

การจำลองภาพการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล Simulation of Robotic Manipulators Compliant Motion Control

โกเมนต์ โกศลกิตติอัมพร¹ บุญสร้าง ดิเรกสถาพร²
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทร 0-43202845 โทรสาร 0-43202849 E-mail: supaburut@hotmail.com¹, boodir@kku.ac.th²

Komen Kosolkittiamporn² Boonsrang Direksataporn²
Department of Mechanical Engineering, Faculty of engineering, Khon Kaen University,
Khon Kaen, 40002, Thailand
Tel: 0-43202845 Fax: 0-43202849 E-mail: supaburut@hotmail.com¹, boodir@kku.ac.th²

บทคัดย่อ:

บทความนี้นำเสนอ การพัฒนาโปรแกรมการจำลองภาพการควบคุมการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ของแขนกลแบบสามท่อนในรูปแบบของภาพกราฟฟิกรวมสามมิติ โดยใช้การควบคุมแบบพีดีและการควบคุมแบบฟัซซี่ ด้วยโปรแกรม MATLAB, Simulink, SimMechanics, Virtual Reality, Fuzzy Toolbox ร่วมกับโปรแกรมเขียนภาพกราฟฟิกรวมสามมิติ SolidWorks และ V-Realm Builder ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งและทิศทางการมองภาพ ทำให้สามารถพิจารณาแบบจำลองได้ละเอียดและง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเลือกลักษณะการควบคุมได้ทั้งการควบคุมที่ข้อต่อ หรือ การควบคุมที่ปลายแขน โดยกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดผ่านส่วนการติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิก

Abstract

This paper presents the simulation program development of 3-D three link robotic manipulator dynamic motion using PD and Fuzzy control action. The program is developed on MATLAB, Simulink, Simechanic, Virtual Reality, Fuzzy Toolbox and the 3-D graphic program created by SolidWorks and V-Realm Builder. In the program, the user can change the position and the view point direction which is convenient and suitable for analyzing the manipulator. Furthermore, the program user is able to choose joint and operational space types of control as well as the starting and ending points can be defined by the graphic user interface.

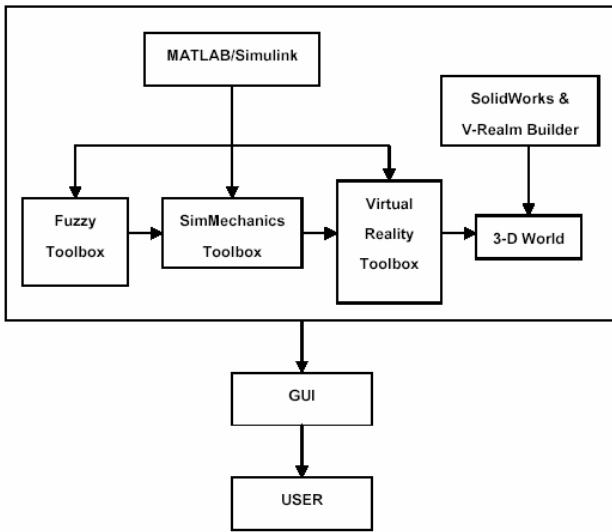
1. บทนำ

ปัจจุบันในวงการศึกษาบ้านเรามีผู้สนใจสาขาทางด้านหุ่นยนต์และการควบคุมอัตโนมัติกันมากขึ้น ซึ่งนับเป็นทิศทางที่ดีในการพัฒนาความรู้และเทคโนโลยีที่เป็นของตนเอง แม้จะเป็นการพัฒนาและศึกษาตามประเทศที่เป็นผู้นำด้านนี้อยู่ญี่ปุ่นและอเมริกาก็ตาม แต่เป็นก้าวที่จำเป็นในการสร้างฐานความรู้ให้แน่นหนาเพื่อให้สามารถต่อยอดได้อย่างมั่นคง

การศึกษาจากหุ่นยนต์จริงๆจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจการทำงานได้รวดเร็วขึ้น แต่ในทางกลับกันจะสามารถจัดหางบประมาณมาใช้เพื่อการศึกษาได้ทุกที่ จึงมีโปรแกรมจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างหลากหลายเพื่อช่วยในการเรียนรู้ เช่น Robotics Toolbox [1] Planar Manipulator Toolbox [2] และ Spacelib [3] เป็นโปรแกรมที่ใช้ร่วมกับ โปรแกรมการคำนวณทางวิศวกรรมอย่าง MATLAB [4] ส่วนโปรแกรม Roboop [5] เป็นโปรแกรมที่ต้องใช้กับภาษา C++ โปรแกรมเหล่านี้เขียนไว้ค่อนข้างดีครอบคลุมเนื้อหากว้างขวาง แต่ขาดในส่วนของการแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิกรวมสามมิติ อีกทั้งผู้ใช้ต้องมีความรู้และเข้าใจในการเขียนโปรแกรมภาษาเหล่านี้ ส่วนโปรแกรมทางการค้าอย่าง Roboworks [6] ก็เพียงแต่ใช้สร้างภาพสามมิติเท่านั้น จะเห็นว่าโปรแกรมส่วนใหญ่ แยกส่วนคำนวณการเคลื่อนที่กับส่วนของการแสดงผลสามมิติออกจากกัน การที่จะรวมความสามารถของทั้งสองส่วนนี้เข้าด้วยกันจึงต้องใช้โปรแกรมหลายโปรแกรม เมื่อ MATLAB ออกโปรแกรมเสริมอย่าง Simechanics [7] และ Virtual Reality Toolbox [8] ทำให้เพิ่ม MATLAB ที่มีความสามารถในการคำนวณสูงอยู่แล้วสามารถนำมาใช้จำลองการทำงานของหุ่นยนต์ได้โดยแทบจะไม่ต้องใช้โปรแกรมอื่นช่วย การใช้ความสามารถของโปรแกรมเสริมแต่ละตัวเพื่อสร้างโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ได้จึงเป็นที่มาของบทความชิ้นนี้

