



การออกแบบกระบวนการสำหรับการถอดวงล้อรถยนต์โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง

Designing the Process for Disassembling Car Wheels using Industrial Robot Collaborated with Virtual Reality Technology

ชาญณรงค์ ตระกูลสรณคมน์^{1,2*}

Channarong Trakunsaranakom^{1,2*}

(Received: December 30, 2020; Revised: February 12, 2021; Accepted: March 19, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อการออกแบบกระบวนการถอดวงล้อรถยนต์โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงผ่านแอปพลิเคชันหุ่นยนต์ การเขียนโปรแกรมแบบโมดูลาร์ที่มีโครงสร้างและการเขียนโปรแกรมที่เป็นขั้นตอนโดยใช้ภาษาการเขียนโปรแกรมหุ่นยนต์ระดับสูง งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์และการวางตำแหน่งหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในเซลล์จำลองโดยการพัฒนาโปรแกรมแบบบูรณาการ การออกแบบกระบวนการนี้ เป็นการถอดสกรูออกจากวงล้อรถยนต์ และการวางตำแหน่งของสกรูในตำแหน่งที่เหมาะสม การดำเนินงานเริ่มต้นจากการตรวจสอบความถูกต้องของประแจบ็อกซ์ที่ติดอยู่กับแขนกลของหุ่นยนต์ถูกต้องหรือไม่ ถ้าหากใช้ประแจบ็อกซ์ไม่ถูกต้อง โปรแกรมหุ่นยนต์จะทำการเปลี่ยนประแจบ็อกซ์ให้ถูกต้องก่อนการนำไปขันสกรู การขันและการวางสกรูที่ถูกถอดออกมาจากวงล้อรถยนต์มาวางในตำแหน่งที่ต้องการ จำนวน 5 ตำแหน่ง การทดลองเป็นการประเมินการวัดความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งแขนกลของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยมีการเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตอริโอและสภาพแวดล้อมแบบอุปกรณ์เสมือนจริง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองประกอบด้วย แวนดา 3 มิติ และอุปกรณ์ควบคุมเสมือนจริง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สภาพแวดล้อมเสมือนจริง

¹วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹Industrial engineering Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

²วิทยาลัยการอาชีพตากใบ, มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

²Takbai Industrial and Community Education College, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: channarongtrakunsaranakom@gmail.com



แบบสเตอริโอมีความแม่นยำมากกว่าสภาพแวดล้อมแบบอุปกรณ์เสมือนจริง การออกแบบกระบวนการเช่นนี้สามารถใช้สำหรับการวางแผนการทำงานในระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ การออกแบบกระบวนการที่ดีจะช่วยให้การทำงานเป็นไปตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบ มีความแม่นยำสูง และประหยัดเวลาซึ่งสามารถสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันได้

คำสำคัญ: การออกแบบกระบวนการ การถอดวงล้อรถยนต์ หุ่นยนต์อุตสาหกรรม เทคโนโลยีเสมือนจริง

Abstract

This research aims to design the process for disassembling car wheels using industrial robot collaborated with virtual reality technology through robot applications. The modular structured and procedural programming use a high-level robotic language programming. This research proposes methods for robot arm movement and industrial robot positioning in work cell simulation by developing an integrated program. The design in this process involves in removing the screws from the wheel of the car and putting it in the right place. The operation begins with whether the inspection of the block wrench attached to the robot arm correctly, and if using the wrong wrench, the robot program will change the correct wrench before screwing it. The screwing out and placing screws of car wheels in 5 correct positions were tested. The experiment evaluated the accuracy of the robot arm in identifying in a virtual reality environment. The process compared between the stereo virtual environment and the virtual device environment. The equipment used in the experiment consisted of 3D glasses and virtual control devices. From the experiment, it can be seen that the stereo virtual environments were more accurate than virtual device environments. The process design can be used for planning work in industrial automation. A good process design will allow the machine to work systematically with high accuracy which helps saving time and creating a competitive advantage.

