บทที่ 1 รายละเอียดโครงการ

1. **ชื่อโครงการวิจัย** (ภาษาไทย) การศึกษาและพัฒนาการควบคุมหุ่นยนต์เชิงอุตสาหกรรมและการประมวลผลภาพบนแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัว

   (ภาษาอังกฤษ) A Study and Development of Industrial Robot Control and Image Processing on Embedded Linux Platform

2. **ลักษณะโครงการวิจัย**

   ☒ ใหม่ ☐ ต่อเนื่อง.....ปี ปีนี้เป็นปีที่.....

3. **สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) ซึ่งประกอบด้วย 6 ยุทธศาสตร์ (ระบุเพียง 1 ยุทธศาสตร์เท่านั้น)**

   ☐ ยุทธศาสตร์การสร้างความเป็นธรรมในสังคม

   ☐ ยุทธศาสตร์การพัฒนาคนสู่สังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างยั่งยืน

   ☐ ยุทธศาสตร์ความเข้มแข็งภาคเกษตร ความมั่นคงของอาหารและพลังงาน

   ☒ ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจสู่การเติบโตอย่างมีคุณภาพและยั่งยืน

   ☐ ยุทธศาสตร์การสร้างความเชื่อมโยงกับประเทศในภูมิภาคเพื่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคม

   ☐ ยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

4. **สอดคล้องกับหัวข้อการวิจัยของ สจล. (ให้ระบุความสอดคล้องของงานวิจัยท่านมากที่สุด 1 ข้อ หากสอดคล้องมากว่า 1 ข้อให้เรียงลำดับความสอดคล้อง โดยระบุหมายเลขลำดับความสอดคล้องในเครื่องหมาย ☐)**

   4.1 กลุ่มวิจัยมุ่งเป้าสู่ความเป็นเลิศ

   ☒ 4.1.1 ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) และอิเลล็กทรอนิกส์
   ☐ 4.1.2 ด้านพลังงาน
   ☐ 4.1.3 ด้านอาหารและเกษตร
   ☐ 4.1.4 ด้านวัสดุศาสตร์

   4.2 กลุ่มวิจัยเพื่อส่งเสริมและพัฒนาการวิจัย

☐ 4.2.1 ด้านสิ่งแวดล้อม
☐ 4.2.2 ด้านการเรียนการสอน
☐ 4.2.3 ด้านการพัฒนาองค์กร
☐ 4.2.4 การวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชน-ท้องถิ่น
☐ 4.2.5 ด้านการออกแบบและศิลปวัฒนธรรม
☑ 4.2.6 ด้านการพัฒนาโนเทคโนโลยี
☐ 4.2.7 ด้านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ

5. **ประเภทการวิจัย**

☐ 1. การวิจัยพื้นฐาน ☑ 2. การวิจัยประยุกต์ ☐ 3. การพัฒนาทดลอง

6. **สาขาการวิจัย**

☑ 1. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ☐ 2. วิทยาศาสตร์สุขภาพ ☐ 3. มนุษย์ฯ/สังคม

☐ 4. อื่นๆ (ระบุ).....

7. ลักษณะการวิจัย

☐ ถ่ายทอดเทคโนโลยี ☑ องค์ความรู้

8. หัวข้อการวิจัยที่เสนอขอสามารถนำไปใช้ประโยชน์ (ระบุรายละเอียด)

☐ **1.** เชิงพาณิชย์

- O สามารถนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้.....
- Ø มีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจหรือบุคคลทั่วไป โดยเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการออกแบบและพัฒนาระบบอัตโนมัติในเชิงการศึกษาหรือเชิงอุตสาหกรรม.....

☐ 2. เชิงสาธารณะ

- O สามารถนำไปประโยชน์/แก้ปัญหา ให้กับ สังคม ชุมชน ท้องถิ่น.....

☐ 3. สามารถนำไปสร้างนวัตกรรม ผลิตภัณฑ์ หรือนำไปสู่การจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาได้.....

☐ 4. อื่นๆ.....

9. คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ดร. อรรถสิทธิ์ อารยางกูร.....

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Autthasith Arrayangkool.....

ตำแหน่งทางวิชาการ - สัดส่วนการวิจัย 100%

ภาควิชา/สาขาวิชา วิศวกรรมระบบและข้อมูล หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

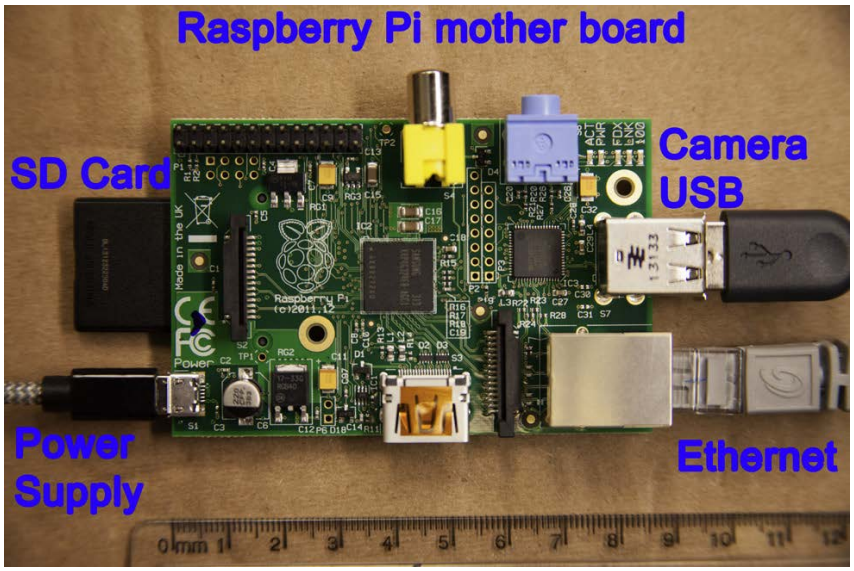
โทรศัพท์(ที่ติดต่อได้สะดวกที่สุด) 0896091598 โทรสาร -

E-mail **art958@hotmail.com**

10. หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

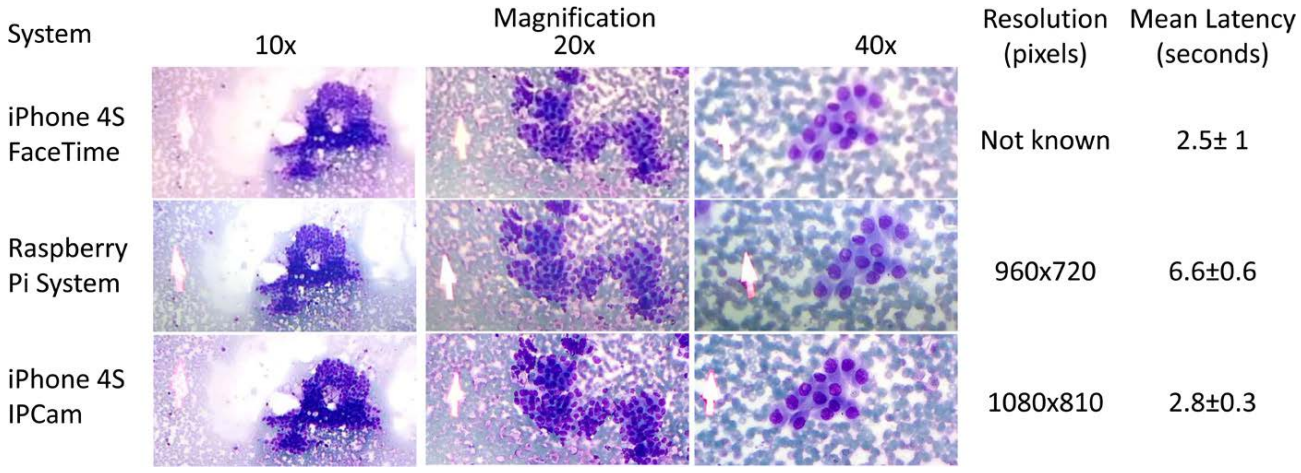
เพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนแรงงานในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ระบบอัตโนมัติ (Automation) จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในบริษัทขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากความซับซ้อนในตัวงานหรือในระบบการผลิตของบริษัทเหล่านี้ เช่น การประกอบชิ้นส่วนรถยนต์และการหาข้อผิดพลาดในชิ้นงาน ที่ต้องอาศัยการทำงานของหุ่นยนต์หรือแขนกลและระบบการประมวลผลภาพ (image processing) ทำให้ระบบอัตโนมัติมีความซับซ้อนตามไปด้วยและมีราคาค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบประมวลผลภาพที่ต้องอาศัยประสิทธิภาพในการประมวลผลที่สูงมาก รวมทั้งต้องอาศัยการพัฒนาโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC ราคาประมาณ 20,000 บาท) ซึ่งมีราคาที่แพงกว่าเมื่อเทียบกับแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัว (Embedded Linux Platform ราคาประมาณ 1,500 บาท) แม้ว่าแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวจะราคาถูกกว่า ใช้ไฟน้อยกว่า ใช้พื้นที่น้อยกว่า รวมถึงเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่า แต่ด้วยเหตุผลที่ว่าแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวมีประสิทธิภาพในการประมวลผลและทรัพยากรณ์ที่ต่ำกว่า จึงเกิดข้อสงสัยที่ว่าแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวมีประสิทธิภาพพอที่จะนำมาใช้ในระบบอัตโนมัติประเภทนี้แทนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือไม่ ซึ่งโครงการวิจัยนี้ ได้เสนอรูปแบบระบบควบคุมแขนกลและการประมวลผลภาพโดยใช้เพียงแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวเท่านั้น

มีตัวอย่างของแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวนี้ ได้แก่ Raspberry Pi ซึ่งมีองค์ประกอบ เช่น ARM1176JZF-S 700 MHz processor, HDMI module, USB module, SD card module, Ethernet module, RS232 module, GPIO module และ Audio module ดังรูปที่ 1



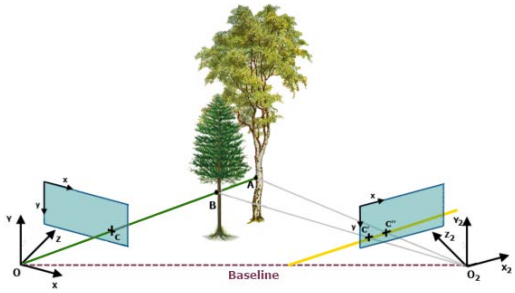
รูปที่ 1 ตัวอย่างแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัว Raspberry Pi [1]

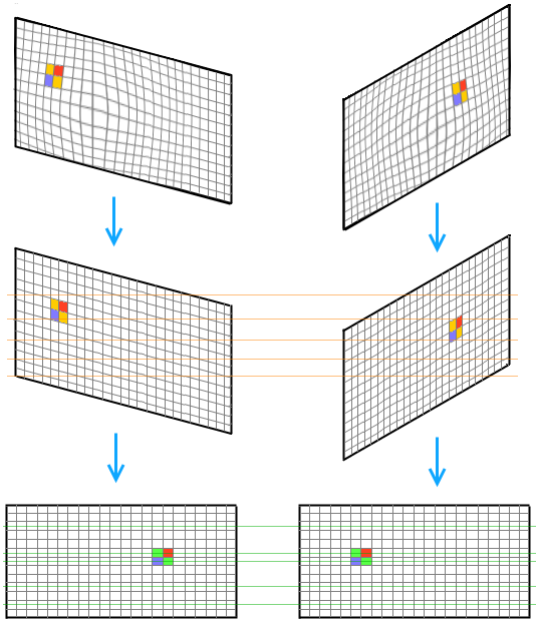
ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการใช้งานกล้อง USB บน Raspberry Pi ตามที่แสดงใน [1] ซึ่งให้ผลที่แสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานกล้องความละเอียดสูงบนบอร์ดลินุกซ์ฝังตัวดังนี้



รูปที่ 2 ตัวอย่างการใช้งานกล้องบน Raspberry Pi [1]

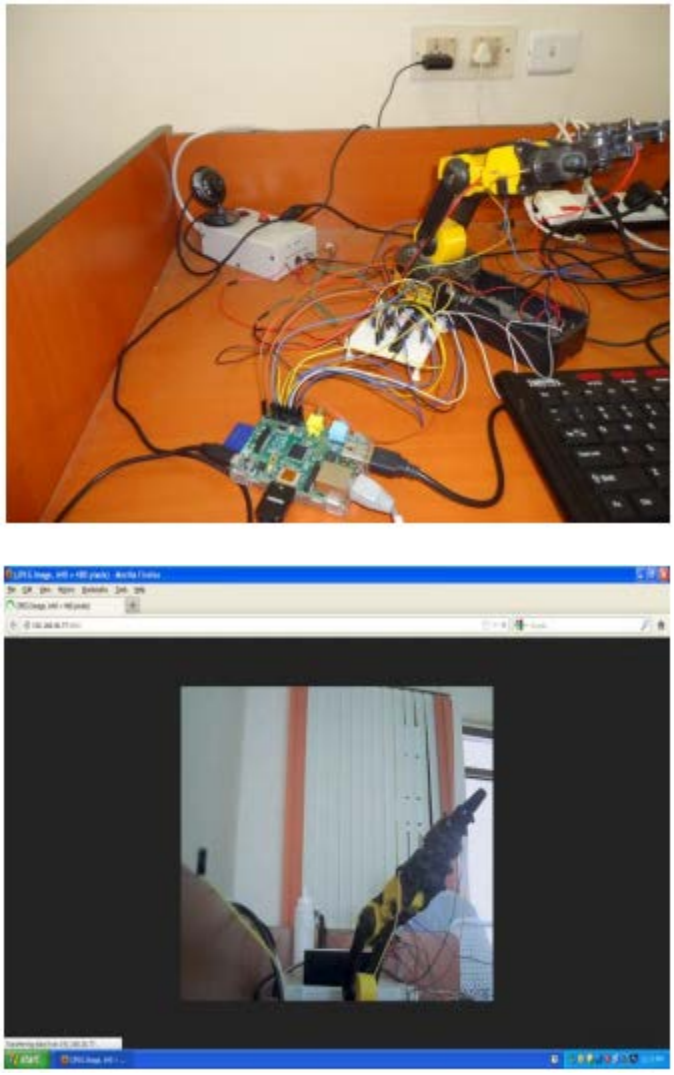
โดยบางงานวิจัยได้กล่าวถึงการควบคุมพาหนะเคลื่อนที่บนผิวน้ำอัตโนมัติ (Autonomous Surface Venicle: ASV) [2] ขนาดเล็ก โดยใช้ Raspberry Pi, กล้อง (camera) 2 ตัว เพื่อประมวลผลภาพและระบุตำแหน่งจากการใช้องค์ประกอบทางภูมิศาสตร์ที่สังเกตได้ชัด และ ultrasonic sensor เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นแบบฉับพลัน โดยการระบุตัวตนของวัตถุนั้นจะใช้ไลบรารี่ของ OpenCV ที่ชื่อว่า cvBlobsLib ที่ประมวลผลโดยใช้ไฟล์ภาพแบบไบนารี่ (binary image) ดังรูป





รูปที่ 3 ตัวอย่างการควบคุม ASV และ ประมวลผลภาพ บน Raspberry Pi [2]

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการควบคุมแขนกลอย่างง่ายโดยใช้ Raspberry Pi โดยใช้การบังคับจากระยะไกลผ่านกล้องและ webserver [3] ดังรูป



รูปที่ 3 ตัวอย่างการควบคุมแขนกลบน Raspberry Pi [3]

โดยในโครงการวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้หลักการเบื้องต้นเพื่อมาสร้างเป็นระบบประมวลผลภาพและควบคุมแขนกลโดยมีตัวอย่างการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม โดยภาพรวมและขอบเขตของระบบจะอยู่ในส่วนต่อไป

11. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

11.1. เพื่อศึกษาและค้นหาความเป็นไปได้ในการใช้แพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวเพื่อควบคุมแขนกลและประมวลผลภาพ

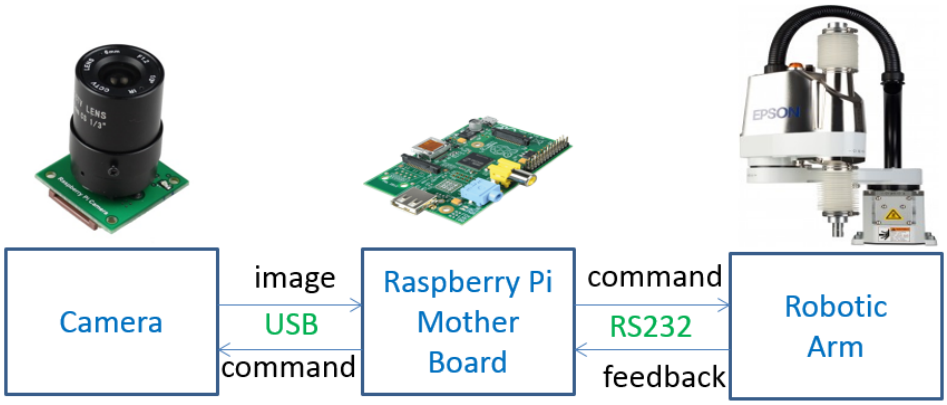
11.2. เพื่อศึกษาและค้นหาวิธีการที่เหมาะสมในการควบคุมแขนกลและประมวลผลภาพ

11.3. เพื่อศึกษาและค้นหาวิธีการลดความซับซ้อนในซอร์ฟแวร์เพื่อการใช้ทรัพยากรณ์ในการประมวลผลที่น้อยลง

11.4. เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการลดค่าใช้จ่ายในการทดลองและพัฒนาระบบอัตโนมัติ

12. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยนี้ คือ การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมแขนกลและการประมวลผลสำหรับแพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัว Raspberry Pi ซึ่งมีภาพรวมของระบบดังต่อไปนี้



13. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

[1] Radu Dudas, BS, Christopher VandenBussche, MD, PhD, Alex Baras, MD, PhD, Syed Z. Ali, MD, FRCPath, FIAC, Matthew T. Olson, MD, “Inexpensive telecytology solutions that use the Raspberry Pi and the iPhone,” Journal of the American Society of Cytopathology (2014) Volume 3, Page 49-55, 2014

[2] Ricardo Neves and Anibal C. Matos, “Raspberry PI Based Stereo Vision for Small Size ASVs,” MTS, 2013

[3] Ron Oommen Thomas and K. Rajasekaran, “Remote Monitoring and Control of Robotic Arm with

Visual Feedback using Raspberry Pi," International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 92 – No.9, April 2014

14. ระยะเวลาดำเนินโครงการ 1ปี เริ่มตั้งแต่ 1 ต.ค. 57-30 ก.ย.58

15. ระเบียบวิธีวิจัย

15.1 ศึกษาหลักการและปัญหาของระบบ
15.2 ศึกษาและค้นหาแนวคิดในวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม
15.3 นำแนวคิดที่ได้มาออกแบบเป็นชิ้นงานหรือโปรแกรมต้นแบบในแต่ละส่วน
15.4 นำชิ้นงานหรือโปรแกรมแต่ละส่วนมาทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด
15.5 นำชิ้นงานหรือโปรแกรมแต่ละส่วนมาบูรนาการณ์เป็นระบบ
15.6 นำระบบที่ได้มาทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด
15.7 จัดทำเอกสารรวบรวมองค์ความรู้ทั้งหมดและสรุปผลโครงการ

16. แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอน/แผน อย่างละเอียด): สามารถปรับรูปแบบได้ตามความเหมาะสม

การดำเนินงาน	**ระยะเวลา**												**หมายเหตุ**
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
การศึกษาและพัฒนาต้นแบบ	←	—	—	—	—	—	—	→					
-ศึกษาและทดลองหลักการควบคุมแขนกล	↔												
-ศึกษาและทดลองหลักการประมวลผลภาพ		↔											
-ศึกษาและทดลองการใช้งาน การเขียน			↔										

โปรแกรมและการเชื่อมต่อ Raspberry Pi													
-พัฒนาระบบในแต่ละส่วน				←	—	→							
-รวมระบบ							↔						
ทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด								↔					
จัดทำเอกสารและบทความหรือวารสาร									↔				
ส่งผลงาน เพื่อปรับแก้ และตีพิมพ์										←	—	→	

17. รายละเอียดงบประมาณ (งบประมาณที่เสนอขอให้ดูข้อกำหนดต่างๆของหน่วยงานต้นสังกัดและตรวจสอบกับฝ่ายการเงินประกอบเพิ่มเติมด้วย)

รายการ	**จำนวนเงิน**
1. งบบุคลากร	

รายการ	จำนวนเงิน
ค่าจ้างชั่วคราว (ต้องระบุคุณวุฒิ,จำนวนคน,จำนวนเดือน,จำนวนเงิน) ตัวอย่าง ปวช./ม.6 จำนวนคน x อัตรา 7,620.00 บาท x จำนวนเดือน ปวส. จำนวนคน x อัตรา 9,300.00 บาท x จำนวนเดือน ปริญญาตรี จำนวนคน x อัตรา 11,680.00 บาท x จำนวนเดือน ปริญญาโท จำนวนคน x อัตรา 15,300.00 บาท x จำนวนเดือน ปริญญาเอก (สายวิชาการ) จำนวนคน x อัตรา 19,000.00 บาท x จำนวนเดือน (หมายเหตุ น.ศ. ป เอก จ้างวุฒิ ป.โท น.ศ. ป. โท จ้างวุฒิ ป.ตรี น.ศ.ตรี จ้างวุฒิ ต่ำกว่า ป.ตรี) *ยังคงใช้กรอบอัตรานี้เนื่องจาก สถาบันยังไม่มีประกาศฉบับใหม่* **รวม**	xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx **xxxxxxx**
2. งบดำเนินงาน (ค่าตอบแทน ค่าใช้สอย ค่าวัสดุ ค่าสาธารณูปโภค)	
1.1 ค่าตอบแทน ค่าล่วงเวลา : ให้พิจารณาว่าจำเป็น หรือไม่ หากโครงการมีทั้งนักวิจัย และผู้ร่วมวิจัย หากมีความจำเป็นต้องแสดงรายละเอียดที่ชัดเจน หากมีค่าตอบแทนอื่นๆ ให้คำนึงความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ระเบียบวิธีวิจัย แผนการดำเนินงาน ของข้อเสนอการวิจัย //งบประมาณที่เสนอขอให้ดูข้อกำหนดต่างๆของหน่วยงานต้นสังกัดและตรวจสอบกับฝ่ายการเงินประกอบเพิ่มเติมด้วย// **รวม**	5,000 **5,000**

รายการ	จำนวนเงิน
1.2 ค่าใช้สอย คำว่าค่าใช้สอยอื่น ๆ : ให้ตัดออก แต่ถ้ามีค่าใช้สอยต้องระบุว่าเป็นค่า อะไร	
1) ค่าลงทะเบียนเพื่อตีพิมพ์	10,000
2) ค่าที่พัก	3,000
3) ค่าเดินทาง	2,000
รวม	**15,000**

รายการ	จำนวนเงิน
1.2 ค่าวัสดุ <u>ให้ระบุรายละเอียดของวัสดุต่างๆ</u>ที่แสดงถึงความสอดคล้องกับการใช้ในการดำเนินการทำวิจัย (วัสดุสำนักงาน วัสดุคอมพิวเตอร์ สารเคมี ....)	
- บอร์ด Raspberry Pii และ case	2,000
- อุปกรณ์กล้อง	2,000
- สาย cable และอุปกรณ์การเชื่อมต่อ ทดสอบการทำงานและทดลอง	1,000
- อุปกรณ์แขนกลแกนที่ 1	5,000
- อุปกรณ์แขนกลแกนที่ 2	**5,000**
- อุปกรณ์แขนกลแกนที่ 3	**5,000**
รวม	**20,000**
1.3 ค่าสาธารณูปโภค ค่าโทรศัพท์ ค่าไปรษณีย์ ค่าบริการด้านสื่อสารและโทรคมนาคม	xxxxx
รวม	xxxxx
	xxxxx
รวมงบดำเนินงาน(ค่าตอบแทน+ค่าใช้สอย+ค่าวัสดุ+ค่าสาธาณูปโภค)	**40,000**

รายการ	จำนวนเงิน
3. งบลงทุน ค่าครุภัณฑ์ ให้ระบุรายละเอียดพอสังเขป **รวม**	
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	**40,000**

19. แผนการใช้จ่ายเงิน

รายการ	วงเงินที่คาดว่าจะใช้แต่ละเดือน												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
การศึกษาและพัฒนาต้นแบบ													
-ศึกษาและทดลองหลักการควบคุมแขนกล	15,000												
-ศึกษาและทดลองหลักการประมวลผลภาพ		3,000											
-ศึกษาและทดลองการใช้งาน การเขียนโปรแกรมและการเชื่อมต่อ Raspberry Pi			2,000										

-พัฒนาระบบในแต่ละส่วน				1,000	1,000	1,000							
-รวมระบบ							1,000						
ทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด								500					
จัดทำเอกสารและบทความหรือวารสาร									500				
ส่งผลงาน เพื่อปรับแก้ และตีพิมพ์										15,000			

20. ผลงานที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยฯ (ไม่ใช้รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โดยให้ระบุผลลัพธ์ที่คาดหวังในลักษณะของต้นแบบผลิตภัณฑ์ ขบวนการใหม่และ/หรือบทความทางวิชาการ สิทธิบัตร การผลิตบัณฑิต ผลงานสู่ภาคอุตสาหกรรมในกรณีการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการต้องระบุวารสาร หน่วยงาน ปีที่ ฉบับที่ คาดว่าจะเผยแพร่ ให้ชัดเจน ข้อใดไม่มีให้ระบุว่าไม่มี)

ผลงาน	ระบุรายละเอียดให้ชัดเจน	จำนวน	ปีที่คาดว่าจะสำเร็จ
1. การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications)			
■ การประชุม / สัมมนา ระดับนานาชาติ (International Conference)	ECTI-CON 2015	1 ฉบับ	2558
■ วารสาร ระดับนานาชาติ (International Journal)	ไม่มี		
■ การประชุม / สัมมนา ระดับนานาชาติ (International Conference)	ไม่มี		
■ วารสาร ระดับชาติ (National Journal)	ไม่มี		
■ **การประชุม / สัมมนา ระดับชาติ (National Conference)**	ไม่มี		
2. การผลิตบัณฑิต			
■ ป.ตรี/โท/เอก	ไม่มี		
3. ต้นแบบ กรุณาระบุระดับของต้นแบบ ดังนี้			
■ พร้อมใช้ (ผลิตภัณฑ์) (Product)	ไม่มี		

■ ระดับภาคสนาม (Field Prototype)	ไม่มี		
■ ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Prototype)	**ตัวอย่างระบบ**	**1 ชุด**	**2558**
4. ทรัพย์สินทางปัญญา (Intellectual Property)			
■ สิทธิบัตร (Patent)	ไม่มี		
■ อนุสิทธิบัตร (Petty Patent)	ไม่มี		
■ ลิขสิทธิ์ เช่น ซอฟต์แวร์ เป็นต้น (Copyright, e.g. Software etc.)	ไม่มี		
■ **เครื่องหมายทางการค้า (Trademark)**	ไม่มี		
5. ผลงานสร้างสรรค์ศิลปะ	ไม่มี		
6.การถ่ายทอดเทคโนโลยีต่างๆ (ระบุประเภท และจำนวนครั้ง / จำนวนคนที่คาดว่าจะเข้าร่วม เช่น ฝึกอบรมเรื่อง .... จำนวน จัดสัมมนา อบรมเชิงปฏิบัติการ เป็นต้น)	ไม่มี		

20.1 ผลการทดลองเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบการควบคุม

20.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ, เปรียบเทียบและสรุปผลของการใช้แพลตฟอร์มลินุกซ์ฝังตัวเทียบกับการใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นแนวทางแด่ผู้สนใจ

20.3 ผลงานบทความหรือวารสารวิชาการ

20.4 องค์ความรู้ที่สามารถนำไปบูรนาการณ์กับการเรียนการสอนวิชาพื้นฐานระบบความคุม และวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบปฏิบัติการ หุ่นยนต์ และการประมวลผลภาพ

21. ประวัติคณะผู้วิจัย/ผู้ร่วม/ที่ปรึกษา/ผู้ช่วยวิจัย

1. ชื่อ(ภาษาไทย)

    ดร. อรรถสิทธิ์ อารยางกูร

2. ชื่อ(ภาษาอังกฤษ)

    Dr. Auttthasith Arrayangkool

3. วันเดือนปีเกิด/สถานที่เกิด

    8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 จังหวัดสุพรรณบุรี

4. เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน/ที่อยู่ตามบัตรประชาชน

    - เลขบัตรประจำตัวประชาชน 1729900064242

    - ที่อยู่ 50/1 หมู่ 1 ต.บ้านกร่าง อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี 72140

5. สถานภาพการสมรส

    โสด

6. ตำแหน่งปัจจุบัน

    อาจารย์/นักวิจัย

7. ที่อยู่หน่วยงาน

    วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

8. เบอร์โทรที่ติดต่อได้

    089-6091598

9. ประวัติการทำงานที่สำคัญ

    - 2007 : นักศึกษาฝึกงาน, ThaiGerTech (Automotive Company)

- 2008-2009 : ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา, Blextor (Software House)

- 2014-ปัจจุบัน : อาจารย์/นักวิจัย, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

10. ประวัติการศึกษา

- ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบและข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

11. เกียรติประวัติ/รางวัลที่เคยได้รับ

- The 3rd TESA Topgun Rally 2007 Award for Earthquake and Tsunami Warning System by NECTEC, SIPA, BSID, Digital Gateway Co.,Ltd., Toyota Tsusho Electronics (Thailand) Co.,Ltd. and TESA.

- Best Embedded System Product Award 2009 in ITS field for Mobile Autonomous Vehicle Platform by TESA and SIPA.

- Best Embedded System Product Award 2009 in ITS field for ITS Software Tool by TESA and SIPA.

12. ผลงาน เช่น วารสารวิชาการระดับนานาชาติ วารสารวิชาการระดับชาติ บทความ หนังสือ สิทธิบัตร

1) Autthasith Arrayangkool and Apinetr Unakul, “Comprehensive Intelligent Transportation System Development Support Software Tool,” ICESIT 2010, Thailand
2) Autthasith Arrayangkool and Apinetr Unakul, “Intelligent Transportation Systems Interoperability with Object Oriented Design, UML and XML,” ICESIT 2010, Thailand
3) A. Arrayangkool and A. Unakul, “A Flexible Intelligent Transportation System Architecture Model with Object Oriented Methodology and UML,” ISCIT 2009, Incheon, Korea
4) “A Novel Design of Intelligent Transportation System Architecture with Object Oriented Process,” ICS2008, Taiwan
5) Autthasith Arrayangkool, Pichet Maphoo and Apinetr Unakul, “Embedded Linux Robot Platform,” ICESIT 2008, Thailand
6) A. Arrayangkool, C. Warisarn, Lin M. M. Myint, and P. Kovintavewat, “A Simple Recorded-Bit Patterning Scheme for Bit Patterned Media Recording,” in Proc. of ECTI-CON 2013, Krabi, May 15-17, 2013.

7) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, “A 2D-Interference Mitigation with a Multitrack Recorded-Bit Patterning Scheme for Bit Patterned Media Recording,” in Proc. of ITC-CSCC 2013, Yeosu, Korea, 30 June – 3 Jul 2013.
8) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, “A Multi-track Recorded-Bit Patterning Scheme for Bit-Patterned Media Recording System,” **KKU Journal 2013**, 2013.
9) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, “A Recorded-Bit Patterning Scheme with Accumulated Weight Decision for Bit Patterned Media Recording,” **IEICE Trans. Electronics**, 2013.
10) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, “A Two-Dimensional Coding for Bit-Patterned Media Magnetic Recording System”, **ECTI Transaction 2013**.
11) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A Constructive Inter-Track Interference Coding Scheme for Bit-Patterned Media Recording System“, in Proc. of The 58th Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference 2013.
12) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A Constructive Inter-Track Interference Coding Scheme for Bit-Patterned Media Recording System”**, Journal of Applied Physics 2014**.
13) P. Kovintavewat, A. Arrayangkool and C. Warisarn, “An ITI-Mitigating 8/9 Modulation Code for Bit-Patterned Media Recording,” IEEE International Magnetics Conference, INTERMAG Europe 2014, 2014.
14) P. Kovintavewat, A. Arrayangkool and C. Warisarn, “An ITI-Mitigating 8/9 Modulation Code for Bit-Patterned Media Recording,” **IEEE Transaction on Magnetic**, 2014.
15) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, “A study of 2D coding schemes for 2D interference mitigation in bit-patterned magnetic recording channels,” The 6th NPRU National Academic Conference, 2014.
16) A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, “A Study of 2D Coding Schemes for ISI and ITI Mitigationin Bit-Patterned Media Recording Channels,” ITC-CSCC 2014, 2014.
17) C. Warisarn, A. Arrayangkool, and P. Kovintavewat, “An ITI-Mitigating 5/6 Modulation Code for Bit-Patterned Media Recording,” in Proc. of The 58th Annual Magnetism and Magnetic Materials (MMM) Conference 2014, 2014. (under review process)
18) Wiparat Busyatras, Autthasith Arrayangkool, Chanon Warisarn, Piya Kovintavewat, Lin M. M. Myint, and Pornchai Supnithi, “Estimating the Track Mis-Registration base on Readback Signal in Bit Patterned Recording Systems,” ITC-CSCC 2014.

13. ทุนวิจัยที่กำลังดำเนินงานอยู่

ไม่มี

14. ทุนวิจัยที่อยู่ในระหว่างการยื่นขอทุน

ไม่มี

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงการศึกษาหลักการ พื้นฐานการควบคุมและใช้งานหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและการพัฒนาระบบประมวลผลภาพ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งสามารถนำไปออกแบบและพัฒนาเป็นระบบที่นำเสนอในโครงการนี้ได้

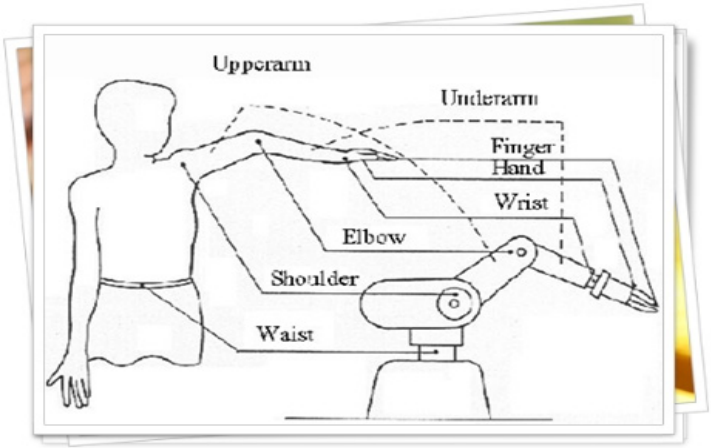
2.1 พื้นฐานหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

ในส่วนนี้ จะเป็นการกล่าวถึง ส่วนประกอบของหุ่นยนต์โดยมองเป็นระบบ หัวข้อที่จะกล่าวถึงในบทนี้มีดังต่อไปนี้

2.1.1 ความหมายของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

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

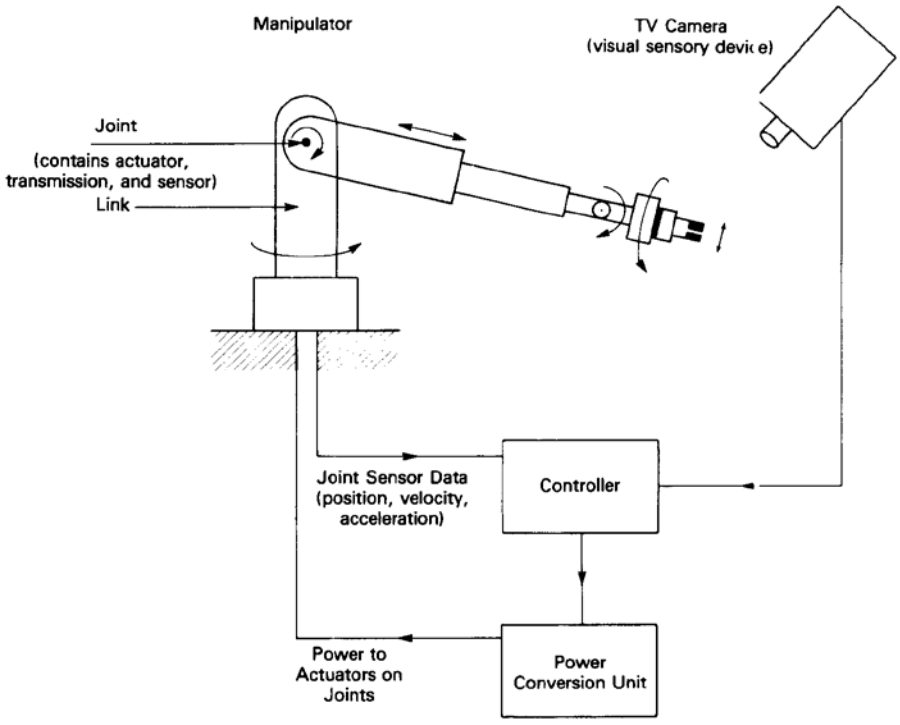
การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเลียนแบบร่างกายของมนุษย์ โดยจะเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเท่านั้น นั่นคือช่วงแขนของมนุษย์ ดังนั้น บางคนอาจจะได้ยินคำว่า “แขนกล” ซึ่งก็หมายถึงหุ่นยนต์อุตสาหกรรม การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ แสดงดังรูป



ปัจจุบันและในอนาคตหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมมากขึ้น โดยจะทำงานแทนมนุษย์ในงานต่างๆ เหล่านี้งานที่อันตราย เช่น งานยกเหล็กเข้าเตาหลอม งานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี งานซ้ำซากน่าเบื่อ เช่น งานยกสินค้าจากสายงานการผลิต งานประกอบ งานบรรจุผลิตภัณฑ์งานที่ต้องการคุณภาพมาตรฐานเดียวกัน เช่น งานเชื่อม งานตัด งานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง เช่น งานเชื่อมแนว เชื่อมเลเซอร์ งานที่ต้องใช้ความละเอียดประณีต เช่น งานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ งานตรวจสอบ (Inspection) ฯลฯ

ซึ่งเรื่องราวในแวดวงที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ ในความเป็นจริง จะเกี่ยวข้องกับ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า และ วิศวกรรมซอฟแวร์อย่างไรก็ตาม ในการนำวิทยาการที่แตกต่างมาสัมพันธ์กันเพื่อทางานร่วมกัน เป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะซับซ้อนมาก รายละเอียดที่กล่าวถึงต่อไปนี้ จะใช้วิธีกล่าวถึงรายละเอียดจาก บน-ลง-ล่าง (top-down description) เพื่ออธิบาย รายละเอียดที่ซับซ้อนของระบบหุ่นยนต์ซึ่งควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นถึง การทำงานของระบบย่อยแต่ละระบบ แผนผังการทำงาน แต่ละส่วน และเป็นการแสดงให้เห็นว่า “เมื่อใด” และ “ทำไม” การทำงานที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันจึงเกิดขึ้น

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบหุ่นยนต์



จากรูปจะเห็นได้ว่า ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเป็นดังนี้

1. ชุดปฏิบัติการ (Manipulators) ชุดปฏิบัติการประกอบด้วย แขนหลายแขนต่อเรียงลำดับกัน เรียก แขน เหล่านี้ว่า แกนเชื่อมต่อ (links) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วย จุดหมุนเชื่อมต่อ (joints) ชุดปฏิบัติการ โดยตัวมันเอง ประกอบด้วยส่วนประกอบหลายส่วนด้วยกัน ดังนี้คือ แกนเชื่อมต่อหลัก (Major linkages) แกนเชื่อมต่อรอง (Minor linkages) และตัวปฏิบัติการปลายสุด (End effector) คือนิ้วจับหรือเครื่องมือทางาน (gripper or tool)

2. อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensory devices) เพื่อทำให้การควบคุม ชุดปฏิบัติการ ทำงานอย่างถูกต้อง จะต้องทราบว่า สภาวะ ของจุดหมุนแต่ละจุด เช่น ตำแหน่ง (position) ความเร็ว (velocity) และ อัตราเร่ง (acceleration) เป็นอย่างไร การจะทำเช่นนี้ได้ ต้องใช้ เครื่องมือตรวจจับ ควบคู่เข้ากับแกนเชื่อมต่อ-จุดหมุน ตัวตรวจจับชนิดอื่น ซึ่งอาจรวมอยู่ในระบบหุ่นยนต์ จากรูป คือ กล้องโทรทัศน์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ ระบบการตรวจจับด้วยภาพ ในบางกรณีซึ่งจะละเลยไม่ได้ก็คือ อาจมีตัวตรวจจับอีกหลายชนิดที่ต้องใช้ร่วมด้วย เป็นต้นว่า การตรวจจับที่เกี่ยวกับ การสัมผัส (tactile) หรือ ย่านระยะ (ranging) ซึ่งเป็น อุปกรณ์ด้าน เสียง (sonic) หรือ แสง (optic)

3. ชุดควบคุม (Controllers) หมายถึง “ภูมิปัญญา” (intelligence) ที่สามารถทำให้ ชุดปฏิบัติการ ทางานได้ตามที่ผู้ฝึกสอน หรือผู้ใช้ต้องการ ชุดควบคุมประกอบด้วย สิ่งที่จำเป็นต้องมีต่างๆดังนี้

หน่วยความจำ เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ตำแหน่ง (เช่น มุม และ ระยะทางของจุดหมุน) ที่แขนได้เคลื่อนไป และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับลาดับขั้นการทำงาน (program) ของ ระบบหุ่นยนต์

ตัวจัดลำดับขั้นการทำงาน (sequencer) ซึ่งใช้แปลความหมาย ของข้อมูลที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ และ ทำให้ข้อมูลนั้นให้อยู่ในรูปแบบที่ อุปกรณ์ต่างๆในระบบ สามารถนำไปใช้เชื่อมต่อกับ ชุดควบคุมได้

หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ ที่จัดการ การคำนวณ ทางคณิตศาสตร์ ที่จำเป็น เพื่อช่วย การทำงานของ ตัวจัดลำดับขั้นการทำงาน

การเชื่อมต่อของข้อมูลการตรวจจับ (เช่น ตำแหน่งของจุดหมุน แต่ละตัว หรือ ข้อมูลจากระบบการมองภาพ) เพื่อป้อนให้กับ ตัวจัดลำดับขั้นการทำงาน

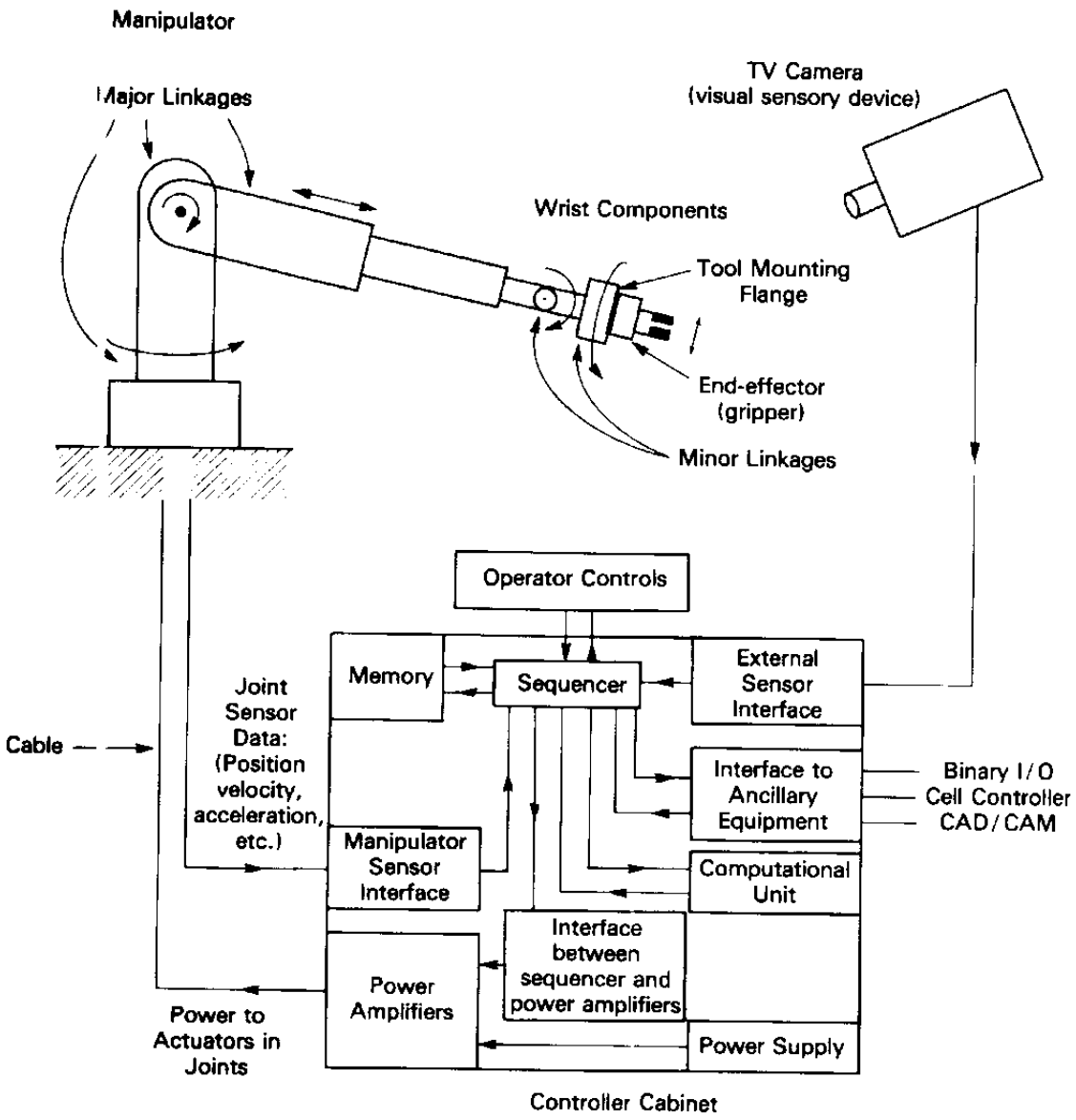
การเชื่อมต่อเพื่อโอนถ่ายข้อมูลจากตัวจัดลำดับขั้นการทำงาน ให้กับ ชุดแปลงกาลังงาน เพื่อทำให้ จุดหมุนเคลื่อนที่ ไปได้ตามความต้องการ

การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลัก (ancillary equipments) อื่นๆในระบบ ทำให้หุ่นยนต์ สามารถทำงาน พ้องจังหวะ (synchronize) กับ ชุดควบคุม อุปกรณ์หลักภายนอกได้ (เช่น มอเตอร์ และ วาล์วไฟฟ้า) และ/หรือ ระบุ สภาวะของ ตัวตรวจจับ เช่น ลิมิตสวิตช์ ที่ใช้บอกตำแหน่ง

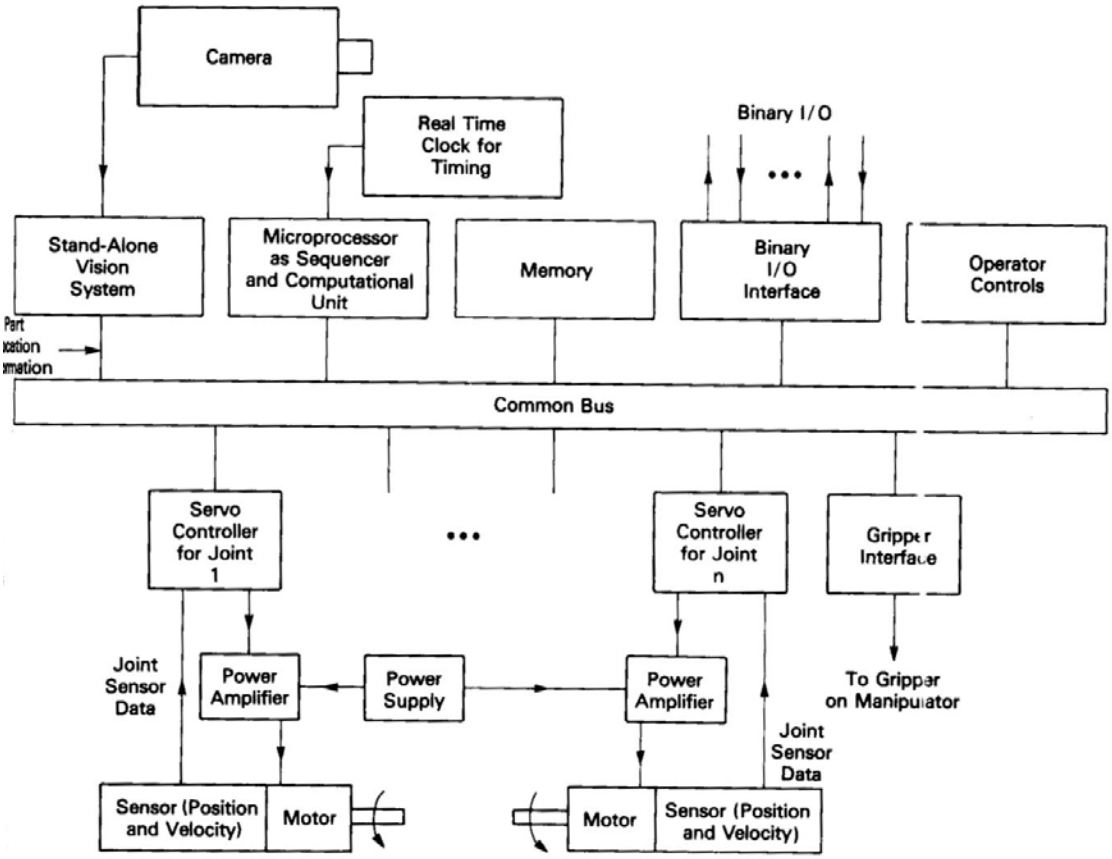
หน่วยควบคุมอีกบางชนิด สำหรับ ผู้ฝึกสอน(ผู้ใช้) ใช้แสดง ตำแหน่ง หรือ จุด เพื่อบอก ลำดับการปฏิบัติงาน ในการควบคุม ระบบหุ่นยนต์ รูปแบบการควบคุม อาจอยู่ในลักษณะเป็น แผงหรือควบคุม ซึ่งมีฟังค์ชันการควบคุมแบบคงที่ แผงป้อนโปรแกรมภาษาควบคุม และ/หรือ “แป้นสอนการทางาน” (teach pendent) หรือ อุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกัน ที่มีเมนู ชุดคำสั่ง สาหรับให้ ผู้ปฏิบัติงาน สามารถฝึกสอนหุ่นยนต์ได้

4. ชุดแปลงกำลังงาน (Power conversion units) ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่จำเป็น สำหรับนำสัญญาณจาก ตัวจัดลำดับขั้นการทำงาน (ซึ่งอาจเป็น ดิจิทัล หรือ แอนะล็อก ระดับต่า) แล้วแปลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ที่สามารถส่งให้ ตัวปฏิบัติการใช้งานได้ อาจประกอบด้วย ชุดขยายอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และ ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับ หุ่นยนต์ไฟฟ้า ในกรณีที่เป็น ไฮดรอลิกส์ จะประกอบด้วย ชุดอัดความดันน้ำมัน (compressor) และ ชุดควบคุมวาล์ว

รูปแบบของชุดควบคุมหุ่นยนต์ (Implementation of robot controller)



จากรูป แสดงรายละเอียด ส่วนประกอบหลักสี่ส่วนของ ระบบหุ่นยนต์ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละส่วนเข้าด้วยกันโดยตรง จากลักษณะของอุปกรณ์ที่มีอยู่ตามรูป เป็นไปได้ที่จะสามารถ กาหนด รูปแบบการควบคุมหุ่นยนต์ได้หลายรูปแบบ นอกจากนั้นยังมีอีกหนึ่งรูปแบบคือ



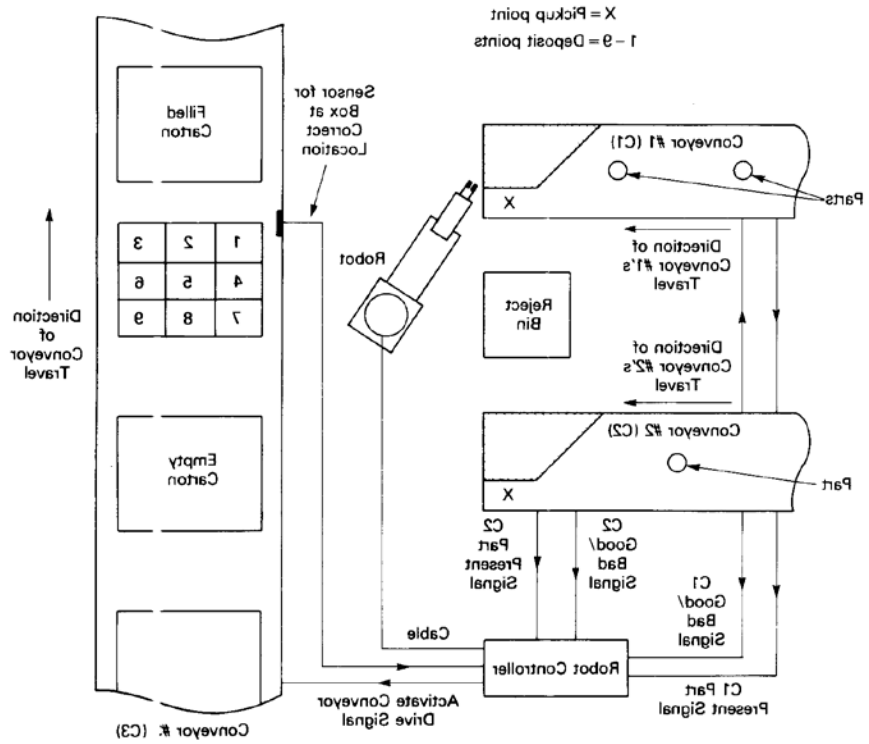
ซึ่งรูปนี้จะเป็นการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวเดียวเป็นตัวจัดลาดับขั้นการทำงาน และ หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์สายบัสกลาง เป็น บัสที่ใช้ร่วมกันระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ หน่วยการมองภาพ

จากการจัดรูปแบบทั้งสองทำให้เราเห็นการจัดการรูปแบบ ที่แตกต่างกัน โดยใช้ อุปกรณ์ในระบบที่เหมือนกัน คือ ชุดปฏิบัติการ (Manipulator) สายเคเบิลสำหรับเชื่อมต่อ (Connecting cable) แผงตัวควบคุม (Controller cabinet) การควบคุมชุดปฏิบัติงาน (Operator control) และชุดตรวจจับภายนอก (External sensors)

การประยุกต์ใช้งานของระบบหุ่นยนต์ (Application of robot system) ระบบหุ่นยนต์โดยตัวมันเอง ก็มีขีดจกัดในการนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยปกติต้องนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่น แล้ว ทำการโปรแกรม หรือ สอน เพื่อให้ทำงานบางอย่างที่มีประโยชน์ได้ คำว่า เซลล์ทำงาน (Workcell) เป็นคำที่ใช้ในความหมายเมื่อ นำระบบอัตโนมัติมารวมกัน และ ควบคุมให้ทำงานที่เฉพาะเจาะจงบางอย่างได้ เซลล์ทำงาน อาจประกอบด้วย หุ่นยนต์หลายตัว รวมอยู่กับอุปกรณ์อัตโนมัติแบบตายตัว (fixed automation) เช่น ชุดป้อนชิ้นงาน (parts feeder) หรือ

สายพานลำเลียง (conveyor) ซึ่งการทำงานของหุ่นยนต์ในลักษณะเฉพาะเจาะจงมีอยู่สองรูปแบบ คือเป็น ชุดควบคุมเซลล์ (Cell controller) และเป็น อุปกรณ์เสริมร่วม (Peripheral device)

หุ่นยนต์เมื่อทำงานเป็นชุดควบคุมเซลล์ทำงาน (Robot as a cell controller) จะเป็นดังรูปต่อไปนี้

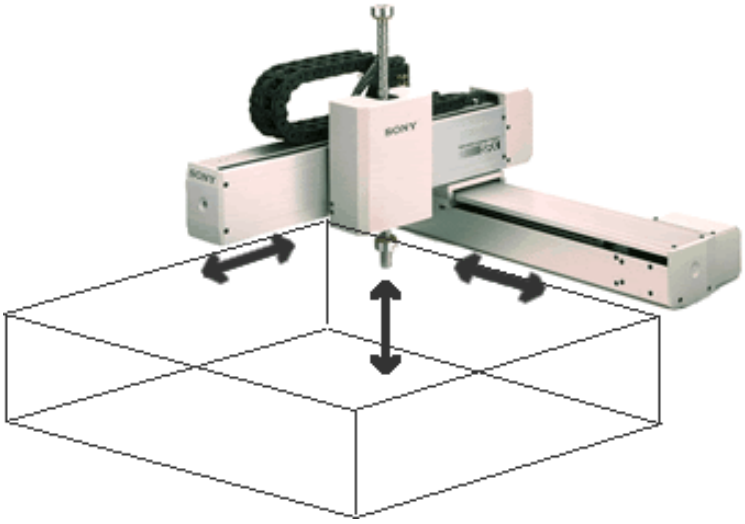


คุณลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์แต่ละประเภทและฟังก์ชันการทำงานของหุ่นยนต์

โดยทั่วไปการแบ่งประเภทของหุ่นยนต์จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric) แต่ก่อนจะอธิบายชนิดของหุ่นยนต์ขออธิบายการทำงานของจุดต่อ (Joint) ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งในขั้นพื้นฐานมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ แบบเส้นตรง (Prismatic) แบบหมุน (Revolute) จุดต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไปดังนี้

1. หุ่นยนต์ Cartesian (Gantry) Robot

มีลักษณะที่ประกอบด้วยแกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด Gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่นเรียกว่า ชนิด Cartesian



ข้อดีของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ

- การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย

- มีส่วนประกอบง่ายๆ

- โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

ข้อเสียของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก

- บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์

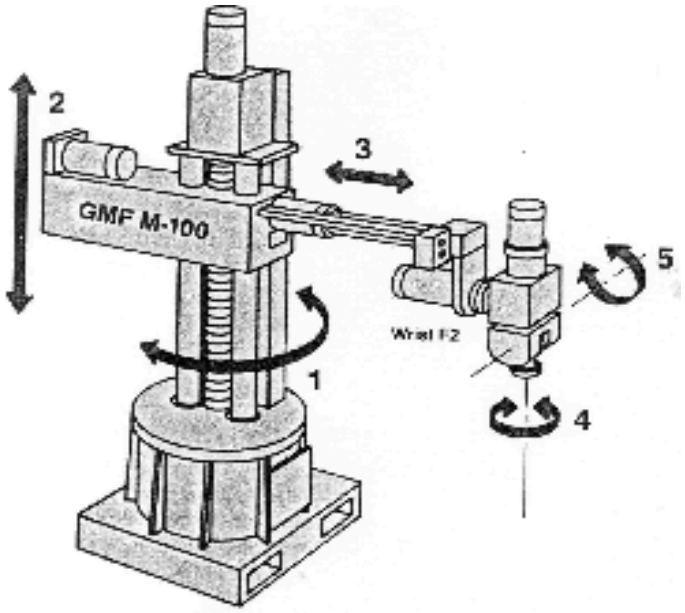
- ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้

- แกนแบบเชิงเส้นจะ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

การประยุคต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้ : เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเคลื่อนย้ายของหนักๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่น ใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงาน Test ต่างๆ

2. หุ่นยนต์ Cylindrical Robot

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล่) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ Prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (Revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูป



ข้อดีของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน

- การเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย

- สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด-ปิด หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่องหรือโพรงได้ง่าย (Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC

ข้อเสียของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

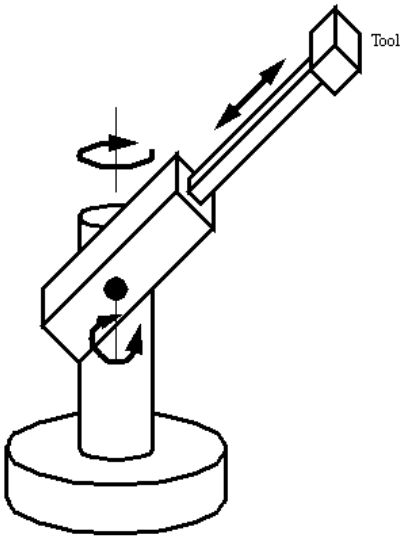
- มีพื้นที่ทำงานจำกัด

- แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลว

การประยุคต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้ : โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็กๆ ได้สะดวก

3. หุ่นยนต์ Spherical (Polar) Robot

มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ดังรูป



ข้อดีของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- มีปริมาตรการทำงานมากขึ้นเนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่)
- สามารถที่จะก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

ข้อเสียของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบ ที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนขึ้น

การประยุคต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้ : ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

4. หุ่นยนต์ SCARA Robot

หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูป หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูง

ข้อดีของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว
- มีความแม่นยำสูง

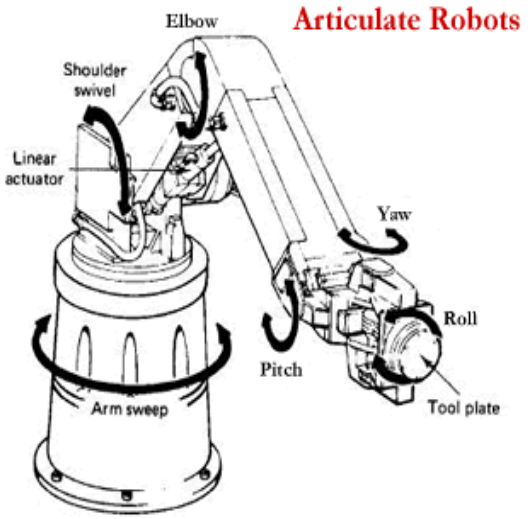
ข้อเสียของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- มีพื้นที่ทำงานจำกัด
- ไม่สามารถหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆได้
- สามารถยกน้ำหนัก (Payload) ได้ไม่มากนัก