2. โครงสร้างของแบบจำลอง

โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของแขนกลนี้ใช้แขนกลแบบสามท่อนเป็นเป็นต้นแบบในการสาธิตการเคลื่อนที่ โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกชนิดของการควบคุมได้ทั้งแบบการควบคุมที่ข้อต่อหรือแบบการควบคุมที่ปลายแขนโดยที่แต่ละชนิดยังสามารถเลือกตัวควบคุมได้ว่าจะควบคุมแบบพีดีหรือควบคุมแบบพีซีซี โดยผู้ใช้สามารถปรับตัวควบคุมได้โดยผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิก (Graphic User Interface: GUI) ซึ่งมีโครงสร้างหลักๆดังนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างโปรแกรมโดยรวม

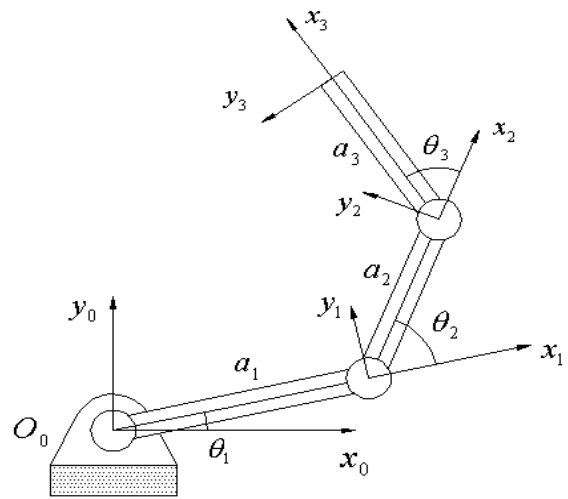
โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้จะทำงานบน Matlab/Simulink โดยมี Fuzzy Toolbox เป็นส่วนที่ใช้จัดการกับการสร้างกฎพื้นฐาน การทำ Fuzzification, Defuzzification และ Fuzzy Inference ส่วน SimMechanics จะเป็นตัวสร้างแบบจำลองของแขนกลซึ่งสามารถกำหนดขนาด น้ำหนัก ชนิดของข้อต่อได้จากส่วนนี้ Virtual Reality Toolbox เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับสภาพแวดล้อมแบบสามมิติ ด้วยภาษา VRML (Virtual Reality Modeling Language) โดยใช้ V-Realm Builder เป็น Editor ส่วนโปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างภาพสามมิติในขั้นต้นและใช้หาคุณสมบัติทางกลของแขนแต่ละท่อนก่อนนำไปแก้ไขใน V-Realm Builder

3. แบบจำลองของแขนกล

ในที่นี้แขนกลที่ใช้เป็นแบบจำลองเป็นแขนกลแบบสามท่อนโดยกำหนดให้เป็นโลหะ ตามมาตรฐาน AISI-304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. สำหรับการควบคุมที่ข้อต่อ และ 50 มม. สำหรับการควบคุมที่ปลายแขน คุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ มีค่าดังตารางที่ 1

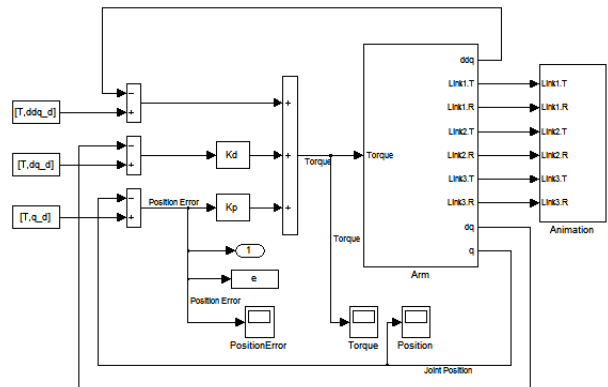
ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรของระบบ

ชนิดของการควบคุม	ค่าตัวแปร	มวล (kg)	ความยาว (mm)	โมเมนต์เฉื่อยเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางมวล ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
ข้อต่อ	แขนท่อนที่ 1	1.66	300	$[0.012368 \ 1.4416\text{e-}9 \ -8.5806\text{e-}10;$
	แขนท่อนที่ 2	1.66	300	$1.4416\text{e-}9 \ 0.0001871 \ -1.4958\text{e-}10;$
	แขนท่อนที่ 3	1.66	300	$-8.5806\text{e-}10 \ -1.4958\text{e-}10 \ 0.01236]$
ปลายแขน	แขนท่อนที่ 1	15.9	3000	$[1.377 \ -1.3663\text{e-}18 \ 1.2973\text{e-}19;$
	แขนท่อนที่ 2	15.9	3000	$-1.3663\text{e-}18 \ 0.004944 \ -2.178\text{e-}18;$
	แขนท่อนที่ 3	15.9	3000	$1.2973\text{e-}19 \ -2.178\text{e-}18 \ 1.3771]$

