

การทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ
Human – Robot cooperative for material handling

สมหวัง อริสริยวงศ์¹, สราวุธ สิริเกษมสุข² และ อนูวัฒน์ บำรุงกิจ³

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
โทร 0-3732-2609 อีเมล *somwang@swu.ac.th¹, eg_me_sarawut@hotmail.com², eg_me_anuwat@hotmail.com³

Somwang Arisariyawong¹, Sarawut Sirikasemsuk² and Anuwat Bomrunkit³

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak, Nakhonnayok 26120, Thailand,
Tel: 0-3732-2609, E-mail: somwang@swu.ac.th¹, eg_me_sarawut@hotmail.com², eg_me_anuwat@hotmail.com³

บทคัดย่อ

ในการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของนั้น หุ่นยนต์จะรับน้ำหนักของวัตถุส่วนใหญ่ และเคลื่อนที่ตามแรงที่มนุษย์ได้กระทำกับหุ่นยนต์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ในการทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแรงของมนุษย์ [1] ซึ่งตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ ก็คือค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) ในสมการของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ ผลการวิจัยพบว่าค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) จะทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีการสั่นสะเทือนลดลง โดยวิเคราะห์ที่ค่าแอมพลิจูด แต่การปรับมวล (M) นั้นจะส่งผลกระทบต่อค่าแอมพลิจูดในการเคลื่อนที่มากกว่าการปรับค่าคงที่ของตัวหน่วง (C) ส่วนรูปแบบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากแบบสอบถามพบว่าคนส่วนมากพอใจการเคลื่อนที่แบบราบเรียบ ดังนั้นในการปรับตัวแปรของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์เพื่อให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานนั้น ควรปรับที่ค่าของมวล (M) ก่อนแล้วจึงทำการปรับค่าคงที่ของตัวหน่วง (C)

Abstract

Human – Robot Cooperative for material handling, with which the human can easily handle a heavy object. The robot system supports and moves the object in the direction of the intentional force applied to the object by the operator. In this research uses impedance control for controlled a robot. The damping constant and mass are the variables which are effect of impedance control. The research is to study about effect of the damping constant and mass in impedance control. The result of the research found that the damping constant and the mass reduced the vibration of the moving robot by analyzed at the norm, but the mass has effected on the vibration of the motion more than the damping constant. The result of questionnaire found that the human is satisfied smooth moving. So, the variable

of impedance control should adjust the mass before the damping constant.

บทนำ

ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของนั้นมักมีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย ทั้งอาการบาดเจ็บจากการที่เคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีน้ำหนักมาก หรือเกิดความเสียหายกับสิ่งของที่ทำการเคลื่อนย้าย เป็นต้น ดังนั้นถ้าเราสามารถนำหุ่นยนต์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มนุษย์ได้คิดค้นขึ้น มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของมนุษย์ ก็จะได้ถือว่าเป็นการช่วยลดปัญหาอาการบาดเจ็บจากการเคลื่อนย้ายวัตถุที่มีน้ำหนักมากได้อีกด้วย และที่ผ่านมามีผู้สนใจได้ทำการวิจัยถึงการงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์

โดยใช้การควบคุมแบบ Damping Control แต่ Kazuhiro Kosuge และ Norihide Kazamura [2] มีความคิดว่าจะควบคุมที่เหมาะสมกับการควบคุมหุ่นยนต์ก็คือ ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ (Impedance Control) ดังนั้น Kazuhiro Kosuge และ Norihide Kazamura จึงได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบข้อแตกต่างของระบบควบคุมทั้งสองระบบ พบว่าระบบควบคุมอิมพีแดนซ์นั้นเหมาะสำหรับการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ส่วน Damping Control เหมาะสำหรับการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลักษณะเส้นโค้ง และค่าคงที่ของตัวหน่วง (C) และมวล (M) ก็มีผลต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เช่นกัน แต่ Kazuhiro Kosuge และ Norihide Kazamura ก็ไม่ได้ศึกษาถึงค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการทำงานร่วมกับมนุษย์