การประยุคต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้ : เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็ว จึงเหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ก็ไม่ต้องการการหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical Part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (Rotation)ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ SCARA Robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

5. หุ่นยนต์ Articulated Arm (Revolute)

เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจึงเหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ก็ไม่ต้องการการหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical Part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (Rotation)ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ SCARA Robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)



ข้อดีของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะ ของการหมุนทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุดต่างๆ

- บริเวณข้อต่อ (Joint) สามารถ Seal เพื่อป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือน้ำ ได้ง่าย

- มีพื้นที่การทำงานมาก

- สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบน ด้านล่าง

- เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นชุดขับเคลื่อน

ข้อเสียของหุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้แก่

- มีระบบพิกัด (Coordinate) ที่ซับซ้อน

- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความ เข้าใจได้ยากขึ้น

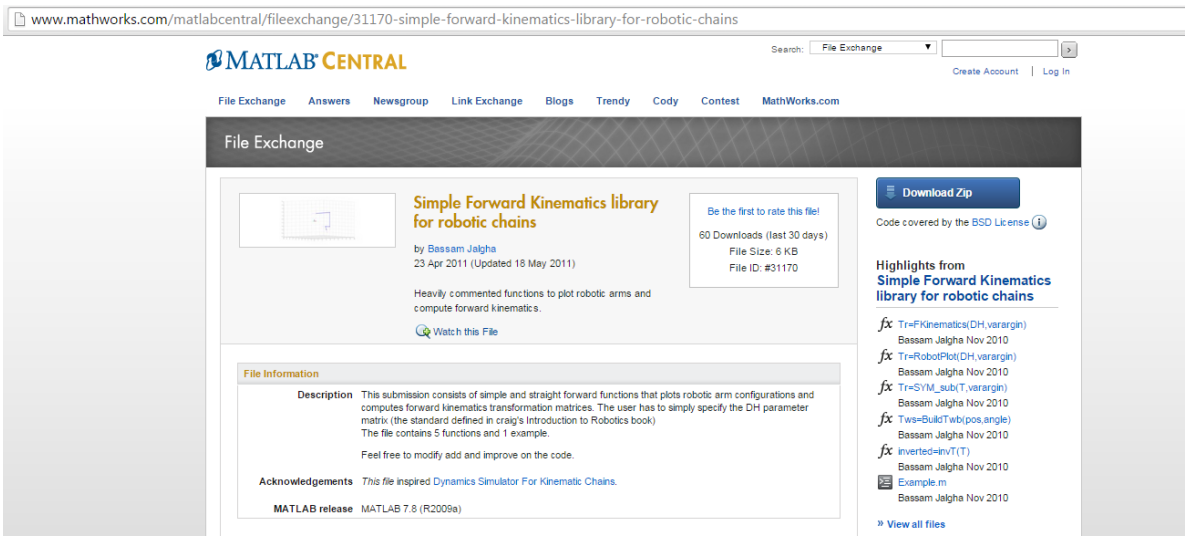
- ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก

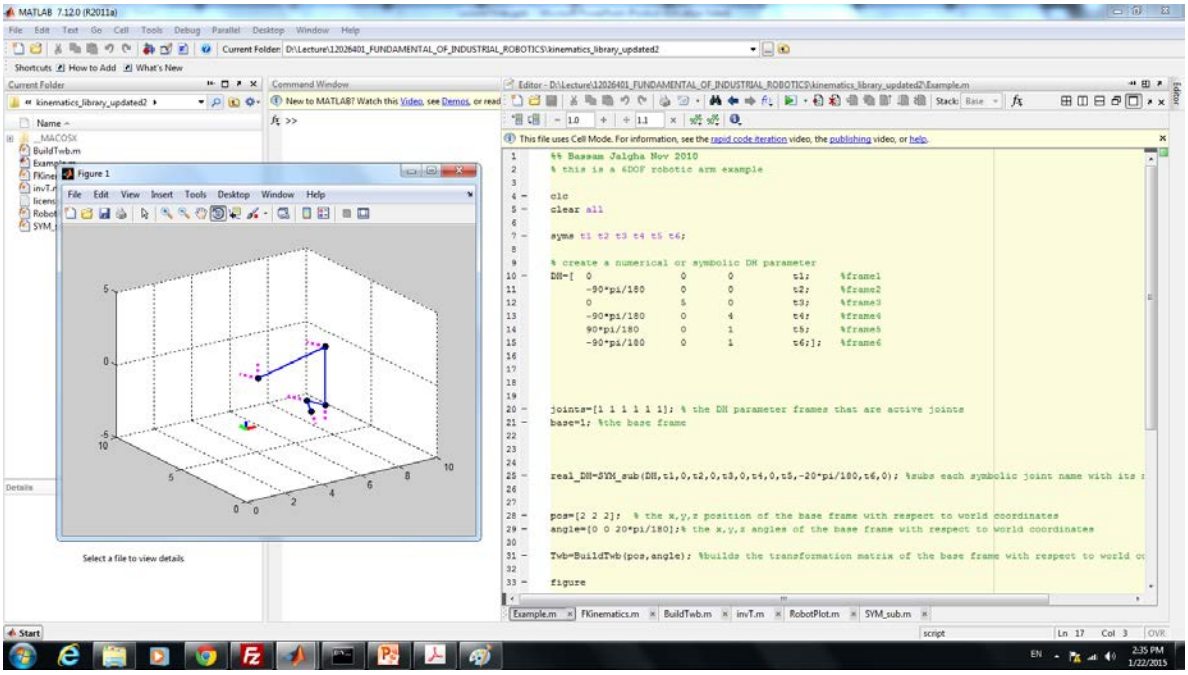
- โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณขอบ Work Envelope ปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่ยำลดลง

การประยุกต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้ : หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่างๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยากๆ เช่น งานพ่นสี งาน Sealing ฯลฯ

การเลือกประเภทของหุ่นยนต์ที่จะนำมาใช้งาน ควรพิจารณาให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำดังที่อธิบายไว้เบื้องต้น รวมถึงควรพิจารณาข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดในการทำงานด้วย

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนหลักการทางด้าน Robot Kinematic และ D-H จากโปรแกรมใน Matlab ต่อไปนี้





http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31170-simple-forward-kinematics-library-for-robotic-chains

เมื่อเราทราบหลักการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแล้ว เรายังได้ทำการทดสอบการใช้งานหุ่นยนต์อุตสาหกรรม EPSON SCARA ซึ่งมีลักษณะเป็นแขนกล 4 แกน โดยมีรายละเอียดดังนี้

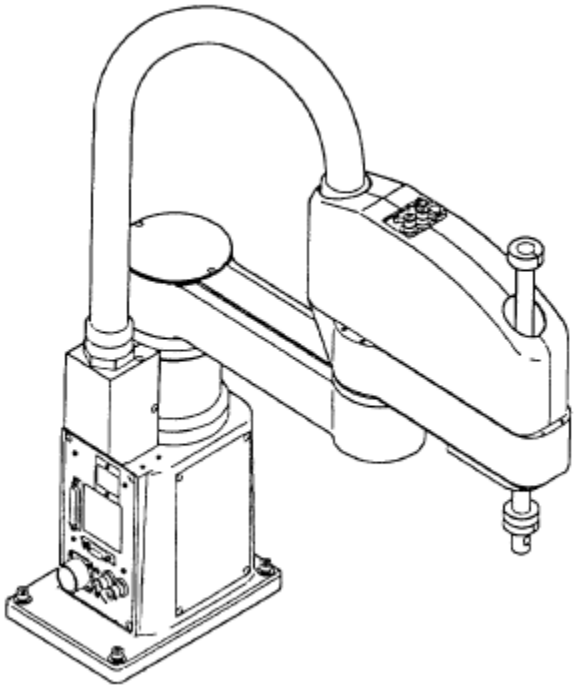
ในส่วนต่อไปนี้ จะเป็นการกล่าวถึง ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ EPSON SCARA รวมถึงการใช้งานเบื้องต้น โดยหัวข้อที่จะกล่าวถึงในบทนี้ มีดังต่อไปนี้

1. ลักษณะและองค์ประกอบของหุ่นยนต์ EPSON SCARA

2. การใช้งานโปรแกรม SPEL เพื่อสั่งงานหุ่นยนต์เบื้องต้น

ลักษณะและองค์ประกอบของหุ่นยนต์ EPSON SCARA

หุ่นยนต์ EPSON SCARA เป็นหุ่นยนต์ประเภท SCARA Robot ซึ่งประกอบไปด้วย 4 แกน หรือ degree of freedom (DOF) โดยแกนที่ 1 และ 2 เป็น revolute joint แกนที่สามเป็น prismatic joint เคลื่อนที่ในแนวขึ้นและลง และแกนที่ 4 เป็น revolute joint เพื่อหมุนเปลี่ยนมุมของ end effector ดังรูป

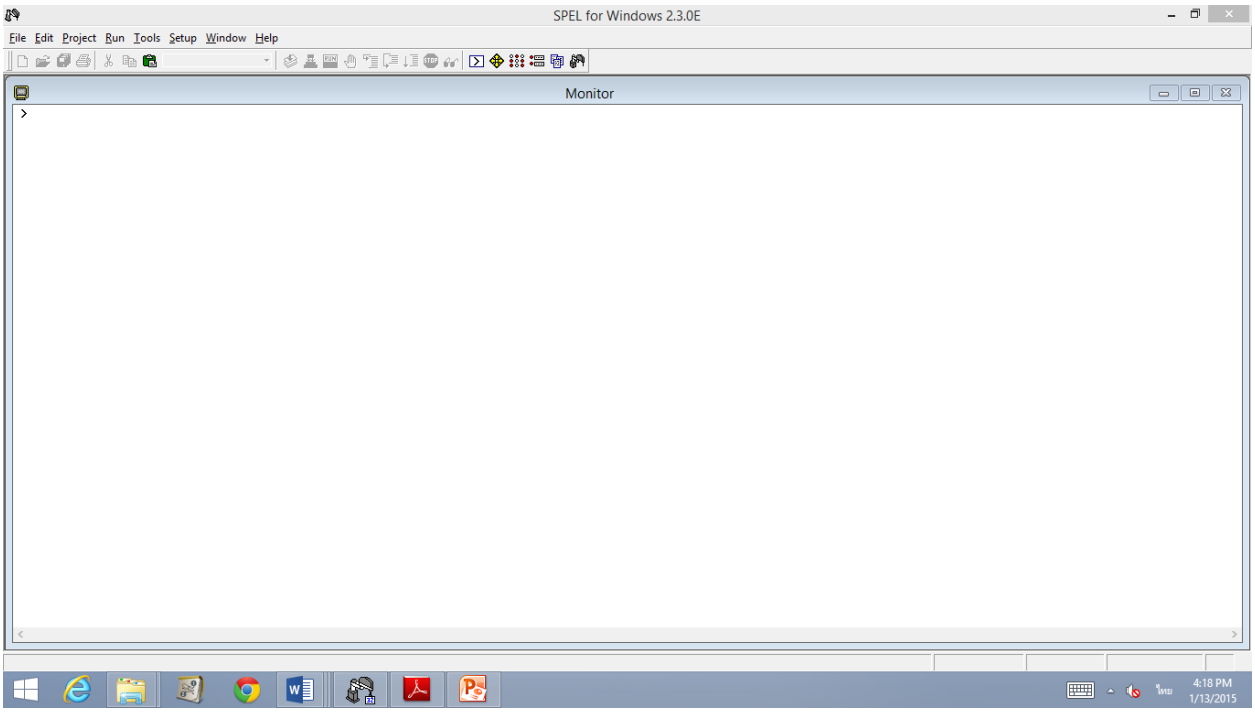


ส่วนที่ 2 จะเป็นตัวควบคุมหุ่นยนต์ (robot controller) มีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ รวมถึงจัดการไฟฟ้าที่จะต้องป้อนให้ตัวหุ่นด้วย นอกจากนั้นยังเป็นตัวกลางการเชื่อมต่อกับตัวหุ่นและคอมพิวเตอร์ โดยการเชื่อต่อกับคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้พอร์ทสั่งการที่เรียกว่า Teach Port เพื่อทำการโปรแกรมหรือสั่งการหุ่นยนต์ โดยตัวควบคุมนี้มีหลอดไฟ และตัวเลขแสดงสถานะการทำงานดังรูป

ส่วนการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้ serial port ของคอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่งการ ซึ่งเบื้องต้นจะใช้โปรแกรม SPEL ในการควบคุมหรือสั่งการตัวหุ่น

การใช้งานโปรแกรม SPEL

โปรแกรม SPEL เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการตั้งค่า สั่งการเบื้องต้น หรือเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการหุ่นยนต์ EPSON SCARA ซึ่งหน้าต่าง จะประกอบไปด้วยปุ่มเครื่องมือต่างๆดังนี้



ใช้สำหรับการเปิดหน้าต่างใหม่เพื่อทำการเขียนโปรแกรม

ใช้สำหรับเปิดโปรแกรมที่ถูกบันทึกไว้

ใช้สำหรับบันทึกโปรแกรม

ใช้สำหรับ compile program

ใช้สำหรับ build project

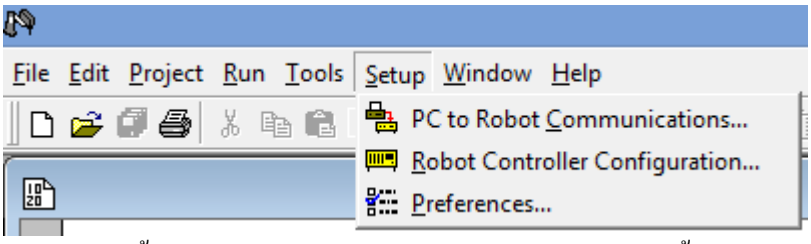
ใช้เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมและสั่งการหุ่นยนต์ตามโปรแกรมนั้น

ใช้งาน monitor mode เพื่อทดสอบโดยการสั่งการหุ่นยนต์ทีละคำสั่ง

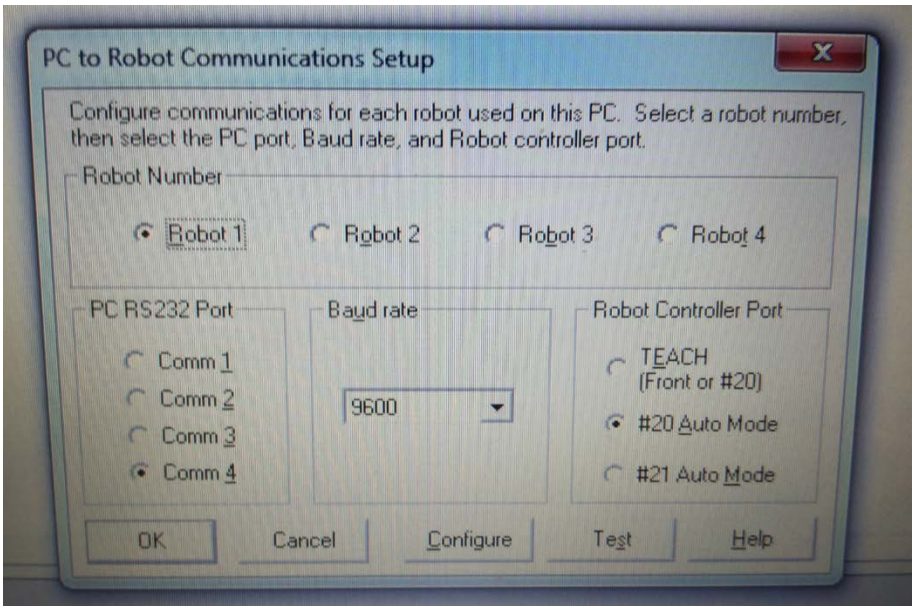
ใช้งาน jog and teach mode เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ที่ละขั้นตอนและการสอนหุ่นยนต์เกี่ยวกับพิกัดที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ใช้ตั้งค่าเบื้องต้นของหุ่นยนต์ เช่น กำลัง (power) และความเร็ว (speed) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่

