

การพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกลเพื่อคนพิการ

Software Development of Robot Arm Control for Disabled Person

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมแขนกลแบบ SCARA ที่มี 5 องศาอิสระ ติดตั้งอยู่บนรถเข็นคนพิการ โดยคนพิการสามารถสั่งการทำงานผ่านสวิตช์เพียง 2 ตัวที่ติดตั้งอยู่บนรถเข็นตรงด้านข้างลำตัว การออกแบบซอฟต์แวร์ได้คำนึงถึงการประหยัดทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์และความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นหลัก ภายในซอฟต์แวร์มีส่วนประกอบ ส่วนแรกคือการหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนกับตำแหน่งของข้อต่อ ส่วนที่สองเป็นการวางแผนการเคลื่อนที่ของแขนกล ส่วนที่สามเป็นส่วนออกแบบเพื่อความปลอดภัยต่อคนพิการ โดยการควบคุมความเร็วในแต่ละพื้นที่ ส่วนสุดท้ายคือการทำงานร่วมกันกับโปรแกรมระบบประมวลผลภาพซึ่งติดต่อสื่อสารกันแบบซ็อกเก็ต

ผลของการพัฒนาซอฟต์แวร์และแขนกลพบว่าสามารถควบคุมแขนกลเข้าถึงตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยทางแกน x เท่ากับ ± 5 มิลลิเมตร ทางแกน y เท่ากับ ± 5.5 มิลลิเมตร และแขนกลสามารถเข้าไปหยิบจับสิ่งของและทำการป้อนอาหารให้คนพิการได้

คำสำคัญ: แขนกล แผนการเคลื่อนที่ คนพิการ

Abstract

This research is about software development for controlling a 5-DOF SCARA-type robot arm mounted on a wheelchair. Disabled person can command the robot via two switches installed near his or her body. The software design mainly concerns computational saving and security of user. First software component is responsible for finding relationships between the

Cartesian coordinates and positions of robot's joints. The second part is about trajectory planning of robot arm. The third part is related to a design for security of user by controlling the robot's speed in each area. Finally, the coordination between image processing program and robot arm control via socket communication.

The results of robot arm and its control software development show that robot arm can be controlled to the target with the averaged errors of ± 5 mm. and ± 5.5 mm. in x and y axes, respectively. Also, the robot arm can pick object up and feed it to the disabled person.

Keyword: Robot Arm, Trajectory Planning, Disabled Person

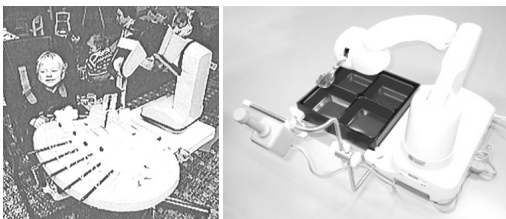
1. บทนำ

จากผลการสำรวจความพิการในประเทศไทยปีพ.ศ.2550 ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ[1] พบว่ามีคนพิการจำนวนกว่า 1.9 ล้านคนเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2545 ซึ่งมีคนพิการเพียงแค่ 1 ล้านคนเท่านั้น เห็นได้ว่าคนพิการมีจำนวนเพิ่มขึ้นและต้องการเครื่องมือเข้ามาช่วยเหลือในการดำรงชีวิตและพึ่งตนเอง เนื่องจากปัจจุบันแขนกลอำนวยความสะดวกยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีที่ราคาสูง

เพื่อช่วยเหลือคนพิการงานวิจัยนี้จึงเสนอการพัฒนาแขนกลติดตั้งบนรถเข็นคนพิการและซอฟต์แวร์ควบคุมเพื่อคนพิการทำให้แขนกลในประเทศไทยมีราคาถูกลง งานวิจัยนี้ตั้งเป้าเพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกลให้สามารถทำการป้อนข้าวและน้ำแก่คนพิการได้