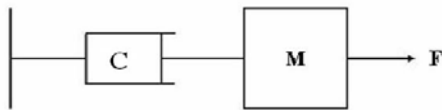
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงการงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ โดยในการทำงานนั้นหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ตามแรงที่มนุษย์ออกแรงกระทำกับหุ่นยนต์และหุ่นยนต์จะรองรับน้ำหนักของสิ่งของเอาไว้ตลอดการเคลื่อนที่ และจะทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) ในสมการอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ในการทำงานร่วมกับมนุษย์ รวมถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ซึ่งใช้

แบบสอบถามความพึงพอใจในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ได้จากผู้ร่วมทำการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึง ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ (Impedance Control) รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงกด อีกทั้งขั้นตอนการทดลองการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ และสรุปผลการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการสั่นสะเทือนโดยเวกเตอร์นอร์มทู พร้อมกับผลที่ได้จากแบบสอบถามจากผู้ร่วมการทดลอง

1. ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ (Impedance Control)

ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ เป็นระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้ของแรง โดยวัตถุหนึ่ง จะต้องเคลื่อนที่ไปตามแนวแรงนั้นๆ ด้วย โดยสมการการเคลื่อนที่นั้นจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ และในงานวิจัยนี้ใช้ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ เนื่องจากต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแรง โดยที่หุ่นยนต์จะช่วยรับน้ำหนักของชิ้นงานตลอดการเคลื่อนที่ โดยระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ตัวหน่วง (C) และมวล (M) [2] ซึ่งสามารถจำลองให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ที่ประกอบด้วยตัวหน่วง (C) และมวล (M)

สามารถเขียนเป็นสมการของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$F = M\ddot{x} + C\dot{x} \quad (1)$$

โดยที่ F คือ แรงที่กระทำกับ (N)

M คือ มวล (kg)

C คือ ค่าคงที่ตัวหน่วง (Ns/m)

$\dot{x}$ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ (m/s)

$\ddot{x}$ คือ ความเร่งในการเคลื่อนที่ (m/s²)

เมื่อทำการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ODE) ของสมการระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ จะได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตหรือระยะทาง ($x(t)$) มีลักษณะของสัญญาณที่สอดคล้องกับสัญญาณอินพุตหรือแรง ($F(t)$) ดังนั้นจึงสามารถนำแรงที่กระทำกับหุ่นยนต์มาใช้ในการควบคุมตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Position Control) ซึ่งรูปแบบของสมการที่ใช้มีลักษณะดังนี้

$$x(t) = \frac{F}{C}t - \frac{FM}{C^2} + \frac{FM}{C^2}e^{-\frac{C}{M}t} \quad (2)$$

เมื่อ $x(t)$ คือ ระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (mm)

F คือ แรงที่กระทำกับอุปกรณ์ตรวจวัด (N)

C คือ ค่าความหน่วงของตัวหน่วง (Ns/m)

M คือ มวลที่เพิ่มให้กับระบบ (kg)

t คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในการเคลื่อนที่ (s)

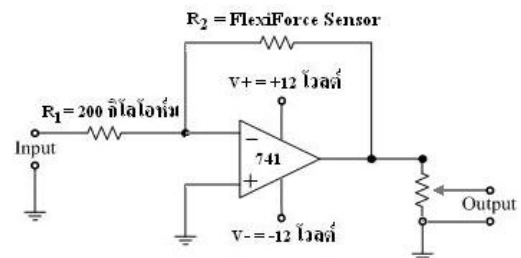
2. การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงกด

ในการที่จะทำให้หุ่นยนต์รับรู้ถึงแรงที่มนุษย์กระทำกับหุ่นยนต์นั้น จะต้องทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงกด (FlexiForce Sensor) ให้แก่หุ่นยนต์ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2



