บทที่ 7

บทสรุป

7.1 วิเคราะห์และสรุปผล

งานวิจัยที่ได้นำเสนอเป็นแนวทางในการควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเริ่มจากการศึกษาการจำลองควบคุมหุ่นยนต์ขั้นพื้นฐานแบบ 2-Link Planar Arm และ Articulated Robot สามารถนำวิธีการในการควบคุมไปใช้ในการทดลองควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

งานวิจัยในส่วนแรกเป็นการจำลองควบคุมหุ่นยนต์ขั้นพื้นฐานแบบ 2-Link Planar Arm และ Articulated Robot ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการกำหนดตัวแปรขั้นพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของการนิยามหุ่นยนต์แต่ละประเภทตามการใช้งาน นำตัวแปรต่างๆไปใช้หาสมการทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ที่มีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วย จลน์ศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward Kinematics) จลน์ศาสตร์ย้อนกลับ (Inverse Kinematics) จาโคเบียนความเร็วและแรง (Velocity and Force Jacobian) พลศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward Dynamics) พลศาสตร์ย้อนกลับ (Inverse Dynamics) การควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปในเส้นทางที่กำหนดจำเป็นต้องทราบตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง ในแกนอ้างอิงแบบเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของการเคลื่อนที่ ก็สามารถนำมาคำนวณหาการเคลื่อนที่ของข้อต่อต่างๆ ที่สัมพันธ์กันได้จากจลน์ศาสตร์ย้อนกลับ หลังจากที่ได้ค่าตัวแปรควบคุมบนแกนอ้างอิงแบบตัวแปรข้อต่อแล้วนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิงในการขับควบคุมหุ่นยนต์ตามเส้นทางเดินที่กำหนด

ในกรณีที่หุ่นยนต์มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ และสร้างเงื่อนไขการตรวจจับสิ่งกีดขวาง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางก็สามารถหาความสัมพันธ์ของสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้กับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้จากความสัมพันธ์ของจาโคเบียนที่เวลาต่างๆ ในการประมาณจาโคเบียนขณะทำงานนี้ เป็นการควบคุมที่เป็นอิสระจากสมการจลน์ศาสตร์ของหุ่นยนต์ที่มีความสลับซับซ้อนมาก จากนั้นเมื่อทราบว่าการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวางละเมิดเงื่อนไขเข้ามาในเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ จะทำการสั่งงานปรับเพื่อหลบหลีกกำแพงซึ่งกีดขวางเส้นทางเดิน โดยใช้เทคนิคการประมาณจาโคเบียนขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่แทนการใช้ตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆของหุ่นยนต์เพื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุมที่จำเป็นมาแก้ไขค่าความผิดพลาดโดยระเบียบวิธี Gradient Projection เพื่อทำการปรับเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ใหม่

จากผลการจำลองควบคุมแขนกลแบบ 2-Link Planar Arm และ Articulated ด้วยวิธี Global Collision Avoidance ซึ่งเป็นวิธีการในการปรับแก้ไขเส้นทางเดินของแขนกลบนเส้นทางเดินทั้งแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม โดยพิจารณาเส้นทางเดินที่ต้องทำการแก้ไขเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางทั้งหมดทุกจุดก่อน หลังจากนั้นถึงทำการแปลงเส้นทางเดินให้อยู่ในรูปแบบแกนอ้างอิงตัวแปรข้อต่อ เพื่อใช้ในการขับควบคุมหุ่นยนต์ตามกฎการควบคุมต่อไป เห็นได้ว่าค่อนข้างใช้เวลาในการประมวลผลนานและเรียกว่าเป็น Off-line Collision Avoidance ส่วนวิธี Local Collision Avoidance เป็นวิธีการปรับแก้ไขเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ โดยทำการพิจารณาเส้นทางเดินขณะที่กำลังเคลื่อนที่ ถ้าตรงตามเงื่อนไขของการกีดขวางเส้นทางเดิน ก็จะทำการปรับแก้ไขในการเคลื่อนที่ครั้งต่อไปก่อนที่จะทำการเคลื่อนที่ ซึ่งวิธีดังกล่าวใช้เวลาในการประมวลผลไม่นานและเรียกได้ว่าเป็น On-line Collision Avoidance

