รายงานการวิจัย

การพัฒนาหุ่นยนต์ระบบการมองเห็นแบบสเตอริโอแอคทีฟในเวลาจริงสำหรับระบบช่วยเหลือคนพิการแบบอัตโนมัติ

A Real-Time Active Stereo Vision Head for an Automatic Vision-based Aid System to the Disabled

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายศิลา สอนสุจิตรา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2546

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2551

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือช่วยเหลือในด้านต่างๆ จากหลายๆ ฝ่าย จนสำเร็จไปได้ลุล่วงด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อทั้งทางด้านสถานที่ เครื่องมือและบุคลากร ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสำนักวิศวกรรมศาสตร์สำหรับการสนับสนุนในทุกๆ ด้าน การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณพ.ศ. 2546

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยทางด้านระบบการมองเห็นแบบสเตอริโอแอคทีฟ (stereo active) จำเป็นจะต้องมีระบบกล้องที่เคลื่อนที่ตามการเคลื่อนไหวของวัตถุที่ถูกติดตามได้ เพื่อเป็นการขยายขอบเขตการมองเห็นของระบบ เปรียบได้กับการที่มนุษย์มีโครงสร้างที่รองรับการเคลื่อนไหวของลูกตา ไม่ว่าจะเป็นส่วนคอสำหรับก้ม เงย หันซ้ายหรือหันขวา การกรอกลูกตา หรือแม้แต่การเอี้ยวหรือหันตัวเพื่อมองตามวัตถุที่สนใจ การเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นการเพิ่มมุมมองการจดจ้อง (fixate) วัตถุที่สนใจ ทำให้ระบบได้รับข้อมูลของวัตถุเพิ่มเติม อันได้แก่ตำแหน่งและความเร็ว เพื่อใช้ในการจัดการ (manipulate) หรือประมวลผล (process) ต่อไป

ในโครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาระบบโครงสร้างการมองเห็นของหัวหุ่นยนต์ PTV (Pan-Tilt-Verge vision system) ขึ้นมา เพื่อให้มีรูปแบบของพฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่คล้ายคลึงกับการเคลื่อนที่ของตามนุษย์ หัวหุ่นยนต์ PTV ประกอบด้วยกล้องสีแบบ CCD จำนวน 2 ตัวทำหน้าที่เป็นตาของหัวหุ่นยนต์ กล้องดังกล่าวได้รับการติดตั้งอยู่บนโครงสร้างแบบ 4 มุมอิสระ ซึ่งการขับเร้ามุมอิสระต่างๆ ของหัวหุ่นยนต์นี้อาศัยมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจำนวน 4 ตัว เพื่อใช้ในการหันซ้าย-ขวา (pan) ใช้ในการก้ม-เงย (tilt) และกรอกตาซ้าย-ขวา (verge) ระบบที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบช่วยเหลือคนพิการแบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มมุมมองและประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้มากยิ่งขึ้น

Abstract

In stereo active vision field of study, most systems require an ability to move cameras to track moving objects. Like any human vision, this is for expanding the coverage of vision system. Besides the eyes movement, the body movements also allow greater field of view e.g. turning left and right or tilting up and down by the neck or the torso. By having such capability to move the eyes, the vision system can obtain more information of objects of interest. Typically, these are position and velocity for further manipulating or processing.

This research project presents design and development of Pan-Tilt-Verge (PTV) vision system for a robot head. The main objective is to achieve two of human-like eye movement behaviors i.e. saccade and smooth pursuit. The PTV head consists of two color CCD cameras used as robot's eyes. These two cameras are mounted on a 4 degree-of-freedom head. These are one degree for pan angle (left/right), one degree of tilt angle (up/down) and two degree for verge angle (left/right for each eye). The system can be deployed in automatic disable-aid system in order to extend workspace and increase performance of overall system.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)..... ข
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ) ..... ค
สารบัญ..... ง
สารบัญตาราง..... จ
สารบัญรูป..... ฉ
1 บทนำ..... 1
2 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างหัวหุ่นยนต์..... 2
2.1 โครงสร้างของหัวหุ่นยนต์ PTV..... 3
2.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง..... 6
2.3 ปัญหาหลังจากการประกอบชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์..... 10
3 ชุดควบคุมหัวหุ่นยนต์..... 11
3.1 ชุดประมวลผล..... 11
3.2 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง..... 12
3.3 การควบคุมหัวหุ่นยนต์จากชุดประมวลผล..... 12
3.4 การรับส่งข้อมูลของชุดประมวลผล..... 15
4 การทดสอบประสิทธิภาพของหัวหุ่นยนต์ PTV..... 19
5 แบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหัวหุ่นยนต์ PTV..... 19
6 สรุป..... 22
รายการอ้างอิง..... 24
ภาคผนวก ก. แบบมิติชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์..... 25
ภาคผนวก ข. รายชื่อผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์..... 34
ประวัติผู้เขียน..... 35

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 การทำงานการรับส่งข้อมูลของชุดประมวลกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล..... 18
4.1 ประสิทธิภาพของหัวหุ่นยนต์..... 19
4.2 พารามิเตอร์ของชิ้นส่วนสำหรับหัวหุ่นยนต์..... 20

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 มุมอิสระของหัวหุ่นยนต์ ... 3
1.2 ภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ต้นแบบพร้อมการติดตั้งมอเตอร์ 4 ตัว ... 3
1.3 การกระจายชิ้นส่วนของภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ ... 4
1.4 การกระจายชิ้นส่วนของภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ (ต่อ) ... 5
1.5 การกระจายชิ้นส่วนของภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ (ต่อ) ... 5
2.1 การยึดกล้องและจุดเชื่อมอะลูมิเนียม ... 7
2.2 จุดหมุนบริเวณคอ ... 7
2.3 ตัวอย่างชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูป ... 8
2.4 ชุดเฟืองและเกลียวตัวหนอน ... 8
2.5 หัวหุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ... 9
2.6 มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงรุ่นต่างๆ ที่ติดตั้งบนหัวหุ่นยนต์ PTV ... 10
3.1 ชุดประมวลผล ... 11
3.2 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ... 12
3.3 ผังงานการทำงานของโปรแกรมส่วนหลักและส่วน ISR ... 13
3.4 ระบบการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง ... 14
3.5 รูปคลื่นการถอดรหัสจากมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง ... 14
3.6 ช่วงเวลาการทำงานของชุดประมวลผล ... 15
3.7 ผังงานระบบการควบคุมหัวหุ่นยนต์ ... 16
3.8 การรับส่งข้อมูลตำแหน่งระหว่างชุดประมวลผลและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ... 17
4.1 พิสัยการทำงานของหัวหุ่นยนต์ TV ... 19
4.2 การกำหนดเฟรมให้กับหัวหุ่นยนต์ (หน่วย: เซนติเมตร) ... 21
ก.1 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร) ... 26
ก.2 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร) ... 27
ก.3 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร) ... 28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ก.4 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร)..... 29
ก.5 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร)..... 30
ก.6 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร)..... 31
ก.7 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร)..... 32
ก.8 มิติของชิ้นงาน (หน่วย : เซนติเมตร)..... 33

บทที่ 1
การออกแบบหัวหุ่นยนต์ PTV

ในงานวิจัยทางด้านระบบการมองเห็นแบบสเตอริโอแอคทีฟ (stereo active) จำเป็นจะต้องมีระบบกล้องที่เคลื่อนที่ตามการเคลื่อนไหวของวัตถุเป้าหมายได้ เพื่อเป็นการขยายขอบเขตการมองเห็นของระบบ เปรียบได้กับการที่มนุษย์มีโครงสร้างที่รองรับการเคลื่อนไหวของลูกตา ไม่ว่าจะเป็นส่วนคอสำหรับก้ม เงย หันซ้ายหรือหันขวา การกรอกลูกตา หรือแม้แต่การเอี้ยวหรือหันตัวเพื่อมองตามวัตถุที่สนใจ การเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นการเพิ่มมุมมองการจดจ้อง (fixate) วัตถุที่สนใจ ทำให้ระบบได้รับข้อมูลของวัตถุเพิ่มเติมมากขึ้น อันได้แก่ตำแหน่ง (position) และความเร็ว (speed) เพื่อใช้ในการจัดการ (manipulate) หรือประมวลผล (process) ต่อไป

ในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาและสร้างหัวหุ่นยนต์ต้นแบบ ประกอบไปด้วยกล้องชนิดสีที่ติดตั้งอยู่บนโครงสร้างขนาด 4 มุมอิสระ (degree of freedom หรือ DOF) ที่ซึ่งสามารถหันซ้าย-ขวา (pan) ก้ม-เงย (tilt) และเหลือบซ้าย-ขวา (verge) ได้ ระบบการควบคุมหัวหุ่นยนต์ใช้หลักการเคลื่อนที่ของตามนุษย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของหัวหุ่นยนต์ กล้องที่ติดบนโครงสร้างของหัวหุ่นยนต์ต้นแบบทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ เปรียบเสมือนดวงตาของมนุษย์ กล้องทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ ในสภาพแวดล้อมโดยกล้องจะบันทึกข้อมูลในรูปแบบดิจิตอลเพื่อนำมาประมวลผล โดยใช้เทคโนโลยีดิจิตอลคอมพิวเตอร์ซึ่งในปัจจุบันมีสมรรถนะที่สูงมาก อีกทั้งตัวกล้องและคอมพิวเตอร์ยังมีราคาไม่สูงมากนัก ดังนั้นเมื่อมีอุปกรณ์ที่ประสิทธิภาพสูงและราคาต่ำจึงทำให้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่เนื่องจากตัวกล้องมีความโค้งมนของเลนส์ทำให้เวลานำไปใช้งานต้องทำการปรับเทียบเพื่อให้การใช้งานกล้องถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ขั้นตอนและอัลกอริทึมที่ใช้ในการปรับเทียบกล้องนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับการเลือกของผู้ใช้และงานที่จะนำกล้องไปใช้งาน

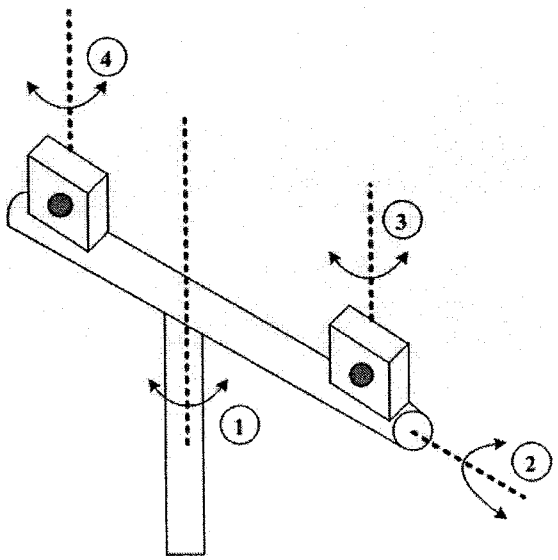
การสร้างหัวหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ได้แบบตามนุษย์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่จะทำให้โครงสร้างเหมือนของศีรษะมนุษย์นั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากว่าโครงสร้างของศีรษะมนุษย์นั้นมีมุมอิสระเป็นจำนวนนับไม่ถ้วน โดยปกติในงานวิจัยทั่วๆ ไปแล้วจะใช้โครงสร้างที่ไม่ยุ่งยาก โดยมีมุมอิสระที่ไม่มากนัก กล่าวคือให้มีลักษณะการเคลื่อนที่หลัก เช่น การก้ม การเงย การหันซ้าย การหันขวา เป็นต้น ซึ่งการเคลื่อนที่ดังกล่าวสามารถออกแบบสร้างได้ด้วยมุมอิสระที่ไม่มากนัก

เนื้อหาในรายงานวิจัยนี้กล่าวถึงรายละเอียดการสร้างหัวหุ่นยนต์ PTV (Pan-Tilt-Verge) โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบ การขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ รวมไปจนถึงระบบการควบคุมหัวหุ่นยนต์ PTV โดยขั้นตอนการสร้างทั้งหมดอาศัยเครื่องมือที่หาได้ในโรงเครื่องมือกลทั่วไป อีกทั้งอุปกรณ์และวงจรควบคุมต่างก็จัดทำขึ้นเองโดยทั้งสิ้น มีเพียงแต่มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง (DC servo motor) ที่จำเป็นต้องอาศัยจากต่างประเทศเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ