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแขนกลป้อนอาหารคนพิการสามารถแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 รูปแบบด้วยกันคือ แบบแรกคือแบบติดตั้งอยู่กับที่มีข้อดีที่การติดตั้งและการควบคุมที่ง่าย แต่มีข้อเสียคือข้อจำกัดเรื่องการอำนวยความสะดวกได้เฉพาะที่เท่านั้นแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 1 แบบที่สองเป็นการติดตั้งแขนกลบนรถเข็นคนพิการมีข้อดีที่สามารถอำนวยความสะดวกให้กับคนพิการได้ในทุกที่ ไม่ว่าจะเป็นช่วยหยิบสิ่งของ หรือช่วยป้อนอาหาร แต่มีข้อเสียคือมีการติดตั้งและการควบคุมที่ยุ่งยากแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2 นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งการควบคุมแขนกลออกเป็น 3 แบบด้วยกันคือการควบคุมด้วยสวิตช์ซึ่งมีราคาถูกผู้ใช้งานสามารถสั่งงานโดยใช้ส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายในการสั่งงานได้เช่นหัวไหล่ หัวเป็นต้น แบบที่สองเป็นการควบคุมด้วยแผงควบคุมมีข้อดีสามารถควบคุมได้หลากหลายทั้งการเคลื่อนที่และการหยิบจับสิ่งของแต่มีข้อเสียตรงที่ต้องกดเมนูสั่งงานและราคาสูง สุดท้ายเป็นการควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าทางร่างกาย ซึ่งมีข้อดีตรงที่สามารถสั่งงานได้โดยตรงเหมือนกับอวัยวะส่วนหนึ่งของร่างกาย แต่มีข้อเสียตรงที่อุปกรณ์มีราคาแพงและผู้ใช้งานต้องทำการฝึกฝนการใช้งาน ประเภทการติดตั้งและการควบคุมการทำงานแต่ละแบบสรุปไว้ในตารางที่ 1



ภาพที่ 1: แขนกลติดตั้งอยู่กับที่ [2], [5]



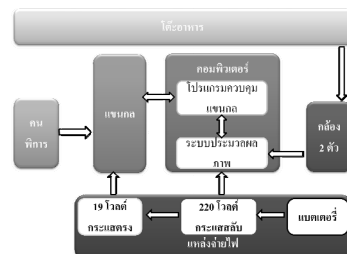
ภาพที่ 2: แขนกลที่ติดตั้งบนรถเข็นคนพิการ [7], [9]

ตาราง 1: สรุปประเภทการติดตั้งแขนกลและการควบคุม

แขนกล	ประเภทติดตั้ง		สั่งงานด้วย		
	โต๊ะ	รถเข็น	สวิตช์	แผงควบคุม	ไฟฟ้าร่างกาย
HANDY 1 [2]	✓		✓		
Neater Eater [3]	✓		✓		
Raid [4]	✓			✓	
My Spoon [5]	✓		✓	✓	
FRIEND II [6]	✓				✓
Manus [7]		✓		✓	
Weston [8]		✓		✓	
MATS [9]		✓		✓	

3. ภาพรวมของระบบ

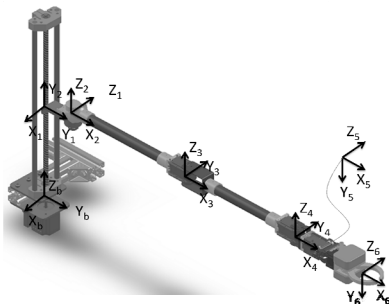
ภาพรวมของระบบจะกล่าวถึงการทำงานร่วมกันระหว่างระบบแขนกลป้อนอาหารกับคนพิการ ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ส่วนด้วยกัน ในแต่ละส่วนนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้หลังจากที่คนพิการทำการเลือกโหมดการทำงานและสั่งงานผ่านสวิตช์ที่ติดตั้งบนรถเข็นคนพิการตรงทางด้านข้างของลำตัวโดยกำหนดสวิตช์เลือกโหมดการทำงานคือสวิตช์ทางซ้ายมือ และกดปุ่มสั่งงานอยู่ทางด้านขวาของมือ ซึ่งสวิตช์ทั้งสองต่อผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณต่อเข้าไปในคอมพิวเตอร์ หลังจากทีซอฟต์แวร์ควบคุมรับคำสั่งงานจากคนพิการแล้ว จะทำการขอพิคัดของวัตถุไปยังระบบประมวลผลภาพการติดต่อสื่อสารทางซ็อกเก็ตจากนั้นกล้องจะทำงานจับภาพเพื่อทำการประมวลผลและส่งค่าพิคัดกลับไปยังส่วนควบคุมแขนกล จากนั้นระบบควบคุมจะทำการสั่งงานแขนกลให้เคลื่อนที่ตามที่ได้กำหนดไว้โดยทำงานจนกว่าคนพิการสั่งหยุดการทำงานซึ่งมีรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3: ภาพจำลองการทำงานของแขนกล



