สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบระบบควบคุมแขนกลเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม

DESIGN AND DEVELOPMENT OF ROBOTIC ARM FOR INDUSTRY

นายปรเมษฐ์ บุญฐี
นายสืบพงษ์ ถีนานนท์
นายสุรลักษณ์ จรูญโสตร์

วพ.
ว171ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 71954
วัน,เดือน,ปี - 6 มิ.ย. 2550

b. 11760850
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF ROBOTIC ARM FOR INDUSTRY

PORAMATE BOONYATEE

SUEBPONG TEENANONTA

SURALUCK JAROONSOTE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE IF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบระบบควบคุมแขนกลเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม

DESIGN AND DEVELOPMENT OF ROBOTIC ARM FOR INDUSTRY

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปรเมษฐ์	บุญฐี	**รหัสนักศึกษา**	46012107
	นายสืบพงษ์	ถีนานนท์	**รหัสนักศึกษา**	46012134
	นายสุรลักษณ์	จรูญโสตร์	**รหัสนักศึกษา**	46012136

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบระบบควบคุมแขนกลเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม			
	DESIGN AND DEVELOPMENT OF ROBOTIC ARM FOR INDUSTRY			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปรเมษฐ์	บุญฐี	**รหัสนักศึกษา**	46012107
	นายสืบพงษ์	ถีนานนท์	**รหัสนักศึกษา**	46012134
	นายสุรลักษณ์	จรูญโสตร์	**รหัสนักศึกษา**	46012136
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประภาษ	อุดคกิมาพันธุ์		
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางเป็นอย่างมาก โดยจุดประสงค์ในการออกแบบมาเพื่อนำใช้งานทดแทนแรงงานมนุษย์เพื่อนำไปใช้งานในพื้นที่เสี่ยงภัยหรือเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ แขนกลเป็นหุ่นยนต์อีกชนิดที่ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะนำไปใช้งานทางด้าน เชื่อม หยิบจับเคลื่อนย้ายวัสดุ หรือ พ่นสี เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วเทคโนโลยีเหล่านี้ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการออกแบบระบบควบคุมแขนกลเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรม โดยการศึกษาทฤษฎีบทของ Kinematic เพื่อทำการออกแบบพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของแขนกล รวมทั้งได้ศึกษาลักษณะการสั่งการการเคลื่อนที่เชิงเวลาที่เรียกว่าทฤษฎี Jacobian เพื่อนำไปพัฒนาตัวแขนกลต่อไปในอนาคต ซึ่งแขนกลได้ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อให้มีระบบควบคุมแบบป้อนกลับมาเพื่อเช็คตำแหน่งและองศาที่กระทำกันของแต่ละข้อของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design and Development of Robotic Arm for Industry
Authors	Mr. Poramate boonyatee
	Mr. Subpong teenanonta
	Mr. Suraluck Jaroonsote
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Prapart Ukakimapurn
Year	2006

ABSTRACT

Nowadays Robot has Designed and Development to use a lot of widespread for Industrial,The principle to design is applied for replace human and working within Hazardeous Area or a risk for human,Robotic Arm are the one type of Robot which widespread for industrial such as welding pick and place or spray painting and etc,. Many year agos almost technology in thailand are imported from foreign countries and so make expenditure in Thailand very much. This thesis are provide for design and control for industry, By studying kinematic theory applied for characteristic and movement of Robotic Arm, And study a characteristic of Manipulator Differential Motion and static for development in the future which this is call Jacobian ,Which Robotic Arm are designed to give feedback control system for Rechecked the Position and Degree for each link in space

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ธีรวัฒน์ เทพมณี และ รองศาสตราจารย์ ไสว พงศ์สวัสดิ์ ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำและการช่วยเหลือต่างๆในการทำโครงงานชิ้นนี้ได้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านแห่งภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆอยู่เสมอ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VII

สารบัญตาราง VIII

บทที่ I บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2

บทที่ 2 ทฤษฎี 3

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์และควบคุมหุ่นยนต์
(Fundamental of Robotic Analysis and Control) 3

2.1.1 การแบ่งประเภทของแขนกล 4

2.1.2 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์ (Robot Specification) 10

2.1.3 ความแม่นยำของการเคลื่อนที่ 13

2.1.4 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 14

2.1.5 คุณสมบัติอื่น ๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วไป 15

2.1.6 End Effector 15

2.1.7 การควบคุมการทำงานด้วยหุ่นยนต์ 16

2.1.8 การสั่งงาน 16

2.2 คีเนมาติกส์และไดนามิคส์(Robot Arm Kinematics and Dinamics) 17

2.2.1 Direct Kinematics: The Arm Equation 18

2.2.2 อินเวอร์สคิเนมาติค (The Inverse Kinematics) 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 ตัวสั่งการการเคลื่อนที่และสถิตแบบดิฟเฟอร์เรนเชียล
(Manipulator Differential Motion and Statics)..... 19
2.3.1 ความเร็วเชิงเส้นและเชิงมุมของวัตถุแข็งเกร็ง
(Linear and Angular Velocity of a Rigid Body)..... 20
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง transformation matrix กับ ความเร็วเชิงมุม..... 24
2.3.3 ความเร็วที่กระจายไปตามLink (Velocity Propagation Along Links)..... 26
2.3.4 ตัวสั่งการจาโคเบียน(Manipulator Jacobian)..... 27
2.3.5 จาโคเบียนผกผัน(Jacobian Inverse)..... 29
2.4 โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล..... 29
2.4.1 ส่วนตรวจจับ (Sensor & Encoder)..... 29
2.4.2 หน่วยประมวลผลกลางและควบคุม..... 29
2.4.3 วงจรขับมอเตอร์..... 30
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ดีซีเซอร์โวมอเตอร์(DC Servo Motor)..... 30
2.5.1 เซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor)..... 30
2.5.2 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว..... 31
2.5.3 ส่วนประกอบของ Servo Motor..... 32
2.5.4 หลักการทำงานของ Servo Motor..... 32
2.6 อุปกรณ์FPGA..... 34
2.6.1 ASIC 34
2.6.2 การแบ่งหมวดของ FPGA 35
2.6.3 ข้อแตกต่างอื่นๆ ของโครสร้างสถาปัตยกรรมของ FPGA..... 36
2.6.4 การออกแบบด้วย FPGA 37
2.7 พื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรม 38

บทที่ 3 หลักการในการออกแบบแขนกล..... 43
3.1 กล่าวนำ..... 43
3.1.1 ส่วนของการเคลื่อนที่และการทำงานของหุ่นโดยรวม..... 43
3.1.2 ส่วนของแขนกล (Hard ware)..... 43
3.1.3 ส่วนโปรแกรม (Soft ware)..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ และ ตำแหน่งของแขนกล.....44
3.2.1 ควบคุมการเคลื่อนที่และการทำงานของแขนกลโดยรวม.....44
3.2.2 การออกแบบสมการของการเคลื่อนที่ของแขนกล.....45
3.2.3 ตัวสั่งการจาโคเบียน (Manipulator Jacobian).....48
3.3 ส่วนของซอร์ฟแวร์.....49
3.3.1 ส่วนของโปรแกรมหลัก.....49
3.4 ส่วนของแขนกลและระบบการควบคุมแขนกล(Hard Ware).....52
3.4.1 ส่วนตัวแขนกล (Robot Arm).....52
3.4.2 ส่วนของชุดควบคุมแขนกล (Motion Controller).....54

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....56
4.1 กล่าวนำ.....56
4.2 ผลการทดลองการควบคุมแขนกลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์.....56
4.3 สรุปผลของการทดลอง.....58

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ปัญหา และข้อเสนอแนะ.....60
5.1 สรุปผลการทดลอง.....60
5.2 ปัญหา.....60
5.3 ข้อเสนอแนะ.....60

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงการทำงานของจุดต่อหุ่นยนต์ 4

2.2 แสดงแกนการทำงานของหุ่นยนต์แต่ละชนิด..... 5

2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์ 10

2.4 การเคลื่อนที่แบบ Yaw ,Pitch และ row 12

2.5 แสดงรายละเอียดแต่ละขาของ พอร์ต RS 232 42

3.1 แสดงค่าคงที่ของแต่ละปุ่มกดบน Joystick.....51

4.1 ผลของการทดลองการเขียนโปรแกรมเคลื่อนย้ายวัตถุ 3 ตำแหน่ง.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายมนุษย์ 3

2.2 Gantry Robot 5

2.3 Work envelope of Gantry Robot 5

2.4 Cylindrical Robot 6

2.5 Work envelope of Cylindrical Robot 6

2.6 Spherical Robot 7

2.7 Work envelope of Spherical Robot 7

2.8 Scara Robot 8

2.9 Work envelope of Scara Robot 8

2.10 Articulated Robot 9

2.11 Work envelope of Articulated Robot 9

2.12 ระยะที่เอื้อมถึงและสโตรคของหุ่นยนต์ทรงกระบอก 11

2.13 yaw –pitch-roll ของ Tool 11

2.14 ลำดับการหมุนแกน 12

2.15 ระบบ YPR 13

2.16 ระบบ RPY 13

2.17 ลักษณะการสั่งงานแบบลีดทรูโดยอาศัยโรบอทซีมูเลเตอร์ 17

2.18 แขนกลที่มีลักษณะเป็น links 18

2.19 การสั่งการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของวัตถุ 1 link 20

2.20 ความเร็วเชิงมุมของเฟรม $\{i\}$ที่มีความสัมพันธ์กับเฟรม $\{0\}$ ในแกน k 21

2.21 ความเร็วเชิงเส้นที่เกิดขึ้นด้วยความเร็วเชิงมุมของเฟรม $\{2\}$ 22

2.22 ความเร็วของจุดที่เกิดเป็นความเร็วเชิงเส้น 22

2.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง transformation matrix และเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุม 24

2.24 ความเร็วที่กระจายไปตาม link 26

2.25 ตำแหน่งของ end-effector ซึ่งกำหนดโดยข้อต่อ Rotary 28

2.26 แสดงรูปของ DC Servo motor 30

2.27 แสดงชุดเฟืองเกียร์ของ Servo Motor 30

2.28 แสดงส่วนประกอบภายในของ Servo Motor 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.29 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว....31

2.30 แสดงการส่งสัญญาณ pulse เพื่อควบคุมตำแหน่ง Servo Motor.... 33

2.31 แสดงตำแหน่งองศาการหมุนของ Servo เป็นไปตามสัญญาณ pulse....33

2.32 คุณลักษณะระหว่าง ความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์....34

2.33 ชนิดของวงจรรวม(ASIC: Application Specific Integrated Circuit)....35

2.34 ลักษณะสัญญาณของการสื่อสารแบบซิงโครนัส....39

2.35 Pin Diagrams for 16550, 16450 & 8250 UARTs....39

2.36 การเชื่อมต่อ computer ด้วย RS 232 DTE & DCE....40

2.37 แสดงขาสัญญาณต่าง ๆ ของอุปกรณ์ DTE....41

2.38 แสดงขาสัญญาณต่าง ๆ ของอุปกรณ์ DCE....42

3.1 แสดงการทำงานโดยรวมของ Robot Arm....44

3.2 แสดงลักษณะข้อต่อ (T^{n}_{n-1}) และมุมระหว่างข้อต่อ (θ_n) 47

3.3 แสดงหน้าจอโปรแกรมควบคุมหลัก....50

3.4 แสดงค่าของระยะการทำงานของคันโยกของ Joystick....51

3.5 แสดงถึงกราฟิกของภาพแขนกล ซึ่งประกอบด้วยแกน X ,Y ,Z ,P....52

3.6 แสดงตัวแขนกล 5 แกน....52

3.7 แสดงส่วนโครงสร้างของแขนกล....53

3.8 แสดง Servo Motor ของแต่ละแกน....53

3.9 แสดง Power Supply ของ Servo Motor....54

3.10 แสดงการ์ด Microcontroller ที่ใช้ในโครงงาน....54

3.11 แสดงการ์ด FPGA ที่ในโครงงานนี้....55

3.12 แสดงการ์ด I/O ที่ใช้ในโครงงานนี้....55

4.1 แสดงตำแหน่งขอบเขตของการย้ายวัตถุ....56

4.2 แสดงผลของกราฟิกของแขนกลที่แสดงออกทางจอภาพ....57

4.3 แสดงการทำงานของแขนกลเมื่อทำการหยิบลูกเหล็ก....58

4.4 แสดงการทำงานอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดในโครงงานนี้....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันนี้กระบวนการผลิตต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ นั้นจะเป็นการผลิตเชิงปริมาณ (Mass Product) คือ ผลิตชิ้นงานจำนวนมากๆ และ ซ้ำๆ กัน การใช้มนุษย์ในการผลิตอาจจะได้ชิ้นงานไม่ตรงตามมาตรมาตรฐาน และ ผลิตได้ช้า ไม่ทันต่อความต้องการ ด้วยเหตุผลนี้เอง หุ่นยนต์จึงได้ถูกนำมาใช้งานเป็นจำนวนมาก เพื่อทำงานทดแทนมนุษย์ ทั้งยังมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่ามนุษย์ และ สามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ และยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานของหุ่นจำเป็นต้องมีการควบคุมจากมนุษย์ เพื่อที่จะทำให้มันทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ด้วยเหตุผลนี้จึงได้นำความรู้ที่เรียนมา ในการศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์ และนำมาเป็นหัวข้อในการทำโครงงานในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เพื่อศึกษาทฤษฎีบทของ Kinematic มาใช้ในการออกแบบพฤติกรรมและลักษณะของการเคลื่อนที่ของแขนกล ซึ่งประกอบไปด้วย Forward Kinematic และ Inverse Kinematic ของการเคลื่อนที่ของแขนกล และ ศึกษาทฤษฎีบทของ Jacobian เพื่อนำทฤษฎีบท Jacobian ที่ได้ออกแบบไปเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อจากการนำทฤษฎีบทของ Kinematic ที่ได้เพื่อทำให้แขนกลนั้นมีการเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นกว่าเดิม และทำการออกแบบและพัฒนาแขนกล และชุด Motion Control เพื่อควบคุมการทำงานของแขนกล

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ศึกษาการนำทฤษีบทของ Kinematic เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบสมการของการเคลื่อนที่ทางคณิตศาสตร์ (kinametic) จากหุ่นยนต์แขนกลแบบ 5 แกนและนำสมการที่ได้ไปใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลในตำแหน่งต่างๆ จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดใดๆ บนระนาบ 3 มิติ และทำการศึกษาทฤษฎีบทของ Jacobian เพื่อนำไปใช้และสามารถนำไปใช้พัฒนาระบบแขนกลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไปได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีบทของ Kinematic เพื่อทราบถึงพฤติกรรมการทำงานและการเคลื่อนที่ของแขนกล และทำการ Simulation การเคลื่อนที่ของแขนกล เพื่อทดสอบขอบเขตของการเคลื่อนของสมการการเคลื่อนที่ของสมการ Kinematic ที่ได้ทำการออกแบบว่าสามารถเคลื่อนที่และสามารถทำงานไปยังตำแหน่งปลายทางที่ต้องการให้เคลื่อนที่ไปได้หรือไม่ และทดสอบความเป็นไปได้ของการทำมุมของแต่ละ Link เพื่อให้ทำงานในขอบเขตที่กำหนดได้ผ่านทางจอภาพ จากนั้นนำสมการการเคลื่อน (Kinematic) ที่ได้นำไปศึกษาต่อในทฤษฎีบทของ Jacobian เพื่อนำทฤษฎีของ Jacobian ไปใช้เพื่อพัฒนาระบบแขนกลให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต โดยทำการศึกษาการทำให้ข้อต่อแต่ละ (Link) ในตัวแขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างราบรื่นและสัมพันธ์เพื่อไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างพร้อมเพรียงกันในช่วงเวลาการทำงานเดียวกันจากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์และควบคุมหุ่นยนต์

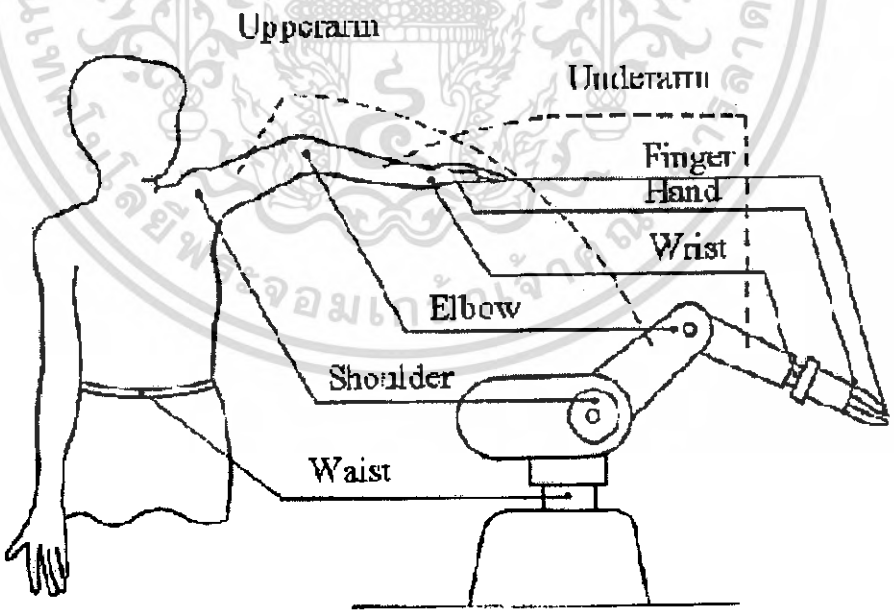
(Fundamental of Robotic Analysis and Control)

หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรที่ถูกควบคุมอัตโนมัติ สามารถเขียนโปรแกรมใหม่ได้ ใช้งานเอนกประสงค์ โปรแกรมการเคลื่อนที่จะต้องสามารถโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 3 แกนหรือมากกว่า หุ่นยนต์อาจจะยึดอยู่กับที่หรือย้ายตำแหน่ง (Mobile) เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม

หุ่นยนต์ (Robotics) มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น หุ่นยนต์ที่เป็นของเล่น หุ่นยนต์ใช้ในงานการแพทย์ หุ่นยนต์เพื่องานวิจัย หุ่นยนต์สำรวจ และหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ฯลฯ

การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเลียนแบบร่างกายของมนุษย์โดยจะเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมเท่านั้น นั่นคือช่วงแขนของมนุษย์ ดังนั้น บางคนอาจจะได้ยินคำว่าแขนกล ซึ่งก็หมายถึงหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายมนุษย์

ปัจจุบันและในอนาคตหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมมากขึ้น โดยจะทำงานแทนมนุษย์ในงานต่าง ๆ เหล่านี้งานที่อันตราย เช่น งานยกเหล็กเข้าเตาหลอม งานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับสารเคมีงานซ้ำซากน่าเบื่อ เช่น งานยกสินค้าจากสายงานการผลิต งานประกอบ งานบรรจุผลิตภัณฑ์งานที่ต้องการคุณภาพมาตรฐานเดียวกัน เช่น งานเชื่อม งานตัด งานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง เช่น งานเชื่อมแนว เชื่อมเลเซอร์งานที่ต้องใช้ความละเอียดประณีต เช่น งานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ งานตรวจสอบ (Inspection) ฯลฯ

2.1.1 การแบ่งประเภทของแขนกล

เราสามารถแบ่งประเภทแขนกล โดยพิจารณาจากพื้นฐานใหญ่ ๆ ดังนี้

1. โครงสร้างภายนอกและการเคลื่อนที่ของแขนกล
2. ทางของแขนกล ซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุมการเคลื่อนที่
3. ประสิทธิภาพของแขนกล

การพิจารณาแบ่งประเภทของแขนกลในชั้นนี้ เราจะอาศัยเฉพาะพื้นฐานข้อ 1 และ ข้อ 2 เท่านั้น แม้ว่าพื้นฐานข้อ 3 จะมีความสำคัญมากที่สุด แต่จะต้องอาศัยความรู้ทางด้านจลศาสตร์ (Kinematics) และพลศาสตร์ (Dynamics) ชั้นสูง ซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ การแบ่งประเภทแขนกลในระดับนี้ จึงจะไม่นำพื้นฐานข้อ 3 มาคิด

โดยทั่วไปการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric) แต่ก่อนจะอธิบายชนิดของหุ่นยนต์ขออธิบายการทำงานของจุดต่อ (Joint) ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมซึ่งในขั้นพื้นฐานมี 2 ชนิดด้วยกัน

ตารางที่ 2.1 แสดงการทำงานของจุดต่อจุดของหุ่นยนต์

ชนิด	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary)
Prismatic (P)		การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear motion)

จุดต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ได้ดังต่อไปนี้

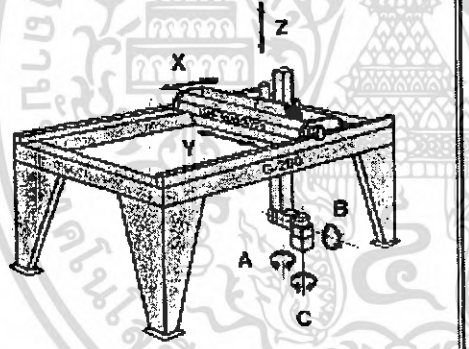
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. 2 แสดงแกนการทำงานของหุ่นยนต์แต่ละชนิด

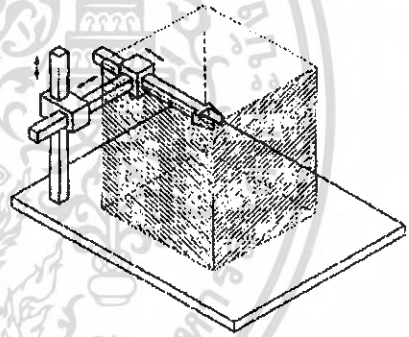
ชนิดของหุ่นยนต์	แกนที่ 1 (เอว)	แกนที่ 1 (เอว)	แกนที่ 3 (ข้อศอก)
Cartesian (gantry)	P	P	P
Cylindrical	R	P	P
Spherical (Polar)	R	R	P
SCARA	R	P	R
Articulated	R	R	R
R = Revolute, P = Prismatic			

2.1.1.1 Cartesian Robot (gantry)

แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่น เรียกว่า ชนิด Cartesian



ภาพที่ 2.2 Gantry Robot



ภาพที่ 2.3 Work envelope of Gantry Robot

ข้อดี

- เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงทั้ง 3 มิติ
- การเคลื่อนที่สามรถทำความเข้าใจง่าย
- มีส่วนประกอบง่าย ๆ
- โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

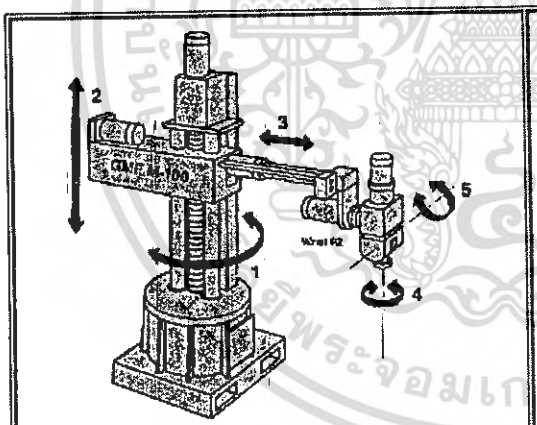
ข้อเสีย

- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก
- บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้จะเล็กกว่าขนาดของหุ่นยนต์
- ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้
- แกนแบบเชิงเส้นจะSealเพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

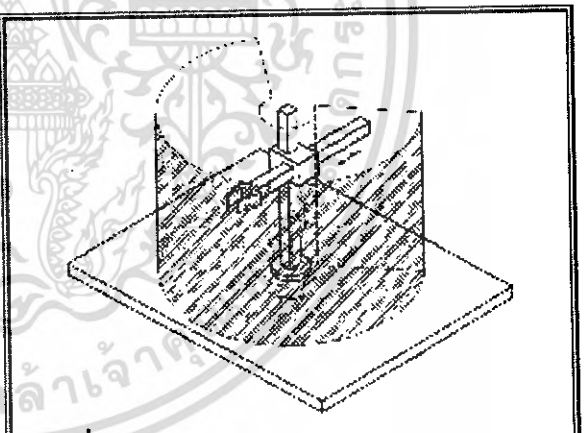
การประยุกต์ใช้งานเนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงจลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการเคลื่อนย้ายของหนัก ๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่นใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงานTest ต่าง ๆ