ส่วนที่สองเป็นการควบคุมแรงจากการทดลองขับควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot ที่มีระบบควบคุมแรงแบบทางอ้อม และใช้การควบคุมแบบอินทิกรัลช่วยในการควบคุมแรงสัมผัสในแนวแกน Z ของปลายแขนกล (Fz) ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ บนเส้นทางเดินวงกลมที่เกิดขึ้นจากระบบขับควบคุมหุ่นยนต์ทำการควบคุมตำแหน่งของปลายแขนกลไปพร้อมๆกัน พบว่าค่าแรงสัมผัสการแกว่งขึ้นลงเนื่องจากการทำการควบคุมแรงแบบทางอ้อมจะควบคุมผ่านการควบคุมตำแหน่งของหุ่นยนต์ CRS Robot ซึ่งจะมีข้อมูลบางส่วนที่ถูกส่งมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งอยู่ด้วย จึงทำให้การควบคุมแขนหุ่นยนต์เกิดการสั่นถึงแม้ว่าระบบควบคุมจะมีการควบคุมแบบอินทิกรัลช่วยในการลดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวให้เป็นศูนย์ก็ตาม

ส่วนที่สามเป็นการควบคุมตำแหน่งหุ่นยนต์ CRS Robot ที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) เพื่อใช้ในการรับรู้สถานะของสิ่งกีดขวาง โดยควบคุมเส้นทางเดินอ้างอิงของปลายแขนกลเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยไม่ทราบล่วงหน้า การควบคุมเส้นทางเดินใช้การตรวจสอบเงื่อนไขของตำแหน่งในแนวแกน X ระหว่างระยะห่างของกำแพงเสมือนที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจรู้ตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติ (Fastrak®) กับตำแหน่งปลายแขนหุ่นยนต์ เพื่อใช้พิจารณาป้อนกลับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและแปลงให้อยู่ในรูปแบบแกนอ้างอิงแบบข้อต่อผ่านทางระบบควบคุมที่ใช้ค่าผกผันจาโคเบียน (Inverse Jacobian) เพื่อปรับแก้ไขทางเดินของหุ่นยนต์

ส่วนที่สี่เป็นการควบคุมแรงและตำแหน่งจากการขับควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot เพื่อหลบหลีกกำแพงซึ่งกีดขวางเส้นทางเดิน จากข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจรู้ หากพบว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำให้ค่าสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ที่วัดได้มีค่าไม่ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนด หุ่นยนต์อาจกำลังเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวาง ระบบควบคุมต้องทำการปรับแก้ไขเส้นทางเดินให้อยู่ในแนวที่ไม่

ชนสิ่งกีดขวาง ซึ่งใช้เทคนิคการปรับแก้ไขทางเดินในแกนอ้างอิงเชิงเส้น ด้วยการนำสัญญาณตำแหน่งสิ่งกีดขวางจากอุปกรณ์ตรวจรู้มาประกอบการพิจารณา เพื่อหาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งปลายแขนในแกนอ้างอิงตัวแปรเชิงเส้น แล้วนำสัญญาณค่าความผิดพลาดป้อนกลับในระบบควบคุมตำแหน่งเพื่อไปใช้ในการปรับเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ใหม่ ส่วนการควบคุมแรงทำการควบคุมผ่านตัวควบคุมตำแหน่ง โดยใช้การควบคุมแบบอินทิกรัลช่วยในการควบคุมแรงสัมผัสที่เงื่อนไขในสั่งการควบคุมเมื่อค่าแรงสัมผัสเริ่มถึงค่าระดับหนึ่ง และเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการผิดพลาดจะมีเงื่อนไขที่เมื่อแรงสัมผัสเกินกว่าระดับหนึ่ง ก็จะตัดการทำงานควบคุมแรง ซึ่งทำให้ระบบควบคุมหุ่นยนต์ระบบดังกล่าวมีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปใช้ทำการควบคุมกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแบบอื่นๆได้

7.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดและวิธีการควบคุมดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยในขั้นตอนต่อไปที่น่าสนใจ คือ นำไปใช้จำลองควบคุมหุ่นยนต์แบบต่างๆ ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมสำหรับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วไป ส่วนการควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robot ให้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่ใน 3 มิติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมและการปรับแก้ไขทางเดิน