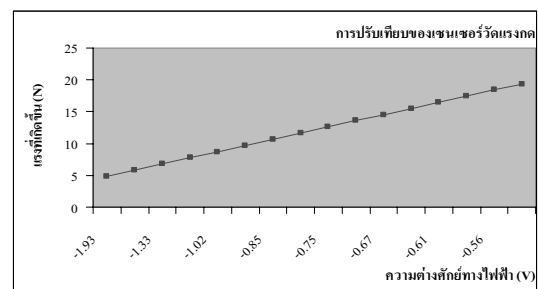
รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเซนเซอร์วัดแรงกด (FlexiForce Sensor)

แต่เนื่องจากเซนเซอร์วัดแรงกดนี้ส่งสัญญาณออกมาเป็นความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งการ์ดที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลไม่สามารถรับค่าสัญญาณความต้านทานทางไฟฟ้าได้จึงต้องทำการออกแบบวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสเพื่อแปลงสัญญาณค่าความต้านทานเป็นค่าความต่างศักย์ ซึ่งวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสที่ได้ออกแบบไว้มีลักษณะดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

เมื่อต่อเซนเซอร์วัดแรงกดเข้ากับวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสเรียบร้อยแล้วก็ทำการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับเซนเซอร์วัดแรงกดกับค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสซึ่งแสดงผลออกมาในรูปของกราฟดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงข้อมูลที่ได้ทำการปรับเทียบเซนเซอร์วัดแรงกด

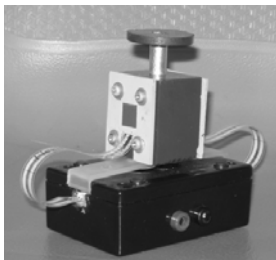
จากกราฟที่ได้ในรูปที่ 4 นำมาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดขึ้นจากการกด กับค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะได้สมการดังนี้

$$F = 0.9686V + 4.8517 \quad (3)$$

โดยที่ F คือ แรงที่กระทำกับ (N)

V คือ ความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (v)

เมื่อทำการปรับเทียบเซนเซอร์เรียบร้อยแล้วก็ทำการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงกดเพื่อติดตั้งเซนเซอร์ให้กับหุ่นยนต์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์วัดแรงกด

3. เวกเตอร์นอร์ม (Vector Norm)

เวกเตอร์นอร์ม (Vector Norm) [7] มีสัญลักษณ์ว่า $\|x\|$ เป็นการหาความยาวทั่วไป (Generalized Length) ของเวกเตอร์ n มิติ หรือ $x = [x_j]$ ในการหาความยาวทั่วไปที่อยู่ในระนาบของแกน XY นั้นค่าของเวกเตอร์นอร์มจะสามารถหาได้ ซึ่งเวกเตอร์นอร์มที่มีสูตรดังนี้

$$\|x\|_2 = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2} \quad (4)$$

โดย $\|x\|_2$ คือ ค่าเวกเตอร์นอร์ม

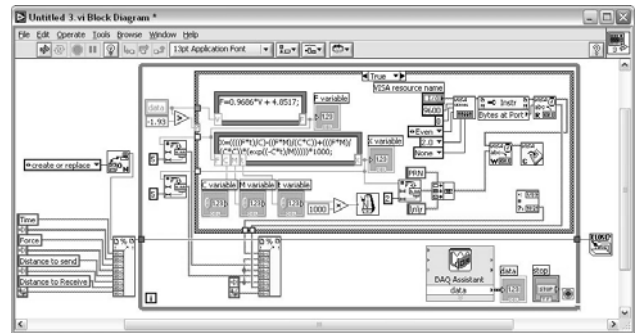
$x_1, x_2, \dots, x_n$ คือ ผลต่างของแรงในแต่ละช่วงเวลาของการทดลอง
n คือ จำนวนของข้อมูลในการทดลอง

4. ขั้นตอนการทดลองการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ

ในการทดลองการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของนั้นแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

ส่วนที่ 1 เป็นการทำงานของอุปกรณ์วัดแรงกดคือ เมื่อออกแรงกระทำกับอุปกรณ์วัดแรงกด อุปกรณ์ก็จะทำการส่งสัญญาณความต่างศักย์ทางไฟฟ้ามายังกล่องรับสัญญาณเพื่อเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW

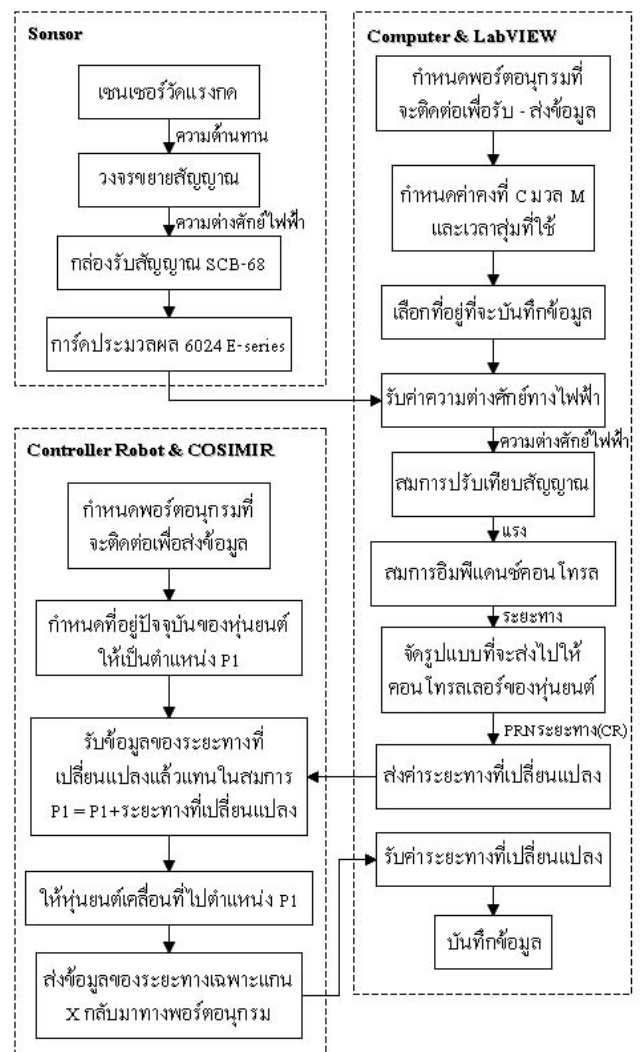
ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของโปรแกรม LabVIEW [3, 4, 5] ที่ถูกออกแบบไว้สำหรับคัดแยกข้อมูลของ ค่าคงที่ตัวหนังสือ (C) และมวล (M) เพื่อจัดส่งให้แก่โปรแกรม COSIMIR ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาผลกระทบบจากค่าคงที่ตัวหนังสือ (C) กับค่ามวล (M)

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของโปรแกรม COSIMIR ทำหน้าที่รับข้อมูลทีโปรแกรม LabVIEW คัดแยกไว้และคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรมมายังอุปกรณ์ควบคุมหุ่นยนต์ [6]

จากการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถเขียนเป็นขั้นตอนการทำงานโดยรวมได้ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการทดลองการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ

5. การออกแบบการทดลอง

จากสมการระบบควบคุมอิมพีแดนซ์จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่สนใจอยู่ 2 ตัวแปร คือ ค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรทั้ง 2 โดยการออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบค่าคงที่ตัวหน่วง (C) ที่เปลี่ยนแปลงส่งผลอย่างไรต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และมวล (M) ที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อย่างไร รวมถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์เพื่อทำงานร่วมกับมนุษย์ ดังนั้นจึงแบ่งการทดลองได้เป็น 5 การทดลอง และแต่ละการทดลองนั้นยังมีการทดลองย่อย เพื่อหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมหุ่นยนต์และดูการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M)

