

การหาพารามิเตอร์และจัดกลุ่มของวัตถุที่ถูกหยิบสำหรับมือจับหุ่นยนต์

GRASPED OBJECT PARAMETER SYSTEM IDENTIFICATION
AND CLASSIFICATION FOR ROBOT GRIPPER



กพ.
๙๖๙๖๓
๒๕๕๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **136716**
วันเดือนปี 112 พ.ค. 2558

b1...42๒8.2๒88..
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRASPED OBJECT PARAMETER SYSTEM IDENTIFICATION
AND CLASSIFICATION FOR ROBOT GRIPPER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING PROGRAM IN INFORMATION AND SYSTEM ENGINEERING
COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMIL-2015-DS-M-001-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาพารามิเตอร์และจัดกลุ่มของวัตถุที่ถูกหยิบสำหรับมือจับหุ่นยนต์

Thesis Title GRASPED OBJECT PARAMETER SYSTEM IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION FOR ROBOT GRIPPER

นักศึกษา นายนิสิต กิวัฒนา

รหัสประจำตัว 55690304

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมระบบและข้อมูล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-DS-M-001-01

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติเชต	ผู้รักษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณิศา	มณีวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล
ดร.ชัยวัฒน์	หนูทอง
ดร.อนรรฆพล	แสนทน

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 22 ธันวาคม 2557 เวลา 13.00 - 15.00 น.

สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

วันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาพารามิเตอร์และจัดกลุ่มของวัตถุที่ถูกหยิบสำหรับมือจับหุ่นยนต์
นักศึกษา	นายนิสิต กวีพัฒนา
รหัสนักศึกษา	55690304
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบและข้อมูล
พ.ศ.	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

บทคัดย่อ

การควบคุมแรงเป็นหนึ่งในรูปแบบที่สำคัญในงานอุตสาหกรรมหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทาสีและการจับชิ้นงานต่างๆ ในทางปฏิบัติการควบคุมพารามิเตอร์ให้เหมาะสมในการควบคุมแรงไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากระบบพลศาสตร์ของระบบทั้งหมด ไม่ขึ้นอยู่กับพลศาสตร์กับการทำงานตัวขับเคลื่อน (actuator) เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับสภาพแวดล้อมและวัตถุที่ถูกจับด้วย นอกจากนี้การควบคุมแรงสำหรับการหยิบจับวัตถุหลากหลายชนิดจะต้องใช้หลายๆ วิธีการทำงานร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิกและทำให้สมรรถนะการทำงานโดยรวมลดต่ำโดยธรรมชาติเพื่อที่จะจัดการกับปัญหาเหล่านี้ ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการระบุค่าทางพลศาสตร์ของวัตถุให้ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้คู่ของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตจะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ในระบบการควบคุมแรง โดยที่ตำแหน่งและแรงจะถูกเก็บรวบรวมและใช้สำหรับการระบุการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุการจัดหมวดหมู่ในเทคนิคที่นำเสนอจะใช้วิธี K-means clustering และ Kohonen network เพื่อการจัดกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วของทั้ง 2 เทคนิค และจากผลการทดลองระบบที่นำเสนอสามารถระบุกลุ่มเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Grasped Object Parameter System Identification and Classification for Robot Gripper
Student	Mr.Nisit Kiwatthana
Student ID	55690304
Degree	Master of Engineering
Program	Information and System Engineering
Academic Year	2015
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai

ABSTRACT

Force control is one of the most important schemes in many industrial applications, especially in painting and grasping tasks. In practice, the proper control parameters in force controller are not easy because the performance of entire system does not only depend on the actuator dynamic, but also the environment and grasped object. In addition, several applications need to use the force control system for grasping various types of the objects; thus, the dynamic change causes the poor performance in nature. To deal with this problem, this thesis proposes the method to fast dynamic identification using a pair of input and output data to identify the plant dynamic of the force control system. The position and force data are collected and used for the structured dynamic identification. Predefined clusters determined from several data sets of different objects are evaluated using K-means clustering and Kohonen network. As seen in the experimental results, the proposed gripper system can identify the object group correctly.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีโดยการประสิทธิ์วิชาจาก รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูลและห้องปฏิบัติการระบบควบคุมและอัตโนมัติของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนโดยบริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ให้ความอบอุ่นที่ติดต่อกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



นิสิต กิวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
1.5 คำถามในงานวิจัยและสมมติฐาน.....	4
1.6 ขอบเขตในงานวิจัย.....	5
1.6.1 คุณสมบัติของวัตถุทดสอบ.....	5
1.6.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	5
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 หลักการควบคุมความเร็ว (speed control) และควบคุมตำแหน่ง (Position control).....	7
2.1.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (speed control).....	9
2.1.1.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้.....	9
2.1.1.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน.....	10
2.1.1.3 การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation).....	10
2.1.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ (Position control).....	11
2.1.2.1 Incremental Encoder.....	11
2.1.2.2 Absolute Encoder.....	14
2.2 คุณสมบัติของ force sensing resister.....	15
2.3 Mass-Spring-Damper model.....	19
2.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การจัดกลุ่มให้กับค่าพารามิเตอร์	22
2.5.1 คุณสมบัติของเทคนิควิธี Cluster Analysis	22
2.5.1.1 ความต้องการทางด้านข้อมูล	22
2.5.1.2 แนวคิดพื้นฐาน	22
2.5.1.3 ความคล้ายกันของหน่วย	22
2.5.1.4 การวัดความห่าง	22
2.5.2 เทคนิคการจัดกลุ่มที่ใช้ในการศึกษา	22
2.5.2.1 การจัดกลุ่มพารามิเตอร์โดยใช้เทคนิค K-means clustering	22
2.5.2.2 จัดกลุ่มโดยใช้เทคนิค Kohonen's network	24
2.5.2.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Cross-validation)	28
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	30
3.1 แผนการดำเนินโครงการ	30
3.2 ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.4 ขั้นตอนและกระบวนการทดลอง	35
3.4.1 การแสดงรูปแบบการออกแรงกดวัดทดสอบด้วยแขนกล	36
3.4.2 การแปลงสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์ให้อยู่ในรูปแบบของการกระจัด	38
3.4.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี ARX	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44
4.1 การทดลองการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering	47
4.1.1 การทำ cross validation กรณีที่ 1	41
4.1.2 การทำ cross validation กรณีที่ 2	48
4.1.3 การทำ cross validation กรณีที่ 3	48
4.1.4 การทำ cross validation กรณีที่ 4	49
4.1.5 การทำ cross validation กรณีที่ 5	49
4.2 การทดลองการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network	50
4.2.1 การทำ cross validation ครั้งที่ 1	51
4.2.2 การทำ cross validation ครั้งที่ 2	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 การทำ cross validation ครั้งที่ 3.....	54
4.2.4 การทำ cross validation ครั้งที่ 4.....	56
4.2.5 การทำ cross validation ครั้งที่ 5.....	57
4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดกลุ่ม	59
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
5.3 แนวทางการพัฒนาพัฒนา	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	66
ภาคผนวกค่า weight ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจัดกลุ่ม	67
ภาคผนวกขบทความที่ได้ตีพิมพ์	73
ภาคผนวกชุดคำสั่งที่ใช้ในการทดลอง	79
ภาคผนวกรายละเอียดมอเตอร์ SERVO ของหุ่นยนต์ EPSON	85
ประวัติผู้เขียน	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ	14
3.1 วิธีการดำเนินการ.....	30
3.2 แสดงการแปลงสัญญาณพัลส์ให้อยู่ในรูปแบบการกระจัดในรูปแบบของตาราง.....	38
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง A.....	44
4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง B.....	44
4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง C.....	45
4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง D.....	45
4.5 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 1.....	48
4.6 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 2.....	48
4.7 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 3.....	49
4.8 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 4.....	49
4.9 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 5.....	50
4.10 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 1.....	52
4.11 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 2.....	53
4.12 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 3.....	55
4.13 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 4.....	56
4.14 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำให้ cross validation กรณีที่ 5.....	58
ก.1 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 1 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.2 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 2 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%	68
ก.3 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 3 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%	68
ก.4 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 4 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%	69
ก.5ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 5 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%	69
ก.6ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 1ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%.....	70
ก.7ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 2 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%.....	70
ก.8ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 3 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%.....	71
ก.9ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 4 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%	71
ก.10ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำให้ cross validation กรณีที่ 5 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบควบคุมความเร็วที่ประกอบด้วยลูปรูการควบคุมป้อนกลับเพียงรูปเดียว	7
2.2 ระบบควบคุมตำแหน่งประกอบด้วยลูปรูการควบคุมตำแหน่งป้อนกลับและลูปรูควบคุมความเร็วป้อนกลับ	8
2.3 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม	9
2.4 กราฟแสดงคุณสมบัติความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม	9
2.5 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	10
2.6 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่างๆ กัน	10
2.7 ภาพแสดงรูปแบบของRotary Encoder	11
2.8 แสดงการสร้างพัลส์ (pulse) ของ Rotary Encoder	12
2.9 (a) แสดงลักษณะช่อง SLIT สำหรับชุดรับแสง A และ B จำนวน 2 ชุด (b) แสดงลักษณะช่อง SLIT สำหรับชุดรับแสง A และ B จำนวน 1 ชุด	12
2.10 ลักษณะพัลส์ของ Rotary Encoder ทั้งสองเฟส	13
2.11 แสดงความละเอียดของพัลส์	13
2.12 ภาพแสดงรูปแบบของ Absolute Encoder	14
2.13 แสดง Block Diagram ของ Rotary Encoder	14
2.14 องค์ประกอบของ force-sensitive resistor	15
2.15 FSR ink Micrograph	16
2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์	16
2.17 (a) การต่อวงจรเซ็นเซอร์โดยใช้หลักการ voltage divider (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน output และแรงที่กระทำต่อตัวเซ็นเซอร์	17
2.18 (a) ออปแอมป์ LM358 (b) Pin diagramของออปแอมป์ LM358	18
2.19 โครงสร้างของระบบmass-spring-damper	18
2.20 โครงสร้างของ ARX model	20
2.21 กระบวนการวิเคราะห์ของวิธี K-means clustering	23
2.22 โครงสร้างการจัดกลุ่มด้วยวิธีKohonen's network	24
2.23 แสดงการทำ Cross-validation โดยแบ่งเป็น test 10% ต่อ train 90	28
3.1 ภาพเซ็นเซอร์วัดแรงกดชนิดความต้านทาน	30
3.2 (a) ภาพแสดงตัวแขนกลที่ใช้ในการทดลอง (b) ภาพแสดงตัวควบคุมแขนกล	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ภาพอุปกรณ์จ่ายไฟ 12 V	30
3.4 ภาพออปแอมป์ LM358.....	31
3.5 ภาพตัวต้านทานขนาด 10K 1/4WATT.....	31
3.6 ภาพออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการทดลอง.....	31
3.7 ภาพสายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป	31
3.8 ภาพแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์.....	32
3.9 (a) ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองกับแขนกล	
(b) ภาพแสดงการกวัดวัดทดสอบผ่านตัวเซ็นเซอร์วัดแรงกด	32
3.10 (a) ภาพแสดงการตั้งสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ที่อยู่ภายในแขนกล	
(b) ภาพแสดงออสซิลโลสโคปที่ใช้แสดงผลสำหรับสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์และ สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดแรง.....	33
3.11 ภาพแสดงวัดทดสอบทั้ง 4 ชนิด.....	33
3.12 (a) ภาพแสดงรูปด้าน 2 มิติสำหรับการออกแรงของแขนกลต่อวัดทดสอบ	
(b) ภาพแสดงรูปด้าน 3 มิติสำหรับการออกแรงของแขนกลต่อวัดทดสอบ	35
3.13 ภาพแสดงการออกแรงของแขนกลต่อวัดทดสอบ.....	36
3.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะกระจัด.....	37
3.15 (a) กราฟแสดงสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดแรงกด	
(b) กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ในแกน Z ของแขนกล	38
3.16 กำหนดค่า import data.....	38
3.17 ตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธี ARX model	39
3.18 รายละเอียดค่า best fits ของแบบจำลอง.....	39
3.19 การแปลงสมการของโมเดลจากรูป discrete time ให้อยู่ในรูป continuous time.....	40
4.1 (a) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์ในรูปแบบ 3 มิติ	
(b) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์จากมุมมองด้านบน	
(c) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์จากมุมมองด้านข้าง	
(d) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์จากมุมมองด้านหน้า.....	44

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 1	
(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 1	50
4.3 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 2	
(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 2	52
4.4 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 3	
(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 3	53
4.5 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 4	
(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 4	55
4.6 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 5	
(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation ครั้งที่ 5	56
4.7 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกับค่า iterations โดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำให้ cross validation ทั้ง 5 กรณี	
(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกับจำนวนครั้งที่ทดสอบซ้ำ โดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำให้ cross validation ทั้ง 5 กรณี	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาในส่วนของแขนงที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้สูงขึ้นและตอบสนองต่อความต้องการอันไม่มีขีดจำกัดของมนุษย์แนวโน้มนในอนาคตแขนงจะมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น มีประสิทธิภาพการทำงานสูงและมีบทบาทสำคัญในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรม โดยจะใช้ทำงานแทนมนุษย์ในงานด้านต่างๆที่ไม่เหมาะกับมนุษย์ เช่น งานที่มีความเสี่ยงอันตรายหรืองานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง เพื่อให้ได้ความละเอียดประณีตของชิ้นงาน เป็นต้น ในปัจจุบันการใช้งานแขนงส่วนใหญ่เป็นระบบควบคุมตำแหน่งซึ่งต้องการการป้อนกลับตำแหน่งและการควบคุม อย่างไรก็ตาม การควบคุมตำแหน่งไม่สามารถใช้ได้กับลักษณะงานบางประเภท เช่น งานทาสี งานเชื่อม งานหยิบจับชิ้นวัสดุที่มีขนาดต่างกันและมีความเปราะบาง เป็นต้น งานในลักษณะดังกล่าว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมแรงเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การควบคุมแรงอย่างเหมาะสมจะเป็นประโยชน์อย่างมากในงานหลายประเภท อาทิเช่น การหยิบจับชิ้นงานเป้าหมายที่มีความเปราะบางหรือมีความคงทนต่อแรงไม่มาก เป็นต้น ในลักษณะชิ้นงานที่มีความเปราะบางนั้น หากแรงที่กดมีค่ามากเกินไปจะทำให้วัสดุที่ถูกหยิบจับบิดเบี้ยวหรือรูปผิดเพี้ยนไปได้ อย่างไรก็ตามหากแรงที่กระทำมีค่าน้อยเกินไปก็อาจทำให้ไม่สามารถยึดจับวัตถุได้ ทำให้วัตถุหลุดขณะทำการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ แม้จะสามารถใช้ระบบควบคุมร่วมกับตัวตรวจจับแรงในระบบควบคุมแรงนี้ แต่การออกแบบระบบควบคุมโดยทั่วไปมักไม่ทราบพลศาสตร์ที่แน่นอนของวัสดุที่หยิบจับ อีกทั้งในงานบางประเภทวัสดุดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของงาน ซึ่งวัสดุอาจมีอยู่หลายชนิดที่มีความทนทานต่อแรงของวัตถุในแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ในการแก้ปัญหาดังกล่าวในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้มีขั้นตอนในการหาว่าวัสดุดังกล่าวเป็นแบบใดก่อนทำการหยิบจับ เพื่อให้เกิดมือหุ่นยนต์อัจฉริยะ ที่สามารถรู้ที่กำลังหยิบจับวัสดุใดได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถลดความสูญเสียหรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานในกระบวนการหยิบจับลงได้และการที่แขนงสามารถจำแนกประเภทของวัตถุเหล่านั้นได้เองในระหว่างการสัมผัสจะสามารถช่วยลดขั้นตอนการตรวจสอบวัตถุในสายพานลำเลียงได้ทำให้การทำงานมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

ในปัจจุบันการออกแบบระบบสำหรับจำแนกประเภทของวัตถุสามารถทำได้หลากหลายวิธี ทั้งการจำแนกประเภทของวัตถุด้วยภาพหรือจากการสัมผัสโดยตรงและวิเคราะห์แรงที่สัมผัส ทิศทาง

ของแรง อุณหภูมิ ความขรุขระของพื้นผิว รูปทรง ความยืดหยุ่นของวัตถุ และอีกหลายๆวิธีเช่น การเอกซเรย์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบุชนิดของเป้าหมายโดยใช้เทคนิค exploratory procedures (EPs) สำหรับวิเคราะห์แรงและทิศทางของการสัมผัสก็ทั้งยังรวมไปถึงอุณหภูมิของวัตถุเพื่อทำให้ผลการจัดหมวดหมู่มีความสอดคล้องกันมากยิ่งขึ้น [1] หรือการจำแนกวัตถุโดยการใช้นิ้วของหุ่นยนต์สไลด์ไปตามพื้นผิวและเปรียบเทียบคุณสมบัติเรื่องความเสียดทานและใช้เทคนิค K-NN ในการจัดหมวดหมู่ โดยมีความถูกต้องถึง 88.5% ในการแบ่งคุณลักษณะของพื้นผิวที่มีความแตกต่างกัน 12 แบบ [2] ในปัจจุบันการพัฒนาาระบบสำหรับการจำแนกประเภทของวัตถุไม่ได้หยุดอยู่เพียงนิ้วมือของแขนกลในอุตสาหกรรมเพียงอย่างเดียวแต่ยังมีการนำไปใช้ร่วมกับเท้าของหุ่นยนต์สำหรับการจำแนกประเภทของพื้นที่ที่หุ่นยนต์เดินผ่านอีกด้วย [3] ตลอดจนถึงการออกแบบเซ็นเซอร์ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นจนสามารถทำให้สร้างรูปทรงของวัตถุที่สัมผัสให้ออกมาในรูปแบบ 3 มิติได้ และนำไปสู่กระบวนการจำแนกวัตถุ [4] การสร้างรูปทรง 3 มิติขึ้นมาจากสัมผัสผ่านทางเซ็นเซอร์ที่ติดบริเวณมือของมนุษย์สามารถประยุกต์นำไปใช้กับระบบนิ้วมือของหุ่นยนต์ได้โดยอ้างอิงการสร้างด้วยแบบจำลอง 3 แกน นิ้วมือทั้ง 3 นิ้วของหุ่นยนต์ [5-6] อย่างไรก็ตามสำหรับกระบวนการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการสัมผัสวัตถุด้วยเวลาอันสั้นก่อนจะทำการออนไลน์ข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลจำเป็นต้องให้ความสำคัญสำหรับการออกแบบระบบ [7] การพัฒนาเซ็นเซอร์ที่มีความยืดหยุ่น มีความไวมากขึ้นรวมถึงมีความถูกต้องของการวัดมากขึ้นจะส่งผลให้การใช้งานของหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพของการจำแนกวัตถุทำได้อย่างถูกต้องมากขึ้นตามไปด้วย [8] สำหรับการวิเคราะห์แรงสัมผัสสำหรับวัตถุที่เป็นวัสดุแข็งเกร็งกับวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเพื่อใช้ในการออกแบบนิ้วมือสำหรับหุ่นยนต์ในการคว้าชิ้นงาน [9] เมื่อหุ่นยนต์หรือแขนกลมีการเคลื่อนที่เพื่อย้ายสิ่งของหรือวัตถุต่างๆจะต้องทำการศึกษาการปรับความเร็วในกาเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หรือแขนกลให้พอเหมาะเพื่อจะรักษาสภาพของวัตถุขณะเคลื่อนย้ายให้คงเดิม [10-11] ต่อมาในส่วนของระบบ Mass-Spring-Damper ซึ่งโดยส่วนมากจะเน้นไปทางด้านการศึกษาคุณลักษณะความเป็นไปของพารามิเตอร์แต่ละตัวในสภาวะต่างๆ เช่นในเรื่องของการสั่นสะเทือนของระบบ [12-13] การศึกษาระบบ Mass-Spring-Damper ในการประยุกต์ใช้สำหรับการควบคุมในสภาวะที่ไม่คงที่ต่างๆ [14] หรือการสร้างแบบจำลองของระบบเพื่อศึกษาคุณลักษณะของสิ่งของต่างๆ เช่นการจำลองรูปแบบการชนของรถยนต์โดยใช้แบบจำลอง Mass-Spring-Damper จำนวน 2 ระบบในการวิเคราะห์ร่วมกัน [15] รวมถึงการศึกษาการควบคุมระบบให้มีความเหมาะสมต่างๆ อาทิ การควบคุมพลังงานของระบบ [16-17] ข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์แบบสัมผัสโดยตรงจะมีรูปแบบใกล้เคียงกับลักษณะการสัมผัสของนิ้วมือนมนุษย์มากขึ้น [18-19] ซึ่งในบทความที่ [20] ทำการวิเคราะห์วัตถุเพื่อออกแบบการทดลองสำหรับการจำแนกวัตถุที่มีความแข็ง โดยการสร้างแนวแกน 3 มิติสำหรับเซ็นเซอร์จะช่วยให้กระบวนการทำงานของแขนกลมีความคล่องแคล่วในการคว้าวัตถุและสามารถจำแนกวัตถุได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น [21] และเพื่อให้มีการแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้อย่างถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการเรียนรู้และวิธีการจัดกลุ่มของวัตถุที่มีหลากหลายชนิด [22] ในการศึกษาการประมาณค่าพารามิเตอร์จากหลายๆกรณี รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการสังเคราะห์จะให้ผลที่ไม่แม่นยำมากเท่าที่ควร เนื่องจากจากปัจจัยที่ไม่แน่นอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภายนอกจะไม่ได้นำมาร่วมทำการคำนวณในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการจะแก้ปัญหาในจุดนี้จะต้องทำโดยใช้ชุดข้อมูลแบบหลายอินพุตจากการทดลองกับของจริงมาประกอบการสร้างสมการ [23] โดยรวมการศึกษาถึงการจำแนกประเภทของวัตถุจะต้องใช้วิธีการหลายๆส่วนทำงานร่วมกันซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพโดยรวมลดต่ำลง ทำให้การศึกษาในลำดับต่อไปจะเป็นการศึกษาการจำแนกประเภทของวัตถุโดยการระบุจากพารามิเตอร์ซึ่งผ่านการคำนวณด้วยวิธีที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปและลดกระบวนการทำงานในระบบลงซึ่งช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วกว่าและได้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้นตามไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดของแขนกลที่กระทำต่อวัตถุกับค่าพารามิเตอร์ที่แสดงคุณสมบัติจำเพาะของวัตถุ
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดกลุ่มพารามิเตอร์ด้วยวิธี K-means clustering และ Kohonen network
3. เพื่อสร้างระบบหาพารามิเตอร์ระบบที่สามารถใช้แยกประเภทวัสดุที่จับได้

1.3 ความสำคัญของงานวิจัย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในด้านอุตสาหกรรมให้สูงขึ้นสำหรับกระบวนการผลิตที่มีวัตถุอยู่มากกว่า 1 ชนิดหรือลักษณะของวัตถุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจำอาจจำเป็นต้องทำการจำแนกประเภทของวัตถุให้มีความถูกต้องโดยจะทำการวิเคราะห์วัตถุโดยใช้พารามิเตอร์จากระบบ Mass-Spring-Damper ซึ่งอาจจำเป็นต้องการใช้ในอุตสาหกรรมในปัจจุบันและอนาคต การที่ระบบควบคุมแขนกลไม่สามารถจะจำแนกประเภทของวัตถุได้นั้นอาจจะทำให้การป้อนแรงเพื่อยึดจับวัตถุไม่พอดีซึ่งเกิดผลเสียหายตามมา โดยปกติแล้วแรงที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องมากพอที่จะยึดให้วัตถุหยุดนิ่งบริเวณมือจับของแขนกลทั้งในสภาวะที่แขนกลหยุดนิ่งหรือแม้กระทั่งเคลื่อนที่หมายถึงแรงที่ใช้จับนั้นจะต้องมีค่าเพียงพอที่จะยกชิ้นงานที่หนักที่สุดที่อยู่ในกระบวนการผลิตนั้นๆให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ได้แต่ต้องมีค่าไม่มากเกินไปจนทำให้วัสดุผิดรูปจากเดิม ซึ่งการควบคุมแรงเหล่านั้นต้องรู้สภาวะพลศาสตร์ของวัสดุที่หยิบจับด้วย หากสภาวะพลศาสตร์เปลี่ยนไป การออกแบบการควบคุมแรงควรต้องเปลี่ยนตาม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการหาพารามิเตอร์ในระบบทางกลของวัสดุเพื่อใช้ในการวางแผนการหยิบจับหรือการปรับตัวควบคุมในอนาคต ผลจากการให้แรงที่เหมาะสมจะทำให้ไม่เกิดแรงที่มากเกินไปจนทำให้วัตถุเกิดความเสียหายและจะทำให้ผลเสียต่อการผลิตโดยรวมในเรื่องของเสียลดลงซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่ลดลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาการจำแนกประเภทของวัตถุโดยอาศัยพารามิเตอร์จากระบบ Mass-Spring-Damper ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามแต่ชนิดของวัตถุนั้นๆ ซึ่งทางผู้ศึกษาจะใช้ประโยชน์ในจุดนี้สำหรับการนำไปแยกความแตกต่างของวัตถุทดสอบแต่ละชนิดซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้ระบบระบุตัวตนก่อน สำหรับระบบการระบุตัวตน (system identification) เป็นอีกหลักการหนึ่งที่สามารถใช้หาค่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบได้ โดยการอาศัยประมาณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวัดและเก็บค่าข้อมูลจากอินพุตและเอาท์พุทแล้วนำไปวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งในการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์นั้น ใช้การหาพารามิเตอร์ทางพลศาสตร์โดยอาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square error method) เนื่องจากการหาพารามิเตอร์จากการสังเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ในปัจจุบันนี้ยังไม่สามารถให้ผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องมากนัก ซึ่งอาจมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ และ/หรือ สัญญาณรบกวนหรือสัญญาณก่อกวนในระบบขณะทำการวัดดังนั้นการทำนายและการจัดกลุ่มโดยเทคนิคที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนจึงอาจไม่มีประสิทธิภาพมากนัก ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการสำหรับใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์จากการทดลองกับวัสดุของจริงและใช้ระบบการระบุตัวตน (system identification) ในการวิเคราะห์หาสมการออกมา สำหรับการประมาณค่าเป็นวิธีการใช้ค่าทางสถิติที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างนำมาประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อเป็นการหาข้อสรุปที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมซึ่งมักแสดงในรูปของตัวเลข โดยการประมาณจะแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ การประมาณแบบจุด (Point Estimation) และการประมาณค่าแบบช่วง (Interval Estimation) โดยเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์สามารถทำได้หลากหลายวิธีและวิธีที่เลือกใช้คือวิธี AR (Auto Regressive) หรือ OE (Output Error Method) สำหรับประมาณค่าพารามิเตอร์ของวัตถุแต่ละชนิดออกมาในงานวิจัยนี้ในระบบ Mass-Spring-Damper ที่ศึกษาจะอาศัยความสัมพันธ์ของสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดแรงกด (force sensing) และสัญญาณจากเอ็นโคเดอร์ (encoder) ในการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ออกมา จากนั้นเมื่อกลุ่มของวัสดุที่ทราบชนิดจำนวนที่เพียงพอถูกทดสอบหาค่าพารามิเตอร์มาแล้วนั้น ทางทีมวิจัยได้ดำเนินการนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นไปจัดหมวดหมู่โดยใช้วิธี K-means clustering และ Kohonen network เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคทั้งสองในการจัดหมวดหมู่ของวัตถุว่าวิธีใดมีความเหมาะสมมากกว่ากัน

1.5 คำถามในงานวิจัยและสมมติฐาน

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดแรงกด (force sensing) กับตัววัดตำแหน่งเพื่อใช้กำหนดหาค่าจำเพาะคุณสมบัติของชิ้นงานสำหรับใช้ในการระบุชนิดให้มีความถูกต้อง โดยการตั้งสมมติฐานไว้ว่าค่าแรงที่อ่านได้จะมีความสัมพันธ์กับค่าตำแหน่งและหากวัสดุต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันค่าพารามิเตอร์ Mass-Spring-Damper ที่หาได้จะต่างกัน สมมติที่ใช้ในการพิจารณาลักษณะของระบบ คือ

1. ระบบที่มีวัสดุ รูปทรงที่แตกต่างกัน จะมีค่าพารามิเตอร์ทางพลศาสตร์แตกต่างกัน
2. ระบบหาพารามิเตอร์ระบบแบบมาตรฐาน สามารถใช้หาค่าพารามิเตอร์ทางพลศาสตร์จากข้อมูล แรงตำแหน่ง ได้

1.6 ขอบเขตในงานวิจัย

1.6.1 คุณสมบัติของวัสดุทดสอบ

ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองจะมีคุณลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไปและจะทำการกำหนดไว้ 2 หมวด ได้แก่

1. ขวดพลาสติก โดยแยกย่อยได้อีก 2 ชนิด คือ pet 1 และ pet 2
 2. กระจ่างอะลูมิเนียมที่มีขนาดแตกต่างกัน 2 ขนาด
- ซึ่งวัสดุที่ยกตัวอย่างในข้างต้นเป็นวัสดุที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปและวัสดุทั้ง 2 หมวดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนแต่ก็มีความคล้ายคลึงกันสำหรับวัสดุที่อยู่ในหมวดเดียวกันเอง

1.6.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

1. ตัวแปรมวล $M = \text{Mass}$
 2. ตัวแปรความหน่วง $B = \text{Damper coefficient}$
 3. ตัวแปรค่าคงที่ของสปริง $K = \text{Stiffness coefficient}$
- ซึ่งค่าตัวแปรในข้างต้นจะใช้สำหรับการระบุชนิดของชิ้นงานในงานวิจัยนี้ มีขอบเขตในการสร้างฮาร์ดแวร์จริงเพื่อทดสอบระบบและยืนยันความสามารถของผลงานวิจัยและเทคนิคที่นำเสนอ