Keywords: Process design, Disassembly car wheels, Industrial robot, Virtual reality technology

บทนำ

ปัจจุบันนี้ การปฏิวัติอุตสาหกรรมกำลังอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงแบบดิจิทัลของระบบอัตโนมัติ และการแลกเปลี่ยนข้อมูลในการผลิต อันเนื่องมาจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศและซอฟต์แวร์ (Ervural & Ervural, 2018) การเปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สี่



หรืออุตสาหกรรม 4.0 หมายถึงการสร้างโรงงานอัจฉริยะที่มีการก้าวกระโดดจากระบบอัตโนมัติไปสู่การเชื่อมต่อกับระบบอย่างเต็มประสิทธิภาพ มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับให้เหมาะสมกับระบบนั้น ๆ ยุคอุตสาหกรรม 4.0 เป็นการเปลี่ยนแปลงของการผลิตแบบดั้งเดิมมาเป็นการปฏิวัติทางอุตสาหกรรมด้วยระบบสมาร์ตเทคโนโลยีที่ล้ำสมัย (Qu, Ming, Liu, Zhang & Hou, 2019) อุตสาหกรรม 4.0 เป็นรูปแบบการจัดการอุตสาหกรรมโดยเป็นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ผสมผสานกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (Lampropoulos, Siakas, & Anastasiadis, 2019) ซึ่งประกอบด้วย ระบบกายภาพทางไซเบอร์ (Cyber-physical System) อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things) และการประมวลผลบนกลุ่มเมฆ (Cloud Computing) ซึ่งสิ่งเหล่านี้มุ่งเน้นไปที่การใช้งานกับเครื่องจักรระบบอัตโนมัติที่ล้ำสมัยโดยส่วนใหญ่เพื่อการสื่อสารระหว่างเครื่องจักรกับเครื่องจักรและการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอัตโนมัติให้สามารถปรับปรุงการสื่อสารและการตรวจสอบตนเอง รวมถึงเครื่องจักรอัจฉริยะที่สามารถวิเคราะห์และวินิจฉัยปัญหาได้โดยไม่ต้องพึ่งพามนุษย์ (Kravets et al., 2020) การพัฒนาอุตสาหกรรม 4.0 เป็นแนวคิดใหม่ที่ต้องมีการปฏิรูปอุตสาหกรรมด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารกับเครื่องจักร และระบบการผลิตในลักษณะระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (Industrial Automation) หุ่นยนต์อุตสาหกรรมเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (Galin & Meshcheryakov, 2019) หุ่นยนต์อุตสาหกรรมตามความหมายของ ISO 8373:2012 เป็นระบบการควบคุมอัตโนมัติ โดยมีความสามารถในการรองรับโปรแกรมหรือการตั้งค่าการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ในสามแกนขึ้นไปสามารถทำงานได้อย่างหลากหลาย หุ่นยนต์อุตสาหกรรมสามารถเป็นได้ทั้งรูปแบบติดตั้งและรูปแบบที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เป็นระบบหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับการผลิตและการบริการมีบทบาททางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำสูง (Oztemel & Gursev, 2018) รวมทั้งเป็นการประหยัดระยะเวลาทำให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมกลายเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมปัจจุบัน อาทิเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อากาศยาน และอุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ อากาศยานและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้มีการใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อ (Interface Technology) ผสมผสานกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) การร่วมเทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อเป็นการสร้างบริบทให้มีความสมจริงมากขึ้น (Vinuesa et al., 2020) ซึ่งประกอบด้วย ความเสมือนจริง (Virtual Reality; VR) ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality; AR) และความจริงผสม (Mixed Reality; MR) (McMillan, Flood, & Glaeser, 2017) เทคโนโลยีเหล่านี้สามารถสร้างการเชื่อมต่อระหว่างมนุษย์กับอุปกรณ์ต่างๆ (Active Interaction Devices; AID) และมีแนวโน้มในการใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงก้าวสู่โลกความเป็นจริงอย่างแพร่หลาย เทคโนโลยีเสมือนจริง



เป็นการจำลองที่สามารถสร้างความคล้ายหรือความแตกต่างอย่างสิ้นเชิงจากโลกแห่งความจริง (Radianti, Tim, Fromm, & Wohlgenannt, 2020) มีแนวโน้มและได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสามารถที่จะขับเคลื่อนอุตสาหกรรม 4.0 ได้ โดยปกติเทคโนโลยีเสมือนจริงจะเกี่ยวข้องกับการเล่นเกมสโคมพิวเตอร์ การจำลองการบิน การจำลองการขับรถไฟความเร็วสูง การจำลองในอุตสาหกรรมการผลิตชั้นนำของโลก และในศาสตร์แขนงต่าง ๆ ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีเสมือนจริงจะมีข้อจำกัดในบางประการของสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน แต่เทคโนโลยีเสมือนจริงยังมีประโยชน์มากมายสำหรับงานด้านความปลอดภัย การสร้างต้นแบบที่เร็วขึ้น การลดต้นทุนและยังสามารถใช้ในการฝึกอบรมต่าง ๆ

