บทที่ 6

การทดลองควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot

6.1 การทดลองควบคุมแรง

6.1.1 นำเรื่อง

การทดลองควบคุมแรงของแขนหุ่นยนต์เพื่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยการควบคุมแรงของแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปในเส้นทางเดิน ซึ่งเทคนิคการควบคุมจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับที่ข้อต่อและแรงสัมผัสพื้นผิวที่เกิดขึ้น โดยค่าแรงสัมผัสที่เกิดจากแรงขับที่ข้อต่อและค่าแรงที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้แรงที่ติดตั้งอยู่ปลายแขนของหุ่นยนต์ เพื่อนำมาหาค่าความผิดพลาดใช้ในการป้อนกลับปรับพารามิเตอร์ควบคุม ทำให้หุ่นยนต์สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมได้

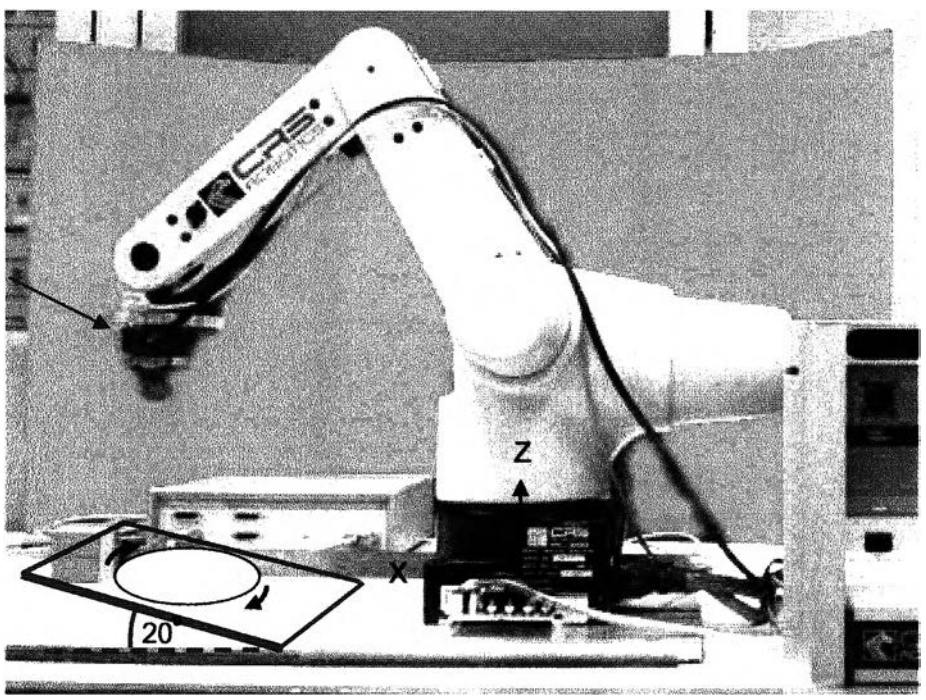
6.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล PC Pentium Pro 166 MHz, 96 MB RAM : สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมคำสั่งการขับหุ่นยนต์และเป็นอุปกรณ์รับข้อมูลจาก JR3 DSP Based Force Sensor
- แขนกลแบบ Articulated ของบริษัท CRS Robotics Inc รุ่น A255 พร้อมชุดควบคุม : สำหรับเป็นตัวอย่างแขนกลอุตสาหกรรมเพื่อทดสอบระบบควบคุม
- อุปกรณ์ตรวจรู้แรงรุ่น 67M25A-140 และการ์ด DSP ควบคุม จากบริษัท JR3 Inc: เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้แรง 6 แกนแบบผลึก Piezoelectric
- การ์ด Advantech PCL-726 : สำหรับส่งสัญญาณแรงดันออกไปควบคุมแขนกลสามารถส่งสัญญาณแรงดันระดับ $\pm$10 โวลต์ได้ 8 ช่องสัญญาณ มีความละเอียด 12 บิต
- การ์ด ADLINK PCI-8133 : สำหรับรับข้อมูลตำแหน่งแขนกลจาก Encoder ของชุดควบคุมแขนกลแบบ Articulated
- โปรแกรม Matlab® (xPC) จากบริษัท Mathworks : ใช้เป็นโปรแกรมกลางเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆและทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม
- โปรแกรม Labview® ใช้ในการบันทึกข้อมูลที่ได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้แรง และข้อมูลจาก Encoder ของแขนกลแบบ Articulated

6.1.3 ระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

การควบคุมการเคลื่อนที่เส้นทางเดินวงกลมบนพื้นเอียง ในขณะที่หุ่นยนต์ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้แรงไว้ที่ปลายแขนหุ่นยนต์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถตรวจวัดแรงกระทำที่ปลายแขน เมื่อปลายแขนเริ่มสัมผัสสิ่งกีดขวางในทิศทางตามแนวแกน Z กับผิวสัมผัส อุปกรณ์ตรวจรู้แรงจะส่งค่ามาที่ระบบควบคุม ซึ่งสร้างเงื่อนไขไว้ว่า ถ้าแรงสัมผัสที่กดในแนวแกน Z มีค่ามากกว่า 2.5 N.จะทำการสั่งการระบบควบคุมแรงสัมผัสที่กดในแนวแกน Z ให้ควบคุมแรงกดในแนวแกน Z คงที่เท่ากับ -10 N. จนกระทั่งปลายแขนไม่สัมผัสกับพื้นผิว ด้วยวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral) เพื่อให้การควบคุมแรงทางอ้อมเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพ (สามารถดูโปรแกรมการควบคุมได้ในภาคผนวก ค.3)