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยประกอบไปด้วยหลักการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการระบุตำแหน่งหรือการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ซึ่งจะนำมาใช้เป็นตัวแปรเอาต์พุตของระบบการประมาณค่าพารามิเตอร์ คุณลักษณะของเซ็นเซอร์วัดแรงกด (Force sensing resistor) ที่กระทำต่อวัตถุทดสอบซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์ซึ่งจะใช้เป็นตัวแปรอินพุตของระบบการประมาณค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนต่อไป รวมถึงการใช้เทคนิค ARX ในระบบการระบุตัวตน (system identification) สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของวัตถุก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการจัดกลุ่มพารามิเตอร์เพื่อแบ่งประเภทของวัตถุด้วยวิธี K-means clustering และ Kohonen's network เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคทั้ง 2 ในการจัดหมวดหมู่ของวัตถุ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทยเริ่มมีการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ในสายงานผลิตและในส่วนต่างๆ ของโรงงานมากขึ้น โดยนำเครื่องจักรและอุปกรณ์มาใช้แทนแรงงานคนเพื่อลดระยะเวลาในการผลิตให้มีความรวดเร็วยิ่งขึ้น ส่วนมากแล้วเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ก็จะต้องมีระบบขับเคลื่อนและจะมีมอเตอร์เป็นองค์ประกอบ มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างๆ และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ในงานอุตสาหกรรม มอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) หมายถึง เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานทางกล โดยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลนั้นมีทั้งการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับมอเตอร์ในอุตสาหกรรมมีการใช้งานอยู่ด้วยกันหลายชนิดเช่น สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor) และเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

สำหรับมอเตอร์ที่อยู่ในตัวแขนกลที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะใช้มอเตอร์ประเภทเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้ทั่วไปในแขนกลอุตสาหกรรม เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีอัตราเร่งที่ดี
2. ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว
3. ย่านการควบคุมกว้าง
4. ความเร็วในการหมุนต้องคงที่

เซอร์โวมอเตอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่สร้างแรงขับให้เกิดการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ในเครื่องจักรไม่ว่าจะเป็นการทำงานในลักษณะหมุนหรือผ่านตัวแปลงเปลี่ยนให้เป็นการเอกซารนี้เป็นเอกซารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปไซประเษชนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่เชิงเส้นก็ตามเซอร์โวมอเตอร์ในปัจจุบันถูกผลิตให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา มีประสิทธิภาพสูง ง่ายต่อการประกอบเข้ากับตัวเครื่องและมีความคงทนไม่ต้องการบำรุงรักษามาก โดยเฉพาะเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless servo motors) อย่างไรก็ตามมอเตอร์กระแสตรง (DC servo motors) แบบที่ใช้แปรงถ่านก็ยังมีใช้อยู่บ้างเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเช่นมีระบบพลวัตและวงจรรีบที่ง่าย

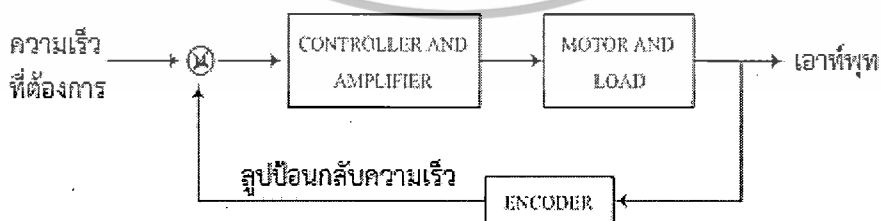
เนื่องจากการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ ดังนั้นตัวเซอร์โวมอเตอร์จะต้องมีตัวนับรอบหรือเรียกว่าเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) ติดอยู่กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ด้วย ทุกตัวเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งอันจะส่งผลไปถึงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ นอกจากนี้ตัวเซอร์โวมอเตอร์ยังสามารถแยกออกได้อีก 2 ประเภทได้แก่ DC Servo motor และ AC Servo motor นอกจากนี้การควบคุมระบบไดนามิกส์ต่างๆของมอเตอร์แบบเซอร์โวมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้อีก 4 ประเภทดังนี้

1. ควบคุมความเร็ว (speed control)
2. ควบคุมตำแหน่ง (Position control)
3. ควบคุมแรงบิด (Torque Control)
4. ควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control)

ซึ่งการทดลองนี้จะใช้ DC Servo motor ประกอบกับใช้ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อลำดับถัดไป

2.1 หลักการควบคุมความเร็ว (speed control) และควบคุมตำแหน่ง (Position control)

สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) จำเป็นจะต้องมีการควบคุมทั้งความเร็วและตำแหน่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 2.1 โดยบล็อกไดอะแกรมนี้เป็นรูปแบบสำหรับการควบคุมความเร็วของระบบกลไกแบบเซอร์โวมอเตอร์

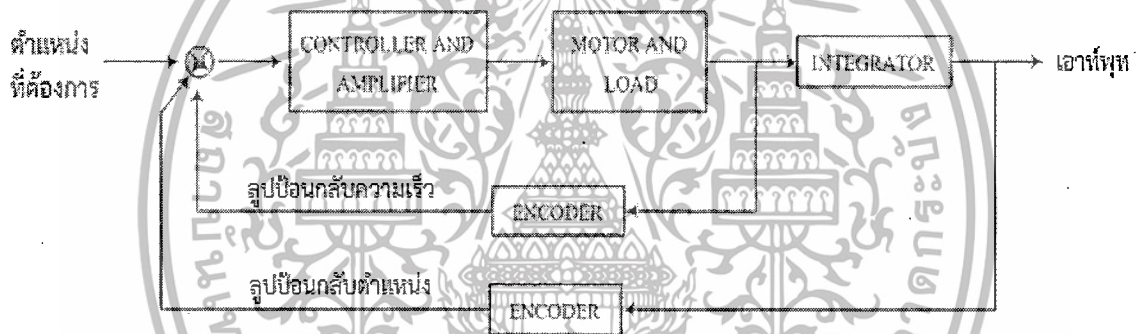


รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมความเร็วที่ประกอบด้วยลูปการควบคุมป้อนกลับเพียงลูปเดียว

สำหรับบล็อกไดอะแกรมนี้จะมีเครื่องวัดรอบในลูปแบบป้อนกลับซึ่งจะวัดความเร็วของมอเตอร์และส่งสัญญาณกลับมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (แรงดันหรือกระแส) ซึ่งแปรตามความเร็วของเพลามอเตอร์ ในที่นี้ลูปป้อนกลับจะทำให้ความเร็วเอาต์พุตของมอเตอร์มีค่าคงที่มากขึ้นระบบไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบวงรอบปิดถูกใช้รวมอยู่ในระบบเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆในอุตสาหกรรม สำหรับในส่วนของมือจับแขนกลนั้นระบบวงรอบปิดจะช่วยชดเชยความแตกต่างของแรงที่กระทำต่อโหลดให้มีความคงที่มากขึ้น

ในลูปป้อนกลับความเร็วของมอเตอร์ที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็ว เมื่อมีการเพิ่มโหลดในการใช้งานมากขึ้นจะส่งผลทำให้ความเร็วรอบมอเตอร์ลดลง สัญญาณป้อนกลับจะควบคุมมอเตอร์ให้เพิ่มความเร็วขึ้นจนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์กลับมามีค่าคงที่อีกครั้ง ในขณะเดียวกันหากนำมอเตอร์มาประกอบเข้ากับมือหุ่นยนต์เพื่อใช้งานในการหยิบสิ่งของเมื่อวัตถุที่ใช้หนีบเป็นประเภทวัสดุเนื้ออ่อนลูปป้อนกลับจะป้องกันไม่ให้มอเตอร์เร่งความเร็วเกินขนาดอย่างไรก็ตามถ้าการประยุกต์ใช้งานมีความต้องการตรวจสอบควบคุมเพิ่มเติมก็สามารถเพิ่มเข้ามาเพื่อให้มอเตอร์มีความเร็วค่อยๆเพิ่มขึ้นหรือค่อยๆลดลงจนกระทั่งหยุดได้ กราฟของความเร็วเขียนได้เป็นรูปของสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยส่วนที่ลาดขึ้นและส่วนที่ลาดลงหรืออาจเป็นรูปแทรปซอยด์ (Trapezoid) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนคือส่วนเพิ่มความเร็วขึ้น (Ramp up) ส่วนความเร็วคงที่ในช่วงเวลาหนึ่งและส่วนความเร็วลดลง



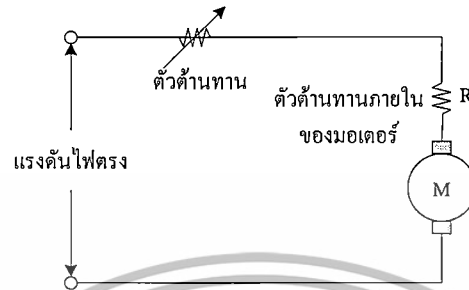
รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมตำแหน่งประกอบด้วยลูปการควบคุมตำแหน่งป้อนกลับและลูปควบคุมความเร็วป้อนกลับ

บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งนอกจากเครื่องวัดความเร็วในลูปป้อนกลับความเร็วแล้ว ระบบกลไกแบบเซอร์โวนี้จะมีลูปป้อนกลับการกำหนดตำแหน่ง ดังแสดงตามรูปที่ 2.2 โดยตัวเซ็นเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่งและความเร็วจะรู้ว่าเมื่อใดที่เพลลาของมอเตอร์เซอร์โวอยู่ในตำแหน่งมุมที่ต้องการโดยการนับสัญญาณพัลส์และเปรียบเทียบกับพัลส์กับสัญญาณอินพุทก่อนที่จะหยุดเพลลาเมื่อนับได้เท่ากัน ซึ่งก็คือบล็อกที่ชื่อตัวอินทิเกรท (Integrator) ตามรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปจะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมตำแหน่งของเพลลา และใช้ตัวเซ็นเซอร์วัดความเร็วในลูปป้อนกลับของระบบควบคุมตำแหน่งช่วยทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพขึ้น

2.1.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์(speed control)

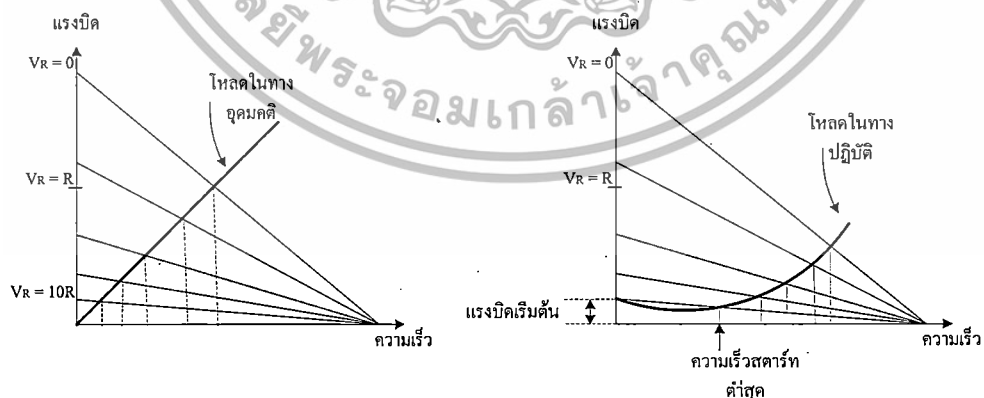
2.1.1.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่ออนุกรมเข้ากับมอเตอร์ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์เมื่อปรับความต้านทานให้มีค่าต่างๆจะทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้นซึ่งตรงกันข้ามกับเมื่อทำการปรับความต้านทานให้มีค่าสูงๆจะทำให้มอเตอร์มีความเร็วลดลงแต่การบังคับด้วยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพที่ไม่สูงมากนักเนื่องจากการสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปในตัวต้านทาน สำหรับวิธีนี้นิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งการบังคับแบบนี้จะให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) และจะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะสภาวะที่แรงต้านคงที่ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 2.4 ด้านล่าง

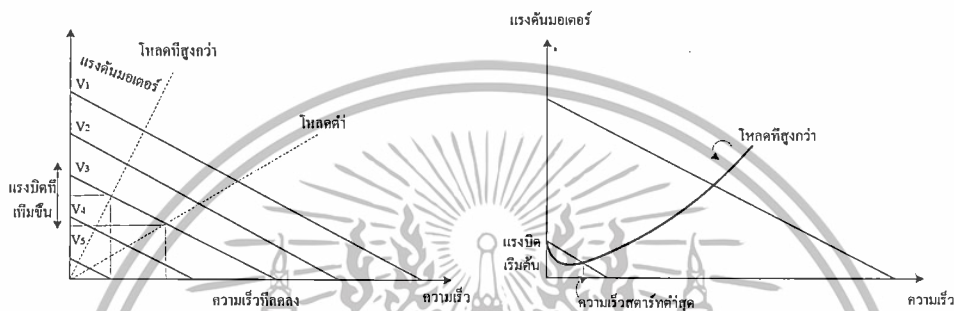


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงคุณสมบัติความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

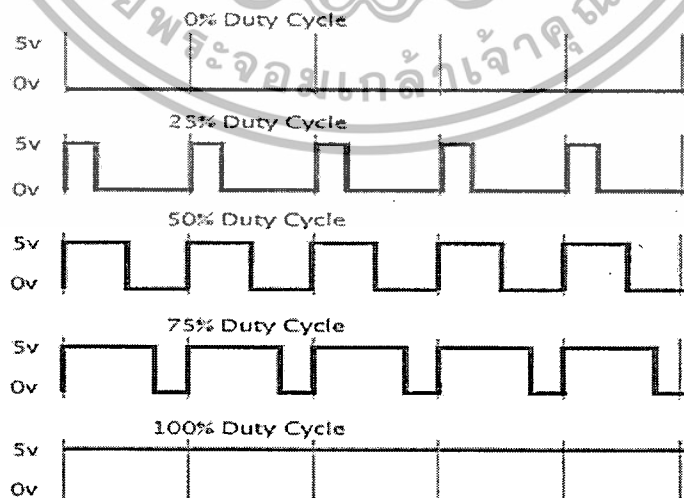
วิธีการนี้จะดีกว่าวิธีการแรกแต่จะมีความซับซ้อนมากกว่าและต้องใช้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายกำลังสูง โดยมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็วรอบมอเตอร์ให้คงที่ ส่วนข้อเสียจากการควบคุมด้วยวิธีนี้คือเมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 2.5 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

2.1.1.3 การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse width modulation (PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานของสัญญาณ PWM



รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

จากภาพแสดงสัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 5 สัญญาณ

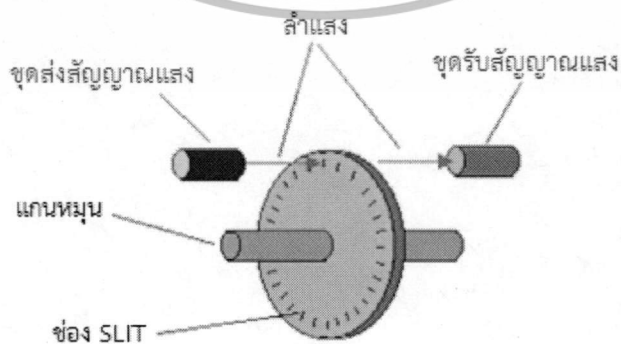
1. แสดงสัญญาณ PWM ที่ 0% duty cycle คือ สัญญาณในการ on จะเป็น 0% ของคาบสัญญาณ และ จะoff เป็น 100% ของคาบสัญญาณ
 2. แสดงสัญญาณ PWM ที่ 25% duty cycle คือ สัญญาณในการ on จะเป็น 25% ของคาบสัญญาณ และจะoff เป็น 75% ของคาบสัญญาณ
 3. แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการ on จะเป็น 50% ของคาบสัญญาณ และจะoff เป็น 50% ของคาบสัญญาณ
 4. แสดงสัญญาณ PWM ที่ 75% duty cycle คือ สัญญาณในการ on จะเป็น 75% ของคาบสัญญาณ และจะoff เป็น 25% ของคาบสัญญาณ
 5. แสดงสัญญาณ PWM ที่ 100% duty cycle คือ สัญญาณในการ on จะเป็น 100% ของคาบสัญญาณ และจะoff เป็น 0% ของคาบสัญญาณ
- เช่น ถ้า Power Supply มี 5V และ duty cycle เป็น 10% จะได้เอาต์พุต 0.5V

2.1.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์(Position control)

สำหรับการอ่านตำแหน่งของมอเตอร์เซอร์โวนั้นจำเป็นจำเป็นต้องมีตัวบอกตำแหน่งซึ่งในที่นี้คือเอ็นโค้ดเดอร์ สำหรับเอ็นโค้ดเดอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ Incremental Encoder และ Absolute Encoder

2.1.2.1 Incremental Encoder

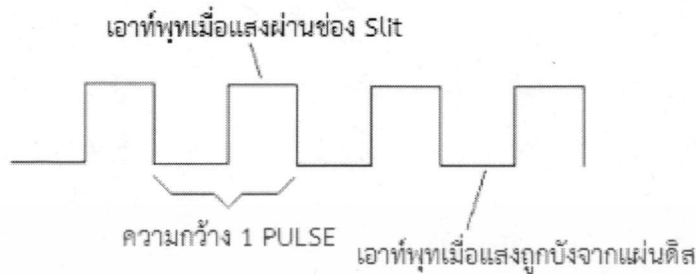
Incremental Encoder หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Rotary Encoder มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลางหรือเรียกว่าแผ่นดิสก์จะมีช่องเล็กๆที่แสงสามารถส่องผ่านได้อยู่บริเวณขอบของแผ่นเป็นจำนวนมากเรียกช่องนี้ว่าช่อง slit ซึ่งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมนี้จะมีตัวส่งแสงอินฟราเรด(infrared) ไปยังตัวรับสัญญาณแสงซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้ามหรืออีกฝั่งของแผ่นดิสก์ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงรูปแบบของ Rotary Encoder

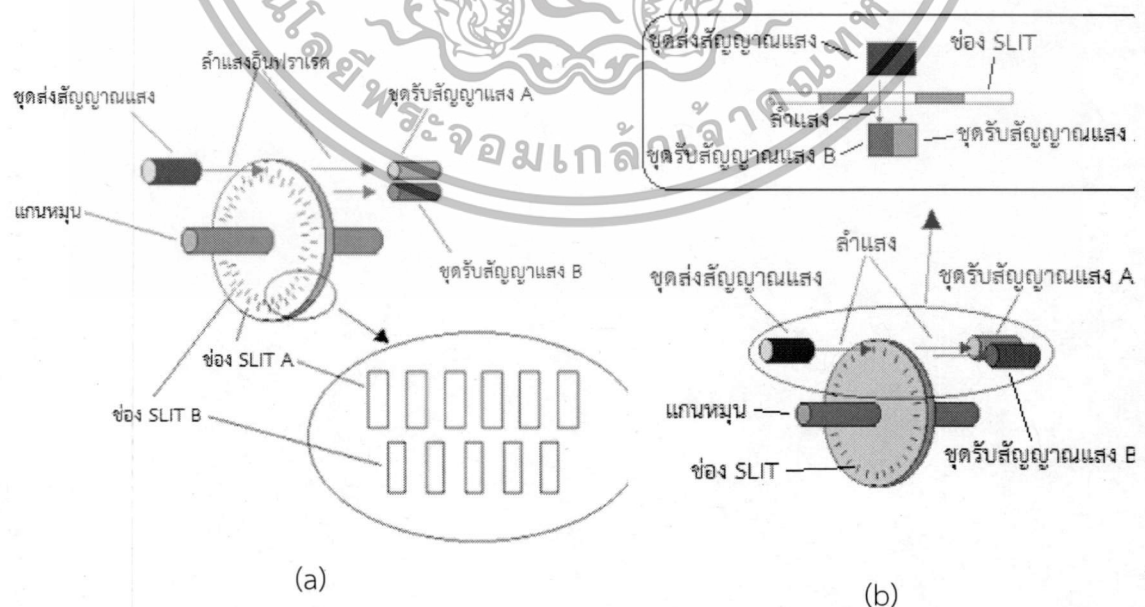
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสงอินฟราเรด ส่งผลให้ชุดรับแสงอินฟราเรด ซึ่งอยู่อีกฝั่งของแผ่นกลมจึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ ตามจังหวะที่แสงผ่านช่อง slit จึงทำให้สัญญาณเอาท์พุทของชุดรับแสงอินฟราเรดมีลักษณะเป็นพัลส์(pulse) ดังแสดงตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการสร้างพัลส์ (pulse) ของ Rotary Encoder

จำนวนพัลส์ที่ได้ออกมาจะเป็นตัวที่ชี้บ่งว่ามอเตอร์หมุนไปกี่องศาหรือกี่รอบซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรจำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนไปเท่ากับจำนวนพัลส์ค่าความละเอียดของ rotary encoder โดยที่ค่าความละเอียดของ rotary encoder นั้นนิยมใช้หน่วยเป็นพัลส์ต่อรอบหรือเรียกว่า ppr เช่น 1000 ppr ก็หมายความว่า เมื่อมอเตอร์หมุนไป 1 รอบจะมีพัลส์ออกมา 1000 pulse เป็นต้น สำหรับการระบุทิศทาง การหมุนของมอเตอร์โดยทั่วไปจะใช้วิธีการสร้างช่อง slit บนแผ่นดิสก์เป็นจำนวน 2 ชุด และแต่ละชุดจะเหลื่อมกันอยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 2.9 (a) หรืออาจจะใช้ช่อง Slit เพียง 1 ชุด แต่มีการจัดวางชุดรับสัญญาณแสงดังรูปที่ 2.9(b) แต่ข้อสำคัญคือจะต้องมีเฟสต่างกัน 90 องศา

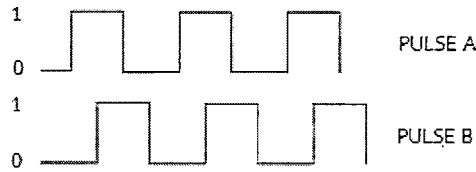


รูปที่ 2.9 (a) แสดงลักษณะช่อง SLIT สำหรับชุดรับแสง A และ B จำนวน 2 ชุด

(b) แสดงลักษณะช่อง SLIT สำหรับชุดรับแสง A และ B จำนวน 1 ชุด

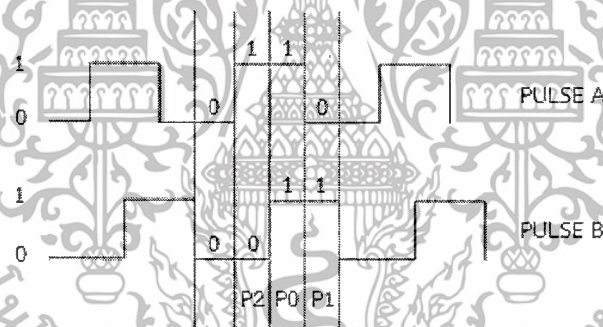
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีทีอี จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและสัญลักษณ์ของบริษัทเพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์จึงมี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณพัลส์จาก A และ B ก็จะเหลื่อมกัน 90 องศาด้วยอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2 bit คือหนึ่ง bit มาจาก A และอีกหนึ่ง bit มาจาก B ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะพัลส์ของ Rotary Encoder ทั้งสองเฟส

ถ้าให้พัลส์ในช่วง high มีค่าเป็น “1” และพัลส์ในช่วง low มีค่าเป็น “0” สามารถใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาทิศทางที่มอเตอร์หมุนได้ด้วยใช้วิธีการทางดิจิทัลคือการนำค่าที่อ่านได้มาทำการ exclusive OR (XOR) กันโดยการนำ bit ทางขวาของค่าเก่ามา XOR กับ bit ทางซ้ายของค่าใหม่ที่อ่านได้แสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงความละเอียดของพัลส์

จากรูปที่ 2.11 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในตอนแรกมอเตอร์ถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่ง P0 เพราะฉะนั้นค่าของตัวเลข binary ที่อ่านได้จากเอ็นโค้ดเดอร์จะมีค่าเป็น 11 จากนั้นเมื่อมอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง P2 จะทำให้ค่าของตัวเลข binary ที่อ่านได้จากเอ็นโค้ดเดอร์จะมีค่าเป็น 10 ดังนั้นถ้านำเอาค่าทางขวาจากค่าที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) ซึ่งก็คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งต่อมา (10) ซึ่งก็คือ 1 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0 เพราะฉะนั้นค่า 0 จึงเป็นค่าที่บอกว่ามอเตอร์หมุนไปทางขวาในทางกลับกันถ้าในตอนแรกมอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง P0 และต่อมามอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง P1 ถ้านำเอาค่าทางซ้ายจากค่าที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) ซึ่งก็คือ 1 มา XOR กับค่าทางขวาที่อ่านได้ในครั้งต่อมา (01) ซึ่งก็คือ 0 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 1 เพราะฉะนั้นค่า 1 จึงเป็นค่าที่บอกว่ามอเตอร์หมุนไปทางซ้ายและการ XOR ค่าต่างๆได้แสดงไว้ดังตารางด้านล่าง

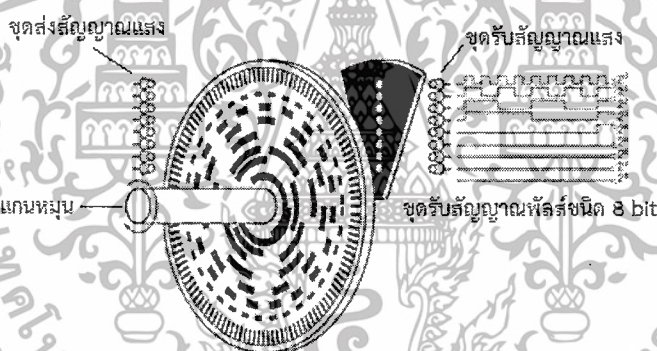
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่าง ๆ

A	B	A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2.1.2.2 Absolute Encoder

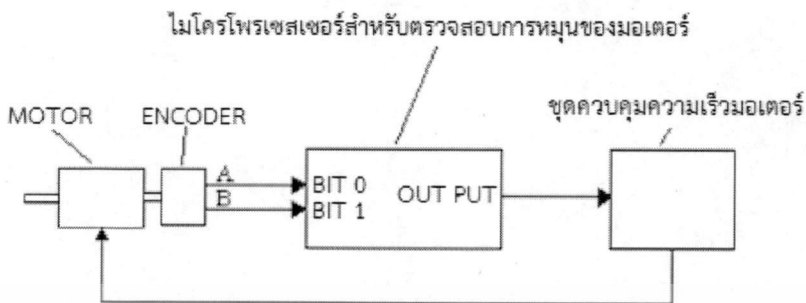
Absolute Encoder หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Potentiometer เป็นเอ็นโค้ดเดอร์อีกชนิดหนึ่งที่สำคัญหลักการของ Optical โดยทั่วไปแล้วการทำงานจะคล้ายๆกับ Rotary Encoder โดยการเคลื่อนที่ของ Potentiometer จะแปรผันตรงกับความเร็ว (Speed) หรือระยะทาง (Distance) ของการเคลื่อนที่ เอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้นิยมใช้มากในระบบคอนโทรลจะให้ความเที่ยงตรง และสามารถบอกได้ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาพแสดงรูปแบบของ Absolute Encoder

พัลส์ที่ได้จาก rotary encoder จะถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับวงจรนับพัลส์หรือวงจรคำนวณ เพื่อที่จะตรวจสอบว่ามอเตอร์หมุนไปทิศทางใดและอยู่ที่ตำแหน่งใดตามวิธีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยส่วนมากแล้วมอเตอร์ที่ใช้ rotary encoder แบบนี้จะมีจำนวนรอบของการหมุนที่ไม่จำกัด โดยจะหมุนไปกี่รอบก็ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถของวงจรนับพัลส์และวงจรคำนวณ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า เอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆคือเป็นแบบมีค่าเอาท์พุทที่ไม่จำกัด (incremental encoder) และแบบที่มีค่าเอาท์พุทที่จำกัด (absolute encoder) ในส่วนของ Incremental encoder มักจะเป็นเอ็นโค้ดเดอร์แบบ rotary encoder ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าขนาดของเอาท์พุทของเอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับารออกแบบวงจรนับและวงจรคำนวณ สำหรับ absolute encoder ที่พบเห็นส่วนใหญ่จะเป็นแบบ potentiometer แต่ในบางครั้งก็อาจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบ rotary encoder ก็ได้แต่จะมีการออกแบบลักษณะของช่อง slit ที่ต่างไปจาก rotary encoder ที่ได้ไว้ในตอนต้นโดยอาจจะมีค่าของเอาต์พุตตั้งแต่ 4 bit ถึง 16 bit



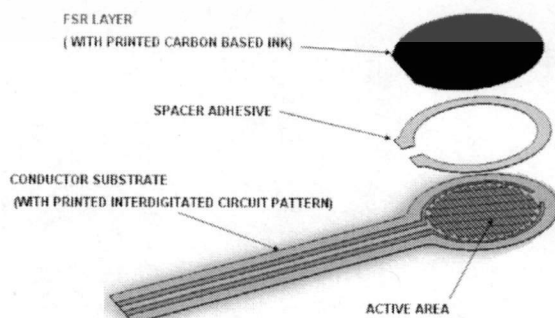
รูปที่ 2.13 แสดง Block Diagram ของ Rotary Encoder

ในแง่ของการใช้งานแล้วมอเตอร์ที่มีเอ็นโค้ดเดอร์แบบ Incremental encoder นั้นจะใช้งานยุ่งยากกว่ามอเตอร์ที่มีเอ็นโค้ดเดอร์แบบ absolute encoder เพราะเอาต์พุตของ increment encoder นั้นไม่สามารถเชื่อมต่อกับชุดควบคุมมอเตอร์ (controller) ได้ทันทีโดยต้องต่อผ่านวงจรนับพัลส์และวงจรคำนวณที่ซับซ้อนก่อนถึงจะต่อเข้ากับชุดควบคุมได้ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีไมโครโพรเซสเซอร์เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เป็นต้น จึงสามารถนำมาใช้แทนวงจรนับพัลส์และวงจรคำนวณได้จึงทำให้การใช้งานมีความง่ายขึ้น