งานวิจัยนี้ได้เน้นถึงบทบาทที่สำคัญของหน้าที่เซลล์ทำงาน (Work Cell) คือ หน่วยการทำงาน (Work Unit) ที่สูงกว่าระดับเครื่องจักร (Vassilis & Nikos, 2016) แต่เล็กกว่าฝ่ายงานและเป็นหัวใจสำคัญของการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) บทบาทและหน้าที่ของเซลล์ทำงานนี้ใช้สำหรับการออกแบบ การควบคุมหุ่นยนต์ การทำงานของหุ่นยนต์ และสร้างสภาพแวดล้อม (Geihs, 2020) เพื่อให้มีความสมจริงมากขึ้นซึ่งอยู่ภายใต้ขอบเขตตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ เซลล์ทำงานสำหรับในบริบทนี้ได้มีการจำลองการถอดสกรูทั้งหมดออกจากวงล้อรถยนต์ไปวางในตำแหน่งที่ได้ระบุไว้ ซึ่งก่อนเริ่มดำเนินการถอดวงล้อต้องมีการตรวจสอบว่ามีการติดประแจสำหรับการถอดวงล้อที่ถูกต้องกับชุดเครื่องมือหรือไม่ หากไม่มีหรือใช้ประแจขันวงล้อที่ไม่ถูกต้อง โปรแกรมหุ่นยนต์จะต้องเริ่มต้นโดยการเปลี่ยนประแจขันวงล้อในตำแหน่งที่เก็บประแจวงล้อก่อน จากนั้นการดำเนินการถอดสกรูจะเป็นไปตามเงื่อนไขของการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ (Trochimczuk, Lukaszewicz, Szczebiot, Alexey, & Mircheski, 2019) ซึ่งตำแหน่งของสกรูแต่ละตัวจะถูกกำหนดตำแหน่งในขั้นตอนการสอนหุ่นยนต์ (Robot Teaching) ในขณะเดียวกันตำแหน่งสกรูจะถูกคำนวณจากภาพของระบบกล้องสเตริโอ ภาษาโปรแกรมที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมคือ CIROS Education 6.4 Programming เป็นโปรแกรมหลักซึ่งประกอบด้วยไลบรารีสำหรับการจัดการกับประแจขันวงล้อและที่เก็บประแจวงล้อ มีฟังก์ชันสำหรับการระบุและเปลี่ยนประแจขันวงล้อของชุดเครื่องมือได้ การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง (Burghardt et al., 2020) สามารถตั้งข้อสมมติฐานสำหรับงานวิจัยได้อย่างชัดเจนคือ ถ้าเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงได้ถูกต้องแล้วการเชื่อมต่อโปรแกรมการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเข้ากับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริงก็ถูกต้องเช่นกัน ประโยชน์ของการเขียนโปรแกรมการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงนั้น (Pérez, Rodríguez-Jiménez, Rodríguez, Usamentiaga, & Daniel, 2020) สามารถป้องกันและลดข้อผิดพลาดทางเทคนิคได้ อาทิเช่น การชนของหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่ผิดตำแหน่งของเงื่อนไข ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไม่สมดุล ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้



ความสำคัญและความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีเสมือนจริงมาใช้ร่วมกับการออกแบบกระบวนการสำหรับการถอดวงล้อรถยนต์โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม เนื่องจากขั้นตอนการสอนแขนกลของหุ่นยนต์ให้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขได้นั้น ผู้ที่มีประสบการณ์เท่านั้นสามารถทำได้ถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ มันเป็นเรื่องยากสำหรับผู้ที่มีประสบการณ์น้อยที่จะประสบความสำเร็จในขั้นตอนการสอนแขนกลของหุ่นยนต์ ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยคือการชนของแขนกลในขณะที่ทำการสอนแขนกล ทำให้แขนกลและอุปกรณ์อื่น ๆ ได้รับความเสียหายตามมา ส่งผลให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง การสอนแขนกลของหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสามารถป้องกันการชนปะทะและความเสียหายได้