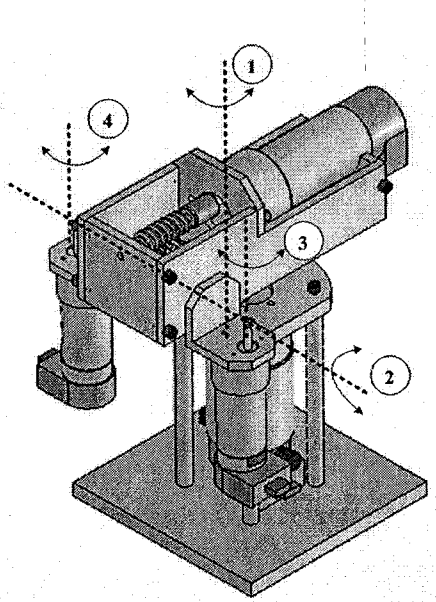
1. การออกแบบหัวหุ่นยนต์

ในการออกแบบและสร้างหัวหุ่นยนต์ต้นแบบนั้น หัวหุ่นยนต์ต้นแบบต้องมีลักษณะการทำงานหรือการเคลื่อนที่ๆ ใกล้เคียงกับโครงสร้างของศีรษะมนุษย์มากที่สุด อีกทั้งต้องคำนึงถึงการใช้วัสดุที่น้อยที่สุดเพราะการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มากเป็นการเพิ่มเวลาและขั้นตอนในการขึ้นรูป วัสดุแต่ละชิ้นต้องสามารถหาได้ง่าย การขึ้นรูปชิ้นงานต้องทำได้อย่างไม่ยุ่งยาก โดยสามารถใช้เครื่องมือทางกลทั่วไปก็สามารถขึ้นรูปได้ และสุดท้ายต้องง่ายต่อการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันอีกด้วย ดังนั้นจากข้อพึงประสงค์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการออกแบบและการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ นั้นเน้นที่ความง่ายเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งอาจนำมาซึ่งค่าความผิดพลาดต่างๆ ตามมา เช่น ความถูกต้องแม่นยำของขนาดชิ้นงาน ขนาดรูหรือรูเกลียวที่คลาดเคลื่อน เป็นต้น

จากจุดประสงค์ที่ต้องออกแบบหัวหุ่นยนต์ให้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายศีรษะมนุษย์ ดังนั้นหัวหุ่นยนต์ที่ออกแบบจะต้องมีพฤติกรรมการเคลื่อนที่พื้นฐานได้แก่ การก้ม การเงย หันซ้าย หันขวาและการขยับลูกตาซ้ายขวา จึงทำให้หัวหุ่นยนต์ต้นแบบที่ได้มีโครงสร้างการเคลื่อนที่ 4 มุมอิสระ (4 degree of freedom) โดยที่มุมอิสระแรกใช้หันซ้ายและหันขวา มุมอิสระที่สองใช้ก้มและเงย มุมอิสระที่สามและสี่เป็นตาซ้ายและตาขวาตามลำดับ โดยในแต่ละมุมอิสระมีตัวขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง ที่มีขนาดและกำลังขับเคลื่อนที่ต่างกัน ส่วนกล้องชนิดสีแบบ CMOS ขนาดเล็กจำนวน 2 ตัวถูกติดในตำตั้งแหน่งที่แทนดวงตา



รูปที่ 1.1 มุมอิสระของหัวหุ่นยนต์



รูปที่ 1.2 ภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ต้นแบบพร้อมการติดตั้งมอเตอร์ 4 ตัว

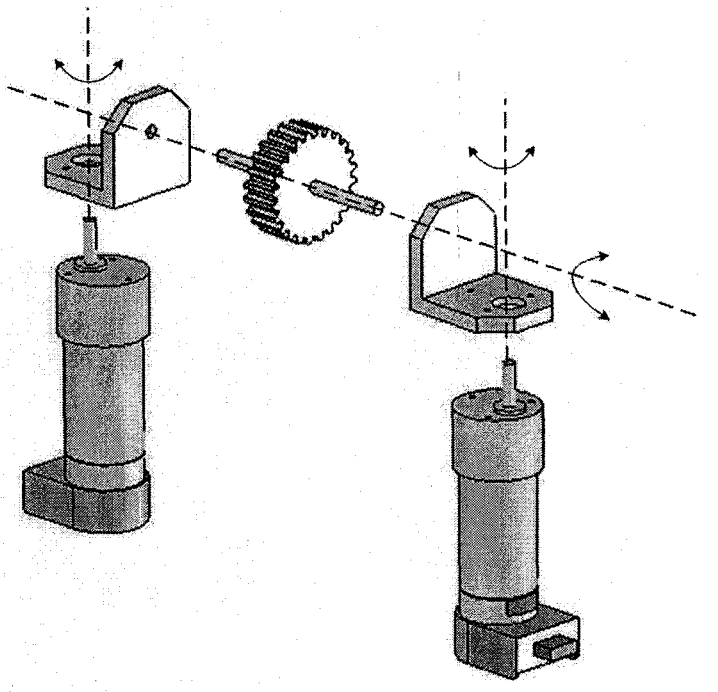
2. โครงสร้างของหัวหุ่นยนต์ PTV

จากภาพแบบจำลองของหัวหุ่นยนต์ที่ได้จะถูกนำมากระจายออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถแสดงรายละเอียดการทำงานในแต่ละส่วนให้ดียิ่งขึ้น รูปที่ 1.2 แสดงการกระจายชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์รวมถึงภาพจำลองตัวขับเคลื่อนในส่วนที่ใช้สำหรับการก้มและการเงย ที่ปลายของมอเตอร์แต่ละตัวถูกติดตั้งกล้องเพื่อใช้แทนดวงตา โดยในส่วนที่ใช้สำหรับการก้มและ

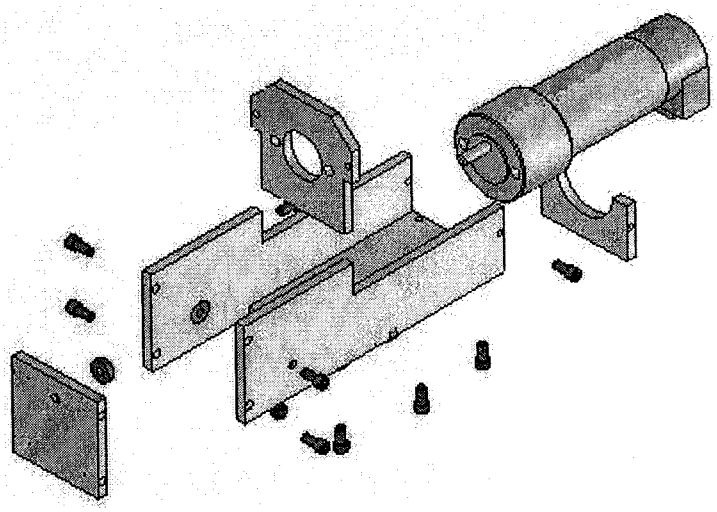
การเงยนั้นจะใช้ชุดเฟืองเกลียวตัวหนอนที่มีอัตราการทด ในรูปที่ 1.3 ได้แสดงเฉพาะตัวเฟืองที่มีแกนทั้งสองข้างยื่นต่อกับอะลูมิเนียมฉากที่ใช้ในการยึดตัวขับเคลื่อนกล้อง

รูปที่ 1.4 แสดงการกระจายชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์รวมถึงภาพจำลองตัวขับเคลื่อน โดยตัวขับเคลื่อนตัวนี้จะถูกต่อเข้ากับเกลียวตัวหนอนเพื่อใช้ขับเฟืองในส่วนที่กล่าวมาข้างต้น

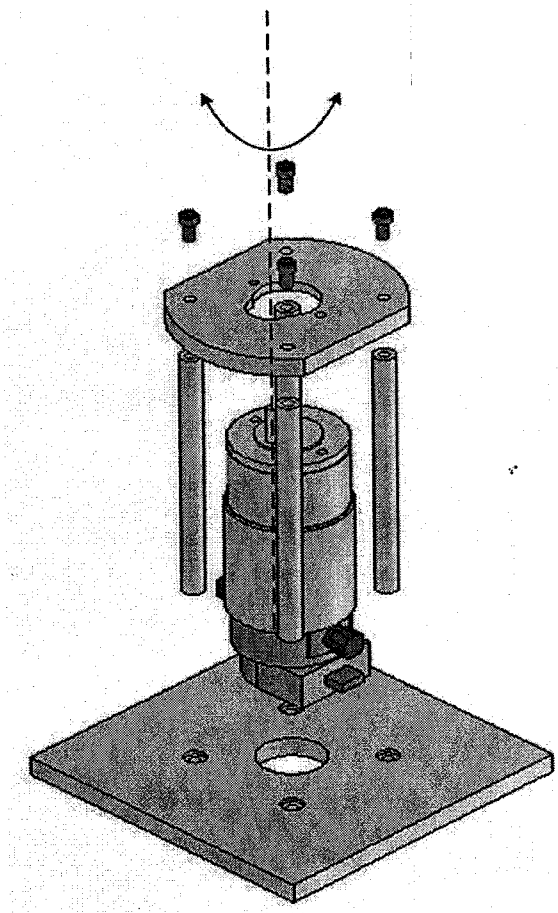
รูปที่ 1.5 แสดงการกระจายชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์รวมถึงภาพจำลองตัวขับเคลื่อนในบริเวณฐานของหัวหุ่นยนต์ ในส่วนฐานนี้ตัวขับเคลื่อนทำหน้าที่หันซ้าย-ขวา และที่ปลายของตัวขับเคลื่อนจะเป็นจุดเชื่อมต่อกับบริเวณส่วนด้านบนดังที่กล่าวมา ซึ่งส่วนนี้เองที่มีการรับน้ำหนักมากที่สุด



รูปที่ 1.3 การกระจายชิ้นส่วนของภาพจำลองหัวหุ่นยนต์



รูปที่ 1.4 รูปการกระจายชิ้นส่วนของภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ (ต่อ)



รูปที่ 1.5 รูปการกระจายชิ้นส่วนของภาพจำลองหัวหุ่นยนต์ (ต่อ)

บทที่ 2
การสร้างหัวหุ่นยนต์

การเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างชิ้นส่วนหัวหุ่นยนต์ต้นแบบนั้น จะเลือกใช้แบบที่หาซื้อได้ง่ายหรือออกแบบทำขึ้นได้ง่าย เช่นชิ้นส่วนต่างๆ ที่นำมาประกอบส่วนใหญ่เป็นแผ่นอะลูมิเนียมที่หาซื้อได้ง่ายและขึ้นรูปได้ง่ายกว่าเหล็ก เป็นต้น

1. แผ่นอะลูมิเนียม

วัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของหัวหุ่นยนต์เกือบทั้งหมดจะเลือกใช้อะลูมิเนียมที่มีขนาดตามแบบที่ออกแบบมา ซึ่งมีอยู่เพียงขนาดเดียวคือแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความหนา 0.6 มิลลิเมตร แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้เป็นส่วนประกอบนี้มีข้อดีหลายๆ อย่าง เช่น แข็งแรง น้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีความยืดหยุ่นดี เจาะรู ทำเกลียว ขึ้นรูปได้ง่าย และราคาไม่สูงมากนัก เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังที่กล่าวมานี้เป็นข้อดีสำหรับการนำมาประกอบเป็นหัวหุ่นยนต์เป็นอย่างมาก

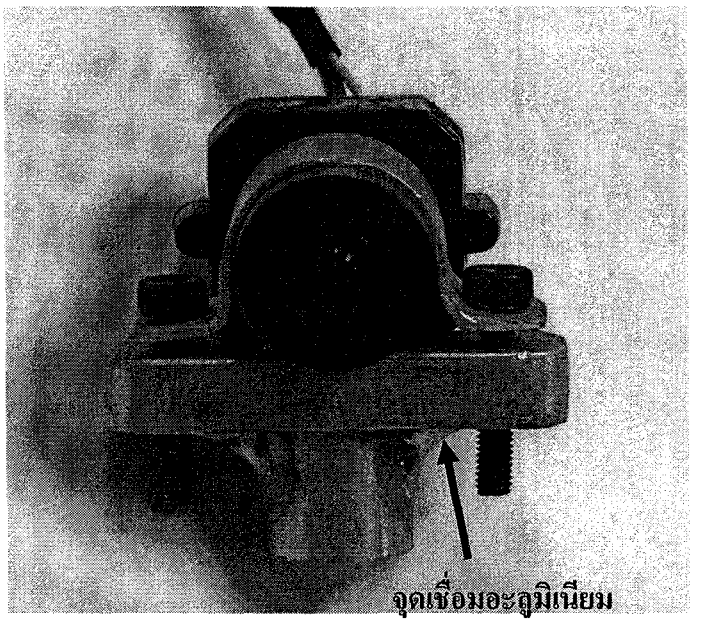
2. การขึ้นรูปและการประกอบชิ้นงาน

การขึ้นรูปแผ่นอะลูมิเนียมนั้นเริ่มจากการตัดแผ่นอะลูมิเนียมให้มีขนาดใหญ่กว่าในแบบเล็กน้อย จากนั้นนำไปกัดทีละด้านเพื่อให้ได้แผ่นอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมตามแบบโดยที่ทั้งสี่ด้านทำมุมตั้งฉากกันพอดี ซึ่งแผ่นอะลูมิเนียมสี่เหลี่ยมที่ได้นี้จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ว่าโครงร่างของชิ้นส่วนนั้นๆ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปสี่เหลี่ยมชนิดใด จากนั้นนำชิ้นส่วนอะลูมิเนียมสี่เหลี่ยมที่ได้ไปกลึงหรือตัดเพื่อให้ได้รูปทรงตามออกแบบไว้ จากนั้นนำชิ้นส่วนที่ได้ไปเจาะรูและทำเกลียวตามลำดับ ส่วนที่เป็นตัวยึดกล้องกับตัวขับเคลื่อนนั้นจำเป็นต้องเชื่อมอะลูมิเนียมเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.1 การเชื่อมต้องใช้เครื่องเชื่อมชนิดพิเศษ เนื่องจากอะลูมิเนียมหลอมเหลวได้เร็วกว่าเหล็ก ดังนั้นจะไม่สามารถใช้เครื่องเชื่อมเหล็กได้ ในโครงสร้างหัวหุ่นยนต์จะมีชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กอยู่ 1 ชิ้นคือจุดหมุนบริเวณคอดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจุดหมุนบริเวณนี้รับน้ำหนักมากกว่าจุดอื่น จึงทำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงกว่าอะลูมิเนียม