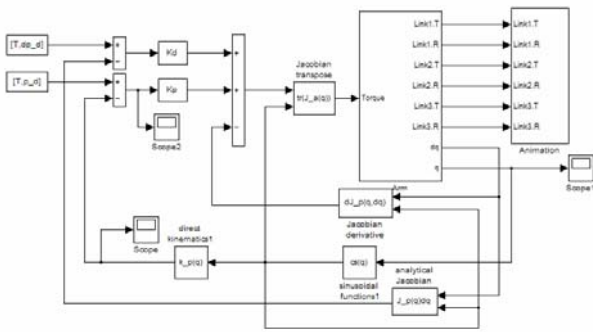


รูปที่ 2 แขนกลแบบสามท่อน

4. การออกแบบตัวควบคุมแบบพีดี



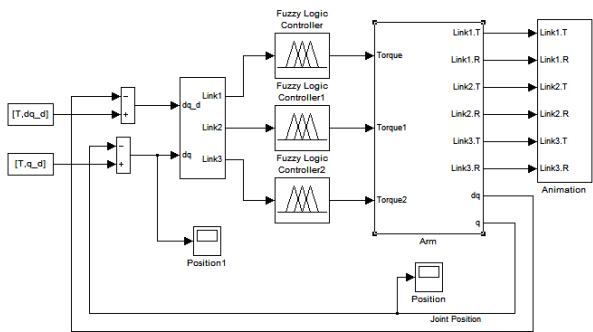
รูปที่ 3 Simulink block diagram ของแขนกลเมื่อควบคุมที่ข้อต่อ



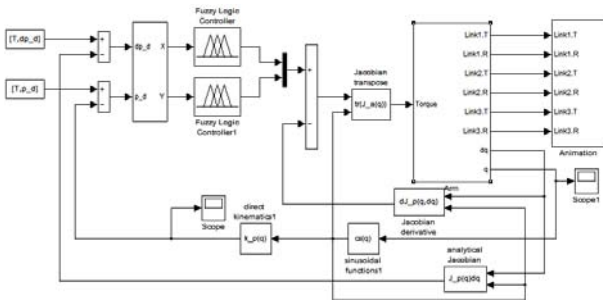
รูปที่ 4 Simulink block diagram ของแขนกลเมื่อควบคุมที่ปลายแขน

เส้นทางการเคลื่อนที่ของการควบคุมแบบข้อต่อจะใช้สมการโพลีโนเมียลอันดับสามเป็นตัวกำหนดเส้นทางเดิน ส่วนการควบคุมแบบปลายแขนจะใช้ Cosine time law [9] ค่าความผิดพลาดที่ได้จะนำมาคูณกับตัวควบคุมพีดีก่อนส่งกลับไปให้แขนกลอีกครั้ง

5. การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี



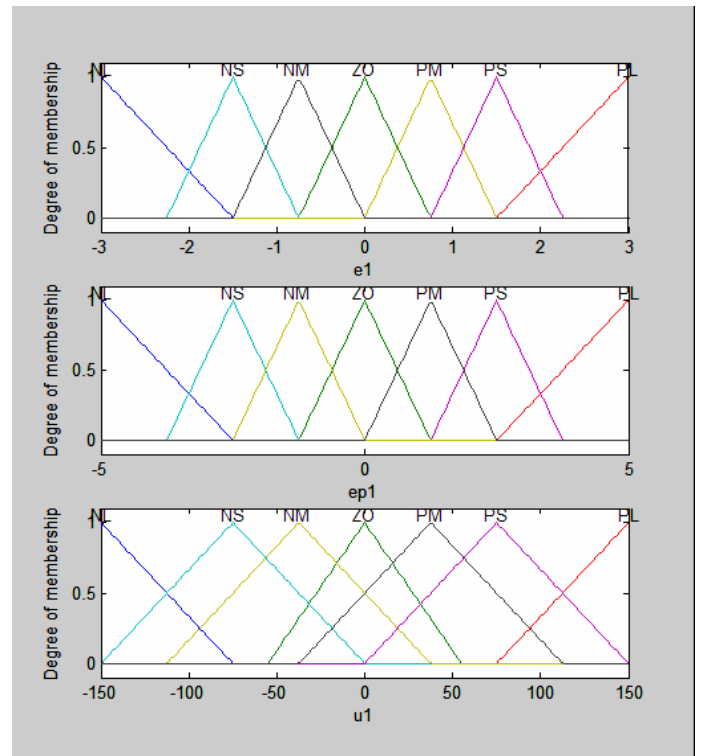
รูปที่ 5 Simulink block diagram ของแขนกลเมื่อควบคุมที่ข้อต่อ



