		คุณทำอะไร	95	5
8	ถามเส้นทาง	ห้องน้ำไปทางไหน	91	9
6		แถวนี้มีร้านขายของไหม	87	13
10		ต้องเดินอีกไกลไหม	94	6
11		ฉันจะเรียกแท็กซี่	88	12
12		ไปที่ไหน	93	7
13	การสั่งอาหาร	อาหารอร่อย	100	0
14		สั่งอาหาร	98	2
15		ห่อกลับบ้าน	83	17
16		ยกเลิกรายการ	93	7
17		ขอเก้าอี้เสริม	100	0
18	อื่นๆ	ฉันชอบ	100	0
19		ฉันเป็นห่วงนะ	96	4
20		ฉันกลัว	100	0

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการทำนายประโยคของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนดเวลาหน่วงเท่ากับ 0.6 วินาที

ลำดับประโยค	สถานการณ์	ชื่อประโยค	ผลการทำนายประโยค (ครั้ง)	
			ถูก	ผิด
1	ทักทาย	คุณชื่ออะไร	71	29
2		กินข้าวหรือยัง	100	0
3		คุณอายุเท่าไหร่	88	12
4		ฉันอายุ	70	30
5		คุณสบายดีไหม	69	31
6		ขณะนี้เวลาเท่าไหร่	95	5
7		คุณทำอะไร	91	9
8	ถามเส้นทาง	ห้องน้ำไปทางไหน	81	19
6		แถวนี้มีร้านขายของไหม	56	44
10		ต้องเดินอีกไกลไหม	79	21
11		ฉันจะเรียกแท็กซี่	85	15
12		ไปที่ไหน	88	12
13	การสั่งอาหาร	อาหารอร่อย	92	8
14		สั่งอาหาร	87	13
15		ห่อกลับบ้าน	54	46
16		ยกเลิกรายการ	49	51
17		ขอเก้าอี้เสริม	100	0
18	อื่นๆ	ฉันชอบ	92	8
19		ฉันเป็นห่วงนะ	96	4
20		ฉันกลัว	91	9

ตารางที่ ข.11 แสดงผลการทำนายประโยคของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนดเวลาหน่วงเท่ากับ 0.9 วินาที

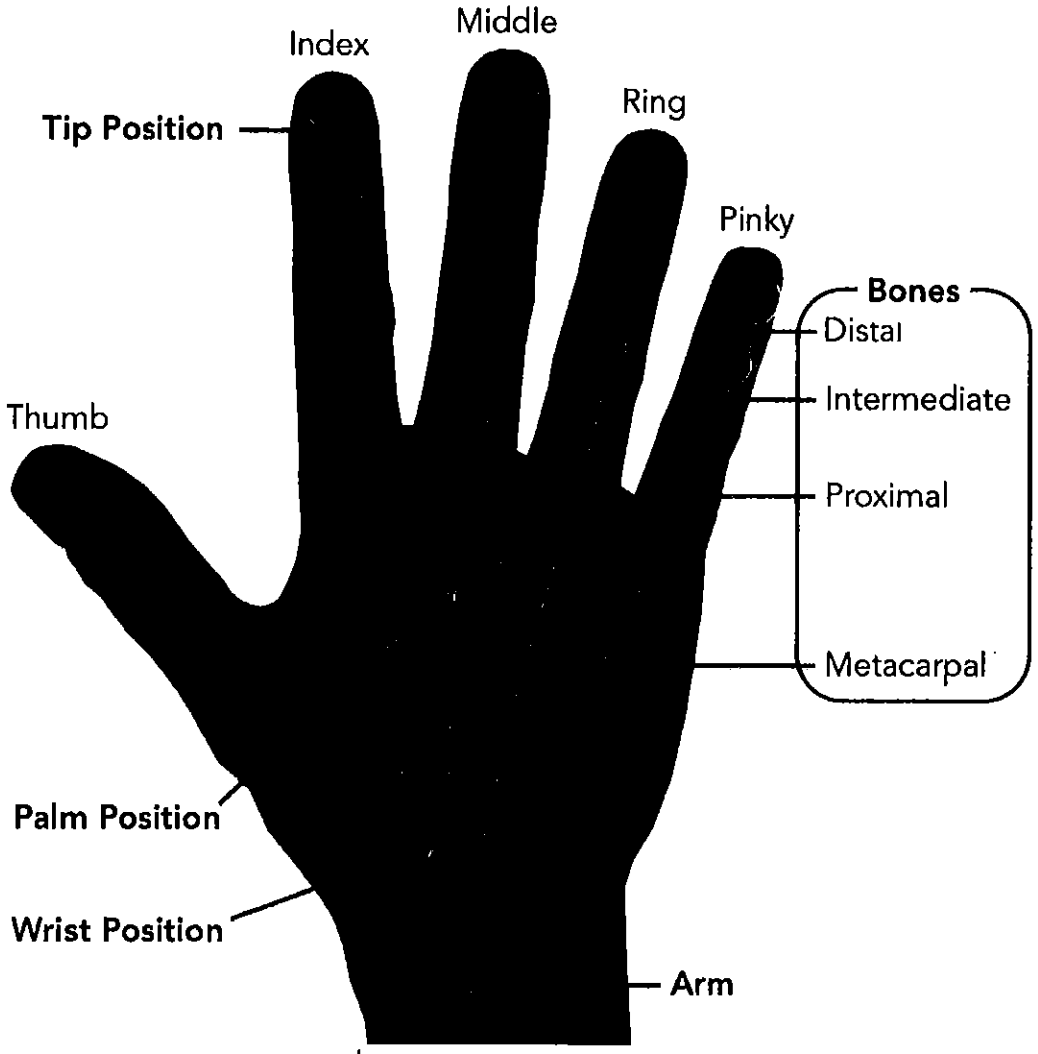
ลำดับประโยค	สถานการณ์	ชื่อประโยค	ผลการทำนายประโยค (ครั้ง)	
			ถูก	ผิด
1	ทักทาย	คุณชื่ออะไร	88	12
2		กินข้าวหรือยัง	100	0
3		คุณอายุเท่าไหร่	91	9
4		ฉันอายุ	83	17
5		คุณสบายดีไหม	89	11
6		ขณะนี้เวลาเท่าไหร่	100	0
7		คุณทำอะไร	93	7
8	ถามเส้นทาง	ห้องน้ำไปทางไหน	84	16
6		แถวนี้มีร้านขายของไหม	79	21
10		ต้องเดินอีกไกลไหม	87	13
11		ฉันจะเรียกแท็กซี่	88	12
12		ไปที่ไหน	89	11
13	การสั่งอาหาร	อาหารอร่อย	97	3
14		สั่งอาหาร	93	7
15		ห่อกลับบ้าน	81	19
16		ยกเลิกรายการ	77	23
17		ขอเก้าอี้เสริม	100	0
18	อื่นๆ	ฉันชอบ	100	0
19		ฉันเป็นห่วงนะ	99	1
20		ฉันกลัว	99	1