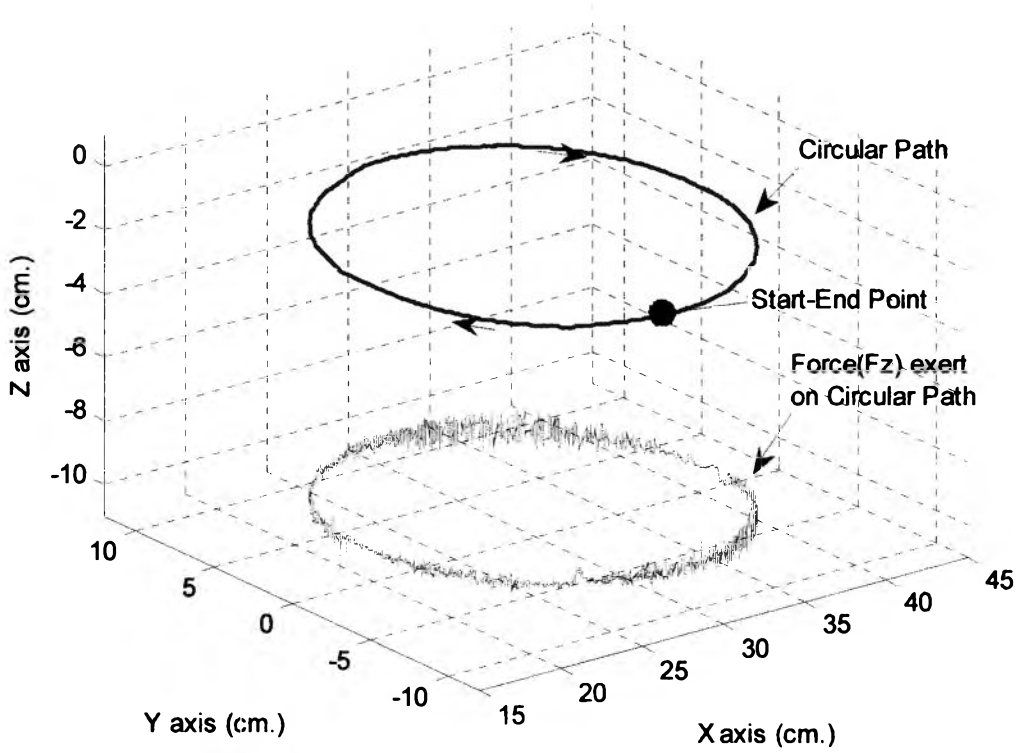
โดยเส้นทางเดินมีลักษณะเป็นวงกลม จุดศูนย์กลางวงกลมอยู่ที่ (30,0,0) รัศมี 10 cm. ที่แนวระดับ Z = 0 cm. เริ่มต้นจากจุด (30,10,0) วนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจนกระทั่งครบ 1 รอบ ด้วยความเร็วเชิงมุม = 0.1 rad/sec. โดยจะขยับพื้นเอียงเป็นมุม 20 องศา ซึ่งการเตรียมการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.1



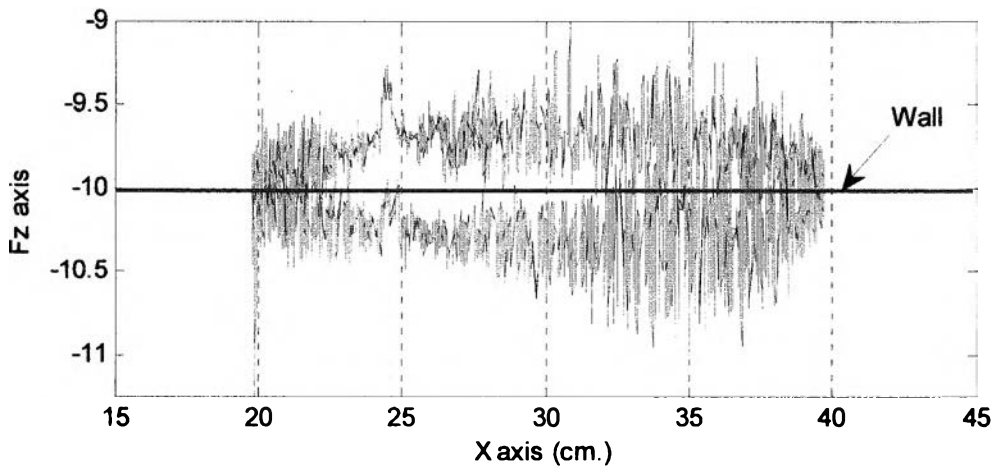
รูปที่ 6.1 อุปกรณ์ชุดทดลองควบคุมแรงสัมผัสบนทางเดินวงกลม

6.1.4 ผลการทดลองควบคุมแรงในแนวแกน Z

เมื่อทำการพิจารณาผลการทดลองควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่บนเส้นทางวงกลม พร้อมทั้งควบคุมแรงสัมผัสให้มีค่าคงที่เท่ากับ -10 N. พบว่าหุ่นยนต์สามารถควบคุมแรงสัมผัสตามแนวแกน Z ในขณะที่หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 (ก) โดยที่แรงสัมผัสที่ทำการควบคุมมีค่าแกว่งขึ้นลงอยู่ในช่วง -9 ถึง -11.25 N. ซึ่งค่าเฉลี่ยแรงกดในแนวแกน Z อยู่ที่ -9.82 N. และค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมแรงเท่ากับ 1.8 % ดังแสดงในรูปที่ 6.2 (ข)



รูปที่ 6.2 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสัมผัสที่ปลายแขนกลเคลื่อนที่ตามแนวเส้นทางเดินวงกลม



รูปที่ 6.2 (ข) แรงสัมผัสของปลายแขนกล (Fz) บนเส้นทางเดินวงกลมที่ควบคุมให้มีขนาด -10 N.