2.1.1.2 Cylindrical

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล่) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูป



ภาพที่ 2.4 Cylindrical Robot



ภาพที่ 2.5 Work envelope of Cylindrical Robot

ข้อดี

- มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด-ปิด หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่องหรือโพรงได้ง่าย(Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

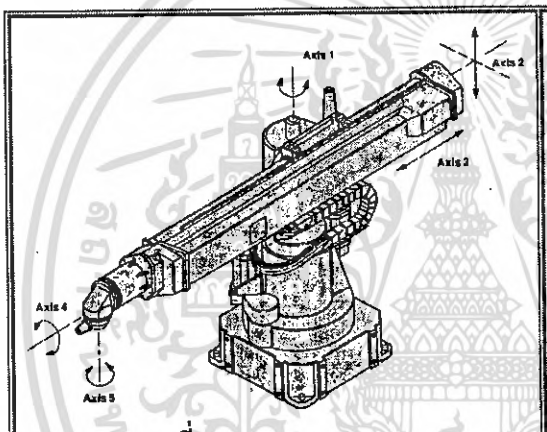
ข้อเสีย

- มีพื้นที่ทำงานจำกัด
- แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการSealเพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลว

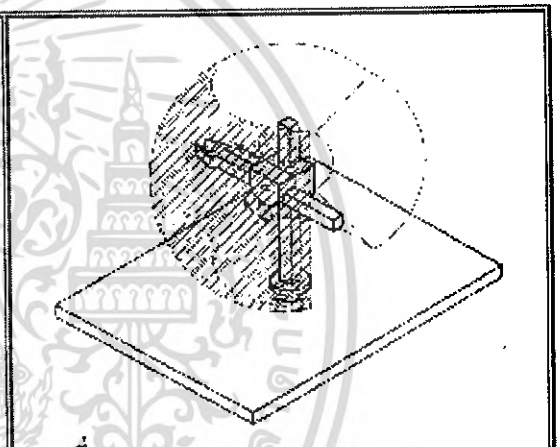
การประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน(Pick-and-Place)หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักรเพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็ก ๆ ได้สะดวก

2.1.1.3 Spherical Robot (Polar)

มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 Spherical Robot



ภาพที่ 2.7 Work envelope of Spherical Robot

ข้อดี

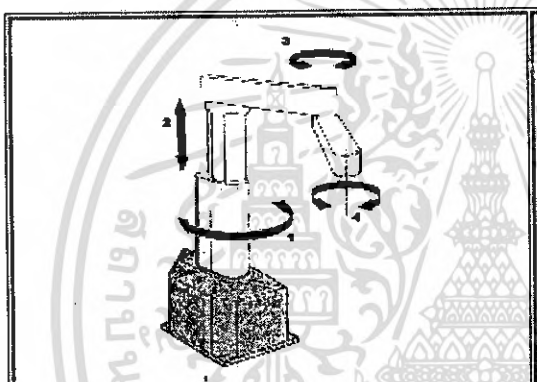
- มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนขึ้น

การประยุกต์ใช้งาน ใช้งานที่มีการเคลื่อนในแนวดั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

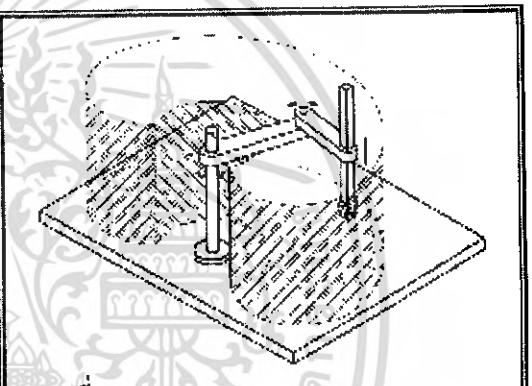
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 SCARA Robot

หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูปที่ 2.8 ทำให้ได้พื้นที่การทำงานดัง รูปที่ 2.9 หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูงเป็นหุ่นยนต์ที่มีแขน ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประกอบด้วยกัน 2 แขน และมือที่ใช้ทำงานอีกหนึ่งชิ้น ซึ่งแขนทั้งสองจะถูกยึดติดอยู่บนฐาน โดยแขนหลักของหุ่นยนต์จะติดอยู่ที่จุดหมุนของฐานหุ่นยนต์ และแขนที่สองจะถูกติดตั้งที่ปลายของแขนหลัก ส่วนมือในการทำงานจะติดอยู่ที่ปลายของแขนที่สอง ในส่วนของการทำงานของแขนหุ่นยนต์ทั้งสอง จะถูกจำกัดการเคลื่อนที่เฉพาะในแนวราบหรือแกน x,y ส่วนมือก็จะทำงานเฉพาะในแนวดิ่งหรือแกน z เท่านั้น



ภาพที่ 2.8 Scara Robot



ภาพที่ 2.9 Work envelope of Scara Robot

ข้อดี

- สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว
- มีความแม่นยำสูง

ข้อเสีย

- มีพื้นที่การทำงานจำกัด
- ไม่สามารถหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่าง ๆ ได้
- สามารถยกน้ำหนัก (Pay load) ได้ไม่มากนัก

การประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและและขึ้นลงได้รวดเร็ว

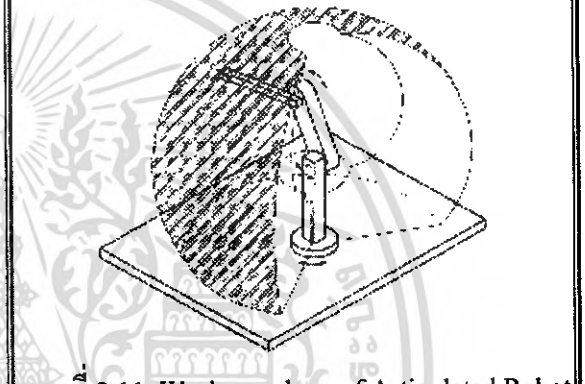
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ก็ไม่ต้องการ การหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะสมกับการประกอบชิ้นงานทางกล (Mechanical Part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่าง ๆ นอกจากนี้ SCARA ROBOT ยังไม่เหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

2.1.1.5 Articulated Arm (Revolute)

ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน (Revolute) รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 2.11

ภาพที่ 2.10 Articulated Robot



ภาพที่ 2.11 Work envelope of Articulated Robot

ข้อดี

- เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะ ของการหมุนทำให้ความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปในจุดต่าง ๆ
- บริเวณข้อต่อ(Joint)สามรถ Seal เพื่อป้องกันฝุ่น ความชื้นหรือน้ำได้
- สามรถเขาถึงชิ้นงานทั้งด้านบนด้านล่าง

ข้อเสีย

- มีระบบพิกัด (Coordinate) ที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความเข้าใจ ได้ยากขึ้น
- ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก
- โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณWork Envelope ปลายแขนจะมีการสั่นทำให้ความแม่นยำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์ (Robot Specification)

นอกจากเกณฑ์ต่าง ๆ ในการแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ที่กล่าวมาแล้วแล้ว ยังมีลักษณะบางอย่างที่ช่วยให้ผู้ใช้ในการเลือกหุ่นยนต์ที่ต้องการ ลักษณะดังต่อไปนี้ดังตารางที่ 2.3

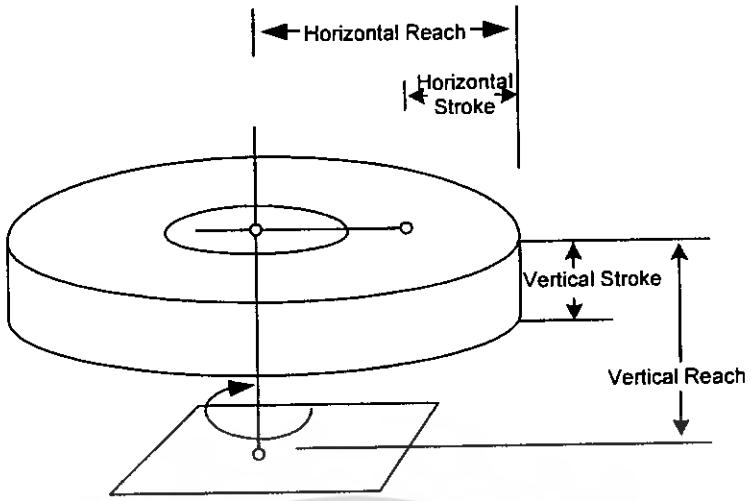
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์

คุณลักษณะ (Characteristics)	**หน่วย (Unit)**
จำนวนแกน	_
ความสามารถในการยกน้ำหนัก	Kg
ความเร็วสูงสุด,เวลาครบรอบ	sec/mm
ระยะเอื้อมถึงและสโตรค	mm
การหมุนของเครื่องมือ	Deg
การซ้ำตำแหน่งเดิม	Mm
ความละเอียดและความแม่นยำ	Mm
สภาพแวดล้อมการทำงาน	_

ระยะที่เอื้อมถึงและสโตรก (Reach and Stroke) เป็นการวัดขนาดของพื้นที่ทำงาน (Work Envelope) อย่างคร่าว ๆ ระยะที่เอื้อมถึงในแนวนอน (Horizontal Reach) คือระยะทางตามแนวรัศมีที่มากที่สุดที่มือสามารถเอื้อมไปถึงโดยวัดจากแกนแนวตั้งที่ทำให้หุ่นยนต์หมุน สโตรกแนวนอน (Horizontal Stroke) คือระยะทางตามแนวรัศมีทั้งหมดที่ข้อมือสามารถไปได้ ดังนั้นระยะทางที่เอื้อมถึงในแนวนอนลบด้วย สโตรกในแนวนอน คอระยะตามแนวรัศมีที่น้อยที่สุดที่ข้อมือสามารรถไปถึงได้โดยวัดจากแกนฐานซึ่งมีค่าเป็นบวกเสมอ จึงได้ว่า Stroke ≥ Reach

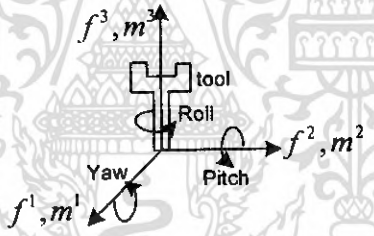
ตัวอย่างเช่น ระยะที่เอื้อมถึงในแกนนอน (Horizontal Reach) ของหุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอกคือมีรัศมีเป็นทรงกระบอก อันนอกจากพื้นที่การทำงาน ในขณะที่สโตรกแนวนอน (Horizontal Stroke) คือผลระหว่ารัศมีอันในและอันนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 ระยะที่เอื้อมถึงและสโตรกของหุ่นยนต์ทรงกระบอก

การหมุนของ Tool (Tool Orientation) ในขณะที่ 3 แกนหลักใช้ในการพิจารณารูปทรงของพื้นที่การทำงานแกนที่เหลือจึงใช้เป็นการพิจารณาพื้นที่การทำงาน แกนที่เหลือจึงใช้ในการพิจารณาการหมุนของ Tool จะใช้ในระบบ Yaw – Pitch - Roll (YPR) ดังรูปที่ 2.7



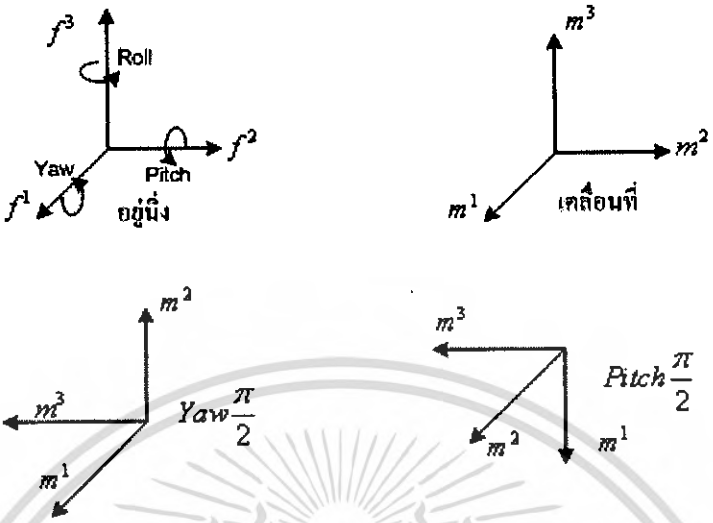
ภาพที่ 2.13 yaw –pitch-roll ของ Tool

ในการระบุการหมุน จะติดโครงพิกัด tool M=$\{m^1, m^2, m^3\}$ไว้ที่ tool และโครงนี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับtool ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แกน m^3 ขนานอยู่แนวเดียวกับแกนของ tool และชี้ออกจากข้อมือ แกน m^3 ขนานกับทิศทางที่ปลายนิ้วของ tool เลื่อนเปิด-ปิด ส่วนแกน m^1 เป็นไปตามกฎมือขวาของโครงพิกัด M

การเคลื่อนที่แบบ Yaw – Pitch - Roll จะกระทำตามลำดับกับแกนที่อยู่นิ่ง เมื่อเริ่มต้นโครงพิกัดเคลื่อนที่ ของtool M จะทับอยู่กับโครงพิกัดอยู่นิ่งของข้อมือ F=$\{f^1, f^2, f^3\}$ ซึ่งติดกันอยู่ที่ส่วนปลายของปลายแขน (Forearm) Yaw คือการหมุน tool รอบแกนข้อมือ f^1 , pitch คือการหมุน tool รอบแกนข้อมือ f^2, Roll คือการหมุน tool รอบแกนข้อมือ f^3 ในแต่ละกรณีมุมบวกเกิดจากการหมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยมองจากปลายแกนเข้าสู่จุดกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการเคลื่อนหมุน Yaw ,Pitch ,Row มีความสำคัญมาก เพราะมีผลต่อลักษณะการวางตัวสุดท้ายของtool ตัวอย่างเช่น หมุน Yaw ไป 90° ตามด้วย Pitch 90° จะมีลักษณะการวางตัวสุดท้ายต่างกับการหมุน Pitch 90° ไป แล้วตามด้วย Yaw 90° เป็นต้น



ภาพที่ 2.14 ลำดับการหมุนแกน

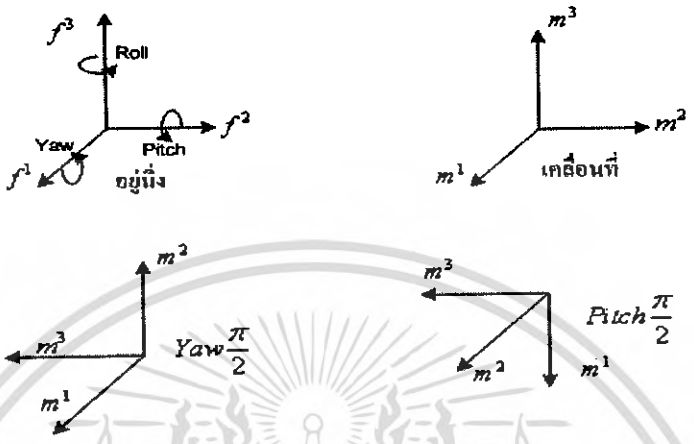
การกำหนด YPR ตามลำดับการหมุนแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบ Yaw Pitch และ Roll

ขั้นตอน	การอธิบาย	แกน
1	Yaw	f^1
2	Pitch	f^2
3	Roll	f^3

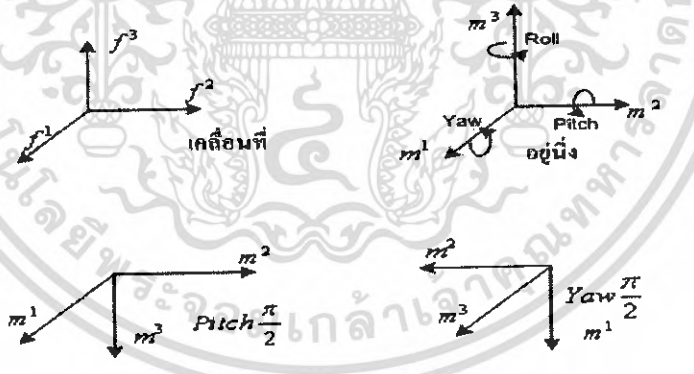
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกหนึ่งวิธีที่ใช้ระบุการหมุนคือ ระบุลำดับการหมุนลำดับกับ YPR และคิดเทียบกับโครงพิกัดเคลื่อนที่ของ tool M แทนที่โครงพิกัดที่อยู่นิ่งของข้อมือ F ดังรูปที่2.10 โดยเริ่มแรก roll คือการหมุนรอบแกน m^3 ,Pitch คือการหมุนรอบแกน m^2 ,Yaw คือการหมุนรอบแกน m^1 การคิดลักษณะนี้เรียกว่า เป็นระบบ RPY จะให้ผลลัพธ์เหมือนแบบ YPR



ภาพที่ 2.15 ระบบYPR

หมุน Pitch ตาม Yaw



ภาพที่ 2.16 ระบบ RPY

2.1.3 ความแม่นยำของการเคลื่อนที่ ความสำคัญอีกประการหนึ่งของการสร้างหุ่นยนต์คือความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งความแม่นยำนี้ขึ้นอยู่กับตัวอย่าง 3 อย่าง

2.1.3.1 Spatial Resolution

คือช่วงการเคลื่อนที่มีระยะทางสั้นที่สุดที่หุ่นยนต์แต่ละตัวสามารถที่จะทำได้ซึ่ง Spatial Resolution นี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบการควบคุม (Control System) ระบบการควบคุมนี้จะรวมถึงการวัดสัญญาณป้อนกลับของหุ่นยนต์ด้วย

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงกล (Mechanical inaccuracy) ของหุ่นยนต์แต่ละตัวขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อหมุน (joint) และข้อต่อ (link) และระบบต้นกำลังของหุ่นยนต์ตัวนั้นด้วย

2.1.3.2 Accuracy

คือตัวที่แสดงถึงความสามารถของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่เข้าใกล้จุดเป้าหมายตามที่เราสั่ง Accuracy สามารถที่จะกำหนดให้อยู่ในเทอมของ Spatial Resolution ได้ทั้งนี้เพราะว่าการเคลื่อนที่ให้เข้าใกล้จุดเป้าหมาย ก็ต้องขึ้นอยู่กับช่วงของการเคลื่อนที่ว่ามีความละเอียดมากน้อยเพียงใด ในการทำงานเราต้องวางจุดที่เราต้องการให้หุ่นยนต์ทำงานอยู่ระหว่างกลางของตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ทั้งนี้เพราะว่าความคลาดเคลื่อนเชิงกลมีผลต่อความแม่นยำของหุ่นยนต์ ความแม่นยำของหุ่นยนต์กำหนดให้เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะทางการเคลื่อนที่ที่สั้นที่สุดของหุ่นยนต์ที่สามารถทำได้ โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้

1. พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ ถ้าแขนทำงานในพื้นที่การทำงานจะมีความแม่นยำมากกว่าแขนออกนอกพื้นที่การทำงาน

2. วงรอบการทำงาน ถ้าวงรอบการทำงานเป็นวงรอบที่แน่นอน ความแม่นยำจะมีมากขึ้น

3. น้ำหนักที่ได้รับ ถ้าหุ่นยนต์ทำงานโดยรับน้ำหนักมากๆ ความแม่นยำจะลดลง

2.1.3.3 Repeatability

คือความสามารถของหุ่นยนต์ในการกลับมาทำงานซ้ำที่เดิมหลายๆ ครั้งได้ เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น Backlash ในเฟืองและความยืดหยุ่น (Flexibility) ของส่วนต่างๆ ซึ่งมักทำให้เกิดความผิดพลาดใน Repeatability

2.1.4 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนี้ จะคล้ายกับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ในเครื่องจักรเอ็นซี กล่าวคือมีได้ 2 ลักษณะคือ การเคลื่อนที่จากจุดต่อจุด (point to point) แบบต่อเนื่อง (Continuous path) โดยแบบแรกจะเป็นการกำหนดตำแหน่ง (เริ่มต้นถึงสิ้นสุด) ให้กับหุ่นยนต์เพื่อให้มันเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยไม่สนใจว่าจะใช้เส้นทางไหน ซึ่งหุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ สามารถนำไปใช้ในงานประเภทหยิบ จับ สิ่งของ หรืองานเชื่อมตามจุด (Spot Welding) ฯลฯ โดยแบบหลังจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการสั่งงานมากกว่าแบบแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 คุณสมบัติอื่น ๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วไป

ลักษณะของวงจรขับ (Drive system)

2.1.5.1 ระบบไฮดรอลิก

ซึ่งเป็นระบบที่ง่ายต่อการดูแล ทนทาน และเคลื่อนที่ทำงานได้เร็ว

2.1.5.2 ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า

เป็นระบบที่ใช้สเตปมอเตอร์ (Stepping motor) หรือ เซอร์โวมอเตอร์ (Servomotor) เป็นตัวไปควบคุมการเคลื่อนที่ส่วนต่าง ๆ หุ่นยนต์ที่ใช้ในระบบนี้จะมีกำลังไม่สูงเหมือนแบบแรก แต่จะมีความละเอียด ไม่ว่าในแง่ของตำแหน่งในการเคลื่อนที่ หรือการทำซ้ำจะดีกว่า

2.1.5.3 ระบบนิวเมติกส์

ระบบนี้ใช้กับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก อีกทั้งระบบไม่ยุ่งยาก

2.1.6 End Effector

End Effector หรือ "มือ" ของหุ่นยนต์นี้เป็นอุปกรณ์ที่หุ่นยนต์ใช้ทำงานจริง (ส่วนแขนนั้นใช้เพื่อเลื่อนตำแหน่ง "มือ" นี้ให้ไปอยู่ในจุดที่ต้องการเท่านั้น) งานที่ส่วนนี้ทำก็อาทิเช่น การจับชิ้นส่วน การบัดกรีตามจุด การพ่นสี ฯลฯ ดังนั้นลักษณะของส่วนนี้จึงต่างกันออกไปสุดแท้แต่จินตนาการของผู้ออกแบบซึ่งต้องออกแบบให้เหมาะสมกับงาน แต่ถ้าจะมีการแบ่งกันเป็นชนิดแล้ว "End Effector" นี้จะออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบมือจับ (Gripper) แบบมือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

2.1.6.1 Gripper

Gripper นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับชิ้นส่วนหรือเครื่องมือโดยออกแบบมีได้หลายลักษณะทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น

1. แบบมือคีบ (อาศัยแรงเสียดทานในการจับ) ใช้งานได้กับวัสดุทุกประเภท แต่หากเป็นวัสดุบอบบางอาจต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยเสริม
2. แบบ Suction Cup อาศัยคุณสมบัติการทำให้เกิดสภาพสุญญากาศ เป็นตัวดึงชิ้นงาน ใช้ได้กับวัสดุผิวเรียบเท่านั้น
3. แบบ ตะขอ (Hook) สำหรับเกี่ยวยกของ เช่น ของที่อยู่บนสายพาน ฯลฯ
4. แบบ ตัก (Scoop) สำหรับการลำเลียงของที่เป็นของเหลวหรือฝุ่นผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.2 มือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

เนื่องจาก Gripper มีข้อจำกัด ใช้ได้เฉพาะกับงานหยิบจับวัสดุเท่านั้น แต่การใช้งานของหุ่นยนต์มีขอบเขตกว้างขวางจึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ใช้งานติดกับส่วนปลายหรือส่วนมือนี้เพื่อใช้ในการทำงาน โดยอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตายหรืออาจถอดเปลี่ยนได้ก็แล้วแต่การออกแบบ ตัวอย่างของมือที่เป็นอุปกรณ์นี้มีมากมายอาทิ เช่น