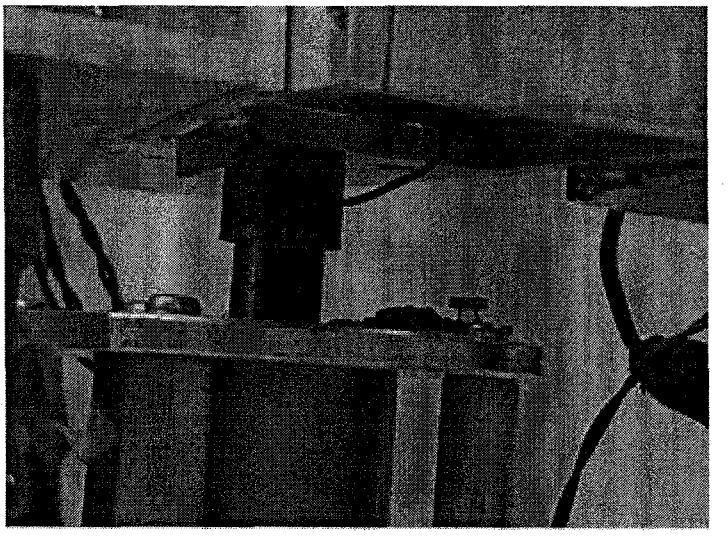
ในการยึดชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันนอกจากการใช้เชื่อมแล้วจะใช้น็อต (screw) ในการยึดไม่ว่าจะเป็นระหว่างอะลูมิเนียมกับอะลูมิเนียมหรือระหว่างอะลูมิเนียมกับมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง โดยเพื่อความสะดวกนั้นจะใช้ขนาดเกลียวเดียวกันทั้งหมดคือขนาด M3 x 0.5 มิลลิเมตร

หัวหุ่นยนต์ต้นแบบนี้มีมุมอิสระทั้งหมด 4 มุม โดยมี 3 มุมอิสระที่ต่อตรงกับการหมุนของมอเตอร์มุมเหล่านี้ไม่มีอัตราการทด ดังนั้นเมื่อมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงหมุน แกนก็หมุนตามด้วยอัตราเท่ากันกล่าวคือเมื่อมอเตอร์เซอร์โวกระแสหมุน 10 องศา แกนก็จะหมุนไป 10 องศาด้วย แต่มี

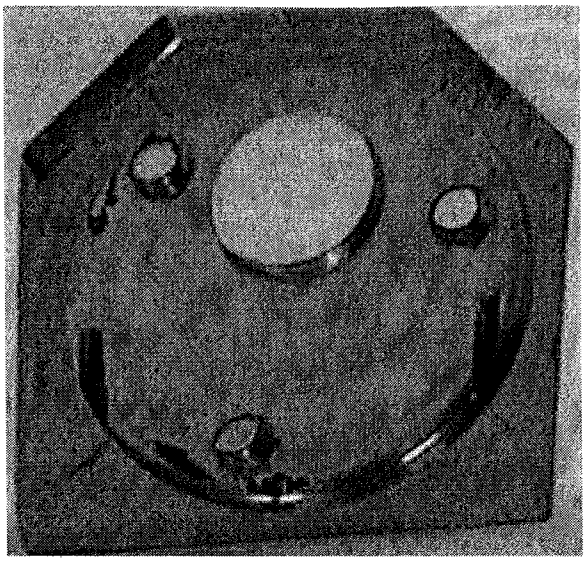
อีก 1 มุมอิสระคือมุมอิสระที่ใช้เงยจะใช้ชุดเฟืองและเกลียวตัวหนอนเป็นตัวทำให้หมุน ซึ่งชุดขับเฟืองและเกลียวตัวหนอนนี้หาได้ทั่วไปหรือสามารถคำนวณและสร้างโดยการกัดจากช่างที่ชำนาญงาน



รูปที่ 2.1 การยึดกล้องและจุดเชื่อมอะลูมิเนียม

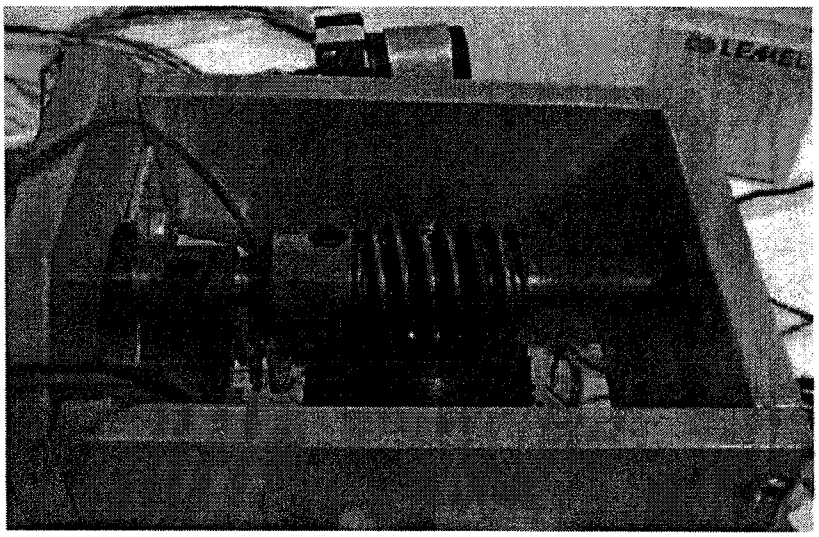


รูปที่ 2.2 จุดหมุนบริเวณคอ

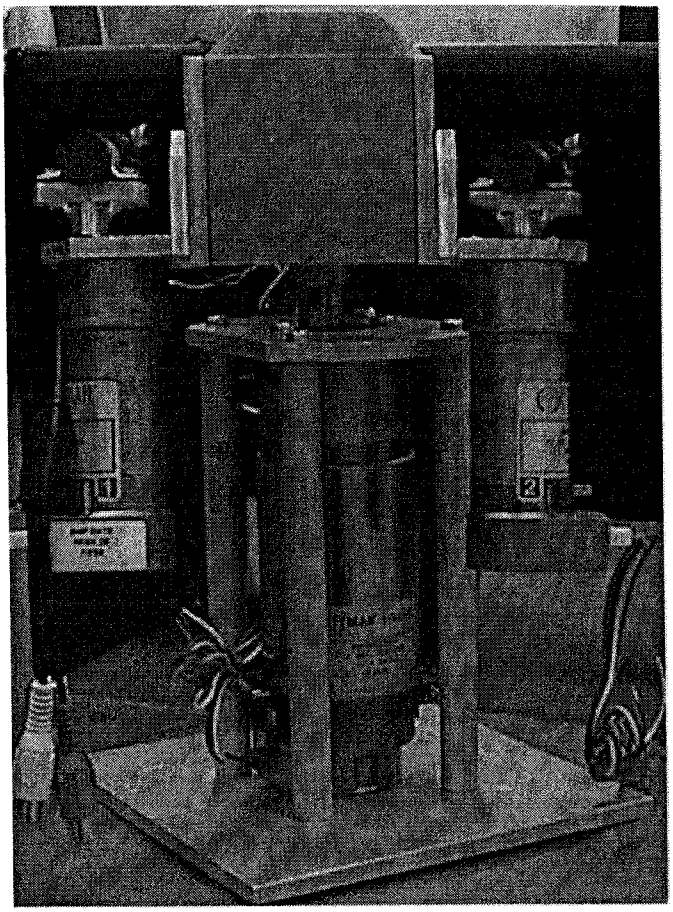


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูป

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจากการ กัด เจาะและกลึงอะลูมิเนียม รูปที่ 2.4 แสดงการประกอบชิ้นส่วนของชุดเฟืองและเกลียวตัวหนอน เฟืองและเกลียวตัวหนอนนี้จะมีการขบกันอยู่ โดยที่ตามปกติแล้วจะมีส่วนของช่องว่างระหว่างเฟืองและเกลียวตัวหนอน ซึ่งช่องว่างดังกล่าวถ้ามีมากเกินไปจะส่งผลต่อการควบคุม กล่าวคือความแม่นยำในการควบคุมจะน้อยลงในระหว่างการก้มหรือการเงย



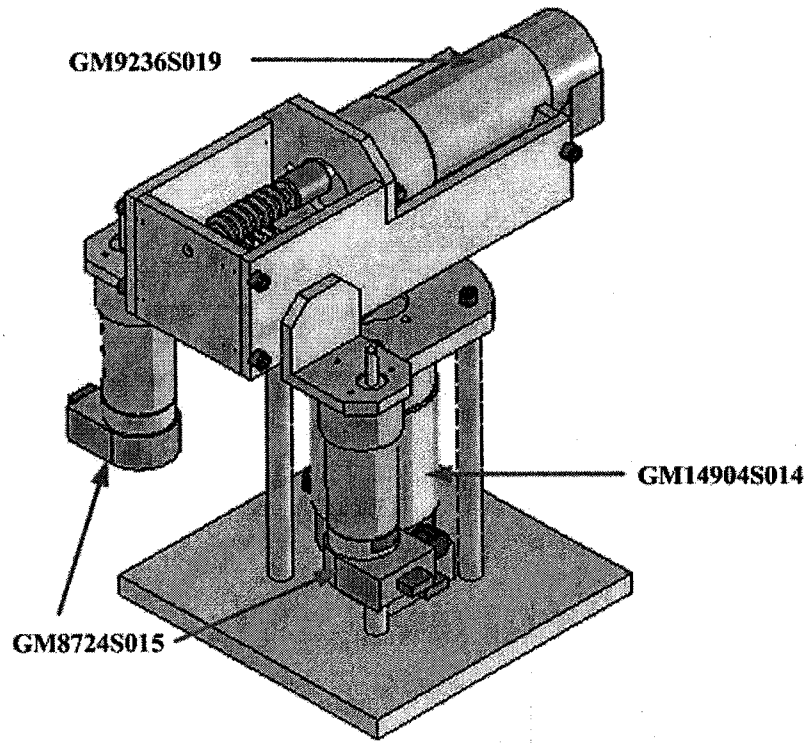
รูปที่ 2.4 ชุดเฟืองและเกลียวตัวหนอน



รูปที่ 2.5 หัวหุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

3. มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง

มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนหัวหุ่นยนต์นั้นมีทั้งหมด 4 ตัวด้วยกัน โดยมีขนาดที่แตกต่างกันไปเพราะในแต่ละมุมอิสระนั้นให้แรงขับเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงแต่ละตัวจะมีชุดเฟืองขับ (gear box) ประกอบอยู่ด้วยเพื่อเพิ่มแรงบิด อีกทั้งยังมีตัวเข้ารหัส (encoder) เพื่อบอกตำแหน่งสำหรับมอเตอร์สำหรับใช้ในการควบคุม โดยตัวขับเคลื่อนทั้งหมดมี 4 ตัว 3 รุ่น โดยมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนกล้อง (ดวงตา)ใช้ ยี่ห้อ PITTMAN รุ่น GM8724S015 2 ตัว มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงที่ใช้ในการก้มและเงยใช้ ยี่ห้อ PITTMAN รุ่น GM9236S019 1ตัว และมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงที่ใช้ในการหันซ้ายและขวาใช้ยี่ห้อ PITTMAN รุ่น GM14904S014 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงรุ่นต่างๆ ที่ติดตั้งบนหัวหุ่นยนต์ PTV

4. ปัญหาหลังจากการประกอบชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์

หลังจากการประกอบหัวหุ่นยนต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแบบที่ได้ออกแบบไว้พบว่า มีความคาดเคลื่อนค่อนข้างมากอันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น

1. ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากอุปกรณ์การวัด
2. ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือซึ่งมีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นส่วน
3. ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมากจากการใช้สายตาเล็งของผู้ควบคุมเครื่องมือต่างๆ
4. ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการเชื่อมวัสดุที่ไม่ได้แนวระนาบ

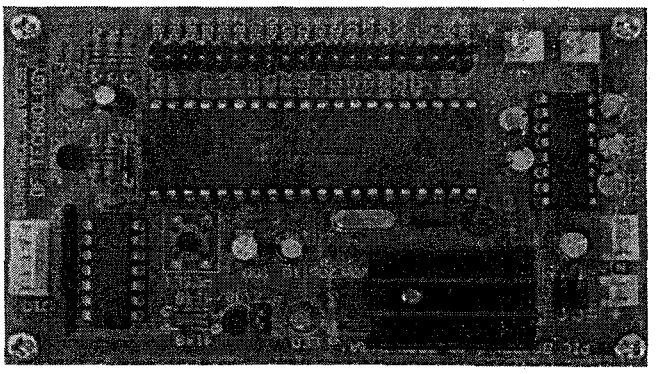
ดังนั้นระยะต่างๆ หลังจากการประกอบเสร็จอาจผิดพลาด ข้อต่อหรือจุดหมุนต่างๆ มีระยะห่าง (clearance) ทำให้เวลาหมุนข้อต่อวิถีการหมุนไม่ได้แนวระนาบตั้งฉาก ชุดเฟืองและเกลียวตัวหนอนขบกันไม่พอดี รวมถึงในชุดเฟืองของตัวขับเคลื่อนเองก็มีระยะห่างระหว่างเฟืองต่อเฟือง เป็นต้น ความผิดพลาดรวมดังกล่าวข้างต้นเป็นผลให้ในการหาแบบจำลองของหัวหุ่นยนต์จะมีความผิดพลาดในแบบจำลองที่ได้ค่อนข้างมาก