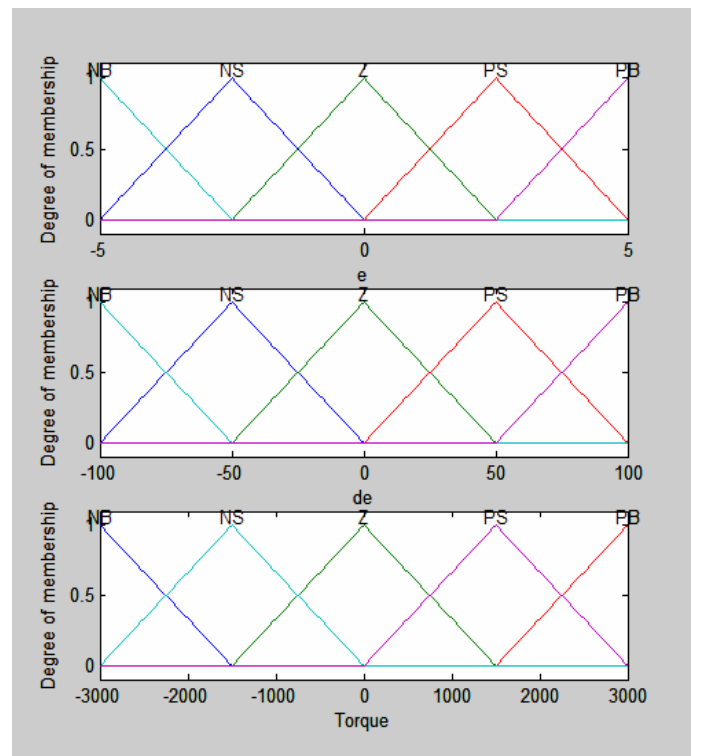
รูปที่ 6 Simulink block diagram ของแขนกลเมื่อควบคุมที่ปลายแขน

ตัวควบคุมแบบฟัซซีของการควบคุมที่ข้อต่อ ได้ออกแบบให้มี Membership function ชนิด Mamdani 3 ตัว ซึ่งจะแยกควบคุมแขนกลแต่ละท่อน อินพุทและเอาท์พุทเป็นแบบผสมระหว่าง แบบสามเหลี่ยมและแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูปที่ 7 (แสดงเฉพาะแขนท่อนที่ 1) ในส่วนการควบคุมที่ปลายแขน ได้ออกแบบให้มี Membership function ชนิด Mamdani 2 ตัว ซึ่งใช้ควบคุมพิกัด X-Y ดังรูปที่ 8 (แสดงเฉพาะแกน

X) แต่ละตัวจะมีอินพุท คือ ค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง e และค่าความผิดพลาดของความเร็ว \dot{e} ส่วนตัวแปรเอาท์พุท คือ แรงบิดที่กระทำกับข้อต่อแต่ละจุด



รูปที่ 7 Membership Function ของแขนท่อนที่ 1 เมื่อควบคุมที่ข้อต่อ



รูปที่ 8 Membership Function ของแกน X เมื่อควบคุมที่ปลายแขน

สำหรับกฎพื้นฐานที่ใช้สร้าง Membership function มี รายละเอียดดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 แสดงกฎพื้นฐานของการควบคุมที่ข้อต่อ

		\dot{e}						
		NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
e	NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZO
	NM	NL	NL	NL	NM	NS	ZO	PS
	NS	NL	NL	NM	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PL	PL
	PM	NS	ZO	PS	PM	PL	PL	PL
	PL	ZO	PS	PM	PL	PL	PL	PL

ตารางที่ 3 แสดงกฎพื้นฐานของการควบคุมที่ปลายแขน

		\dot{e}				
		NL	NS	ZO	PS	PL
e	NL	NL	NL	NL	NS	ZO
	NS	NL	NL	NS	ZO	PS
	ZO	NL	NS	ZO	PS	PL
	PS	NS	ZO	PS	PL	PL
	PL	ZO	PS	PL	PL	PL