2.2 คุณสมบัติของ force sensing resistor

Force sensitive resistor หรือเรียกว่า force sensing resistor (FSR) มีคุณสมบัติที่ความต้านทานจะแปรเปลี่ยนไปตามขนาดแรงดัน โดยเซ็นเซอร์จะมีความไวต่อแรงขึ้นอยู่กับพื้นที่บนพื้นผิวสัมผัสของเซ็นเซอร์ที่ถูกแรงกดอยู่

Force sensitive resistor มีส่วนประกอบที่ทำด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นซ้อนทับกันอยู่เป็นจำนวน 4 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.14 ซึ่งประกอบด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ออโตเมติก เทคโนโลยี จำกัด หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา
รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของ force-sensitive resistor ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

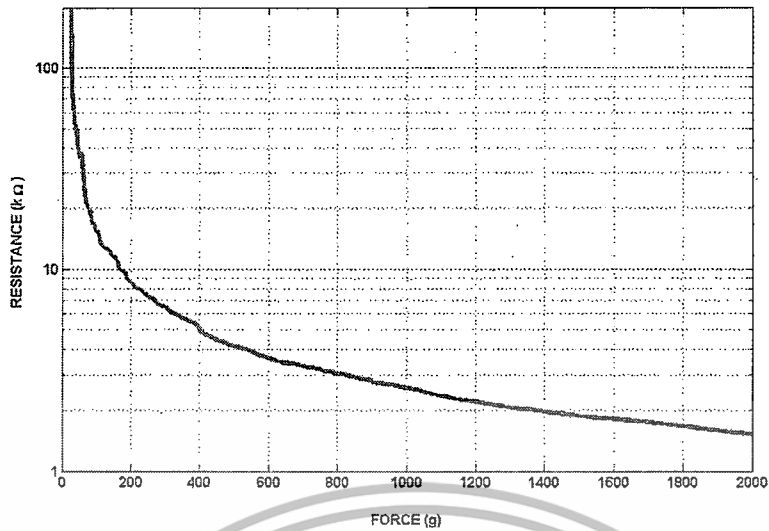
1. ชั้นของฉนวนไฟฟ้าพลาสติก
2. พื้นที่ใช้งานที่ประกอบด้วยรูปแบบของตัวนำซึ่งจะนำไปสู่การเชื่อมต่อกับส่วนทางจะถูกเรียกเก็บเงินกับแรงดันไฟฟ้า
3. ตัวทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพลาสติกซึ่งประกอบไปด้วยการเปิดช่องว่างให้สอดคล้องกับพื้นผิวที่ใช้งานเช่นเดียวกับการระบายอากาศผ่านทาง
4. พื้นผิวที่มีความยืดหยุ่นถูกเคลือบด้วยฟิล์มโพลิเมอร์หนาที่สามารถนำไฟฟ้าได้สอดคล้องกับพื้นผิวที่ใช้งาน โดยโพลิเมอร์นี้จะถูกแทนที่ด้วยชั้นหมึกของ force sensitive resistor ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 FSR ink Micrograph

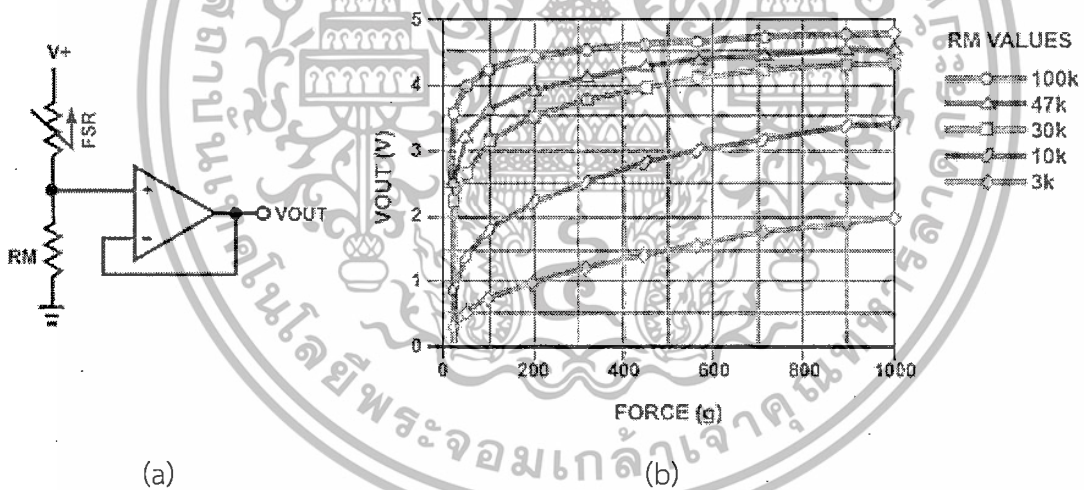
เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำต่อตัวเซ็นเซอร์จะมีผลทำให้องค์ประกอบของความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอาการจะถูกระบายผ่านช่องระบายอากาศจากกรเปิดของตัว spacer ที่อยู่ในส่วนหาง และวัสดุที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวด้านบนเคลื่อนมาติดกับส่วนของพื้นที่ใช้งานพื้นที่ในส่วนที่ถูกสัมผัสจะเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำกว่าโดยคุณสมบัติของตัว force sensitive resistor แสดงได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน(แนวแกนy) กับขนาดของแรง(แนวแกนx) ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์

โดยในการทดลองจะใช้ FSR voltage divider ในการส่งสัญญาณเอาต์พุตชนิดของแรงดัน อันเนื่องมาจากการกระทำของแรงที่เกิดแล้วมีผลให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 (a) การต่อวงจรเซ็นเซอร์โดยใช้หลักการ voltage divider

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน output และแรงที่กระทำต่อตัวเซ็นเซอร์

และผลของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ force sensing sensor (RFSR) มีผลกับแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) เป็นไปตามสมการ

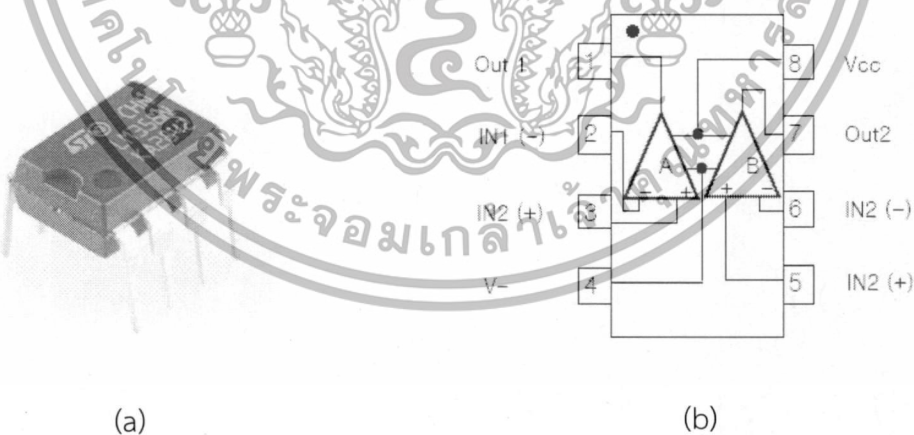
$$V_{out} = \frac{V}{1 + \frac{R_{FSR}}{R_M}} \quad (2.1)$$

โดยที่ V_{out} เป็นแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เป็นแรงดันที่จ่ายให้แก่วงจรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<i>RFSR</i>	เป็นความต้านทานของ Force sensing sensor
<i>RM</i>	เป็นตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับ Force sensing sensor

จากกราฟที่แสดงในข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อแรงดันเอาท์พุทจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงที่กระทำเพิ่มขึ้น ความต้านทานของเซ็นเซอร์ RFSR เกิดการเปลี่ยนแปลงตามแรงที่มากระทำจะส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความต้านทานระหว่าง RFSR และ RM ที่ต่ออนุกรมกันมีการเปลี่ยนแปลง และส่งผลให้แรงดันขาออกเปลี่ยนไป เนื่องจากกระแสที่ผ่านเซ็นเซอร์มีค่าลิมิตน้อยกว่า 1 mA/square cm จึงได้ทำการเพิ่มออปแอมป์ LM358 ซึ่งคุณสมบัติของออปแอมป์ (Op-Amp) หรือเรียกว่า Operating Amplifier เป็นวงจรรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรมีขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรรขยายที่ต่ออนุกรมกัน ในส่วนแรกคือวงจรรขยาย Differential ด้านทางขาเข้า และสำหรับในส่วนที่สองจะมีวงจรรขยาย Differential เป็นวงจรถ่อนระดับและวงจรรขยายกำลังด้านทางออก สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์ (Op-amp) เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีต่างๆ ไปคือไอซีออปแอมป์มีขาอินพุท 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟส สัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณทางด้านเข้าและสำหรับไฟเลี้ยงที่ใช้จ่ายเข้าตัวแบ่งแรงดันมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง 12 โวลต์



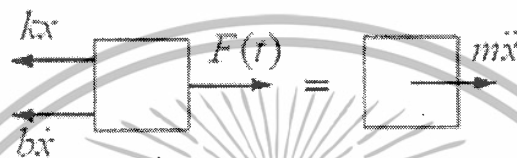
รูปที่ 2.18 (a) ออปแอมป์ LM358

(b) Pin diagramของออปแอมป์ LM358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบ Mass-Spring-Damper

ระบบ Mass-Spring-Damper เป็นระบบพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลายในการจำลองระบบทางกล เนื่องจากเป็นระบบเชิงเส้นและไม่ซับซ้อนจึงทำความเข้าใจได้ง่ายซึ่งในระบบจะมีค่าคงที่ของมวล M (kg) มีค่าคงที่ของสปริง K (N/m) ทำหน้าที่ในการคืนตำแหน่งของมวลให้กลับไปอยู่ในตำแหน่งที่สมดุลตามเดิมและองค์ประกอบของความหน่วงซึ่งจะมีทิศทางตรงข้ามกับการตอบสนองต่อการสั่นด้วยแรงที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของระบบคือค่าคงที่ของการหน่วง B (Ns/m) สมการของระบบ Mass-Spring-Damper สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของระบบ Mass-Spring-Damper

สมการของระบบ Mass-Spring-Damper สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\sum F = ma \quad (2.2)$$

$$-kx - b\dot{x} + F(t) = m\ddot{x} \quad (2.3)$$

$$F = m\ddot{x} + b\dot{x} + kx \quad (2.4)$$

เมื่อ $a [m/s^2]$ คือความเร่งของมวล และ $x [m]$ คือระยะกระจัดของมวล จากตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งอ้างอิง จากนั้นทำการ Laplace transform

$$\begin{aligned} F &= Ms^2X(s) + BsX(s) \\ &+ KX(s) \end{aligned} \quad (2.5)$$

ทำการจัดรูปแบบสมการใหม่ ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{X(s)}{F(s)} &= \frac{1}{Ms^2 + Bs + K} \end{aligned} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์

หลักการของการหาพารามิเตอร์ระบบหรือ System Identification ในการศึกษาและวิเคราะห์ระบบจริงใดๆ หากสามารถรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้น จะเป็นการง่ายในการที่จะควบคุมซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนระบบนั้น จะต้องสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิก (Dynamics) ของระบบนั้นได้ดีที่สุด โดยการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสามารถหาได้ 3 วิธี คือ

1. จากการสังเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
2. จากการวิเคราะห์ตามแบบจำลอง
3. จากการใช้ข้อมูลระบบจากการทดลองจริง

ซึ่งบางครั้งในการออกแบบระบบจะใช้วิธีการมากกว่า 1. วิธีร่วมกันเพื่อให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุดโดยรูปแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบมีรูปแบบต่างๆ ดังนี้

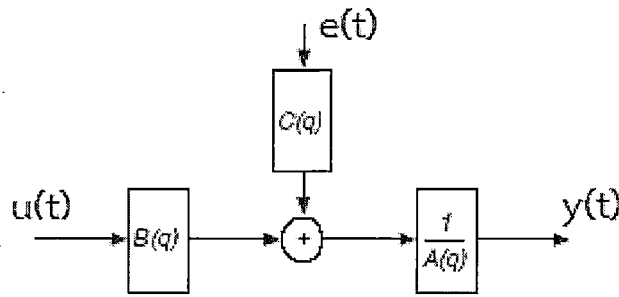
1. แบบจำลองในรูปแบบสมการอนุพันธ์สามารถนำมาใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นและแปรผันตามเวลาได้จากการวิเคราะห์จะได้ออกมาในรูปแบบของ Differential Equation ซึ่งมีข้อเสียคือจะมีรูปแบบที่มองยากหรืออาจไม่บอกข้อมูลเกี่ยวกับระบบมากนัก (ไม่สามารถบอกความเปลี่ยนแปลงของแต่ละสภาวะได้)

2. Transfer function ใช้ได้กับระบบที่เป็น Linear-Lump-Time-invariant (LTIL)
3. Block diagram
4. Signal flow graph เหมาะกับระบบที่มีความซับซ้อนสูงและมี Subsystem มากๆ
5. State equation โดยทั่วไปจะใช้กับระบบ LTIL แต่สามารถปรับใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ระบบที่แปรผันตามเวลาหรือระบบ Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) ได้นอกจากนี้

ยังสามารถปรับแก้รูปแบบแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบอื่นๆ ได้ เช่น ARX, ARMAX, OE และ BJ

การหาพารามิเตอร์ระบบหรือ System Identification เป็นอีกหลักการหนึ่งที่สามารถใช้หาค่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบได้ โดยการอาศัยประมาณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวัดและเก็บค่าข้อมูลจากอินพุตและเอาท์พุตแล้วนำไปวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้คอมพิวเตอร์เนื่องจากการหาค่าพารามิเตอร์จากการสังเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ในปัจจุบันนี้ยังไม่สามารถให้ผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องมากนักเนื่องจากความไม่แน่นอนของตัวแปรในธรรมชาติที่มีผลต่อการคำนวณอย่างมากและไม่สามารถคาดคะเนได้ถูกต้องแม่นยำมากนักจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าหาสมการสำหรับใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์จากการทดลองกับวัสดุของจริงและใช้เทคนิคการระบุตัวตน (System Identification) ของโปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์หาสมการออกมาโดยจะเลือกใช้วิธี ARX model ซึ่งสนับสนุนการประมาณค่าพารามิเตอร์ในเชิงความไม่ต่อเนื่องทางเวลา (discrete time) โดยที่ ARX model มีรูปแบบของโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ ARX model

ARX model มีสมการในรูปทั่วไปดังนี้

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad (2.7)$$

เมื่อ $y(t)$ คือการกระจัดที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปได้, $u(t)$ คือขนาดแรงที่กระทำต่อวัตถุทดสอบ, A และ B คือค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ และ $e(t)$ คือค่าความผิดพลาดเนื่องจากการรบกวนจากภายนอก เมื่อแปลงสมการที่ (2.7) ให้อยู่ในรูป discrete time transfer function จะได้

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B(s)U(s)}{A(s)} + \frac{C(s)E(s)}{A(s)} \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.8) ในการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบด้วยวิธี ARX model จะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องซึ่งต้องทำการกำหนดอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน ประกอบไปด้วย

n_a = ออเดอร์ของพหุนาม $A(q)$

n_b = ออเดอร์ของพหุนาม $B(q) + 1$

n_k = ออเดอร์แสดงค่าการหน่วงของอินพุตเอาต์พุตของพหุนาม B

เมื่อทำการปรับค่า order n_a, n_b, n_k เป็น 2, 1, 1 ตามลำดับจะทำให้ได้สมการกำลังสองออกมา หากกำหนดให้ไม่มีการรบกวนจากภายนอกหรือ $E(s) = 0$ จะส่งผลให้สมการเหลือเทอมของพารามิเตอร์ $A(s)$ และ $B(s)$ เพียงสองตัว จากนั้นทำการปรับรูปสมการใหม่โดยทำการย้ายพจน์ของ $A(s)$ และ $U(s)$ ไปหารอีกฝั่งของสมการจะทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนอยู่ในรูปแบบของสมการอนุพันธ์กำลังสอง ซึ่งจะเหมือนกับสมการที่ (2.6) ทำให้สามารถทราบค่าของพารามิเตอร์ M, B, K ในระบบ Mass-Spring-Damper ได้จากการเทียบค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 2 สมการดังสมการที่ 2.9

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + K} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การจัดกลุ่มให้กับค่าพารามิเตอร์

การวิเคราะห์กลุ่ม หรือ Cluster Analysis เป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกหรือแบ่งกรณี (หมายถึง คน สัตว์ สิ่งของหรือองค์กร ฯลฯ) หรือแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปกรณีที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ส่วนกรณีที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกลักษณะหรือตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มจึงมีความสำคัญ นอกจากนั้น กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งจะต้องอยู่ในกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียวถ้าหากนำเทคนิค Cluster Analysis มาใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปรจะให้ตัวแปรอยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

2.5.1 คุณสมบัติของเทคนิควิธี Cluster Analysis

2.5.1.1 ความต้องการทางด้านข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์จัดกลุ่มหน่วยวิเคราะห์ (cast) ผู้วิจัยอาจใช้ข้อมูลที่ระบุหน่วยวิเคราะห์และตัวแปรตามที่จัดเก็บมาได้เลยเช่นการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นส่วนการวิเคราะห์จัดกลุ่มตัวแปรผู้วิจัยไม่อาจจะใช้เพิ่มข้อมูลดังกล่าวได้โดยใช้เมตริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแทนได้

2.5.1.2 แนวคิดพื้นฐาน

สิ่งสำคัญที่สุดของการวิเคราะห์การจัดกลุ่มคือตัวแปรที่ใช้หากผู้วิจัยไม่ได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่สำคัญๆผลที่ได้ก็จะไม่ดีหรือทำให้ไขว้เขวได้ทั้งนี้เพราะตัวแปรที่เลือกไว้ตั้งแต่แรกจะเป็นสิ่งที่กำหนดคุณสมบัติของสิ่งที่ระบุความเป็นกลุ่มย่อยเช่นในการจัดกลุ่มโรงเรียนในเมืองหากผู้วิจัยไม่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนนักเรียนและครูขนาดของโรงเรียนก็ไม่อาจเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มได้

2.5.1.3 ความคล้ายกันของหน่วย

ความคิดเกี่ยวกับความคล้ายของหน่วยศึกษาเป็นเทคนิคของการวิเคราะห์ทางสถิติหลายวิธีโดยทั่วไปการวัดความคล้ายจะพิจารณาจากความห่างระหว่างวัตถุหรือพิจารณาจากความคล้ายกันซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.5.1.4 การวัดความห่าง

วิธีการวัดความห่างสามารถวัดได้หลายวิธีวิธีการหนึ่งที่นิยมวัดกันมากที่สุดคือวิธีที่เรียกว่าระยะห่างเชิงยูคลิดยกกำลังสอง (Squared Euclidean distance) คือผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของทุกตัวแปร

2.5.2 เทคนิคการจัดกลุ่มที่ใช้ในการศึกษา

2.5.2.1 การจัดกลุ่มพารามิเตอร์โดยใช้เทคนิค K-means clustering

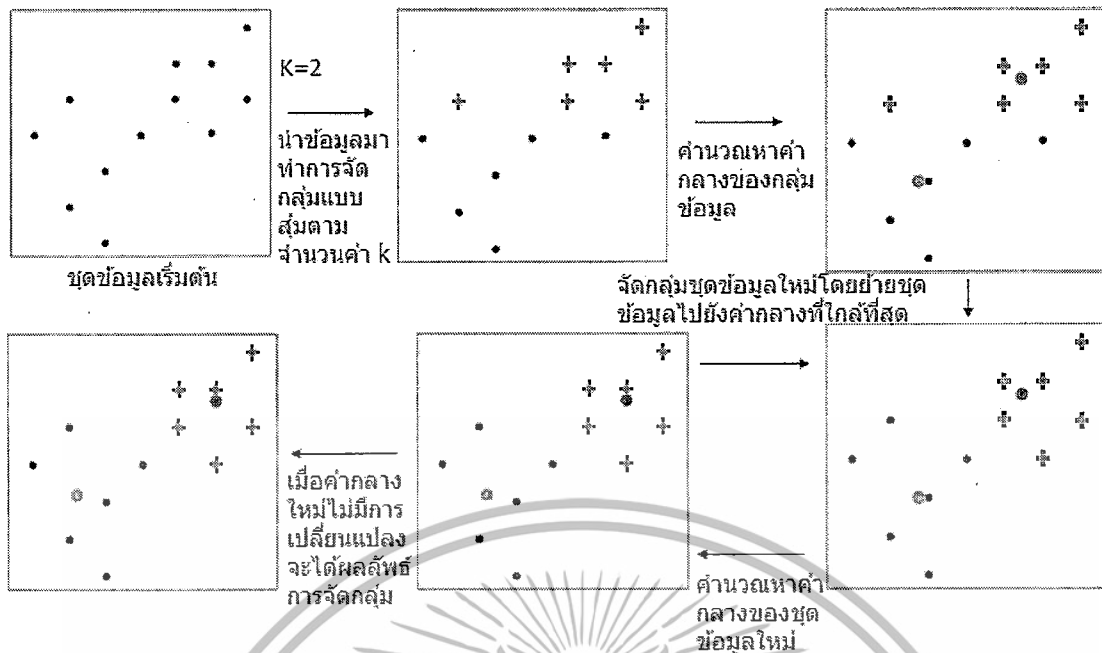
เทคนิค K-means clustering เป็นเทคนิคการจำแนก Case ออกเป็นกลุ่มย่อยและจะใช้เมื่อมีจำนวน Case ว่างมาก โดยจะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการ เช่นกำหนดให้มี K กลุ่มไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิค K-means clustering จะมีการทำงานหลายรอบ (Iteration) โดยในแต่ละรอบจะมีการรวม Cases ให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยเลือกกลุ่มที่ Case นั้นมีระยะห่างจากค่ากลางของกลุ่มน้อยที่สุดแล้วคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่และจะทำเช่นนี้จนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลงหรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม K-means clustering เป็นเทคนิคหนึ่งที่อยู่ภายใต้การแบ่งประเภท Partition Method มีการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ถูกจัดให้อยู่ในคลัสเตอร์ (Cluster) เดียวกันเป็นตัวแทนของทุกข้อมูลในคลัสเตอร์นั้น ขั้นตอนวิธีเริ่มต้นจากการรับค่าพารามิเตอร์ k ซึ่งค่านี้คือจำนวนคลัสเตอร์ที่ต้องการค้นหา จากนั้นขั้นตอนวิธีจะทำการสุ่มเลือกข้อมูลเริ่มต้นจำนวน k ชุด ซึ่งแต่ละชุดที่ได้มานั้นจะเป็นจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแต่ละคลัสเตอร์ (centroid) จากนั้นทำการจัดกลุ่มให้กับข้อมูลที่เหลือ ข้อมูลจะถูกจัดให้อยู่ในคลัสเตอร์เดียวกันเมื่อข้อมูลนั้นมีความคล้ายกับตัวแทนของคลัสเตอร์นั้นมากที่สุด จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของคลัสเตอร์ใหม่ และดำเนินการวนการเดียวกันกับข้อมูลที่เหลือต่อไปจนกระทั่งทุกข้อมูลถูกจัดกลุ่มอย่างสมบูรณ์และข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนกลุ่มอีกต่อไป การทำงานของ K-means clustering จะมีประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อข้อมูลเกาะกลุ่มกันหนาแน่นแต่ละกลุ่มแยกจากกันอย่างชัดเจน และความหนาแน่นของข้อมูลในแต่ละกลุ่มใกล้เคียงกัน

สรุปขั้นตอนการทำงานของวิธี K-means clustering

1. กำหนดหรือสุ่มค่าเริ่มต้น จำนวน k ค่า (กลุ่ม) และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้น k จุดเรียกว่า cluster centers หรือ centroid
2. นำชุดข้อมูลทั้งหมดจัดเข้ากลุ่ม โดยทำการหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลาง หากข้อมูลไหนใกล้ค่าจุดศูนย์กลางตัวไหนที่สุดก็จะอยู่กลุ่มนั้น
3. หาค่าเฉลี่ย (Mean) แต่ละกลุ่ม ให้เป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่
4. ทำซ้ำข้อ 2) จนกระทั่งค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มจะไม่เปลี่ยนแปลง

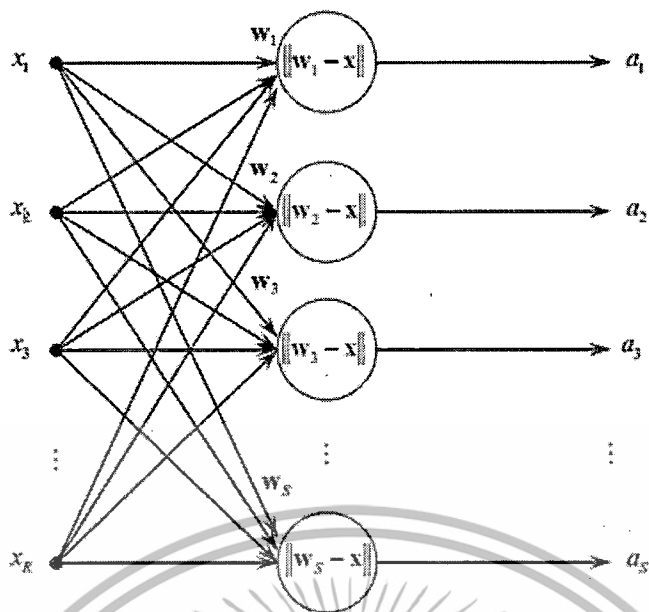


รูปที่ 2.21 กระบวนการวิเคราะห์ของวิธี K-means clustering

จุดเด่นของ K-means clustering คือง่ายและสามารถใช้ได้กับข้อมูลหลายประเภทและยังมีประสิทธิภาพในด้านความเร็ว แต่จุดด้อยของ K-means clustering ก็พบว่ายังไม่เหมาะสมกับข้อมูลทุกประเภท และไม่สามารถจัดการกลุ่มที่มีรูปร่างไม่เป็นรูปทรงกลมหรือกลุ่มที่มีขนาดหรือความหนาแน่นแตกต่างกันได้ นอกจากนี้ k-means clustering ยังถูกจำกัดสำหรับข้อมูลที่มีตัวแทนข้อมูลที่คลุมเครือหรือไม่ชัดเจน

2.5.2.2 จัดกลุ่มโดยใช้เทคนิค Kohonen's network

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้รูปแบบการเรียนรู้ด้วยตนเองจะอยู่บนพื้นฐานของการจัดกลุ่มของข้อมูลอินพุทโดยไม่มีความรู้ก่อนเกี่ยวกับกลุ่มหรือชนิดของข้อมูลโครงข่ายนั้นๆมาก่อน โดยโครงข่ายจะทำการค้นหาลักษณะเฉพาะและประวัติของข้อมูลและนำมาใช้เป็นตัวช่วยในการระบุกลุ่มและขอบเขตที่เป็นไปได้ระหว่างกลุ่มข้อมูล โดยจะทำการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเดียวกันไว้ด้วยกัน และแยกกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างกันไว้ต่างกลุ่ม ซึ่งโครงข่ายจะจำแนกกลุ่มอินพุทเป็น M กลุ่ม และเป็นจำนวนกลุ่มที่ระบุไว้ก่อนล่วงหน้า สำหรับ Kohonen's network มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.22 ด้านล่าง



รูปที่ 2.22 โครงสร้างการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen's network

ในการเรียนรู้จะพิจารณาเซตของเวกเตอร์น้ำหนัก M เป็นเวกเตอร์ตัวแปรซึ่งจะถูกปรับค่าและก่อนจะเข้าสู่ขั้นตอนการเรียนรู้ ค่าเวกเตอร์น้ำหนักซึ่งเริ่มจากการสุ่มจะต้องได้รับการแปลงให้มีขนาดเป็นหนึ่ง (Normalization) โดยบรรทัดฐานการปรับเวกเตอร์น้ำหนักสำหรับการฝึกฝนเป็นการเลือก w_j ซึ่งตัวมีชี้ j แสดงถึงประสาทเทียมที่ชนะ (winning node) โดยที่ w_j นั้นจะเป็นประสาทเทียมที่อยู่ใกล้กับอินพุตมากที่สุดและสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\|x - w_j\| = \min_i \|x - w_j\| \tag{2.10}$$

หลังจากประสาทเทียมที่ชนะถูกระบุแล้วค่าน้ำหนักจะต้องได้รับการปรับระยะใหม่ ซึ่งพจน์ $\|x - w_j\|$ จะลดรอบของการเรียนรู้ลงเรื่อยๆ ดังนั้น $\|x - w_j\|$ จะต้องลดลงในทิศทางลาดชันที่สุด

$$\begin{aligned} \frac{d}{dw} \|x - w\|^2 &= \frac{d}{dw} ((x - w)^T (x - w)) \\ &= \frac{d}{dw} (x^T x - 2w^T x + w^T w_r) \\ &= \frac{d}{dw} (\|x\|^T - 2w_r^T x + \|w_r\|^2) \\ &= \left(\frac{d}{dw} (\|x\|^T) - \frac{d}{dw} (2w^T x) + \frac{d}{dw} (\|w\|^2) \right) \\ &= \left(0 - 2 \frac{d}{dw} (w^T x) + \frac{d}{dw} (\|w\|^2) \right) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= -2 \left[\frac{\partial [w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_N x_N]}{\partial w_1} + \dots + \frac{\partial [w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_N x_N]}{\partial w_N} \right]^T \\
&\quad + \left[\frac{\partial [w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_N^2]}{\partial w_1} + \dots + \frac{\partial [w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_N^2]}{\partial w_N} \right]^T \\
&= -2[x_1 + x_2 + \dots + x_N]^T + 2[w_1 + w_2 + \dots + w_N]^T \\
&= -2(x - w)
\end{aligned}$$

