

การพัฒนาหุ่นยนต์อัตโนมัติสำหรับช่วยเหลือคนชราภายในบ้าน

The Development Of At-home Autonomous Mobile Robot For Senior Citizen

ภูมินทร์ พวงใจศรี

จิตติวัฒน์ มุรินทร์วงศ์

อาจารย์กาญจนพันธ์ สุขวิชชัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: b5005029@ku.ac.th, b5005082@ku.ac.th

บทคัดย่อ

สืบเนื่องจากสังคมเมืองในปัจจุบัน มีอัตราการเพิ่มขึ้นของผู้สูงอายุมากขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งการว่าจ้างผู้ดูแลที่ไว้ใจได้ รวมถึงการหาผู้ที่มีความสามารถและความรู้เพียงพอในการดูแลผู้สูงอายุก็หาได้ยากเช่นกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาหุ่นยนต์อัตโนมัติที่มีความสามารถในการช่วยเหลือคนชราภายในบ้านขึ้นมา โดยทางผู้พัฒนาได้แบ่งส่วนของการพัฒนาออกเป็นสามส่วนหลักๆ คือ ส่วนเครื่องกล ส่วนวงจรไฟฟ้า และส่วนระบบรับภาพและปัญญาประดิษฐ์

ผู้พัฒนาเริ่มค้นคว้าออกแบบส่วนเครื่องกลโดยนำเอา Brushless Motor และการเคลื่อนที่แบบ Omni Directional Wheel มาใช้เพื่อให้เกิดรูปแบบการเคลื่อนที่ที่มีความอิสระและได้ประสิทธิภาพมากที่สุด โครงสร้างทั้งหมดของตัวหุ่นยนต์ออกแบบจากโปรแกรมออกแบบที่ชื่อว่า Autodesk Inventor 2008

ส่วนวงจรไฟฟ้าได้มีการนำเอา ชิพวงจรรวม FPGA มาใช้ นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษารูปแบบการขับเคลื่อน Brushless Motor การออกแบบวงจรและวิธีการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนรับภาพและปัญญาประดิษฐ์ ได้มีการนำเอา Kinect มาใช้เป็นส่วนรับภาพ ทำการตรวจสอบบุคคลในภาพจากส่วนรับภาพ และใช้หลักการทาง Skeleton มาวิเคราะห์และตัดสินใจหาโครงสร้างของมนุษย์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงาน ผู้พัฒนาได้พัฒนาตัวหุ่นยนต์ต้นแบบที่ขับเคลื่อนด้วย Brushless Motor ผ่านวงจรไฟฟ้า FPGA ที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ที่รับภาพและกล้องรับภาพ Kinect และ CAD ของหุ่นยนต์รุ่นสมบูรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วย Omni Directional Wheel

คำสำคัญ : Brushless Motor, Omni Directional Wheel, FPGA, Kinect

Abstract

According to the urban society nowadays, The percentage of senior citizen ratio have been increasing every years and the problem that we can not find the proper caretaker who can be trust. Therefore,

we decide to develop the autonomous robot which can help us take care elder person in our home. We separate the development of the robot into three part, the mechanical, electronic circuit, vision and artificial intelligence.

In mechanical part, we start by using Brushless Motor and Omni Directional Wheel in order to create the most independently and effectively motion. All of 3D CAD mechanical parts are designed via Autodesk Inventor software.

In electronic circuit part, we use FPGA, the integrated circuit chip, to control all of electronic devices. We also study the technique to drive the Brushless Motor, the theory to design Bootstrap, Switching, Limited current circuit and the method to use serial port communication. We design electronic board via Altium Designer 10.

In vision and artificial Intelligence part, We use Kinect camera to get the image and the method of Skeleton image processing to analyze the human body.