บทที่ 3
การออกแบบสร้างระบบควบคุมหัวหุ่นยนต์

ในการควบคุมหัวหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่นั้นสามารถทำได้โดยควบคุมการหมุนของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงให้เคลื่อนที่ ซึ่งการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจะแยกอิสระจากกัน กล่าวคือมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง 1 ตัวจะใช้ชุดควบคุม 1 ชุด โดยที่ชุดควบคุมจะประกอบไปด้วยชุดประมวลผลและชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งในชุดประมวลผลนั้นจะบรรจุโปรแกรมซึ่งสามารถเขียนสั่งงานได้อย่างอิสระเพื่อเพิ่มความสามารถในการควบคุมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ชุดประมวลผลจะรับตำแหน่งของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงมาจากวงจรถอดรหัส โดยที่วงจรถอดรหัสนี้จะรับข้อมูลตำแหน่งการหมุนจากตัวเข้ารหัสของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง จากนั้นชุดประมวลผลจะทำการประมวลผลเพื่อสั่งให้ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไปสั่งงานตัวขับเคลื่อนต่อไป

1. ชุดประมวลผล

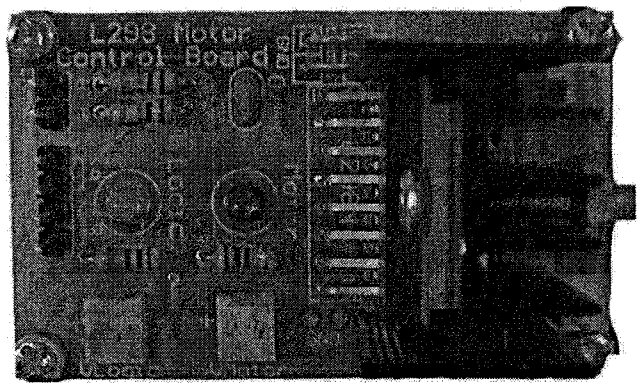
ชุดประมวลผลที่ใช้นี้จะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ คือตัวประมวลผลซึ่งใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัท Microchip ซึ่งรหัสของไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้เป็นไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ PIC18F458 ซึ่งเป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพในการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงเป็นอย่างมาก เนื่องจากไมโครคอนโทรเลอร์ดังกล่าวมีความสามารถในการผลิตสัญญาณ Pulse Width Modulation (หรือ PWM) เพื่อใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงได้ อีกทั้งยังมีความเร็วในการคำนวณทางคณิตศาสตร์สูง การทำงานของชุดประมวลผลนั้นจะขึ้นอยู่กับชุดคำสั่งที่ถูกบรรจุอยู่ในตัวไมโครคอนโทรเลอร์ และด้วยคุณสมบัติดังที่กล่าวมารวมถึงคุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งคือสามารถเขียนทับโปรแกรมเดิมได้ถึง 1,000 ครั้งทำให้การพัฒนามีความยืดหยุ่นและอ่อนตัวมากยิ่งขึ้น รูปที่ 3.1 แสดงชุดประมวลผลที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.1 ชุดประมวลผล

2. ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง

ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์นั้นจะใช้วงจรรวม (integrated circuit หรือ IC) เบอร์ L298N โดยมีคุณสมบัติเด่นคือสามารถขับกระแสสูงสุดได้ถึง 2 แอมแปร์ต่อช่อง ซึ่งตัววงจรรวมเองมีช่องการทำงาน 2 ช่อง ดังนั้นสามารถขับมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงได้ถึง 2 ตัวในชุดขับเคลื่อน 1 ชุด นอกจากจะขับกระแสได้สูงแล้วชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงชุดนี้สามารถสั่งงานได้ง่ายด้วย กล่าวคือสามารถควบคุมทิศทางการหมุน การหยุด และการหยุดแบบกระทันหันด้วยสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น อีกทั้งยังสามารถควบคุมความเร็วด้วยสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว ทำให้ลดความยุ่งยากในการเชื่อมต่อวงจรเป็นอย่างมาก ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจะรับสัญญาณอินพุตจากชุดประมวลผลทั้งสัญญาณทิศทางและสัญญาณความเร็ว ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.2



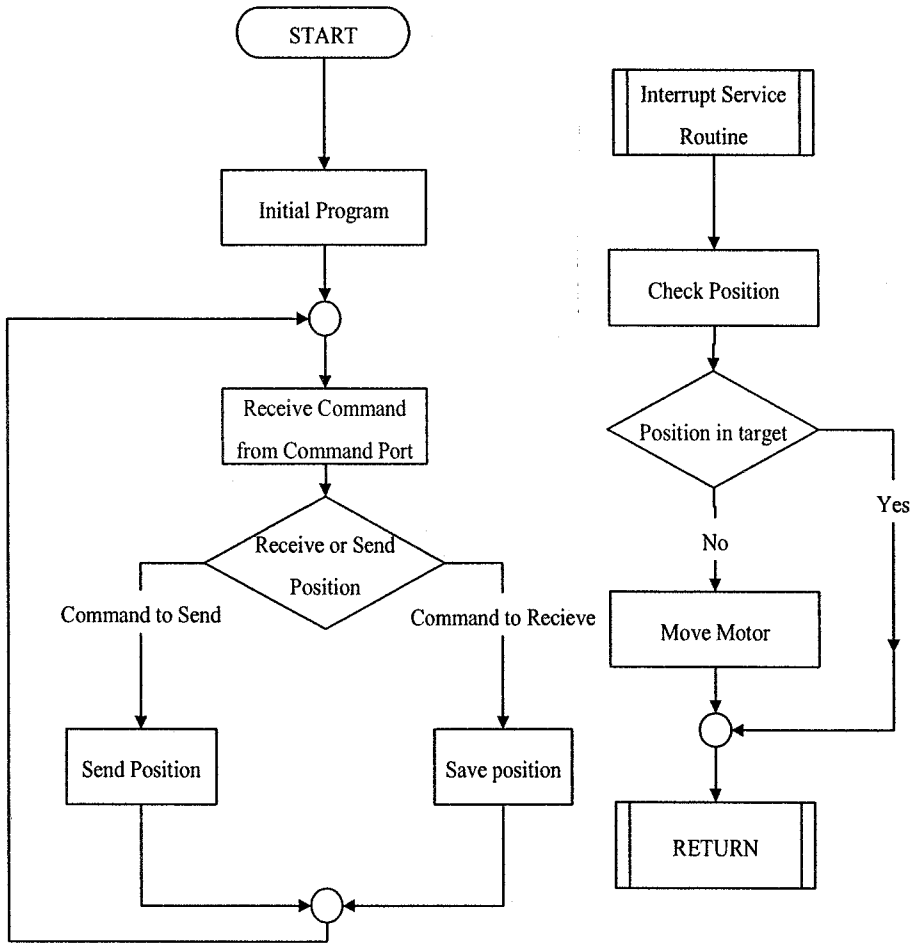
รูปที่ 3.2 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์

3. การควบคุมหัวหุ่นยนต์จากชุดประมวลผล

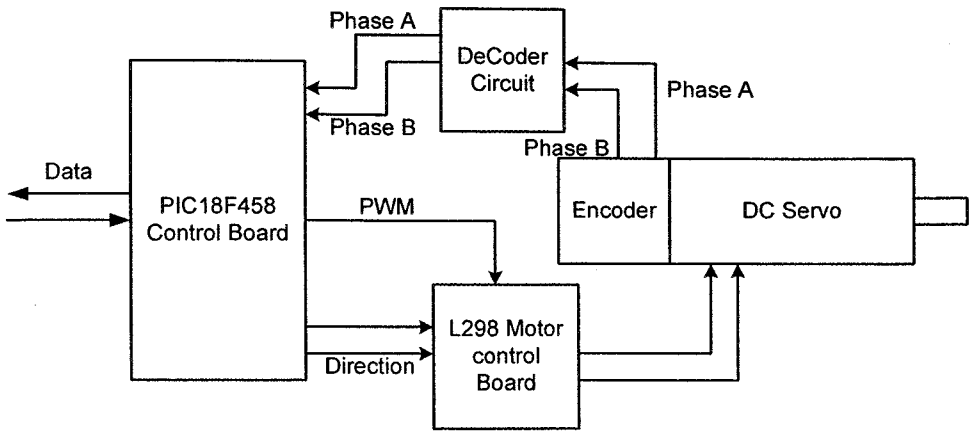
การควบคุมหัวหุ่นยนต์จากชุดประมวลผลนั้นจะถูกควบคุมโดยโปรแกรมที่บรรจุอยู่ในตัวไมโครคอนโทรเลอร์ โดยชุดประมวลผลจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยการพัฒนาตัวโปรแกรมนั้นสามารถพัฒนาได้บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป การพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลนั้นยังสามารถพัฒนาได้หลากหลายภาษาทั้งภาษาระดับสูง ภาษาระดับกลาง และภาษาระดับต่ำ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกทำการพัฒนาด้วยภาษาระดับกลางคือภาษา C ซึ่งเป็นชุดพัฒนาเป็นของบริษัทผู้ผลิตไมโครคอนโทรเลอร์เอง เพราะช่วยลดความซับซ้อนของตัวโปรแกรมได้ดีกว่าการใช้ภาษาระดับต่ำ

การทำงานของโปรแกรมนั้นจะแยกเป็นสองตัวคือส่วนหลัก (main) และส่วนรูทีนแบบบริการขอขัดจังหวะ (Interrupt Service Routine หรือ ISR) โดยที่ส่วนหลักของโปรแกรมจะทำ

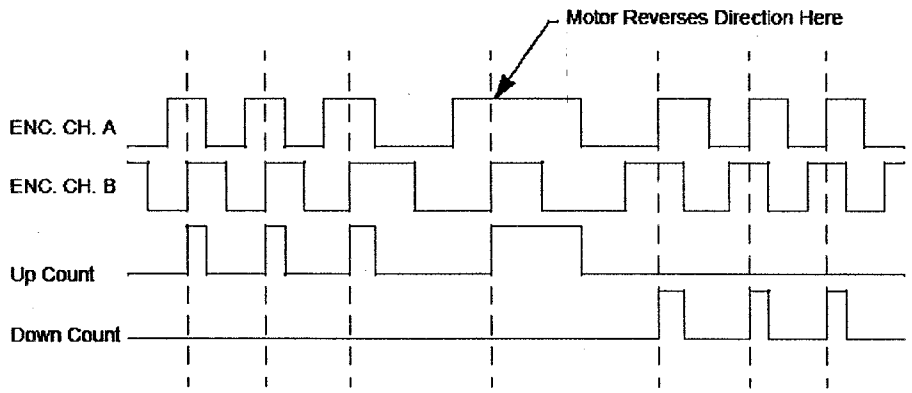
หน้าที่รับตำแหน่งตัวขับเคลื่อนผ่านอินพุตของบอร์ดและส่งตำแหน่งตัวขับเคลื่อนผ่านเอาต์พุต โดยข้อมูลตำแหน่งที่รับและส่งนั้นจะมาจากคอมพิวเตอร์ และในส่วนที่เป็น ISR นั้นจะทำการอ่านตำแหน่งจากมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้รับมาเพื่อควบคุมให้ตำแหน่งมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงมีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ได้รับมามากที่สุดอยู่ตลอดเวลา การควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงนั้นจะทำการส่งความเร็วและทิศทางไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ผังงาน (flowchart) การควบคุมแสดงในรูปที่ 3.3 และมีแผนภาพระบบการควบคุมแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ผังงานการทำงานของโปรแกรมส่วนหลักและส่วน ISR



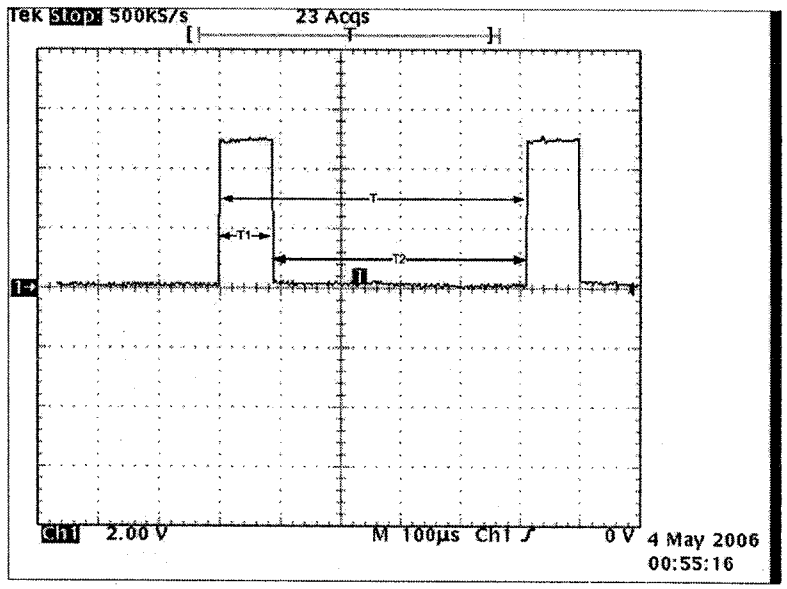
รูปที่ 3.4 ระบบการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง