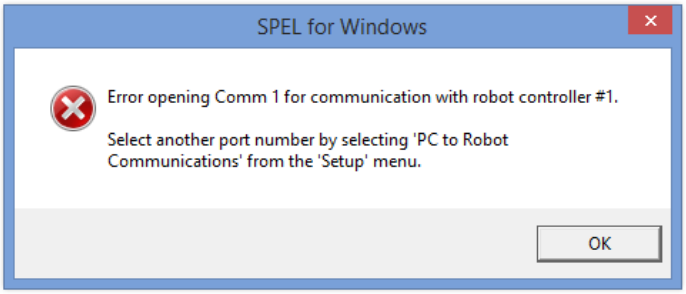
ในขั้นตอนแรกของการใช้งานให้ทดสอบการเชื่อมต่อระหว่าง computer แขนกลและตัวควบคุม โดยไปที่ Setup → PC to Robot Communication



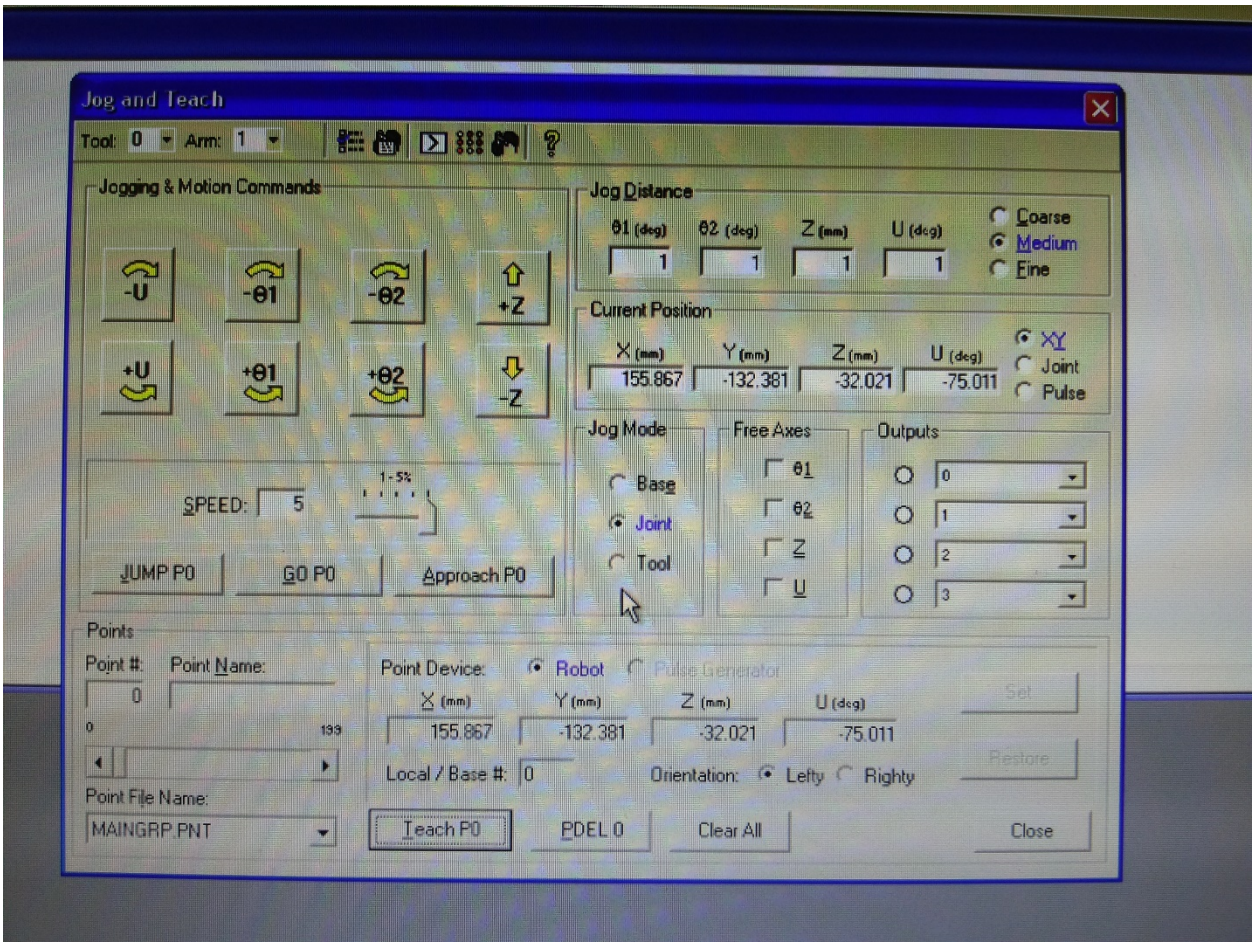
ให้ตั้งค่า Robot Number ตามหมายเลขหุ่นยนต์ และตั้งค่า PC RS232 Port ให้เป็นหมายเลขของ serial port ที่เครื่องคอมพิวเตอร์นั้นต่อเชื่อมอยู่ ตั้งค่า Baud rate เป็น 9600 และ Robot Controller Port เป็น TEACH หลังจากนั้นให้กด Test



ถ้าการเชื่อมต่อล้มเหลวจะมีการแจ้งเตือน แสดงให้เห็นตามรูปด้านล่าง ซึ่งอาจจะต้องทำการแก้ไขโดยการเช็คการเชื่อมต่อใหม่ หรือทดลอง restart เครื่องคอมพิวเตอร์และ controller อีกครั้ง



หลังจากนั้น ให้ไปที่ เพื่อใช้งาน jog and teach mode เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ละขั้นตอน โดยใน jog and teach mode หน้าจะเป็นดังรูป

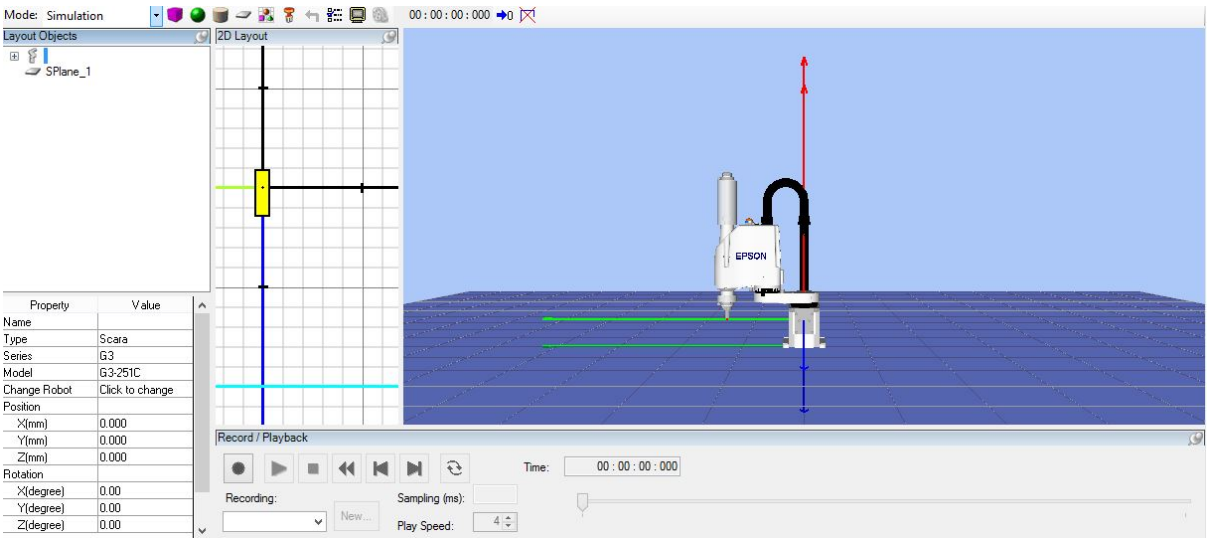


นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาภาษา SPEL เพื่อควบคุมการทำงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและทำการหยิบจับวัตถุได้จากคำสั่งพื้นฐานดังต่อไปนี้

```
FUNCTION modtest3
        P0 = 249.970, 3.827, -62.201, -0.416
        P1 = -204.356, 70.875, -40.202, 189.580
        P2 = 123.178, -107.426, -60.960, 88.298
        MOTOR ON
        WHILE 1
                POWER HIGH
                SPEED 25
```

```
            GO P0
            OUT 0, 16
            POWER LOW
            SPEED 5
            GO P1
            OUT 0, 32
            POWER HIGH
            SPEED 25
            GO P2
        WEND
FEND
```

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาการทำงานของ ROBOT SCARA และ ROBOT ชนิดต่างๆได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EPSON RC+ V5.0 ก่อนที่จะไปใช้ ในอุปกรณ์จริง ดังภาพ



2.2 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ โดยข้าพเจ้าได้สนใจด้านการหาขอบภาพซึ่งกระบวนการนี้มีประโยชน์มากในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็นการแยกวัตถุในไลน์การผลิตในโรงงาน ด้านการแพทย์เช่น ใช้ในการจำแนกอวัยวะต่างๆจากภาพถ่าย ทำให้เห็นความชัดเจนของเส้นขอบวัตถุ

การแยกขอบภาพ (Edge Detection) นั้นมีด้วยกันหลายหายวิธี โดยข้าพเจ้าสนใจวิธี Canny Edge Detection

Canny Edge Detection

Canny Edge Detector คือวิธีการหาขอบของภาพโดยใช้ algorithm หลายขั้นตอน เพื่อให้ได้ขอบของภาพในหลายๆช่วง สร้างโดย John F. Canny

ขั้นตอนในการทำ Canny Edge Detectorมีดังต่อไปนี้

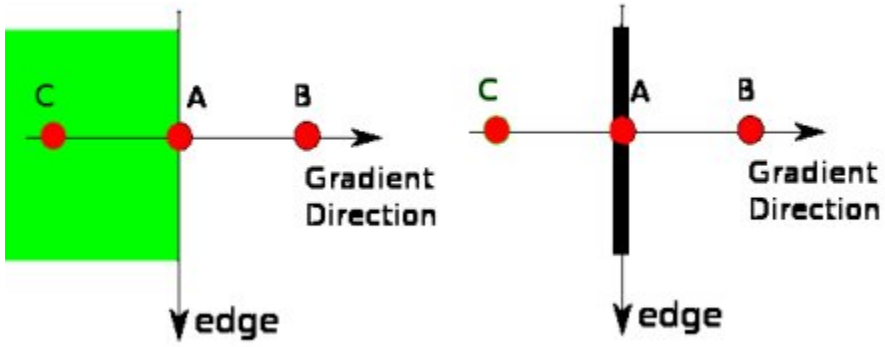
1. Gaussian Filter ทำการ blur ภาพ โดยการใช้ Gaussian Filter เพื่อทำการลด noise ของภาพต้นฉบับ
2. Gradient Operation ซึ่งในที่นี้จะใช้ วิธี Sobel เพื่อทำการหา first derivative ในแนวนอน (G_x) และแนวตั้ง (G_y)ของภาพ โดยสมารถหา Gradient Direction และ Gradient Magnitude ของแต่ละ pixel ได้ดังนี้

$$Edge_Gradient\ (G) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$Angle\ (\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

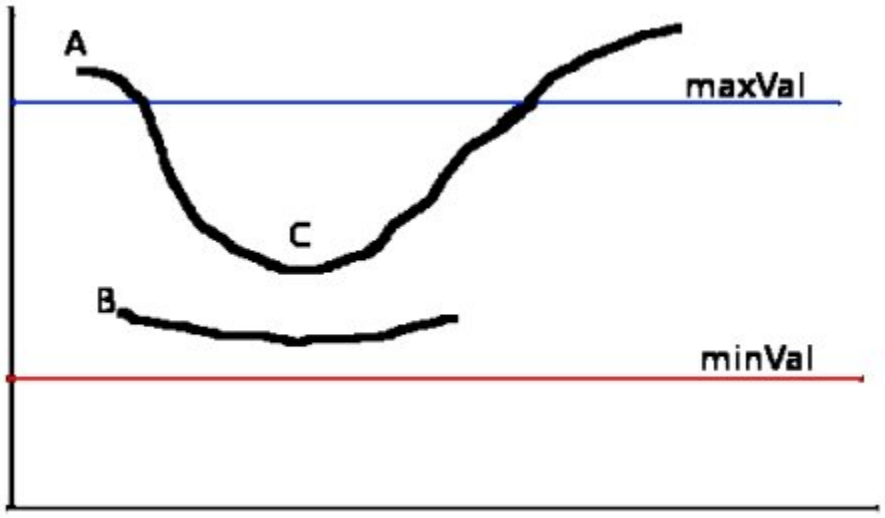
โดย Gradient Direction จะตั้งฉากกับเส้นขอบ

3. Non maximum เป็นขั้นตอนที่จะทำการแบ่งชนิด ของแต่ละ pixel โดยดูจาก Gradient Direction หลังจากนั้น นำค่า Gradient Magnitude ของ pixel ข้างเคียง มาเปรียบเทียบ เพื่อคัดเลือก ขอบของภาพ ทำให้ได้ขอบที่คมชัดและ บางยิ่งขึ้น



จุด A คือจุดที่เป็นเส้นขอบ (ในแนวตั้ง) , Gradient Direction จะตั้งฉากกับเส้นขอบ จุด B และ C จะอยู่บน Gradient Direction

4. Double threshold คือ การกำหนดค่า threshold สองค่า ได้แก่ Low threshold (minVal) และ high threshold(maxVal) เพื่อทำการคัดเลือก pixel ที่เป็นเส้นขอบ โดยเส้นขอบที่มี intensity Gradient มากกว่า maxVal จะถือว่าเป็นดส้นขอบ (Sure Edge) เส้นขอบที่มี intensity Gradient น้อยกว่า minVal จะถูกตัดออก ส่วนเส้นขอบที่มี intensity Gradient อยู่ระหว่างนี้ จะถูกเลือกเป็นเส้นขอบได้จะต้องมีส่วนที่เชื่อมต่อกับ Sure Edge อย่างน้อย 1 pixel