The results, we create 3D CAD of final-version robot and the prototype robot which using Brushless Motor, FPGA electronic board, laptop and Kinect. Camera

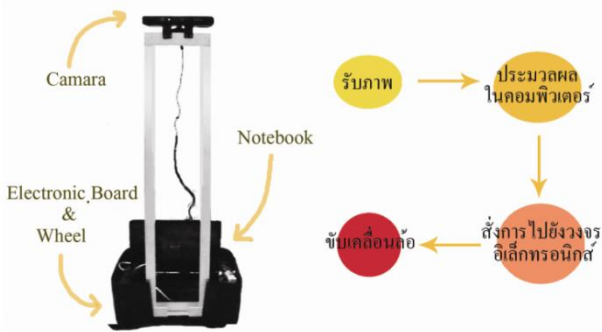
Keywords: Brushless Motor, Omni Directional Wheel, FPGA, Bootstrap, Switching, Kinect

1. บทนำ

สืบเนื่องจากปัจจุบันมีอัตราการเพิ่มขึ้นของผู้สูงอายุมากขึ้นทุกปี นอกจากนั้นการว่าจ้างผู้ดูแลที่ไว้ใจได้และมีทักษะในการดูแลผู้สูงอายุก็หาได้ยากมาก การว่าจ้างเป็นไปด้วยความยากลำบาก ประชาชนโดยทั่วไปเลือกที่จะส่งผู้สูงอายุไปยังสถานเลี้ยงคนชรา ซึ่งนับว่าเป็นการบังคับจิตใจของผู้สูงอายุเหล่านั้นเป็นอย่างสูง ส่งผลกระทบต่อสถาบันครอบครัว ดังนั้นทางผู้พัฒนาโครงการจึงเล็งเห็นแล้วว่าปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องแก้ไข โดยผู้พัฒนาได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีหลายๆอย่าง และได้พบว่าเทคโนโลยีเกี่ยวกับหุ่นยนต์ ที่ปัจจุบันมีนักวิจัย

จำนวนมากทั่วโลกได้ให้ความสำคัญและมีการพัฒนาการอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านของปัญญาประดิษฐ์และระบบรับภาพ เครื่องกล และระบบ ไฟฟ้า ที่มีกล้องคุณภาพดีมาก มีจำนวนผลงานตีพิมพ์งานวิจัยเกี่ยวกับ ปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถศึกษามากขึ้น ชิปอิเล็กทรอนิกส์ที่มี ประสิทธิภาพ หาได้ง่ายและราคาถูกลง จากแนวโน้มเหล่านี้สามารถบ่งชี้ ได้ว่า การทำหุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการดูแลผู้สูงอายุ นั้น เป็นสิ่งที่สามารถทำได้ และผลที่ได้จากการพัฒนาหุ่นยนต์ข้างต้นขึ้นมา ไม่เพียงหุ่นยนต์ที่พัฒนานั้นจะเป็นคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาผู้สูงอายุ ที่ว่าไว้ข้างต้น แต่ยังส่งผลดีต่อนักพัฒนารุ่นต่อไปที่สามารถนำความรู้ที่ ตัวผู้จัดทำโครงการรวบรวมมา นำไปต่อยอดเพื่อสร้างให้หุ่นยนต์สูงวัย อื่น รวมถึงโครงการอื่นนี้ยังเป็นการสร้างฐานความรู้ทางด้านเทคโนโลยี หุ่นยนต์ในไทย ที่สามารถนำไปปรับใช้กับระบบทางอุตสาหกรรมและ เจริญพาณิชย์ต่อไป

2. ลักษณะการทำงานโดยรวมของหุ่นยนต์



รูปที่ 1 การทำงานโดยรวมของหุ่นยนต์

การทำงานของหุ่นยนต์เริ่มต้นจากการรับภาพผ่านกล้องเพื่อ เข้ามาประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์สลิปที่อป หลังจากที่ได้โปรแกรม มวลผลในคอมพิวเตอร์ ทำการแยกแยะภาพบุคคล รวมถึงระบุตำแหน่ง เรียบร้อยแล้ว คอมพิวเตอร์จะส่ง โปรโตคอล (Protocol) ที่มีข้อมูลของ ทิศทาง ความเร็วและข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่เรียกว่าซีอาร์ซี (CRC) ไปยังแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากนั้นวงจร อิเล็กทรอนิกส์จะทำการประมวลผลและส่งคำสั่งไปขับเคลื่อนมอเตอร์ ต่อไป