สำหรับเหตุผลในการปรับเวกเตอร์น้ำหนักในทิศทางตรงข้ามกับความลาดชันโดยการเพิ่มค่าขึ้นในทิศทาง $x - w_j$ เพื่อให้ค่าระยะห่างระหว่าง x และ w_j ลดลง ดังนั้นสมการปรับค่าน้ำหนัก

$$w_j = w_j + \eta(x - w_j) \quad (2.11)$$

เมื่อ η เป็นค่าคงที่ของอัตราการเรียนรู้ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 การปรับน้ำหนักของเวกเตอร์จะปรับเฉพาะเวกเตอร์น้ำหนักที่ชนะเท่านั้นโดยที่เวกเตอร์น้ำหนักอื่นๆจะไม่ถูกปรับ

1. ขั้นตอนการเรียนรู้ของ Kohonen's network

กำหนดให้ข้อมูลชุดฝึกฝนอินพุตเป็น x_1, x_2, \dots, x_k เมื่อ $x_k = [x_{k1}, \dots, x_{kR}]^T$, $k = 1, \dots, K$ และ K เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดในชุดฝึกฝน

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดโครงสร้างโครงข่ายแบบผู้ชนะได้หมดโดยกำหนดจำนวนกลุ่มเป็น M กลุ่มเลือกอัตราการเรียนรู้ (learning rate: η) $\eta =$ ค่าเล็กๆซึ่งเข้าใกล้ศูนย์และกำหนดจำนวนรอบการเรียนรู้สูงสุด L_{max} (Maximum epoch)

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าน้ำหนัก w_i , $i = 1, 2, \dots, M$ จากค่าเล็กๆทำขนาดของเวกเตอร์น้ำหนักให้เป็นหนึ่ง

$$w_i = w_i / \|w_i\| ; i = 1, 2, \dots, M$$

กำหนดค่า $m = 1, k = 1$

ขั้นตอนที่ 3 รับข้อมูล $x = x_k$ เข้าโครงข่ายและคำนวณค่าระยะห่างระหว่างค่าน้ำหนักของประสาทเทียมแต่ละหน่วยกับอินพุต x

$$d_i = \|x - w_i\| ; i = 1, 2, \dots, M$$

ขั้นตอนที่ 4 หาประสาทเทียมที่ชนะโดยเป็นประสาทเทียมที่มีเวกเตอร์น้ำหนักอยู่ใกล้อินพุตมากที่สุด

$$[d \ j] = \arg \min_i (d_1, d_2, \dots, d_M)$$

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าเวกเตอร์น้ำหนักของประสาทเทียมที่ชนะ

$$w_j = w_j + \eta(x - w_j)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำขนาดของเวกเตอร์น้ำหนักให้เป็นหนึ่ง

$$w_j = w_j / \|w_j\|$$

ค่าเอาต์พุตของประสาทเทียมผู้ชนะเป็น 1

$$o_j = 1$$

เวกเตอร์น้ำหนักของประสาทเทียมอื่นๆให้คงค่าเดิมไว้

$$w_i = w_i ; i \neq j$$

ค่าเอาต์พุตของประสาทเทียมอื่นๆเป็น 0

$$o_i = 0 ; i \neq j$$

ขั้นตอนที่ 6 ถ้า $k < K$ ให้ $k = k + 1$ ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นตอนที่ 3 ถ้า $k \geq K$ ไป

ขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 ถ้าจำนวนรอบ $m < L_{max}$ กำหนด $k = 1, m = m + 1$ เริ่มรอบการฝึกฝนใหม่จากขั้นตอนที่ 3 ถ้าจำนวนรอบ $m < L_{max}$ จบการฝึกฝน

2. โครงข่ายประสาทเทียมแบบเรียนรู้ด้วยตัวเอง (Kohonen Self-organizing Feature Maps)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบเรียนรู้ด้วยตัวเองของโคโฮเนน (Kohonen's SOM) เป็นโครงข่ายที่มีลักษณะการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน สำหรับจุดมุ่งหมายของการเรียนรู้คือการค้นพบโครงสร้างของข้อมูลแต่อย่างไรก็ตามชนิดของโครงสร้างค่อนข้างมีความยุ่งยากซับซ้อนมากซึ่งโครงข่ายแบบเรียนรู้ด้วยตัวเองของโคโฮเนนจะรักษาระบบการสื่อสารข้อมูลหรือเรียกว่า (topology) บนประสาทเทียมในโครงข่าย ซึ่งแผนทีระบบการสื่อสารข้อมูล (topology) จะเป็นการจัดเทียบอย่างง่าย ๆ ซึ่งคงไว้ซึ่งความสัมพันธ์ของประสาทเทียมข้างเคียง

ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบเรียนรู้ด้วยตัวเองมีการจัดโครงสร้างของประสาทเทียมที่เอาต์พุตเป็นแนวเส้นตรง (Line) หรือโครงร่างภายนอกแบบพื้นที่ราบ (planar configuration) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่แต่ละประสาทเทียมจะอยู่ใกล้กันหรือไกลจากกัน ประสาทเทียมที่อยู่ใกล้กันจะปฏิบัติหน้าที่แตกต่างจากประสาทเทียมที่อยู่ไกลกัน จุดมุ่งหมายการฝึกสอนโครงข่ายเพื่อให้เอาต์พุตที่อยู่ใกล้กันสัมพันธ์กับอินพุตที่อยู่ใกล้กัน

ถ้า x_1 และ x_2 เป็นสองอินพุตเวกเตอร์ t_1 และ t_2 เป็นตำแหน่งของประสาทเทียมเอาต์พุตผู้ชนะที่สัมพันธ์กัน ดังนั้น t_1 และ t_2 จะอยู่ใกล้กันถ้า x_1 และ x_2 อยู่ใกล้กัน โครงข่ายที่ทำการจัดเทียบเช่นนี้เรียกว่าแผนที่คุณลักษณะ (Feature map)

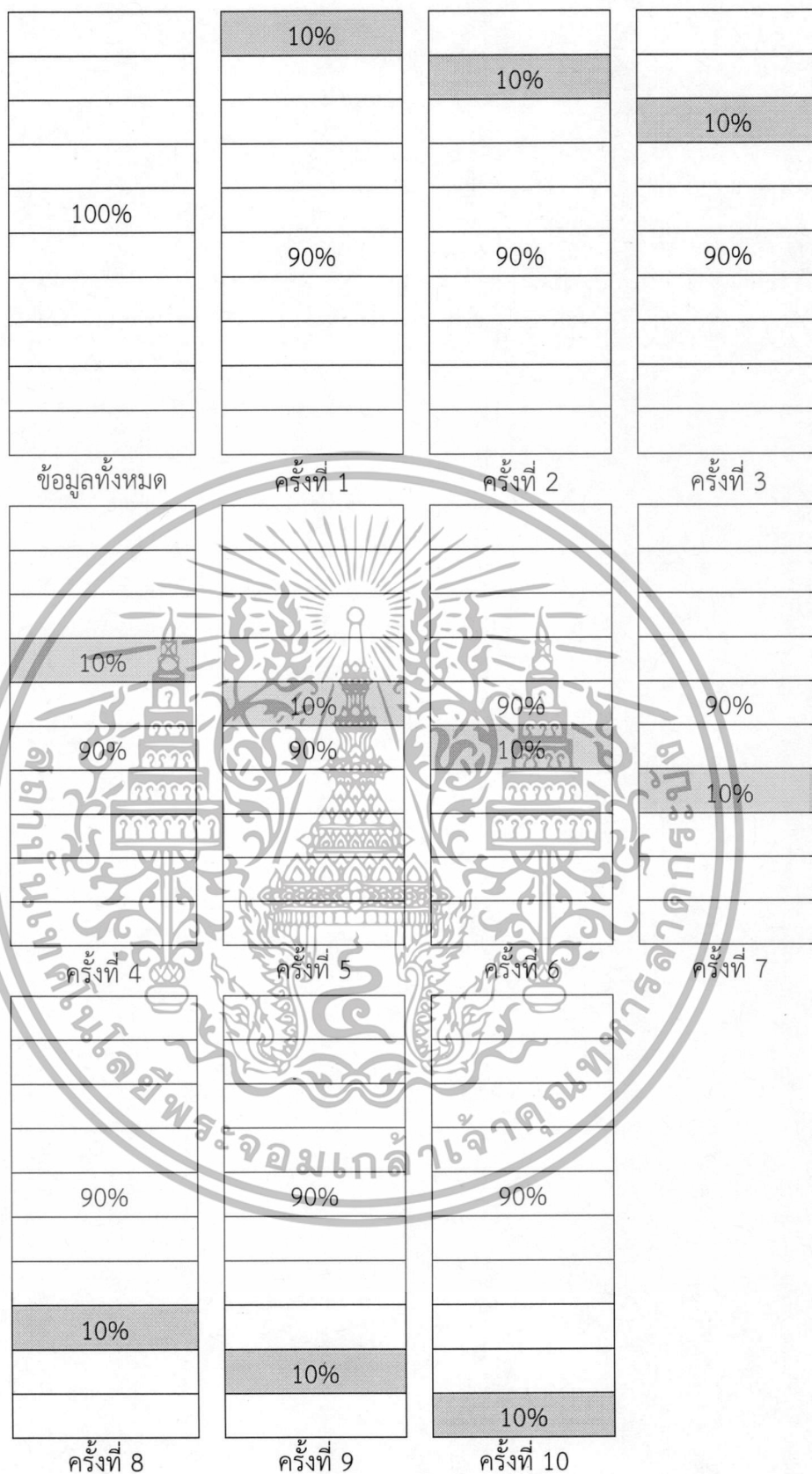
ในสมองมนุษย์โครงข่ายมีแนวโน้มที่จะอยู่เป็นกลุ่ม การเชื่อมต่อของใยประสาทภายในกลุ่มจะแน่นหนาว่าการเชื่อมโยงกับใยประสาทภายนอกกลุ่ม โครงข่ายประสาทเทียมแบบโคโฮเนน

พยายามจะจำลองการทำงานในลักษณะเดียวกัน โดยใช้อัลกอริธึมการเรียนรู้แบบแข่งขัน (Competitive learning algorithm) ซึ่งจะทำการสุ่มค่าอินพุตเวกเตอร์ x จากนั้นคำนวณหาประสาทเทียมผู้ชนะ ซึ่ง w_i เป็นเวกเตอร์ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อกับอินพุตไปยังประสาทเอาต์พุต i

2.5.2.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Cross-validation)

ในการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำ Cross-validation หรือบางครั้งเรียกว่า rotation estimation จะเป็นการแบ่งกลุ่มให้กับชุดข้อมูลตัวอย่างออกเป็นกลุ่มย่อยๆ จากนั้นเริ่มต้นการทำงานจากกลุ่มย่อยเดียว ขณะที่กลุ่มย่อยอื่นๆ จะถูกเก็บไว้สำหรับใช้ในลำดับต่อไป โดยการสลับการวิเคราะห์กลุ่มข้อมูลจนครบทุกกลุ่มข้อมูลย่อยที่แบ่งไว้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์สำหรับกลุ่มย่อยเดียวจะเรียกว่ากลุ่มทดสอบ ส่วนกลุ่มย่อยอื่นๆ เรียกว่ากลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง

สำหรับการทดลองในครั้งนี้จะใช้วิธี K-fold cross validation ดำเนินการโดยมีหลักการทำงานคือการแบ่งตัวอย่างของข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย K กลุ่มเท่าๆ กันยกตัวอย่างการทำ cross validation หากกำหนดค่า K เท่ากับ 10 กลุ่ม จากนั้นดึงค่า K ออกมา 1 กลุ่มและกำหนดให้เป็นกลุ่มทดสอบ (test) ซึ่งคิดเป็น 10% ของชุดข้อมูลทั้งหมดและกลุ่มย่อย K อีก 9 กลุ่มที่เหลือจะใช้เป็นกลุ่มตรวจสอบ (training) ซึ่งคิดเป็น 90% ของชุดข้อมูลทั้งหมดและสามารถอธิบายขั้นตอนกระบวนการทำงานได้ตามรูปที่ 2.23 ด้านล่าง



รูปที่ 2.23 แสดงการทำ Cross-validation โดยแบ่งเป็น test10% ต่อ train 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

ในการทดลองต่อไปนี้เป็นกรจำลองการกดของนิ้วมือแขนกลที่กระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากกับวัตถุเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมที่จะใช้นิ้วมือแขนกลหนีบเข้าหาวัตถุจากในทิศตรงกันข้ามกันเพื่อบีบให้วัตถุหยุดนิ่งอยู่กับที่จากนั้นวัตถุจะเกิดการยุบตัวเล็กน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของวัตถุนั้นๆซึ่งจะมีความแตกต่างกันออกไป

3.1 แผนการดำเนินโครงการ

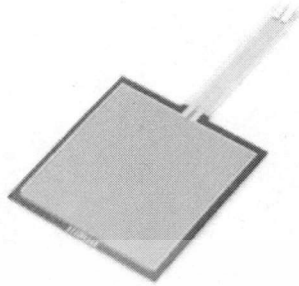
ตารางที่ 3.1 วิธีการดำเนินการ

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1			ภาคเรียนที่ 2				
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.ปรึกษาอาจารย์เพื่อดำเนินโครงการและวางแผนการดำเนินงาน								
2.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงการ								
3.ออกแบบการทดลอง								
4.จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง								
5.ทำการลองและบันทึกผลการทดลองก่อนเข้าสู่กระบวนการประมวลผล								
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง								
7.สรุปผลโครงการ และเขียนรายงาน								
8.นำเสนอผลงาน								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เซ็นเซอร์วัดแรงกดชนิดความต้านทาน (force sensing resistance) ใช้ทำหน้าที่ตรวจจับแรง



รูปที่ 3.1 ภาพเซ็นเซอร์วัดแรงกดชนิดความต้านทาน

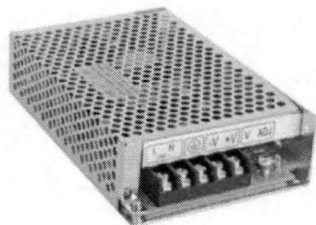
2. แขนกล SCARA ROBOTEC series ของบริษัท EPSON ทำหน้าที่ขับเคลื่อนและติดตั้งระบบมือจับ



รูปที่ 3.2 (a) ภาพแสดงตัวแขนกลที่ใช้ในการทดลอง
(b) ภาพแสดงตัวควบคุมแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์จ่ายไฟ 12 V (Switching Power Supply)ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุม และวงจรตรวจจับที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.3 ภาพอุปกรณ์จ่ายไฟ 12 V

4. วงจรถ่ายแอมป์ (Op-Amp) (LM358)ทำหน้าที่ขยายแรงดันจากตัวตรวจจับ

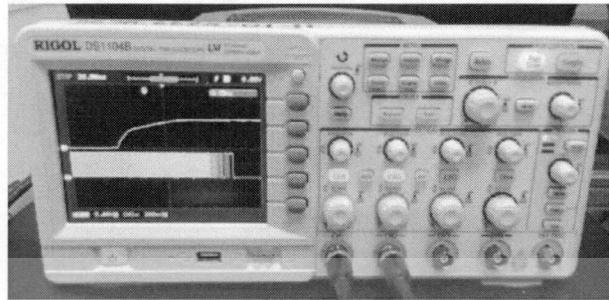
รูปที่ 3.4 ภาพออปแอมป์ LM358

5. ตัวต้านทานขนาด 10K 1/4WATT

รูปที่ 3.5 ภาพตัวต้านทานขนาด 10K 1/4WATT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Oscilloscope DS1104B 4channel 100MHz 2GSa/sสำหรับบันทึกข้อมูลของอินพุท และเอาต์พุทของระบบ



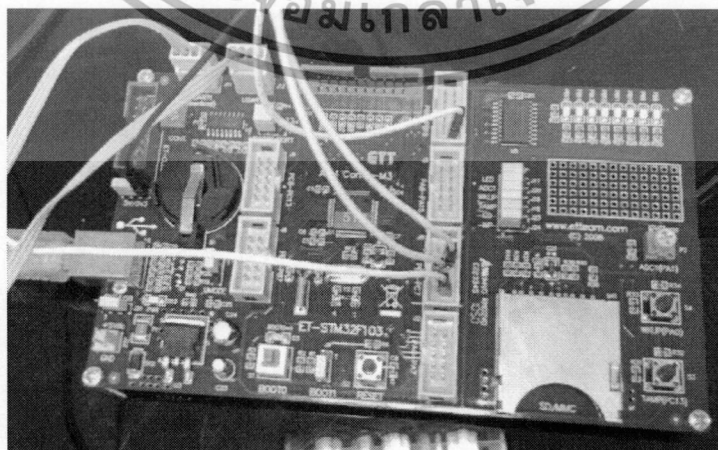
รูปที่ 3.6 ภาพออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการทดลอง

7. สายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.7 ภาพสายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป

8. ไมโครคอนโทรลเลอร์

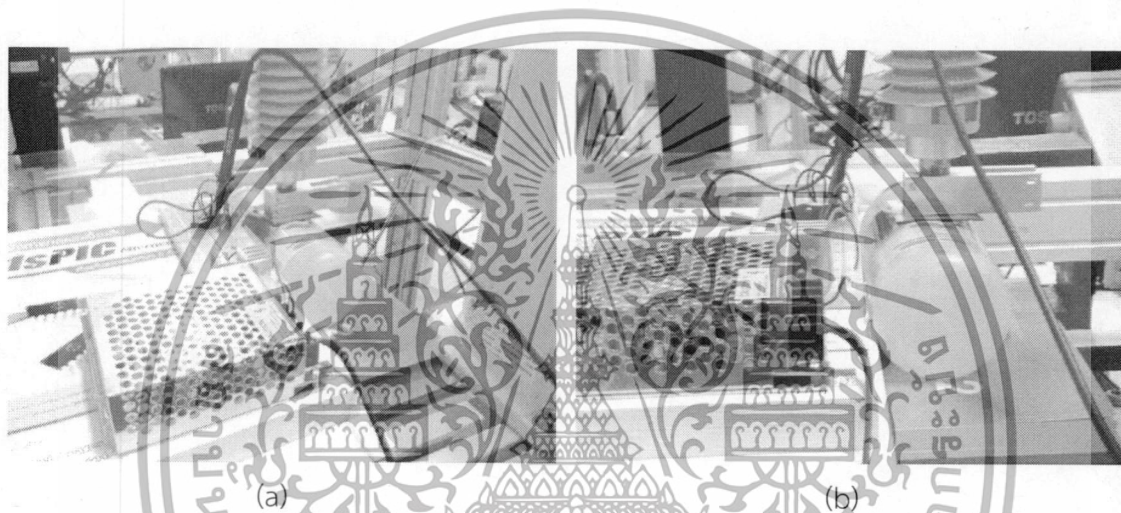


รูปที่ 3.8 ภาพแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

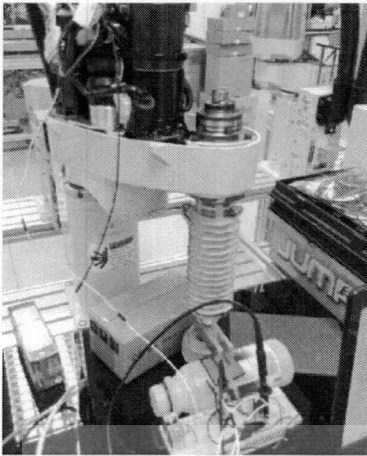
อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองคือแขนกล SCARA ROBOTEC series ของบริษัท EPSON ทำหน้าที่เป็นตัวส่งแรงกดลงบนวัตถุทดสอบผ่านทางแกน Z และใช้โปรแกรม SPEL เป็นตัวควบคุม แขนกลผ่านคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการติดตั้งตัวเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยเซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นชนิดที่ความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามแรงที่กดซึ่งจะส่งผลต่อระดับแรงดันโวลต์เตจขาออกของตัวเซ็นเซอร์หรือเรียกว่า force sensing resistor ไว้บริเวณส่วนปลายของแขนกลที่เป็นส่วนสัมผัสกับวัตถุ เมื่อนำไปติดตั้งไว้ในบริเวณทดสอบจริงร่วมกับวงจรป้อนกำลัง (power supply) และมีการดึงสัญญาณจากแผงวงจรให้ไปแสดงผลที่ออสซิลโลสโคป แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



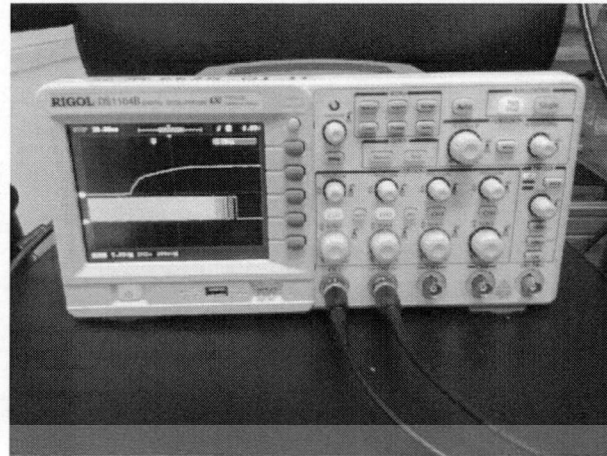
รูปที่ 3.9 (a) ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองกับแขนกล

(b) ภาพแสดงการกดวัตถุทดสอบผ่านตัวเซ็นเซอร์วัดแรงกด

ในส่วนที่สองเป็นการดึงสัญญาณจากมอเตอร์ที่อยู่ภายในตัวของแขนกลออกมาเพื่อเป็นตัวบ่งบอกลักษณะการหมุนของเอ็นโค้ดเดอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามการออกแรงกดวัตถุ จากนั้นต่อสายสัญญาณจากทั้ง 2 วงจร เข้าสู่เครื่องออสซิลโลสโคปเพื่อแสดงลักษณะสัญญาณให้ออกมาเป็นภาพ และต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการส่งสัญญาณทั้งสองเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ผลในขั้นตอนต่อไป



(a)



(b)

รูปที่ 3.10 (a) ภาพแสดงการติดตั้งสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ที่อยู่ในแขนกล
(b) ภาพแสดงออสซิลโลสโคปที่ใช้แสดงผลสำหรับสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ และ
สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดแรง

3.4 ขั้นตอนและกระบวนการทดลอง

ในขั้นแรกทำการเตรียมวัสดุสำหรับทดสอบทั้ง 4 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุที่ทำมาจากวัสดุประเภทเดียวกัน 2 ชนิดแต่มีขนาดและรูปทรงที่แตกต่างกันดังภาพด้านล่าง



(a)

(b)

(c)

(d)

รูปที่ 3.11 ภาพแสดงวัตถุทดสอบทั้ง 4 ชนิด

เริ่มต้นการทดลองโดยสั่งงานให้แขนกลทดลองบนวัตถุทดสอบทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 10 ครั้ง จากนั้นทำการบันทึกผลที่ได้โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่

1. สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดแรงกดชนิดความต้านทาน (Force sensing resistance) ที่ตรวจจับการกดทับระหว่างแขนกลกับวัตถุทดสอบ

2. สัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ที่ทำงานในแนวแกน Z ภายในตัวแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

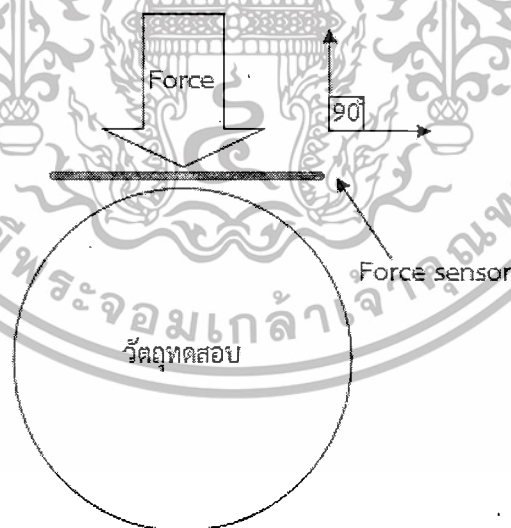
เมื่อได้ข้อมูลที่แสดงค่าระดับของแรงดันทั้งจากแรงกดของแขนกลและเอ็นโค้ดเดอร์แล้วยังไม่สามารถนำข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาหาความสัมพันธ์ได้ในทันที ในการดำเนินการจำเป็นจะต้องทำการแปลงสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณพัลส์ให้อยู่ในรูปแบบของการกระจัด $x(t)$ โดยมีขั้นตอนการแปลงดังต่อไปนี้

3.4.1 การแสดงรูปแบบการออกแรงกดวัตถุทดสอบด้วยแขนกล

เนื่องจากวัตถุทดสอบทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะของทรงกระบอกทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบและตำแหน่งการกดวัตถุให้เหมือนเดิมในทุกๆ ครั้งของการทดลอง เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีความสอดคล้องกับวัตถุแต่ละชนิดมากที่สุด ซึ่งอ้างอิงมาจากแขนกลในอุตสาหกรรมเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านสายพานเข้ามายังตำแหน่งที่แขนกลอยู่จากนั้นรูปแบบการเคลื่อนที่ของแขนกลเข้าไปหาวัตถุและหยิบวัตถุออกจากสายพานจะถูกกำหนดทั้งรูปแบบและตำแหน่งไว้ก่อนแล้วจากหน่วยควบคุมส่วนกลาง ส่งผลให้แขนกลจึงมีลักษณะรูปการทำงานเหมือนเดิมเสมอ

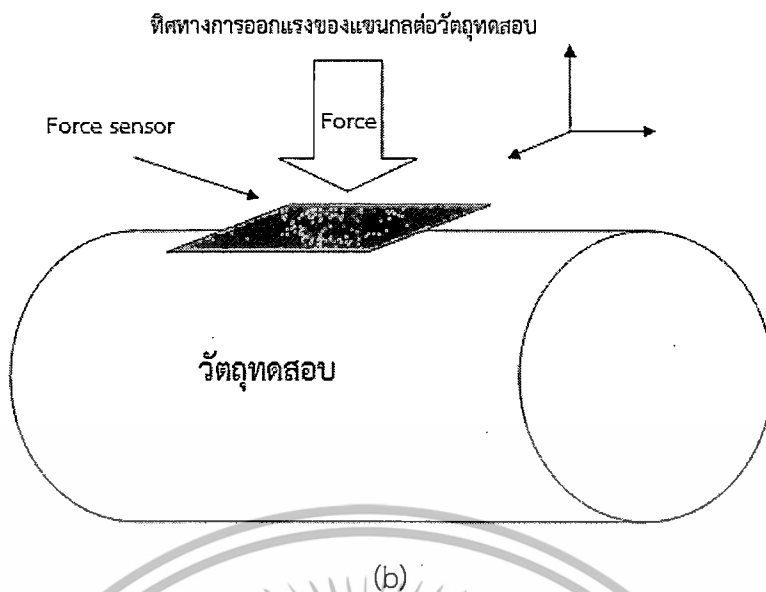
ในการทดลองจะทำการสั่งงานมอเตอร์ภายในแขนกลที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ให้เคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าทิศทางการออกแรงของแขนกลต่อวัตถุจะอยู่ในแนวแกน Z และจะตั้งฉาก 90 องศา กับเซ็นเซอร์วัดแรงที่ติดตั้งไว้ระหว่างแขนกลและวัตถุ โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้จากรูปที่ 3.12 ด้านล่าง

ทิศทางการออกแรงของแขนกลต่อวัตถุทดสอบ



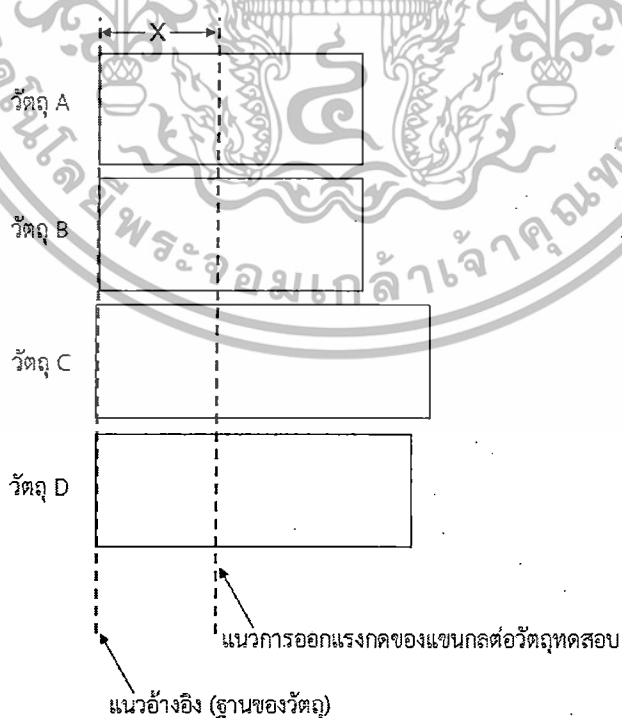
(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 (a) ภาพแสดงรูปด้าน 2 มิติสำหรับการออกแรงของแขนกลต่อวัตถุทดสอบ
 (b) ภาพแสดงรูปด้าน 3 มิติสำหรับการออกแรงของแขนกลต่อวัตถุทดสอบ

จากนั้นกำหนดระยะที่เกิดโดยอ้างอิงจากกันขวดหรือกันกระบังขึ้นมาจนถึงตำแหน่งการกด ให้มีระยะที่เท่ากันทั้ง 4 ชนิดดังแสดงได้ตามรูปที่ 3.13 ซึ่งค่า X คือระยะระหว่างแนวอ้างอิง (ฐานของวัตถุ) ถึงแนวการออกแรงกดของแขนกลต่อวัตถุทดสอบซึ่งกำหนดให้มีค่าคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.13 ภาพแสดงการออกแรงของแขนกลต่อวัตถุทดสอบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การแปลงสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์ให้อยู่ในรูปแบบของการกระจัด

กำหนดตัวอย่างสัญญาณพัลส์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และกำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