- ติดอุปกรณ์เชื่อมเฉพาะจุด (Spot Welding Gun)
- ติดอุปกรณ์พ่นสี (Spray Paint Gun)
- ติดอุปกรณ์สว่าน (Drilling Spindle)

2.1.7 การควบคุมการทำงานด้วยหุ่นยนต์

โดยปกติหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมักจะทำงานเชื่อมกับระบบอื่น ๆ เช่นระบบสายพาน(ในกรณียกของขึ้น/ลง) เครื่องมือต่าง ๆ (ในการประกอบชิ้นงาน) ฯลฯ ซึ่งหมายความว่า การจะทำงายได้ต้องมีการควบคุมให้การทำงานของหุ่นยนต์และระบบข้างเคียงทำงานอย่างสอดคล้องกันได้ เพื่อให้งานมีลักษณะต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องมีระบบควบคุมให้การทำงานแต่ละจุดได้จังหวะสอดคล้องกันทั้งระบบ ส่วนที่ไปควบคุมการทำงานนี้ เรียกว่า หน่วยควบคุม (Workstation Controller) และส่วนที่ถูกควบคุมทั้งหมดอาทิเช่น หุ่นยนต์ ระบบสายพาน ระบบเครื่องมือ ฯลฯ) นี้เรียกว่า เวิร์คสเตชั่น (Workstation) หรือ (Work Cell)

2.1.8 การสั่งงาน

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานตามที่กำหนดนี้ อาจทำได้ในหลายลักษณะ คือ

- แบบ Manual
- แบบลีดทรู (lead true)
- แบบการสั่งงานด้วยโปรแกรม

2.1.8.1 การสั่งงานแบบ Manual

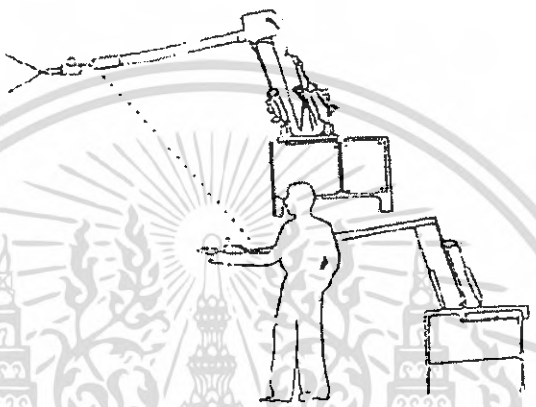
การสั่งงานแบบนี้เป็นการสั่งงานที่ง่ายที่สุด และใช้กันมากที่สุด และใช้กันมากในการสั่งงานให้หุ่นยนต์ทำงานแบบจุดต่อจุด (point to point) โดยวิธีการจะเป็นการเคลื่อนที่แกนต่าง ๆ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยการกดปุ่มบังคับ ดังนั้นลักษณะนี้จึงคล้ายกับการเซ็ทอัพ (Set up) มากกว่าการโปรแกรม กล่าวคือ มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้นแล้วก็มีการกำหนดค่าไว้ จากนั้นก็เคลื่อนไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดค่าไว้ จากนั้นก็เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดค่าไว้ฯลฯ โดยค่าที่กำหนดไว้นี้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำ เรียกออกมาใช้ภายหลังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1.8.2 การสั่งงานแบบลีดทรู

การสั่งงานแบบนี้คล้าย ๆ กับการจับมือหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง แล้วจึงเก็บค่าตำแหน่งต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามรถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดในแง่เทคนิค(อาทิเช่น ระบบเกียร์ ฯลฯ)ดังนั้นจึงมีการคิดค้นอุปกรณ์ซึ่งเลียนแบบแขนหุ่นยนต์โดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ได้ (ดังรูปที่1.5) อุปกรณ์นี้เรียกว่าโรบอทซีมูเลเตอร์ (Robot Simulator) ซึ่งการทำงานก็ใช้หลักการข้างต้น การสั่งงานชนิดนี้ใช้มากในงานด้านการพ่นสีชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ ฯลฯ



ภาพที่ 2.17 ลักษณะการสั่งงานแบบลีดทรูโดยอาศัยโรบอทซีมูเลเตอร์

2.1.8.3 การสั่งงานด้วยโปรแกรม

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานโดยการใช้โปรแกรมสั่งงานนี้ จะเป็นการให้ข้อมูลกับหุ่นยนต์เพื่อให้แขนของหุ่นยนต์เพื่อให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและทำงานตามที่กำหนด โดยในปัจจุบันได้มีผู้เขียนภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานมากมายหลายภาษา โดยโปรแกรมจะถูกเขียนบนคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปควบคุมหุ่นยนต์อีกต่อหนึ่ง

2.2 คีเนมาติกส์และไดนามิคส์ (Robot Arm Kinematics and Dinamics)

คีเนมาติกส์อาร์ม (Kinematic Arm) เป็นวิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่และตำแหน่งของแขนกลโดยให้จุดที่กำหนดเป็นจุดอ้างอิงการเคลื่อนที่ ทั้งนี้การวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่แบบ คีเนมาติกส์นี้ จะอธิบายการเคลื่อนที่และตำแหน่ง (The Spatical Displacement) ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของเวลาแต่ละข้อ (joint) โดยการบอกถึงตำแหน่งและทิศทางของเอ็นเอฟเฟคเตอร์ของแขนกลโดยใช้จุดกำเนิดเป็นจุดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

71954

การวิเคราะห์แบบคีเนมาติกส์มี 2 ประเภท

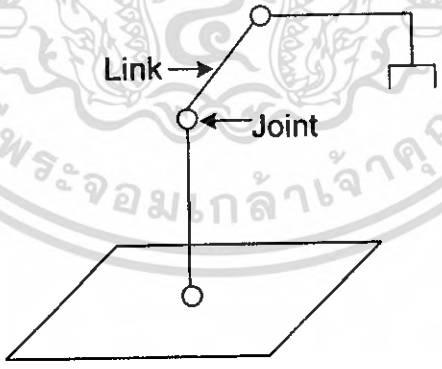
1. แบบ ไดเรดหรือฟอร์เวิร์ดคีเนมาติกส์ (Direct or Forward Kinematics)
2. แบบอินเวิร์สคีเนมาติกส์ (Inverse Kinematics) หรือ (Arm Solution)

จากการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระต่อกันในแต่ละข้อของแขนกล จึงต้องกำหนดเป้าหมายที่จะเคลื่อนไป โดยการกำหนดที่กำหนต (The Reference Coordinate Frame) การหาตัวแปรในแต่ละข้ออาจจะใช้วิธีเมตริกซ์แบบ 4X4 โฮโมจีเนียส ทราสฟอร์เมชั่น (Homogeneous Transformation Matrix) ในการอธิบายตำแหน่งความสัมพันธ์ตำแหน่งหรือลิงค์ข้างเคียงได้

โรบอทอาร์มไดนามิคส์ (Robot Arm Dynamics) เป็นการนำเอาสมการสูตรเรขาคณิตมาอธิบายการเคลื่อนที่แบบไดนามิกส์ของแขนกล โดยอาศัยความรู้จากกฎทางฟิสิกส์ (Physical Law) เช่น กฎของนิวตัน และลากรองเกียนแมคคานิค (Lagrangian Mechanic)

2.2.1 Direct Kinematics: The Arm Equation

แขนกลมีลักษณะเป็นวัตถุเกร็ง (Rigid body) เป็น link หลายๆ อันนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยใช้ข้อต่อ ดังรูปที่ 2.11 ปลายข้างหนึ่งของ link ริมสุดจะติดแน่นกับฐานส่วนปลายของ link อีกอันที่อยู่คนละด้านจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ปลายข้างที่เคลื่อนที่นี้จะต่ออยู่กับเครื่องมือ (Tool or End-effector) ตามปกติข้อต่อ 2 ชนิดที่ใช้เชื่อมต่อ links คือข้อต่อหมุน (Revolute joint) และข้อต่อเลื่อน (Prismatic joint)



ภาพที่ 2.18 แขนกลที่มีลักษณะเป็น links

จุดประสงค์ คือ การควบคุมทั้งตำแหน่งและการหมุนของเครื่องมือในระนาบ 3 มิติ เพื่อที่โปรแกรมให้เครื่องมือเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายวัตถุในพื้นที่ทำงานโดยการโปรแกรมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือนี้จำเป็นจะต้องคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อต่อกับตำแหน่งการหมุนของอุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า ปัญหา Direct Kinematics โดยนิยามดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา Direct Kinematics คือการกำหนดเวกเตอร์ของตัวแปรข้อต่อ (joint Variables) ของแขนกลโดยแยกตามลักษณะข้อต่อเป็น

- ข้อต่อหมุน ตัวแปรได้แก่ ค่าองศาการหมุนรอบแกนข้อต่อ
- ข้อต่อเลื่อน ตัวแปรได้แก่ ระยะการเลื่อนที่ไปตามแนวแกนข้อต่อแล้วนำมาคำนวณหาตำแหน่ง (Position) และการหมุน (Orientation) ของเครื่องมือเทียบกับโครงพิกัดที่ติดอยู่กับฐานของแขนกล

2.2.2 อินเวอร์สคิเนมาติค (The Inverse Kinematics)

ทฤษฎีนี้ไม่มีคำอธิบายในรูปทั่วไป ต้องแก้สมการเพื่อหาค่าตัวแปรแต่ละข้อ $(q_1,q_2,q_3,\ldots,q_n)$ ของแขนกลนั้น ๆ เอง

$$W = \begin{bmatrix} w^1 \\ \cdots\cdots \\ w^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \exp(q_n/\pi)r^3 \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

W คือ ทูล-คอนฟิกูเรชั่นเวกเตอร์(Tool configuration Vector)

P คือ P^k_0 ใน T^k_0

q_n คือ มุม roll ของทูล (Tool Roll Angle) รอบแกนZ

r^n คือ คอลัมน์ที่ 3ของ R^k_0

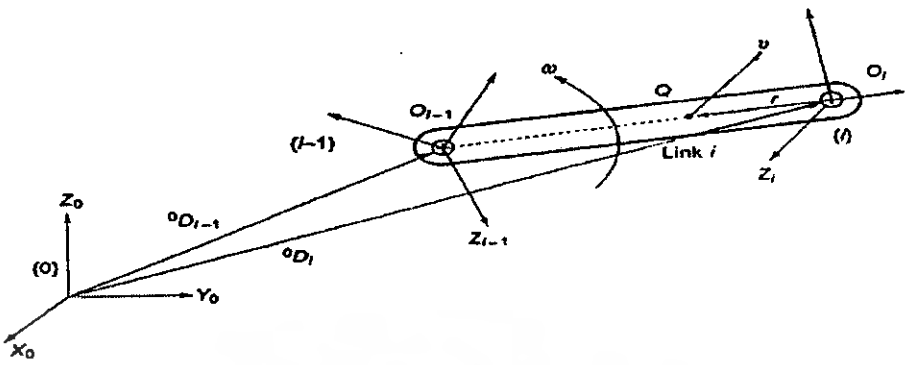
2.3 ตัวสั่งการการเคลื่อนที่และสถิตแบบดิฟเฟอร์เรนเชียล (Manipulator Differential Motion and Statics)

เมื่อเราได้ศึกษา direct และ inverse kinematic มาแล้ว จากนั้นเรามาพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง manipulator's joint displacements และ ตำแหน่ง และ การบิดไปของ end-effector จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นการควบคุมเชิงสถิตที่จะสั่งการให้มีการเลื่อนไปของ end-effector ในจุดที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม ในการสั่งการการเคลื่อนที่ เราไม่ได้พิจารณาเฉพาะพื้นที่สุดท้ายที่เป็น end-effector เท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงความเร็วซึ่งส่วนของ end-effector จะสามารถเคลื่อนที่ไปถึงพื้นที่สุดท้ายได้ และนี่ถือเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดที่เราจะต้องพิจารณา และสิ่งที่เราจะพิจารณาบนพิกัดนั่นก็คือ ความเร็วของ end-effector และความเร็วของข้อต่อ (joint) และทางที่จะทำให้เกิดผลได้คือการเดริเวทีฟ (derivative) เชิงเวลา ของสมการ kinematic Transformation จากความเร็วของข้อต่อ (joint) ไปจนถึง ความเร็วของ end-effector จะอยู่ในรูปของ เมตริก (matrix) ซึ่งต่อไปนี้เราจะเรียกว่าจาโคเบียน (Jacobian)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ความเร็วเชิงเส้นและเชิงมุมของวัตถุแข็งเกร็ง

(Linear and Angular Velocity of a Rigid Body)



ภาพที่ 2.19 การสั่งการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของวัตถุ 1 link

2.3.1.1 ความเร็วเชิงเส้น (Linear Velocity)

เมื่อ link i เป็นเพียงแค่การเลื่อนเท่านั้นและสัมพันธ์กับเฟรม $\{0\}$ ทุกๆจุดบน link จะมีความเร็วเชิงเส้นอันเดียวกัน ความเร็วเชิงเส้นของ link i หรือจุด Q ใดๆบน link และสัมพันธ์กับเฟรม $\{0\}$ สามารถแทนได้โดย

$$^0v_i = {}^0v_Q = \frac{d(^0D_i)}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{^0D_i(t+\Delta t) - {}^0D_i(t)}{\Delta t} \tag{2.2}$$

ถ้าเป็นเพียงการเลื่อนตำแหน่ง ความเร็วเชิงเส้นของ link สามารถหาได้โดยใส่ time derivative ลงไปในสมการ homogeneous transformation matrix เพราะเมตริกการหมุน ^0R_i เป็นค่าคงที่

$$^0T_i = \begin{bmatrix} & ^0R_i & & ^0D_i \\ & (cons\tan t) & & \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

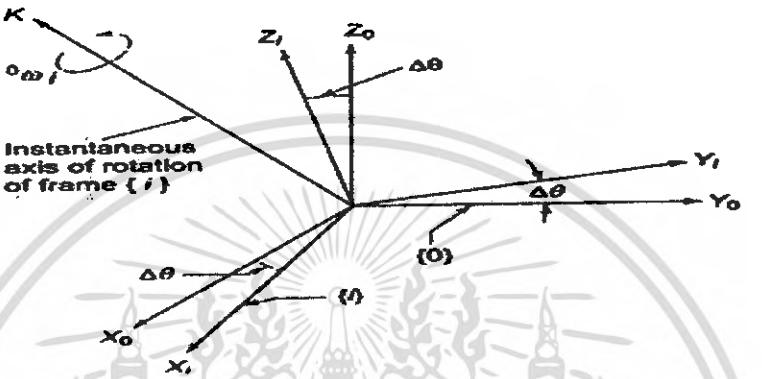
จะได้ความเร็วเชิงเส้นของ link คือ

$$^0v_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{^0T_i(t+\Delta t) - {}^0T_i(t)}{\Delta t} = {}^0\dot{T}_i \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity)

ตอนนี้เราจะพิจารณาการหมุนของ link ในภาพที่ 2.21 ซึ่งเป็นความเร็วเชิงมุม ω ในแกนใดๆ ซึ่งโดยทั่วๆไปการหมุนของตัวมันเองในแนวแกนอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น แกนที่มีการกระทำให้เกิดการหมุนและทุกๆจุดบนแกนมีการหมุนเป็นการกระทำที่ทำให้เกิดความเร็วเชิงเส้น ซึ่งเส้นสัมผัสเส้นโค้งของการหมุนนั้นจะเกิดขึ้นทันทีและเราจะพิจารณาถึงความเร็วเชิงมุมเป็นอันดับแรก



ภาพที่ 2.20 ความเร็วเชิงมุมของเฟรม $\{i\}$ที่มีความสัมพันธ์กับเฟรม $\{0\}$ ในแกน k

ความเร็วเชิงมุมของเฟรม $\{i\}$ที่มีความสัมพันธ์กับเฟรม $\{0\}$แทนด้วยเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุม $^0\omega_i$ ในแกน kมีทิศทางไปตามแกนที่หมุนในเฟรม $\{i\}$และขนาดของความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับค่าความเร็วในการหมุน ความเร็วเชิงมุมตามแนวแกนกำหนดได้เป็น

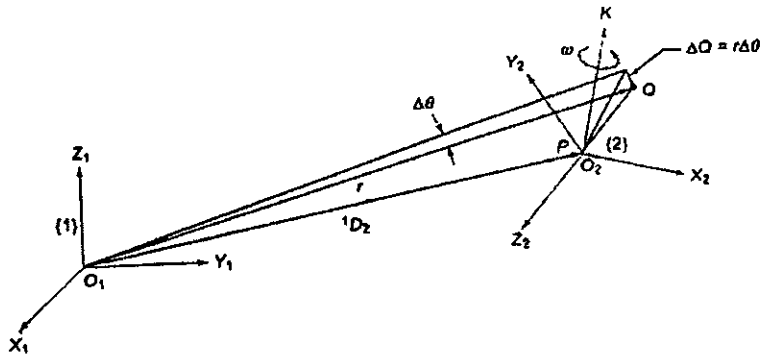
$$^0\omega_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{r\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} \tag{2.5}$$

2.3.1.3 ความเร็วเชิงเส้นที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่เชิงมุม (Linear Velocity due to Angular Motion)

การหาความเร็วเชิงเส้นมีผลไปถึงการเคลื่อนที่เชิงมุม พิจารณาที่เฟรม $\{1\}$และเฟรม $\{2\}$และจุด Q บน link ซึ่งอยู่ในภาพ ที่ 2.22 จุด Q ซึ่งเป็นเส้นโค้งของรัศมี $r = O_1Q$ และเคลื่อนที่ไปตามมุม $\Delta\theta$ ซึ่งอ้างอิงถึงเฟรม $\{1\}$ ระยะทางในการเลื่อนเป็นเชิงเส้นในที่นี่คือ $\Delta\theta = r\Delta Q$ ดังนั้นความเร็วเชิงเส้นของ Q คือ

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{r\Delta\theta}{\Delta t} = r\dot{\theta} = r\omega \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



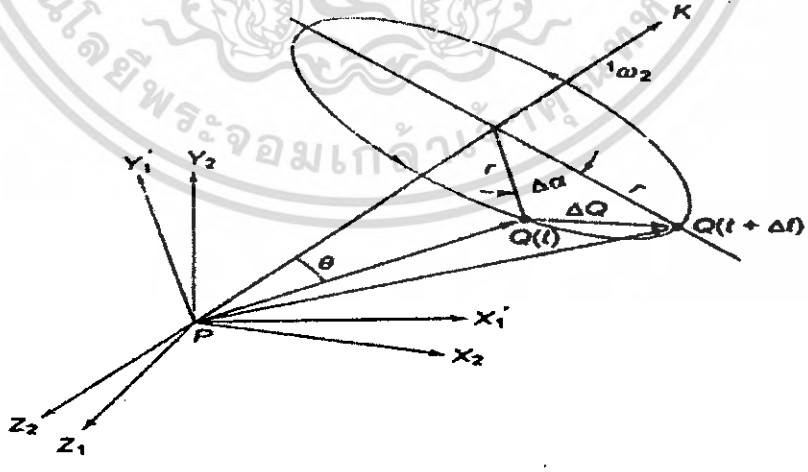
ภาพที่ 2.21 ความเร็วเชิงเส้นที่เกิดขึ้นด้วยความเร็วเชิงมุมของเฟรม {2}

2.3.1.4 การรวมกันของการเคลื่อนที่เชิงเส้นและเชิงมุม

(Combined Linear and Angular Motion)

ในตอนนี้เราจะพิจารณาทั้งการหมุนและการเลื่อนตำแหน่ง พิจารณาถึงเฟรมสองเฟรม เฟรม {1} และเฟรม {2} และจุด Q ในอากาศ ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.23 เฟรม {2} ถูกวาดและอ้างอิงที่เฟรม {1} ด้วยtransformaitom matrix ${}^1T_2$ โดยมีเวกเตอร์เลื่อนตำแหน่ง ${}^1D_2$ และ rotation matrix ${}^1R_2$ เป็นเวกเตอร์องค์ประกอบ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของจุด Q ที่สัมพันธ์กับเฟรม {1} สามารถเลื่อนไปจนถึงจุดเริ่มต้นของจุดเดิมของเฟรม {2} และหรือ การเลื่อนของจุด Q ที่สัมพันธ์กับเฟรม {2} ความเร็วเชิงเส้นของจุด Q โดยอ้างอิงที่เฟรม {1} ได้เป็น

$$ {}^1v_2 = {}^1v_P + {}^1T_2\,{}^2v_Q \tag{2.7} $$



ภาพที่ 2.22 ความเร็วของจุดที่เกิดเป็นความเร็วเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 2.22 จะแสดงให้เห็นถึงเวกเตอร์ $\overrightarrow{PQ}$ ณ ช่วงเวลาใดๆ การหมุนเป็นสาเหตุให้ปลายจุด Q ของเวกเตอร์ $\overrightarrow{PQ}$ ทำให้เป็นรอยวงกลม ในระนาบ ซึ่งตั้งฉากกับแกน k และเส้น PQ กระทำการเบนให้เกิดเป็นพื้นผิวรูปกรวย และรัศมีในส่วนของเส้นจุด Q นั้นก็คือ

$$r = \left|\overrightarrow{PQ}\right| \sin\theta \tag{2.8}$$

ในช่วงเวลา Δt จุด Q หมุนด้วยมุม $\Delta\alpha$ ไปตามระยะทางที่กวาดเป็นวงกลม

$$\Delta Q = r\Delta\alpha \tag{2.9}$$

$$\Delta Q = \left|\overrightarrow{PQ}\right| \sin\theta\Delta\alpha \tag{2.10}$$

ดังนั้น ขนาดของความเร็วเชิงเส้นของจุด Q คือ

$${}^1v_Q = \left|{}^1\omega_2\right|\left|\overrightarrow{PQ}\right|\sin\theta \text{ หรือ } {}^1v_Q = {}^1\omega_2 \times {}^1Q \tag{2.11}$$

ถ้าจุด Q มีการเคลื่อนที่ในเฟรม $\{2\}$ ดังนั้น ความเร็วเชิงเส้นโดยรวมทั้งหมดของ Q แสดงได้โดย

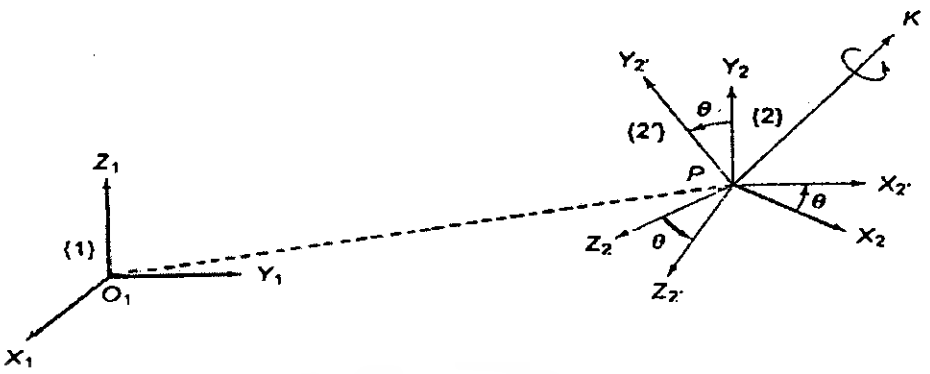
$${}^1v_Q = {}^1v_p + {}^1T_2\,{}^2v_Q + {}^1\omega_2 \times {}^1T_2\,{}^2Q \tag{2.12}$$

การเคลื่อนที่ของ link ที่มีองค์ประกอบทั้งเชิงมุมและเชิงเส้นนั้น $({}^1v_Q, {}^1\omega_2)$ มันสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ 6แถวได้ และเรียกว่า คาร์ทีเซียนเวกเตอร์ความเร็ว V ซึ่งจะมีเวกเตอร์ความเร็วเชิงเส้นอยู่ 3องค์ประกอบ และ เวกเตอร์ความเร็วเชิงมุมอยู่ 3องค์ประกอบ และแสดงได้ดังนี้

$${}^1v_Q = {}^1\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}_Q = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}_Q = {}^1\begin{bmatrix} \dot{d}_x \\ \dot{d}_y \\ \dot{d}_z \\ \dot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_y \\ \dot{\theta}_z \end{bmatrix}_Q \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Transformation matrix กับ ความเร็วเชิงมุม