ภาพที่4:แสดงส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์



ภาพที่5:รายละเอียดส่วนประกอบแขนกล

4. ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์

ส่วนนี้อธิบายส่วนประกอบด้านฮาร์ดแวร์ และการติดตั้งจนไปถึงการทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนด้วยกันอธิบายได้ดังนี้ ส่วนแรกเป็น โต๊ะสำหรับวางจาน ช้อน และขวดน้ำจะติดตั้งอยู่ด้านหน้าของคนพิการส่วนที่สองคือแขนกลป้อนอาหารซึ่งใช้แขนกลประเภท SCARA แบบ 5 องศาอิสระ โดยติดตั้งมือจับที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้หยิบจับขวดน้ำได้ดี แขนกลติดตั้งบนรถเข็นคนพิการอยู่ด้านหน้าขาผู้มีอัมพาตโดยแขนกลมีหน้าที่รับคำสั่งจากคนพิการจากนั้นจะส่งคำสั่งไปที่กับคอมพิวเตอร์ และรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อนำอาหารและน้ำดื่มให้กับคนพิการส่วนที่สามคือคอมพิวเตอร์ติดตั้งอยู่ด้านหลังของรถเข็นคนพิการ มีหน้าที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนแรกเป็นส่วนควบคุมแขนกลมีหน้าที่ควบคุมแขนกลให้ทำงานตามที่ได้โปรแกรมส่วนที่สองคือระบบประมวลผลภาพมีหน้าที่ประมวลผลภาพจากกล้อง และส่งข้อมูลพิกัดของวัตถุให้กับส่วนควบคุม การติดต่อทั้งสองส่วนจะติดต่อกันผ่านทางซ็อกเก็ต โดยกำหนดให้ส่วนประมวลผล

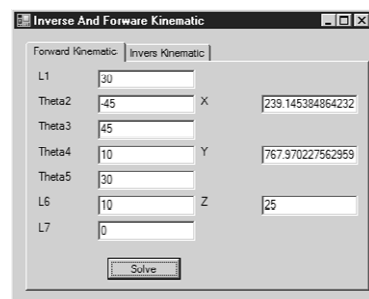
ภาพเป็นแม่ข่ายและส่วนควบคุมแขนกลคือลูกข่ายส่วนที่สามคือกล้องมีจำนวน 2 ตัว ติดตั้งอยู่ด้านบนเหนือโต๊ะอาหารซึ่งจะทำงานเหมือนตาของคนรับภาพจากโต๊ะอาหาร นำภาพส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลหาตำแหน่งของวัตถุ ส่วนสุดท้ายคือแหล่งจ่ายไฟ ติดตั้งอยู่ด้านล่างของรถเข็นคนพิการ โดยแหล่งจ่ายไฟหลักมาจากแบตเตอรี่แล้วทำการแปลงไฟให้เป็นกระแสสลับ โดยมีแรงดัน 220 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับคอมพิวเตอร์ และตัวแปลงแรงดันเป็นกระแสตรง 19 โวลต์จ่ายให้กับระบบแขนกล ซึ่งทำให้กำลังของมอเตอร์ซึ่งที่กว่าจ่ายไฟจากแบตเตอรี่เข้าโดยตรงได้แสดงการติดตั้งไว้ในภาพที่4และแสดงรายละเอียดส่วนประกอบแขนกลในภาพที่5

5. ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์

การออกแบบพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกลสำหรับคนพิการให้สามารถทำงานตามขั้นตอนได้ถูกต้องประหยัดทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์และมีความปลอดภัยนั้นมีส่วนประกอบดังนี้