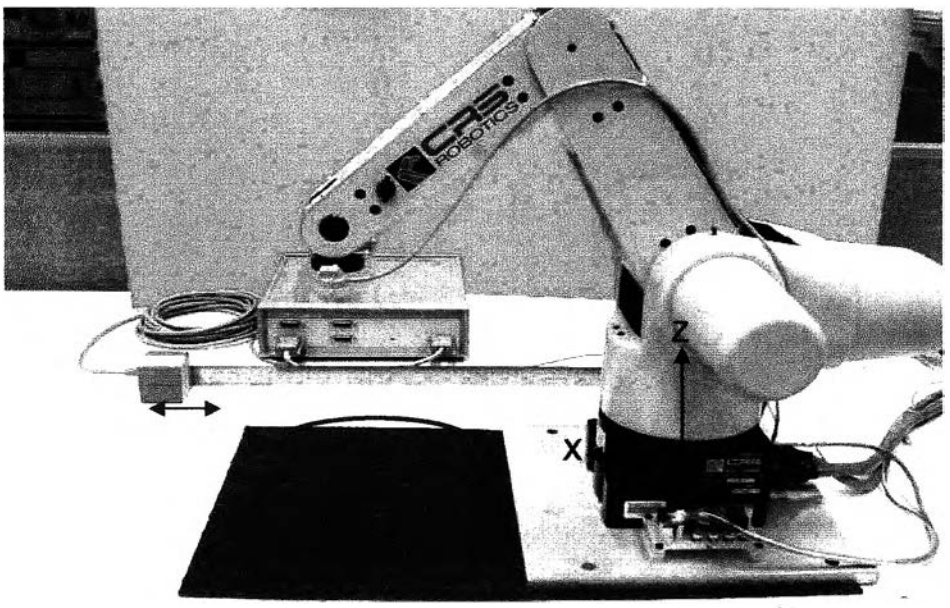
6.1.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองขับควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot ที่มีระบบควบคุมแรงแบบทางอ้อม และใช้การควบคุมแบบอินทิกรัล สามารถช่วยในการควบคุมแรงสัมผัสของปลายแขนกล (Fz) ให้มีค่าคงที่ ซึ่งในกรณีนี้กำหนดให้อยู่ที่ระดับ -10 นิวตัน โดยมีค่าเฉลี่ยแรงกดในแนวแกน Z อยู่ที่ -9.82 N. และค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมแรงเท่ากับ 1.8 % ตลอดแนวเส้นทางเดินวงกลมที่เกิดขึ้นจากระบบขับควบคุมหุ่นยนต์ทำการควบคุมตำแหน่งของปลายแขนกลไปพร้อมๆ กัน พบว่าค่าแรงสัมผัสการแกว่งขึ้นลงเนื่องจากการทำการควบคุมแรงแบบทางอ้อมจะควบคุมผ่านการควบคุมตำแหน่งของหุ่นยนต์ CRS Robot ซึ่งจะมีข้อมูลบางส่วนที่ถูกส่งมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งอยู่ด้วย จึงทำให้การควบคุมแขนหุ่นยนต์เกิดการสั่นถึงแม้ว่าระบบควบคุมจะมีการควบคุมแบบอินทิกรัล ช่วยในการลดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวให้เป็นศูนย์ก็ตาม

6.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

6.2.1 นำเรื่อง

การทดลองควบคุมตำแหน่งเส้นทางเดินเป็นวงกลมบนระนาบ XY ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลมอยู่ที่ (30,0,0) เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm. โดยทำการสร้างกำแพงเสมือนบนแนวแกน X โดยที่จะกำหนดระยะแนวป้องกันสิ่งกีดขวางจริงไว้เท่ากับ 15 cm. ซึ่งการควบคุมปลายแขนกลให้สามารถเคลื่อนที่ปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ในกรณีนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) เมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ก็จะทำการส่งข้อมูลป้อนกลับไปปรับควบคุมตำแหน่งเส้นทางเดินให้สร้างกำแพงเสมือนหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 6.3



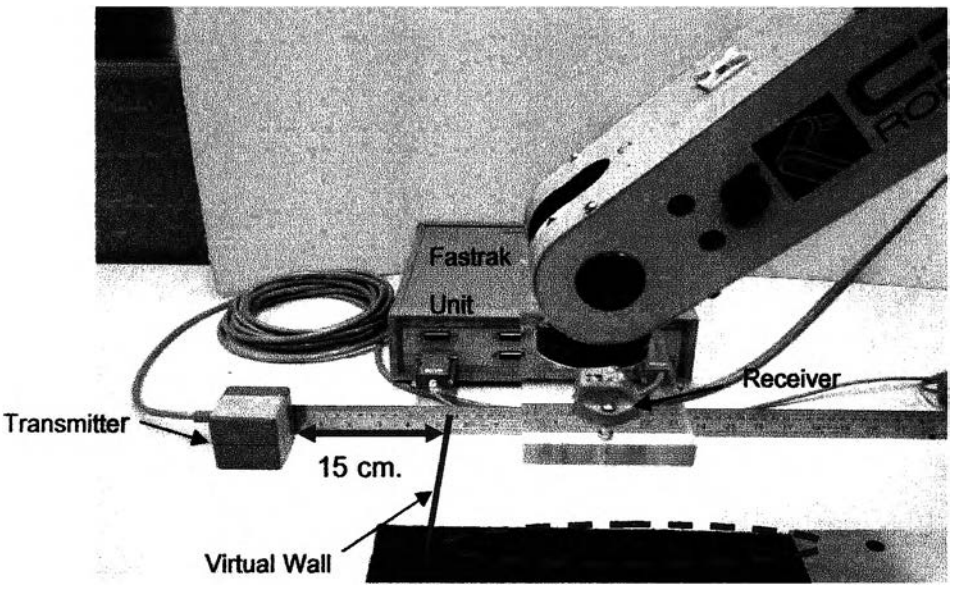
รูปที่ 6.3 อุปกรณ์ชุดทดลองควบคุมทางเดินวงกลมเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