รูปที่ 3.5 รูปคลื่นการถอดรหัสจากมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง

จากรูปที่ 3.5 เป็นรูปของลูกคลื่นที่ออกมาจากมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงสองช่อง คือช่อง A และช่อง B ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกล่าวคือเฟสของช่อง A และเฟสของช่อง B เป็นตัวบ่งบอกถึงทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์เซอร์โวกระตรง โดยที่ถ้าเฟสของช่อง A นำหน้าเฟสชองช่อง B มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจะหมุนตามเข็มนาฬิกา ในทางกลับกันถ้าเฟสของช่อง B นำหน้าเฟสชองช่อง A มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อลูกคลื่นที่ออกมาจากมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงสองช่องผ่านวงจรถอดรหัสแล้ว เมื่อส่งเข้าชุดประมวลผลจะทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น กล่าวคือชุดประมวลผลจะได้รับสัญญาณการหมุนของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงเพียงช่องสัญญาณเดียวเท่านั้นคือช่อง A หรือช่อง B

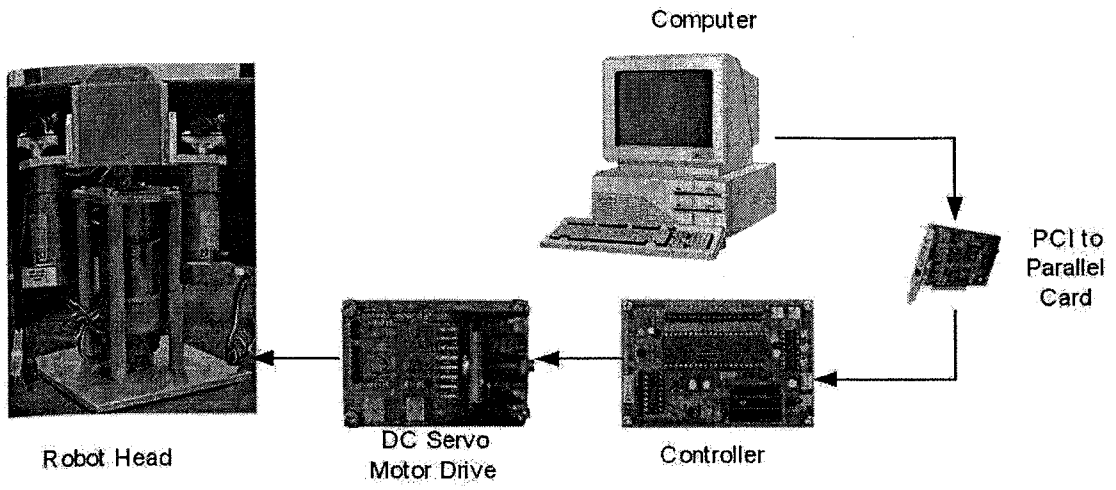
จากรูปที่ 3.6 เป็นรูปแสดงเวลาการทำงานของตัวโปรแกรมของชุดควบคุม โดยช่วงเวลา T เป็นช่วงเวลาทั้งหมดของวงรอบการทำงาน ช่วงเวลา T1 เป็นช่วงเวลาสำหรับในส่วนของ ISR และช่วงเวลา T2 เป็นช่วงเวลาส่วนการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก การออกแบบช่วงเวลาการทำงานนี้มีสำคัญมากเพราะถ้าช่วงเวลาในการทำงานไม่เหมาะสมกันจะทำให้โปรแกรมในชุดควบคุมทำงานผิดพลาดได้ เช่นถ้าออกแบบช่วงเวลา T2 ให้มากกว่า T จะทำให้เกิดการขัดจังหวะ ซ้อนทับขึ้น โปรแกรมก็จะทำงานผิดพลาด ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องรู้ช่วงเวลาการทำงานในส่วนของ ISR เป็นต้น ดังนั้นจากแผนภาพช่วงเวลาการทำงานของชุดประมวลผล ช่วงเวลา T1 คือช่วงเวลาที่ชุดประมวลผลทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงส่วนช่วงเวลา T2 คือช่วงเวลาที่ชุดประมวลผลทำการรับหรือส่งข้อมูล



รูปที่ 3.6 ช่วงเวลาการทำงานของชุดประมวลผล

4. การรับส่งข้อมูลของชุดประมวลผล

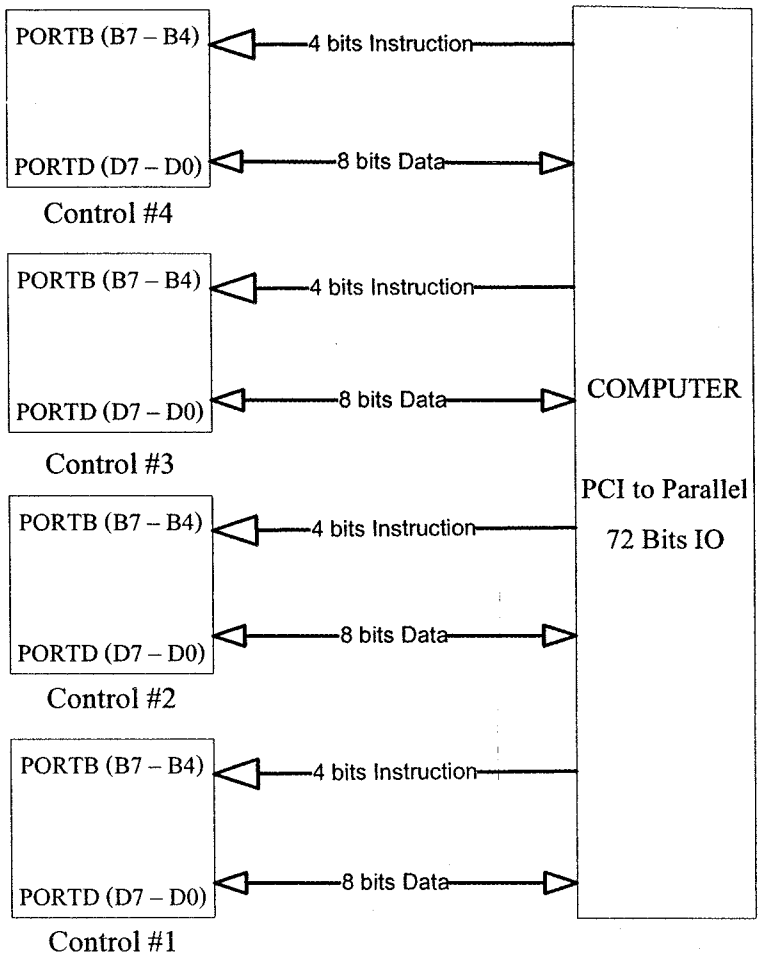
นอกเหนือไปจากการควบคุมหัวหุ่นยนต์แล้ว อีกประเด็นที่สำคัญในการออกแบบการควบคุมก็คือข้อมูลต่างๆ ที่รับส่งระหว่างชุดประมวลผลกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพราะข้อมูลดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมหัวหุ่นยนต์ นั่นก็คือข้อมูลตำแหน่งของตัวขับเคลื่อนนั่นเอง ดังนั้นถ้าการส่งข้อมูลผิดพลาดจะทำให้การเคลื่อนที่ของหัวหุ่นยนต์ผิดพลาดไปด้วย ผังงานการควบคุมหัวหุ่นยนต์แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังงานระบบการควบคุมหัวหุ่นยนต์

เมื่อพิจารณาการรับส่งข้อมูลตำแหน่งของตัวขับเคลื่อนกับคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงทั้งหมด 4 ตัวนั้น จำเป็นต้องใช้ชุดควบคุม 4 ชุดเช่นกัน โดยแต่ละชุดควบคุมสามารถสั่งงานมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงเคลื่อนที่ด้วยความละเอียดสูงถึง 64 บิตของตำแหน่งการหมุน กล่าวคือ เมื่อมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงหมุน 1 รอบ มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจะส่งลูกคลื่น (pulse) ซึ่งเป็นสัญญาณลักษณะสี่เหลี่ยมกลับมา 9,750 ลูกคลื่น ดังนั้นจะใช้ประโยชน์จากลูกคลื่นเหล่านี้มาควบคุมตำแหน่ง โดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสามารถอ่านและส่งจำนวนลูกคลื่นที่ต้องการให้มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงเคลื่อนที่

ดังนั้นการส่งข้อมูลในการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง 1 ตัวต้องใช้ข้อมูล 64 บิต เมื่อมีตัวขับเคลื่อน 4 ตัวจึงต้องรับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ถึง 256 บิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบขนาน ซึ่งการส่งข้อมูลแบบขนานทำให้การส่งข้อมูลรวดเร็วขึ้น และเพิ่มความสามารถในการควบคุมให้ทั้งแม่นยำและรวดเร็ว ในการส่งข้อมูลแบบขนานในงานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มการ์ดอินพุต/เอาต์พุตแบบพีซีไอ (Peripheral Component Interface หรือ PCI) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีจำนวนพอร์ตขนานความเร็วสูงถึง 72 อินพุต/เอาท์พุต โดยที่ชุดควบคุมใช้ทั้งหมด 12 บิตโดยที่ 8 บิตเป็นข้อมูลซึ่งใช้พอร์ต D (D7 – D0) และมีบิตควบคุม 4 บิตซึ่งใช้พอร์ต B (B7-B4) ดังนั้นเมื่อมีชุดควบคุมมี 4 ชุด จะต้องใช้จำนวนบิตทั้งหมด 48 บิต โดยที่คอมพิวเตอร์จะสั่งชุดประมวลผลทางบิตควบคุม การส่งข้อมูลระหว่างชุดประมวลผลและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแสดงในรูปที่ 3.8 โดยที่มีรายละเอียดการทำงานการรับส่งข้อมูลของชุดประมวลกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.8 การรับส่งข้อมูลตำแหน่งระหว่างชุดประมวลผลและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

ความถูกต้องในการรับส่งข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลายๆ ด้านด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของโปรแกรมที่อยู่ในชุดประมวลผลเองที่ต้องจัดลำดับการส่งข้อมูลให้เป็นไปตามขั้นตอน เพราะในส่วนของโปรแกรมในชุดประมวลผลนั้นไม่ได้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่หากยังทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงอีกด้วย ดังนั้นถ้าลำดับขั้นตอนเวลาไม่เหมาะสมระหว่างการรับส่งข้อมูลโปรแกรมอาจจะข้ามไปยังส่วน ISR ทำให้เกิดการสูญเสียของข้อมูลที่ส่งได้ อีกส่วนที่สำคัญคือ (รูปที่ 3.8) ตัวชุดประมวลผลจะทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านช่องสัญญาณพีซีไอ ซึ่งช่องสัญญาณพีซีไอนี้ในคอมพิวเตอร์จะมีหลายช่องสัญญาณด้วยกัน โดยช่องสัญญาณดังกล่าวจะถูกควบคุมผ่านทางไบออส (BIOS หรือ Basic Input/Output System) ของคอมพิวเตอร์อีกต่อหนึ่ง ซึ่งการทำงานของช่องสัญญาณพีซีไอนี้จะถูกกำหนดด้วยสายสัญญาณขอขัดจังหวะ (IRQ หรือ Interrupt Request Line) ดังนั้นในกรณีที่มีการทำงานพร้อมกันของช่องสัญญาณ PCI หลายช่อง อาจทำให้เกิดการสูญเสียของข้อมูลก็เป็นได้

ตารางที่ 3.1 การทำงานการรับส่งข้อมูลของชุดประมวลกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

บิตควบคุม(B7 - B4)	สถานะพอร์ต D	ความหมายของคำสั่ง
0000	OUTPUT	No operation
0001	OUTPUT	ชุดควบคุมส่งตำแหน่ง BYTE 0
0010	OUTPUT	ชุดควบคุมส่งตำแหน่ง BYTE 1
0011	OUTPUT	ชุดควบคุมส่งตำแหน่ง BYTE 2
0100	OUTPUT	ชุดควบคุมส่งตำแหน่ง BYTE 3
0101	OUTPUT	For future use
0110	OUTPUT	For future use
0111	OUTPUT	For future use
1000	INPUT	No operation
1001	INPUT	ชุดควบคุมรับตำแหน่ง BYTE 0
1010	INPUT	ชุดควบคุมรับตำแหน่ง BYTE 1
1011	INPUT	ชุดควบคุมรับตำแหน่ง BYTE 2
1100	INPUT	ชุดควบคุมรับตำแหน่ง BYTE 3
1101	INPUT	For future use
1110	INPUT	For future use
1111	INPUT	For future use

นอกจากปัญหาดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในส่วนของระบบปฏิบัติการ (Operating System) ของคอมพิวเตอร์ก็มีส่วนสำคัญ เนื่องจากในบางระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์อาจไม่สนใจไบออสตัวระบบปฏิบัติการเองจะมองข้ามการควบคุมของไบออส กล่าวคือตัวระบบปฏิบัติการจะทำการควบคุมช่องสัญญาณพีซีไอโดยตรง ซึ่งในบางกรณีผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดดังกล่าวได้ ทำให้เมื่อมีการการใช้ช่องสัญญาณพีซีไอพร้อมกันหลายช่องสัญญาณ ทำให้เกิดกันชนกันของข้อมูล เนื่องจากตัวระบบปฏิบัติการเองต้องทำหน้าที่ในการควบคุมหลายๆ โปรแกรมพร้อมกัน ทำให้ในส่วนของฮาร์ดแวร์อาจมีการเพิกเฉยของตัวระบบปฏิบัติการเองด้วย ดังนั้นเพื่อทำการรับส่งข้อมูลให้มีประสิทธิภาพเพียงพอในการจัดลำดับการรับส่งข้อมูลของชุดประมวลผลควรมีการออกแบบและตรวจสอบอย่างระมัดระวัง

บทที่ 4
การทดสอบประสิทธิภาพของหัวหุ่นยนต์ PTV

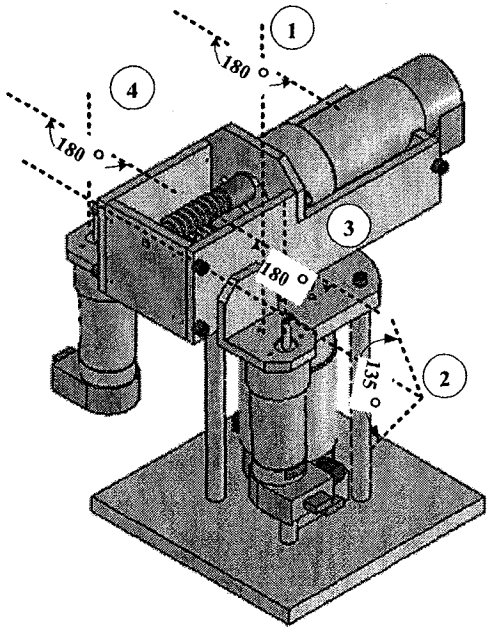
ในการทดสอบประสิทธิภาพของหัวหุ่นยนต์นั้น ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบอยู่ 2 แบบ คือประสิทธิภาพเชิงกายภาพและความถูกต้องแม่นยำตามแบบจำลอง ในการทดสอบแบบแรกนั้นเป็นการวัดประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ใช้งานของหัวหุ่นยนต์ที่ได้สร้างขึ้น ไม่ว่าจะเป็นทางด้านพิสัยการเคลื่อนที่ของข้อต่อจุดหมุนต่างๆ รวมไปถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของแต่ละจุดหมุนด้วย ส่วนการทดสอบแบบที่สองนั้นจะได้ทำการทดสอบว่าหัวหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นนั้น มีความถูกต้องแม่นยำในการทำงานเชิงพิกัดเป็นไปตามแบบจำลองที่ออกแบบไว้หรือไม่ รายละเอียดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพเชิงกายภาพ

เมื่อทำการทดสอบการเคลื่อนที่หัวหุ่นยนต์ PTV โดยชุดควบคุมหัวหุ่นยนต์ผ่านทางคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และได้ทำการเก็บข้อมูลผลการทดสอบต่างๆ ทั้งพิสัยการเคลื่อนที่ของมุมองศาอิสระต่างๆ รวมถึงพิสัยการหมุนของมุมอิสระดังกล่าว ทำให้ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของหัวหุ่นยนต์

	หันซ้าย-ขวา(PAN)	ก้ม-เงย(TILT)	เหลือบ(VERGE)	หน่วย
ความเร็วสูงสุด	23	30	15	เรเดียน/วินาที
พิสัย	0-180	0-135	0-180	องศา



รูปที่ 4.1 พิสัยการทำงานของหัวหุ่นยนต์ PTV

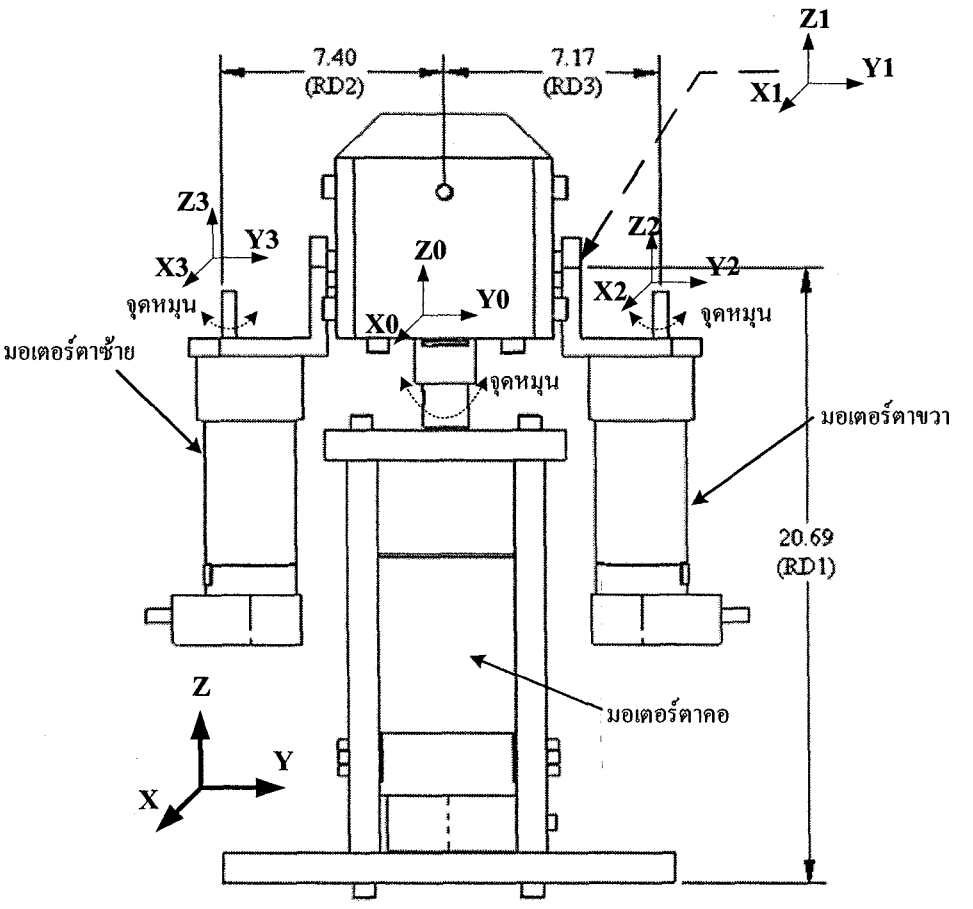
2. แบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหัวหุ่นยนต์ PTV

เมื่อกล่าวถึงทฤษฎีของแบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหัวหุ่นยนต์ที่นำมาทดสอบ โดยในการออกแบบโครงสร้างและการควบคุมหัวหุ่นยนต์นั้น จำเป็นจะต้องมีความเข้าใจในแบบจำลองพื้นฐานของหัวหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วย การกำหนดตำแหน่งส่วนประกอบของหัวหุ่นยนต์และการแปลงตำแหน่งในระนาบ 3 มิติ จลนศาสตร์ไปหน้า และจลนศาสตร์ผกผัน โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบจำลองของจลนศาสตร์ไปหน้าเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าการจะหาจลนศาสตร์ไปหน้าได้ ต้องมีความรู้ในเรื่องของการกำหนดตำแหน่งส่วนประกอบของหัวหุ่นยนต์และการแปลงตำแหน่งในระนาบ 3 มิติ และเราสามารถที่จะหาจลนศาสตร์ผกผันได้โดยง่ายจากจลนศาสตร์ไปหน้า

จลนศาสตร์ไปหน้า เป็นการคำนวณตำแหน่งพิกัดปลายของหัวหุ่นยนต์เมื่อกำหนดค่าตำแหน่งและการวางตัวของส่วนประกอบต่างๆมาให้ โดยปกติแล้วส่วนประกอบดังกล่าวจะประกอบไปด้วยชิ้นเชื่อมโยง (link) และข้อต่อ (joint) จลนศาสตร์เป็นการศึกษาถึงตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่งและปริมาณในอันดับสูงของตัวแปรตำแหน่ง ดังนั้นในการศึกษาจลนศาสตร์ของหัวหุ่นยนต์จึงเกี่ยวข้องกับเรขาคณิตและคุณสมบัติของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนหัวหุ่นยนต์ โดยในที่นี้จะประกอบไปด้วยการศึกษาถึงตำแหน่งและการวางตัวของหัวหุ่นยนต์ ในรูปตัวแปรของข้อต่อหัวหุ่นยนต์ โดยเทียบกับฐานบริเวณคอของหัวหุ่นยนต์ตามรูปที่ 4.1 ได้เป็นพารามิเตอร์ของชิ้นส่วนสำหรับหัวหุ่นยนต์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของชิ้นส่วนสำหรับหัวหุ่นยนต์

Joint i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	RD3	θ_1
2	$-\pi/2$	0	0	θ_2
3	$-\pi/2$	0	RD2	θ_3
4	$-\pi/2$	0	RD1	θ_4



รูปที่ 4.2 การกำหนดเฟรมให้กับหัวหุ่นยนต์ (หน่วย: เซนติเมตร)

รูปที่ 4.2 เป็นรูปของโครงสร้างและการกำหนดเฟรมของหัวหุ่นยนต์ที่นำมาทดสอบ ซึ่งมีองศาอิสระและข้อต่อทั้งหมดเป็นข้อต่อแบบหมุน (revolute link) ในกรณีนี้มีการกำหนดให้เฟรมทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน แต่ไม่ทับกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงการกำหนดพารามิเตอร์ของแขนกล โดย

คือมุมระหว่างแกน และ โดยวัดรอบแกน

คือระยะระหว่างแกน และ โดยวัดในทิศทางของแกน

คือระยะระหว่างแกน และ โดยวัดในทิศทางของแกน

คือมุมระหว่างแกน และ โดยวัดรอบแกน

หลังจากที่ทำการกำหนดพารามิเตอร์ของชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์แล้ว สามารถที่จะคำนวณหาการแปลงระหว่างเฟรม และนำการแปลงดังกล่าวไปรวมกันเพื่อหาเป็นการแปลงรวมหรือเป็นการแปลงระหว่างตำแหน่งปลายแขนกลเทียบกับตำแหน่งฐานได้โดยใช้สมการการแปลงที่เรียกว่า Transformation operator ในวิธีการของ Denavit-Hertenberg ดังสมการที่ 1

$$ {}^{i-1}_{i}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} d_i \\ \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1) $$

ดังนั้นจะทำการควบคุมเฟรมที่ 2 สามารถทำได้โดยการรวมกันโดยใช้รูปแบบการรวมกันของการแปลงหลายต่อ (compound transformation) ตามสมการ

$$ {}^{0}_{n}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T \ldots {}^{n-1}_{n}T \quad (3.2) $$

เมื่อการควบคุมหัวหุ่นยนต์ชี้อยู่ที่บริเวณตาทั้งสองข้างจะได้เฟรมการควบคุมดังนี้

$$ {}^{0}_{2}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T \quad (3.3) $$

และ

$$ {}^{0}_{3}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{3}T \quad (3.4) $$

เมื่อนำ ${}^{0}_{2}T$ และ ${}^{0}_{3}T$ ไปทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวหุ่นยนต์พบว่าหัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้คลาดเคลื่อนจากค่าที่คาดหวังเป็นอย่างเป็นเพราะระยะต่างๆ ที่วัดจากแบบนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากหัวหุ่นยนต์ที่ประกอบขึ้นจริงเป็นอย่างมาก

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในรายงานโครงการวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างหัวหุ่นยนต์ต้นแบบโดยมีองค์ประกอบของชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงการขึ้นรูป การประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกัน เมื่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้น มีค่าความผิดพลาดต่างไปจากแบบที่ออกแบบไว้ทำให้เมื่อประกอบกันเป็นหัวหุ่นยนต์ ลักษณะทางกายภาพของหัวหุ่นยนต์จึงเกิดความผิดพลาดตามไปด้วย ทำให้การหาแบบจำลองของหัวหุ่นยนต์เป็นไปได้ยากมากขึ้นหรือผิดเพี้ยนไปมาก ส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการควบคุมหัวหุ่นยนต์

ในส่วนของชุดควบคุมหัวหุ่นยนต์ที่ทำการควบคุมการหมุนของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงนั้นจะทำการับและส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ซึ่งในระหว่างการรับและส่งข้อมูลอาจเกิดการสูญเสียข้อมูลด้วยปัจจัยหลายๆ อย่างตามที่กล่าวมา ดังนั้นโดยรวมแล้วการจะควบคุมหัวหุ่นยนต์ในตัวควบคุมที่สามารถควบคุมหัวหุ่นยนต์ได้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวข้างต้นด้วยเพื่อที่จะสามารถควบคุมหัวหุ่นยนต์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

หัวหุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบสร้างนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการมองเห็นแบบไวงาน (active vision) การเคลื่อนที่ได้ของหัวหุ่นยนต์ที่มีกล้องติดอยู่เป็นการขยายขีดการทำงานหรือเป็นการเพิ่มพื้นที่ทำงาน (workspace) อย่างไรก็ดี ความผิดพลาดจากการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ ของหัวหุ่นยนต์ เป็นผลให้ความแม่นยำในการควบคุมลดน้อยลงไป แนวทางในการปรับปรุงการควบคุมสามารถใช้การควบคุมเพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น

1. วิชวลเซอร์โว (visual servo) ซึ่งเป็นการควบคุมโดยการป้อนกลับของภาพจากกล้องที่ติดอยู่บนหัวหุ่นยนต์ การควบคุมดังกล่าวเป็นการลดการใช้ข้อมูลภายในของกลไกหัวหุ่นยนต์ ทำให้ลดความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวหุ่นยนต์ได้
2. การควบคุมเชิงเรียนรู้ได้ (learning-based controller) โดยการใช้หลักการเรียนรู้ได้กับตัวควบคุม เช่นเครือข่ายประสาทเทียม ฯลฯ ที่ซึ่งสามารถเรียนรู้และชดเชยความผิดพลาดของกลไกหัวหุ่นยนต์ได้ (ดูรายละเอียดได้จากบทความ “Robot Head Control Using Dynamic Learning-Based Jacobian Estimation” และ “Dynamic Learning-Based Jacobian Estimation for Pan-Tilt-Verge Head Control” ซึ่งเป็นผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัยนี้ โดยอ้างอิงชื่อหัวหุ่นยนต์ว่า Twinetr ซึ่งแปลว่า 2 ตา)

อย่างไรก็ดี ด้วยประสิทธิภาพและเทคโนโลยีของฮาร์ดแวร์ที่เพิ่มขึ้น แนวทางการออกแบบหัวหุ่นยนต์ในปัจจุบันสามารถทำได้หลากหลายและมีศักยภาพเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้งานทางด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (computer vision) ก้าวหน้าไปได้เป็นอย่างดี

รายการอ้างอิง

Sharkey, P.M., Murray, D.W., Heuring, J.J., "**On the kinematics of robot heads**", Robotics and Automation, IEEE Transactions on Volume 13, Issue 3, June 1997

Cicero, T., "**Design of a stereo robot head: hardware and software issues**", WESCON/96 22-24 Oct. 1996

Lee, J., Galiana, H.L., "**A biologically inspired model of binocular control on a free head**", Engineering in Medicine and Biology Society, 2004.EMBC 2004. Conference Proceedings.26th Annual International Conference of the Volume 2, 1-5 Sept. 2004

Danese, G., Lombardi, R., Morizio, M., Revelli, C., "**PAVIA: a control system for active vision**",Computer Architectures for Machine Perception, 1995. Proceedings.CAMP '9518-20 Sept. 1995

Sung, E., "**Stereo head/face tracking and pose estimation**", Control, Automation, Robotics and Vision, 2002. ICARCV 2002. 7th International Conference

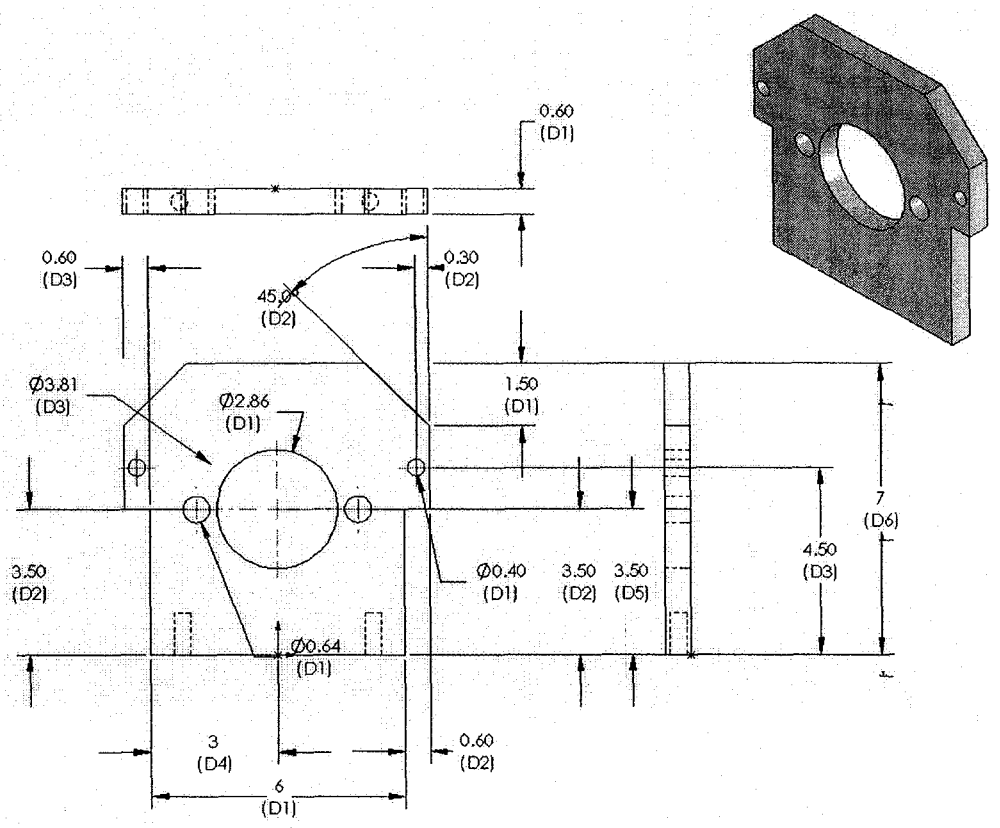
Neubert, J., Ferrier, N.J., "**Robust active stereo calibration**", Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on Volume 3, 11-15 May 2002

Wandell B.A., "**Foundation of Vision**", Sinauer Associates, Inc., 1995

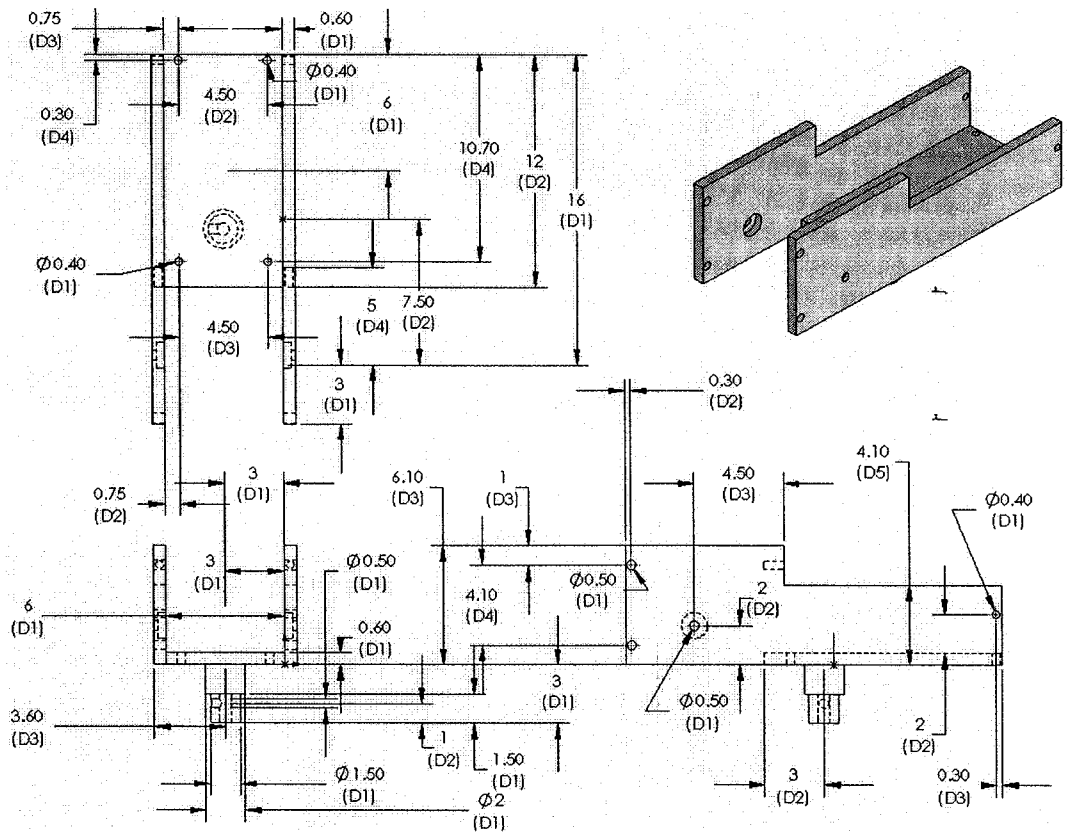
Mark M.A.P.,Bear F., Barry W., "**Neuroscience, Exploring the Brain**", Williams&WilKind,1996

Craig J.J., "**Introduction to ROBOTICS: mechanics and control**", Addison-Wesley Publishing company, 1989.

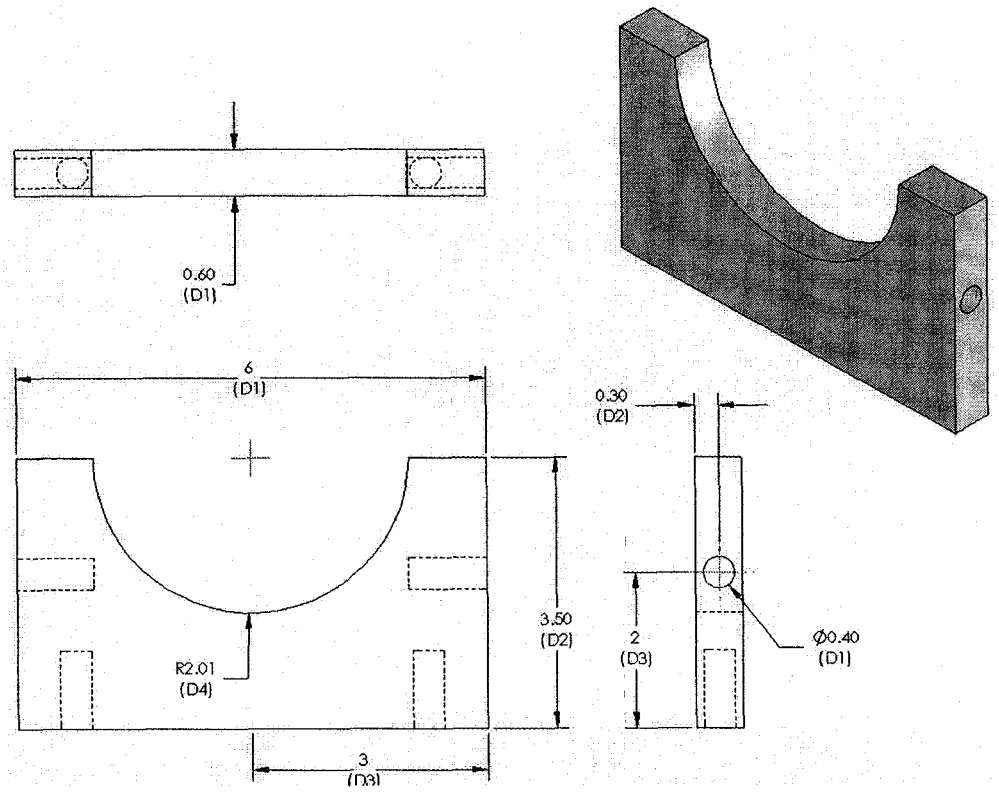
ภาคผนวก ก
แบบมิติชิ้นส่วนของหัวหุ่นยนต์



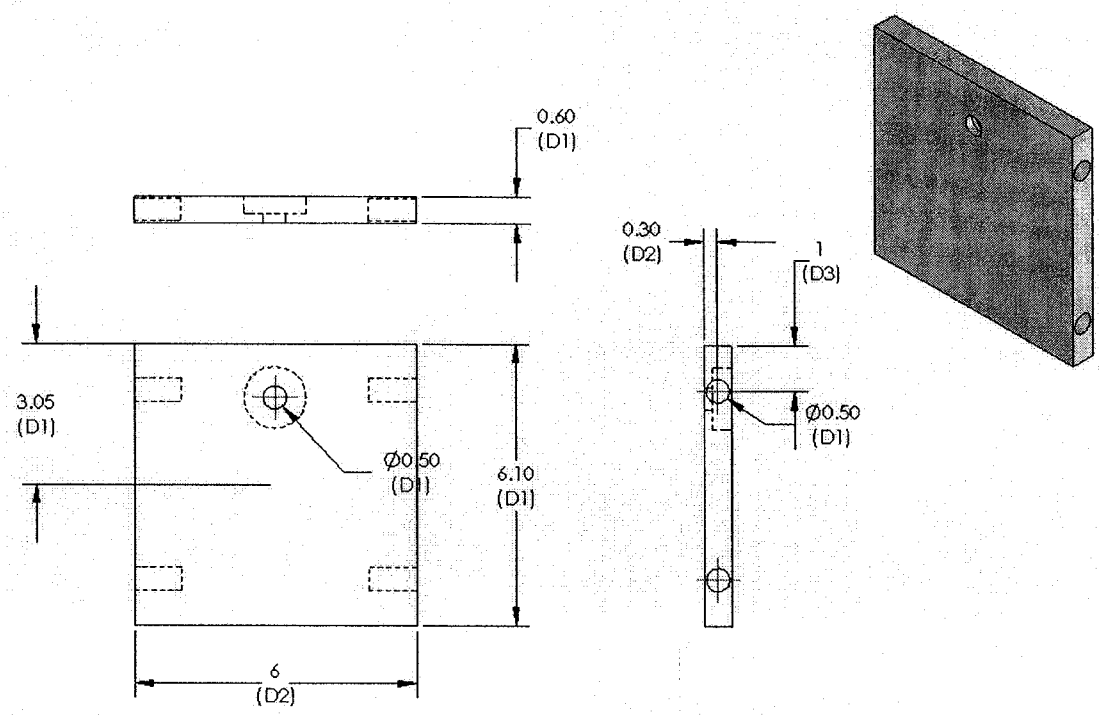
รูปที่ ก.1 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