โดยที่ e = ค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง

\dot{e} = ค่าความผิดพลาดของความเร็ว

NL = Negative Large

NM = Negative Medium

NS = Negative Small

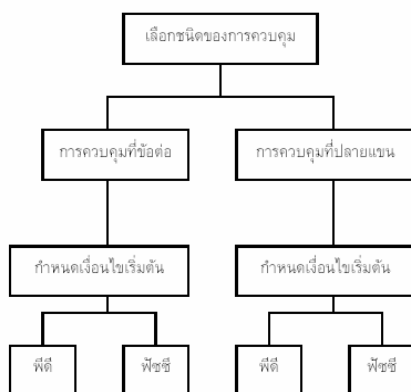
ZO = Zero

PS = Positive Small

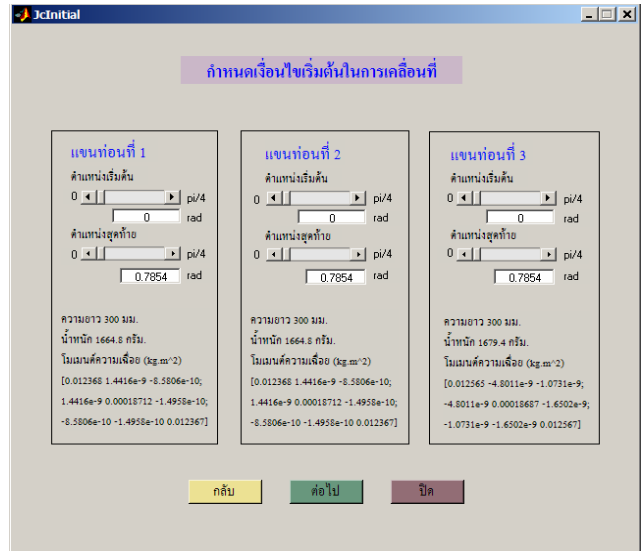
PM = Positive Medium

PL = Positive Large

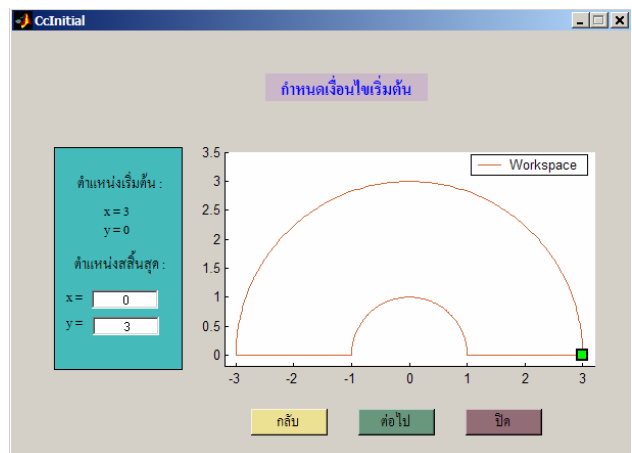
6. การทำงานของโปรแกรม



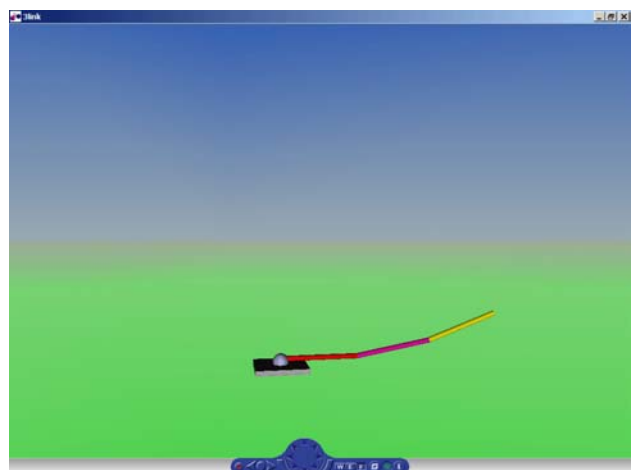
รูปที่ 9 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม



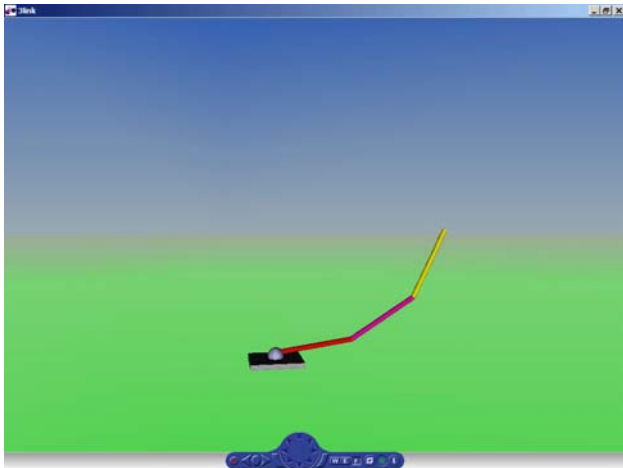
รูปที่ 10 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการควบคุมที่ข้อต่อ



รูปที่ 11 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการควบคุมที่ปลายแขน