ภาพที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Transformation matrix และเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุม

เฟรม $\{2'\}$ ได้มาจากการหมุนเฟรม $\{2\}$ ที่เกี่ยวเนื่องกันกับแกน k และอ้างอิงโดยเฟรม $\{1\}$ โดยมุม θ เล็กๆ ภายในเวลา Δt การหมุนของเฟรม $\{2\}$ ไปยังเฟรม $\{2'\}$ และเกิดมุมเล็กๆขึ้นที่แกน k หาได้โดย

$$T_k(\theta)=\begin{bmatrix} k_z^2V\theta+C\theta & k_xk_yV\theta-k_zS\theta & k_xk_zV\theta+k_yS\theta & 0 \\ k_xk_yV\theta+k_zS\theta & k_y^2V\theta+C\theta & k_yk_zV\theta-k_xS\theta & 0 \\ k_xk_zV\theta-k_yS\theta & k_yk_zV\theta+k_xS\theta & k_z^2V\theta+C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

เมื่อ $\hat{k}=\begin{bmatrix} k_x & k_y & k_z \end{bmatrix}^T, C\theta=\cos\theta, S\theta=\sin\theta, V\theta=1-\cos\theta$

และเมื่อ θ มีค่าน้อยมากๆ $C\theta\approx 1, S\theta\approx\Delta\theta$, และ $V\theta\approx 0$ จึงลดรูปสมการได้เป็น

$$T_k(\Delta\theta)=\begin{bmatrix} 1 & -k_z\Delta\theta & k_y\Delta\theta & 0 \\ k_z\Delta\theta & 1 & -k_x\Delta\theta & 0 \\ -k_y\Delta\theta & k_x\Delta\theta & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

รายละเอียดของเฟรม $\{2'\}$ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสอง Transformation ที่ต่อเนื่องกันโดยเริ่มจากเฟรม $\{1\}$ คือ

เฟรม $\{1\} \xrightarrow{{}^1T_2(t)}$ เฟรม $\{2\} \xrightarrow{T_K(\Delta\theta)}$ เฟรม $\{2'\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เป็น ${}^{1}T_{2'} = T_k(\Delta\theta)\,{}^{1}T_2(t)$

และเมื่อ

$$ {}^{1}\dot{T}_2 = \lim_{\Delta t \to 0} \begin{bmatrix} 0 & -k_z\Delta\theta/\Delta t & k_y\Delta\theta/\Delta t & 0 \\ k_z\Delta\theta/\Delta t & 0 & -k_x\Delta\theta/\Delta t & 0 \\ -k_y\Delta\theta/\Delta t & k_x\Delta\theta/\Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} {}^{1}T_2(t) \qquad (2.16) $$

หรือ

$$ {}^{1}\dot{T}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -k_z\dot{\theta} & \dot{k}_y\dot{\theta} & 0 \\ k_z\dot{\theta} & 0 & -k_x\dot{\theta} & 0 \\ -k_y\dot{\theta} & k_x\dot{\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} {}^{1}T_2(t) \qquad (2.17) $$

หรือ

$$ {}^{1}T_2 = \begin{bmatrix} 0 & -k_z & k_y & 0 \\ k_z & 0 & -k_x & 0 \\ -k_y & k_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dot{\theta}\,{}^{1}T_2(t) \qquad (2.18) $$

การหมุนเชิงมุมที่ความเร็ว $\dot{\theta}$ ตามแกน k จะได้ความเร็วเชิงมุมของเฟรม $\{2\}$ ที่สัมพันธ์กับเฟรม $\{1\}$ เป็นเวกเตอร์ ${}^{1}\omega_2$ มีทิศทางตามแกน k เป็นการสมดุลการหมุนของทั้งสามแกน คือ $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ที่

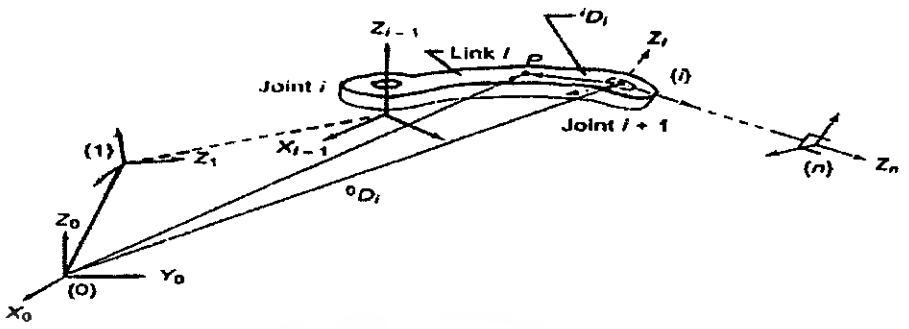
$$ {}^{1}\omega_2 = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_z \end{bmatrix} \dot{\theta} \qquad (2.19) $$

หรือเขียนใหม่ได้เป็น

$$ {}^{1}\dot{T}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y & 0 \\ \omega_z & 0 & -\omega_x & 0 \\ -\omega_y & \omega_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} {}^{1}T_2(t) \qquad (2.20) $$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ความเร็วที่กระจายไปตาม Link (Velocity Propagation Along Links)



ภาพที่ 2.24 ความเร็วที่กระจายไปตาม link

2.3.3.1 ความเร็วเชิงเส้นของ link (Linear Velocity of a Link)

เวกเตอร์บอกตำแหน่ง ${}^{i}D_i$ ของจุด P อ้างอิงที่เฟรม $\{i\}$ สามารถอ้างอิงถึงเฟรมหลัก $\{0\}$ โดยใช้

$$ {}^{0}D_i = {}^{0}T_i\,{}^{i}D_i \tag{2.21} $$

ความเร็วเชิงเส้นของ P และของ link i เป็นดังนี้

$$ {}^{0}v_i = \frac{d}{dt}\left({}^{0}D_i\right) = \frac{d}{dt}\left({}^{0}T_i\,{}^{i}D_i\right) \tag{2.22} $$

เราสามารถเขียน ${}^{0}v_i$ ได้เป็น v_i และในแต่ละ ${}^{j-1}T_j$ เพียงแค่เราประกาศให้ในแต่ละตัวแปรของ j^{st} 'joint แทนให้เป็นตัวแปร q_j เมื่อแทนแล้วจะได้

$$ v_i = \frac{d}{dt}\left[\left({}^{0}T_i\,{}^{1}T_2 \ldots {}^{i-1}T_i\right)D_i\right] \tag{2.23} $$

2.3.3.2 ความเร็วเชิงมุมของ link(Angular Velocity of a Link)

ความเร็วเชิงมุมของ link i เป็นผลรวมของเวกเตอร์ ใน link (i-1) c] และประกอบกันขึ้นเป็น joint i ในกรณีที่ joint i เป็นแบบเลื่อน(primatic) มันจะสามารถกระทำได้เพียงแค่การเคลื่อนที่แบบเลื่อน ระหว่าง link (i-1) และ link i แต่ไม่สามารถสนับสนุนการเคลื่อนที่เชิงมุมของ link i ได้ ดังนั้น joint i แบบเลื่อน (prismatic) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_i = \omega_{i-1} \tag{2.24}$$

ถ้า joint i เป็นแบบหมุน (rotary) ความสัมพันธ์ของการหมุนของ link i โดยอ้างอิงตาม link (i-1) จะได้ทำการสนับสนุน โดยเป็น

$$\omega_i = \omega_{i-1} + {}^{i-1}\omega_1 \tag{2.25}$$

2.3.4 ตัวสั่งการจาโคเบียน (Manipulator Jacobian)

ความเร็วคาร์ทีเชียนของ end-effector ที่เป็นเชิงเส้นของความเร็วของข้อต่อ ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของข้อต่อกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของ end-effector เราต้องทำการสำรวจดูทันที การย้ายตำแหน่งเชิงเวลา เราควรที่จะเฝ้าดูระหว่างความเร็วของ end-effector (V_e)ไปจนถึงความเร็วข้อต่อ การประมาณการระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเชิงเส้นนี้สามารถแทนได้เป็น

$$V_e = J(q)\dot{q} \tag{2.26}$$

ที่ $V_e = 6\times 1$เวกเตอร์ความเร็วคาร์ทีเชียน

J(q) = $6\times n$ ตัวสั่งการจาโคเบียน(Jacobian)หรือ Jacobian matrix

$\dot{q} = n\times 1$ เวกเตอร์ความเร็วข้อต่อ

จากสมการที่(2.26) สามารถเขียนอยู่ในหลักของเวกเตอร์ Jacobianได้เป็น

$$V_e = \left[J_1(q)J_2(q)\ldots J_n(q)\right]\dot{q}(t) \tag{2.27}$$

จากสมการที่ (2.27) $J_i(q)$เป็นจำนวนหลักที่ i ของ Jacobian matrix จึงเขียนได้เป็น

$$V_e(t) = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{d} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = J(q)\dot{q}(t) \tag{2.28}$$

เมื่อสามแถวแรกของ Jacobian J(q) คือ ความเร็วเชิงเส้นของ end-effector vในขณะที่สามแถวสุดท้ายคือความเร็วเชิงมุม ω ดังนั้นเราจึงทำให้เป็นองค์ประกอบทั้งสามของความเร็วเชิงเส้น J_{vi} และองค์ประกอบทั้งสามของความเร็วเชิงมุมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} j_{vi} \\ J_{\omega i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{vxi} \\ J_{vyi} \\ J_{vzi} \\ J_{\omega xi} \\ J_{\omega yi} \\ J_{\omega zi} \end{bmatrix} \tag{2.29}$$

2.3.4.1 ข้อต่อจาโคเบียนแบบเลื่อน (The Prismatic Joint Jacobian)

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} J_{vi} \\ J\omega i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.30}$$

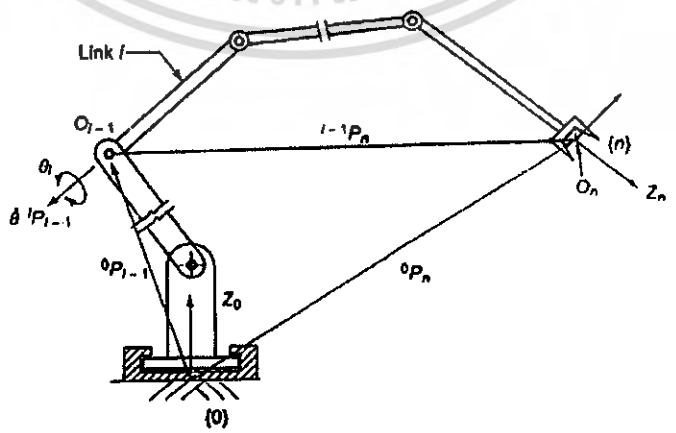
เมื่อ เวกเตอร์ P_{i-1} ได้มาจาก

$$P_{i-1} = {}^0R_{i-1}\hat{u} \tag{2.31}$$

2.3.4.2 ข้อต่อจาโคบียนแบบหมุน (The Rotary Joint Jacobian)

พิจารณาข้อต่อ i ซึ่งเป็นข้อต่อแบบหมุน กับ ความเร็วเชิงมุมซึ่งเกี่ยวเนื่องกับแกน z_{i-1} ซึ่งแสดงในภาพที่2.26 กับข้อต่อทั้งหมด ยกเว้นข้อต่อ i ถูกยึดไว้ที่ตำแหน่ง ข้อต่อ Rotary มีการหมุนเกิดขึ้นทั้งหมดจาก link i ไปถึง link n ที่ความเร็วเชิงมุม ω_i สำหรับข้อต่อ Rotary ความเร็วเชิงมุมสามารถแทนได้โดย

$$\omega_i = P_{i-1}\dot{\theta}_i \tag{2.32}$$



ภาพที่ 2.25 ตำแหน่งของ end-effector ซึ่งกำหนดโดยข้อต่อ Rotary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jacobian ของข้อต่อRotary คือ

$$J_i = \begin{bmatrix} P_{i-1} \times {}^{i-1}P_n \\ P_{i-1} \end{bmatrix} \tag{2.33}$$

2.3.5 จาโคเบียนผกผัน (Jacobian Inverse)

จากหัวข้อที่ผ่านมา เราได้ทำการกำหนดค่าที่เป็นเชิงเส้นระหว่างเวกเตอร์ $\dot{q}$ ของความเร็วข้อต่อและ ความเร็วของ end-effector V_e คือ

$$V_e = J(q)\dot{q} \tag{2.34}$$

จากสมการด้านบน สามารถย้อนกลับมาหาjoint spaceได้โดย

$$\dot{q} = J^{-1}(q)V_e \tag{2.35}$$

2.4 โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล

สามารถแบ่งโครงสร้างของระบบออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.4.1 ส่วนตรวจจับ (Sensor & Encoder)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบที่มีการป้อนกลับ ด้วตรวจจับที่ใช้กันมากในระบบควบคุมเช่น โพเทนทีโอมิเตอร์ (Potentiometer), ออพทิคอล เอ็นโคดเตอร์ (Optical encoder) เป็นต้น โดยสัญญาณอนาล็อกจากส่วนตรวจจับนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล หลังจากนั้นจะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลางต่อไป

2.4.2 หน่วยประมวลผลกลางและควบคุม

ได้แก่ คอมพิวเตอร์ (Computer) หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของแขนกล โดยหน่วยประมวลผลกลางและควบคุมนี้จะรับสัญญาณป้อนกลับจากส่วนตรวจจับมาใช้ในการประมวลผล แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของแขนกลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วงจรขับมอเตอร์

เป็นวงจรที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้แขนกลเกิดการเคลื่อนไหว มอเตอร์จะถูกติดตั้งสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ ของแขนกล โดยวงจรขับมอเตอร์จะได้รับสัญญาณควบคุมการทำงานจากหน่วยประมวลผลกลางและควบคุม

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ดีซีเซอร์โว มอเตอร์ (DC Servo Motor)

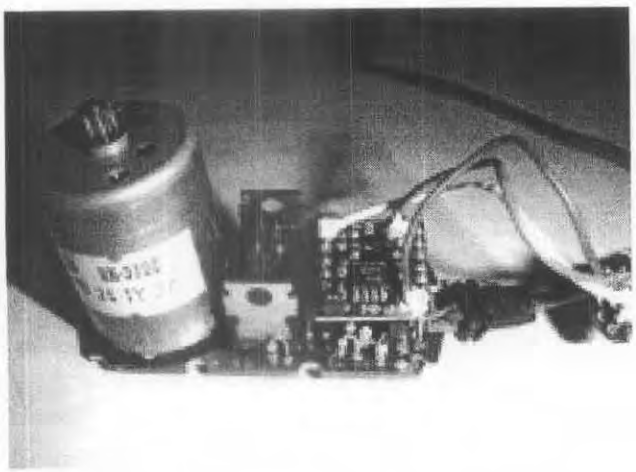
2.5.1 เซอร์โว มอเตอร์ (Servo Motor)

ภาพที่ 2.26 รูปของ DC Servo motor

Servo Motor คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR) หรือกระแสสลับ (AC Motor) ภายใน Servo motor ก็จะมีส่วนของ เฟืองเกียร์และบอร์ดควบคุม มีสายสัญญาณในการควบคุมการหมุน ของ Servo motor 1 เส้น และอีก 2 เส้นเป็น VCC กับ Ground โดยตัวของ Servo motor จะสามารถหมุนได้ 180 องศา แต่จะมีบางรุ่นที่สามารถหมุนได้ถึง 210 องศา โดยสามารถที่จะหมุนไปทางซ้าย90 องศา ทางขวาอีก 90 องศา

ภาพที่ 2.27 แสดงชุดเฟืองเกียร์ของ Servo Motor

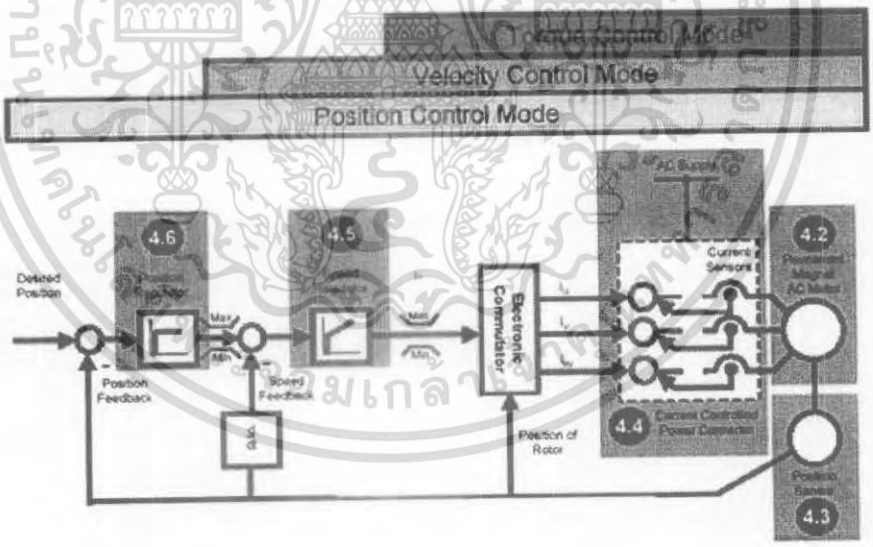
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.28 แสดงส่วนประกอบภายในของ Servo Motor

2.5.2 โครงสร้างระบบควบคุมของ Servo Motor

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุมคือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุด โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญๆดังรูป



ภาพที่ 2.29 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ส่วนประกอบของ Servo Motor

1) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

2) ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Drive or Servo Amplifier)

3) อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device เช่น Speed encoder และ Position Sensor)

ตามท้องตลาดทั่ว ไปก็จะมี Servo motor อยู่หลายยี่ห้อและราคาก็แตกต่างกันออก อย่างไรก็ตาม Servo Motor ก็จะมีคุณสมบัติคล้าย ๆ กันดังนี้

1. Servo motor จะหมุนเมื่อมีสัญญาณ pulse เข้าไป โดยสัญญาณ ความกว้าง pulse นี้จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนและทิศทางของ Servo motor เพื่อทำให้หมุนไปตามองศาที่เราต้องการ

2. กินไฟประมาณ 4-6 volt กินกระแส 9.7 mA (Idle) และ 130 mA (Moving)

3. สามารถหมุนได้ 180 องศา (บางรุ่นหมุนได้ 210 องศา) ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจรภายใน

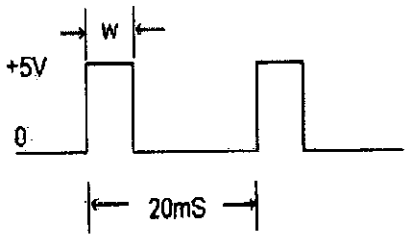
4. ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

2.5.4 หลักการทำงานของ Servo Motor

Servo จะถูกควบคุมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และตัววัดระดับไฟฟ้า (Potentiometer) ซึ่งปลายของ Motor จะเชื่อมต่อกับแกนที่ยื่นออกมาผ่านชุดเฟือง และส่วนนึงของชุดเฟืองก็จะทำการหมุนแกนของ Potentiometer นี้ ซึ่ง Potentiometer จะคอยตรวจสอบตำแหน่งเชิงมุมของ Servo ในขณะนั้น หรือตำแหน่งการทำงานของ motor นั่นเอง เมื่อแกนของ Servo หมุนมาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง Motor ของ Servo ก็จะถูกตัดการทำงาน และถ้าวงจรตรวจพบว่าถ้ามุมของของแกน Servo ไม่ถูกต้อง วงจรจะสั่งงานให้ motor หมุนไปเรื่อยๆจนมุมของ Servo อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง แกนของ Servo นั้นสามารถหมุนได้เป็นมุมมากถึง 180 องศา และ Servo บางรุ่นสามารถหมุนได้เป็นมุมกว้างถึง 210 องศา ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามที่ผู้ประดิษฐ์ได้ออกแบบมา แต่โดยทั่วไปแล้ว Servo ที่ถูกเลือกใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนไหวจะอยู่ระหว่าง 0 - 180 องศา ซึ่ง Servo ทั่วไป จะไม่สามารถหมุนทำมุมได้มากกว่านี้ เนื่องจากถูกควบคุมที่ตำแหน่งชุดเฟืองเกียร์

เราสามารถควบคุมการทำงานของ Servo motor ได้โดยป้อนสัญญาณความกว้าง pulse ให้กับ Servo motor ซึ่งความกว้างของ สัญญาณ pulse นี้จะไปกำหนดตำแหน่งของ Servo motor ว่าจะหมุนไปอยู่ตำแหน่งใด ซึ่งเราสามารถป้อนความกว้าง pulse ได้ตั้งแต่ 1.0 ms -2.0 ms โดยที่คาบเวลา (Period) ในการส่งสัญญาณความกว้าง pulse เท่ากับ 20 ms ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.30 แสดงการส่งสัญญาณ pulse เพื่อควบคุมตำแหน่ง Servo Motor

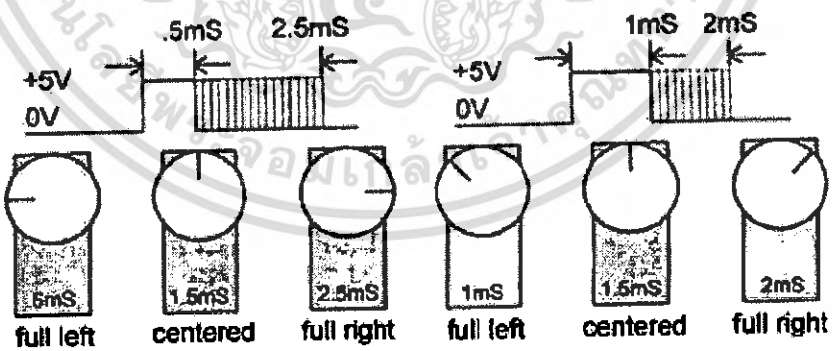
โดยจะมีจุดที่อ้างอิง 3 จุดด้วยกันคือ

1) ตำแหน่งซ้ายสุด เราสามารถกำหนดให้ Servo motor เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งซ้ายสุด (-90 องศา)ได้ โดยการป้อนความกว้าง pulse เท่ากับ 0.5 ms

2) ตำแหน่งตรงกลาง เราสามารถกำหนดให้ Servo motor เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งตรงกลาง (0 องศา)ได้ โดยการป้อนความกว้าง pulse เท่ากับ 1.5 ms

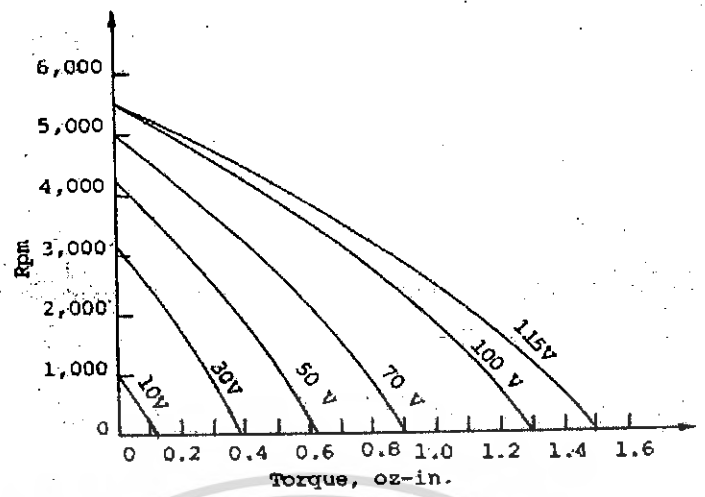
3) ตำแหน่งขวาสุด เราสามารถกำหนดให้ Servo motor เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งขวาสุด(90 องศา) ได้ โดยการป้อนความกว้าง pulse เท่ากับ 2.5 ms

จากจุดอ้างอิงทั้ง 3 เราสามารถที่จะคำนวณตำแหน่งที่ต้องการให้ Servo motor หมุนไปได้ เช่นถ้าเราต้องการให้ Servo motor หมุนไปยังตำแหน่ง -45 องศา เราก็ทำการป้อน (0.5+1.5)/2=1.0 ms ให้กับ Servo motor ดังรูป