5.1. ส่วนการหาพิกัดคาร์ทีเซียนของแขนกล

เป็นส่วนหาตำแหน่งคาร์ทีเซียนของแขนกลโดยใช้หลักการของคำนวณของ Denavit-Hartenberg[10]โดยใช้โปรแกรม MATLABเข้ามาช่วยหาสมการหลังจากนั้นนำมาเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C# เพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบการทำไคเนมาติกส์แบบผกผันต่อไป และเพื่อประหยัดทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์จึงได้แยกสมการย่อยที่ซ้ำกันออกมาทำการคำนวณก่อน จากนั้นนำคำตอบที่ได้ไปคำนวณในสมการหลัก โดยผลที่ได้แสดงดังภาพที่6

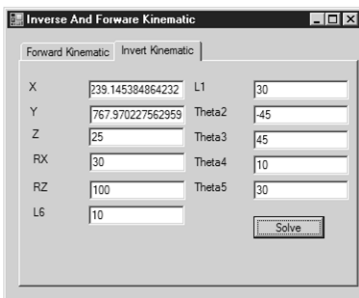


ภาพที่6:โปรแกรมหาพิกัดคาร์ทีเซียนของแขนกล

5.2. ส่วนหาตำแหน่งของข้อต่อจากหาพิกัดคาร์ทีเซียน

ในการคำนวณหาตำแหน่งของข้อต่อเทียบกับตำแหน่งคาร์ทีเซียน โดยการทำให้โคเนมาติกส์แบบผกผัน ในงานวิจัยนี้เลือกวิธีที่ทำงานได้อย่างรวดเร็วและไม่เปลืองทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์ ได้การเลือกวิธีหาค่าตอบโดยใช้สมการแบบClosed-Form ซึ่งทำงานว่องไวกว่าแบบระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแสดงดังภาพที่7

หลักการหาสมการที่ใช้ในการคำนวณหาโคเนมาติกส์แบบผกผัน สามารถแบ่งออกเป็น3 ช่วงด้วยกันดังนี้ ช่วงแรกเป็นการหาจากสมการจากข้อต่อที่ 4 และ 5 โดยใช้มุมของปลายแขนกลเทียบกับชั้นต่อโยงเพื่อหาตำแหน่งใหม่ช่วงที่ 2 เป็นการคิดสมการของข้อต่อที่ 2 และ 3 โดยนำเอาตำแหน่งใหม่ที่ได้มาแทนใช้สมการของหุ่นยนต์แนวระนาบส่วนสุดท้ายเป็นการหาข้อต่อที่ 1 โดยการนำเอาตำแหน่งปลายแขนกลในแนวแกนz ลบกับที่ตำแหน่งที่ได้ในชั้นตอนแรก

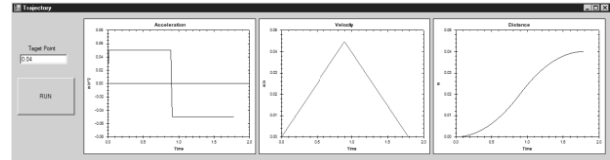


ภาพที่7: โปรแกรมหาตำแหน่งของข้อต่อจากหาพิกัดคาร์ทีเซียน

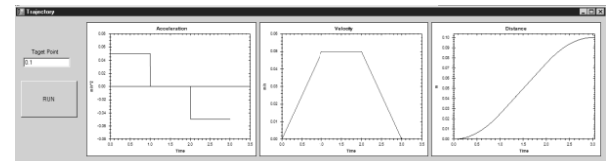
5.3. ส่วนการวางแผนการเคลื่อนที่

ส่วนการทำแผนการเคลื่อนที่ที่จะเริ่มต้นจากการคำนวณหาการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและนำเส้นมารวมกันจนกลายเป็นแผนการเคลื่อนที่ โดยแผนการเคลื่อนที่ที่จะเก็บไว้ในชุดตัวแปรประกอบไปด้วย พิกัด xyz ชุดการหมุน rzrx ความเร็วและอัตราเร่งของพิกัดxyz และ rzrx ชุดท้ายชุดการทำงานของมือจับ วิธีการทำเส้นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงโดยนำตำแหน่งแขนกลและจุดถัดไปมาทำระยะจัดจากนั้นนำมาสร้างสมการความเร็วแบบการสร้างเส้นแบบส่วน(Straight Line Segment)ซึ่งสมการจะแบ่งออกเป็น2 รูปแบบคือรูปสี่เหลี่ยมคางหมูและสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งแต่ละรูปแบบจะใช้งานขึ้นอยู่กับ ความเร็ว อัตราเร่ง