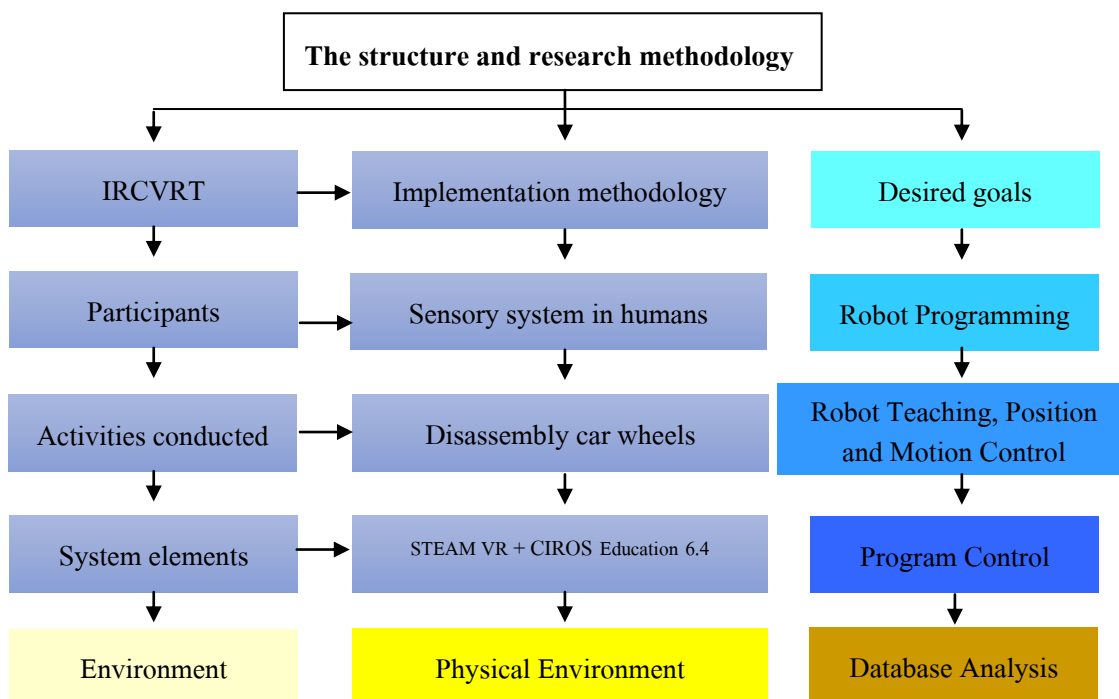
จากกรอบแนวคิดที่หลายองค์กรได้มีการใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงที่มีการแพร่หลายอย่างรวดเร็วในภาคอุตสาหกรรมการผลิต (Bottani & Vignali, 2019) ผู้วิจัยตระหนักถึงการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรที่จะเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม 4.0 โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักศึกษาที่จะเป็นบุคลากรที่สำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรม 4.0 และระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติเป็นศาสตร์ที่สำคัญยิ่งสำหรับการสร้างองค์ความรู้เข้าสู่การใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อ (Interface Technology) โดยเป็นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ผสมผสานกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ล้ำสมัย (Adebayo, Chaubey, & Numbu, 2019)

วัตถุประสงค์

เพื่อการออกแบบกระบวนการถอดวงล้อของวงล้อรถยนต์โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงและสามารถเขียนโปรแกรมแบบโมดูลาร์ได้

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ มีโครงสร้างและระเบียบวิธีการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้ 1) หุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง (Industrial Robot Collaborate with Virtual Reality Technology: IRCVRT) 2) ผู้เข้าร่วมการทดลองหรือผู้ใช้งาน (Participants) 3) กิจกรรมที่ดำเนินการ (Activities conducted) 4) องค์ประกอบของระบบ (System elements) และ 5) สภาพแวดล้อม (Environments) โครงสร้างและระเบียบวิธีการวิจัย ตลอดจนวิธีการดำเนินการสำหรับงานวิจัยนี้ ได้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 The structure and research methodology

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง (IRCVRT)