ตารางที่ ข.12 แสดงผลการทำนายประโยคของโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 100 โหนดเวลาหน่วงเท่ากับ 1.2 วินาที

ลำดับประโยค	สถานการณ์	ชื่อประโยค	ผลการทำนายประโยค (ครั้ง)	
			ถูก	ผิด
1	ทักทาย	คุณชื่ออะไร	92	8
2		กินข้าวหรือยัง	100	0
3		คุณอายุเท่าไหร่	92	8
4		ฉันอายุ	87	13
5		คุณสบายดีไหม	93	7
6		ขณะนี้เวลาเท่าไหร่	100	0
7		คุณทำอะไร	94	6
8	ถามเส้นทาง	ห้องน้ำไปทางไหน	87	13
6		แถวนี้มีร้านขายของไหม	83	17
10		ต้องเดินอีกไกลไหม	89	11
11		ฉันจะเรียกแท็กซี่	86	14
12		ไปที่ไหน	92	8
13	การสั่งอาหาร	อาหารอร่อย	98	2
14		สั่งอาหาร	96	4
15		ห่อกลับบ้าน	84	16
16		ยกเลิกรายการ	81	19
17		ขอเก้าอี้เสริม	100	0
18	อื่นๆ	ฉันชอบ	98	2
19		ฉันเป็นห่วงนะ	97	3
20		ฉันกลัว	100	0

ภาคผนวก ค

แสดงตำแหน่งต่างๆของมือที่นำมาใช้



รูปที่ ค.1 แสดงตำแหน่งต่างๆของมือ

ตาราง ค.1 แสดงตำแหน่งต่างๆของมือ

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
1	DistanPalmPositionX	ระยะห่างระหว่างฝ่ามือสองข้าง ที่แนวแกน X
2	DistanPalmPositionY	ระยะห่างระหว่างฝ่ามือสองข้าง ที่แนวแกน Y
3	DistanPalmPositionZ	ระยะห่างระหว่างฝ่ามือสองข้าง ที่แนวแกน Z
4	LHThumbProximalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
5	LHThumbProximalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
6	LHThumbProximalXStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
7	LHThumbProximalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
8	LHThumbProximalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
9	LHThumbProximalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
10	LHThumbIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
11	LHThumbIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
12	LHThumbIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
13	LHThumbDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
14	LHThumbDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
15	LHThumbDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
16	LHThumbDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
17	LHThumbDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
18	LHThumbDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างซ้าย
19	LHIndexMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
20	LHIndexMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
21	LHIndexMetacarpalStartZ	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
22	LHIndexMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
23	LHIndexMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
24	LHIndexMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
25	LHIndexIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
26	LHIndexIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
27	LHIndexIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
28	LHIndexDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
29	LHIndexDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
30	LHIndexDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
31	LHIndexDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
32	LHIndexDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
33	LHIndexDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างซ้าย
34	LHMiddleMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
35	LHMiddleMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
36	LHMiddleMetacarpalStartZ	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
37	LHMiddleMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
38	LHMiddleMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
39	LHMiddleMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
40	LHMiddleIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
41	LHMiddleIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
42	LHMiddleIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
43	LHMiddleDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างซ้าย