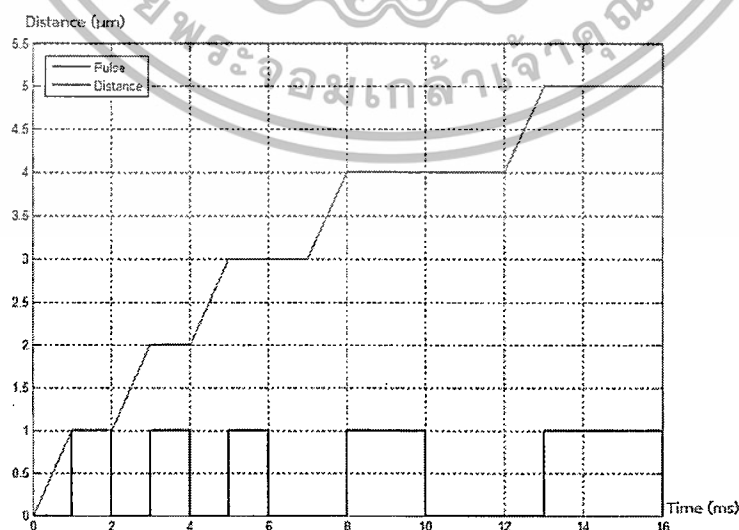
คอลัมน์ A แสดงระดับแรงดันของเอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณพัลส์ (Pulse)

คอลัมน์ระยะขจัดแสดงค่าที่แปลงจากสัญญาณพัลส์ให้อยู่ในรูปแบบการกระจัด ($x(t)$)

ตารางที่ 3.2 แสดงการแปลงสัญญาณพัลส์ให้อยู่ในรูปแบบการกระจัดในรูปแบบของตาราง

เวลา (ms)	A (volt)	ระยะขจัด (μm)
0	0	0
1	1	1
2	0	1
3	1	2
4	0	2
5	1	3
6	0	3

จากข้อมูลในตารางสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า เมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ในคอลัมน์ A นั้นหมายความว่าระยะขจัดจะเพิ่มขึ้น $1 \mu\text{m}$ โดยใช้เวลา 1 ms จากนั้นที่ขอบขาขึ้นถัดไปจะได้ระยะขจัดเท่ากับ $2 \mu\text{m}$ และใช้เวลา 3 ms ซึ่งค่าความละเอียดของสัญญาณพัลส์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้งาน และเมื่อนำข้อมูลในช่วงต้นมาทำการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์และสัญญาณที่ทำการแปลงแล้วเพื่อสังเกตความแตกต่างดังแสดงดังภาพที่ 3.14



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะการกระจัด โดยชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

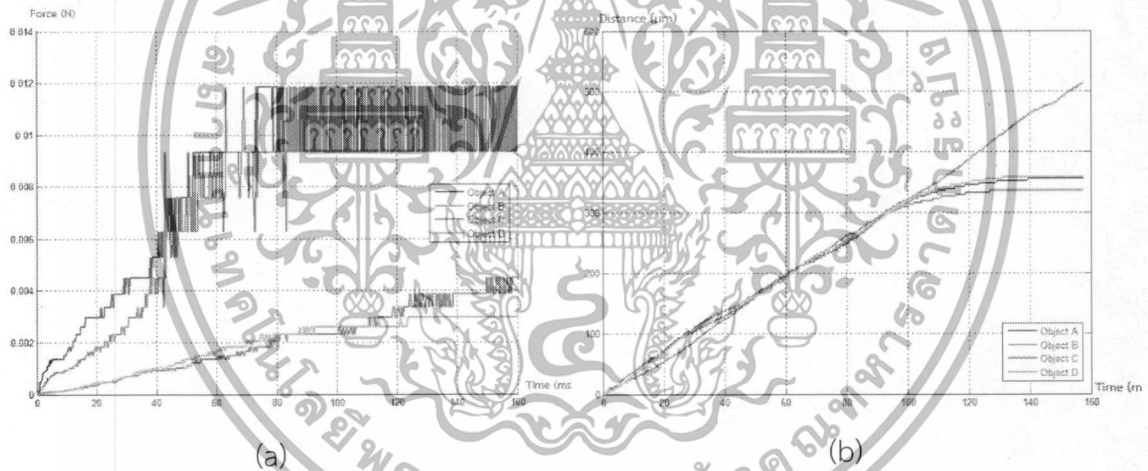
3.4.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี ARX

เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธี ARX หรือ AR ในระบบระบุตัวตน (system identification) สามารถอธิบายกระบวนการทำงานได้ดังนี้

1. กำหนดค่าอินพุตและเอาต์พุตให้กับระบบซึ่งจะทำการสร้างตารางไว้สำหรับใส่ข้อมูลใน workspace และจำนวนข้อมูลในตารางทั้ง 2 จะต้องเท่ากันจึงจะสามารถหาความสัมพันธ์ออกมาได้เนื่องจากค่าที่ได้รับจากการจับสัญญาณด้วยเซ็นเซอร์วัดแรงกดจะให้ผลลัพธ์เป็นระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจึงต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปของแรงในหน่วยนิวตัน ซึ่งสมการการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัตินี้เป็นลักษณะจำเพาะของตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีสมการดังนี้

$$F(N) = \frac{1}{73} \times \left(\frac{120}{V_{out}} - 10 \right)^{-1.4} \quad (3.1)$$

เมื่อ V_{out} คือ ค่าแรงดันเอาต์พุตของสัญญาณ
 $F(N)$ คือ แรงในหน่วย SI

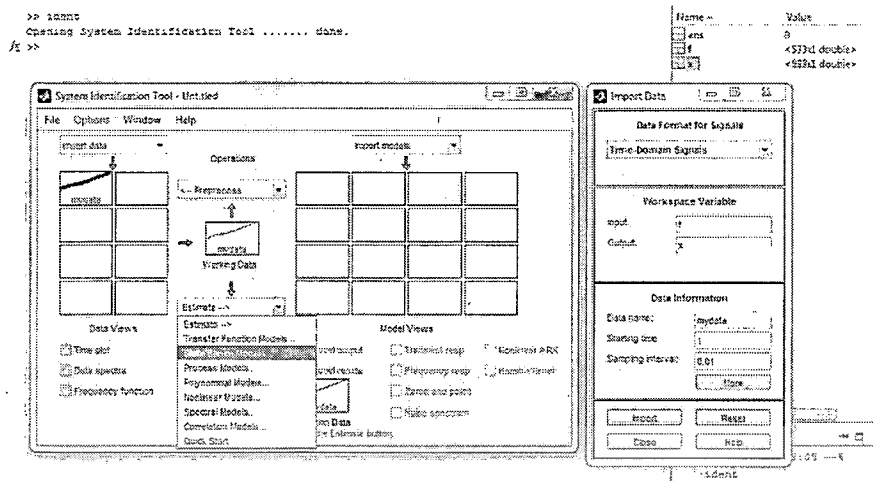


รูปที่ 3.15 (a) กราฟแสดงสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดแรงกดในวัสดุที่แตกต่างกัน

(b) กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ในแกน Z ของแขนกลในวัสดุที่แตกต่างกัน

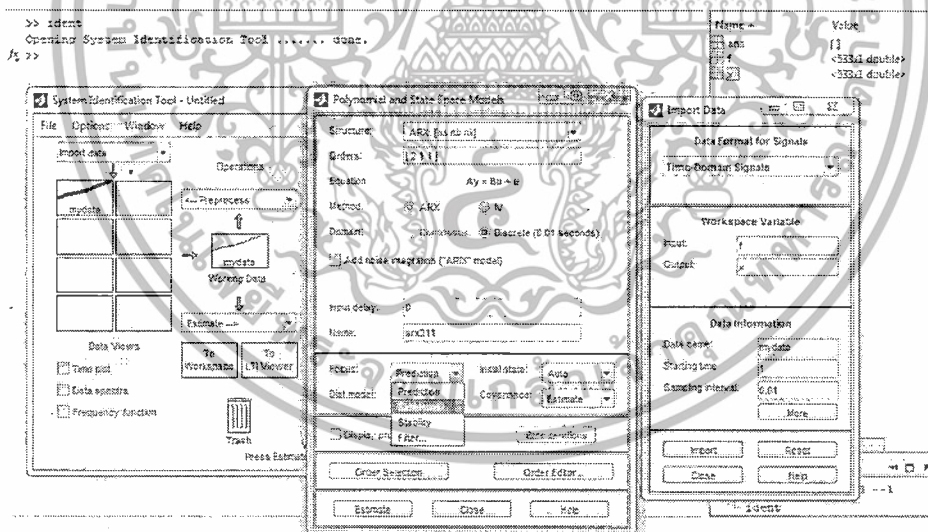
2. กำหนดค่า Sampling interval หากทำการกำหนดให้เท่ากับ 0.5 วินาที หมายความว่า จะมีการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 0.5 วินาที แต่ถ้าหากกำหนดให้ค่า sampling interval เท่ากับ 0.1 วินาที หมายความว่า จะมีการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 0.1 วินาที ซึ่งกระบวนการในข้างต้นสามารถแสดงได้จากภาพที่ 3.16 โดยจะกำหนดตัวแปรอินพุตคือแรง/ตัวแปรเอาต์พุตคือระยะทาง x และค่า sampling interval เท่ากับ 0.01 เมื่อทำการกดปุ่มข้อมูลเข้าแล้วในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเลือกวิธีเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 โดยให้เลือกไปที่ estimate และเลือกไปที่ state space model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กำหนดค่า import data

ในหน้าต่าง State space models เลือก structure ไปที่ ARX ตั้งค่า orders เป็น [2 1 1] เนื่องจากทราบลักษณะแบบจำลองแล้วว่าเป็นแบบสองโพล ไม่มีซีโรและมีการหน่วงเป็นหนึ่งการสุ่ม และตั้งค่า จากนั้นทำการกด estimate เพื่อทำการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.17

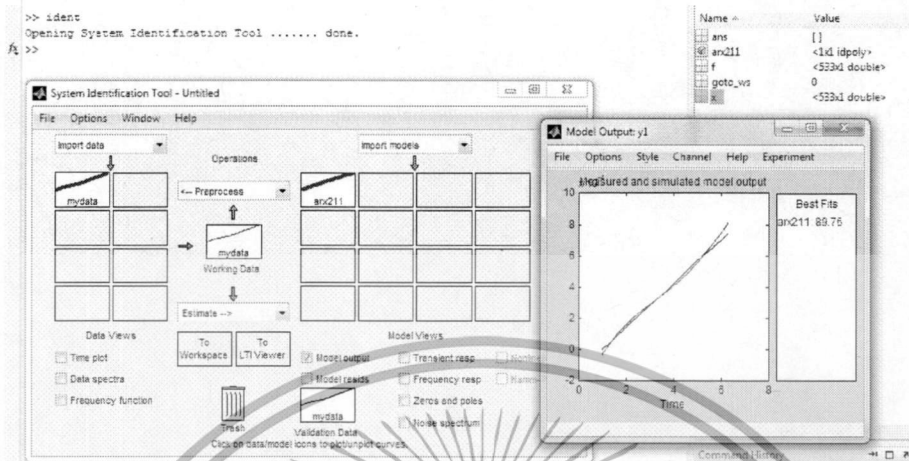


รูปที่ 3.17 ตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธี ARX model

เมื่อได้แบบจำลองมาแล้ว สามารถดูรายละเอียดของตัวแบบจำลองได้จาก Model Views ซึ่งจะเน้นการตรวจสอบไปที่ Model output ซึ่งจะทำให้ทราบค่า best fits ของการประมาณในครั้งนี้อย่างมีความถูกต้องแค่ไหน เมื่อค่า best fits นี้มีค่าใกล้เคียง 100% มากเท่าไรหมายความว่า

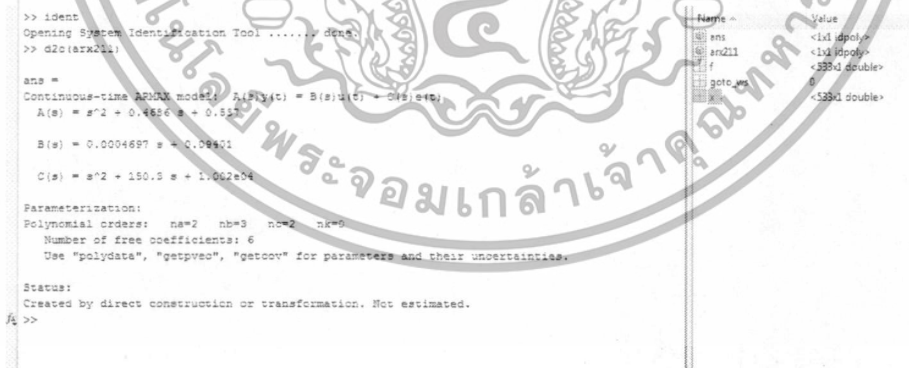
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองในครั้งนี้อาจมีความถูกต้องมากขึ้น จากนั้นดึงแบบจำลองให้ไปแสดงใน workspace จะแสดงชื่อตามวิธีและตัวเลข order ที่ใช้เช่นจากในตัวอย่างจะแสดงเป็น ARX211 ดังแสดงตามรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 รายละเอียดค่า best fits ของแบบจำลอง

แบบจำลองที่แสดงอยู่ใน workspace จะมีสมการอยู่ในรูป discrete time จึงจำเป็นต้องแปลงให้อยู่ในรูป continuous time โดยใช้ชุดคำสั่ง d2c(arx211) แปลงสมการของแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 3.19 ซึ่งคำสั่งดังกล่าวจะเป็นการสร้างแบบจำลองแบบ ZOH (Zero Order Hold)



รูปที่ 3.19 การแปลงสมการของแบบจำลองจากรูป discrete time ให้อยู่ในรูป continuous time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้สมการออกมาแล้วจะต้องแปลงรูปแบบของสมการอีกครั้งให้เหมือนกับสมการของระบบ Mass-Spring-Damper โดยมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงดังนี้

รูปแบบสมการของวิธี ARX model

$$A(s)Y(s) = B(s)U(s) + C(s)E(s) \quad (3.2)$$

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 3.19

$$A(s) = s^2 + 0.4686s + 0.537$$

$$B(s) = 0.0004697s + 0.09401$$

$$C(s) = s^2 + 150.3s + 1.002 \times 10^4$$

จากการวิเคราะห์ในสมการที่ (3.2) เมื่อกำหนดให้ไม่มีการรบกวนจากภายนอกจะส่งผลให้ค่า $E(s)$ เป็น 0 และทำให้พจน์ $C(s)E(s)$ มีค่าเท่ากับ 0 ตามไปด้วย ทำให้สมการที่ (3.2) เหลือเพียง

$$\begin{aligned} A(s)Y(s) \\ = B(s)U(s) \end{aligned} \quad (3.3)$$

จัดรูปสมการใหม่

$$\begin{aligned} \frac{Y(s)}{U(s)} &= \frac{B(s)}{A(s)} \\ &= \frac{0.0004697s + 0.09401}{s^2 + 0.4686s + 0.537} \end{aligned} \quad (3.4)$$

จากการสังเกตสมการ $B(s)$ เมื่อสัมประสิทธิ์หน้ามีค่าน้อยกว่าค่าคงที่ค่อนข้างมากจึงกำหนดให้ละความสำคัญในพจน์นี้ทำให้สมการ $B(s)$ เหลือเพียงค่าคงที่ซึ่งเท่ากับ 0.09401 และจะทำให้สมการที่ (3.4) ได้เป็น

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.09401}{s^2 + 0.4686s + 0.537}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{1}{\frac{s^2}{0.09401} + \frac{0.4686s}{0.09401} + \frac{0.537}{0.09401}}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{1}{10.637s^2 + 4.985s + 5.712} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + K} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า ประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ M (มวล), พารามิเตอร์ B (ความหน่วง), พารามิเตอร์ K (ค่าคงที่ของสปริง)

$$M = 10.637 \text{ (Kg)}, B = 4.985 \text{ (kg/s)}, K = 5.712 \text{ (N/m)}, \text{bestfit} = 89.76$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองและบันทึกสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดแรงและเอ็นโค้ดเดอร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้อามาหาความสัมพันธ์ในรูปสมการฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้วิธี ARX หรือ AR จากนั้นทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ในชุดข้อมูลได้ผลลัพธ์แสดงได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง A

Test	sampling	best fits (%)	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring Constant (N/m)
A1	0.01	70.13	22.43662	49.51761	22.52636
A2	0.01	68.26	17.01548	45.09103	23.85571
A3	0.01	69.64	18.77229	45.78562	22.75202
A4	0.01	65.73	19.83733	46.41936	21.94009
A5	0.01	71.96	24.15459	50.21739	21.00483
A6	0.01	72.25	28.19284	55.117	22.11164
A7	0.01	71.74	20.89427	47.70163	23.08817
A8	0.01	69.66	19.68504	46.14173	22.69685
A9	0.01	71.49	21.45462	48.5089	22.69899
A10	0.01	70.79	20.6868	47.41415	22.36243
		average	21.31299	48.19144	22.50371

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง B

Test	sampling	best fits (%)	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring Constant (N/m)
B1	0.01	54.67	11.95314	33.28951	20.65503
B2	0.01	58.69	12.72588	35.79791	23.07203
B3	0.01	62.45	11.49954	36.46504	25.59798
B4	0.01	65.02	14.94322	40.6306	24.47699
B5	0.01	67.33	14.81481	41.80741	26.35556
B6	0.01	55.56	11.63603	35.03607	22.73679
B7	0.01	63.2	13.06165	37.25183	22.88401
B8	0.01	64.49	13.33333	37.85333	24.26667
B9	0.01	62.37	13.38151	37.66894	24.0198
B10	0.01	50.78	13.64256	38.15825	23.47885
		average	13.09917	37.39589	23.75437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง C

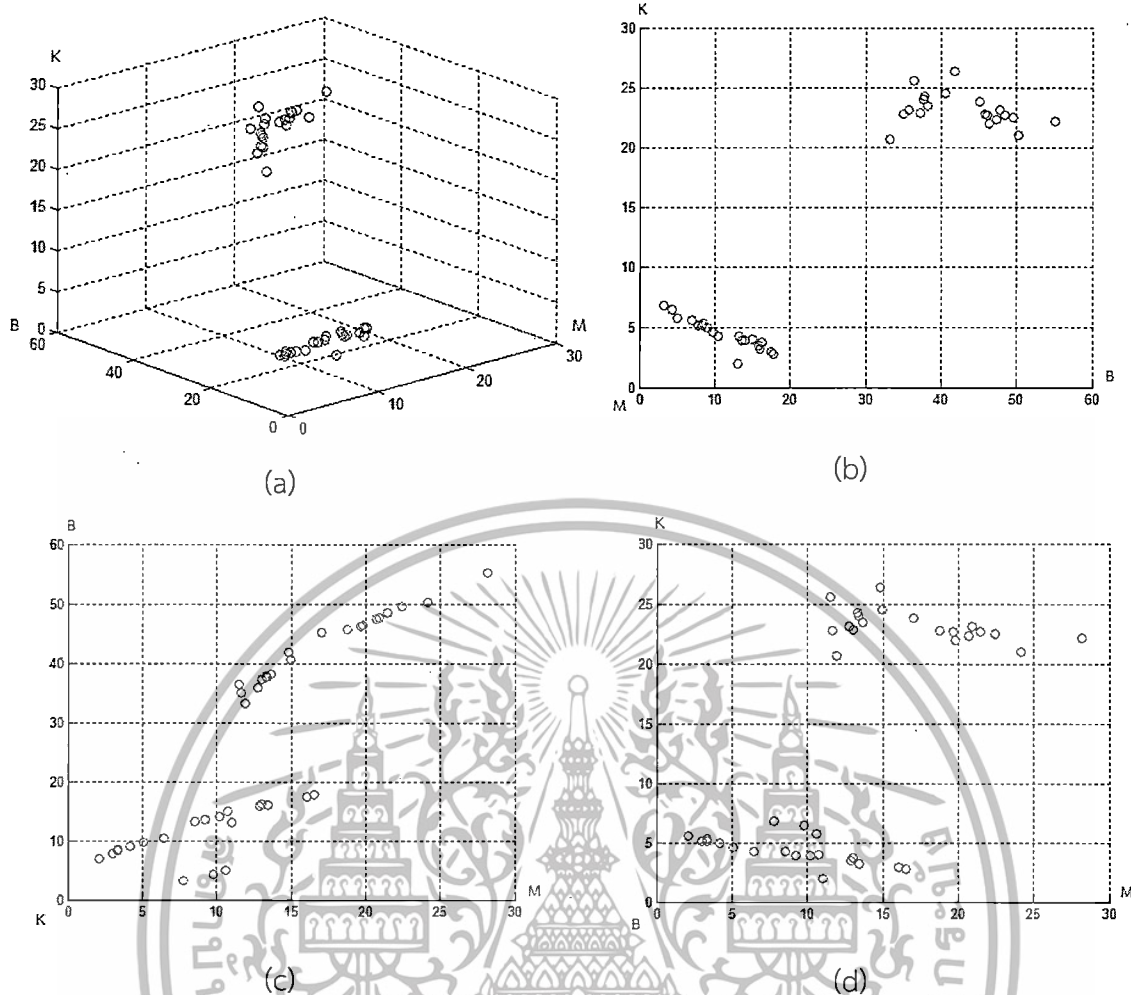
Test	sampling	best fits (%)	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring Constant (N/m)
C1	0.01	76.79	2.115954	6.921286	5.594583
C2	0.01	81.79	6.455778	10.45836	4.221433
C3	0.01	78.56	3.347841	8.453298	5.336458
C4	0.01	78.7	2.985075	7.8	5.095522
C5	0.01	89.76	10.63717	4.984576	5.712158
C6	0.01	80.63	3.36587	8.303601	5.119488
C7	0.01	78.78	4.215852	9.106239	4.919899
C8	0.01	89.84	7.77605	3.291602	6.755054
C9	0.01	90.77	9.813543	4.338567	6.459274
C10	0.01	81.71	5.11509	9.795396	4.611253
		average	5.582822	7.345293	5.382512

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวัตถุทดลอง D

Test	sampling	best fits (%)	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring Constant (N/m)
D1	0.01	78.23	10.1616	14.05345	3.862412
D2	0.01	81.31	13.44267	16.01022	3.211453
D3	0.01	81.89	16.0591	17.52048	2.975751
D4	0.01	84.82	11.01928	13.05785	1.99449
D5	0.01	81.02	12.90323	15.85806	3.427097
D6	0.01	82.47	16.52346	17.81229	2.764375
D7	0.01	77.7	10.7273	14.99678	4.027033
D8	0.01	80.65	13.01236	16.27846	3.699414
D9	0.01	77.63	8.561644	13.24486	4.220034
D10	0.1	78.77	9.259259	13.59259	3.927778
		average	12.16699	15.2425	3.410984

จากตารางที่แสดงผลในข้างต้นจะถือเป็นค่าพารามิเตอร์จริงของวัตถุทดสอบแต่ละชนิด เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลทั้งหมดมาพล็อตในแนวแกน 3 มิติ โดยใช้มุมมองแบบจากทั้ง 3 ด้านคือ ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน จะสังเกตเห็นว่ากลุ่มพารามิเตอร์มีการกระจายตัวอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกันจากข้อมูลทั้งหมดที่มี 4 ชุดดังแสดงดังภาพที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 (a) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์ในรูปแบบ 3 มิติ
 (b) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์จากมุมมองด้านข้าง
 (c) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์จากมุมมองด้านบน
 (d) ภาพการกระจายตัวของพารามิเตอร์จากมุมมองด้านหน้า

จากรูปจะเห็นได้ว่าวัตถุมีการกระจายตัวและมีความทับซ้อนในหลายส่วน เนื่องจากการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์มีความใกล้เคียงกันมากจนไม่สามารถแยกชุดข้อมูลออกเป็น 4 ชุดตามวัตถุที่ใช้ในการทดลองด้วยสายตาได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการจัดกลุ่มให้กับค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น สำหรับการศึกษาเทคนิคการจัดกลุ่มมีวิธีที่เลือกใช้ในการจัดกลุ่มในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่

1. K-means clustering
2. Kohonen network

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มของทั้ง 2 วิธีว่าวิธีใดมีความถูกต้องในการจัดกลุ่มมากกว่าและความเร็วในการประมวลผลก็เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม โดยจะเริ่มขั้นตอนการจัดกลุ่มด้วยวิธีแรกคือวิธี K-means clustering และสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเลขสีแดงในตารางผลการทดลองจะบ่งบอกถึงความไม่สอดคล้องกับข้อมูลในกลุ่มเดียวกันซึ่งควรจะเป็นเลขชุดเดียวกันทั้งหมด

4.1 การทดลองการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering

เนื่องจากกระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering จะเริ่มต้นด้วยการสุ่มจัดกลุ่มชุดข้อมูลส่งผลให้เมื่อทำการทดลองซ้ำในแต่ละครั้งจะได้ผลลัพธ์การจัดกลุ่มที่ไม่เหมือนเดิม จึงจำเป็นต้องทำการทดลองจัดกลุ่มชุดข้อมูลเดิมซ้ำๆกันเป็นจำนวนหลายๆครั้งและบันทึกค่าความถูกต้องที่ได้ในแต่ละครั้งเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นจะทำการ cross validation เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการวิเคราะห์ โดยจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกเรียกว่าชุดทดสอบ(test) และชุดที่สองเรียกว่าชุดตรวจสอบ(training)สำหรับการทำ cross validation ในขั้นแรกจะนำข้อมูลในส่วนชุดตรวจสอบเข้าสู่กระบวนการหาค่ากลางของแต่ละกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering จะได้ผลลัพธ์เป็นค่ากลางจำนวน 4 กลุ่มซึ่งตรงกับจำนวนชนิดของวัตถุทดสอบที่กำหนดไว้ในขั้นตอนต่อไปเป็นการนำข้อมูลชุดทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่ากลางที่ได้จากการ training ในขั้นต้นแรก หากค่าพารามิเตอร์ของชุดทดสอบมีความใกล้เคียงกับค่ากลางกลุ่มใดก็จะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มนั้นๆ ซึ่งหากจัดกลุ่มข้อมูลชุดทดสอบได้ถูกต้องทุกชุดทดสอบจะได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 100% สำหรับการทดลองในครั้งนี้จะทำการทดลองซ้ำๆกันเป็นจำนวน 100 ครั้งเพื่อสังเกตรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering ในกรอบที่กว้างขึ้น

จากข้อมูลทั้งหมด 40 ชุดที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งการทำ cross validation ออกเป็น 5 กรณีได้แก่

1. cross validation กรณีที่ 1 จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 4 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 36 ชุด หรือคิดเป็น test 10% ต่อ training 90%
2. cross validation กรณีที่ 2 จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 8 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 32 ชุด หรือคิดเป็น test 20% ต่อ training 80%
3. cross validation กรณีที่ 3 จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 12 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 28 ชุด หรือคิดเป็น test 30% ต่อ training 70%
4. cross validation กรณีที่ 4 จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 16 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 24 ชุด หรือคิดเป็น test 40% ต่อ training 60%
5. cross validation กรณีที่ 5 จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 20 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 20 ชุด หรือคิดเป็น test 50% ต่อ training 50%

4.1.1 การทำ cross validation กรณีที่ 1

กำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 4 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 36

ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับจากการทำ cross เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

validation กรณีที่ 1 นี้จะมีรูปแบบค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มที่ซ้ำกันอยู่ 2 รูปแบบโดยที่รูปแบบแรกให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 100% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 54 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 75% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 46 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 1

% ความถูกต้องในการจัดกลุ่ม	ความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง
100%	54
75%	46

4.1.2 การทำ cross validation กรณีที่ 2

กำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 8 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 32 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับจากการทำ cross validation กรณีที่ 2 นี้จะมีรูปแบบค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มที่ซ้ำกันอยู่ 3 รูปแบบโดยที่รูปแบบแรกให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 100% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 52 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 75% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 26 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง และรูปแบบที่ 3 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 62.5% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 22 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 2

% ความถูกต้องในการจัดกลุ่ม	ความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง
100%	52
75%	26
62.5%	22

4.1.3 การทำ cross validation กรณีที่ 3

กำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 12 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 28 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับจากการทำ cross validation กรณีที่ 3 นี้จะมีรูปแบบค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มที่ซ้ำกันอยู่ 3 รูปแบบโดยที่รูปแบบแรกให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 100% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 52 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 75% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็น ใบปะติดหรือเอกสารใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ้ำ 32 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้งและรูปแบบที่ 3 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 66.67% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 16 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 3

% ความถูกต้องในการจัดกลุ่ม	ความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง
100%	52
75%	32
66.67%	16

4.1.4 การทำ cross validation กรณีที่ 4

กำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 16 ชุดและกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 24 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับจากการทำ cross validation กรณีที่ 4 นี้จะมีรูปแบบค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มที่ซ้ำกันอยู่ 4 รูปแบบโดยที่รูปแบบแรกให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 100% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 46 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 75% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 32 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 3 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 70% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 4 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้งและรูปแบบที่ 4 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 65% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 18 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 4

% ความถูกต้องในการจัดกลุ่ม	ความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง
100%	46
75%	32
70%	4
65%	18

4.1.5 การทำ cross validation กรณีที่ 5

กำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 20 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 20 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับจากการทำ cross validation กรณีที่ 5 นี้จะมีรูปแบบค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มที่ซ้ำกันอยู่ 4 รูปแบบโดยที่รูปแบบแรกให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 100% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 46 ครั้งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 75% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 32 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง ส่วนรูปแบบที่ 3 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 70% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 4 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง และรูปแบบที่ 4 ให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 65% และมีความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 18 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 5

% ความถูกต้องในการจัดกลุ่ม	ความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง
100%	50
75%	22
70%	8
65%	20

จากผลการทดลองการจัดกลุ่มให้กับชุดพารามิเตอร์ทั้ง 4 ชุด โดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation ทั้ง 5 กรณีในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการจัดกลุ่มด้วยวิธีนี้ไม่สามารถการันตีผลการจัดกลุ่มได้ 100% ในทุกๆ ครั้งของกระบวนการทดสอบ ซึ่งประสิทธิภาพการจัดกลุ่มจะขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นที่ทำการสุ่ม และเมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในแต่ละกรณีของการทำ cross validation จะเห็นได้ว่าเมื่อสัดส่วนชุดข้อมูลการ training น้อยลงประกอบกับชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความถี่ที่เกิดจากการทดลองซ้ำของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่มีค่าน้อยๆ ทั้ง 62.5% และ 65% ซึ่งเป็นรูปแบบค่าความถูกต้องที่น้อยที่สุดมีปริมาณที่มากขึ้นตามไปด้วย