และระยะจัดเป็นตัวกำหนด จากนั้นเมื่อได้สมการความเร็วที่ต้องการมาแล้วทำการอินทิเกรตเพื่อหาจุดบนเส้นแล้วนำจุดที่ได้มาทำการหมุนและเลื่อนไปยังแนว 3 มิติต่อไปผลการสร้างเส้นด้วยความเร็วและระยะทางแสดงดังภาพที่8และภาพที่9



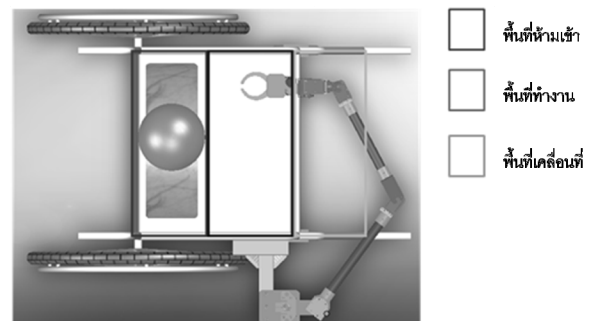
ภาพที่8: ส่วนสร้างการเคลื่อนที่เส้นตรงแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า



ภาพที่9: ส่วนสร้างการเคลื่อนที่เส้นตรงแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

5.4 ส่วนการแบ่งพื้นที่ทำงาน

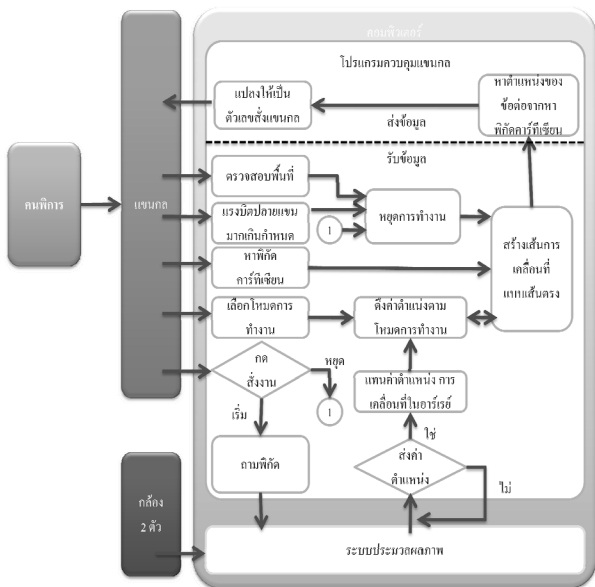
เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานจึงได้ทำการแบ่งพื้นที่การทำงานความเร็วของแขนกลออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ พื้นที่ห้ามเข้า พื้นที่ทำงาน และพื้นที่เคลื่อนที่ โดยใช้หลักการแบ่งตามระยะของแกน y มีรายละเอียดดังนี้ ส่วนแรกพื้นที่ห้ามเข้าเมื่อแขนกลเข้าไปอยู่ในพื้นที่นี้แขนกลจะหยุดทันที ส่วนที่สองพื้นที่ทำงานการเคลื่อนที่จะอยู่ใกล้กับคนพิการและวัตถุจึงกำหนดให้แขนกลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำเท่านั้น ส่วนสุดท้ายคือพื้นที่เคลื่อนที่แขนกลสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วได้อย่างอิสระ โดยแสดงดังภาพที่10