6.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล PC Pentium Pro 166 MHz, 96 MB RAM : สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมคำสั่งการขับหุ่นยนต์
- แขนกลแบบ Articulated ของบริษัท CRS Robotics Inc รุ่น A255 พร้อมชุดควบคุม : สำหรับเป็นตัวอย่างแขนกลอุตสาหกรรมเพื่อทดสอบระบบควบคุม
- ชุดอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) : สำหรับวัดตำแหน่งพิกัดของสิ่งกีดขวาง
- การ์ด Advantech PCL-726: สำหรับส่งสัญญาณแรงดันออกไปควบคุมแขนกลสามารถส่งสัญญาณแรงดันระดับ $\pm$10 โวลต์ได้ 8 ช่องสัญญาณ มีความละเอียด 12 บิต
- การ์ด ADLINK PCI-8133 : สำหรับรับข้อมูลตำแหน่งแขนกลจาก Encoder ของชุดควบคุมแขนกลแบบ Articulated
- โปรแกรม Matlab® (xPC) จากบริษัท Mathworks : ใช้เป็นโปรแกรมกลางเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆและทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม
- โปรแกรม Labview® ใช้ในการบันทึกค่าตำแหน่งที่ได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) และข้อมูลจาก Encoder ของแขนกลแบบ Articulated

6.2.3 การสร้างกำแพงเสมือน

ตำแหน่งของกำแพงเสมือนถูกกำหนดไว้บนระนาบแกน X ที่ระยะห่างจากตำแหน่งของสิ่งกีดขวางเป็นระยะ 15 cm. สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 6.4



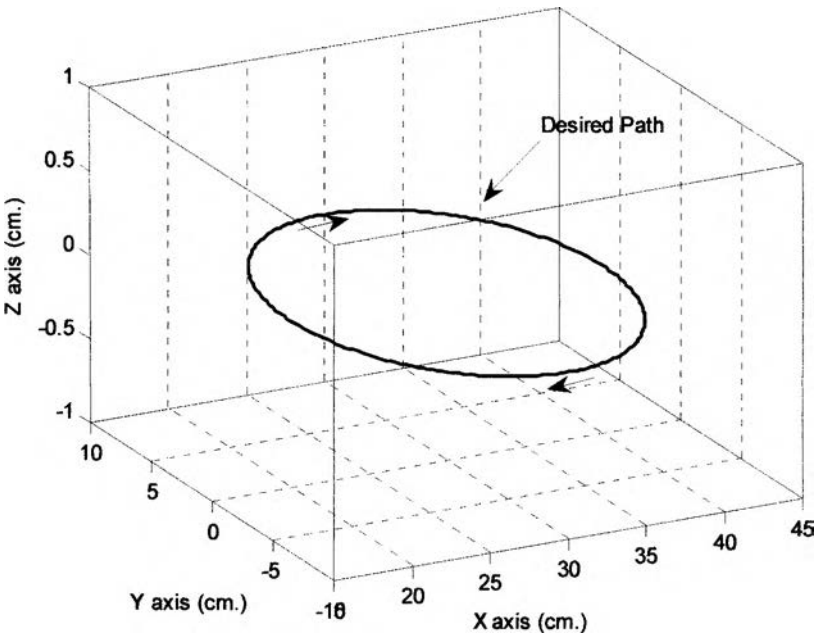
รูปที่ 6.4 ชุดอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) ที่ใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวาง

6.2.4 ระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

การควบคุมการเคลื่อนที่บนเส้นทางเดินวงกลม ในขณะที่แขนกลได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) ไว้ที่ปลายแขนกล โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถตรวจวัดระยะว่า สิ่งกีดขวางอยู่ที่พิกัดระยะเท่าไร ซึ่งเงื่อนไขที่ตั้งไว้คือ ถ้าสิ่งกีดขวางเข้ามาในระยะที่ใกล้กว่า 15 cm.ในแนวแกน X จะทำการปรับแก้ทางเดินใน Cartesian Space โดยใช้วิธีการนำค่าตำแหน่งปัจจุบันของปลายแขนหุ่นยนต์และตำแหน่งของกำแพง ไปใช้ในการหาผลต่างเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง แล้วนำผลที่ได้ไปหาค่าตำแหน่งเส้นทางเดินที่ต้องปรับแก้ไข เพื่อป้อนกลับใช้ในการควบคุมปลายแขนหุ่นยนต์บนทางเดินใหม่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (สามารถดูรายละเอียดโปรแกรมการควบคุมได้ในภาคผนวก ค.3)

โดยกำหนดให้เส้นทางเดินมีลักษณะเป็นวงกลม จุดศูนย์กลางวงกลมอยู่ที่ (30,0,0) รัศมี 10 cm. ที่แนวระดับ Z = 0 cm. แนวกำแพงอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางในแนวแกน X =15 cm. ปลายแขนหุ่นยนต์ CRS Robot เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่ (30,10,0) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจนกระทั่งครบ 1 รอบ ด้วยความเร็วเชิงมุม = 0.1 radian/sec. ดังแสดงในรูปที่ 6.5 (ซึ่งการเตรียมการ

ทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.4 ที่ผ่านมา) หลังจากนั้นปรับการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวาง โดยการขยับที่ Transmitter ของอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) ไปตามแนวแกน X เข้าไปในพื้นที่เส้นทางเดินวงกลมที่ระยะ 3 cm.

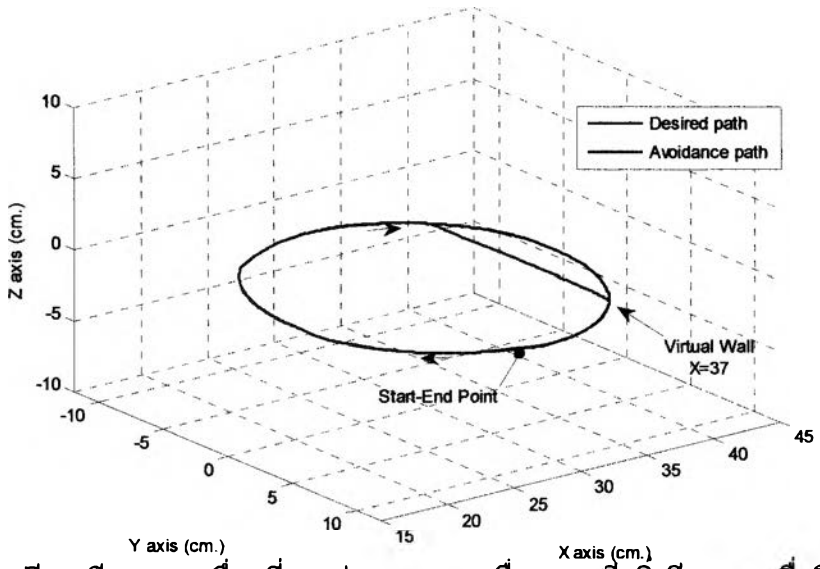


รูปที่ 6.5 เส้นทางเดินวงกลมที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่