3. องค์ประกอบและทฤษฎีในตัวหุ่นยนต์

แบ่งเป็นสามส่วนหลัก คือ ส่วนเครื่องกล, ส่วนอิเล็กทรอนิกส์ , ส่วนระบบรับภาพและปัญญาประดิษฐ์

3.1. ส่วนเครื่องกล

มีการใช้มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน

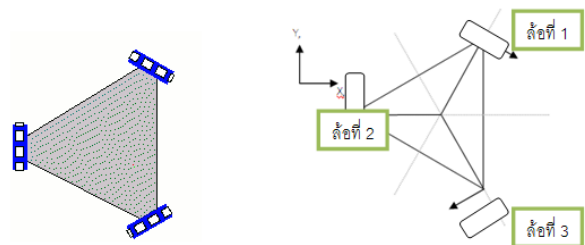


รูปที่ 2 มอเตอร์ไร้แปรงถ่านแม่เหล็กขั้ว 90

นอกจากนั้น ได้ทำการศึกษาระบบการเคลื่อนที่แบบโอมนิได เร็กชันนอลแบบสามล้อสมมาตร



รูปที่ 3 ล้อแบบโอมนิไดเร็กชันนอล



รูปที่ 4 การวางตำแหน่งล้อโอมนิไดเร็กชันนอลแบบสามล้อสมมาตร

รูปแบบสมการของการควบคุมการเคลื่อนที่แบบโอมนิได เร็กชันนอลแบบสามล้อสมมาตร

$$\dot{\epsilon}_e = R^{-1}(\theta) \times J_1^{-1}(\beta_s) \times \begin{bmatrix} r\dot{\theta}_1 \\ r\dot{\theta}_2 \\ r\dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$R(\theta)$: เป็นโรเตชัน Matrix

$J_1(\beta_s)$: เป็นmatrixสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับระยะห่าง (l) ของลวดกับจุดศูนย์กลาง

$$\begin{bmatrix} \sqrt{3}/2 & -1/2 & -l \\ 0 & 1 & -l \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 & -l \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} r\dot{\phi}_1 \\ r\dot{\phi}_2 \\ r\dot{\phi}_3 \end{bmatrix}$$

: เป็นค่าความเร็วที่ป้อนเข้ามาในแต่ละลวด

3.2. ส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ใช้วงจรรวม FPGA ในการควบคุมแผงวงจรหลัก จ่ายไฟเลี้ยงให้เอพฟิจีเอโดยนำวงจรรวมแอลเอ็ม2678(LM2678) ในการลดแรงดันไฟฟ้ด้วยวิธี Switching จากค่าสูงไปยังค่าที่ต่ำกว่า ซึ่งเอพฟิจีเอใช้แรงดันขนาด 5 โวลต์

มีระบบป้องกันกระแสเกินโดยใช้ วงจรรวมเอซีเอส712(ACS712)เป็นวงจรรวมสำเร็จรูปที่ใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์ที่ตรวจสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กในการวัดค่าของกระแสไฟฟ้า

มีการนำวงจรรวมแอล6388อี(L6388E) ซึ่งใช้หลักการบูทแอสตรป Bootstrap ในการขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่านที่ต้องใช้แรงดันสูง

ใช้เอนโคเดอร์แบบสองเฟสในการตรวจจับความเร็วของมอเตอร์ไร้แปรงถ่านเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

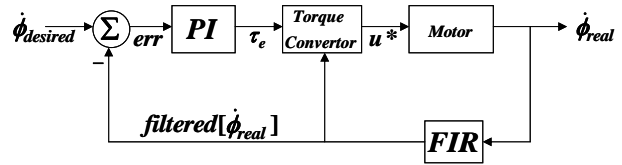


รูปที่ 5 เอนโคเดอร์ที่ใช้ในโครงการ รุ่น E4P-360 ของ USdigital



รูปที่ 6 แผงวงจรหลักที่ใช้ในค้วหุ่นยนต์

3.2.1. สมการการควบคุมแรงบิด



รูปที่ 7 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแรงบิด

มีการนำเอาวิธีการควบคุมแรงบิดมาใช้เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งมีระบบสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

$$\tau_m = \left(\frac{k_m}{R}\right) \cdot V - \left(\frac{k_m}{R \cdot k_n}\right) \cdot \dot{\phi} \quad (2)$$