ภาพที่10: การแบ่งพื้นที่การทำงาน

5.4 ส่วนการทำงานของซอฟต์แวร์

ส่วนนี้จะบอกถึงการทำงานของซอฟต์แวร์ควบคุม โดยเริ่มต้นจากคนพิการทำการเลือกโหมดการทำงานของแขนกลและสั่งงานผ่านสวิทช์ที่ต่อสัญญาณเข้าไดรฟ์มอเตอร์ของแขนกล จากนั้นส่งสัญญาณเข้ามายังคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุมแขนกล จะทำการถามพิกัดจากระบบประมวลผลภาพ และทำการรอรับพิกัดส่งกลับมา เมื่อพิกัดของวัตถุส่งกลับมา โปรแกรมควบคุมจะนำพิกัดนั้นไปแทนในอาร์เรย์แบบสองมิติที่ได้กำหนดการทำงาน และทำการดึงอาร์เรย์ที่ละแถวออกมาตามโหมดการทำงาน จากนั้นส่งข้อมูลไปคำนวณเส้นการเคลื่อนที่ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำการดึงค่าพิกัดปัจจุบันของแขนกลเพื่อนำไปคำนวณ เมื่อทำการคำนวณเสร็จสิ้น จะทำการส่งข้อมูลที่ละจุดไปเพื่อหาตำแหน่งข้อต่อของแขนกล จากนั้นทำการแปลงเป็นคำสั่งและสั่งงานแขนกลต่อไป ซึ่งจะทำงานจนกว่าหมดตัวแปลอาร์เรย์และทำการทำการวนซ้ำจนกว่าคนพิการสั่งหยุดการทำงาน โดยแสดงดังภาพที่11



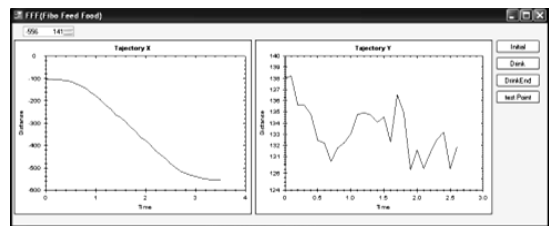
ภาพที่11:การทำงานของซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกล

6. ผลการดำเนินการวิจัย

เพื่อทดสอบการทำงานที่ถูกต้องและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน จึงทำการทดสอบการทำงานระหว่างแขนกลและระบบควบคุมแขนกลเป็นที่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

6.1 การทดสอบการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

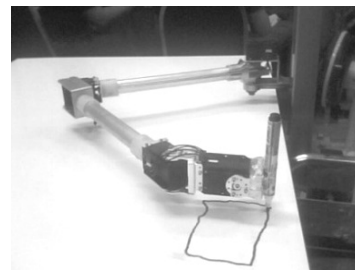
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบแขนกลเพื่อหาประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง โดยให้แขนกลเคลื่อนในแนวแกน x เป็นระยะ 550 มิลลิเมตรแล้วทำการอ่านค่าตำแหน่งที่ปลายแขนกลแล้วเก็บผล ซึ่งผลที่ได้แขนกลสามารถเข้าตำแหน่งที่ต้องการได้ มีค่าความผิดพลาดแนวแกน y เฉลี่ยเท่ากับ ± 5.5 มิลลิเมตรและแนวแกน x เฉลี่ยเท่ากับ ± 5 มิลลิเมตร โดยแสดงดังภาพที่12



ภาพที่12:การทดสอบการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

6.2. การทดสอบการเคลื่อนที่แบบใช้แผนการเคลื่อนที่

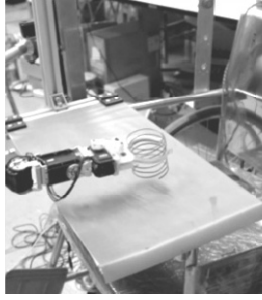
เป็นการทดสอบระบบการทำงานของแขนกล ซึ่งจะทำการวาดรูป 4 เหลี่ยมผืนผ้าแบบเฉียง โดยใช้ปากกาติดอยู่ที่ปลายแขนกลผลที่ได้แขนกลสามารถเขียนรูปสี่เหลี่ยมได้ แต่เส้นเป็นคลื่นเพียงเล็กน้อย โดยแสดงดังภาพที่13



ภาพที่13:การทดสอบให้แขนกลวาดรูปสี่เหลี่ยม

6.3.การทดสอบหยิบและทำการเอียงสิ่งของแบบซ้ำ

เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่จากแนวเคลื่อนที่เข้าไปหยิบสิ่งของ จากนั้นยกขึ้นไป ทำการเอียงคล้ายกับการป้อนน้ำให้กับคนพิการนำมาวางไว้ที่เดิมและแขนกลกลับไปแนวเคลื่อนที่โดยทำแบบนี้ซ้ำแบบต่อเนื่องจำนวน 10 รอบ ผลที่ได้คือ สามารถเข้าไปหยิบจับสิ่งของจากนั้นทำการเอียงและนำมาวางไว้ที่เดิมได้ทุกครั้ง โดยแสดงดังภาพที่14