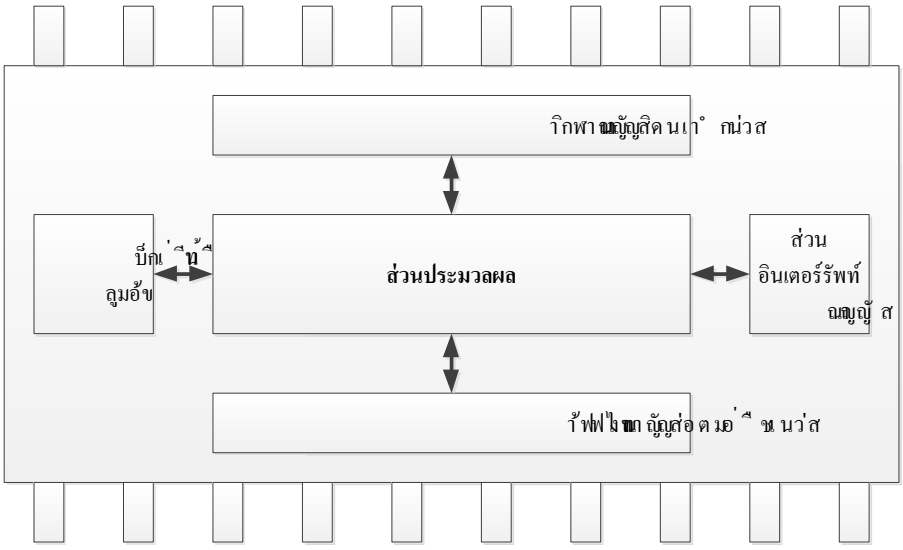
2.3 แพลตฟอร์ระบบสมองกลฝังตัว

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายการศึกษาพื้นฐานทางด้านองค์ประกอบและการใช้งานระบบสมองกลฝังตัว โดยแบบเป็นหัวข้อย่อได้ดังนี้

2.3.1 ไมโครโพรเซสเซอร์คืออะไร

ไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ประมวลหรือควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ให้มีความสามารถในการทำงานมากขึ้นโดยเราสามารถเปลี่ยนแปลงลำดับการทำงานได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขโปรแกรมภายในหน่วยความจำ ทำให้เราสามารถนำไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น ระบบอัตโนมัติของเครื่องซักผ้า หรือระบบสมองกลของรถยนต์เป็นต้น ซึ่งภายในจะมีโครงสร้างหลักอยู่ 5 ส่วนใหญ่คือ ส่วนประมวลผล, ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล, ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า, ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และส่วนอินเตอร์รัพท์สัญญาณ

โครงสร้างทั้ง 5 ส่วนจะทำงานสัมพันธ์กันซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกันไป ดังนี้



รูปแบบโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนประมวลผล

ส่วนประมวลผล (processing unit) คือส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณทางคณิตศาสตร์ หรือ การตัดสินใจแบบมีเงื่อนไข (logic) ซึ่งจะมีการทำงานที่ซับซ้อน โดยลำดับในการทำงานของส่วนประมวลผลจะขึ้นอยู่กับการจัดลำดับคำสั่งในการทำงาน (programming code) ซึ่งบรรจุอยู่ภายในของส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล

ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล

ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล (memory unit) สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ แบบชั่วคราว (RAM: random access memory) และแบบกึ่งถาวร (EPROM: erasable programmable read only memory)ซึ่งพื้นที่เก็บข้อมูลแบบชั่วคราวนี้จะเป็นข้อมูลที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดและถูกใช้เป็นข้อมูลในการเก็บค่าตัวแปรในการคำนวณ (Variable) โดยทั่วไปข้อมูลประเภทนี้จะสูญหายเมื่อเราหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนแบบกึ่งถาวรจะเป็นข้อมูลที่ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งการทำงาน (code) ซึ่งข้อมูลประเภทนี้เราสามารถเปลี่ยนแปลงได้แต่ต้องใช้กรรมวิธีพิเศษ แต่ข้อมูลจะไม่สูญหายแม้ว่าเราจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วก็ตาม

ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า

ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า (interface unit) จะทำหน้าที่ติดต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีอยู่ 2 แบบคือ อินพุทและเอาท์พุทแบบดิจิตอล (digital I/O) โดยจะรับข้อมูลและส่งข้อมูลด้วยสัญญาณดิจิตอล (digital signal) และแบบอินพุทและเอาท์พุทแบบอนาล็อก (analog I/O) ซึ่งใช้ในการรับส่งสัญญาณแบบอนาล็อก (analog signal) จะมีในบางรุ่นเท่านั้น

ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator circuit) ซึ่งมีอุปกรณ์หลักคือ คริสตอล (X-TAL) มากำหนดช่วงเวลาในการประมวลผล (execute time)ของส่วนประมวลผลโดยจะมีผลต่อความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้สัญญาณนาฬิกายังใช้กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรม (digital serial communication signal) และกำหนดความถี่ในส่วนของตัวตั้งเวลา (timer) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย

ส่วนอินเตอร์รัพท์สัญญาณ

ส่วนอินเตอร์รัพท์สัญญาณจะทำหน้าที่จัดลำดับความสำคัญในการทำงานในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในลักษณะหลายงานพร้อมกัน (multitasking) ซึ่งจะอำนวยความสะดวกอย่างมากในการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการทำงานลักษณะนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครโปรเซสเซอร์

หลายครั้งที่เราสับสนกับความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครโปรเซสเซอร์ว่ามีลักษณะคล้ายหรือแตกต่างกันอย่างไร คำว่า ไมโครโปรเซสเซอร์(microprocessor) จะหมายถึงอุปกรณ์ประมวลผลขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เฉพาะการประมวลผลเท่านั้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์จะติดต่อสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิตอลกับอุปกรพวกเมโมรีหรืออุปกรณ์หน่วยความจำ (memory component) ซึ่งจะให้ขนาดของกระแสของสัญญาณไม่สูงมาก แต่ในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) จะมีลักษณะคล้ายกับไมโครโปรเซสเซอร์คือเป็นอุปกรณ์ในการประมวลผล แต่สิ่งที่เพิ่มเข้ามาคือไมโครคอนโทรลเลอร์มีส่วนของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก (interface unit)ทำให้สามารถขับกระแสได้สูงมากกว่าไมโครโปรเซสเซอร์มาก ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความยืดหยุ่นในการออกแบบวงจรเชื่อมต่อกับวงจรภายนอกและเหมาะกับงานควบคุมมากกว่าไมโครโปรเซสเซอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในชีวิตประจำวัน

ในชีวิตประจำวันเราจะพบไมโครคอนโทรลเลอร์บ่อยมากแต่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกซ่อนอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เตาไมโครเวฟ เครื่องซักผ้า เครื่องเล่น DVD เครื่องเล่น MP3 และอื่นๆอีกมากมาย สาเหตุที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้กันอย่างมากก็เพราะว่าเราสามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำงานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแต่เดิมในการวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในงานควบคุมก็จะต้องเริ่มต้นออกแบบตามขั้นตอนการออกแบบแต่ถ้าเราต้องการเปลี่ยนแปลงการทำงานก็จะต้องเปลี่ยนขั้นตอนการออกแบบใหม่ทำให้เราต้องสร้างวงจรใหม่ด้วย แต่ถ้าหากนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน เราสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานได้ง่ายๆ โดยการเปลี่ยนโปรแกรมคำสั่งการทำงานภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้มีความสะดวกในการออกแบบและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานเป็นอย่างมาก

นอกจากความยืดหยุ่นในการใช้งานแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบันยังมีความสามารถมากขึ้น เช่น มีความเร็วในการคำนวณ หรือความสามารถในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ด้วย ทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าของเราสามารถเชื่อมข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

รูปตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ

2.3.2 ประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์

เรามารถแบ่งประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลักษณะการทำงานด้านการประมวลผลได้ 2 ประเภท คือ ประเภท RISC และประเภท CISC ซึ่งแต่ละประเภทจะมีการทำงานและโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC (reduced instruction set computer) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างการทำงานที่มีจำนวนชุดคำสั่งน้อยและแต่ละชุดคำสั่งจะทำงานแบบง่ายๆ แต่ความเร็วในการทำงานแต่ละคำสั่งจะสูงมากซึ่งถือเป็นข้อเด่น แต่มีข้อด้อยคือชุดคำสั่งจะทำงานอย่างง่ายๆ เช่นคำสั่งการคำนวณจะมีแค่คำสั่ง บวกและลบ ตัวอย่างของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC ของบริษัทไมโครชิพ (Microchip) เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC (complex instruction set computer) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างการทำงานที่มีชุดคำสั่งมากกว่าแบบ RISC ซึ่งแต่ละคำสั่งจะสามารถทำงานที่ซับซ้อนได้โดยใช้เพียงแค่ 1 คำสั่งเท่านั้น เช่นการเขียนโปรแกรมคำสั่งคูณค่า 10 กับตัวแปร ถ้าเราใช้ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC เราจะใช้การวนรอบคำสั่งบวกถึง 10 รอบ แต่ในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC จะสามารถทำเสร็จภายในคำสั่งเดียว ซึ่งจะสะดวกมากในการใช้งานที่มีการคำนวณที่ซับซ้อน หากเปรียบเทียบกันจะพบว่าข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC จะมีคำสั่งที่ทำงานได้ซับซ้อนมากกว่า แต่ข้อด้อยคือความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC ต่อ 1 คำสั่งจะช้ากว่า เมื่อเทียบกับความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC ตัวอย่างของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ CISC คือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 68HC ของบริษัทโมโตโรล่า (Motorola)เป็นต้น

การทดลองและพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทดลองและพัฒนาการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะแตกต่างจากการเขียนโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยการเขียนโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้อุปกรณ์อินพุท คือแป้นพิมพ์และเมาส์ และมีอุปกรณ์เอาท์พุทคือจอภาพ เป็นอุปกรณ์ที่เห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งต่างจากอุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะเราต้องออกแบบและกำหนดการทำงานให้เหมาะสมเช่น การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องซักผ้า จะอุปกรณ์อินพุทคือแผงวงจรของปุ่มสวิทซ์ และอุปกรณ์เอาท์พุทเป็นวงจรควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และวงจรแสดงผลผ่านหลอดไฟ เป็นต้น

ในการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์บางรุ่น เช่น MCS51 หรือ PIC นั้นเราจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะมีโปรแกรมพิเศษทำหน้าที่เปลี่ยนโค้ดโปรแกรมที่เราเขียนให้กลายเป็นรหัสภาษาเครื่องของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะส่งข้อมูลผ่านเครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำการบันทึกโค้ดโปรแกรมลงไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเราจะทำการทดสอบการทำงานว่าทำงานได้หรือไม่ และทำการปรับแต่งโปรแกรมให้สามารถทำงานได้อย่างดี จะเห็นได้ว่าขั้นตอนในการทดลองและพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์จะแตกต่างกับการการพัฒนาโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอย่างมาก

แต่ในปัจจุบันประสิทธิภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกพัฒนาขึ้นมาก โดยสามารถรองรับการทำงานระบบปฏิบัติการได้ จึงช่วยอำนวยความสะดวกในการพัฒนา ทำให้เราสามารถเขียน หรือปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองได้เลย ซึ่งระบบปฏิบัติการดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นลิกนุกซ์ฝังตัว

(Embedded Linux) ซึ่งใช้ทรัพยากรในด้านการประมวลผล การแสดงผล และหน่วยความจำที่น้อย เหมาะกับข้อจัดกัดของระบบสมองกลฝังตัวที่มีทรัพยากรจำกัดกว่าคอมพิวเตอร์

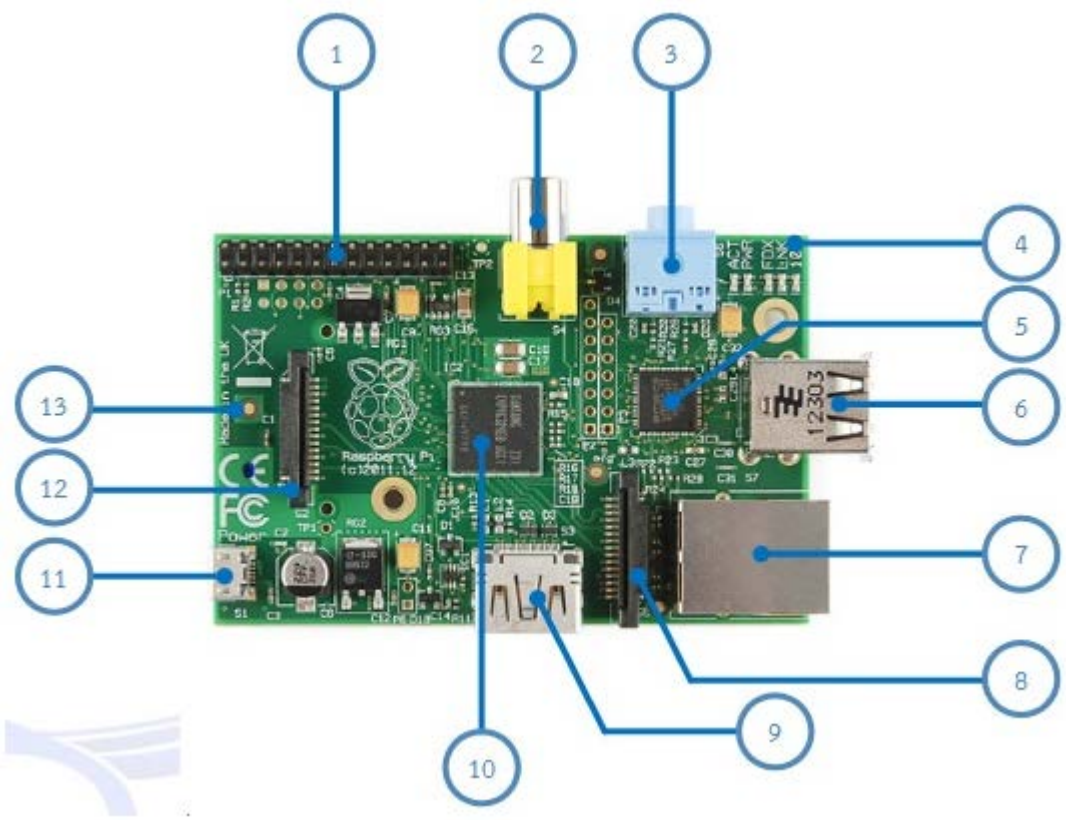
2.3.3 ความหมายของระบบสมองกลฝังตัว (embedded system)

ระบบฝังตัว หรือ สมองกลฝังตัว (embedded system) คือระบบประมวลผล ที่ใช้ชิปหรือโพรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่ฝังไว้ในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเพิ่มความฉลาด ความสามารถให้กับอุปกรณ์เหล่านั้นผ่านซอฟต์แวร์ซึ่งต่างจากระบบประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ระบบฝังตัวถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในยานพาหนะ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านและสำนักงาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีฮาร์ดแวร์ เทคโนโลยีเครือข่ายเน็ตเวิร์ก เทคโนโลยีด้านการสื่อสาร เทคโนโลยีเครื่องกลและของเล่นต่าง ๆ คำว่าระบบฝังตัวเกิดจากการที่ระบบนี้เป็นระบบประมวลผลเช่นเดียวกับระบบคอมพิวเตอร์ แต่ว่าระบบนี้จะฝังตัวลงในอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่เครื่องคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันระบบสมองกลฝังตัวได้มีการพัฒนามากขึ้น โดยในระบบสมองกลฝังตัวอาจจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่เห็นได้ชัดเช่นโทรศัพท์มือถือ และในระบบสมองกลฝังตัวยังมีการใส่ระบบปฏิบัติการต่างๆแตกต่างกันไปอีกด้วย ดังนั้น ระบบสมองกลฝังตัวอาจจะทำงานได้ตั้งแต่ควบคุมหลอดไฟจนไปถึงใช้ในยานอวกาศ ซึ่งในรายงานเล่มนี้จะใช้บอร์ด raspberry pi ในการศึกษาการเขียนโปรแกรมบน Embedded System