$$err[j] = \dot{\phi}_{desired}[j] - filtered[\dot{\phi}_{real}] \quad (3)$$

$$\tau_e[j] = k_p \cdot err[j] - k_I \cdot \sum_{j=1}^N err[j] \quad (4)$$

จาก $u^*[j]$ คือแรงบิดที่ต้องการต่อแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จึงได้

$$u^*[j] = \frac{\tau_e[j]}{\tau_m} \quad (5)$$

$$u^*[j] = \frac{\tau_e[j]}{\left(\frac{k_m}{R}\right) \cdot V - \left(\frac{k_m}{R \cdot k_n}\right) \cdot filtered[\dot{\phi}_{real}]} \quad (6)$$

$err[j]$ คือ ความคลาดเคลื่อนของความเร็วเชิงมุม

$\tau_e[j]$ คือ แรงบิดที่ใช้ในการควบคุม

$\dot{\phi}_{desired}[j]$ คือ ความเร็วเชิงมุมที่ต้องการ

$filtered[\dot{\phi}_{real}]$ คือ ความเร็วเชิงมุมที่วัดได้โดยผ่าน การกรอง

k_p คือ อัตราขยายตามสัดส่วนของความคลาดเคลื่อน

k_I คือ อัตราขยายปริพันธ์ของความคลาดเคลื่อน

N คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูล

$u^*[j]$ คือ สัญญาณPWM(Pulse width modulation)ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า

τ_m คือ แรงบิดสูงสุดที่ออกจากของมอเตอร์

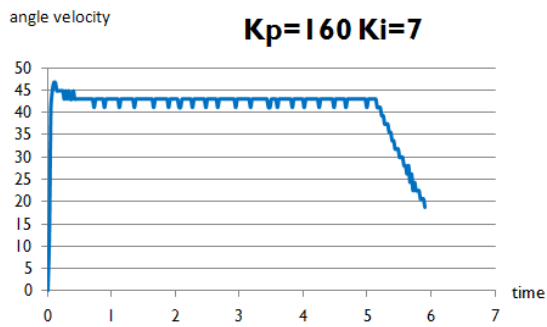
k_m คือ ค่าคงที่แรงบิดของมอเตอร์

k_n คือ ค่าคงที่ความเร็วเชิงของมมมอเตอร์

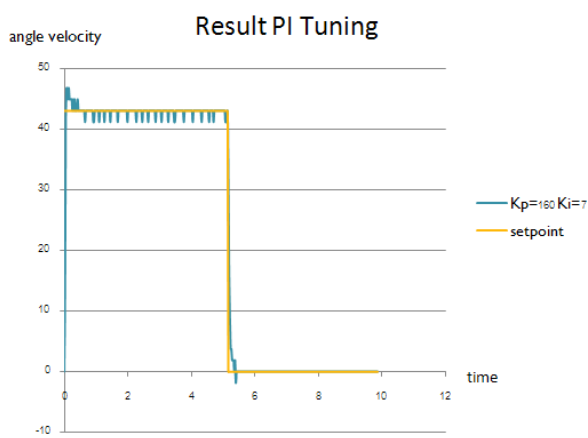
$\dot{\phi}$ คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าขดลวดของมอเตอร์

โดยได้นำเอาสมการที่ 6 มาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ในการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ผ่านแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีผลลัพธ์ตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 8 กราฟความเร็วมอเตอร์ควบคุมด้วยแรงบิด Kp=160, Ki=7



รูปที่ 9 กราฟผลลัพธ์ของการจูนค่า Kp และ Ki

การทดลองเลือกค่า Kp และ Ki ในการควบคุมมอเตอร์ด้วยแรงบิด ทำการเลือกค่าที่เหมาะสมด้วยการปรับค่า Kp เมื่อ Ki=0 ไปเรื่อยๆ และเลือกค่า Kp ที่สูงที่สุดก่อนการโอเวอร์ชูตที่ Ki=0 ในที่นี้คือค่า Kp=160 แล้วนำค่า Kp=160 มาหาใช้ในการปรับหาค่า Ki โดยที่ปรับ Ki ไปเรื่อยๆ ที่ Kp=160 และเลือกค่า Ki ที่ทำให้เกิดเวอร์ชูดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าสภาวะคง ในที่นี้คือ Ki=7 แล้วจึงได้ค่า Kp=160 และ Ki=7 เป็นค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ประเภทนี้ด้วยแรงบิด ซึ่งได้นำทั้งสองค่านี้มาใช้ในตัวหุ่นยนต์เพื่อให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แม่นยำขึ้น