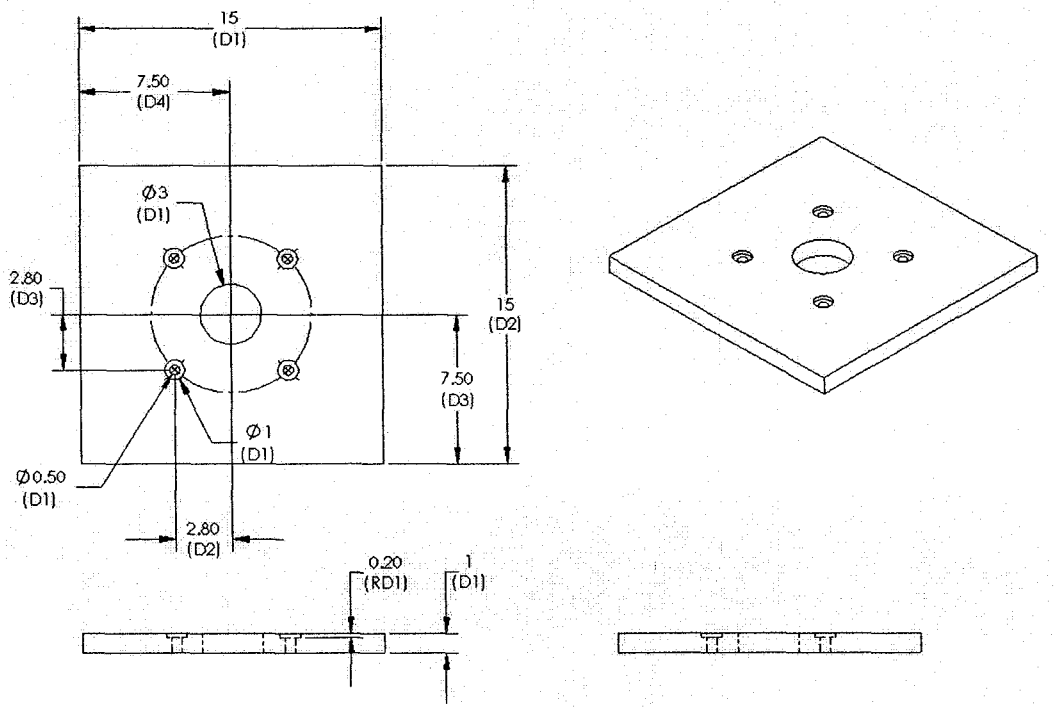
รูปที่ ก.2 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



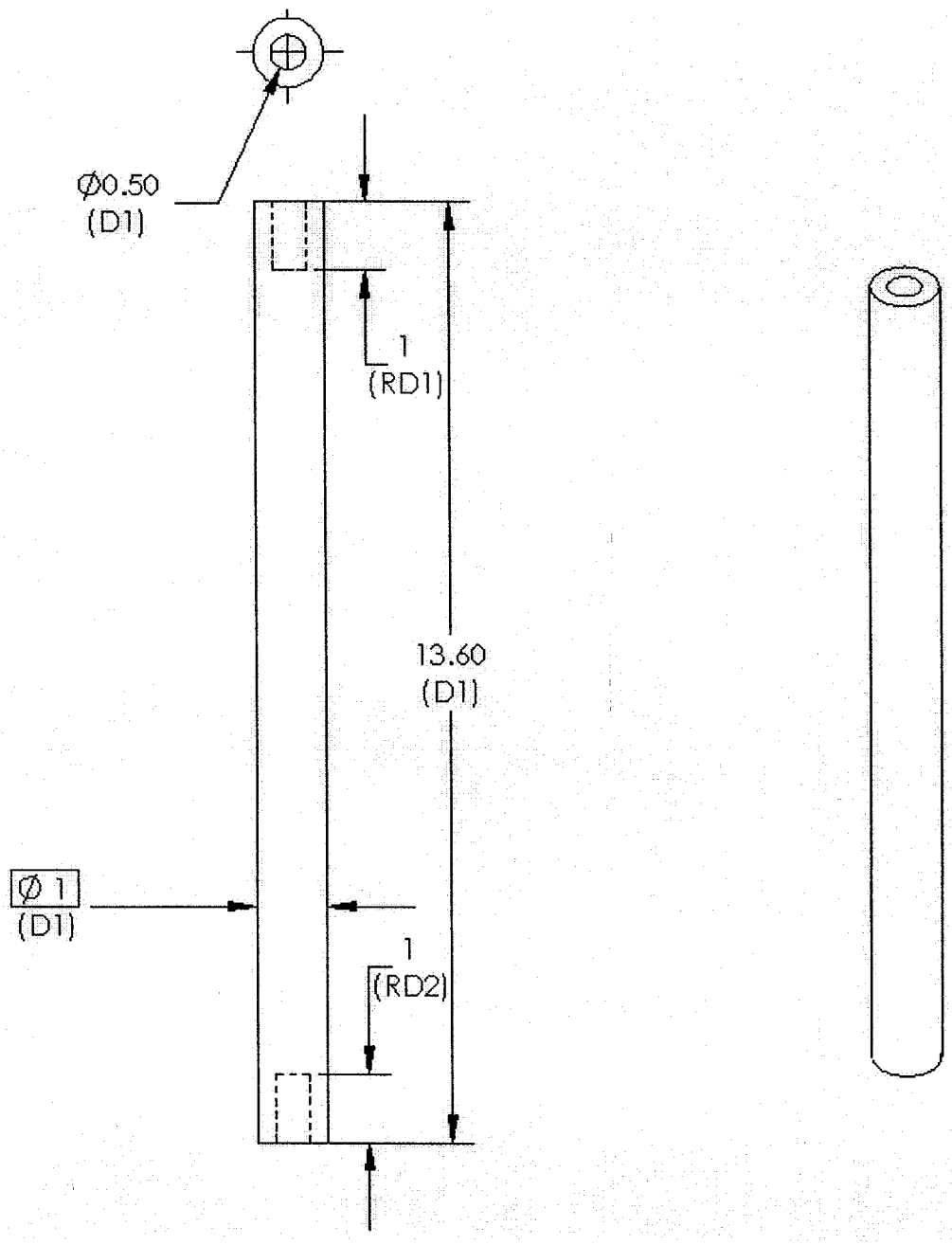
รูปที่ ก.3 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



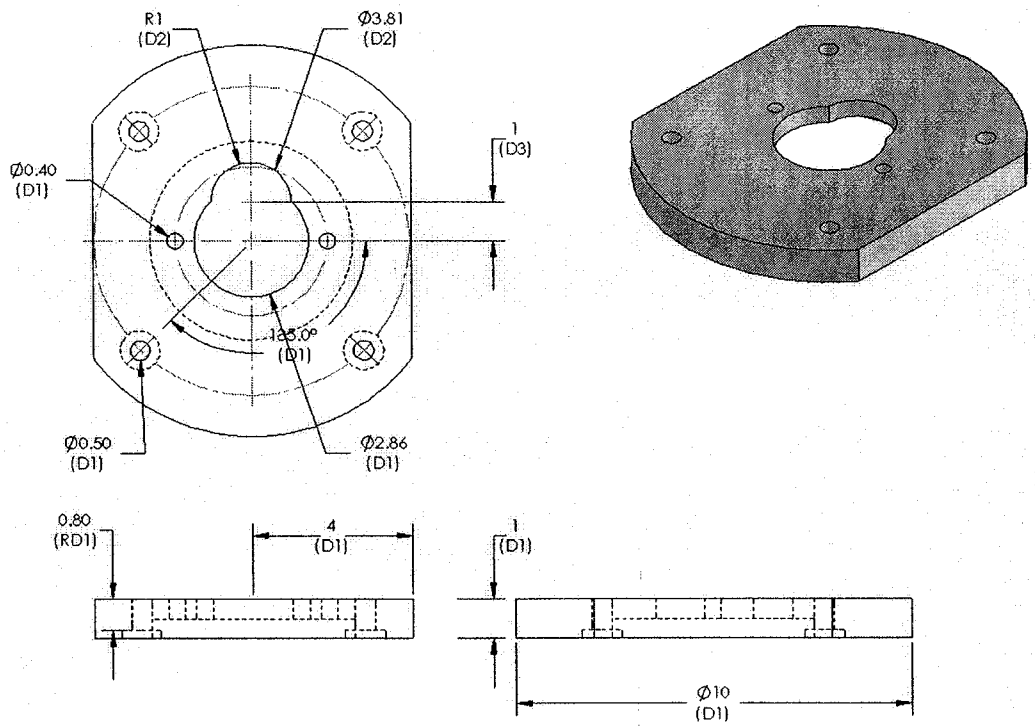
รูปที่ ก.4 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



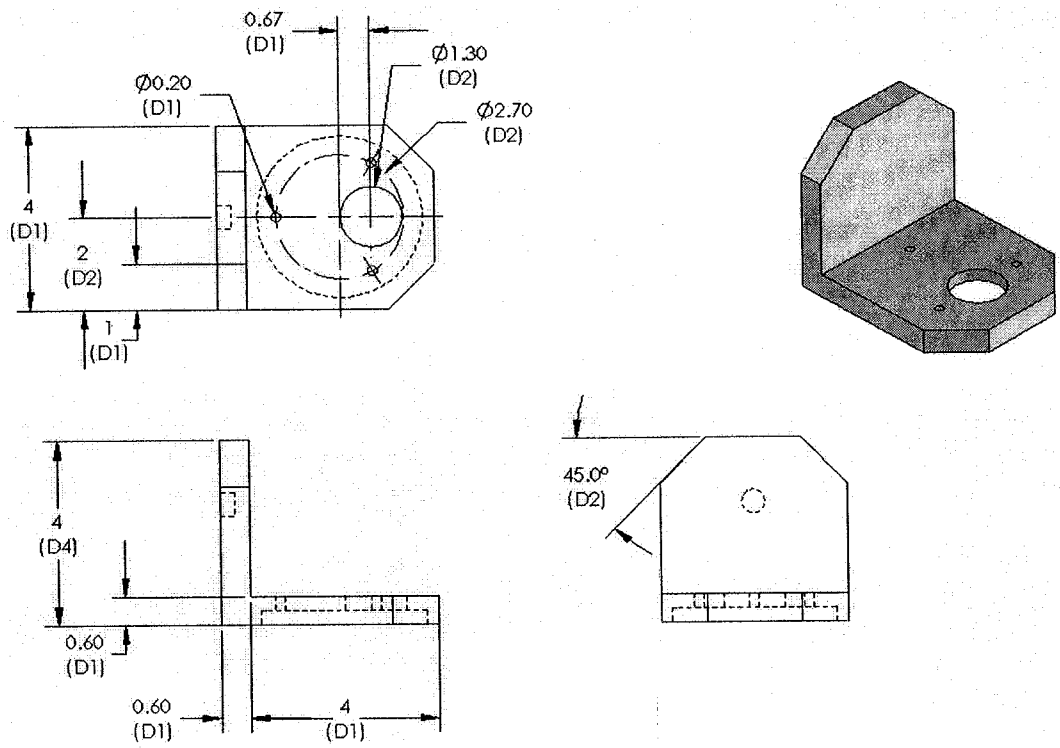
รูปที่ ก.5 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



รูปที่ ก.6 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



รูปที่ ก.7 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)



รูปที่ ก.8 มิติของชิ้นงาน (หน่วย:เซนติเมตร)

ภาคผนวก ข

รายชื่อผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

Journals

S. Sornsujitra and **A. Srikaew**, "Robot Head Control Using Dynamic Learning-Based Jacobian Estimation," *WSEAS Transaction on Systems*, Issue 5, Vol. 5, May (2006) 1066—1072

Conference

S. Sornsujitra and **A. Srikaew**, "Dynamic Learning-based Jacobian Estimation for Pan-Tilt-Verge Head Control," *Proceedings of the 8th WSEAS. Int. Conference on Automatic Control, Modeling and Simulation*, Prague, Czech Republic, March 12-14 (2006) 315—320

ประวัติผู้เขียน

ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2515 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อ พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับ ปริญญาโทและปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก Vanderbilt University ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อ พ.ศ. 2540 และ 2543 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรม ไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีความสนใจงานวิจัยทางด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ การประมวลผลภาพ และระบบทางปัญญาประดิษฐ์

ศิลา สอนสุจิตรา เกิดเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2524 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอัสสัมชัญนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2545 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ขณะศึกษาระดับปริญญาโท ได้สอนวิชาปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมีผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ค.