4.2 การทดลองการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network

เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network จะมีการทำซ้ำในชุดข้อมูลเดิมซึ่งคือการเพิ่มค่า iterations ไปเรื่อยๆ โดยเริ่มต้นที่ 1 ซึ่งค่า iterations ถัดไปจะนำผลที่ได้จากครั้งที่แล้วมาทำการดำเนินการลักษณะนี้จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยเมื่อค่า iterations มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ลักษณะการทำซ้ำนี้เปรียบได้กับการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนหรือ unsupervised learning และการทำ cross validation คือการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการวิเคราะห์ โดยเราจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกเรียกว่าชุดทดสอบ และชุดที่สองเรียกว่าชุดตรวจสอบ จากนั้นเมื่อเริ่มกระบวนการจะทำการเปลี่ยนลำดับการเข้าของข้อมูลทดสอบตามที่เราได้ทำการแบ่งไว้และคำนวณหาค่าความถูกต้องในแต่ละครั้งของลำดับการเข้าและค่าความถูกต้องสุดท้ายของการทำ cross validation คือการค่าความถูกต้องเฉลี่ยของผลการทดลองทุกครั้ง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลทั้งหมด 40 ชุดที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งการทำ cross validation ออกเป็น 5 กรณีได้แก่

1. cross validation กรณีที่1 จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 4 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 36 ชุด หรือคิดเป็น test 10% ต่อ training 90%
2. cross validation กรณีที่2จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 8 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 32 ชุด หรือคิดเป็น test 20% ต่อ training 80%
3. cross validation กรณีที่3จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 12 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 28 ชุด หรือคิดเป็น test 30% ต่อ training 70%
4. cross validation กรณีที่4จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 16 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 24 ชุด หรือคิดเป็น test 40% ต่อ training 60%
5. cross validation กรณีที่5จะกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 20 ชุดและใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ 20 ชุด หรือคิดเป็น test 50% ต่อ training 50%

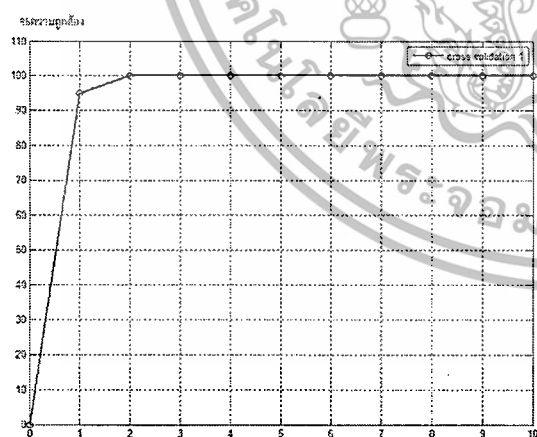
4.2.1 การทำ cross validation กรณีที่1

โดยกำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 4 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 36 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มที่ค่า iterations เท่ากับ 1 ออกมาเท่ากับ 95% และใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.0015575 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 2 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 100% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.0026609 ซึ่งผลการทำ cross validation กรณีที่ 1 นี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Kohonen network จะได้ค่าความถูกต้องถูกต้องสูงที่สุดถึง 100% ที่ค่า iterations ตั้งแต่ 2 เป็นต้นไป และสำหรับเวลาเฉลี่ยการประมวลผลจากตารางจะสังเกตเห็นว่าเมื่อค่า iterations มีค่ามากขึ้นจะมีระยะเวลาที่มากขึ้นตามไปด้วยโดยที่ค่า iterations เท่ากับ 10 จะใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.0136732 ซึ่งมากกว่าที่ค่า iterations 2 ถึง 5.13856 เท่า โดยที่ยังให้ค่าความถูกต้อง 100% เท่าเดิม

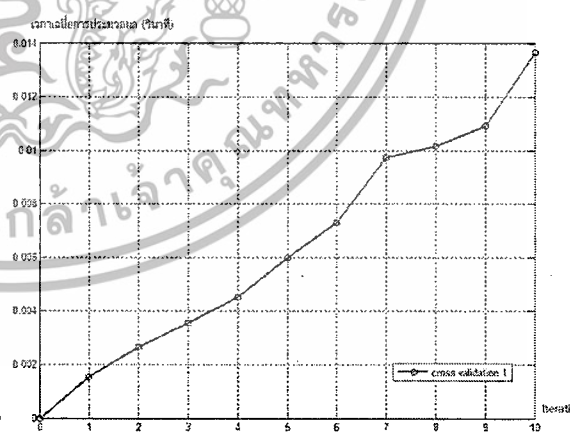
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 1

iterations	ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่ม(%)	เวลาเฉลี่ยการประมวลผล(วินาที)
0	0	0
1	95	0.0015575
2	100	0.0026609
3	100	0.0035438
4	100	0.0045132
5	100	0.0059803
6	100	0.0073031
7	100	0.0097296
8	100	0.0101694
9	100	0.0109204
10	100	0.0136732

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.10 มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.2 (a) และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.2 (b)



(a)



(b)

รูปที่ 4.2 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 1

(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทำ cross validation กรณีที่ 2

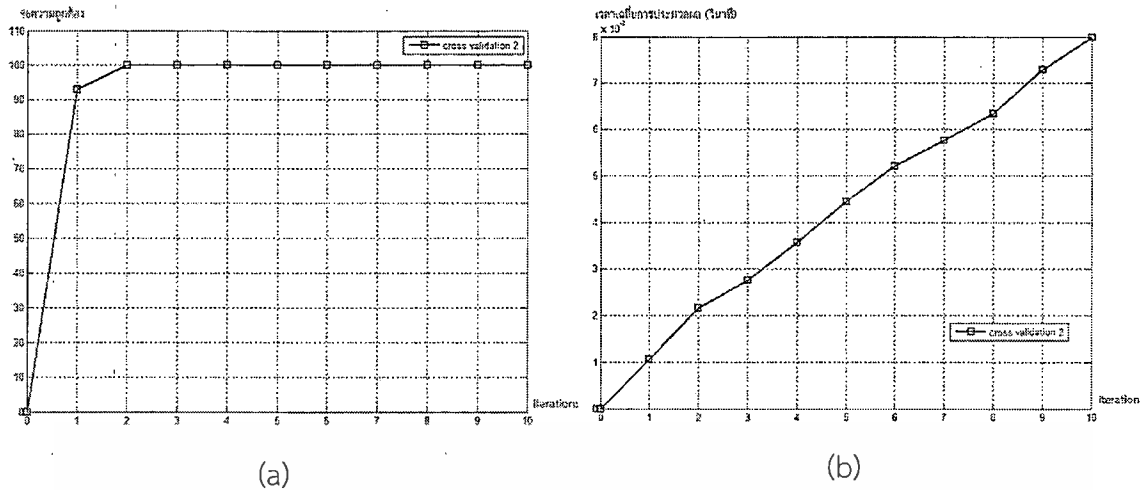
โดยกำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 8 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 32 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มที่ค่า iterations เท่ากับ 1 ออกมาเท่ากับ 93.05556% และใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.001058222 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 2 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 100% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.002161111 ซึ่งผลการทำ cross validation กรณีที่ 2 นี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Kohonen network จะได้ค่าความถูกต้องถูกต้องสูงที่สุดถึง 100% ที่ค่า iterations ตั้งแต่ 2 เป็นต้นไป และสำหรับเวลาเฉลี่ยการประมวลผลจากตารางจะสังเกตเห็นว่าเมื่อค่า iterations มีค่ามากขึ้นจะมีระยะเวลาที่มากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ค่า iterations เท่ากับ 10 จะใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.007998 ซึ่งมากกว่าที่ค่า iterations 2 ถึง 3.700874 เท่า โดยที่ยังให้ค่าความถูกต้อง 100% เท่าเดิม

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 2

iterations	ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่ม(%)	เวลาเฉลี่ยการประมวลผล (วินาที)
0	0	0
1	93.05556	0.001058222
2	100	0.002161111
3	100	0.002754667
4	100	0.003572
5	100	0.004448444
6	100	0.005210444
7	100	0.005751333
8	100	0.006343111
9	100	0.007290778
10	100	0.007998

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.11 มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.3 (a) และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.3 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 2
(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 2

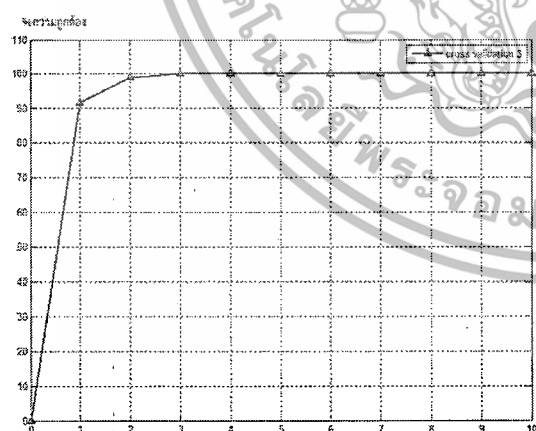
4.2.3 การทำ cross validation กรณีที่ 3

โดยกำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 12 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 28 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มที่ค่า iterations เท่ากับ 1 ออกมาเท่ากับ 91.6668% และใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.001151625 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 2 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 98.9583% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.00185325 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 3 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 100% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.0023075 ซึ่งผลการทำ cross validation กรณีที่ 3 นี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Kohonen network จะได้ค่าความถูกต้องสูงสุดถึง 100% ที่ค่า iterations ตั้งแต่ 3 เป็นต้นไป และสำหรับเวลาเฉลี่ยการประมวลผลจากตารางจะสังเกตเห็นว่าเมื่อค่า iterations มีค่ามากขึ้นจะมีระยะเวลาที่มากขึ้นตามไปด้วยโดยที่ค่า iterations เท่ากับ 10 จะใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.006674 ซึ่งมากกว่าที่ค่า iterations 3 ถึง 2.89231 เท่า โดยที่ยังให้ค่าความถูกต้อง 100% เท่าเดิม

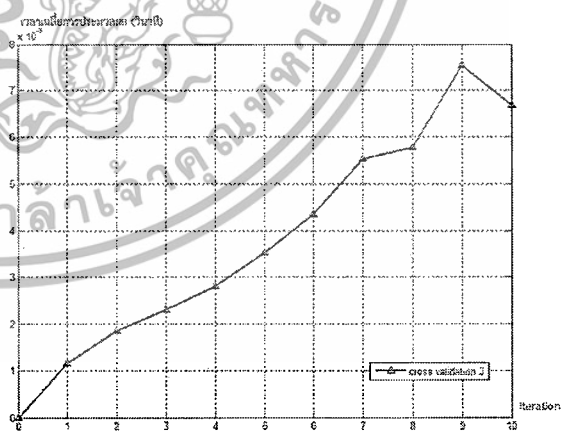
ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 3

iterations	ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่ม(%)	เวลาเฉลี่ยการประมวลผล (วินาที)
0	0	0
1	91.66668	0.001151625
2	98.95834	0.00185325
3	100	0.0023075
4	100	0.002812625
5	100	0.0035205
6	100	0.004345875
7	100	0.00553425
8	100	0.00577725
9	100	0.0075305
10	100	0.006674

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.12 มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.4 (a) และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.4 (b)



(a)



(b)

รูปที่ 4.4 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 3

(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

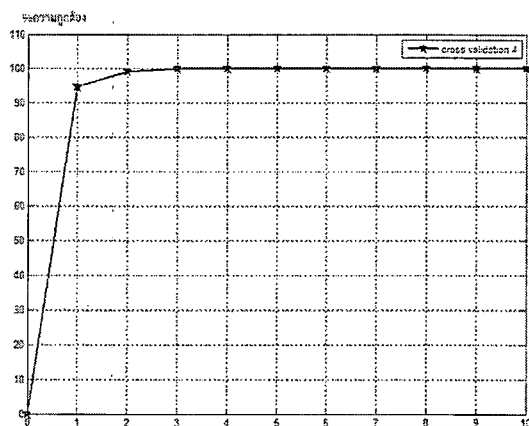
4.2.4 การทำ cross validation กรณีที่ 4

โดยกำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 16 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 24 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 โดยจะสังเกตได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มที่ค่า iterations เท่ากับ 1 ออกมาเท่ากับ 94.64286% และใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.001231143 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 2 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 99.10714% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.00198886 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 3 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 100% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.00249371 ซึ่งผลการทำ cross validation กรณีที่ 4 นี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Kohonen network จะได้ค่าความถูกต้องสูงสุดถึง 100% ที่ค่า iterations ตั้งแต่ 3 เป็นต้นไป และสำหรับเวลาเฉลี่ยการประมวลผลจากตารางจะสังเกตเห็นว่าเมื่อค่า iterations มีค่ามากขึ้นจะมีระยะเวลาที่มากขึ้นตามไปด้วยโดยที่ค่า iterations เท่ากับ 10 จะใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.006887143 ซึ่งมากกว่าที่ค่า iterations 3 ถึง 2.7618015 เท่า โดยที่ยังให้ค่าความถูกต้อง 100% เท่าเดิม

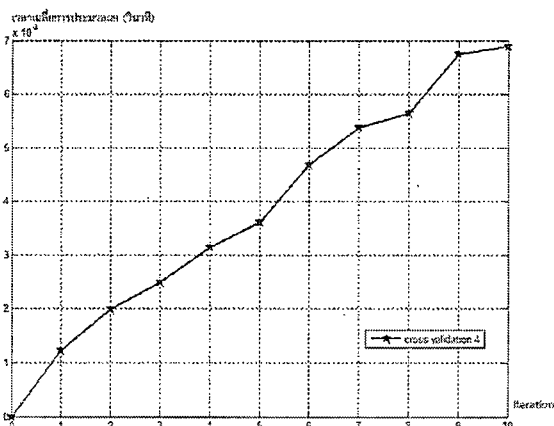
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 4

iterations	ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่ม(%)	เวลาเฉลี่ยการประมวลผล (วินาที)
0	0	0
1	94.64286	0.001231143
2	99.10714	0.001988857
3	100	0.002493714
4	100	0.003142
5	100	0.003602571
6	100	0.004688857
7	100	0.005382571
8	100	0.005650429
9	100	0.006749571
10	100	0.006887143

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.13 มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.5 (a) และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.5 (b)



(a)



(b)

รูปที่ 4.5 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 4

(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 4

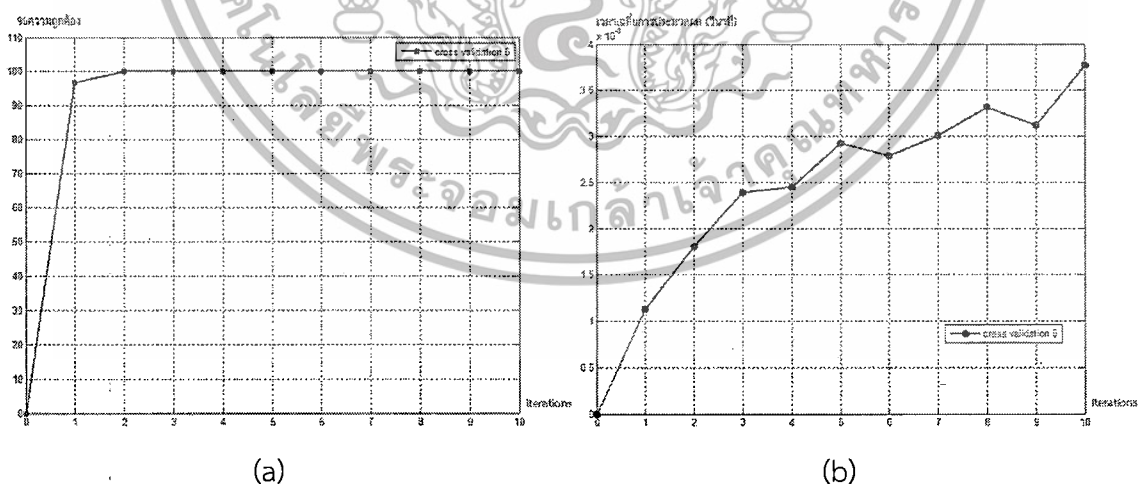
4.2.5 การทำ cross validation กรณีที่ 5

โดยกำหนดให้ข้อมูลทดสอบเท่ากับ 20 ชุด และกำหนดให้ข้อมูลชุดตรวจสอบเท่ากับ 20 ชุด จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14 โดยจะสังเกตเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มที่ค่า iterations เท่ากับ 1 ออกมาเท่ากับ 96.66667% และใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.001132167 จากนั้นทำการเพิ่มค่า iterations เท่ากับ 2 จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มเท่ากับ 100% และใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 0.001799833 ซึ่งผลการทำ cross validation กรณีที่ 5 นี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Kohonen network จะได้ค่าความถูกต้องสูงสุดถึง 100% ที่ค่า iterations ตั้งแต่ 2 เป็นต้นไป และสำหรับเวลาเฉลี่ยการประมวลผลจากตารางจะสังเกตเห็นว่าเมื่อค่า iterations มีค่ามากขึ้นจะมีระยะเวลาที่มากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ค่า iterations เท่ากับ 10 จะใช้เวลาเฉลี่ยการประมวลผลเท่ากับ 0.0037695 ซึ่งมากกว่าที่ค่า iterations 2 ถึง 2.09436 เท่า โดยที่ยังให้ค่าความถูกต้อง 100% เท่าเดิม

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองโดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 5

iterations	ความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่ม(%)	เวลาเฉลี่ยการประมวลผล (วินาที)
0	0	0
1	96.66667	0.001132167
2	100	0.001799833
3	100	0.002388833
4	100	0.002450833
5	100	0.002927667
6	100	0.002792167
7	100	0.003007167
8	100	0.003318
9	100	0.003119333
10	100	0.0037695

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.14 มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.6 (a) และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations จะแสดงได้ตามรูปที่ 4.6 (b)



รูปที่ 4.6 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องเฉลี่ยในการจัดกลุ่มกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 5

(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยการประมวลผลกับค่า iterations ที่การทำ cross validation กรณีที่ 5

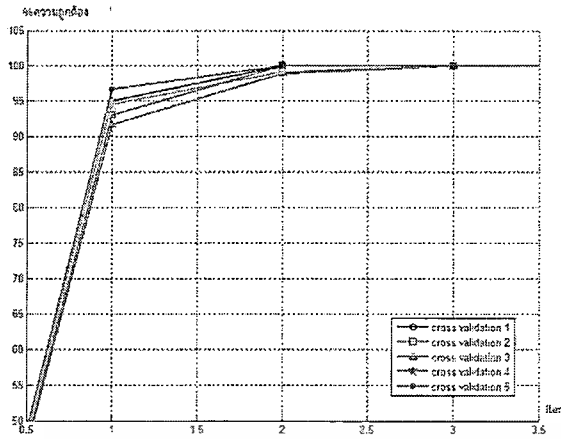
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดกลุ่ม

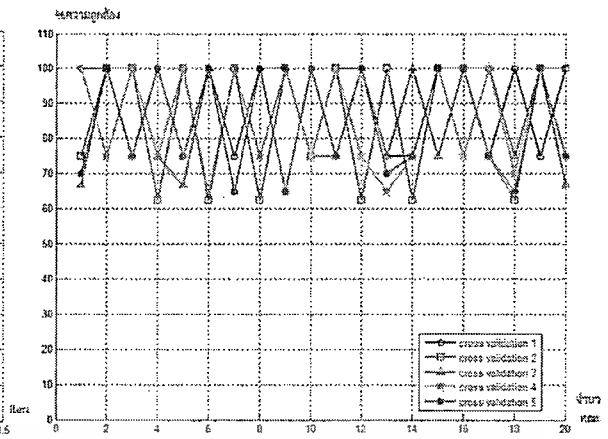
กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดกลุ่มระหว่างทั้ง 2 วิธีในข้างต้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 โดยรูปที่ 4.7 (a) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกับค่า iterations ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการจัดกลุ่มโดยใช้วิธี Kohonen network สามารถสรุปได้ว่าค่าความถูกต้องที่ได้รับจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามค่า iterations และจะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 100% เมื่อมีค่า iterations ที่มากพอและจะยังคงค่าความถูกต้องสูงสุดนี้ต่อไปแม้ว่าจะมีการเพิ่มค่า iterations ต่อเนื่องไปอีกด้วย ซึ่งทำให้กระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธีนี้มีความเสถียรมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.7 (b) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกับจำนวนครั้งที่ทดสอบซ้ำโดยใช้กระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering สามารถสรุปได้ว่าผลการทดลองที่ได้ถึงแม้จะสามารถจัดกลุ่มได้ถูกต้องถึง 100% แต่ผลกระทบอันเนื่องมาจากการสุ่มค่าเริ่มต้นของกระบวนการคำนวณค่ากลางทำให้ผลลัพธ์การทดลองในบางครั้งมีค่าไม่ถึง 100% และเมื่อทดสอบด้วยจำนวนครั้งที่มากพอจะพบว่าค่าความถูกต้องที่ได้นั้นจะมีการแกว่งอยู่ระหว่าง 62.5% ถึง 100% และลักษณะการแสดงผลก็ไม่สามารถคาดเดาได้อย่างแม่นยำว่าค่าความถูกต้องที่ได้รับเมื่อทำการทดลองในครั้งต่อไปจะได้เท่ากับ 100% ซึ่งโอกาสที่จะแสดงผลที่ค่าความถูกต้องสูงที่สุดนี้มีอยู่ประมาณ 50% ดังที่แสดงได้จากตารางผลการทดลองในข้างต้น

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจากทั้ง 2 วิธี ทำให้ทราบว่าหากข้อมูลที่ใช้ในการจัดกลุ่มมีความใกล้เคียงกันมากๆ การจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องได้ดีกว่าเมื่อมีค่า iterations ที่สูงเพียงพอ แต่ในทางกลับกันหากทำการเพิ่มค่า iterations ให้มากขึ้นจะส่งผลต่อระยะเวลาการประมวลผลทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สำหรับการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering นั้นจะให้ผลถูกต้องแม่นยำมากขึ้นหากชุดข้อมูลที่ใช้ในการจัดกลุ่มไม่อยู่ใกล้เคียงกันมากเกินไป ซึ่งข้อดีของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering นั้นคือความเร็วในการประมวลผลซึ่งจะทำให้กระบวนการทำงานของระบบเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจะเลือกใช้วิธีใดในการจัดกลุ่มนั้นควรพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการจะจัดกลุ่มว่ามีความใกล้เคียงกันมากน้อยแค่ไหนจึงจะทำให้กระบวนการทำงานเป็นไปอย่างถูกต้องและรวดเร็วอีกด้วย



(a)



(b)

รูปที่ 4.7 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกับค่า iterations โดยใช้วิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation ทั้ง 5 กรณี
 (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกับจำนวนครั้งที่ทดสอบซ้ำ โดยใช้วิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation ทั้ง 5 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ผลจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี ARX model จะให้ค่า best fits อยู่ในระหว่าง 50.78% - 90.77% ซึ่งประสิทธิภาพของระบบในส่วนนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการสัมผัสกับวัตถุและความละเอียดของตัวเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของมอเตอร์ นอกจากนี้ เทคนิคนี้เหมาะกับการใช้งานระบบที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้น หากระบบมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงเทคนิคนี้จะใช้ไม่ได้ จากกราฟผลตอบสนองเชิงพลศาสตร์พบว่า วัตถุทั้ง 4 ประเภทมีผลตอบสนองทางพลศาสตร์ที่แตกต่างกันตามวัสดุและรูปร่างของวัตถุและให้ค่าพารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ที่แตกต่างกันระหว่างทั้ง 4 แบบ แต่จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันหากเป็นการทำซ้ำในวัตถุเดียวกัน อย่างไรก็ตามวัตถุบางชนิดมีค่าใกล้เคียงกันและจัดกลุ่มได้ยาก และจากการแปลงค่าที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ชนิดให้อยู่ในหน่วย SI ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์สุดท้ายที่ได้รับจะมีหน่วยของตัวแปรอยู่ในรูป SI เช่นเดียวกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มระหว่างวิธีทั้งสองดังนี้แสดงในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-means clustering จะมีความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ที่ได้ เนื่องจากกระบวนการทำงานด้วยวิธีนี้จะเริ่มต้นการจัดกลุ่มด้วยการสุ่มค่าเริ่มต้นทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกัน จากการทดสอบโดยทำการสุ่มค่าเริ่มต้นแตกต่างกัน 100 ครั้งด้วยวิธี K-means นี้พบว่า สามารถจัดกลุ่มได้ถูกต้องด้วยเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุดที่ 100% และต่ำที่สุดที่เท่ากับ 62.5% เมื่อวิเคราะห์จากทั้ง 2 วิธี ทำให้ทราบว่าส่วนความแตกต่างจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของชุดข้อมูลที่น่ามาจัดกลุ่ม หากข้อมูลมีความใกล้เคียงกันมากจะทำให้การจัดกลุ่มมีความผิดพลาดมากตามไปด้วย แต่ถ้าหากข้อมูลมีการกระจายตัวกันอยู่พอสมควรจะทำให้การจัดกลุ่มมีความผิดพลาดน้อยหรืออาจไม่มีเลย แต่ข้อดีของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering คือจะมีความรวดเร็วในการคำนวณสูงจึงเหมาะกับการนำไปใช้จัดกลุ่มสำหรับชุดข้อมูลที่มีการกระจายตัวห่างกันพอสมควรได้ สำหรับการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network จะสามารถจัดกลุ่มได้มีความเสถียรมากกว่าเมื่อเพิ่มค่า iterations ให้มากขึ้นจะสามารถจัดกลุ่มชุดข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกันได้ดียิ่งขึ้นซึ่งจากการทดลองเดียวกันพบว่าสามารถจัดกลุ่มให้มีความถูกต้องได้สูงสุดที่ 100% อย่างสม่ำเสมอและไม่มีการแกว่งของค่าความถูกต้องอีกด้วย ข้อเสียสำหรับการจัดกลุ่มด้วยวิธีนี้คือจะใช้เวลาในการคำนวณผลค่อนข้างนานตามค่า iterations ที่ใช้ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีไหนในการใช้งานควรคำนึงถึงข้อมูลที่ต้องการการจัดกลุ่มว่าเป็นอย่างไรแล้วต้องการประสิทธิภาพขนาดไหนหรือต้องการความเร็วในการทำงานมากน้อยเพียงใดแล้วจึงเลือกวิธีการจัดกลุ่มให้เหมาะสมตามความต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองเนื่องจากการใช้วัตถุตัวแทนชนิดละ 1 ชิ้นทำให้ต้องทำการกดซ้ำๆกันในบริเวณเดิมของวัตถุขึ้นเดิมหลายๆครั้งจึงจำเป็นต้องกำหนดการออกแรงกดวัตถุในแต่ละครั้งจะต้องมีการเว้นช่วงเวลาให้วัตถุมีการคืนสภาพเพื่อที่จะทำให้การออกแรงกดครั้งต่อไปได้ผลการทดลองเป็นไปตามที่ควรจะเป็น

เนื่องจากความละเอียดและประสิทธิผลของการทดลองที่ได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังนั้นการเลือกตัวเซ็นเซอร์หรือกระทั่งตัวเอ็นโค้ดเดอร์จะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์การทดลองเช่นกัน

5.3 แนวทางการพัฒนาพัฒนา

เนื่องจากกระบวนการทดลองเป็นการจำลองการออกแรงกดบนพื้นผิววัตถุในแนวแกนเดียว ดังนั้นอาจจะทำให้ขาดมิติของแรงในแนวแกนอื่นไป ดังนั้นสามารถปรับปรุงแก้ไขโดยการเพิ่มตัวเซ็นเซอร์วัดแรงในแนวแกนอื่นๆเพิ่มเติมมิติของจำนวนแรงในแนวแกนอื่นทำให้สามารถวิเคราะห์ในเชิง 3 มิติได้เพื่อทำให้การระบุชนิดของวัตถุเป็นไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วมากขึ้นไปอีก รวมไปถึงความละเอียดของตัวเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของมอเตอร์ด้วย สำหรับในขั้นตอนการจัดกลุ่มนั้นสามารถประยุกต์นำวิธีการจัดกลุ่มวิธีอื่นๆมาประยุกต์ใช้เพิ่มเติมได้