3.2.2. การติดต่อสื่อสารระหว่างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

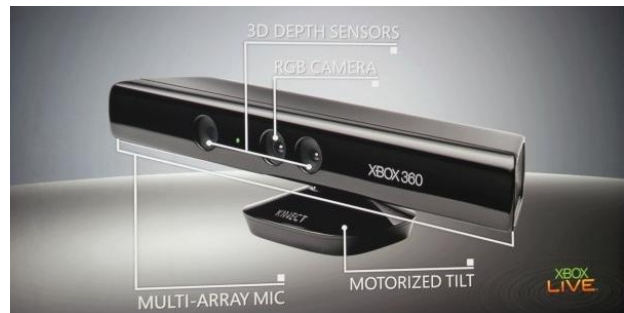
ใช้สายสัญญาณอนุกรม RS-232 ในการติดต่อสื่อสาร มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยวิธี CRC-8 มีสมการโพลิโนเมียลคือ

$$X^8 + X^5 + X^4 + 1 \quad (7)$$

3.3. ส่วนระบบรับภาพและปัญญาประดิษฐ์

ใช้กล้อง Kinect (คีนีคส์) ในการรับภาพ กล้องคีนีคส์จะทำการประมวลผลภาพความลึกและส่งค่าบิตไปยังอุปกรณ์ที่ติดต่อดูด้วย ซึ่งอุปกรณ์หรือตัวโปรแกรมที่กำลังอ่านค่าจากกล้องคีนีคส์จะต้องทำการคาลิเบรชัน (Calibration) ระยะทางกับค่าบิตที่เข้ามาเอง

ความสามารถอีกอย่างหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่น่าจับตามองที่สุด คือความสามารถในการรับภาพเข้ามาและทำการประมวลผลให้กลายเป็นภาพสามมิติได้มีหลักการคือ กล้องคีนีคส์ จะปล่อยรังสีอินฟราเรดเป็นรูปแบบของจุดจากรูปแบบเหล่านี้ เมื่อกระทบวัตถุใดๆ ก็จะทำให้จุดต่างๆ เกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของจุดจะทำให้เกิดรูปแบบเฉพาะขึ้นมา นำรูปแบบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางของข้อมูลภายในคีนีคส์ก็จะสามารถระบุรูปทรงนั้นๆ ได้ ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกเรียกว่า ไลท์โคดดิ้ง (Light Coding)



รูปที่ 10 กล้อง Kinect

หลังจากนั้นเมื่อรับภาพเข้ามาแล้วจะทำการตรวจจับตัวบุคคลด้วยวิธี Skeletonization



รูปที่ 11 ผลลัพธ์การใช้วิธี Skeletonization ในการหาโครงสร้างบุคคล

4. ผลของโครงการงาน

4.1. หุ่นยนต์ต้นแบบ

สามารถสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบที่โครงสร้างทั้งหมดทำจากอลูมิเนียม หุ้มเกราะด้วยแผ่นอะคริลิก มีเสาสองเสายื่นขึ้นมาเพื่อเป็นฐานยึดกับ กล้องทีเอ็นีส์ ส่วนขับเคลื่อนของหุ่นยนต์มีสองล้อต่อเข้ามอเตอร์กระแสตรง ขนาด 12V สองตัว ใช้แบตเตอรี่ Lithium polymer 28C ของ Dualsky มีแรงดันไฟฟ้า 14.8V จ่ายกระแส 1800mAh น้ำหนักโดยของหุ่นยนต์รวมแบตเตอรี่ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และโครงสร้างทั้งหมดประมาณ 14.3kg