ภาพที่14: การหยิบจับของและเอียงสิ่งของแบบซ้ำ

6.4. ผลทดสอบการป้อนอาหาร

ผลการทดสอบนี้เป็นการทดสอบใช้งานจริงโดยมีขั้นตอน ดังนี้ เริ่มแรกผู้ใช้งานจะเลือกโหมดทำงาน และตั้งเริ่มทำงานระบบควบคุมแขนกลจะทำงานร่วมกับระบบประมวลผลภาพสั่งงานแขนกลให้ทำการป้อนอาหาร ในการทดสอบนี้ให้ทำการป้อนน้ำจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งผลที่ได้คือแขนกลสามารถเข้าไปหยิบจับวัตถุและดำเนินการป้อนอาหารได้ครบถ้วน แสดงดังภาพที่15



ภาพที่15: แสดงการหยิบจับวัตถุของแขนหุ่นยนต์ร่วมกับระบบประมวลผลภาพ

7. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแขนกลที่ติดตั้งบนรถเข็นคนพิการ และซอฟต์แวร์ควบคุมคนพิการสามารถสั่งงานแขนกลผ่านสวิทช์เพียง 2 ตัวที่ติดตั้งบนรถเข็นคนพิการด้านข้างลำตัวซึ่งสามารถใช้งานง่ายและประหยัดกว่าการควบคุมแบบอื่นการพัฒนาซอฟต์แวร์เน้นประหยัดทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์และความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานเป็นหลัก โดยมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้ การหาพิกัดคาร์ทีเซียนของแขนกล การหาโคเนนามติคส์แบบผกผันการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ และสุดท้ายเป็นการแบ่งการใช้ความเร็วของแขนกลในแต่ละพื้นที่ซึ่งแขนกลมีความแม่นยำในการเข้าไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีความผิดพลาดแนวแกน y เฉลี่ยเท่ากับ ± 5.5 มิลลิเมตรและแนวแกน x

เฉลี่ยเท่ากับ ± 5 มิลลิเมตรระบบสามารถควบคุมแขนกลให้สามารถเดินทางตามแผนที่กำหนดได้และสามารถควบคุมแขนให้ทำการป้อนข้าวและน้ำได้ การพัฒนาต่ออนาคตอาจพัฒนาทำให้แขนกลทำการหยิบจับสิ่งของให้ได้หลายรูปแบบและการพัฒนาการควบคุมแขนกลโดยใช้อินพุตแบบต่างๆเช่น สัญญาณคลื่นสมองสัญญาณทางกล้ามเนื้อ ทำทางการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ และการจดจำเสียง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ,“รายงานการสำรวจประชากร,” สำนักงานสถิติแห่งชาติ,ประเทศไทย, 2551.
- [2] MIKE TOPPING, “An Overview of the Development of Handy 1, a Rehabilitation Robot to Assist the Severely Disabled,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 34, 2002, pp 253–263
- [3] Available:<http://www.neater.co.uk>,Neater Solution Ltd. (2011). Neater Eater
- [4] Tim Jones, “RAID - toward greater independence in the office & home environment,”*ICORR '99: International Conference on Rehabilitation Robotics*, Stanford, CA:pp 201-206
- [5] Available:<http://www.secom.co.jp/english/myspoon/index.html>SECOM.(2011).My Spoon.
- [6] Volosyak, I., O. Ivlev, and A. Gr'aser . “The Rehabilitation Robots FRIEND-I &II:Daily Life Independency through Semi-Autonomous Task-Execution,” *Rehabilitation Robotics*, Book edited by Sashi S Kommu,ISBN 978-3-902613-04-2, pp.127-162, 2007
- [7] H. Kwee, "Integrated control of MANUS manipulator and wheelchair enhanced by environmental docking," *Robotica*, Cambridge University Press, pp 491-498,1998.
- [8] Michael Hillman, “The Weston Wheelchair Mounted Assistive Robot - The Design Story,” *Robotica* volume 20, pp. 125-132,2002
- [9] Available:http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/proyecto.php?id_proy=3,Robotics lab.(2012).Mats.
- [10] John J. Craig,*Introduction to Robotics : Mechanics and Control 3rd Edition*,Pearson:Prentice Hall,2005.