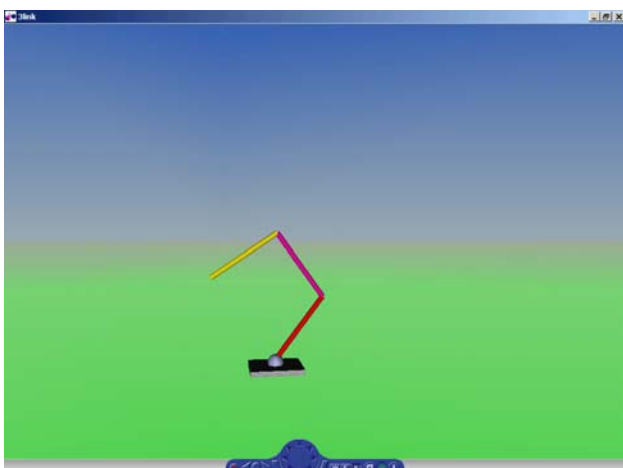
รูปที่ 12 ตัวอย่างภาพกราฟฟิกสามมิติ



รูปที่ 13 ตัวอย่างภาพกราฟฟิกสามมิติ



รูปที่ 14 ตัวอย่างภาพกราฟฟิกสามมิติ

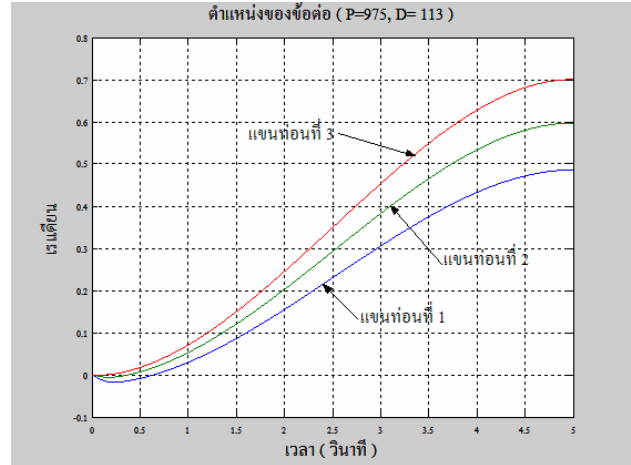


รูปที่ 15 ตัวอย่างภาพกราฟฟิกสามมิติ

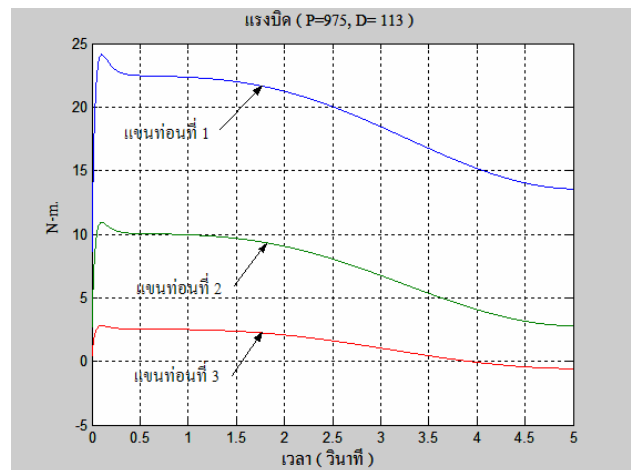
7. การทดสอบหาผลตอบสนอง

7.1 ผลตอบสนองของการควบคุมที่ข้อต่อ

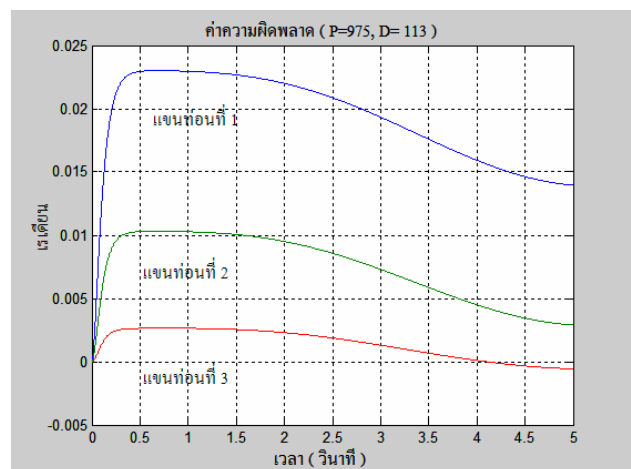
ผลตอบสนองของการควบคุมที่ข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดีและแบบฟัซซีเมื่อกำหนดให้จุดเริ่มต้นของแต่ละข้อต่ออยู่ที่ 0 rad. และจุดสิ้นสุดของแขนท่อนที่ 1, 2 และ 3 อยู่ที่ 0.5, 0.6, 0.7 rad. ตามลำดับ



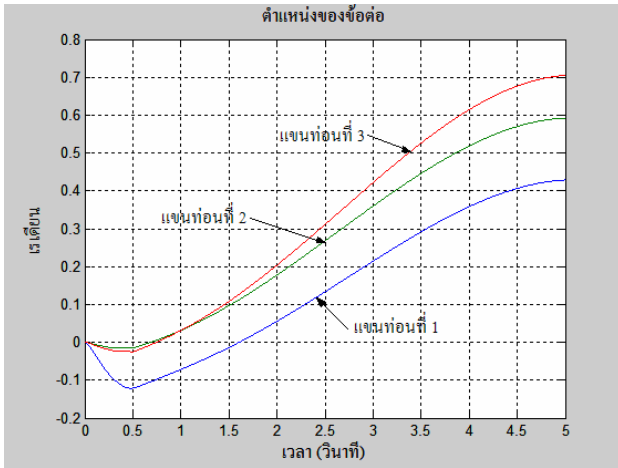
รูปที่ 16 ตำแหน่งของข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



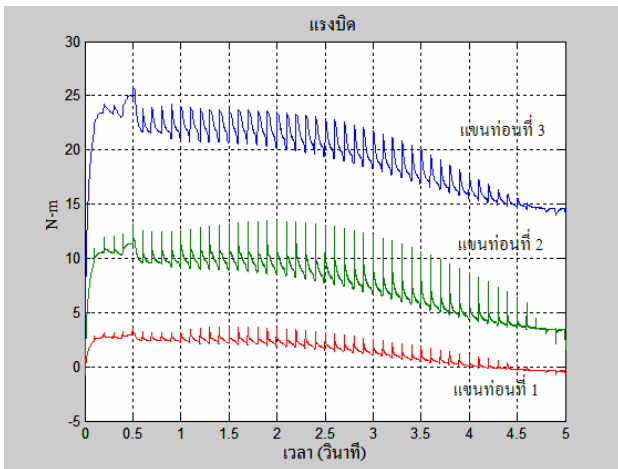
รูปที่ 17 แรงบิดที่ข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