อุปกรณ์ Embedded System ที่ใช้

บอร์ด Raspberry Pi

Raspberry pi เป็นบอร์ด Embedded Linux ที่ใช้ Microcontroller ตระกูล ARM โดยคำว่า pi นั้นมาจาก python ซึ่งเป็นภาษาหลักที่ใช้ในการพัฒนา มีรูปร่างหน้าตาเหมือนในภาพ มีขนาดเท่าๆ กับบัตรประชาชน ความสามารถของบอร์ดนี้คือสามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการลงไปได้และระบบปฏิบัติการที่ถูกติดตั้งลงไปนั้นถูกออกแบบพัฒนามาเพื่อบอร์ดนี้โดยเฉพาะ คือ Raspbian ซึ่งระบบปฏิบัติการดังกล่าวนี้เกิดจากการนำ Debian ซึ่งเป็น ระบบปฏิบัติการในตระกูล linux มาตัดแต่งให้เข้ากับตัวบอร์ดราสเบอรี่พายนี้และได้ชื่อใหม่ขึ้นมาคือ Raspbian



Raspberry Pi มีความสามารถหลายอย่างเหมือนคอมพิวเตอร์พีซีที่เราใช้กันตามบ้านทั่วไป เพียงแต่สเปคความเร็วอาจจะด้อยกว่าแต่ก็มีจุดที่ดีกว่าคอมพิวเตอร์พีซีที่ใช้กันอยู่ ไม่น้อยเลยทีเดียว โดยมีจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังนี้

1. พอร์ต GPIO (General Purpose Input Output) คือพอร์ตเชื่อมต่อที่เราสามารถกำหนดให้เป็นอินพุต หรือเอาท์พุตได้โดยการเขียนโปรแกรมขึ้นเองหรือใช้ซอฟท์แวร์ที่มีมาให้ดาวน์โหลดใช้เช่น wiring pi เป็นต้น ทั้งนี้

GPIO สามารถทำงานได้หลายอย่างสามารถที่จะเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่เราต้องการแล้วป้อนค่าให้กับโปรแกรมตามที่เราต้องการได้เลยขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมของเรา

Raspberry Pi Model B+

3.3V	1	2	5V
I2C1 SDA	3	4	5V
I2C 1 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
GROUND	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 27	13	14	GROUND
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3.3V	17	18	GPIO 24
GPIO 10 MOSI	19	20	GROUND
GPIO 9 MISO	21	22	GPIO 25
GPIO 11 SCLK	23	24	GPIO 8
GROUND	25	26	GPIO 7
DNC	27	28	DNC
GPIO 5	29	30	GROUND
GPIO 6	31	32	GPIO 12
GPIO 13	33	34	GROUND
GPIO 19	35	36	GPIO 16
GPIO 26	37	38	GPIO 20
GROUND	39	40	GPIO 21

แหล่งที่มา: http://www.hobbytronics.co.uk/raspberry-pi-gpio-pinout

2. พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณภาพออกแบบ RCA

3. จุดเชื่อมต่อสัญญาณเสียงขนาด 3.5 มิลลิเมตร

4. LED แสดงสถานะของบอร์ด อยู่ภายในบริเวณกรอบสีแดง ดังภาพ

-ACT คือ ไฟสถานะ SD Card Access (สีเขียว)

-PWR คือ ไฟสถานะ 3.3V Power (สีแดง)

-FDX คือ ไฟสถานะ Full Duplex LAN Model B (สีเขียว)

-LNK คือ ไฟสถานะ Link/Activity LAN Model B (สีเขียว)

-100 คือ ไฟสถานะ 10/100Mbps LAN Model B (สีเหลือง)

5. ชิปควบคุม LAN (LAN Controller)

6. พอร์ต USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต

7. พอร์ต RJ-45 Ethernet LAN 10/100Mbps

8. พอร์ต CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้อง

9. พอร์ต HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียง

10. ชิพ Broadcom BCM2835 ARM11 700MHz

11. พอร์ต Micro USB Power สำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจรบอร์ด Raspberry Pi

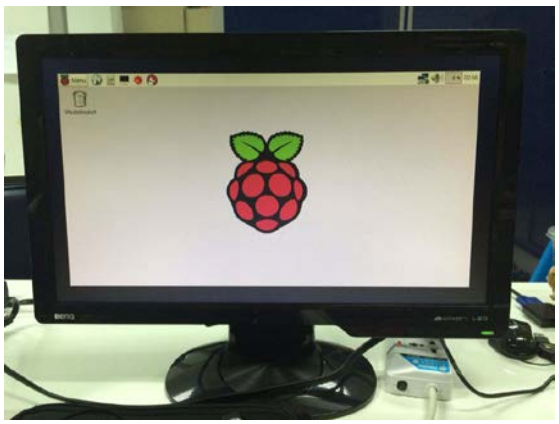
12. พอร์ต DSI (Display Serial Interface) ใช้สำหรับต่อจอแสดงผล เช่น จอแสดงผลแบบ TFT Touch Screen เป็นต้น

13. ช่องเสียบ SD Card อยู่บริเวณด้านล่างของบอร์ด

บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาระบบ

ในบทนี้จะประยุกต์ใช้หลักการที่กล่าวไปก่อนหน้านี้เพื่อมาสร้างเป็นระบบที่สามารถประมวลผลภาพและสามารถควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้จริง ซึ่งในการออกแบบระบบนั้นเราได้ประยุกต์ใช้ Raspberry Pi Model B ในการประมวลผลภาพและ ควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยพัฒนาซอร์ฟแวร์โดยใช้ภาษา Python โดยทำการเชื่อมต่อกับกล้องผ่านทาง USB และ เชื่อมต่อกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมโดยใช้ Serial Port

การเขียนโปรแกรมตรวจจับขอบภาพ (Edge Detection) เริ่มจากต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้ากับบอร์ด Raspberry Pi ทำการเปิดระบบปฏิบัติการได้หน้าจอดังนี้



โดยการเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับ Image Processing จะอาศัย library openCv เป็น Library ในภาษา C++ และ Phyton สำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับ Image Processing และ Computer Vision โดยสามารถพัฒนาได้ทั้ง ในระบบปฏิบัติการวินโดว์ และ ระบบปฏิบัติการ Linux

ในส่วนการประมวลผลภาพเราจะทำการพัฒนากระบวนการตรวจจับขอบวัตถุในภาพ โดยใช้หลักการ Canny edge detection และทำการหามุมของวัตถุนั้นโดยใช้หลักการ Hough Transform ตามลำดับ รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก

ในการควบคุมแขนกลเราได้เลือกใช้การดักจับการส่งข้อมูลจาก Computer ไป Controller โดยใช้โปรแกรม Serial Port Monitor และได้ข้อมูลจาก Computer ไป Controller เป็นรูปแบบดังภาพ

```
[05/10/2015 18:11:35] Read data (COM3)
    06                                                  .
[05/10/2015 18:11:35] Written data (COM3)
    02 6d 6f 74 6f 72 20 6f 6e 03 49                    .motor on.I
[05/10/2015 18:11:35] Read data (COM3)
```

ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการเข้ารหัสแบบ ASCII (ASCII Code) โดยการถ้าการถอดรหัสกลับเป็นอักษรเราสามารถเข้าใจความหมายของคำสั่งต่างๆที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการสั่งการหุ่นยนต์ได้ ซึ่งจากตัวอย่างข้างต้นสามารถถอดรหัสได้เป็นข้อความดังต่อไปนี้

```
[09/11/2015 22:45:56] Read data (COM4)
    05                                                  .
[09/11/2015 22:45:56] Read data (COM4)
    02 6d 6f 74 6f 72 20 6f 6e 03 49                    .motor on.I
[09/11/2015 22:45:57] Read data (COM4)
    06                                                  .
[09/11/2015 22:46:04] Read data (COM4)
    05                                                  .
[09/11/2015 22:46:04] Read data (COM4)
    02 6d 6f 74 6f 72 20 6f 66 66 03 27                 .motor off.'
[09/11/2015 22:46:05] Read data (COM4)
    06                                                  .
[09/11/2015 22:46:12] Read data (COM4)
    05                                                  .
[09/11/2015 22:46:12] Read data (COM4)
    02 67 6f 20 70 2a 2b 78 31 03 13                    .go p*+x1..
[09/11/2015 22:46:13] Read data (COM4)
    06                                                  .
[09/11/2015 22:46:17] Read data (COM4)
    05                                                  .
```

ซึ่งตารางที่ใช้ถอดรหัสเราจะเรียกว่าตารางอักขระโดยมีลักษณะที่ประกอบไปด้วย ตัวเลขเป็นภาษาของคอมพิวเตอร์ เมื่อต้องการติดต่อสื่อสารกับโปรแกรม (และกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น) และตัวเลขเหล่านี้จะเป็นตัวแทนสัญลักษณ์และอักขระ

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040		Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	(	(	72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051	)	)	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[	[	123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174			|
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135	]	]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177	&#127;	DEL

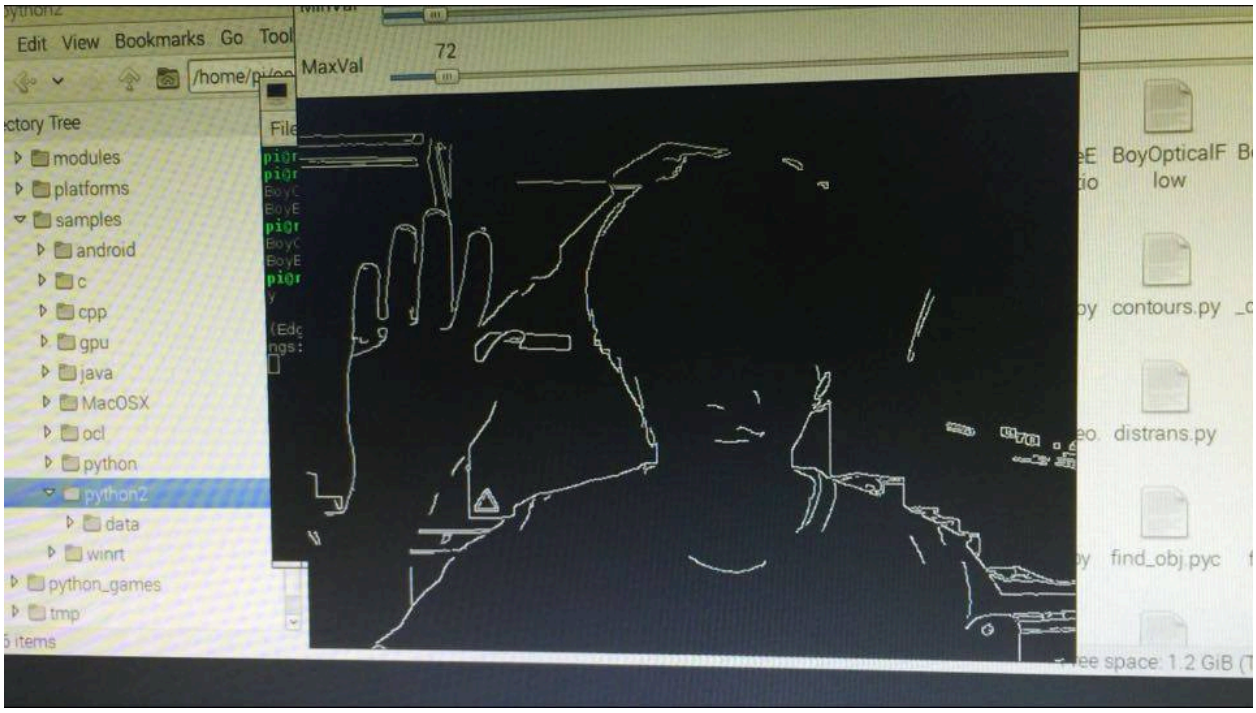
Source: www.LookupTables.com

เนื่องจาก Embedded System เป็นระบบที่ต้องใช้การเขียนคำสั่ง(Command) ในการใช้งานซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการใช้งานสำหรับ User ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนา Interface เพื่อเชื่อมต่อระหว่าง Embedded System และ User ขึ้นทำให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยใช้ภาษา python ที่มีความสะดวกรวดเร็วโดยใช้หน้าจอ touch screen

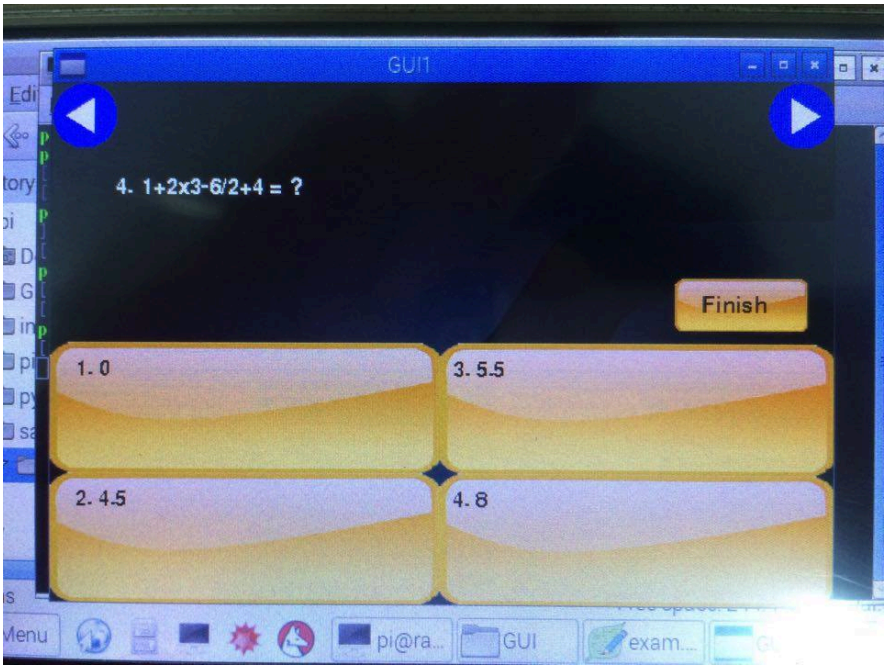
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

ทางผู้วิจัยได้ทดลองใช้ระบบสมองกลฝังตัวเพื่อควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม EPSON SCARA ซึ่งพบว่าระบบสมองกลฝังตัวสามารถทำงานแทนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ โดยคำสั่งที่ส่งนั้นมีรูปแบบใกล้เคียงกับภาษา SPEL และสามารถเชื่อมต่อกันผ่านทางโปรโตคอลการสื่อสารอนุกรมแบบ RS232 โดยตัวอย่างการสั่งการหุ่นยนต์ให้หยิบและวางวัตถุตามตำแหน่งต่างๆ เป็นดังนี้

ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการประมวลผลภาพอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังเบื้องต้น โดยใช้วิธีการตรวจจับขอบวัตถุ และ การหามุมมของวัตถุ โดยผลที่ได้คือ ระบบสมองกลฝังตัวสามารถทำงานได้จริง และให้ผลเทียบเท่ากับการประมวลผลด้วย PC แต่เนื่องจากราคาและประสิทธิภาพในการประมวลผลที่ต่ำกว่า ทำให้ระบบสมองกลฝังตัวทำงานได้ช้ากว่า PC เพียงเล็กน้อยตามที่แสดงในภาคผนวก โดยตัวอย่างการตรวจจับขอบภาพ มีลักษณะดังนี้



นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการนำเสนอวิธีการสร้าง GUI บนอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัวโดยใช้ภาษา Python ซึ่งผลการพัฒนาเป็นดังนี้



ซึ่งเราสามารถประยุกต์ใช้ GUI นี้ร่วมกับการสั่งการผ่านจอสัมผัสได้อีกด้วย

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้จริง แต่ยังขาดการบูรณาการณ์ระหว่างระบบควบคุมหุ่นยนต์และระบบประมวลผลภาพ ซึ่งทางผู้วิจัยได้วางแผนเพื่อนำไปพัฒนาเป็นโครงการต่อไปให้สามารถแก้ปัญหาเชิงอุตสาหกรรมได้ในอนาคต