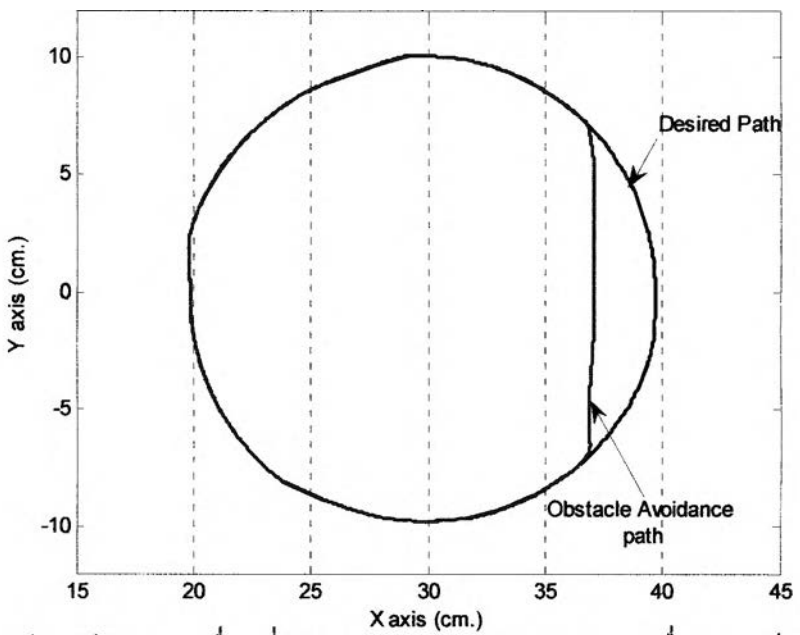
6.2.5 ผลการทดลองควบคุมตำแหน่งบนเส้นทางวงกลมเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

การทดลองเบื้องต้นทำการทดลองขับควบคุมแขนหุ่นยนต์เดินตามเส้นทางเป็นวงกลมตามที่กำหนด โดยทำการเก็บข้อมูลจาก Encoder แล้วทำการแปลงแกนอ้างอิงแบบตัวแปรข้อต่อเป็น แกนอ้างอิงแบบตัวแปรเชิงเส้น เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของปลายแขนกล

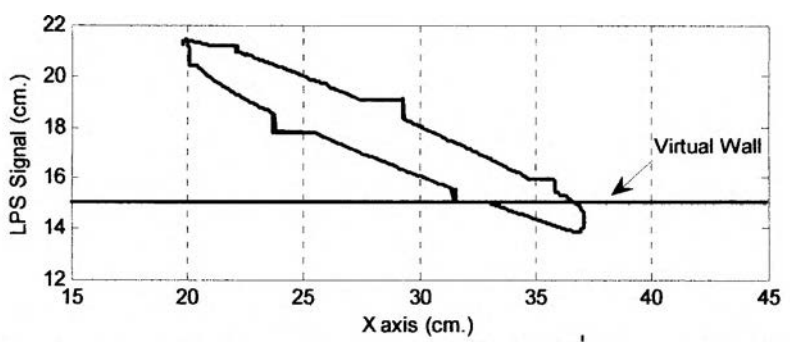
หลังจากที่ได้ทำการทดลองปรับการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวาง (โดยการขยับที่ Transmitter ของ LPS Fastrak®) ไปตามแนวแกน X เข้าไปในพื้นที่เส้นทางเดินวงกลมที่ระยะประมาณ 3 cm. เส้นทางเดินถูกปรับแก้ไขใหม่ ในลักษณะทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 6.6 (ก) และสามารถดูลักษณะเส้นทางก่อนและหลังจากการปรับแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 6.6 (ข) และแสดงการตรวจจับสิ่งกีดขวางจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 (ค)



รูปที่ 6.6 (ก) เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เมื่อสิ่งกีดขวางเข้ามาในเส้นทางเดินวงกลมเป็นระยะทาง 3 cm.



รูปที่ 6.6 (ข) เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในระนาบ XY ของปลายแขนกล เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่เข้ามาในเส้นทางเดินวงกลมเป็นระยะ 3 cm.



รูปที่ 6.6 (ค) สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติที่ใช้ในการตรวจรู้ระยะสิ่งกีดขวาง