บรรณานุกรม

- [1] Sander E.M. Jansen, Wouter M. Bergmann Tiest, and Astrid M.L. Kappers, "Identifying Haptic Exploratory Procedures by Analyzing Hand Dynamics and Contact Force", IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS, VOL. 6, NO. 4, OCTOBER-DECEMBER 2013
- [2] Hongbin Liu, Xiaojing Song, João Bimbo, Lakmal Seneviratne and Kaspar Althoefer, "Surface Material Recognition through Haptic Exploration using an Intelligent Contact Sensing Finger", 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 7-12, 2012. Vilamoura, Algarve, Portugal
- [3] Mark A. Hoepflinger, C. David Remy, Marco Hutter, Luciano Spinello, and Roland Siegwart, "Haptic Terrain Classification for Legged Robots", 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation Anchorage Convention District May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA
- [4] G.Vásárhelyi, M.Ádám, Cs.Dücsö, I.Bársony, A. Kis, "Integrated Tactile System for Dynamic 3D Contact Force Mapping", Sensors, 2008 IEEE, 26-29 OCTOBER 2008
- [5] A. Sahbani, S. El-Khoury, P. Bidaud. An overview of 3D object grasp synthesis algorithms. Robotics and Autonomous Systems. Volume 60, Issue 3, March 2012, Pages 326-336
- [6] Diego R. Faria, Ricardo Martins, Jorge Lobo, Jorge Dias. Extracting data from human manipulation of objects towards improving autonomous robotic grasping. Robotics and Autonomous Systems. Volume 60, Issue 3, March 2012, Pages 396-410
- [7] N. Daoud, J.P. Gazeau, S. Zeghloul, M. Arsicault. A fast grasp synthesis method for online manipulation. Robotics and Autonomous Systems. Volume 59, Issue 6, June 2011, Pages 421-427
- [8] Alin Drimus, Gert Kootstra, Arne Bilberg, Danica Kragic. Design of a flexible tactile sensor for classification of rigid and deformable objects. Robotics and Autonomous Systems. Volume 62, Issue 1, January 2014, Pages 3-15
- [9] Anil Kumar Narwal, Anand Vaz, K.D. Gupta. Study of dynamics of soft contact rolling using multibond graph approach. Mechanism and Machine Theory. Volume 75, May 2014, Pages 79-96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] O. Whitea, J.-L.Thonnard, A.M. Wing, R.M. Bracewell, J. Diedrichsen, P. Lefèvre. Grip force regulates hand impedance to optimize object stability in high impact loads. *Neuroscience*. Volume 189, 25 August 2011, Pages 269–276
- [11] Dennis A. Nowak, Stefan Glasauer, Joachim Hermsdörfer. Force control in object manipulation—A model for the study of sensorimotor control strategies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Volume 37, Issue 8, September 2013, Pages 1578–1586
- [12] F. Beltran-Carbajal, G. Silva-Navarro, B. Vazquez-Gonzalez, “Active Vibration Absorption of Multi-Frequency Harmonic Forces on Mass-Spring-Damper Systems”, *Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2011 8th International Conference on, 26-28 Oct. 2011
- [13] Ismail Ladipo, Asan G.A. Muthalif, AlifRozaima, Ahmad Asyraf, “Design and development of an active mass damper for broadband vibration control”, 2011 14th International Conference on Mechatronics (ICOM), 17-19 May 2011, Kuala Lumpur, Malaysia
- [14] S. E.M. Jansen, W. M. Bergmann Tiest, and A. M.L. Kappers. Identifying Haptic Exploratory Procedures by Analyzing Hand Dynamics and Contact Force. *IEEE Trans. on Haptics*, vol. 6, no. 4, October-December 2013.
- [15] Bernard B. Mnyazikwiye, Hamid R. Karimi, Kjell Gunnar Robbersmyr, “Mathematical Modeling of Vehicle Frontal Crash by a Double Spring-Mass-Damper Model”, 2013 XXIV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT) October 30 – November 01, 2013, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- [16] Kun-Yung Chen, Ming-Shyan Huang, Rong-Fong Fung, “The comparisons of minimum-energy control of the Mass-Spring-Damper system”, *Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation* June 21-25 2011, Taipei, Taiwan
- [17] ZHAN Xue-ping, QIN Zhao-hong, Chen Yu-shu, LIU Sheng-chun, “Research on the Power and Anti-vibration Characteristics of Damper”, *Power Engineering and Automation Conference (PEAM)*, 2011 IEEE (Volume:3), 8-9 Sept. 2011

- [18] D. S. Chaturanga, V. A. Ho and S. Hirai. Investigation of a Biomimetic Fingertip's Ability to Discriminate Fabrics Based on Surface Textures. Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2013 IEEE/ASME International Conference on, July 9-12 2013, Wollongong, NSW, Australia.
- [19] D. S. Chaturanga, Z. W. V. A. Ho, A. Mitani, and S. Hirai. A Biomimetic Soft Fingertip Applicable to Haptic Feedback Systems for Texture Identification. A Biomimetic Soft Fingertip Applicable to Haptic Feedback Systems for Texture Identification, October 26-27 2013, Istanbul.
- [20] H. Yussuf and M. Ohka. Application of Stiffness Control Algorithm for Dexterous Robot Grasping using Optical Three-Axis Tactile Sensor System. Haptic Audio Visual Environments and Games (HAVE), 2013 IEEE International Symposium on, Nov. 9-11 2009, Istanbul
- [21] A. Drimus and G. Kootstra, Arne Bilberg and Danica Kragic. Classification of Rigid and Deformable Objects Using a Novel Tactile Sensor. Advanced Robotics (ICAR), 2011 15th International Conference on, June 20-23 2011, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia.
- [22] Weiling Cai, Songcan Chen, and Daoqiang Zhang, "A Multiobjective Simultaneous Learning Framework for Clustering and Classification", IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, VOL. 21, NO. 2, FEBRUARY 2010
- [23] L. Jung, System Identification: Theory for the User, 2nd edition. New Jersey: Prentice-Hall; 1999.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่า weight ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจัดกลุ่ม

ก.1 K-means clustering

สำหรับการจัดกลุ่มด้วยวิธีนี้ค่า weight สุดท้ายที่ได้รับคือค่ากลางหรือเรียกว่าค่า Mean ของชุดข้อมูลในแต่ละกลุ่ม ซึ่งกำหนดแทนด้วย M_A , M_B , M_C และ M_D โดยค่า weight แต่ละค่าจะใช้เป็นตัวแทนให้กับพารามิเตอร์ของวัตถุแต่ละชนิดและแสดงได้ด้วยเมตริก 4×3 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} M_A \\ M_B \\ M_C \\ M_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_A & B_A & K_A \\ M_B & B_B & K_B \\ M_C & B_C & K_C \\ M_D & B_D & K_D \end{bmatrix}$$

ก.1.1 การจัดกลุ่มโดยวิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 1

โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering ที่ให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100% แสดงได้ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำ cross validation กรณีที่ 1 ที่ให้ค่าความถูกต้อง 100%

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
M_A	21.1881	48.0441	22.5012
M_B	13.2265	37.8522	24.0987
M_C	5.9680	7.3924	5.3589
M_D	12.3898	15.3746	3.3608

ก.1.2 การจัดกลุ่มโดยวิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 2

โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering ที่ให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100% แสดงได้ดังตารางที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำ cross validation กรณีที่2 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
M _A	21.7097	48.4132	22.3319
M _B	13.2891	38.1089	24.2271
M _C	5.9071	7.0092	5.5011
M _D	12.2582	15.2952	3.3795

ก.1.3 การจัดกลุ่มโดยวิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่3 โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering ที่ให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำ cross validation กรณีที่3 ที่ให้ค่าความถูกต้อง100%

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
M _A	22.1294	48.7886	22.2719
M _B	13.5447	38.3438	24.0312
M _C	6.2727	6.8029	5.5247
M _D	11.7152	14.9773	3.4372

ก.1.4 การจัดกลุ่มโดยวิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 4 โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering ที่ให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำ cross validation กรณีที่ 4 ที่ให้ค่าความถูกต้อง 100%

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
M_A	22.5114	49.1835	22.3272
M_B	13.3116	37.9626	23.9569
M_C	6.8206	6.6367	5.5962
M_D	11.8312	15.2972	3.6776

ก.1.5 การจัดกลุ่มโดยวิธี K-means clustering ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 5 โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering ที่ให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100% แสดงได้ดังตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.5 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี K-means clustering สำหรับการทำ cross validation กรณีที่ 5 ที่ให้ค่าความถูกต้อง 100%

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
M_A	22.1827	48.9767	22.5916
M_B	13.0110	37.1937	23.4772
M_C	6.0573	6.9671	5.5730
M_D	11.6168	15.1850	3.7277

ก.2 Kohonen network

สำหรับการ training ข้อมูลโดยกำหนดจำนวนเอาต์พุตไว้เท่ากับ 4 จะได้ค่า weight ออกมา 4 ค่าซึ่งกำหนดแทนด้วย W_A , W_B , W_C และ W_D โดยค่า weight แต่ละค่าจะใช้เป็นตัวแทนให้กับพารามิเตอร์ของวัตถุแต่ละชนิดและแสดงได้ด้วยเมตริก 4x3 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} W_A \\ W_B \\ W_C \\ W_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_A & B_A & K_A \\ M_B & B_B & K_B \\ M_C & B_C & K_C \\ M_D & B_D & K_D \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.1 การจัดกลุ่มโดยวิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 1

โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network ที่ค่า iterations = 10 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำ cross validation กรณีที่ 1 ที่ค่า iterations เท่ากับ 10

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
W_A	21.2902	48.1142	22.4903
W_B	13.2631	37.8653	24.0313
W_C	6.1190	7.2589	5.4120
W_D	12.0246	15.2027	3.4597

ก.2.2 การจัดกลุ่มโดยวิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 2

โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network ที่ค่า iterations = 10 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำ cross validation กรณีที่ 2 ที่ค่า iterations เท่ากับ 10

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
W_A	21.6603	48.3748	22.3729
W_B	13.3127	38.0435	24.1072
W_C	6.1030	6.9773	5.5174
W_D	11.8657	15.1150	3.4904

ก.2.3 การจัดกลุ่มโดยวิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่ 3

โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network ที่ค่า iterations = 10 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำ cross validation กรณีที่3 ที่ค่า iterations เท่ากับ 10

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
W_A	21.9316	48.6183	22.3399
W_B	13.4926	38.1920	23.9502
W_C	6.3897	6.8354	5.5352
W_D	11.4115	14.8580	3.5521

ก.2.4 การจัดกลุ่มโดยวิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่4 โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network ที่ค่า iterations = 10 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.9

ตารางที่ ก.9 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำ cross validation กรณีที่4 ที่ค่า iterations เท่ากับ 10

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
W_A	22.1406	48.8423	22.3921
W_B	13.3251	37.9025	23.8814
W_C	6.7852	6.7384	5.5832
W_D	11.4117	15.0409	3.7415

ก.2.5 การจัดกลุ่มโดยวิธี Kohonen network ด้วยการทำ cross validation กรณีที่5 โดยค่า weight ของการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kohonen network ที่ค่า iterations = 10 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่มได้ 100%แสดงได้ดังตารางที่ ก.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

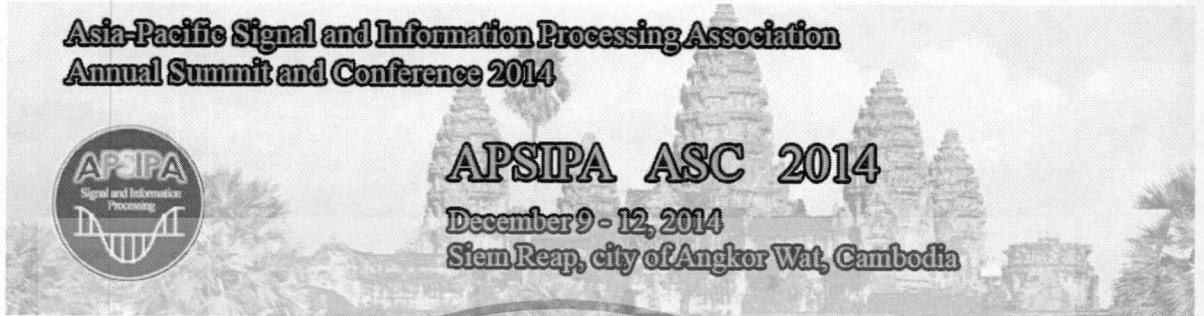
ตารางที่ ก.10 ค่า weight ของพารามิเตอร์โดยใช้วิธี Kohonen network สำหรับการทำ cross validation กรณีที่ 5 ที่ค่า iterations เท่ากับ 10

weight	พารามิเตอร์		
	Mass (Kg)	Damper (Kg/s)	Spring (N/m)
W_A	21.8186	48.6099	22.5851
W_B	13.1297	37.3749	23.5398
W_C	6.2684	6.9907	5.5629
W_D	11.1463	14.8902	3.7928



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
บทความที่ได้ตีพิมพ์



Home
Call for Papers
Submission
Camera-Ready Submission
Program
Program Agenda
Keynote's Speaker
Tutorials
Plenary Overview 1
Plenary Overview 2
Special Sessions
Forum
Presentation Guidelines
Registration
Single Registration
Group Registration
Committee
Information
Venue
About Siem Reap, city of Angkor Wat
International Transportation
Hotel
Sponsors
Patrons
Visa Information

Announcement:

(27/10/2014) - Important: All authors must submit the emails from IEEE PDF Express to the Camera-ready submission system by ** 31 October, 2014 ** to ensure that your papers are included in IEEE Explore.

(27/10/2014) - The presentation guidelines have been updated.

(16/10/2014) - The Technical Program is now available.

(10/10/2014) - Announcement: The Technical Program will be available early next week.

(17/09/2014) - Since the deadline of registration for authors approaches closely, I would like to gently remind all authors to register at least one regular for covering your papers by September 26, 2014 as the deadline. Otherwise, your papers might not be included in the proceedings. On behalf of the organizing committee of APSIPA 2014, I appreciate the contributions and corporations of all authors.

(11/09/2014) - The participants of APSIPA 2014 can now apply for special room rate.

(25/08/2014) - All Acceptance/Rejection Results have been sent out to all authors, if you have not received the emails, please contact secretary@apsipa2014.org

(29/08/2014) - All accepted Special Session papers are for "Oral presentation" only, if the authors input the "Poster" type, it will be changed automatically to "Oral."

(29/08/2014) - The Camera-ready submission link will be available from ** 1-26 ** Sept., 2014. Please go to Camera-ready menu.

Message to all participants

General:

In currency, people in Siem Reap prefer US dollar (or Thai baht as second choice) to Cambodian Real so that it is better to prepare US dollar, especially small amount of banknotes like 1 dollar, 5 dollar, and 10 dollar banknotes. The change will be returned to you by Cambodian Real. Actually during your Siem Reap stay, you can survive by only US dollar, and you absolutely do not need to exchange your US dollar money to Cambodian Real.

Taxi:

There is no taxi in Siem Reap, the local people normally use tricycle called "Tuk Tuk" as taxi. If you want to use it, you have to negotiate the price. It is actually convenient to use Tuk Tuk for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Development of Smart Gripper For Identification of Grasped Objects

Nisit Kiwatthana¹ and Somyot Kaitwanidvilai^{*}

¹College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

E-mail: residentwanderer@gmail.com

^{*}Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

E-mail: drsomyotk@gmail.com

Abstract—Force control is one of the most important schemes in many industrial applications, especially in painting and grasping tasks. In practice, the proper control parameters in force controller is not easy because the performance of entire system does not only depend on the actuator dynamic, but also the environment and grasped object. In addition, several applications need to use the force control system for grasping various types of the object, this results in the dynamic change and poor performance in nature. To deal with this problem, the fast dynamic identification using a pair of input and output data is proposed to identify the plant dynamic of the force control system. The position and force are collected and used for the structured dynamic identification. Predefined clusters determined from several data sets of different objects are evaluated using K-means clustering. As seen in the experimental results, the proposed gripper system can identify the object group correctly.

I. INTRODUCTION

In industrial applications, there are many methods to classify the pre-defined types of the objects such as image processing, roughness of surface, the shape of the object, etc. In several applications, the classification by observing only the physical properties cannot be achieved. Mechanical properties such as damping coefficient, mass, spring are also an alternative choice for using in classification process; however, these parameters need force and position sensors for the classification. In fact, in the industrial automation system, force and position sensors are normally installed in the system for control purpose. To enhance the ability of classification and gripper, this research focuses on the development of smart gripper which can identify the type of the grasped object using sensory data, i.e. force and position. Many researches regarding the object classification and robotic systems, were proposed to enhance the ability of autonomous system [1-10]. The classification of the objects by analyzing of the direction of touch, temperature, roughness of the surface, etc. were proposed [1-10]. In [1], the identification of the target by applying exploratory procedures (EPs) to analyze force and direction, including the temperature were proposed. The results of the object classification results are

better consistent with the proposed technique [1]. Classification of objects by sliding the robotic fingers along the surface were presented in [2]. In this paper [2], the analysis of frictional properties using the K-NN (K mean-Neural Network) classification were proposed. The 88.5% accuracy of the features of the 12 different surface models can be achieved [2]. Moreover, this technique was applied to the feet of the robot for classifying the type of floor areas in humanoid robot applications [3]. In [4], tactile sensors were designed to provide higher information, i.e. 3D force model. In this paper, dynamic 3D force mapping was presented. This technique can be used in the object classification.

One of the most important parameters in mechanical properties of the grasped object is the system dynamic parameter. Mass, spring and damper coefficients are well known as a good dynamic descriptor for the object. Mass-Spring-Damper system is typically used in many characterization studies such as the vibration of the system [5-6], the modeling of the object dynamic, the collision study of the car simulation model [7], etc. In addition, the mass-spring-damper system is typically used to model the dynamic in control-system application, power system modeling (mechanical parts of the generator, etc.) [8-9]. In [11], the demonstration of classification by using mechanical properties of the objects and the k-nearest neighbor algorithm (k-NN) was proposed [11]. The data was sensed from a tactile sensor array (skin) covering the robot's forearm. The development of the robot to be close to the human finger were shown in [12-13]. In [14], the analysis and experiments to define the object stiffness using an optical three-axis tactile sensor were presented. As seen in this paper, the improvement of dexterous grasping tasks in robotic fingers can be achieved [14]. In [15], the classification of the objects using a novel tactile-array sensor attached on the robot grippers was proposed. The developed sensor is based on the flexible piezo-resistive rubber. In [16], both designed model and simultaneous control of the motion and deformation of soft object was developed. The proposed technique uses the symmetric linear mass-damper-spring model to analyze the dynamical behavior [16].

This research focuses on the development of the smart gripper

using the classification of the objects by assuming the system as the Mass-Spring-Damper system. The signal data from the force and position sensors are used in the identification process to identify the parameter in pre-defined transfer function. ARX or AR model is adopted for the parameter estimation and the classification of data is done by K-means clustering methods. In our experiment, the various cans are used as the grasped objects which the developed smart gripper can identify the type of can correctly. Only 3 samples of data are enough for the identification and classification, and the controller can identify the object group correctly. This means that the proposed system is able to apply in real-time application in the future work.

II. THEORIES

A. Mass-Spring-Damper system

Mass-Spring-Damper system is a fundamental principle that has been widely used to explain both simple and complex systems to understand the mechanical model easily. In this system, the dynamic model can be described by three parameters, i.e., mass M (kg), spring constant k (N/m) and the damping coefficient b (N s/m). The spring constant serves to restore the position of the mass to return to the balanced position as the original. The damper force, which has the direction opposite to the vibrating force, is proportional to the speed of the system. The structure of mass-spring-damper system is shown in the following diagrams.



Fig.1 The diagram of the mass-spring-damper system.

By the analysis of force equations, the dynamic model of a mass-spring-damper system can be described as the following transfer function:

$$F = ms^2 X(s) + bsX(s) + kX(s) \quad (1)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k} \quad (2)$$

Where F is the force and $x[m]$ is the displacement from the mass center to the reference point. m , b and k are mass, spring and damper coefficients, respectively.

B. System identification

In practice, system models can be identified or generated using three ways, those are, 1. Synthesis of mathematics, 2. Analysis of the model, 3. Using actual data. In many cases, estimation of the model parameters from using pure mathematical equations and several experimental setups is not

feasible because this process is normally difficult and time consuming. In addition, many uncertain factors are not included in the mathematical model. To overcome this problem, the identification process by using several input-output pair data was proposed [17]. There are two types of this scheme, i.e. gray box and black box methods. In the gray box approach, pre-defined structure of the system is known while the system parameters are unknown. In contrary, in the black-box approach, both system structure and parameters are unknown. In this study, we applied the real sensory data from the robot encoders and the force sensors to be used in the model. To estimate the system parameters, the pre-defined dynamic in (2) is adopted and the standard model, ARX, is used as the estimating equation. The equation of ARX is shown in (3). Fig. 2 shows the typical model of ARX.

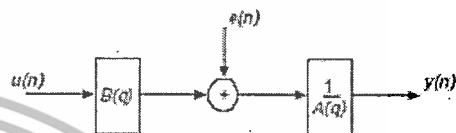


Fig. 2 ARX Model Structure

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \quad (3)$$

Where $y(t)$ is the output (position), $u(t)$ is the input (force), B and A are the coefficient of the dynamic parameters, and $e(t)$ is the error.

In discrete form, the equation in (3) can be converted to:

$$Y(z) = \frac{B(z)U(z)}{A(z)} + \frac{E(z)}{A(z)} \quad (4)$$

Based on (3), to determining the transfer function of the system using ARX model and gray-box modeling, the following parameters need to be assigned.

n_a = Order of the polynomial $A(q)$.

n_b = Order of the polynomial $B(q) + 1$.

n_k = Input-output delay expressed as fixed leading zeros of the B polynomial.

In this research, the parameters in (4) are the coefficient of terms B and A . The system is single-input single-output (SISO) system which the output is the position while the input is force.

C. K-Means Clustering

Clustering using K-means clustering technique is a well known technique for classification approach. This technique can automatically classify the group of data into subgroups when the number of data is very large. The algorithm in K-means clustering technique is simple and flexible by adjusting the mean of group data to minimize the distance from the

center of the group. This process is done iteratively and the mean value of the new group will be calculated in the next iteration. This process is repeated until the middle of the group, no change or achieving a defined number of cycles. Parameters used in K-means-clustering technique to be quantitative variable must be interval-scale or rational-scale.

Followings show the steps for K-means clustering method.

Given the number of groups k , the k-means algorithm is implemented in four steps:

1. Partition the objects into k nonempty subsets
2. Compute the seed points as the centroids of the clusters of the current partitioning (the centroid is the center, i.e., the mean value of the cluster)
3. Assign each object to the cluster with the nearest seed point
4. Go back to Step 2, stop when the assignment does not change

An example of K-Means Clustering is described in Fig. 3.

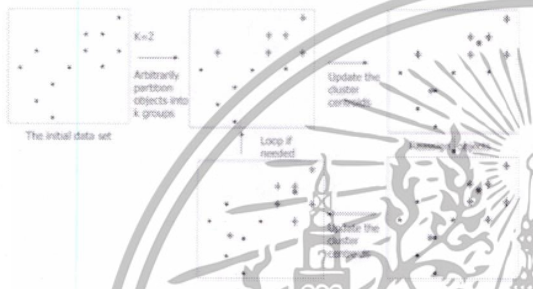


Fig. 3 Technical process of K-means

III. EXPERIMENTAL RESULTS

In our study, several commercial cans with liquid were used as the test object. Fig. 4 shows the samples used in our study. The smart gripper and robot adopted in our experiment are shown in Fig. 5. Epson robot with 20 μm accuracy and force sensors were used in our experimental setup. High accuracy encoder and force were installed on the developed gripper. Fig. 5 shows the experimental setup, robot arm and developed gripper in our study.

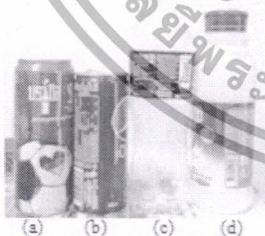


Fig. 4. Photo of the test objects.

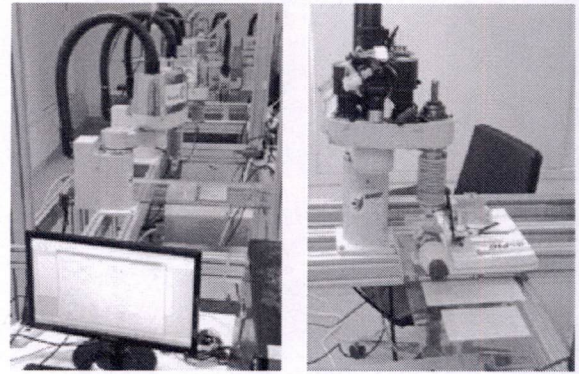


Fig. 5 Experimental setup

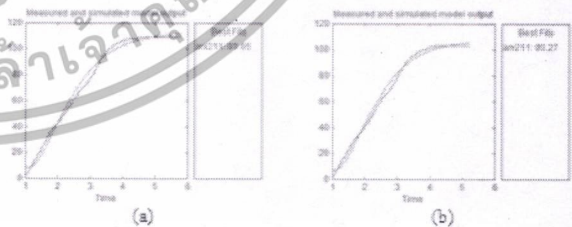
In our study, the process of identification of the smart gripper can be divided into two phases:

Training phase: in this phase, we applied the standard samples (objects) to identify the standard group parameter. In this phase, the arbitrary force command was applied to the gripper and the input/output pair data were collected. To ensure the robustness of the model, the experiments were repeated 10 times for each object. When all data were recorded, the system identification was applied to find the parameters of each data set. Fig. 6 shows an example of input-output pair data. Signal data from the encoder of the motor and the force sensor are plotted in this figure.



Fig. 6. Examples of input/output pair data

In our study, we configured the orders in ARX model as $n_d = 2$, $n_s = 1$, $n_k = 1$. This configuration makes the structure as shown in (2). By using the standard system identification, the model parameters, i.e., m , δ , and k of each data set can be achieved. Examples of fitted data to verify the accuracy of identified model are shown in Fig. 7. As seen in this figure, more than 80% fitting accuracy of the model can be achieved.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

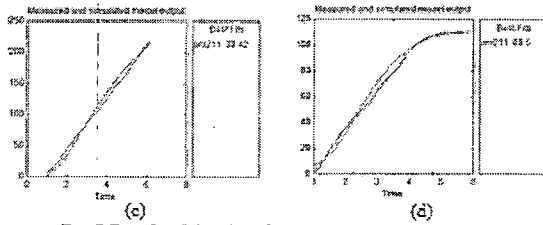


Fig. 7 Best fit of the identification process for 4 objects.

The parameters of four types of objects from all experiments are shown in the appendix of this paper. The classification results of all test data are shown in the following table. As seen in this table, the object is identified correctly.

Table 1: Classification results from K-means and identified parameters.

Group	A	B	C	D
Sample No.				
1	3	2	4	1
2	3	2	4	1
3	3	2	4	1
4	3	2	4	1
5	3	2	4	1
6	3	2	4	1
7	3	2	4	1
8	3	2	4	1
9	3	2	4	1
10	3	2	4	1

The following figure shows the plot of all data from the identification process. As seen in this figure, the data are grouped into 4 groups which each group has 10 sets of data. Clearly, the means from K-means can classify the group of industrial cans. The axes represent the value of mass, spring and damper.

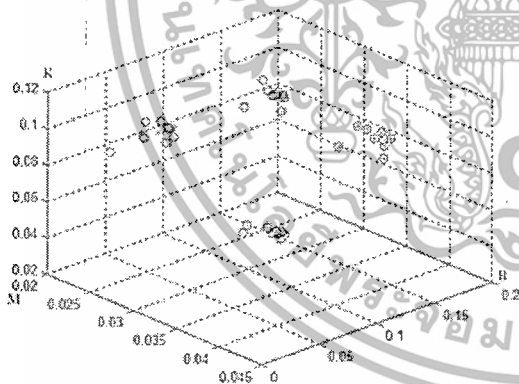


Fig. 8 Scattering plots of mechanical parameters of the objects.

Testing or operating phase: In this period, we applied the other samples of pre-defined objects. 30 samples were applied to the proposed gripper for ensuring the effectiveness of the our developed system. The percentage of accuracy of the classification is 100%.

IV. CONCLUSIONS

As seen in the experimental results, the classification of the grasped object using the developed smart gripper is feasible. By combining the system identification and K-mean clustering method, the classification of the commercial cans can be achieved. In our results, the model of ARX is used as the standard model and the accuracy of identified model is between 84% - 92.08%; these results verify the effectiveness of the proposed system identification using the sensor data. As seen in scattering data in Fig. 8, the mechanical properties of each object type are significantly different. By applying the K-mean clustering, the groups of the objects can be classified correctly. Future work is using Kohonen's network approach.

APPENDIX

Table A.1 Parameters and % best fit of the object type A.

No.	m	b	k	Best fit
1	0.036819	0.126951	0.095066	89.63
2	0.040096	0.139646	0.106474	91.44
3	0.037187	0.140916	0.103622	88.75
4	0.040201	0.139519	0.099819	85.17
5	0.040869	0.142183	0.103812	88.93
6	0.040201	0.138377	0.103827	88.66
7	0.041237	0.133299	0.096017	90.54
8	0.040133	0.142183	0.104573	91.44
9	0.03886	0.138377	0.103323	86.96
10	0.040206	0.133299	0.104478	89.36

Table A.2 Parameters and % best fit of the object type B.

No.	m	b	k	Best fit
1	0.027056	0.117505	0.09954	90.27
2	0.029762	0.131606	0.103399	92.07
3	0.030032	0.12808	0.100535	89.37
4	0.029745	0.12338	0.109494	85.75
5	0.029545	0.128315	0.110489	89.54
6	0.029484	0.127963	0.108698	89.27
7	0.027837	0.131806	0.111483	91.17
8	0.030303	0.12808	0.108499	92.08
9	0.029491	0.12338	0.109494	87.56
10	0.028409	0.128315	0.108698	90.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table A.3 Parameters and % best fit of the object type C.

No.	m	b	k	Best fit
1	0.027964	0.110291	0.033893	88.42
2	0.03076	0.123526	0.036909	90.19
3	0.03104	0.120217	0.034232	87.53
4	0.030732	0.115806	0.037282	83.99
5	0.030557	0.120438	0.037621	87.71
6	0.030453	0.130107	0.037282	87.44
7	0.028244	0.111394	0.03796	89.30
8	0.03132	0.12132	0.036943	90.19
9	0.030481	0.122423	0.035588	85.76
10	0.029362	0.13121	0.037011	88.33

Table A.4 Parameters and % best fit of the object type D.

No.	m	b	k	Best fit
1	0.021617	0.07099	0.082231	88.6
2	0.024211	0.078089	0.086543	90.37
3	0.023563	0.078799	0.089796	87.71
4	0.022698	0.078018	0.092099	84.17
5	0.023606	0.077521	0.089652	87.89
6	0.023541	0.077308	0.090454	87.62
7	0.021833	0.0717	0.091276	89.48
8	0.023779	0.079509	0.090372	90.37
9	0.023995	0.077379	0.08955	85.94
10	0.023757	0.07454	0.085053	88.31

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by CALComp Company and DSTAR.