จากภาพที่ 1 เป็นลักษณะโครงสร้างและระเบียบวิธีการวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการรวมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง (Industrial Robot Collaborate with Virtual Reality Technology: IRCVRT) เป็นโครงสร้างและองค์ประกอบของการวิจัยที่สำคัญ และเป็นการรวมระบบการใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์อุตสาหกรรมกับระบบเทคโนโลยีเสมือนจริง (Kuts, Tahemaa, Otto, & Bondarenko, 2019) ซึ่งในบริบทนี้ได้มีการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม CIROS Education 6.4 กับโปรแกรม STEAM VR บทบาทที่สำคัญในบริบทนี้คือ วิธีการดำเนินการ (Implementation methodology) ในการเชื่อมต่อระบบทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยมีเป้าประสงค์เพื่อให้กิจกรรมสามารถดำเนินการได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ (Desired goals) ของการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการทดลองหรือผู้ใช้งาน (Participants)

ผู้เข้าร่วมการทดลองหรือผู้ใช้งานเป็นนักศึกษาและบุคลากรที่ไม่เคยมีประสบการณ์ในการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม และไม่เคยมีประสบการณ์เกี่ยวกับการควบคุมระบบอัตโนมัติรวมถึงการใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง จำนวน 30 คน เหตุผลที่เลือกผู้เข้าร่วมการทดลองที่ไม่เคยมีประสบการณ์เนื่องจากต้องการประเมินตามลักษณะความเป็นจริงผู้เข้าร่วมการทดลองหรือผู้ใช้งานต้องดำเนิน



กิจกรรมการสอนหุ่นยนต์ (Robot Teaching) การสอนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในบริบทนี้ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด (Elisa Tosello et al., 2019) ผู้เข้าร่วมการทดลองหรือผู้ใช้งานจะได้รับการฝึกอบรมในระดับเบื้องต้น ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานตลอดจนการปฏิบัติงานจริงอย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ หลังจากผู้เข้าร่วมทดลองเข้าใจหลักการทำงานเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้เข้าร่วมทดลองจะทดลองลงมือปฏิบัติโดยจะเน้นการสอนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดก่อนใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริง

กิจกรรมที่ดำเนินการ (Activities conducted)

กิจกรรมที่ดำเนินการในงานวิจัยนี้ เป็นการสอนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมโดยใช้แขนกลถอดสกรูออกจากวงล้อรถยนต์ตามเงื่อนไขที่กำหนด ผู้เข้าร่วมการทดลองหรือผู้ใช้งานต้องดำเนินการกิจกรรมการสอนหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยมีกิจกรรมหลัก ๆ ประกอบด้วย การควบคุมตำแหน่งและการควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล ภายใต้กิจกรรมดังกล่าวจะถูกบันทึกด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer Sensor) เมื่อแขนกลถูกสอนการถอดสกรูเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ที่มีความชำนาญนำไปเขียนโปรแกรมหุ่นยนต์มารวมกับการควบคุมตำแหน่งของแขนกลเพื่อเป็นโปรแกรมควบคุม (Program control) หุ่นยนต์ทั้งระบบอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นหุ่นยนต์จึงจะสามารถขับเคลื่อนและทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ โดยหุ่นยนต์จะทำการตรวจสอบเครื่องมือก่อนว่า เครื่องมือที่จะใช้งานถูกต้องหรือไม่ หากไม่ถูกต้องหุ่นยนต์จะทำการถอดเปลี่ยนเครื่องมือก่อน กรณีที่เครื่องมือที่จะใช้งานถูกต้อง หุ่นยนต์จะทำการถอดสกรูออกจากวงล้อตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่ได้เขียนไว้

องค์ประกอบของระบบ (System elements)