แผงวงหลักควบคุมด้วย FPGA มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ใช้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านขนาด 90Watt ของเม็กซอนรุ่น อีซี90 กินแรงดันขนาด 24V มี Nominal torque ขนาด 387mNm และใช้กระแสไฟสูงสุดในช่วง Continuous operation เท่ากับ 2.2A นำมาประกอบกับ Planetary Gearhead GP 52 C ซึ่งเป็นเฟืองทดภายในขนาด 19:1 มีหน้ากว้างขนาด 52mm



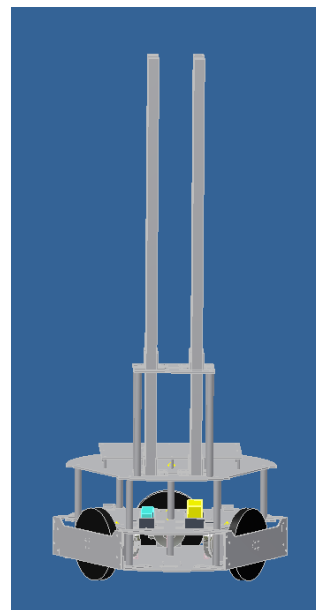
รูปที่ 12 หุ่นยนต์ตัวต้นแบบ



รูปที่ 13 ฐานรองคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป

4.2. CAD แคลคสามมิติของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อโอโมนิไดเรกชันนอลแบบสามล้อ

โครงสร้างทั้งหมดทำจากอลูมิเนียม6061 ซึ่งมีความแข็งแรงกว่ารุ่นแรก ออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อรองรับกับระบบการเคลื่อนที่ล้อโอโมนิไดเรกชันนอลแบบสามล้อ แบ่งจำนวนชั้นของตัวหุ่นยนต์ออกเป็นสามชั้นเพื่อต่อการแก้ไข และเข้าถึงตัวอุปกรณ์ได้ง่าย โดยชั้นล่างสุดใช้ในการวางล้อ ชั้นที่สองใช้บรรจุแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแบตเตอรี่ ชั้นที่สามใช้วางคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ส่วนฐานของกล้อง Kinect และแขนกลที่กำลังจะพัฒนา ประกอบด้วยเสาอลูมิเนียมยาว 1.2m เสา จักระนาบด้วยแผ่นอลูมิเนียมชั้นที่สี่ ซึ่งจะทำให้4 เสาทั้งสิ้นมีความแข็งแรงและมั่นคงมากขึ้น



รูปที่ 14 ด้านหน้าของCADหุ่นยนต์รุ่นที่สอง



รูปที่ 15 ลักษณะการวางล้อในหุ่นยนต์รุ่นที่สอง

5. สรุป

สามารถพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามบุคคลเป้าหมายได้สำเร็จ เพียงแต่ว่าในการทำงานของหุ่นยนต์นั้นจะต้องทำการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับโปรแกรมด้วยการยกมือทั้งสองข้างขึ้น ซึ่งยังถือว่าไม่สะดวกนักหากใช้ในการปฏิบัติงานจริงๆ

โครงการชิ้นนี้เป็น การรวมองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และปัญญาประดิษฐ์ จึงน่าจะเป็นการดีกว่าที่ตัวโครงการในระยะยาวจะมีนักศึกษาจากหลายๆ ภาควิชามาร่วมกันพัฒนา

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งโครงการนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีไม่ได้เลย หากขาดบุคคลดังต่อไปนี้

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำโครงการชิ้นนี้
2. อาจารย์กาญจนพันธ์ สุขวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ ดูแล และช่วยเหลือผู้พัฒนาโดยตลอด
3. นายสาครเรศ แสงแก้ว ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบปัญญาประดิษฐ์
4. อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ และพื้นฐานการทำงานทั้งหมดตลอด ระยะเวลาสี่ปีในมหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

Kinect, Kinect for Xbox 360, or simply Kinect, See also :

<http://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

Maxon motor. Maxon motor Key information on – maxon EC motor and maxon gear. Maxon Motor Catalogue 09/10. 2010

Srisabye, J., Wasuntapichaikul, P., Onman, C., Sukvichai, K., et al.: Skuba 2009 Extended Team Description. In: Proceedings of RoboCup 2009