REFERENCES

- [1] S. E.M. Jansen, W. M. Bergmann Tiest, and A. M.L. Kappers, "Identifying Haptic Exploratory Procedures by Analyzing Hand Dynamics and Contact Force," *IEEE Trans. on Haptics*, vol. 6, no. 4, October-December 2013.
- [2] H. Liu, X. Song, J. Bimbo, L. Seneviratne and K. Althofer, "Surface Material Recognition through Haptic Exploration using an Intelligent Contact Sensing Finger," *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, October 7-12, 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal.
- [3] M. A. Hoepfinger, C. D. Remy, M. Hutter, L. Spinello, and R. Siegwart, "Haptic Terrain Classification for Legged Robots," *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation Anchorage Convention District*, May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA.
- [4] G. Vésárhelyi, M. Adám, Cs. Dúcsó, I. Bárony, A. Kis, "Integrated Tactile System for Dynamic 3D Contact Force Mapping", *Sensors*, 2008 *IEEE*, 26-29 October 2008.
- [5] F. B. Carbajal, G. S. Navarro, B. V. Gonzalez, "Active Vibration Absorption of Multi-Frequency Harmonic Forces on Mass-Spring-Damper Systems," *Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2011 *5th International Conference on*, 26-28 October 2011.
- [6] I. Ladipo, A. G.A. Muthalif, A. Rozsime, A. Asyraf, "Design and development of an active mass damper for broadband vibration control," *14th International Conference on Mechatronics (ICOM)*, 17-19 May 2011, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [7] B. B. Muzyzikwiye, H. R. Karimi, K. G. Robbersmyr, "Mathematical Modeling of Vehicle Frontal Crash by a Double Spring-Mass-Damper Model," *2013 XXIV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT)*, October 30 - November 01, 2013, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- [8] K.-Y. Chen, M.-S. Huang, R.-F. Fung, "The comparisons of minimum-energy control of the Mass-Spring-Damper system," *Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, June 21-25 2011, Taipei, Taiwan.
- [9] Z. X.-ping, Q. Z. Hong, C. Yu-shu, L. Sheng-chun, "Research on the Power and Anti-vibration Characteristics of Damper," *Power Engineering and Automation Conference (PEAM)*, 2011 *IEEE*, vol. 3, 8-9 Sept. 2011.
- [10] W. Cai, S. Chen, and D. Zhang, "A Multiobjective Simultaneous Learning Framework for Clustering and Classification," *IEEE Trans on Neural Networks*, vol. 21, no. 2, February 2010.
- [11] T. Bhattacharjee, J. M. Rehg, and C. C. Kemp, "Haptic Classification and Recognition of Objects Using a Tactile Sensing Forearm," *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2012 *IEEE/RSJ International Conference on*, October 7-12 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal.
- [12] D. S. Chaturanga, V. A. Ho and S. Hirai, "Investigation of a Biomimetic Fingertip's Ability to Discriminate Fabrics Based on Surface Textures," *Advanced Intelligent Mechanisms (AIM)*, 2013 *IEEE/ASME International Conference on*, July 9-12 2013, Wollongong, NSW, Australia.
- [13] D. S. Chaturanga, Z. W. V. A. Ho, A. Mitani, and S. Hirai, "A Biomimetic Soft Fingertip Applicable to Haptic Feedback Systems for Texture Identification," *A Biomimetic Soft Fingertip Applicable to Haptic Feedback Systems for Texture Identification*, October 26-27 2013, Istanbul.
- [14] H. Yussor and M. Ohka, "Application of Stiffness Control Algorithm for Dexterous Robot Grasping using Optical Three-Axis Tactile Sensor System," *Haptic Audio Virtual Environments and Games (HAVE)*, 2013 *IEEE International Symposium on*, Nov. 9-11 2009, Istanbul.
- [15] A. Drunus and G. Kootstra, Arne Bilberg and Danica Kragic, "Classification of Rigid and Deformable Objects Using a Novel Tactile Sensor," *Advanced Robotics (ICAR)*, 2011 *15th International Conference on*, June 20-23 2011, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia.
- [16] M. Shibata and S. Hirai, "Soft object manipulation by simultaneous control of motion and deformation," *Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on*, May 15-19 2006, Orlando, Florida.
- [17] L. Jung, *System Identification: Theory for the User*, 2nd edition. New Jersey: Prentice-Hall; 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการทดลอง

ชุดคำสั่งตัวอย่างวิธีการจัดกลุ่มด้วยวิธีKohonen network

```
%Kohonen Self Organizing Maps
```

```
clc;
```

```
closeall;
```

```
clear;
```

```
%All Data
```

```
a1=[22.43662 49.51761 22.52636];
```

```
a2=[17.01548 45.09103 23.85571];
```

```
a3=[18.77229 45.78562 22.7520];
```

```
a4=[19.83733 46.41936 21.94009];
```

```
a5=[24.15459 50.21739 21.00483];
```

```
a6=[28.19284 55.117 22.11164];
```

```
a7=[20.89427 47.70163 23.08817];
```

```
a8=[19.68504 46.14173 22.69685];
```

```
a9=[21.45462 48.5089 22.69899];
```

```
a10=[20.6868 47.41415 22.36243];
```

```
b1=[11.95314 33.28951 20.65503];
```

```
b2=[12.72588 35.79791 23.07203];
```

```
b3=[11.49954 36.46504 25.597976];
```

```
b4=[14.94322 40.6306 24.47699];
```

```
b5=[14.81481 41.80741 26.35556];
```

```
b6=[11.63603 35.03607 22.73679];
```

```
b7=[13.06165 37.25183 22.88401];
```

```
b8=[13.33333 37.85333 24.26667];
```

```
b9=[13.38151 37.66894 24.0198];
```

```
b10=[13.64256 38.15825 23.47885];
```

```
c1=[2.115954 6.921286 5.594583];
```

```
c2=[6.455778 10.45836 4.221433];
```

```
c3=[3.347841 8.453298 5.336458];
```

```
c4=[2.985075 7.8 5.095522];
```

```
c5=[10.63717 4.984576 5.712158];
```

```
c6=[3.36587 8.303601 5.119488];
```

```
c7=[4.215852 9.106239 4.919899];
```

```
c8=[7.77605 3.291602 6.755054];
```

```
c9=[9.813543 4.338567 6.459274];
```

```
c10=[5.11509 9.795396 4.611253];
```

```
d1=[10.1616 14.05345 3.862412];
```

```
d2=[13.44267 16.01022 3.211453];
```

```
d3=[16.0591 17.52048 2.975751];
```

```
d4=[11.01928 13.05785 1.99449];
```

```
d5=[12.90323 15.85806 3.427097];
```

```
d6=[16.52346 17.81229 2.764375];
```

```
d7=[10.7273 14.99678 4.027033];
```

```
d8=[13.01236 16.27846 3.699414];
```

```
d9=[8.561644 13.24486 4.220034];
```

```
d10=[9.259259 13.59259 3.927778];
```

```
%K-Fold Cross Validation (Test 10%) per (Train 90%)
```

```
train=[a2;b2;c2;d2;a3;b3;c3;d3;a4;b4;c4;d4;a5;b5;c5;d5;a6;b6;c6;d6;a7
```

```
;b7;c7;d7;a8;b8;c8;d8;a9;b9;c9;d9;a10;b10;c10;d10];
```

```
test=[a1;b1;c1;d1];
```

```
%Determine Dimension Matrix
```

```
เอก[ptrn,ctr]=size(train);
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

[rte,cte]=size(test);
ir=1:rtr;
ie=1:rte;
j=1:ctr;
%Data x For Training
x=train(ir,j);
%Data y For Testing
y=test(ie,j);
disp('Test_Set');
disp(y);
%Initial Weight Matrix
minc1=min(x(ir,1));
maxc1=max(x(ir,1));
minc2=min(x(ir,2));
maxc2=max(x(ir,2));
minc3=min(x(ir,3));
maxc3=max(x(ir,3));
net = newc([minc1 maxc1; minc2 maxc2; minc3 maxc3],4);
w = net.IW{1,1};
disp('Initial weight matrix');
disp(w);
%Learning Rate
alpha=0.1;
lr=0.1;
%Epochs
n=1;
disp('Epochs');
disp(n);
disp('Learning Rate');
disp(alpha);
%Training Weight
con=1;
while con
%Starting Time Process
tic
for epoch=1:n
forir=1:rtr
for k=1:4
D(k,:)=sqrt(((w(k,1)-x(ir,1)).^2)+((w(k,2)-
x(ir,2)).^2)+((w(k,3)-x(ir,3)).^2));
end
for a=1:4
if D(a)==min(D);
A=a;
end
end
w(A,j)=w(A,j)+alpha*(x(ir,j)-w(A,j));
end
alpha=0.5*alpha;
end
%Testing Parameter
wte=w;
forie=1:rte
for k=1:4
D(k,:)=sqrt(((wte(k,1)-y(ie,1)).^2)+((wte(k,2)-
y(ie,2)).^2)+((wte(k,3)-y(ie,3)).^2));
end
for a=1:4
if D(a)==min(D);
A=a;
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end
ci(:,ie)=A;
end
%Accuracy
count1 = 0;
count2 = 0;
count3 = 0;
count4 = 0;
for r=1:length(ci)
element = ci(r);
if element == 1;
count1 = count1 + 1;
elseif element == 2;
count2 = count2 + 1;
elseif element == 3;
count3 = count3 + 1;
elseif element == 4;
count4 = count4 + 1;
end
end
ci1=abs(count1-(length(ci)/4));
ci2=abs(count2-(length(ci)/4));
ci3=abs(count3-(length(ci)/4));
ci4=abs(count4-(length(ci)/4));
cisum=(ci1+ci2+ci3+ci4)/2;
accuracy=((length(ci)-cisum)/length(ci))*100;
%Check Accuracy
if n>=11
disp('Weight Matrix After n Epoch');
disp(wte);
disp('Class Index');
disp(ci);
disp('Accuracy');
disp(accuracy);
con=0;
elseif n==100
disp('Weight Matrix After n Epoch');
disp(wte);
disp('Class Index');
disp(ci);
disp('Accuracy');
disp(accuracy);
con=0;
elseif lr>=1.4
%Reset alpha To Initial Value
alpha=0.1;
lr=0.1;
%Reset w To Initial Value
w = net.IW{1,1};
disp('Weight Matrix After n Epoch');
disp(wte);
disp('Class Index');
disp(ci);
disp('Accuracy');
disp(accuracy);
n=n+1;
disp('Epochs');
disp(n);
disp('Learning Rate');
disp(alpha);
%Starting Time Process

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

tic
else
    %Change Learning Rate Alpha
    lr=lr+0.1;
    alpha=lr;
    disp('Weight Matrix After n Epoch');
    disp(wte);
    disp('Class Index');
    disp(ci);
    disp('Accuracy');
    disp(accuracy);
    %End of Process
    toc
    disp('Epochs');
    disp(n);
    disp('Learning Rate');
    disp(alpha);
    %Reset w To Initial Value
    w = net.IW{1,1};
end
end
%End of Process
toc

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดคำสั่งตัวอย่างวิธีการจัดกลุ่มด้วยวิธีK-mean Clustering

```
%K-mean clustering
clc;
closeall;
clear;
%All Data
a1=[22.43662 49.51761 22.52636];
a2=[17.01548 45.09103 23.85571];
a3=[18.77229 45.78562 22.7520];
a4=[19.83733 46.41936 21.94009];
a5=[24.15459 50.21739 21.00483];
a6=[28.19284 55.117 22.11164];
a7=[20.89427 47.70163 23.08817];
a8=[19.68504 46.14173 22.69685];
a9=[21.45462 48.5089 22.69899];
a10=[20.6868 47.41415 22.36243];
b1=[11.95314 33.28951 20.65503];
b2=[12.72588 35.79791 23.07203];
b3=[11.49954 36.46504 25.597976];
b4=[14.94322 40.6306 24.47699];
b5=[14.81481 41.80741 26.35556];
b6=[11.63603 35.03607 22.73679];
b7=[13.06165 37.25183 22.88401];
b8=[13.33333 37.85333 24.26667];
b9=[13.38151 37.66894 24.0198];
b10=[13.64256 38.15825 23.47885];
c1=[2.115954 6.921286 5.594583];
c2=[6.455778 10.45836 4.221433];
c3=[3.347841 8.453298 5.336458];
c4=[2.985075 7.8 5.095522];
c5=[10.63717 4.984576 5.712158];
c6=[3.36587 8.303601 5.119488];
c7=[4.215852 9.106239 4.919899];
c8=[7.77605 3.291602 6.755054];
c9=[9.813543 4.338567 6.459274];
c10=[5.11509 9.795396 4.611253];
d1=[10.1616 14.05345 3.862412];
d2=[13.44267 16.01022 3.211453];
d3=[16.0591 17.52048 2.975751];
d4=[11.01928 13.05785 1.99449];
d5=[12.90323 15.85806 3.427097];
d6=[16.52346 17.81229 2.764375];
d7=[10.7273 14.99678 4.027033];
d8=[13.01236 16.27846 3.699414];
d9=[8.561644 13.24486 4.220034];
d10=[9.259259 13.59259 3.927778];
train=[a2;b2;c2;d2;a3;b3;c3;d3;a4;b4;c4;d4;a5;b5;c5;d5;a6;b6;c6;d6;a7;
;b7;c7;d7;a8;b8;c8;d8;a9;b9;c9;d9;a10;b10;c10;d10];
test=[a1;b1;c1;d1];
%Starting Time Process
tic
%Determine Dimension Matrix
[rtr,ctr]=size(train);
[rte,cte]=size(test);
ir=1:rtr;
ie=1:rte;
j=1:ctr;
[cidx, ctrs]=kmeans(train(:,1:3), 4);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

disp('cidx');
disp(cidx);
disp('ctrs');
disp(ctrs);
wte=ctrs;
forie=1:rte
for k=1:4
    D(k,:)=sqrt(((wte(k,1)-test(ie,1)).^2)+((wte(k,2)-
test(ie,2)).^2)+((wte(k,3)-test(ie,3)).^2));
end
for a=1:4
if D(a)==min(D);
    A=a;
end
end
ci(:,ie)=A;
end
disp('Class Index');
disp(ci);
%Accuracy
count1 = 0;
count2 = 0;
count3 = 0;
count4 = 0;
for r=1:length(ci)
element = ci(r);
if element == 1;
    count1 = count1 + 1;
elseif element == 2;
    count2 = count2 + 1;
elseif element == 3;
    count3 = count3 + 1;
elseif element == 4;
    count4 = count4 + 1;
end
end
ci1=abs(count1-(length(ci)/4));
ci2=abs(count2-(length(ci)/4));
ci3=abs(count3-(length(ci)/4));
ci4=abs(count4-(length(ci)/4));
cisum=(ci1+ci2+ci3+ci4)/2;
accuracy=((length(ci)-cisum)/length(ci))*100;
disp('Accuracy');
disp(accuracy);
%End of Process
toc

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รายละเอียดมอเตอร์ SERVO ของหุ่นยนต์ EPSON

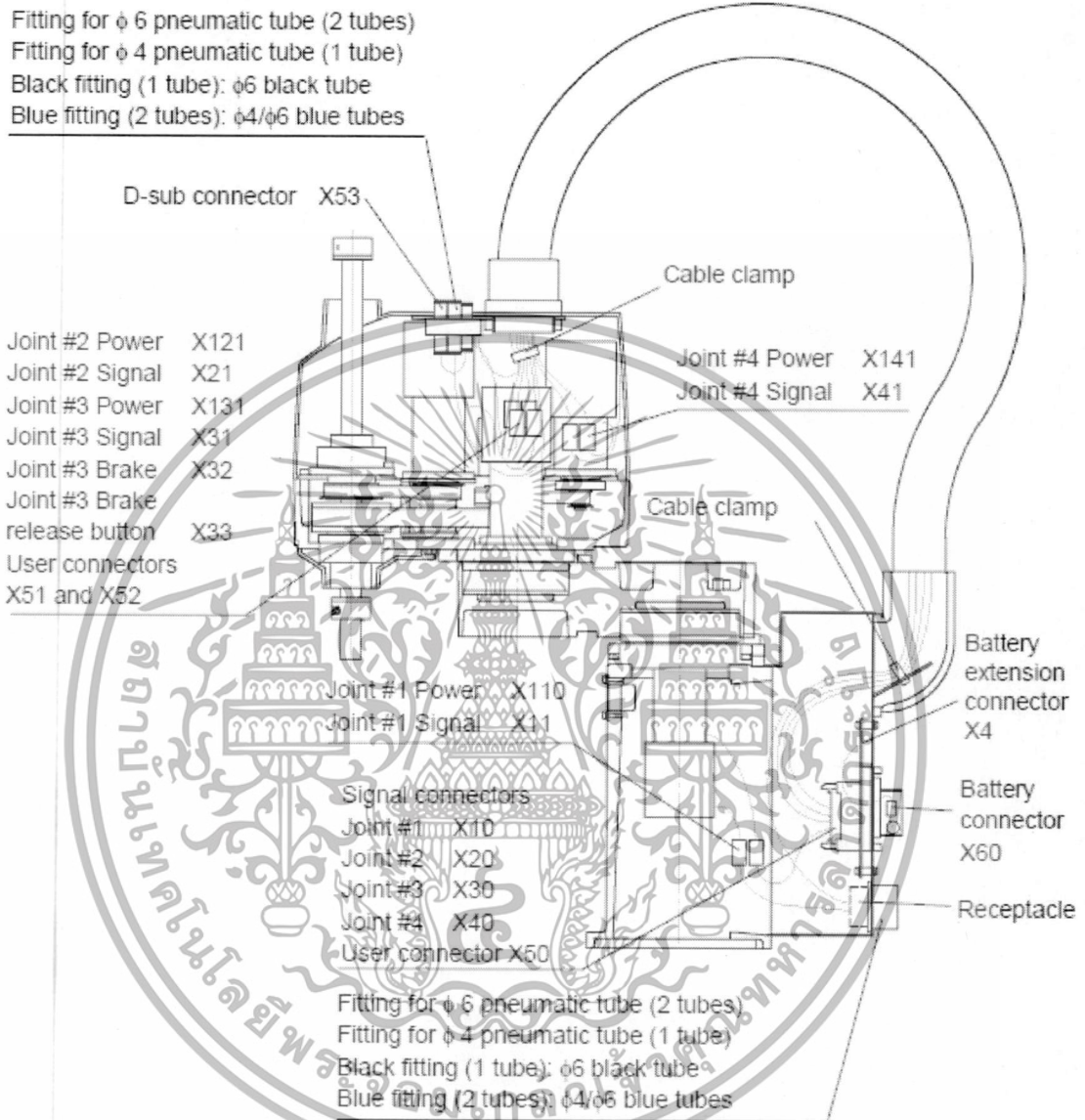
EPSON



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wiring Schematics

When removing the cable unit, remove the connectors inside the arm top cover and the base. The following figures show the wiring layout.



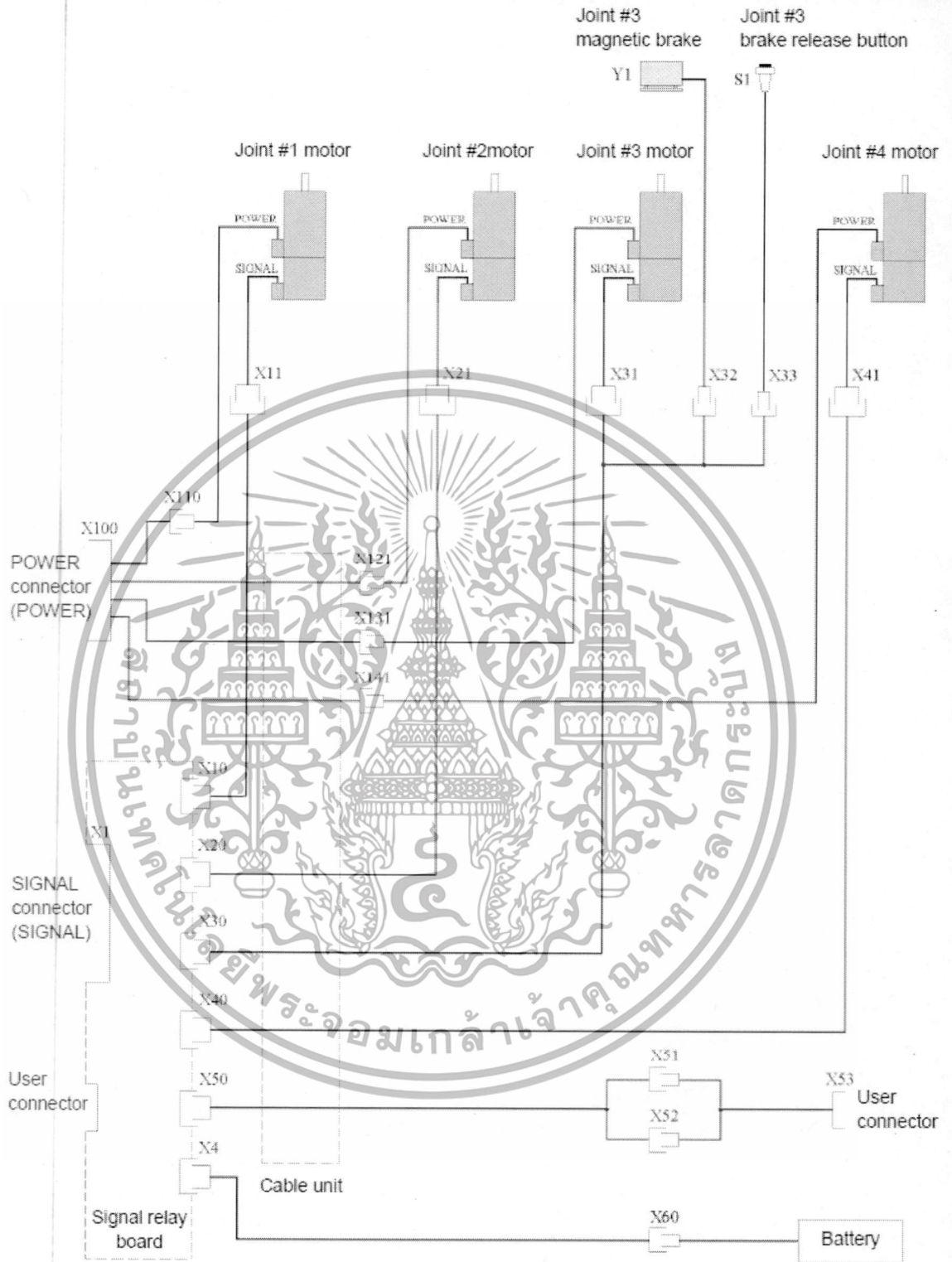
NOTE



For details of wiring, refer to *Part 2: 4.4 Block Diagrams* and *Part 2: 4.5 Connector Pin Assignment*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connector Pin Assignment

X10 Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1A	FGND	GRN shield
1B	N.C.	
2A	1A	BLU / (WHT) X11-1
2B	1A	WHT / (BLU) X11-2
3A	1B	YLW / (WHT) X11-3
3B	1B	WHT / (YLW) X11-4
4A	1Z	GRN / (WHT) X11-5
4B	1Z	WHT / (GRN) X11-6
5A	1S *	RED / (WHT) X11-7
5B	1S *	WHT / (RED) X11-8
6A	ENC+5V	PPL / (WHT) X11-12
6B	EGND	WHT / (PPL) X11-13
7A	BAT+	BLU / (BRN) X11-9
7B	BAT-	BRN / (BLU) X11-10
8A	RES	YLW / (BRN) X11-11
8B	N.C.	
9A	N.C.	
9B	N.C.	
10A	N.C.	
10B	N.C.	
11A	N.C.	
11B	N.C.	
12A	N.C.	
12B	N.C.	
13A	N.C.	
13B	N.C.	

X11 Motor Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1	1A	BLU / (WHT)
2	1A	WHT / (BLU)
3	1B	YLW / (WHT)
4	1B	WHT / (YLW)
5	1Z	GRN / (WHT)
6	1Z	WHT / (GRN)
7	1S *	RED / (WHT)
8	1S *	WHT / (RED)
9	BAT+	BLU / (BRN)
10	BAT-	BRN / (BLU)
11	RES	YLW / (BRN)
12	ENC+5V	PPL / (WHT)
13	EGND	WHT / (PPL)
14	FGND	GRN

Joint #1
motor
encoder
(SIGNAL)

* For Manipulators whose serial number starts with "1" their motors do not have S-channel signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X20 Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1A	FGND	GRN
1B	N.C.	
2A	2A	BLU / (WHT) X21-1
2B	2 \bar{A}	WHT / (BLU) X21-2
3A	2B	YLW / (WHT) X21-3
3B	2 \bar{B}	WHT / (YLW) X21-4
4A	2Z	GRN / (WHT) X21-5
4B	2 \bar{Z}	WHT / (GRN) X21-6
5A	2S *	RED / (WHT) X21-7
5B	2 \bar{S} *	WHT / (RED) X21-8
6A	ENC+5V	PPL / (WHT) X21-12
6B	EGND	WHT / (PPL) X21-13
7A	BAT+	BLU / (BRN) X21-9
7B	BAT-	BRN / (BLU) X21-10
8A	RES	YLW / (BRN) X21-11
8B	N.C.	
9A	N.C.	
9B	N.C.	
10A	N.C.	
10B	N.C.	
11A	N.C.	
11B	N.C.	
12A	N.C.	
12B	N.C.	
13A	N.C.	
13B	N.C.	

X21 Motor Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1	2A	BLU / (WHT)
2	2 \bar{A}	WHT / (BLU)
3	2B	YLW / (WHT)
4	2 \bar{B}	WHT / (YLW)
5	2Z	GRN / (WHT)
6	2 \bar{Z}	WHT / (GRN)
7	2S *	RED / (WHT)
8	2 \bar{S} *	WHT / (RED)
9	BAT+	BLU / (BRN)
10	BAT-	BRN / (BLU)
11	RES	YLW / (BRN)
12	ENC+5V	PPL / (WHT)
13	EGND	WHT / (PPL)
14	FGND	GRN

Joint #2
motor
encoder
(SIGNAL)

* For Manipulators whose serial number starts with "1", their motors do not have S-channel signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X30 Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1A	FGND	GRN shield
1B	N.C.	
2A	3A	BLU / (WHT) X31-1
2B	$\overline{3A}$	WHT / (BLU) X31-2
3A	3B	YLW / (WHT) X31-3
3B	$\overline{3B}$	WHT / (YLW) X31-4
4A	3Z	GRN / (WHT) X31-5
4B	$\overline{3Z}$	WHT / (GRN) X31-6
5A	3S *	RED / (WHT) X31-7
5B	$\overline{3S}$ *	WHT / (RED) X31-8
6A	ENC+5V	PPL / (WHT) X31-12
6B	EGND	WHT / (PPL) X31-13
7A	BAT+	BLU / (BRN) X31-9
7B	BAT-	BRN / (BLU) X31-10
8A	RES	YLW / (BRN) X31-11
8B	N.C.	
9A	N.C.	
9B	N.C.	
10A	BRK.SW	BRN / (YLW) X33-2
10B	N.C.	
11A	N.C.	
11B	N.C.	
12A	$\overline{EMB2}$	GRN / (BRN) X31-2
12B	+24V	BRN / (GRN) X32-2
13A	N.C.	
13B	N.C.	

X31 Motor Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1	3A	BLU / (WHT)
2	$\overline{3A}$	WHT / (BLU)
3	3B	YLW / (WHT)
4	$\overline{3B}$	WHT / (YLW)
5	3Z	GRN / (WHT)
6	$\overline{3Z}$	WHT / (GRN)
7	3S *	RED / (WHT)
8	$\overline{3S}$ *	WHT / (RED)
9	BAT+	BLU / (BRN)
10	BAT-	BRN / (BLU)
11	RES	YLW / (BRN)
12	ENC+5V	PPL / (WHT)
13	EGND	WHT / (PPL)
14	FGND	GRN

Joint #3 motor encoder (SIGNAL)

X32 Brake Connector

No.	Line color	Connect to
1	$\overline{EMB2}$	GRN / (BRN) Joint #3 magnetic brake (Y1)
2	+24V	BRN / (GRN)

X33 Brake Switch Connector

No.	Line color	Connect to
1	$\overline{EMB2}$	GRN Joint #3 brake release switch (S1)
2	BRK.SW	BRN / (YLW)

* For Manipulators whose serial number starts with "1", their motors do not have S-channel signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X40 Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1A	FGND	GRN
1B	N.C.	
2A	4A	BLU / (WHT) X41-1
2B	4 \bar{A}	WHT / (BLU) X41-2
3A	4B	YLW / (WHT) X41-3
3B	4 \bar{B}	WHT / (YLW) X41-4
4A	4Z	GRN / (WHT) X41-5
4B	4 \bar{Z}	WHT / (GRN) X41-6
5A	4S *	RED / (WHT) X41-7
5B	4 \bar{S} *	WHT / (RED) X41-8
6A	ENC+5V	PPL / (WHT) X41-12
6B	EGND	WHT / (PPL) X41-13
7A	BAT+	BLU / (BRN) X41-9
7B	BAT-	BRN / (BLU) X41-10
8A	RES	YLW / (BRN) X41-11
8B	N.C.	
9A	N.C.	
9B	N.C.	
10A	N.C.	
10B	N.C.	
11A	N.C.	
11B	N.C.	
12A	N.C.	
12B	N.C.	
13A	N.C.	
13B	N.C.	

X41 Motor Signal Connector

No.	Line color	Connect to
1	4A	BLU / (WHT)
2	4 \bar{A}	WHT / (BLU)
3	4B	YLW / (WHT)
4	4 \bar{B}	WHT / (YLW)
5	4Z	GRN / (WHT)
6	4 \bar{Z}	WHT / (GRN)
7	4S *	RED / (WHT)
8	4 \bar{S} *	WHT / (RED)
9	BAT+	BLU / (BRN)
10	BAT-	BRN / (BLU)
11	RES	YLW / (BRN)
12	ENC+5V	PPL / (WHT)
13	EGND	WHT / (PPL)
14	FGND	GRN

Joint #4
motor
encoder
(SIGNAL)

* For Manipulators whose serial number starts with "1", their motors do not have S-channel signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายนิสิต กิวัฒนา
วัน เดือน ปีเกิด 9 มีนาคม พ.ศ. 2533
ที่อยู่ 320 หมู่ที่ 2 ถนนพุทธบูชา ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง
จังหวัดน่าน 55000

ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2550 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีศรีน่าน
ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ การไฟฟ้านครหลวง เขตมีนบุรี
ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2554 ถึง 31 พฤษภาคม 2554

ประวัติการทำงาน
ปี 2554 - 2555 ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท Power utah group company limited
ปี 2556 - ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท Rightman co. ltd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้