6.2.6 สรุปผลการทดลอง

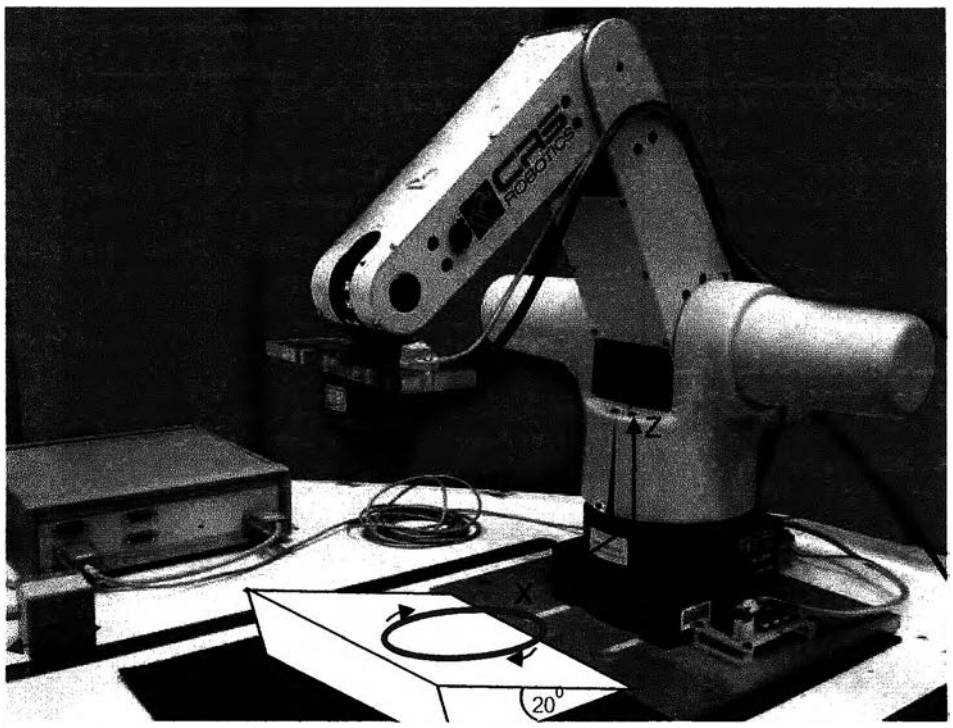
จากผลการทดลองควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot ให้เคลื่อนที่ไปยังเส้นทางเดินวงกลม ระบบควบคุมตำแหน่งจะทำการขับควบคุมโดยทำการแปลงเส้นทางเดินในแกนอ้างอิงเชิงเส้น XYZ ให้อยู่ในรูปของแกนอ้างอิงแบบตัวแปรข้อต่อหรือจลน์ศาสตร์ย้อนกลับ เพื่อนำไปใช้ในการขับตำแหน่งข้อต่อขณะเริ่มต้น เมื่อทำการขับควบคุมหุ่นยนต์ โดย Encoder ทำการแปลงค่ากลับเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแก้ไขค่าความผิดพลาดทางตำแหน่ง และนำข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติมาตรวจสอบเงื่อนไขพบว่า สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่เข้าไปในเส้นทางวงกลมเป็นระยะ 3 cm. ซึ่งในขณะที่แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ปรับแก้ไขเส้นทางเดินใหม่ เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางมาที่ระยะตามแนวแกน X โดยเฉลี่ยเท่ากับ 37.02 cm. และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.06 % ซึ่งจากผลการทดลองควบคุมตำแหน่งบนเส้นทางเดินวงกลมเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์ CRS Robot สามารถตรวจพบและหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่เข้ามาภายในเส้นทางเดินวงกลมที่ระยะใดๆ

6.3 การทดลองควบคุมแรงและตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่ไม่ทราบล่วงหน้า

6.3.1 นำเรื่อง

การทดลองควบคุมแรงและตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางบนเส้นทางเดินวงกลมระนาบ XY ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง (30,0,-1.5) เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm.ที่อยู่บนระนาบ โดยทำการสร้างกำแพงเสมือนในแนวแกน X โดยที่จะกำหนดระยะแนวป้องกันสิ่งกีดขวางจริงไว้เท่ากับ 15 cm. ซึ่งการควบคุมให้ปลายแขนกลเคลื่อนที่ให้สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมในกรณีนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) เมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ก็จะทำการส่งข้อมูลป้อนกลับไปปรับควบคุมตำแหน่งเส้นทางเดินให้สร้างกำแพงเสมือนหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ส่วนการควบคุมแรงนั้นหุ่นยนต์ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้แรงไว้ที่ปลายแขนกล โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถตรวจวัดแรงกระทำที่ปลายแขนกล เมื่อเริ่มสัมผัสสิ่งกีดขวางในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัสซึ่งเป็นแผ่นระนาบเอียงทำมุม อุปกรณ์ตรวจรู้แรงจะส่งข้อมูลมาที่ระบบควบคุม ซึ่งสร้างเงื่อนไขไว้ว่า ถ้าแรงสัมผัสในแนวแกน Z มีค่าน้อยกว่า -2.5 N. จะเริ่มสั่งงานระบบควบคุมแรงสัมผัสให้ควบคุมแรงสัมผัสไว้ที่ค่าเท่ากับ -10 N. ด้วยวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัล เพื่อให้การควบคุมแรงทางอ้อมเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพ และสามารถทำงานควบคู่ไปกับการควบคุมตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 อุปกรณ์ชุดทดลองควบคุมแรงและตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

6.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล PC Pentium Pro 200 MHz, 96 MB Ram: สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมคำสั่งการขับหุ่นยนต์และเป็นอุปกรณ์รับข้อมูลจาก JR3 DSP Based Force Sensor
- แขนกลแบบ Articulated ของบริษัท CRS Robotics Inc รุ่น A255 และชุดควบคุม : สำหรับเป็นตัวอย่างแขนกลอุตสาหกรรมเพื่อทดสอบระบบควบคุม
- ชุดอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) : สำหรับวัดตำแหน่งพิกัดของสิ่งกีดขวาง
- อุปกรณ์ตรวจรู้แรงรุ่น 67M25A-140 และการ์ด DSP ควบคุม จากบริษัท JR3 Inc: เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้แรง 6 แกนแบบผลึก Piezoelectric
- การ์ด Advantech PCL-726: สำหรับส่งสัญญาณแรงดันออกไปควบคุมแขนกลสามารถส่งสัญญาณแรงดันระดับ $\pm$10 โวลต์ได้ 8 ช่องสัญญาณ มีความละเอียด 12 บิต
- การ์ด ADLINK PCI-8133 : สำหรับรับข้อมูลตำแหน่งแขนกลจาก Encoder ของชุดควบคุมแขนกลแบบ Articulated