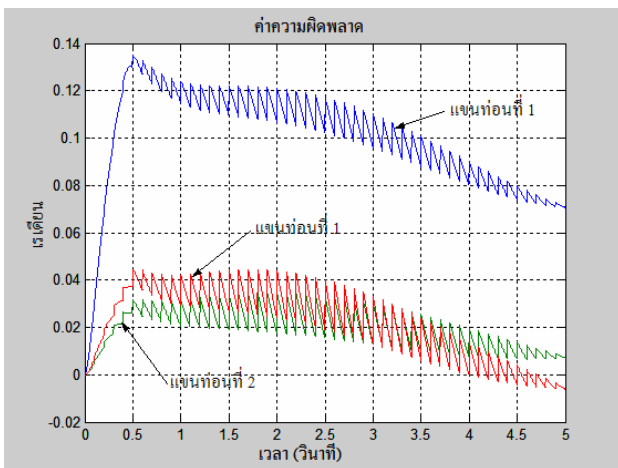
รูปที่ 18 ค่าความผิดพลาดของข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



รูปที่ 19 ตำแหน่งของข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีชชี



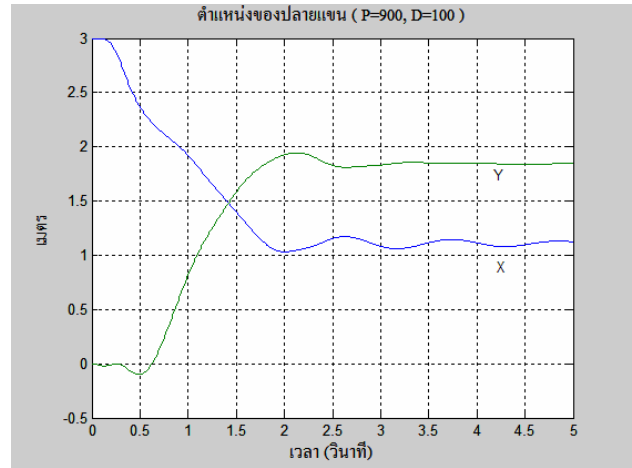
รูปที่ 20 แรงบิดที่ข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีชชี



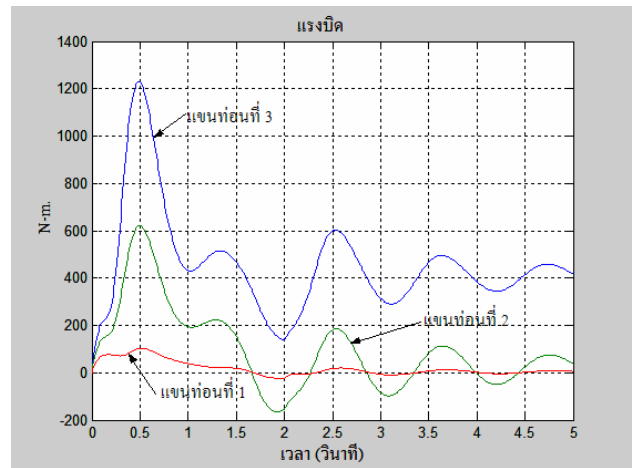
รูปที่ 21 ค่าความผิดพลาดของข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีชชี

7.2 ผลตอบสนองของการควบคุมที่ปลายแขน

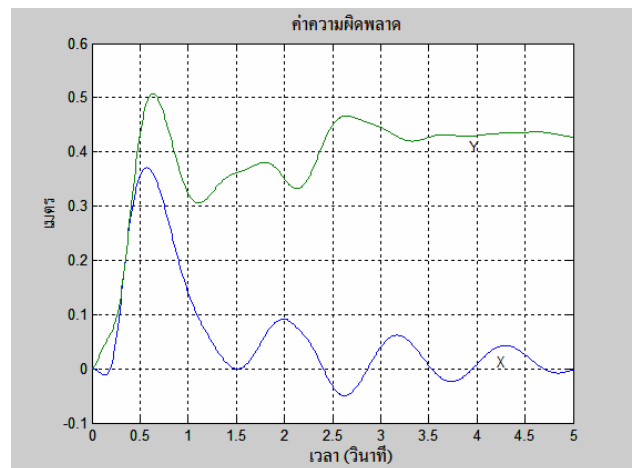
ผลตอบสนองของการควบคุมที่ปลายแขนเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดีและแบบพีชชีเมื่อกำหนดให้จุดเริ่มต้นของปลายแขนอยู่ที่ (0,0) และจุดสิ้นสุดอยู่ที่ (1.1227, 2.2776)



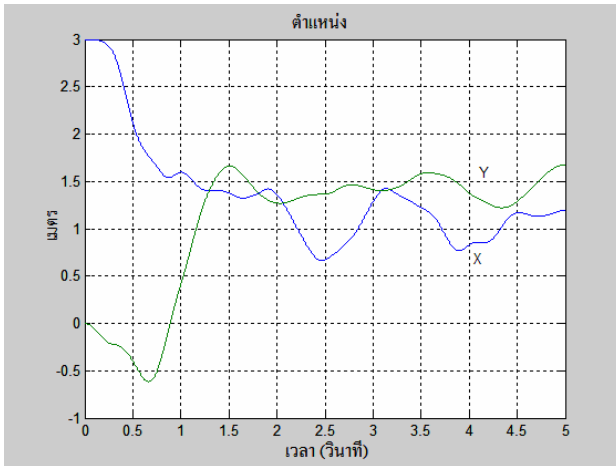
รูปที่ 22 ตำแหน่งของปลายแขนเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