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
44	LHMiddleDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
45	LHMiddleDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
46	LHMiddleDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
47	LHMiddleDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
48	LHMiddleDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างซ้าย
49	LHRingMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างซ้าย
50	LHRingMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างซ้าย
51	LHRingMetacarpalStartZ	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างซ้าย
52	LHRingMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างซ้าย
53	LHRingMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างซ้าย
54	LHRingMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างซ้าย
55	LHRingIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างซ้าย
56	LHRingIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างซ้าย

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
57	LHRingIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างซ้าย
58	LHRingDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างซ้าย
59	LHRingDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างซ้าย
60	LHRingDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างซ้าย
61	LHRingDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างซ้าย
62	LHRingDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างซ้าย
63	LHRingDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างซ้าย
64	LHPinkyMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
65	LHPinkyMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
66	LHPinkyMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
67	LHPinkyMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
68	LHPinkyMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
69	LHPinkyIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
70	LHPinkyIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
71	LHPinkyIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
72	LHPinkyDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
73	LHPinkyDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
74	LHPinkyDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
75	LHPinkyDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
76	LHPinkyDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
77	LHPinkyDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างซ้าย
78	RHThumbProximalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างขวา
79	RHThumbProximalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างขวา
80	RHThumbProximalXStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างขวา
81	RHThumbProximalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างขวา
82	RHThumbProximalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างขวา

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
83	RHThumbProximalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนต้น ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างขวา
84	RHThumbIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างขวา
85	RHThumbIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างขวา
86	RHThumbIntermediateStarZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างขวา
87	RHThumbDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างขวา
88	RHThumbDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างขวา
89	RHThumbDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างขวา
90	RHThumbDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วโป้งข้างขวา
91	RHThumbDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วโป้งข้างขวา
92	RHThumbDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วโป้งข้างขวา
93	RHIndexMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างขวา
91	RHIndexMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างขวา
95	RHIndexMetacarpalStartZ	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างขวา

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
96	RHIndexMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างขวา
97	RHIndexMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างขวา
98	RHIndexMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วชี้ ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างขวา
99	RHIndexIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างขวา
100	RHIndexIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างขวา
101	RHIndexIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างขวา
102	RHIndexDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างขวา
103	RHIndexDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างขวา
104	RHIndexDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างขวา
105	RHIndexDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วชี้ข้างขวา
106	RHIndexDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วชี้ข้างขวา
107	RHIndexDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วชี้ข้างขวา
108	RHMiddleMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างขวา

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
109	RHMiddleMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างขวา
110	RHMiddleMetacarpalStartZ	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างขวา
111	RHMiddleMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างขวา
112	RHMiddleMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างขวา
113	RHMiddleMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างขวา
114	RHMiddleIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างขวา
115	RHMiddleIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างขวา
116	RHMiddleIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างขวา
117	RHMiddleDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างขวา
118	RHMiddleDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างขวา
119	RHMiddleDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างขวา
120	RHMiddleDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วกลางข้างขวา
121	RHMiddleDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วกลางข้างขวา

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
122	RHMiddleDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วกลางข้างขวา
123	RHRingMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างขวา
124	RHRingMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างขวา
125	RHRingMetacarpalStartZ	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างขวา
126	RHRingMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างขวา
127	RHRingMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างขวา
128	RHRingMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วนาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างขวา
129	RHRingIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างขวา
130	RHRingIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างขวา
131	RHRingIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างขวา
132	RHRingDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างขวา
133	RHRingDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างขวา
134	RHRingDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างขวา

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
135	RHRingDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วนางข้างขวา
136	RHRingDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วนางข้างขวา
137	RHRingDistalEndZ	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วนางข้างขวา
138	RHPinkyMetacarpalStartX	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างขวา
139	RHPinkyMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างขวา
140	RHPinkyMetacarpalStartY	ต้นของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างขวา
141	RHPinkyMetacarpalEndX	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างขวา
142	RHPinkyMetacarpalEndY	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างขวา
143	RHPinkyMetacarpalEndZ	ปลายของกระดูกฝ่ามือนิ้วก้อย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างขวา
144	RHPinkyIntermediateStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างขวา
145	RHPinkyIntermediateStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างขวา
146	RHPinkyIntermediateStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนกลาง ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างขวา
147	RHPinkyDistalStartX	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างขวา

ลำดับ	ชื่อของลักษณะ	คำอธิบาย
148	RHPinkyDistalStartY	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างขวา
149	RHPinkyDistalStartZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างขวา
150	RHPinkyDistalEndX	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน X ที่นิ้วก้อยข้างขวา
151	RHPinkyDistalEndY	ปลายของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Y ที่นิ้วก้อยข้างขวา
152	RHPinkyDistalEndZ	ต้นของกระดูกนิ้วมือท่อนปลาย ตามแนวแกน Z ที่นิ้วก้อยข้างขวา