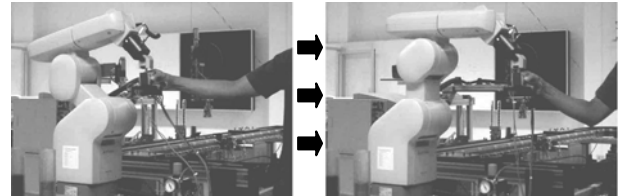
ดังนั้นในการทดลองจึงได้วัดค่าของแรง พร้อมกับบันทึกผลเพื่อมาวิเคราะห์ถึงการสั่นสะเทือน โดยแต่ละการทดลองจะแตกต่างกันที่อัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ของตัวหน่วง(C) และมวล (M) ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการทดลองที่ค่า C และค่า M ต่างๆ

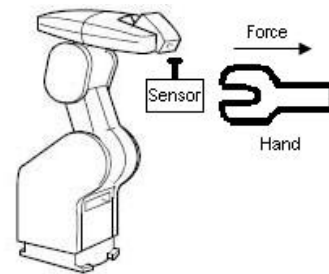
การทดลองครั้งที่	ค่าคงที่ตัวหน่วง (C)	ค่าคงที่มวล (M)
1-1	10	10
1-2	20	20
1-3	30	30
1-4	40	40
1-5	50	50
2-1	10	20
2-2	20	40
2-3	30	60
2-4	40	80
2-5	50	100
3-1	10	30
3-2	20	60
3-3	30	90
3-4	40	120
3-5	50	150
4-1	20	10
4-2	40	20
4-3	60	30
4-4	80	40
4-5	100	50
5-1	30	10
5-2	60	20
5-3	90	30
5-4	120	40
5-5	150	50

ซึ่งทำให้สามารถนำการทดลองแต่ละครั้งมาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อดูการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น และผลกระทบของค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และ มวล (M) ได้

ในขณะที่ทำการทดลองจะมีลักษณะการจับอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 8



(ก)

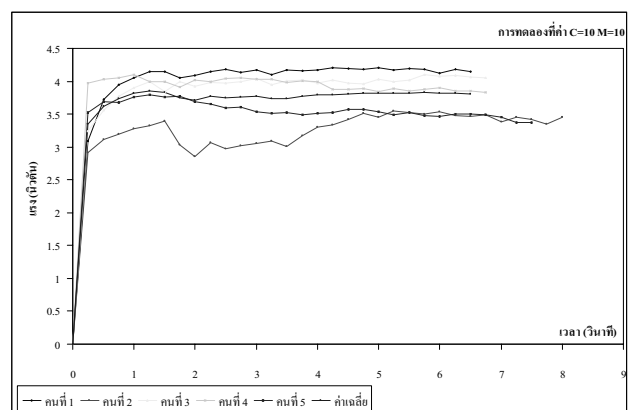


(ข)

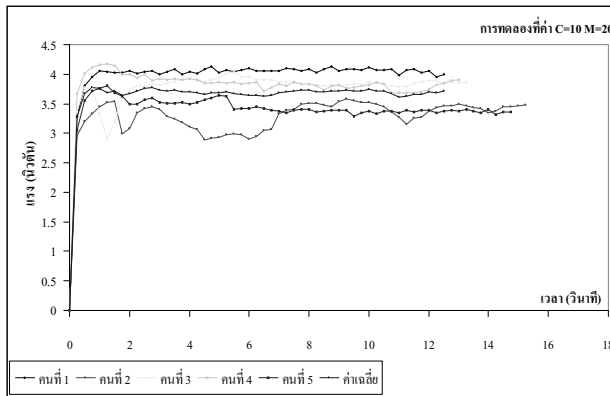
รูปที่ 8 (ก) แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบภาพจริง
 (ข) แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบลายเส้น

6. ผลการทดลอง

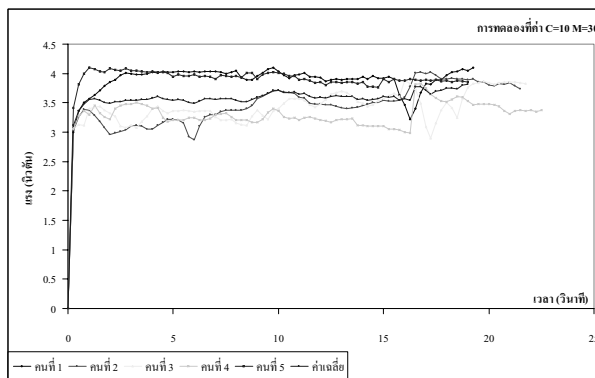
เมื่อทำการทดลองทั้ง 5 การทดลองและนำค่าของแรงที่ผู้ร่วมทำการทดลองออกแรงกระทำกับหุ่นยนต์ มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับเวลาจะได้กราฟที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 9