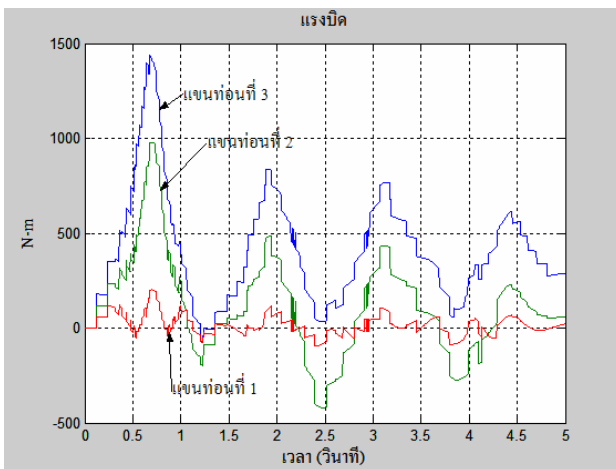
รูปที่ 23 แรงบิดที่ข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



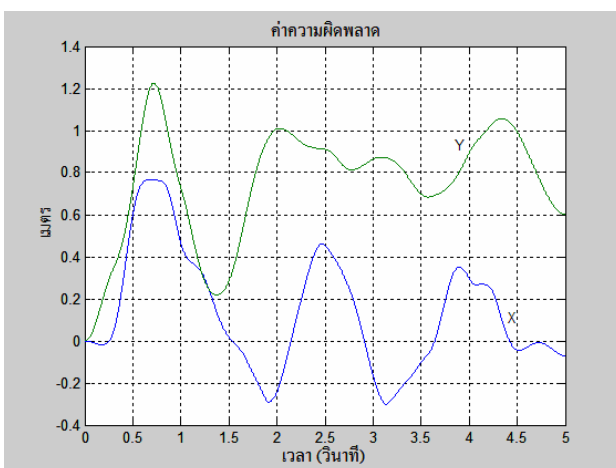
รูปที่ 24 ค่าความผิดพลาดของปลายแขนเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



รูปที่ 25 ตำแหน่งของปลายแขนเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี



รูปที่ 26 แรงบิดที่ข้อต่อเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี



รูปที่ 27 ค่าความผิดพลาดของปลายแขนเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

ตามต้องการ แต่จากการทดสอบหาผลตอบสนอง ระหว่างตัวควบคุมแบบพีดีและตัวควบคุมแบบฟัซซี พบว่าระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีดีจะให้ผลตอบสนองดีกว่าและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า ทั้งการควบคุมที่ข้อต่อและการควบคุมที่ปลายแขน ซึ่งในส่วนนี้หากสามารถแก้ไขปรับปรุงให้ตัวควบคุมเหมาะสมกับระบบ ก็จะทำให้โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของแขนกลนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.I.Corke, "Robotics Toolbox for MATLAB" Australia, 2002
- [2] Leon Zlajpah., "Planar Manipulators Toolbox for MATLAB" <http://www.2.ijs.si/~leno/planman.html>, 2000
- [3] G.Legnani, R.Adamini, B.Zappa., "Spacelib in MABTAB" University of Brescia - Mechanical Engineering Department. Italy, 1998
- [4] The MathWorks, Inc., 24 Prime Park Way, Natick, MA 01760, "Matlab User's Guide" Jun.2001
- [5] G. Richard. "ROBOOP A Robotics Object Oriented Package in C++" <http://www.gnuplot.info/>
- [6] <http://www.newtonium.com.> "Roboworks"
- [7] MathWork. User's Guide Version 2, "SimMechanics For Use with MATLAB" 2002.
- [8] MathWork. User's Guide Version 3.1, "Virtual Reality Toolbox For Use with MATLAB" 2002.
- [9] S. Lorenzo, S. Bruno. "Modeling and Control of Robot Manipulators." NY: McGraw-Hill 1996. P.191-194
- [10] Lewis, F.L. "Control of Robot Manipulators." New York: Macmillan Publishing Company, 1993.
- [11] Lim, C.M, Hiyama, T. "Application of Fuzzy Logic Control to a Manipulator." IEEE Transactions on Robotics and Autoamtion, Vol.7 no.5, pp. 688-691, 1991
- [12] MathWork. User's Guide Version 2. Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB" 2002.
- [13] Saeed B.Niku. "Introduction to Robotics Analysis, Systems, Applications." NJ: Prentice Hall, 2001.
- [14] Ligos Corporation., 6001 Chatham Center Drive, Suite 300 Savannah, GA 31405 "V-Realm Builder User's Guide" 1997

8. สรุป

โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของแขนกลที่พัฒนาขึ้นนี้ สะดวกกับการใช้งานตรงที่ผู้ใช้สามารถป้อนตำแหน่งที่ต้องการให้แขนกลเคลื่อนที่ไป พร้อมกับเปลี่ยนขนาดตัวควบคุมได้ โดยผ่านทางส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ขณะที่โปรแกรมกำลังทำงานก็สามารถปรับเปลี่ยนมุมมองของภาพได้