ภาพที่ 2.31 แสดงตำแหน่งองศาการหมุนของ Servo เป็นไปตามสัญญาณ pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.32 คุณลักษณะระหว่าง ความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์

2.6 อุปกรณ์ FPGA

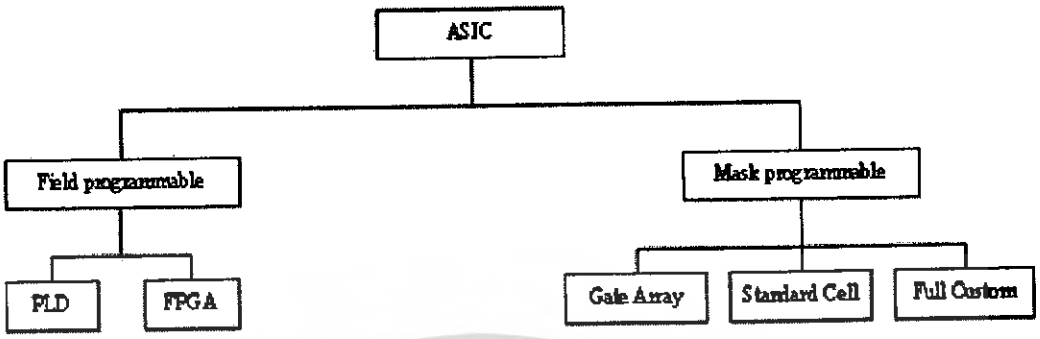
อุปกรณ์ FPGA (Field Programmable Gate Array) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการโปรแกรมวงจรที่ได้ออกแบบลงไปเพื่อให้อุปกรณ์ FPGA มีฟังก์ชันการทำงานตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ในการทำ FPGA เมื่อเทียบกับการทำ ASIC (Application Specific Integrated Circuits) แล้วนั้นก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ การทำ FPGA จะมีข้อจำกัดในด้านขนาดของวงจรเพราะภายในอุปกรณ์ FPGA จะมีจำนวน gate ให้ใช้จำนวนจำกัด และการทำ FPGA ก็เหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบหรือเพื่อผลิตในปริมาณต่ำ ส่วนข้อดีของการทำ FPGA ก็คือระยะเวลาที่ใช้ในการทำตั้งแต่เขียน code อธิบายฮาร์ดแวร์จนกระทั่ง download นั้นน้อยกว่าการทำ ASIC มาก และการตรวจสอบหรือแก้ไข design ก็ทำได้สะดวก การทำ FPGA ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสะดวกขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ FPGA ได้เพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ FPGA โดยเพิ่มจำนวนองค์ประกอบภายใน หรือ ปรับปรุงโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายใน และยังได้เพิ่มประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ ที่ใช้ทำ PPR (Partitioning, Placement and Routing) สำหรับอุปกรณ์นั้นๆด้วย

2.6.1 ASIC

ความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิกส์ปัจจุบันทำให้เกิดการพัฒนาความสามารถของอุปกรณ์ต่างๆ มากมายซึ่งทำให้เกิดการลดค่าใช้จ่าย การสิ้นเปลืองพลังงานและขนาด ในขณะเดียวกันก็มีการเพิ่มประสิทธิภาพและระดับความเชื่อถือได้ของวงจรรวมที่สูงขึ้นเห็นได้ชัดจากเทคโนโลยีไมโครโพรเซสเซอร์และหน่วยความจำปัจจุบัน ทุกๆ ครั้งที่มีการพัฒนาขึ้นทำให้เกิดช่องว่างวงจรรวมและไอซีมาตรฐานมากขึ้น ในการพัฒนาเพิ่มความหนาแน่นและจำนวน ฟังก์ชันลอจิก ที่เหมาะสม นักออกแบบอุปกรณ์ทางด้านดิจิตอลได้พิจารณาถึงการผลิตให้ขนาดมากๆ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตวงจรรวม (ASIC: Application Specific Integrated Circuit) ซึ่งวงจรรวม จะแบ่งตามการสร้างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Field programmable และ Mask programmable ดังแสดงในรูป



ภาพที่ 2.33 ชนิดของวงจรรวม (ASIC: Application Specific Integrated Circuit)

Programmable Logic สามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิด โดยแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ผลิต ความซับซ้อนของอุปกรณ์ หรือโครงสร้างภายในอุปกรณ์เอง ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- Simple Programmable Logic Device (SPLD)
- Complex Programmable Logic Device (CPLD)
- Field Programmable Gate Array (FPGA)
- Field Programmable Interconnects (FPIC)

FPGA มีโครงสร้างที่แตกต่างไปจาก SPLD และ CPLD และมักจะมีความหนาแน่นของเกตมากกว่า โครงสร้างของ FPGA ประกอบด้วย แผงของบล็อกลอจิก ล้อมลอบด้วยส่วน I/O ที่สามารถโปรแกรมได้ และมีการเชื่อมต่อแบบโปรแกรมได้ เช่นกัน FPGA มีขนาดตั้งแต่ระดับ1000 เกต จนถึงหลายล้านเกต

2.6.2 การแบ่งหมวดของ FPGA

การแบ่งหมวดของ FPGA นั้นสามารถแบ่งแยกตามคุณลักษณะได้ดังนี้

- โครงสร้างสถาปัตยกรรมภายใน
- เทคโนโลยีการโปรแกรม
- I/O
- Interconnect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.1 FPGA สามารถแบ่งตามโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของอุปกรณ์ดังนี้

- LCA (Logic Cell Array)
- PASIC (Programmable ASIC)
- FLEX, APEX
- ACT (Actel)

2.6.2.1 การแบ่งโครงสร้างสถาปัตยกรรมของ FPGA

การแบ่งโครงสร้างสถาปัตยกรรมของ FPGA แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

2.6.2.1.1 Coarse-grained

โครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบ Coarse-grained จะประกอบด้วยลอจิกบล็อกขนาดใหญ่ เช่นมักประกอบด้วย LUT และ Flip-Flops 2 อันหรือมากกว่า ตัวอย่าง FPGA ได้แก่ Xilinx ตระกูล XC4K, Spartan, Virtex หรือ Altera ตระกูล FLEX, APEX

2.6.2.1.2 Fine-grained

ประกอบด้วย ลอจิกบล็อกแบบง่าย จำนวนมาก ลอจิกบล็อกประกอบด้วยลอจิกฟังก์ชัน หรือ 2 อินพุท หรือมัลติเพล็กเซอร์แบบ 1-4 และฟลิปฟล็อป ตัวอย่าง FPGA แบบ fine-grained เช่น ตระกูล ACT ของบริษัท ACTEL

2.6.2.2 เทคโนโลยีการโปรแกรม (Programming Technology)

เทคนิคการโปรแกรมไอซี FPGA มีดังนี้

- SRAM
- Fuse/Anti-fuse
- EPROM/EEPROM
- FLASH

2.6.3 ข้อแตกต่างอื่นๆ ของโครสร้างสถาปัตยกรรมของ FPGA

ข้อแตกต่างอื่นๆ ของโครสร้างสถาปัตยกรรมของ FPGA คือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตตัวชิป FPGA ซึ่งได้แก่ SRAM และ anti-fuse FPGA ที่ใช้เทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.1 FPGA ชนิด SRAM

นั้นสามารถทำการโปรแกรมซ้ำๆ ได้หลายครั้ง แต่ในการใช้งานในภาคสนามจำเป็นต้องใช้ไอซี สำหรับเก็บข้อมูลคอนฟิกกูเรชันของวงจร การโหลดข้อมูลจากตัวเก็บบิตสามารถเกิดขึ้นได้โดยอัตโนมัติ เมื่อเปิดสวิตซ์ หรืออาจโหลด โปรแกรมผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ก็ได้ เช่นโหลดโปรแกรมด้วย PC ผ่านสายดาวน์โหลด ข้อดี FPGA นอกจากจะมีขนาดของเกตสูงแล้ว ยังสามารถโปรแกรมซ้ำได้บ่อยตามที่ต้องการ

2.6.3.2 FPGA ชนิด Fuse หรือ Anti-fuse

จะสามารถทำการโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว (OTP) และไม่สามารถแก้ไขหรือโปรแกรมซ้ำได้อีก แต่ข้อมูลการโปรแกรมไม่สูญหายเมื่อวงจรถูกตัดแหล่งจ่ายไฟ การโปรแกรมไอซี FPGA ชนิดนี้จะต้องใช้เครื่องโปรแกรมไอซี

2.6.3.3 FPIC (Field Programmable Interconnect device)

FPIC จริงๆ แล้วไม่ได้ไอซีทางด้านลอจิก แต่จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถโปรแกรมส่วนที่เชื่อมต่อ (wiring) เช่นการเชื่อมตัวให้ไอซีหนึ่งตัวสามารถเลือกได้ว่าให้เชื่อมต่อเข้ากับไอซีตัวไหนได้ บริษัทที่ผลิตอุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ ไอซี Digital Crosspaint Switch ของบริษัท I-Cube Digital crosspoint device ของบริษัท Lattice หรือ อุปกรณ์ Hardware emulator ของบริษัท Aptix

2.6.4 การออกแบบด้วย FPGA

การออกแบบวงจรดิจิตอลด้วย FPGA โดยทั่วไปมีองค์ประกอบ 3ส่วน

2.6.4.1 ซอฟต์แวร์ Design Entry

- โดยใช้ Schematic Design Entry ใช้ไลบารีของ FPGA

- ใช้ภาษา HDL เช่น VHDL, Verilog, การออกแบบโดยใช้ภาษาชั้นสูงนั้นการทดสอบของวงจรนั้นยังไม่ขึ้นกับเทคโนโลยีเป้าหมาย (Technology independent) ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องกังวลถึงค่าความหน่วงทางเวลาของอุปกรณ์ที่มากับเทคโนโลยีนั้นการทดสอบความถูกต้องเป็นในลักษณะการตรวจสอบระดับฟังก์ชันการทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์สำหรับจำลองการทำงาน (Simulation)

2.6.4.2 Design Implement

ขั้นตอนนี้ ต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ Iซึ่งเกี่ยวข้องกับการแปลงแบบที่ได้ออกแบบจาก Schematic หรือ HDL ให้เป็นลอจิก ซึ่งอาจใช้ซอร์ฟแวร์สำหรับสังเคราะห์วงจร (Logic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

synthesis) แล้วทำการแบ่งลอจิกเป็นส่วนๆ (Partitioning) และวางตำแหน่ง (Placement) ของลอจิก ทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณ (routing) สุดท้ายเป็นการสร้างไฟล์สำหรับโปรแกรมลงชิป (bit file)

2.6.4.3 Device Programming

การโปรแกรมอุปกรณ์หรือชิป FPGA นั้น มีเทคนิคหรือวิธีใหญ่ๆ 3 ลักษณะ ทั้งนี้ตัวชิปจะต้องสนับสนุนการทำงานในโหมดของการโปรแกรมเหล่านี้ด้วย

- การโปรแกรมโดยผ่านสายดาวน์โหลด หรือผ่าน JTAG หรือผ่าน ISP
- การโปรแกรมโดยใช้ ตัวเก็บข้อมูลไฟล์บิด
- การโปรแกรมโดยใช้เครื่องโปรแกรมไอซี

2.7 พื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรม

ถึงแม้ว่าการสื่อสารแบบอนุกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความช้ามากว่าการสื่อสารแบบขนาน ทั้งนี้เพราะว่าการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิท แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งได้ครั้งละหลาย ๆ บิทพร้อม ๆ กันส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน

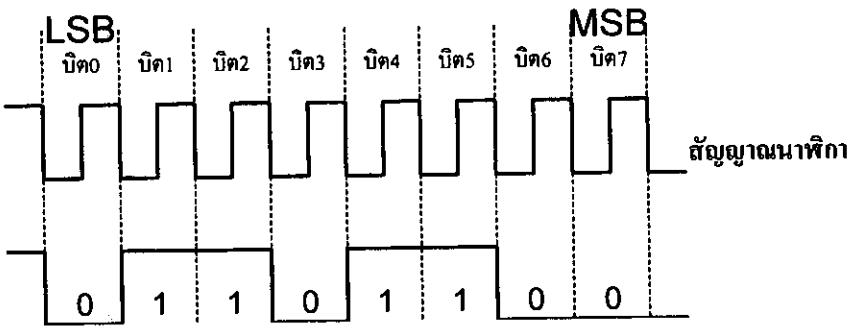
แต่ว่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นมีข้อที่เหนือกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานคือ การสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลกว่าแบบขนาน อีกทั้งสายสัญญาณที่ใช้ยังมีน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอีกด้วย การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Simplex สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียว เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว
2. Half Duplex สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและรับข้อมูลจากปลายทางได้ แต่ไม่สามารถทำการส่งข้อมูล และรับข้อมูลในเวลาเดียวกันได้
3. Full Duplex สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและสามารถรับข้อมูลจากปลายทางในเวลาเดียวกันได้

นอกจากนี้แล้วยังสามารถแบ่งประเภทของการสื่อสารแบบอนุกรมตามลักษณะของสัญญาณในการส่งได้อีกสองแบบคือ

- การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล(และมักเป็นสายกราวด์ด้วย)

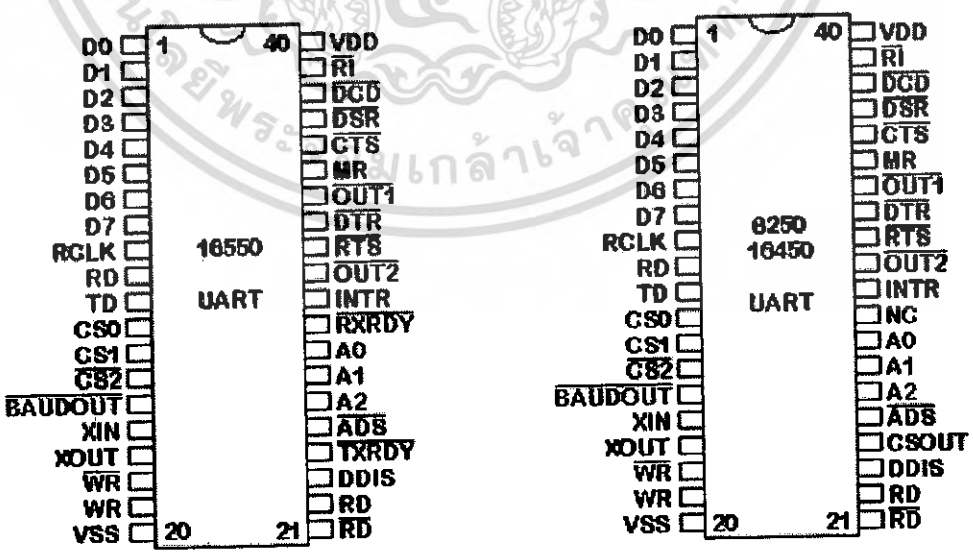
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.34 ลักษณะสัญญาณของการสื่อสารแบบซิงโครนัส

สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้เหมาะสำหรับการทำงานในระยะใกล้ ๆ ข้อมูลที่จะส่งมีไม่มากนัก เพราะถ้าระยะทางไกลขึ้นจะทำให้สัญญาณนาฬิกามีปัญหา อีกทั้งต้องมีสายหลายเส้นทำให้เปลืองมาก

- การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) สำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้นจะเป็นการใช้สายข้อมูลเพียงตัวเดียว แต่จะอยู่ในรูปของการส่งข้อมูล หรือBit Pattern เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล,ส่วนไหนจะเป็นส่วนตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนเป็นส่วนปิดท้ายข้อมูล โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่านั้นทั้งภาคส่งและภาครับ ซึ่งมีอุปกรณ์พิเศษ ที่ชื่อว่า UART หรือ Universal Asynchronous Receiver/Transmitter คอยควบคุมการรับและส่งข้อมูล



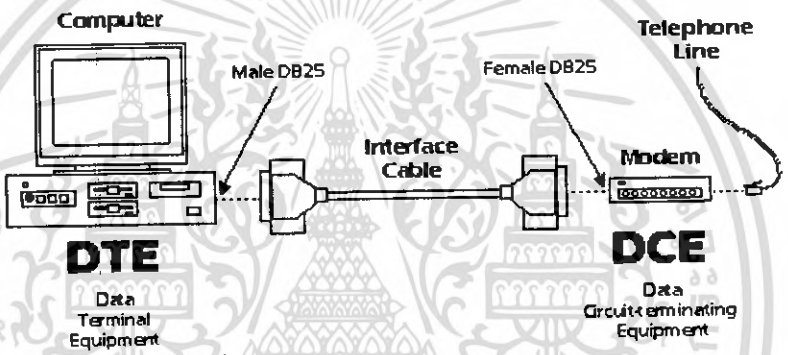
ภาพที่ 2.35 Pin Diagrams for 16550, 16450 & 8250 UARTs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน RS-232C เป็นมาตรฐานที่ได้รับมาตรฐานที่ได้รับการออกแบบเพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงจากผู้ผลิตต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดได้รับการออกแบบขึ้นมา แต่มาตรฐานหลายชนิดได้รับการออกแบบขึ้นมา แต่มาตรฐานที่ได้รับความนิยม และใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุดคือ มาตรฐานRS 232C ซึ่งได้ถูกประกาศใช้ในปี 1969 โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industrial Association:EIA) ในยุคแรก ๆ การอินเตอร์เฟสแบบ RS 232C ถูกแบบสำหรับเชื่อมต่อเทอร์มินอล (DTE:Data Terminal Equipment) กับโมเดม (DCE:Data Communication Equipment) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลบนสายเดียวกัน

มาตรฐาน RS 232C ได้แบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภทนี้ก็คือ

1. อุปกรณ์DTE (Data Terminal Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับการส่งข้อมูล(Output)
2. อุปกรณ์ DCE (Data Communication Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับรับข้อ(Input)



ภาพที่ 2.36 การเชื่อมต่อ Computer ด้วย RS 232 DTE & DCE

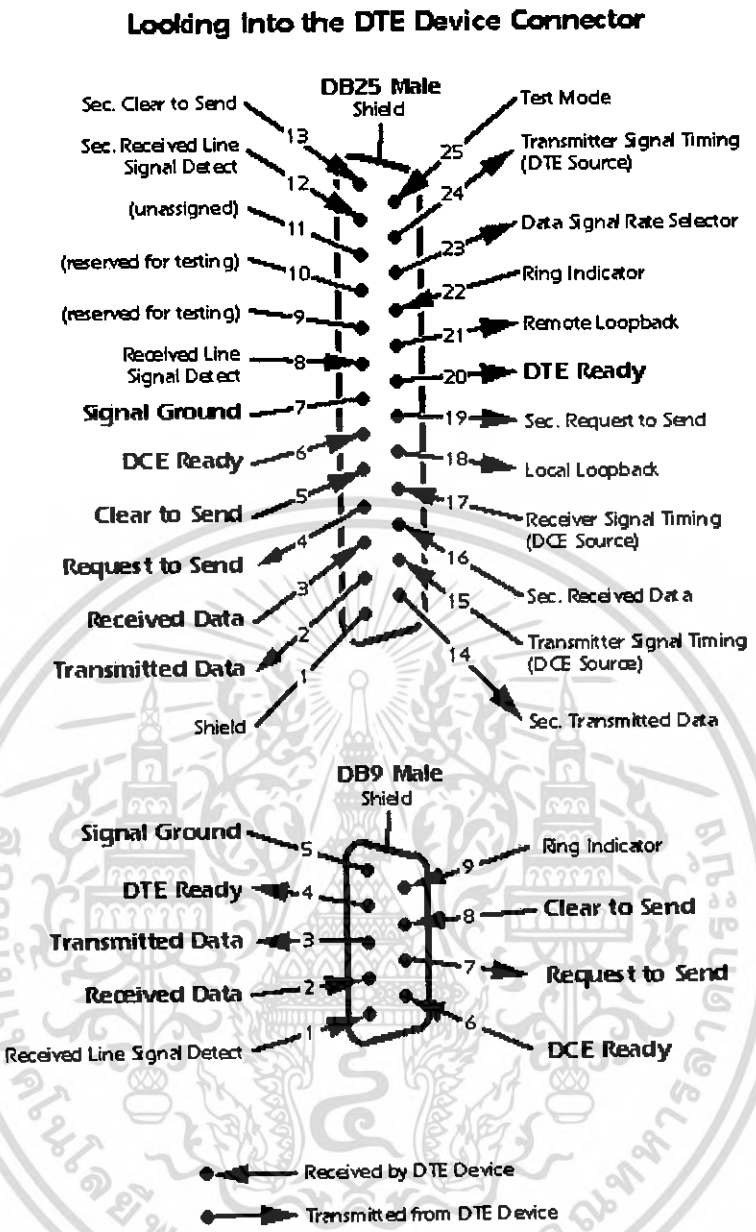
ตามมาตรฐาน RS-232C แล้วคอนเน็คเตอร์ของ DTEจะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็คเตอร์ของ DCEจะเป็นตัวเมีย ซึ่งคอนเน็คเตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่จะเป็นชนิดD-Type แบบ9 ขา และแบบ 25 ขา โดยจะติดตั้งอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ ระดับแรงดันจะมีค่าอยู่ระหว่าง –3 V ถึง –15V

สำหรับลอจิก High และ Low จะมีระดับแรงดันอยู่ระหว่าง +3 V ถึง +15Vสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวสายสัญญาณสูงสุด 50 ฟุต หรือ 150 เมตร แต่ถ้าเราต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นที่อยู่ห่างกันมาก ๆ เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นเข้ามาช่วย เช่น การใช้โมเดม เป็นต้น

2.7.1 ลักษณะของคอนเน็คเตอร์แบบ D-Type

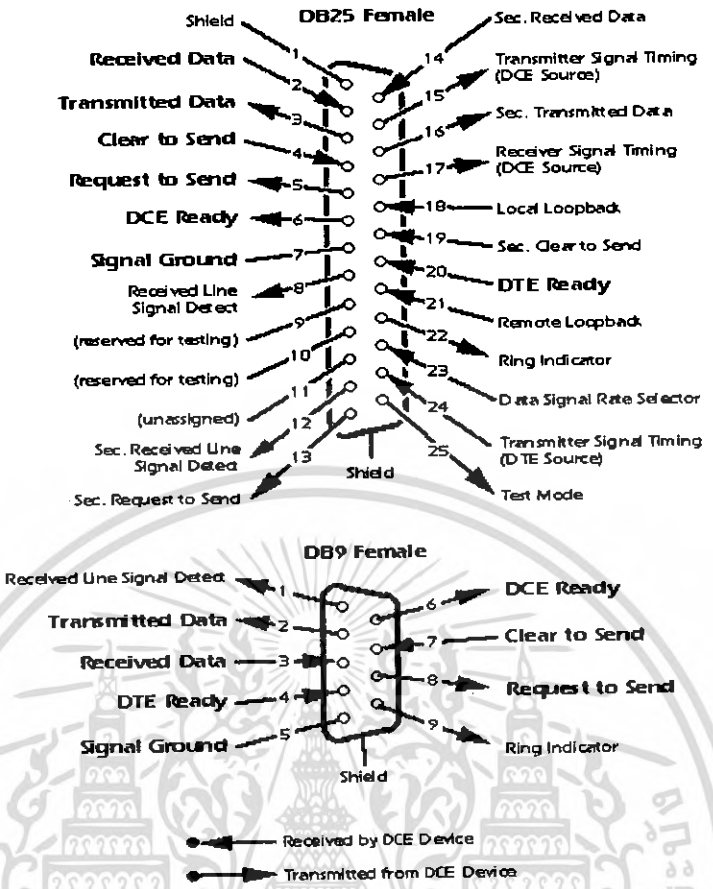
หัวต่อแบบ D-Typeที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบ 9 ขา และแบบ 25 ขา บางครั้งเราจะเรียกว่า DB 9 และ DB25 ซึ่งหัวต่อทั้งสองชนิดจะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณเหมือนกัน แต่การจัดเรียงไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.37 แสดงขาสัญญาณต่าง ๆ ของอุปกรณ์ DTE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.38 แสดงขาสัญญาณต่าง ๆ ของอุปกรณ์ DCE

ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดแต่ละขาของ พอร์ต RS 232

Pin 25Type -D	Pin 9Type -D	สัญลักษณ์	ชื่อสัญญาณ
2Pin	3Pin	TD	Transmit Data
3Pin	2Pin	RD	Receive Data
4Pin	7Pin	RTS	Request To Send
5Pin	8Pin	CTS	Clear To Send
6Pin	6Pin	DSR	Data Set Ready
7Pin	5Pin	SG	Signal Ground
8Pin	1Pin	CD	Carrier Detect
20Pin	4Pin	DTR	Data Terminal Ready
22Pin	9Pin	RI	Ring Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการในการออกแบบแขนกล

3.1 กล่าวนำ

หลักของการออกแบบ Robot Arm ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ส่วน ด้วยกันคือ

3.1.1 ส่วนของการเคลื่อนที่และการทำงานของหุ่นโดยรวม

ในส่วนนี้เราจะทำการกำหนดว่าแขนกลของเราจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร การเคลื่อนที่เป็นแบบจุดต่อจุดหรือแบบต่อเนื่อง และจะนำแขนกลไปใช้ทำอะไรโดยการศึกษาส่วนนี้เราต้องใช้ข้อมูลของแขนกลทางด้านHard ware มาประกอบการออกแบบ เมื่อเราได้แนวคิดทั้งหมดแล้วเราก็จะนำไปหาสมการของการเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรม ควบคุมหุ่นยนต์ต่อไป

3.1.2 ส่วนของแขนกล (Hard ware)

ในการออกแบบส่วน Hard ware ของแขนกลนี้ก็มีความสำคัญเช่นกัน ต้องมีการเลือกมอเตอร์ที่ต้องใช้ในการเคลื่อนแขนกล การเลือกชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ การเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์กับRS 232 จากโปรแกรม และส่วนต่าง ๆ อีกดังนั้นในส่วนนี้เราต้องมีการออกแบบเพื่อให้มีความเหมาะสมเช่นกัน

3.1.3 ส่วนโปรแกรม (Soft ware)

ในส่วนนี้เราจะนำสมการที่เราได้ออกแบบจากส่วนของเคลื่อนที่มาเขียนเป็นโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมแขนกลโดยโปรแกรมที่เราใช้คือ Matlab ใช้การสื่อสารข้อมูลแบบ RS 232

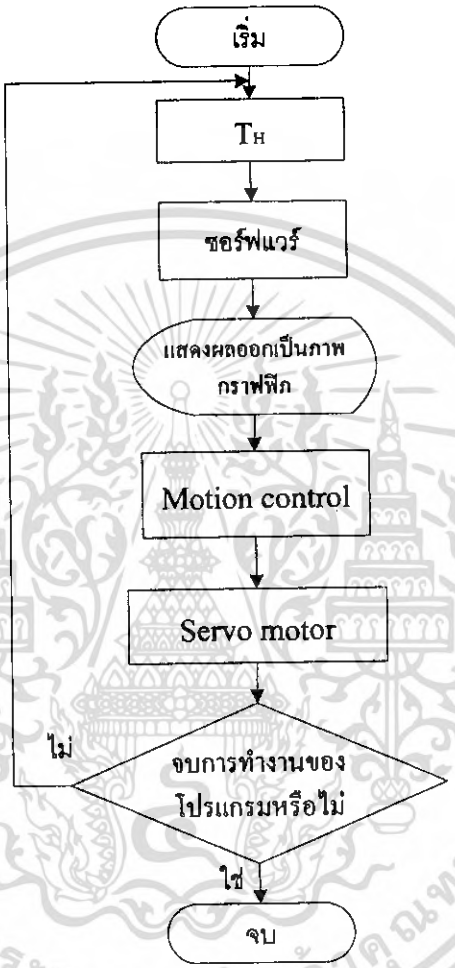
การที่จะให้แขนกลเคลื่อนที่ได้นั้น จะต้องมีการกำหนดจุดหรือตำแหน่งของการเคลื่อนที่ (x ,y ,z) จากโปรแกรมก่อน แล้วจึงส่งค่าผ่านพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ก่อนส่งไปยัง Motion Controller เพื่อให้ไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต่อไป ดังนั้นในโครงงานนี้ ก็จะเน้นไปที่การออกแบบสมการการเคลื่อนที่และโปรแกรมสำหรับควบคุมตำแหน่งของแขนกล หรือการกำหนดตำแหน่ง (x ,y ,z) ให้แขนกลเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ และ ตำแหน่งของแขนกล

3.2.1 ควบคุมการเคลื่อนที่และการทำงานของแขนกลโดยรวม

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำให้ทราบถึงบทบาทและหน้าที่ในการทำงานของแขนกล ซึ่งการทำงานในรูปแบบต่างๆ นั้น จะสามารถแสดงให้เห็นในส่วนนี้การทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงการทำงานโดยรวมของ Robot Arm

จากภาพที่ 3.1 เป็น Flowchart ที่แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก ซึ่งเมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม โปรแกรมจะทำการรอรับค่า Input ที่เราจะสั่งการให้แขนกลนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆนั้นคือ T_H ซึ่งประกอบไปด้วยตำแหน่งของ X ,Y ,Z ,P ,G จากนั้นเมื่อโปรแกรมรับค่าตำแหน่งที่ได้เข้ามาแล้วนั้นจะทำการแสดงผลออกทางจอภาพและส่งค่าระยะของการเคลื่อนที่ที่ต้องเคลื่อนไปยังจุดใดๆ ไปยังชุด Motion Controller ซึ่งชุด Motion Controller มีหน้าที่ในการแปลงค่าระยะทางที่จะเคลื่อนที่ของแขนกล ไปเป็นสัญญาณ Pulse เพื่อส่งสัญญาณที่ได้ ไปควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งการทำงานของโปรแกรมนี้จะสิ้นสุดลงเมื่อโปรแกรมนั้นจบการทำงานของโปรแกรมรันแบบ Auto หรือถ้าโปแกรมนั้นควบคุมแบบ Manual จะรอรับคำสั่งจาก joystick ว่าได้มีการสั่งการออกจากโปแกรมหรือไม่

การทำงานของโปรแกรมโดยรวมเริ่มจากผู้ควบคุมการทำงานสั่งการผ่านทางคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Matlab,ที่เขียนขึ้นมา ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแบบ Auto หรือ Manual จากนั้นก็สั่งงานผ่านพอร์ทอนุกรม โดยผ่านสาย RS-232 ส่งข้อมูลไปให้ชุด Motion Controller เพื่อกำหนดการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ว่าให้เคลื่อนที่ไปตรงตามที่เราต้องการ โดยตัวที่ทำให้เกิดการหมุนของเซอร์โวมอเดอร์คือ การ์ด FPGA ดัวการ์ดนี้จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ pulse ไปยัง Servo Motor เพื่อควบคุมให้การหมุนได้ตามองศาตรงตามกำหนด ซึ่งถ้ายังหมุนไม่ได้ตามองศาที่กำหนดของแขนกลที่กระทำมุมระหว่างกันแต่ละข้อ โปรแกรมจะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณ pulse ไปอีกที

3.2.2 การออกแบบสมการของการเคลื่อนที่ของแขนกล

ในส่วนนี้เราจะนำทฤษฎีบทของ Kinematic นำมาหาสมการทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของแขนกล ให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ในขอบเขตที่กำหนดและเป้าหมายที่ต้องการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งสุดท้ายที่เราต้องการ โดยการทำมุมของแต่ละข้อของแขนกลในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญเพราะเป็นหัวใจหลักของโครงงานในครั้งนี้ ซึ่งสามารถออกแบบสมการของการเคลื่อนที่ Kinematic ได้ดังนี้

3.2.2.1 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งโดยการรวมเอาการเลื่อนตำแหน่งและการหมุน

การเคลื่อนที่ทุกๆแบบ สามารถอธิบายโดยการใช้การเลื่อนตำแหน่งและการหมุนมาอธิบาย โดยลำดับของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมีความสำคัญมากหากเปลี่ยนลำดับกัน

$$P_{xyz} = Trans(dx, dy, dz)\, Rot(x, \theta)\, P_{noa} \tag{3.1}$$

3.2.2.2 สมการของการเคลื่อนที่ Forward Kinematic

จากทฤษฎีบทของ Kinematic ในส่วนของ Forward Kinematic นั้นจะเป็นการหาตำแหน่งของจุดปลายสุดท้ายของแขนกลว่าเคลื่อนไปได้ที่ตำแหน่งจากการคำนวณย้อนกลับมาจาก Inverse Kinematic ซึ่งจะได้มุมที่กระทำกันแต่ละลิ้ง เพื่อนำมาหาตำแหน่งที่เคลื่อนไป ซึ่งจะได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & bc_1 \\ s_1 & c_1 & 0 & bs_1 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

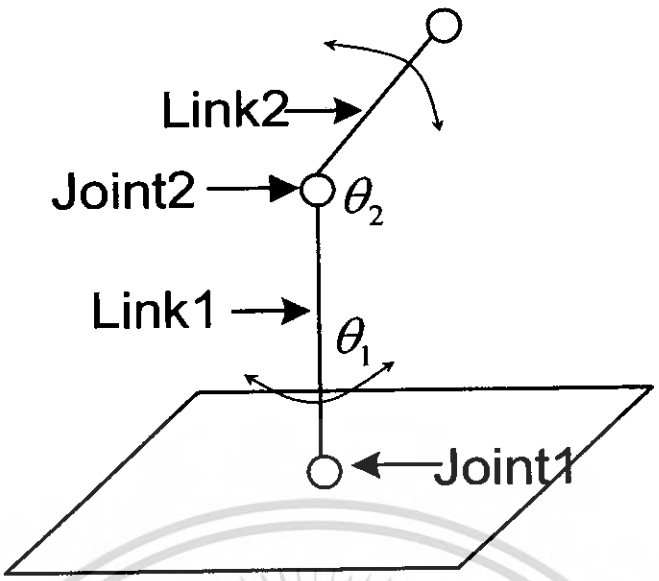
$$T_1^2 = \begin{bmatrix} s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ c_2 & s_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} s_3 & -c_3 & 0 & e \\ c_3 & s_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & f \\ -c_4 & s_4 & 0 & 0 \\ s_4 & c_4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

$$T_0^4 = \begin{bmatrix} -c_1c_4(c_2s_3 - s_2c_3) - s_1s_4 & c_1s_4(c_2s_3 - s_2c_3) - s_1c_4 & c_1s_2s_3 + c_1c_2c_3 & c_1f(s_2s_3 + c_2c_3) + ec_1s_2 + bc_1 \\ -s_1c_4(c_2s_3 - s_2c_3) + c_1s_4 & s_1s_4(c_2s_3 - s_2c_3) + c_1c_4 & s_1s_2s_3 + s_1c_2c_3 & s_1f(s_2s_3 + c_2c_3) + es_1s_2 + bs_1 \\ c_4(c_2c_3 + s_2s_3) & -s_4(c_2c_3 + s_2s_3) & c_2s_3 - s_2c_3 & f(c_2s_3 - s_2c_3) + ec_2 + h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะข้อต่อ (T_{n-1}^{n}) และมุมระหว่างข้อต่อ (θ_n)

3.2.2.3 สมการของการเคลื่อนที่ Inverse Kinematic

ในส่วนของสมการของการเคลื่อนที่ในส่วนของ Inverse Kinematic นั้น ผลที่ได้จากสมการนี้จะเป็นการหามุมที่แต่ละข้อของแขนกลจะทำมุมกันได้กี่องศา เพื่อให้ตำแหน่งปลายสุดของแขนกลเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{p_y}{p_x}\right) \tag{3.7}$$

$$\theta_3 = tan^{-1}\left(\frac{\left(\frac{p_x}{c_1}-b\right)^2+(p_z-h)^2-e^2-f^2}{2fe}\right) \tag{3.8}$$

$$\theta_2 = tan^{-1}\left(\frac{\left(\frac{p_x}{c_1}-b\right)(s_3 f+e)-(p_z-h)c_3 f}{\left(\frac{p_x}{c_1}-b\right)c_3 f+(p_z-h)(s_3 f+e)}\right) \tag{3.9}$$

ในส่วนของ θ_4 นั้นแล้วแต่เราจะกำหนดองศาของการหมุนของข้อต่อนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ตัวสั่งการจาโคเบียน (Manipulator Jacobian)

เมื่อเราได้ทำการออกแบบสมการการเคลื่อนที่ของแขนกล(Direct and Inverse Kinematic) มาแล้ว จากนั้นเราจะมาศึกษาทฤษฎีบทของ Robot Jacobian เพิ่มเติม ซึ่งในหลักการของ ตัวสั่งการ Robot Jacobian นั้นจะนำไปพิจารณาถึงความเร็วในการสั่งการให้ robot เคลื่อนที่ไปให้สัมพันธ์กันมากที่สุดในเชิงเวลา ทั้งในส่วนของความเร็วเชิงเส้น ที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในการเคลื่อนที่ในแต่ละครั้ง และส่วนของความเร็วเชิงมุมที่เกิดจากการหมุนหรือเปลี่ยนทิศทางไปของRobot เราควรที่จะเฝ้าดูระหว่างความเร็วของ end-effector (V_e)ไปจนถึงความเร็วข้อต่อ การประมาณการระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเชิงเส้นนี้สามารถแทนได้เป็น

$$V_e = J(q)\dot{q} \tag{3.10}$$

ที่ $V_e = 6\times 1$เวกเตอร์ความเร็วคาร์ทีเซียน

J(q) = $6\times n$ ตัวสั่งการจาโคเบียน(Jacobian)หรือ Jacobian matrix

$\dot{q} = n\times 1$ เวกเตอร์ความเร็วข้อต่อ

จากสมการที่(3.9) สามารถเขียนอยู่ในหลักของเวกเตอร์ Jacobianได้เป็น

$$V_e = \left[J_1(q)J_2(q)\ldots J_n(q)\right]\dot{q}(t) \tag{3.11}$$

จากสมการที่ (3.10) $J_i(q)$เป็นจำนวนหลักที่ i ของ Jacobian matrix จึงเขียนได้เป็น

$$V_e(t) = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{d} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = J(q)\dot{q}(t) \tag{3.12}$$

เมื่อสามแถวแรกของ Jacobian J(q) คือ ความเร็วเชิงเส้นของ end-effector vในขณะที่สามแถวสุดท้ายคือความเร็วเชิงมุม ω ดังนั้นเราจึงทำให้เป็นองค์ประกอบทั้งสามของความเร็วเชิงเส้น J_{vi} และองค์ประกอบทั้งสามของความเร็วเชิงมุมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} j_{vi} \\ J_{\omega i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{vxi} \\ J_{vyi} \\ J_{vzi} \\ J_{\omega xi} \\ J_{\omega yi} \\ J_{\omega zi} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

3.2.3.1สมการของการเคลื่อนที่ของ Jacobian

$$J = \begin{bmatrix} -s_1 f(s_2 s_3 + c_2 c_3) - e s_1 s_2 - b s_1 & c_1 f(c_2 s_3 - s_2 c_3) + e c_1 c_2 & c_1 f(s_2 c_3 - c_2 s_3) & 0 \\ c_1 f(s_2 s_3 + c_2 c_3) + e c_1 s_2 + b c_1 & s_1 f(c_2 s_3 - s_2 c_3) + e s_1 c_2 & s_1 f(s_2 c_3 - c_2 s_3) & 0 \\ 0 & -(s_2 s_3 + c_2 c_3) f - e s_2 & (s_2 s_3 + c_2 c_3) f & 0 \\ 0 & 0 & -s_1 & -s_1 \\ 0 & 0 & c_1 & c_1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

3.3 ส่วนของซอร์ฟแวร์

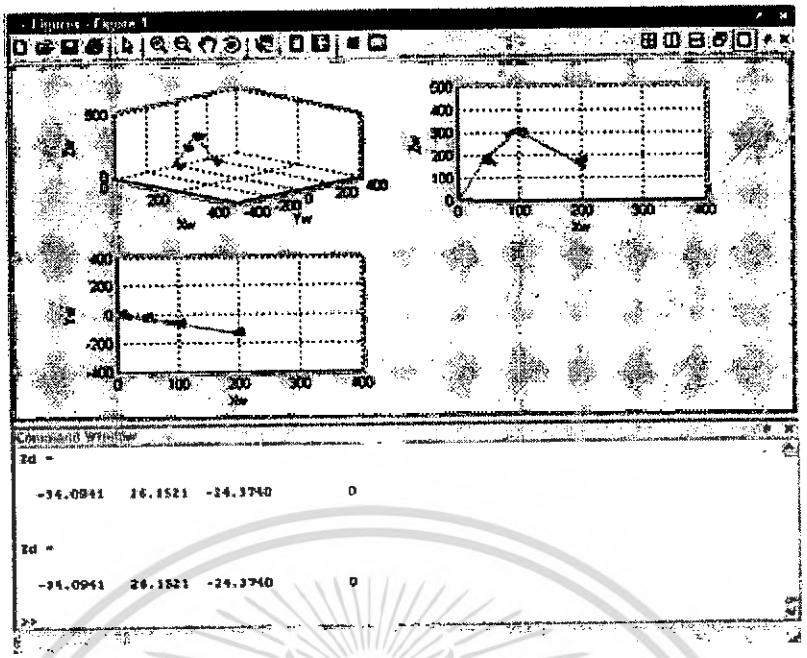
ส่วนนี้จะเป็นส่วนการควบคุมการทำงานของแขนกลและทำการประมวลผลการเคลื่อนที่ของแขนที่ได้แสดงเป็นกราฟิกผ่านออกมาทางจอภาพ การออกแบบเราจะต้องเริ่มศึกษาจากการสมการของเคลื่อนที่ของแขนกลเสียก่อน จากนั้นนำสมการของการเคลื่อนที่ที่ได้นั้นนำมาเขียนในโปรแกรมเพื่อโปรแกรมนั้นทำการประมวลเพื่อส่งคำสั่งไปยังชุด Motion Controller ในส่วนของการทำงานของแขนกลนี้คือ การหยิบจับวัตถุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยใช้ Joystick ในการบังคับตัวแขนหรือเขียนเป็นชุดคำสั่ง G-Code

โปรแกรมนี้เขียนขึ้นมาเพื่อจะเน้นประโยชน์หลักจากการควบคุมการทำงานของแขนกลผ่านทางจอภาพซึ่งสามารถควบคุมได้ในระยะไกลโดยไม่ต้องไปอยู่ในพื้นที่หน้างานจริง ซึ่งสามารถดูกราฟิกที่แสดงขึ้นมาผ่านทางหน้าจอได้

3.3.1 ส่วนของโปรแกรมหลัก

ในส่วนของโปรแกรมหลักนี้ จะเป็นส่วนของการแสดงผลและแสดงกราฟิกที่เกิดขึ้นของการการกระทำของแขนกลตามองศาที่เป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แสดงหน้าจอโปรแกรมควบคุมหลัก

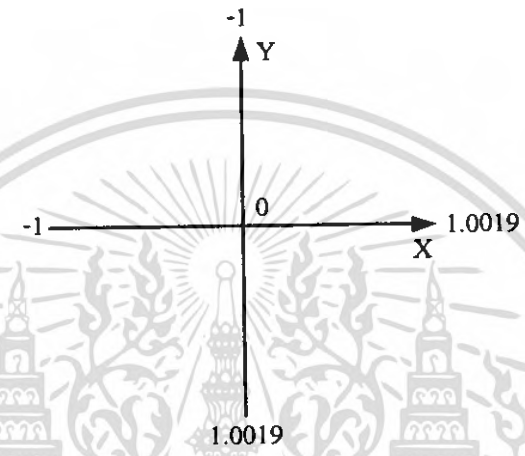
จากภาพที่ 3.2 เป็นการแสดงหน้าจอแสดงผลของในส่วนของโปรแกรมหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะของการมองเห็นการเคลื่อนที่ของแขนกลได้ 3 ด้านได้แก่ รูปที่ 1 Front view เป็นลักษณะของการมองแบบ 3 มิติ คือการมองจากด้านหน้าของตัววัตถุ รูปที่ 2 Side view เป็นการมองจากด้านข้างของวัตถุ รูปที่ 3 Top view เป็นมุมมองที่ในลักษณะการมองลงมาจากด้านบนของวัตถุ ซึ่งระยะของแกน X ,Y ,Z เป็นระยะของการเคลื่อนที่ในระนาบของด้านต่างๆซึ่งมีค่าอยู่ในหน่วยมิลลิเมตร(mm) ในส่วนของจอภาพที่แสดงผลนั้นจะมีการโชว์ค่าของระยะการทำมุมของแต่ละแกน คือค่า Zd ซึ่งจะประกอบไปด้วยมุมของ X ,Y ,Z ,P เรียงตามลำดับ

3.3.1.1 การทำงานของโปรแกรมหลัก

การทำงานของโปรแกรมหลักนั้นเริ่มจากผู้ใช้งานทำการรันโปรแกรมขึ้น โปรแกรมจะทำการติดต่อกับ Joystick และ ตัวชุด Motion Controller เมื่อทำการโยก Joystick โปรแกรม Matlab จะทำการรับค่าจาก Joystick โดยในส่วนของคันโยกจะเป็นค่าระหว่าง -1 ถึง 1.0019 ซึ่งเป็นระยะการเคลื่อนที่ของในแกน X ,Y ของแขนกลซึ่งแสดงค่าของระยะการเคลื่อนที่ของคันโยกดังในภาพที่ 3.3 และในส่วนของปุ่มกดจะเป็นค่าคงที่ของแต่ละปุ่มกดซึ่งในโปรแกรมได้กำหนดให้แกน Z ใช้ปุ่มหมายเลข 2 และ3 ในการเพิ่มและลดองศาของ Z ตามลำดับและกำหนดแกน P ใช้ปุ่มหมายเลขที่ 4 และ 5 ในการเพิ่มและลดองศาของ P ตามลำดับและกำหนดให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของ Grip นั้นทำงานเมื่อกดปุ่มหมายเลข 1 และหยุดทำงานเมื่อมีการปล่อยและจะคาย Grip เมื่อมีการกดปุ่มหมายเลขที่ 6 ซึ่งแต่ละปุ่มจะมีค่าคงที่เฉพาะตายตัวของแต่ละปุ่มนั้นๆ ซึ่งแสดงค่าดังในตารางที่ 3.1 ซึ่งเมื่อโปรแกรม Matlab รับค่ามาจะรู้ได้ว่าปุ่มใดสั่งการ เมื่อโปรแกรมหลักรับค่ามาจะทำการคำนวณคำสั่งที่สั่งการเข้ามาเพื่อหาตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนที่ไปจากโปรแกรมที่เราได้เขียนลงไป แล้วทำการส่งตำแหน่งที่ได้ในรูปของ (x ,y ,z) และความเร็วความเร่ง ไปยังชุด Motion Controller เพื่อให้ชุด Motion Controller ทำการสั่งงาน Servo ต่อไป

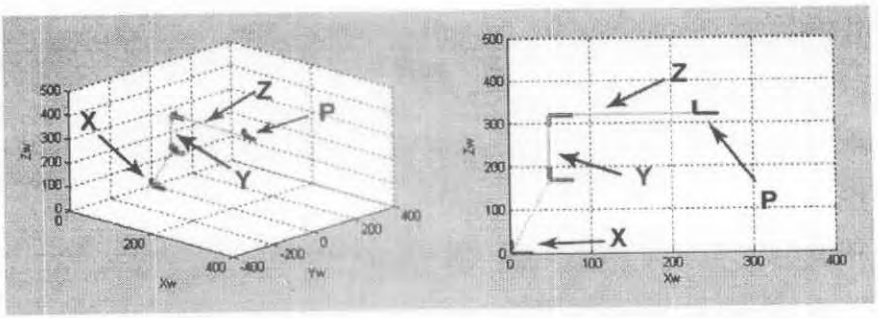


ภาพที่ 3.4 แสดงค่าของระยะการทำงานของคันโยกของ Joystick

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคงที่ของแต่ละปุ่มกดบน Joystick