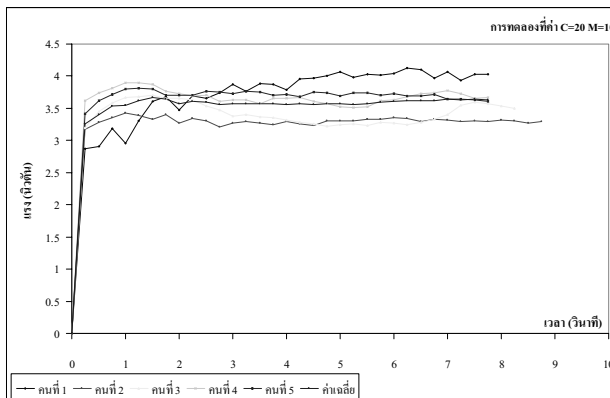
แบบที่ 1



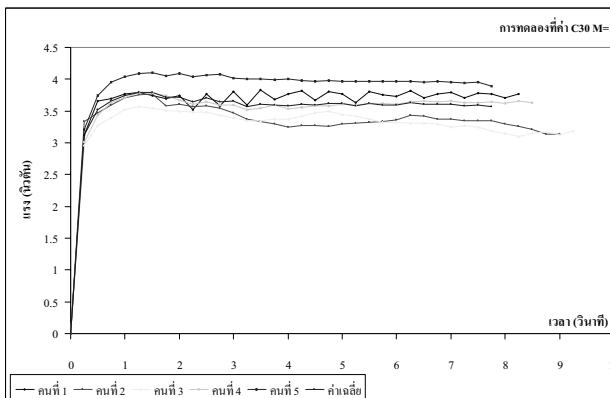
แบบที่ 2



แบบที่ 3



แบบที่ 4



แบบที่ 5

รูปที่ 9 แสดงผลการทดลองในแต่ละแบบ

แบบที่ 1 การทดลองที่ C = 10 และ M = 10

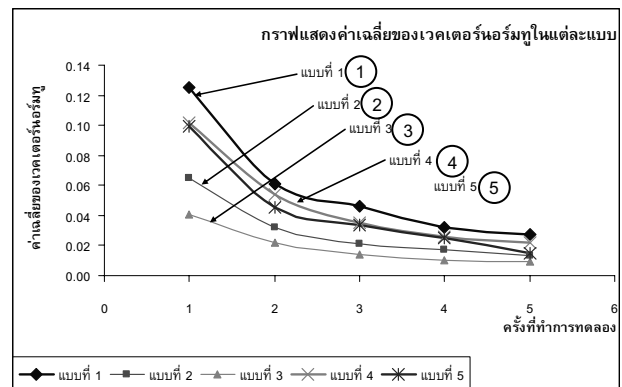
แบบที่ 2 การทดลองที่ C = 10 และ M = 20

แบบที่ 3 การทดลองที่ C = 10 และ M = 30

แบบที่ 4 การทดลองที่ C = 20 และ M = 10

แบบที่ 5 การทดลองที่ C = 30 และ M = 10

เมื่อนำผลการทดลองในแต่ละการทดลองมาทำการหาค่าเฉลี่ย เนื่องจากกราฟเป็นการกวัดแกว่งของกราฟในพิกัด XY และมีมิติมากกว่า 2 มิติ ทำให้ไม่สามารถใช้หลักการทางเวกเตอร์แบบธรรมดาในการหาการกวัดแกว่งของกราฟได้ แต่การใช้เวกเตอร์นอร์มู ($\|X\|_2$) สามารถหาการกวัดแกว่งของกราฟที่มากกว่า 2 มิติได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงใช้ค่านอร์มูเป็นดัชนีในการวิเคราะห์การกวัดแกว่งของกราฟที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์นอร์มูได้ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์นอร์มู