- โปรแกรม Matlab® (xPC) จากบริษัท Mathworks: ใช้เป็นโปรแกรมกลางเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆและทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม
- โปรแกรม Labview® ใช้ในการบันทึกค่าตำแหน่งที่ได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) อุปกรณ์ตรวจรู้แรงและข้อมูลจาก Encoder ของแขนกลแบบ Articulated

6.3.3 ระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

ระบบการควบคุมแรงและตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางจะใช้การควบคุมแรงทางอ้อมแบบอินทิกรัล และการควบคุมการเคลื่อนที่บนเส้นทางเป็นวงกลม ในขณะที่แขนกลได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) ไว้ที่ปลายแขนกล โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถตรวจวัดระยะว่า สิ่งกีดขวางอยู่ที่พิกัดระยะเท่าไร ซึ่งเงื่อนไขที่ตั้งไว้ว่า ถ้าสิ่งกีดขวางเข้ามาในระยะที่ใกล้กว่า 15 cm.ในแนวแกน X จะทำการปรับแก้ทางเดินในบนแกนอ้างอิงแบบตัวแปรเชิงเส้น แล้วนำไปป้อนกลับเพื่อควบคุมทางเดินใหม่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (สามารถดูรายละเอียดโปรแกรมควบคุมได้ในภาคผนวก ค.3)

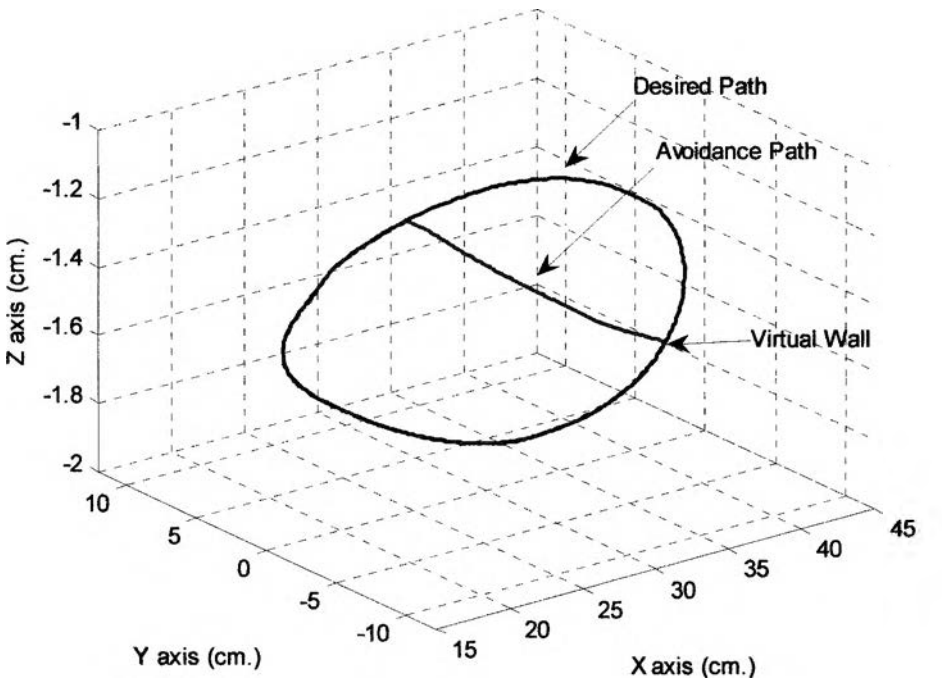
เส้นทางเดินมีลักษณะเป็นวงกลม จุดศูนย์กลางวงกลมอยู่ที่ (30,0,-1.5) รัศมี 10 cm. ที่แนวระดับ Z = -1.5 cm. แนวกำแพงอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวาง 15 cm.ในแนวแกน X ปลายแขนกล CRS Robot เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุม = 0.1 radian/sec. ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งการเตรียมการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.4 ที่ผ่านมา หลังจากนั้นปรับการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวาง (โดยการขยับที่ Transmitter ของ LPS Fastrak®) ไปตามแนวแกน X เข้าไปในพื้นที่เส้นทางเดินวงกลมที่ระยะ 6 cm. และขยับพื้นเอียงเป็นมุม 20 องศา

6.3.4 ผลการทดลองควบคุมแรงและตำแหน่งบนเส้นทางวงกลมเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

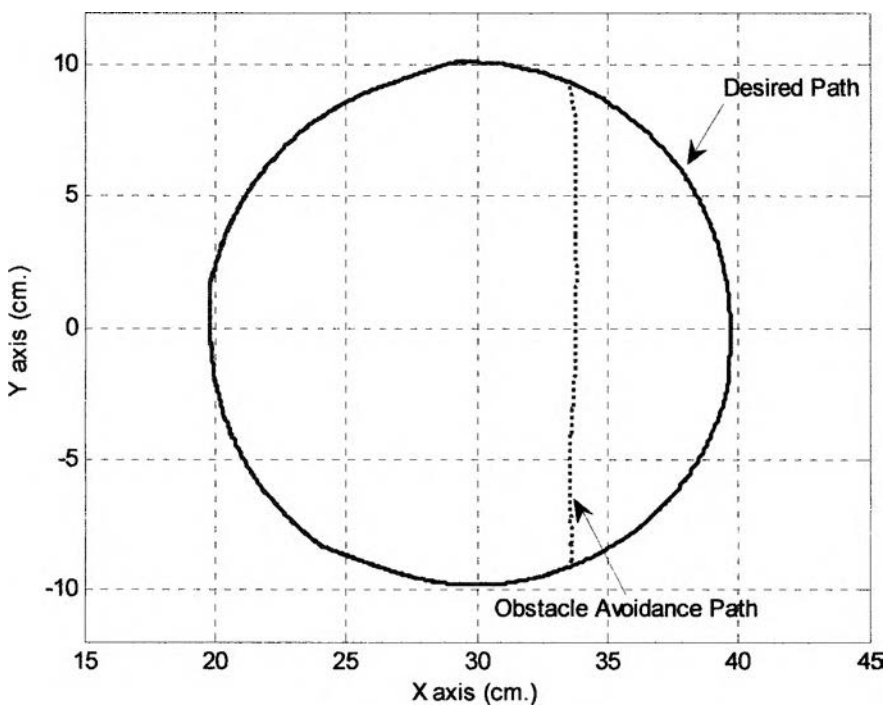
การทดลองขับควบคุมแขนกลเดินตามเส้นทางเป็นวงกลมตามที่กำหนด โดยทำการเก็บข้อมูลจาก Encoder แล้วทำการแปลงแกนอ้างอิงแบบตัวแปรข้อต่อ เป็น แกนอ้างอิงแบบตัวแปรเชิงเส้น เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของปลายแขนกล

หลังจากที่ได้ทำการทดลองปรับการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวาง (โดยการขยับที่ Transmitter ของ LPS Fastrak®) ไปตามแนวแกน X เข้าไปในพื้นที่เส้นทางเดินวงกลมที่ระยะ 6 cm. เส้นทางเดินถูกปรับแก้ไขใหม่ ในลักษณะทิศทางตามเข็มนาฬิกา สามารถดูลักษณะเส้นทางก่อนและหลังจากการปรับแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 6.8 (ก) และ (ข) ซึ่งในระหว่างที่ทำการหลบหลีกสิ่งกีด

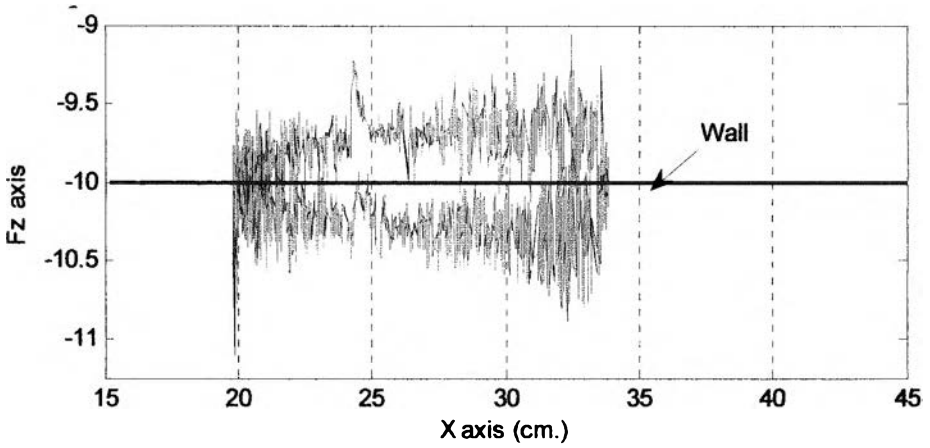
ขวางทำการควบคุมแรงสัมผัสในแนวแกน Z ให้มีค่าคงที่เท่ากับ -10 N.ดังแสดงในรูปที่ 6.8 (ค) และสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติที่ใช้ในการตรวจรู้ระยะสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 6.8 (ง)



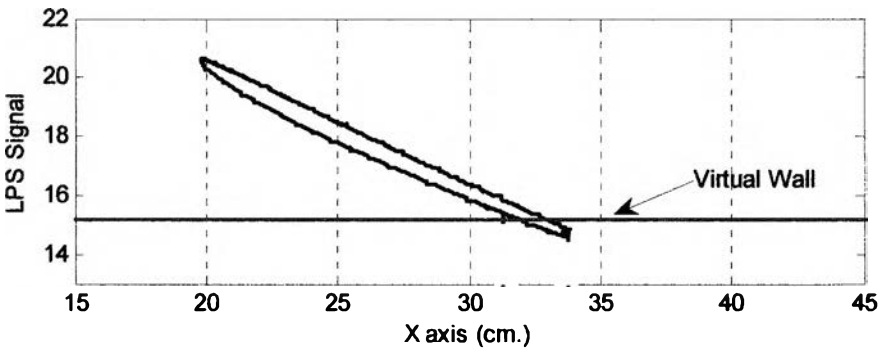
รูปที่ 6.8 (ก) เปรียบเทียบการเคลื่อนที่เป็นวงกลมสัมผัสพื้นเอียงของปลายแขนกลที่ควบคุมแรงและตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 6.8 (ข) เปรียบเทียบการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงในแนวแกน XY ของปลายแขนกล



รูปที่ 6.8 (ค) แรงสัมผัสที่ถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ในระหว่างการเคลื่อนที่ปลายแขนกล



รูปที่ 6.8 (ง) สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติที่ใช้ในการตรวจรู้ระยะสิ่งกีดขวาง

6.3.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองควบคุมแรงและตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่เข้ามาในระยะ 6 cm. ซึ่งระบบควบคุมสามารถตรวจจับและปรับแก้ไขทางเดินวงกลมใหม่ ด้วยการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ มาตรวจสอบเงื่อนไขระยะสิ่งกีดขวางและปรับแก้ไขเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่ระยะ X โดยเฉลี่ยเท่ากับ 36.66 cm. และมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.99 %

ส่วนการควบคุมแรงนั้นหุ่นยนต์ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้แรงไว้ที่ปลายแขนกล โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถตรวจวัดแรงกระทำที่ปลายแขนกล เมื่อเริ่มสัมผัสสิ่งกีดขวางในทิศทางตามแนวแกน Z ซึ่งเป็นแผ่นระนาบเอียงทำมุม อุปกรณ์ตรวจรู้แรงจะส่งข้อมูลมาที่ระบบควบคุมแรง ซึ่งสร้างเงื่อนไขให้สั่งการควบคุมเมื่อแรงสัมผัสในแนวแกน Z มีค่าน้อยกว่า -2.5 N. สามารถควบคุมแรงสัมผัสไว้ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ -10.12 N. และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.25 % ด้วยวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัล เพื่อให้การควบคุมแรงทางอ้อมเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพ ลดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว และสามารถทำงานควบคู่ไปกับการควบคุมตำแหน่งเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางอย่างมีประสิทธิภาพ