หมายเลขปุ่ม	ค่าคงที่	หมายเลขปุ่ม	ค่าคงที่
1	1	7	64
2	2	8	128
3	4	9	254
4	8	10	512
5	16	11	1024
6	32	Not	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 แสดงถึงกราฟิกของภาพแขนกล ซึ่งประกอบด้วยแกน X ,Y ,Z ,P

3.4 ส่วนของแขนกลและระบบการควบคุมแขนกล(Hard Ware)

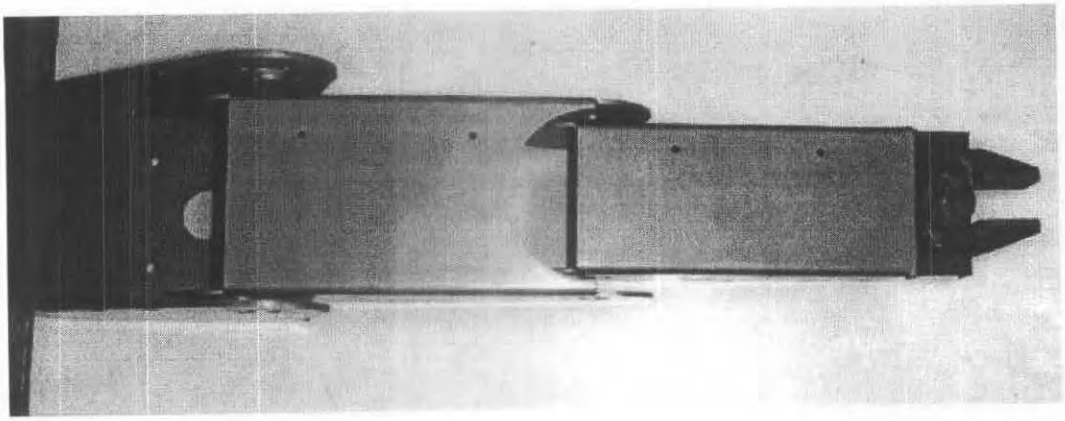
ในส่วนนี้เป็นส่วนทางด้าน Hardware ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญกันไม่แพ้กับส่วนอื่นเช่นกัน ซึ่งในส่วนของ Hardware นี้จะประกอบไปด้วยชุด Motion Controller และ ตัว Robot Arm

3.4.1 ส่วนตัวแขนกล (Robot Arm)

ภาพที่ 3.6 แสดงตัวแขนกล 5 แกน

ในส่วนของแขนกลนี้ซึ่งประกอบไปด้วย 5 แกน คือ X ,Y ,Z ,Position ,Grip โดยเป็นแขนกลชนิด Rotary คือหมุนรอบแกนในตัวเอง

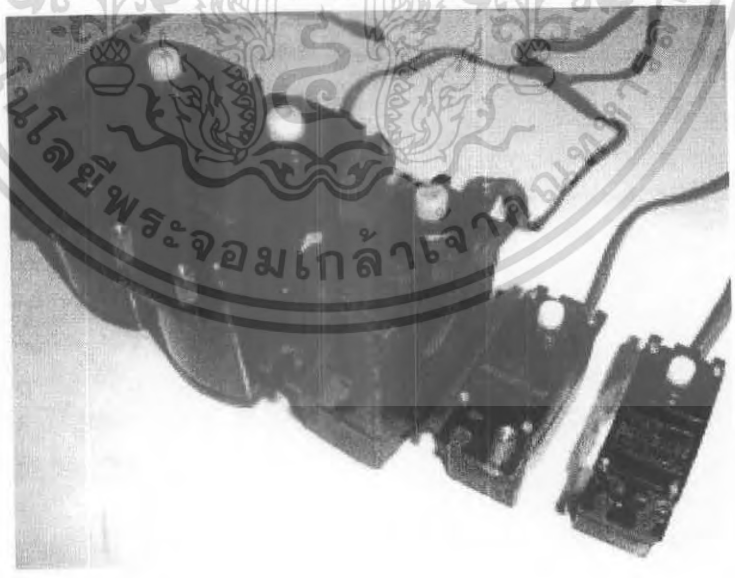
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 แสดงส่วนโครงสร้างของแขนกล

ในส่วนของมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนของแต่ละแกนนั้นใช้เป็น Servo Motor ในการขับเคลื่อนไปตามองศาที่เราสั่งการซึ่งในโครงงานนี้กำหนดใช้มอเตอร์สำหรับแกนต่างๆดังนี้

- แกน X ใช้ Servo : GWS รุ่น S666-N
- แกน Y ใช้ Servo : GWS รุ่น S666-N
- แกน Z ใช้ Servo : GWS รุ่น S04-BBM
- แกน P ใช้ Servo : GWS รุ่น S03T-2BB
- แกน G ใช้ Servo : GWS รุ่น S02N-STD



ภาพที่ 3.8 แสดง Servo Motor ของแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ส่วนของชุดควบคุมแขนกล (Motion Controller)

ในส่วนของชุด Motion Control นั้นเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ของแต่ละแกนให้สามารถทำงานได้สัมพันธ์และเป็นไปอย่างราบรื่นในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งประกอบไปด้วยดังนี้

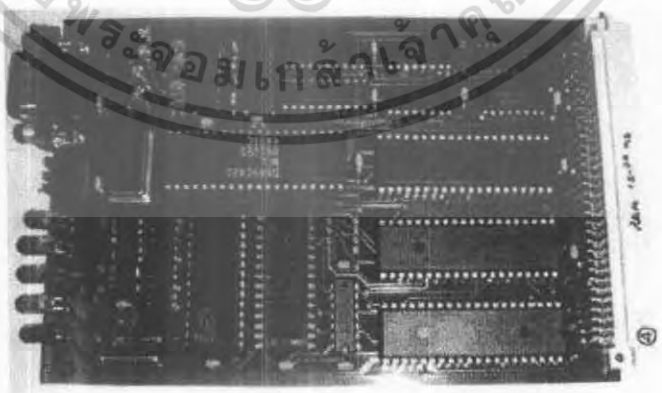
3.4.2.1 แหล่งจ่ายไฟให้กับ Servo Motor

ในโครงงานนี้ได้ใช้ Supply ชนิด Single Output Switching Power Supply แบบ 50W 1A ยี่ห้อ Meanwell ซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ Servo Motor ทั้ง 5 แกนของแขนกล

ภาพที่ 3.9 แสดง Power Supply ของ Servo Motor

3.4.2.2 Microcontroller

ในส่วนของ Microcontroller นี้จะทำหน้าที่ติดต่อกันระหว่าง Computer กับ Motion Controller ซึ่ง Microcontroller จะหน้าที่ในการควบคุมการ์ด FPGA

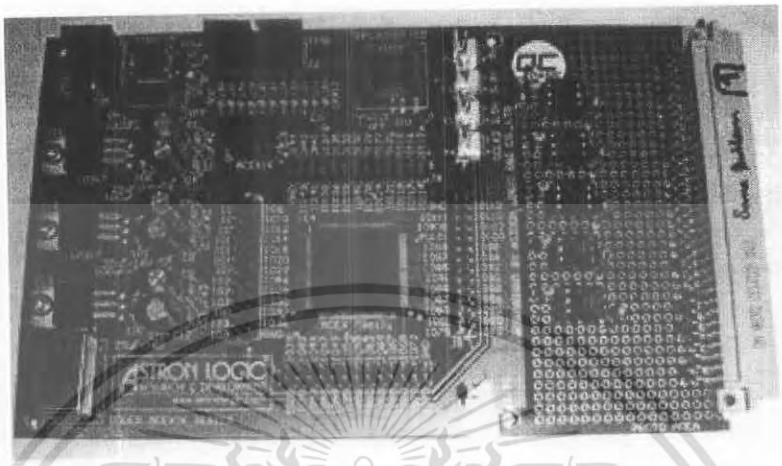


ภาพที่ 3.10 แสดงการ์ด Microcontroller ที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 การ์ด FPGA

ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้การ์ด FPGA ของ Astron Logic เพื่อทำการสร้างสัญญาณ Pulse เพื่อไปควบคุมตำแหน่งการทำงานของ Servo Motor



ภาพที่ 3.11 แสดงการ์ด FPGA ที่ในโครงงานนี้

3.4.2.4 การ์ด I/O

เราได้นำการ์ด I/O มาใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างตัว motion control กับ hardware เพื่อส่งสัญญาณ pulse ให้กับ servo motor

ภาพที่ 3.12 แสดงการ์ด I/O ที่ใช้ในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

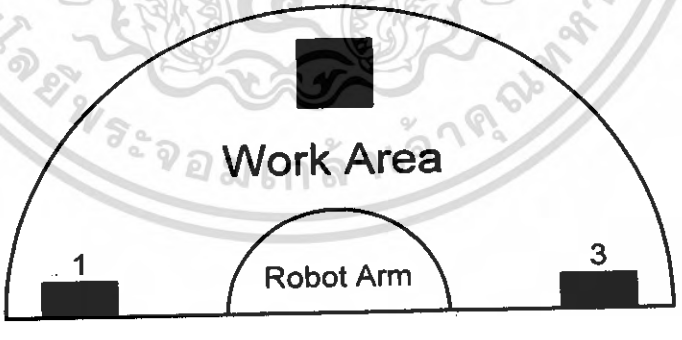
จากข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วจากโครงงานดังกล่าว เมื่อได้ทำการออกแบบสมการของการเคลื่อนของแขนกลและการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการประมวลผลจากคำสั่งที่รับเข้ามาเพื่อส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังชุดควบคุมของแขนกล (Motion Controller) เพื่อทำการควบคุมการทำงานของ Servo Motor แต่ละตัวให้ทำงานสัมพันธ์ เพื่อให้เคลื่อนที่และทำองศาของแต่ละข้อให้ได้ตามที่ต้องการ

4.2 ผลการทดลองการควบคุมแขนกลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

จากการทดลองในการทดลองได้ทำการทดลองการควบคุมแขนกลทั้ง 2 แบบคือ Auto และ Manual ซึ่งในการทดลองแบบ Auto นั้นได้เขียนคำสั่งให้แขนกลทำงานหยิบจับวัตถุให้เคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และ แบบ Manual เป็นการทดลองการควบคุมแขนกลผ่านทาง Joystick

4.2.1 การทดลองการควบคุมแขนกลแบบอัตโนมัติ (Auto)

จากการทดลองได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการให้แขนกลนั้นทำงานโดยการเคลื่อนที่ไปหยิบวัตถุแล้วเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งที่ 1 ไปยังตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 แล้วกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นที่ 1 คือการจบเสร็จสิ้นของโปรแกรม Auto โดยกำหนดจุดในการปล่อยวัตถุ 3 จุดดังในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงตำแหน่งขอบเขตของการย้ายวัตถุ

จากการทดลองที่ได้ได้ทำการทดลองโดยการรันโปรแกรมให้ทำงานแบบ Auto จำนวนทั้งหมด 5 รอบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้คือการเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังตำแหน่งต่างๆที่ระบุไว้ว่าสามารถเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังตำแหน่งได้อย่างถูกต้องหรือไมหรือวัตถุนั้นไม่หลุดเสียก่อน ดังในตารางที่ 4.1

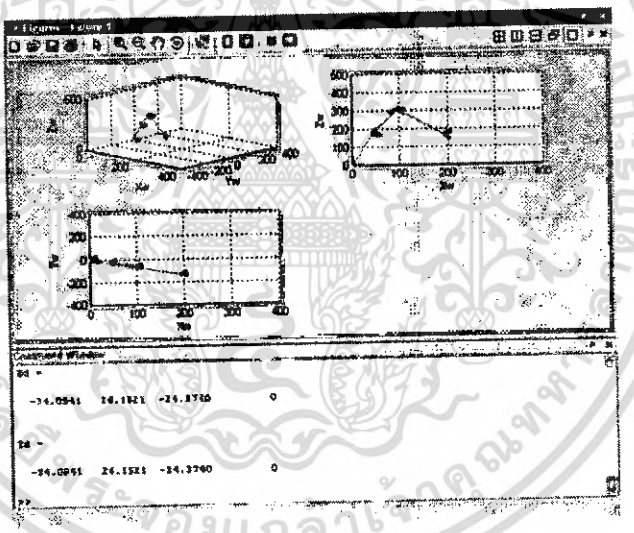
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของการทดลองการเขียนโปรแกรมเคลื่อนย้ายวัตถุ 3 ตำแหน่ง

การรันโปรแกรม ครั้งที่	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	ได้	ได้	ได้
2	ได้	ได้	ได้
3	ได้	ไม่ได้	ได้
4	ได้	ได้	ได้
5	ได้	ได้	ไม่ได้

4.2.2 การทดลองการควบคุมแขนกลแบบ Manual โดยผ่านทาง Joystick

จากการทดลองเป็นการทดลองการควบคุมแขนกลโดยใช้โปรแกรม Matlab เป็นโปรแกรมหลักโดยการควบคุมแขนกลผ่านทาง Joystick โดยแสดงผลเป็นกราฟิกภาพทางจอคอมพิวเตอร์ดังในภาพที่ 4.2

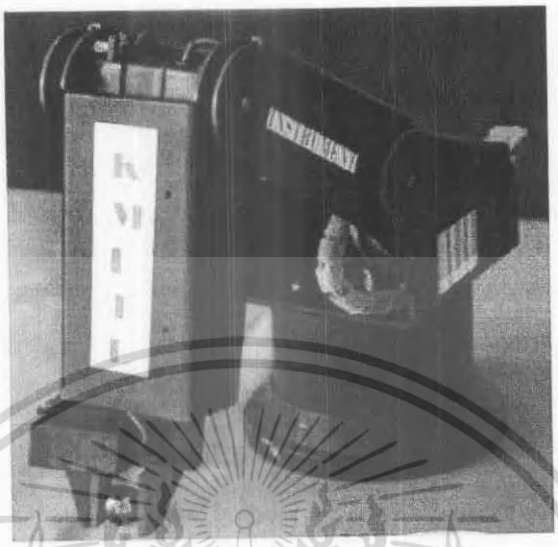


ภาพที่ 4.2 แสดงผลของกราฟิกของแขนกลที่แสดงออกทางจอภาพ

จากนั้นได้ทำการทดลองโดยนำแขนกลไปหยิบจับวัตถุ เพื่อทดลองการ Take Load แขนกลว่าสามารถที่จะหยิบจับวัตถุต่างๆได้หรือไม่ จากการทดสอบโดยการทดสอบการหยิบลูกเหล็กที่มีน้ำหนักอยู่ที่ 300 กรัม ซึ่งผลปรากฏว่าสามารถหยิบจับลูกเหล็กได้และเมื่อทำการเคลื่อนย้ายลูกเหล็กจากจุดที่ 2 ไปยังจุดที่ 1 ผลปรากฏว่าลูกเหล็กนั้นยังคงสามารถที่จะจับติดได้อยู่ไม่หล่นไประหว่างกลางทางของการเคลื่อนย้ายลูกเหล็กจากตำแหน่งที่ 2 ไปยังตำแหน่งที่ 1 และสุดท้ายทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปล่อยลูกเหล็กที่ทำการเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่ 1 ผลปรากฏว่าสามารถปล่อยลูกเหล็กที่เคลื่อนย้ายโดยการบังคับผ่านทาง Joystick ได้อย่างถูกต้องตามที่บังคับผ่านทาง Joystick



ภาพที่ 4.3 แสดงการทำงานของแขนกลเมื่อทำการหยิบลูกเหล็ก

ภาพที่ 4.4 แสดงการทำงานอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดในโครงงานนี้

4.3 สรุปผลของการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการทดลองโดยการควบคุมทั้งแบบ Auto และ Manual โดยการทดลองแบบ Auto นั้นจากการที่ได้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง ผลปรากฏว่ายังมีบางครั้งที่วัตถุเกิดการเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปจากที่กำหนดไว้ ซึ่งทำให้ไม่สามารถหยิบจับวัตถุเคลื่อนที่ไปยังอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งหนึ่งได้ตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรมการสั่งการแบบ Auto ที่เขียนไว้ และจากการทดลองแบบ Manual โดยการบังคับผ่าน Joystick โดยการบังคับให้ทำการหยิบลูกเหล็ก ซึ่งมีขนาด 300 กรัม ผลที่ได้สามารถที่จะสั่งการให้เป็นไปตามที่บังคับผ่านทาง Joystick แต่การเคลื่อนที่ที่ได้ยังมีความล่าช้าอยู่กว่าแบบสั่งการแบบ Auto จากการที่ได้ทำการทดลองการหยิบจับของนั้นสามารถที่จะหยิบจับชิ้นงานได้ที่ขนาดไม่เกิน 1×1 นิ้ว และมีน้ำหนักไม่เกิน 1.2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง ปัญหา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการสั่งการให้ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามที่กำหนด โดยป้อนตำแหน่งบนระนาบสามมิติ สังเกตได้ว่า ในแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์ จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน แต่ต้องไปให้ถึงจุดหมายปลายทางในเวลาที่เท่ากัน โดยในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น จะไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งปลายทางที่หุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่ไปได้

5.2 ปัญหา

1. ในการสั่งการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น ไม่สามารถสั่งการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปโดยป้อนจุดตำแหน่งจุดปลายได้โดยตรง หรือที่เรียกว่า การสั่งการแบบ Inverse Kinematic ทำได้เพียงป้อนตำแหน่งให้เคลื่อนที่ไปทีละแกนเท่านั้น

2. ปัญหาจากการประมวลผลของตัวควบคุม (Controller) ที่มีความล่าช้า เมื่อกระทำการป้อนอินพุทที่เป็นแบบแมนนวล(manual) จึงทำให้หุ่นยนต์แขนกลมีการเคลื่อนที่ค่อนข้างช้า

3.ระบบการควบคุมแขนกลไม่มีความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งปลายทางได้ เนื่องจากทำงานแบบ open loop

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เขียนโปรแกรมเพิ่มเติมที่ใช้ในการประมวลผลหาค่ามุมในแต่ละข้อต่อออกมาแล้วสั่งการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังปลายทางพร้อมๆกันในทุกๆแกน

2. แก้ไขโปรแกรมให้มีขั้นตอนการทำงานให้น้อยและใช้เวลาในการคำนวณให้น้อยที่สุด

3. ปรับเปลี่ยนชนิดของมอเตอร์จาก เซอร์โวมอเตอร์ ไปเป็น steping motor และใช้ Encoder เป็นตัวเซนเซอร์บอกตำแหน่ง และทำการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมเพื่อทำการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

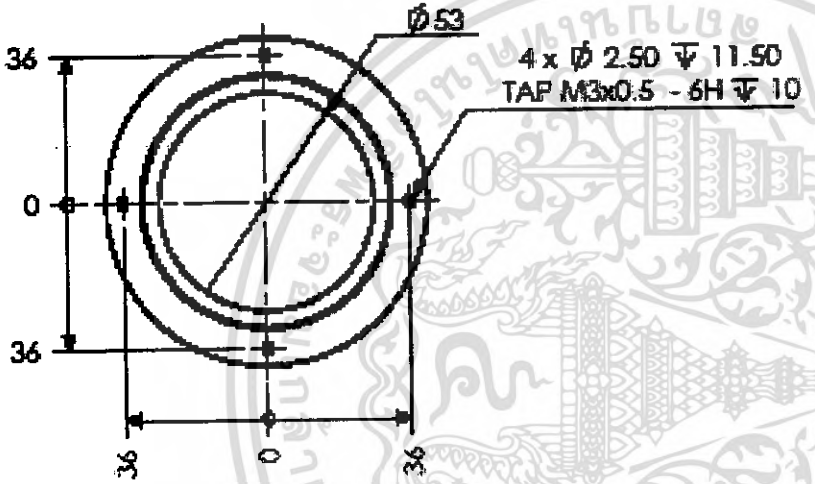
R K Mittal / I J Nagrath . **robotics and control**: tata McGraw-hill @2003

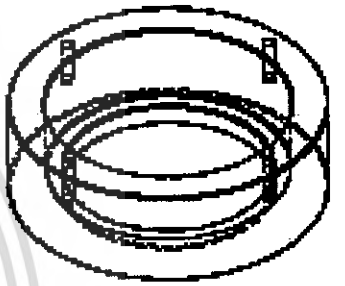
Saeed B.Niku . **Introductiion to Robotics analysis ,system,application :** Prentice Hall @2001

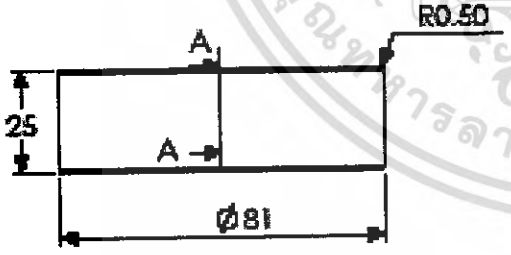
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

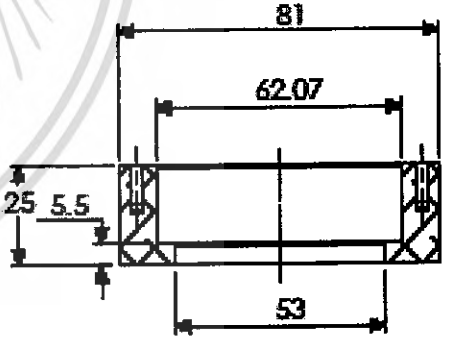
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