1 คือ การทดลองแบบที่ 1 ที่อัตราส่วน C ต่อ M = 1 ต่อ 1

2 คือ การทดลองแบบที่ 2 ที่อัตราส่วน C ต่อ M = 1 ต่อ 2

3 คือ การทดลองแบบที่ 3 ที่อัตราส่วน C ต่อ M = 1 ต่อ 3

4 คือ การทดลองแบบที่ 4 ที่อัตราส่วน C ต่อ M = 2 ต่อ 1

5 คือ การทดลองแบบที่ 5 ที่อัตราส่วน C ต่อ M = 3 ต่อ 1

7. สรุปการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปการทดลองทั้ง 5 แบบ รวมกับผลการวิเคราะห์โดยเวกเตอร์นอร์มู และจากแบบสอบถาม ได้ดังนี้

1. วิเคราะห์ผลการทดลองจากการทดลองร่วมกับเวกเตอร์นอร์มู

1.1 ในการทดลองสามารถแบ่งการทดลองออก 2 ชุดคือ

1.1.1 ชุดที่ 1 คือพิจารณาที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ในการทดลองแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 ตามลำดับ เพราะแนวโน้มที่พิจารณาจะเป็นการเพิ่มขึ้นของมวล (M) โดยค่าคงที่ตัวหนึ่ง (C) คงที่

1.1.2 ชุดที่ 2 คือพิจารณาที่อัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 3:1 ในการทดลองแบบที่ 1 แบบที่ 4 และแบบที่ 5 ตามลำดับ เพราะ

แนวโน้มที่พิจารณาจะเป็นการเพิ่มขึ้นของค่าคงที่ตัวหน่วง (C) โดยที่มวล (M) คงที่

1.2 ไม่ว่ามวลจะเพิ่มขึ้นเท่าใดก็ตาม การออกแรงเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ คนจะออกแรงที่ค่าๆ หนึ่งคือในช่วงระหว่าง 3 – 4 นิวตัน ไม่ว่าจะเป็นผู้หญิง หรือผู้ชายก็ตาม

1.3 ในการทดลองทั้ง 5 แบบนั้น แต่ละแบบเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ผลต่างของแรงจะลดลง

1.4 จากสมการของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์เมื่อเพิ่มค่าคงที่ตัวหน่วง (C) และมวล (M) จะทำให้ระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลดลง และเมื่อระยะทางในการเคลื่อนที่ลดลง ก็จะทำให้การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลายทางต้องใช้เวลามากขึ้นด้วย

1.5 จากการวิเคราะห์การกวัดแกว่งของแรงที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละแบบโดยพิจารณาที่ค่าแอมพลิจูดของแรง พบว่าที่การทดลองที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 จะมีค่าแอมพลิจูดของแรง [7] ที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดแสดงว่า การเพิ่มมวล (M) ในระบบจะช่วยลดการสั่นสะเทือนได้

1.6 จากการวิเคราะห์การกวัดแกว่งของแรงที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละแบบโดยพิจารณาที่ค่าแอมพลิจูดของแรง พบว่าที่การทดลองที่อัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 3:1 จะมีค่าแอมพลิจูดของแรง [7] ที่ลดลงแต่จะแตกต่างกันไม่มาก เท่ากับว่าการเพิ่มค่าคงที่ตัวหน่วง (C) ในระบบจะทำให้การสั่นสะเทือนลดลง แต่การสั่นสะเทือนจะลดลงได้น้อยกว่าแบบการเพิ่มมวล (M) ในข้อที่ 5

1.7 จากข้อที่ 5 และข้อที่ 6 ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการกวัดแกว่งของแรงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการปรับค่าของตัวแปรคือมวล (M) ส่วนค่าคงที่ตัวหน่วง (C) จะส่งผลกระทบต่อการกวัดแกว่งของแรงได้น้อยกว่าการปรับค่าของมวล