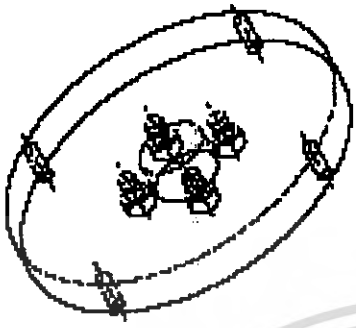

Ø53
4 x Ø 2.50 ↧ 11.50
TAP M3x0.5 - 6H ↧ 10
36
0
36
36
0
36

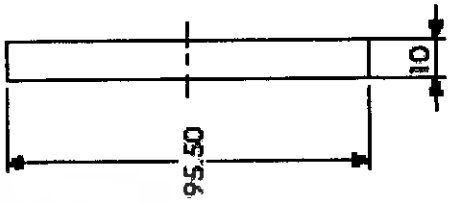


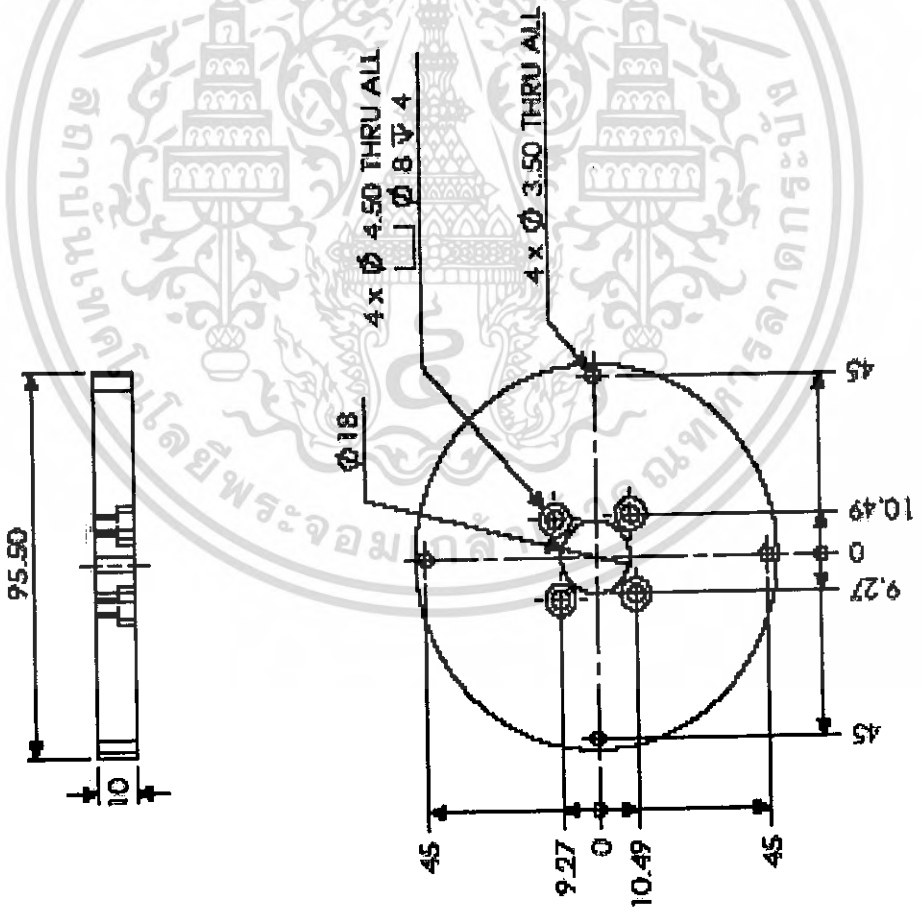

R0.50
A
A
25
Ø81


81
62.07
25
5.5
53

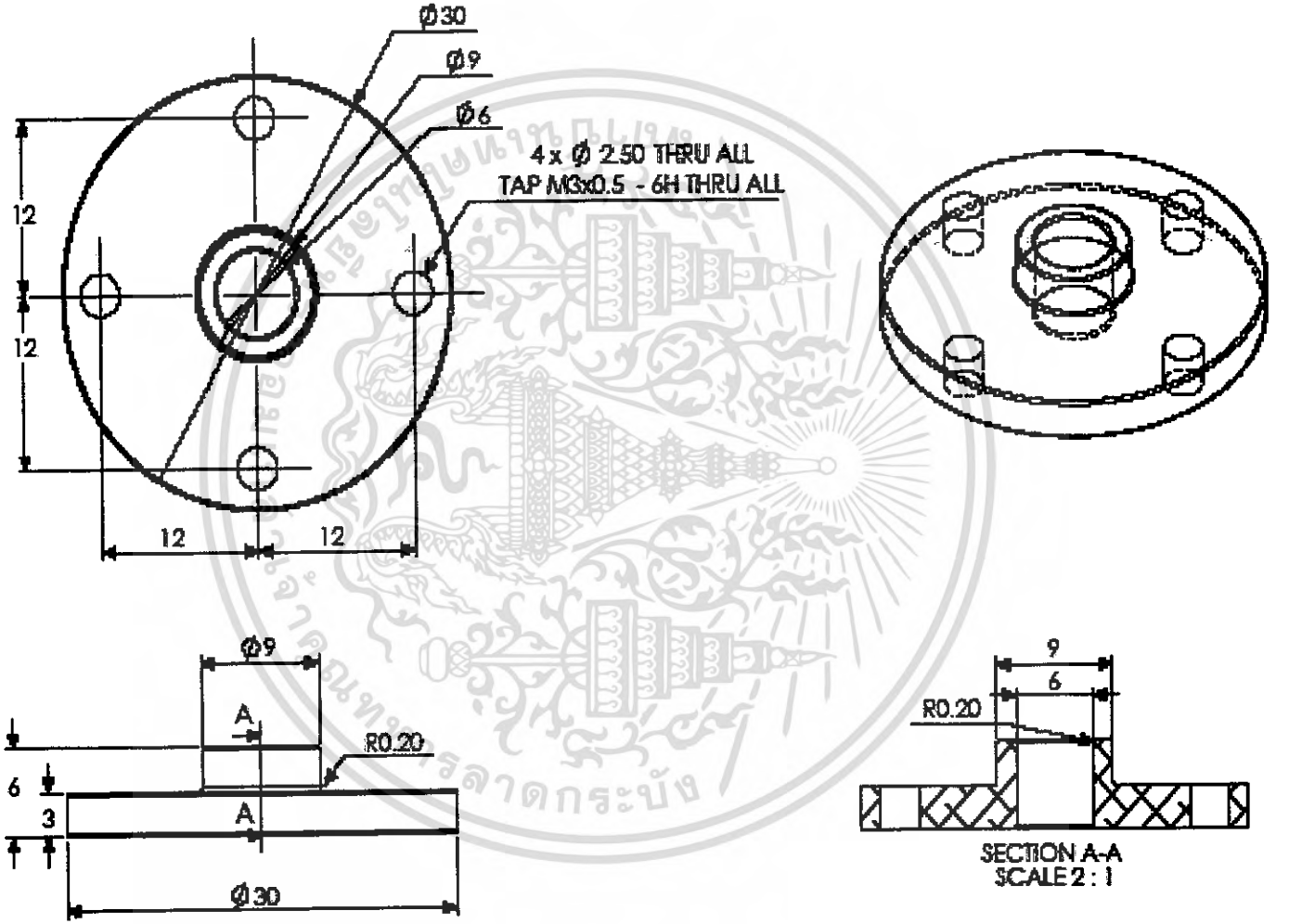
SECTION A-A

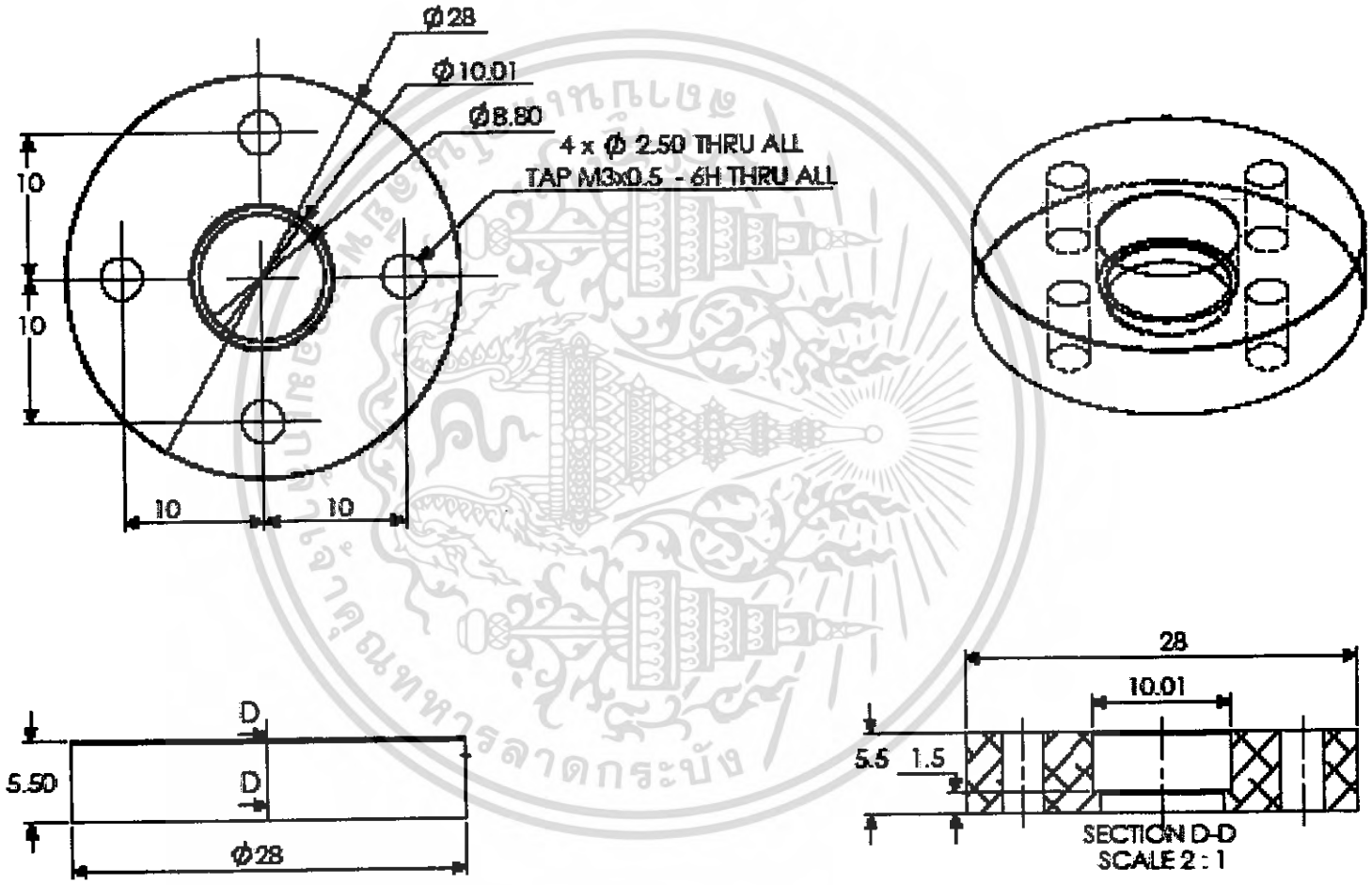


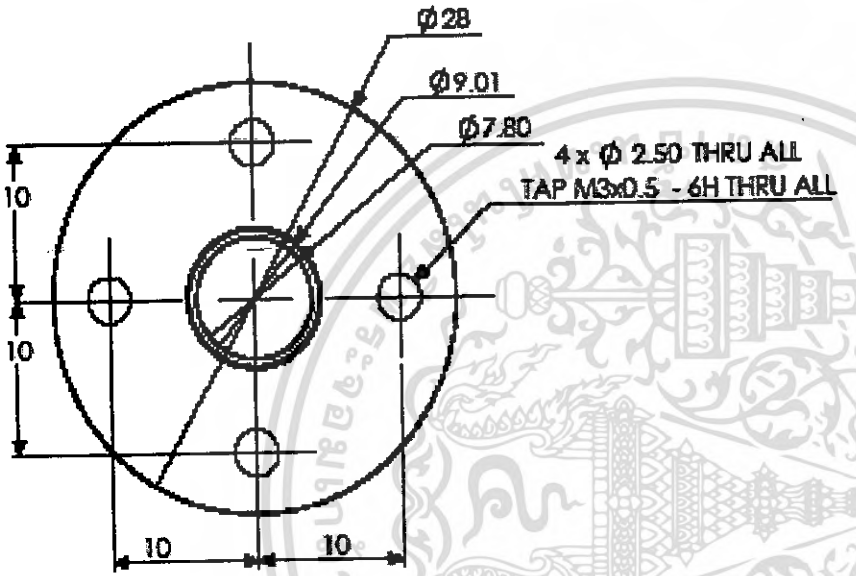


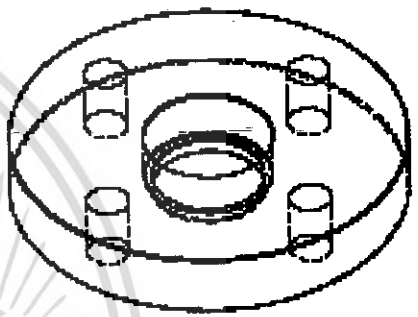


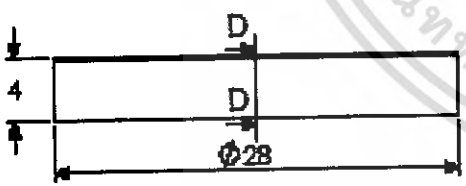
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

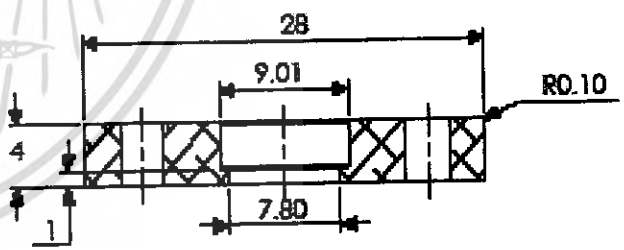

Ø30
Ø9
Ø6
4 x Ø 2.50 THRU ALL
TAP M3x0.5 - 6H THRU ALL
12
12
12
12
Ø9
A
R0.20
6
3
A
Ø30
9
6
R0.20
SECTION A-A
SCALE 2 : 1


Ø28
Ø10.01
Ø8.80
4 x Ø 2.50 THRU ALL
TAP M3x0.5 - 6H THRU ALL
10
10
10
10
D
D
5.50
Ø28
28
10.01
5.5
1.5
SECTION D-D
SCALE 2 : 1

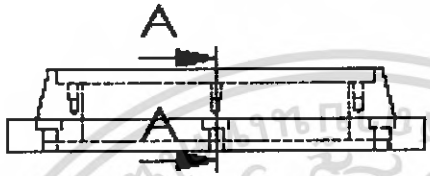


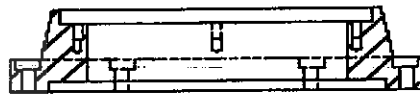




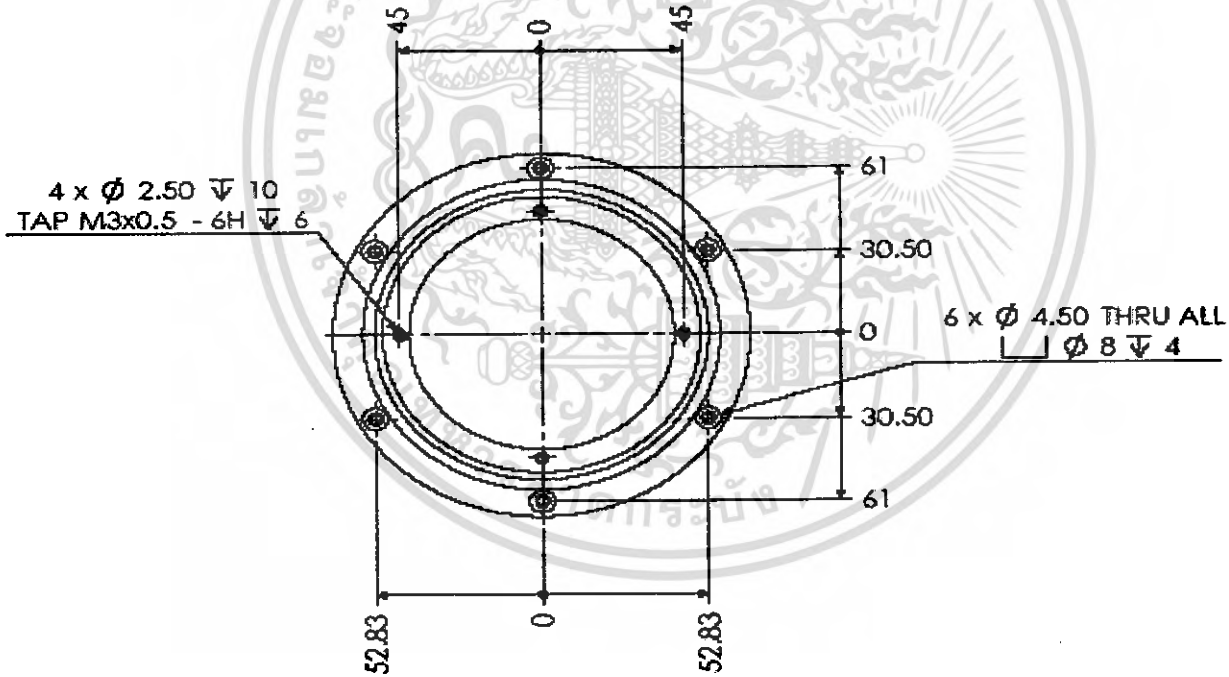


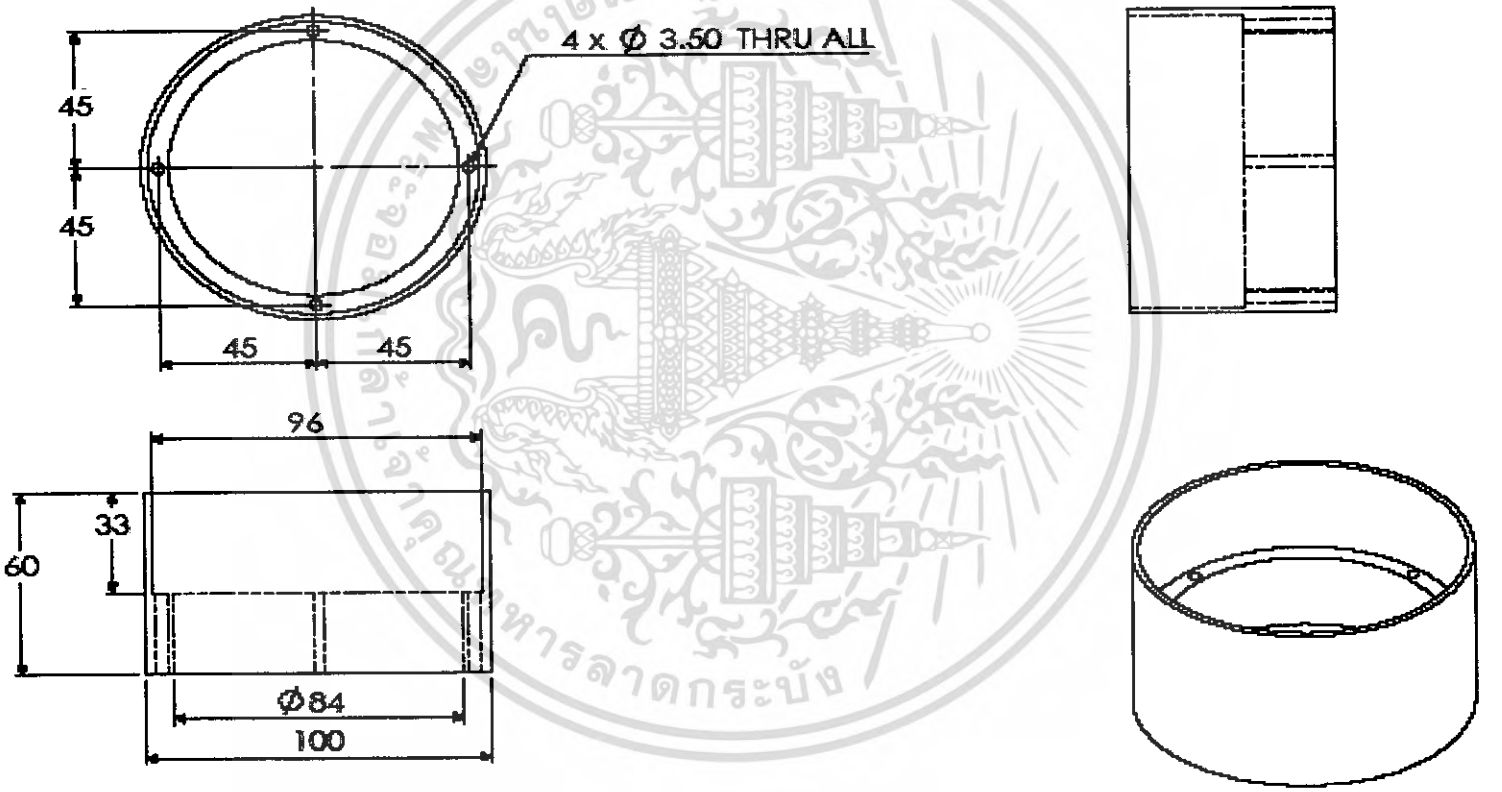
SECTION D-D
SCALE 2 : 1

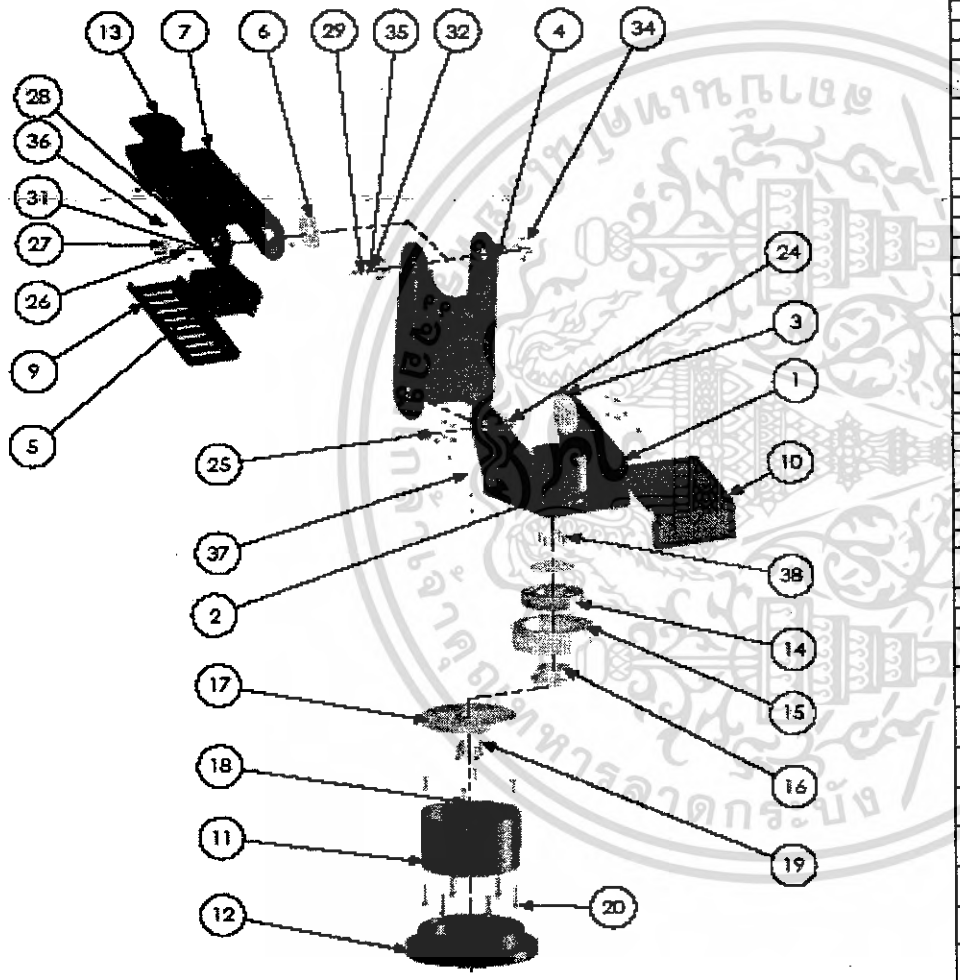

A
A



SECTION A-A


45
0
45
61
4 x Ø 2.50 ↧ 10
TAP M3x0.5 - 6H ↧ 6
30.50
0
6 x Ø 4.50 THRU ALL
⌴ Ø 8 ↧ 4
30.50
61
52.83
0
52.83


4 x Ø 3.50 THRU ALL
45
45
45
45
96
33
60
Ø84
100



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	expaide/QTY.
1	RI01.007	Base Flame	1
2	RI01.003	0.00	2
3	RI01.008	0.00	2
4	RI01.009		1
5	RI01.004	servo motor s04 ---	1
6	RI01.013	0.00	1
7	RI01.016		1
8	RI01.014	servo motor s04	1
9	RI01.017		1
10	RI01.018		1
11	101.6 x 6.3x80		1
12	RI01.020		1
13	RI01.015		1
14	DIN 625 - 6007 - 14,SI,NC,14 68		1
15	RI01.022		1
16	RI01.023		1
17	RI01.024		1
18	DIN 912 M3 x 12 — 12N		4
19	DIN 912 M4 x 12 — 12N		4
20	DIN 912 M4 x 20 — 20N		6
21	DIN 912 M6 x 16 — 16N		1
22	DIN 625 - 619_6 - 10,SI,NC,10 68		1
23	RI01.026		1
24	RI01.025		1
25	DIN 1587 - M6 --NNU		1
26	DIN 625 - 638_5 - 10,SI,NC,10 68		1
27	RI01.030		1
28	RI01.029		1
29	HX-SHCS 0.099-56x0.3125x0.3125-N		1
30	ISO 7046-1 - M4 x 12 - Z --- 12N		4
31	ISO 7046-1 - M3 x 5 - Z --- 5N		7
32	ISO 7046-1 - M3 x 8 - Z — 8N		4
33	ISO 7046-1 - M3 x 12 - Z --- 12N		4
34	ISO 7046-1 - M3 x 6 - Z — 6N		4
35	ISO 7046-1 - M3 x 5 - Z — 5C		3
36	ISO 7046-1 - M3 x 4 - Z — 4N		18
37	ISO 7046-1 - M3 x 10 - Z --- 10N		4
38	FW 0.125		1