2. วิเคราะห์จากผลการทดลองและผลจากแบบสอบถาม

จากผลการทดลองและผลจากแบบสอบถามในการทดลอง สรุปได้ว่าการที่ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแรงนั้น คนส่วนใหญ่จะชอบการทำงานในสภาพที่ค่าคงที่ของตัวหน่วง (C) ระหว่าง 20 – 60 Ns/m และที่มวล (M) มีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 60 kg ส่วนการออกแบบตัวแปรที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ หากต้องการลดระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของระบบให้ลดค่าของมวล (M) ในสมการของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ก่อน แล้วจึงลดค่าคงที่ตัวหน่วง (C) เพื่อการลดเวลาที่ใช้ในระบบแบบละเอียด แต่หากต้องการลดการสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นในระบบนั้น ให้เพิ่มค่ามวล (M) โดยที่คงที่ค่ามวล (M) ต้องมากกว่าค่าคงที่ตัวหน่วง (C)

3. สรุปผลการทดลองของงานวิจัย

จากการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า ในการทดลองเรื่องการทำงานร่วมกันระหว่างคนกับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ โดยออกแรงกระทำที่อุปกรณ์วัดแรงกด ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ที่แขนของหุ่นยนต์ RV-2A แล้วให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแรงที่กระทำ ซึ่งในการทดลองที่เวลาสุ่มเท่ากับ 0.25 วินาที และใช้ระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ สรุปได้ว่าการที่ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแรงนั้น คนส่วนใหญ่จะชอบการทำงานในสภาพที่ค่าคงที่ของตัวหน่วง (C) ระหว่าง 20 – 60 Ns/m และที่มวล (M) มีค่า

อยู่ระหว่าง 20 – 60 kg ส่วนการออกแบบตัวแปรที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ หากต้องการลดระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของระบบให้ลดค่าของมวล (M) ในสมการของระบบควบคุมอิมพีแดนซ์ก่อน แล้วจึงลดค่าคงที่ตัวหน่วง (C) เพื่อการลดเวลาที่ใช้ในระบบแบบละเอียด แต่หากต้องการลดการสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นในระบบนั้น ให้เพิ่มค่ามวล (M) โดยที่ค่าของมวล (M) ต้องมากกว่าค่าคงที่ตัวหน่วง (C)

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Ikeura. H.Inooka. 1995. Variable Impedance Control of a Robot for Cooperation with a human. IEEE International Conference on Robotice and Automation. pp. 3097-3102
- [2] K. Kosuge. And N. Kazamura. 1997. Control of a Robot Handling an Object in Cooperation with a Human. IEEE International Workshop on Robot and Human Communication. pp. 142-147.
- [3] สมหวัง อริสริยวงศ์, สราวุฒิ สิริเกษมสุข และอนุวัฒน์ บำรุงกิจ. การวัดและการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ (ตอนที่ 1). MECHANICAL ซีเอ็ดยูเคชั่น. Vol 5. No 53 หน้า 51-56 2006.
- [4] สมหวัง อริสริยวงศ์, สราวุฒิ สิริเกษมสุข และอนุวัฒน์ บำรุงกิจ. การวัดและการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ (ตอนที่ 2). MECHANICAL ซีเอ็ดยูเคชั่น. Vol 5. No 54 หน้า 51-56 2006.
- [5] สมหวัง อริสริยวงศ์, สราวุฒิ สิริเกษมสุข และอนุวัฒน์ บำรุงกิจ. No 55 หน้า 51-55 2006. การวัดและการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ (ตอนจบ). MECHANICAL ซีเอ็ดยูเคชั่น. Vol 5.
- [6] CR1/CR2/CR4/CR7/CR8 Controller Instruction Manual. MITSUBISHI Industrial Robot
- [7] Erwin Kreyszig, ADVANCED ENGINEERING MATHEMATICS. พิมพ์ครั้งที่ 8, JOHN WILEY&SONS, INC, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.