องค์ประกอบของระบบที่จะขับเคลื่อนให้ระบบดำเนินการได้นั้นต้องประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ โปรแกรมสตีมวียอร์ (STEAM VR) และโปรแกรมไซรอสอีดูเคชัน 6.4 (CIROS Education 6.4) ในส่วนของโปรแกรมสตีมวียอร์จะเป็นระบบการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เสมือนจริงกับปฏิสัมพันธ์ของมนุษย์ (Human interaction) อุปกรณ์หลักที่ใช้ร่วมกับโปรแกรมสตีมวียอร์ประกอบด้วย Head mounted display, Base Stations, Controllers และ HTC Vive Trackers อุปกรณ์เหล่านี้สามารถสร้างจากทุกที่ในพื้นที่ 3 มิติ ให้เป็นระบบเสมือนจริงและยังแสดงสถานะอุปกรณ์ตลอดจนสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ ส่วนโปรแกรมไซรอสอีดูเคชันเป็นเครื่องมือระดับมืออาชีพในการสร้างโมเดลจำลองโดยใช้สำหรับการสร้างอุตสาหกรรมแพลตฟอร์ม ซึ่งโปรแกรมได้รับการพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพของโลก นอกจากนี้แล้ว โปรแกรมไซรอสอีดูเคชัน 6.4 สามารถรวมเข้าด้วยกันเป็นหนึ่งเดียวกับเครื่องมือ เพื่อการสร้างโมเดล 3 มิติ การสร้างแบบจำลองและการเขียนโปรแกรม สำหรับอุปกรณ์หลักที่ใช้ร่วมกับสตีมวียอร์ และโปรแกรมไซรอส ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2



(a) The VR equipment and accessories

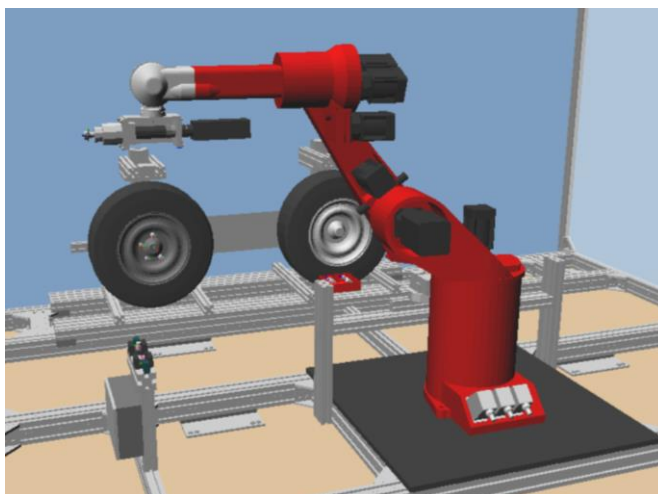
(b) The CIROS package software

ภาพที่ 2 The main equipment and CIROS software

ภาพที่ 2(a) เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ร่วมกับโปรแกรมสตีมวียอร์เพื่อให้เกิดมิติของความเป็นเสมือนจริง ส่วนภาพที่ 2(b) โปรแกรมไซรอสอีดูเคชั่น 6.4 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป CIROS (Computer Integrated Robot Simulation) อยู่ในแพ็คเกจของ Virtual Learning Environment ที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมการควบคุมหุ่นยนต์ เป็นระบบจำลอง 3 มิติ ที่เป็นสากลมีความเหมาะสมสำหรับช่วงการใช้งานที่หลากหลาย ปรับตัวได้ในองค์ประกอบ มีประสิทธิภาพและสะดวกสำหรับการทำงานในชีวิตประจำวัน ลักษณะเด่นที่สำคัญของ CIROS มีตั้งแต่การใช้การจำลอง 3 มิติในการฝึกอบรม และการศึกษาเพื่อการสร้างโรงงานดิจิทัลแบบเรียลไทม์ การจำลองสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนสมจริงและเสมือนจริง สามารถกำหนดตำแหน่งและลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีลักษณะโครงสร้างของภาษาโปรแกรมขั้นสูงสำหรับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

สภาพแวดล้อม (Environment)

สภาพแวดล้อมสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Physical Environment) การสร้างสภาพแวดล้อมทางกายภาพสามารถสร้างได้จากไลบรารี (Design Library) ของโปรแกรม CIROS Education 6.4 ที่มีระบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและส่วนประกอบระบบอัตโนมัติมากมาย ตลอดจนมีกลไกอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพ และอีกวิธีหนึ่งสามารถสร้างได้จาก CAD (Computer Aided Design) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ สามารถนำเข้าเป็นไฟล์มาตรฐานสำหรับระบบ CAD และสามารถบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุลดังนี้ อาทิเช่น DXF, STEP, IGES, VRML และ STL การสร้างแบบจำลอง 3 มิติเป็นการกำหนดพารามิเตอร์ของเรขาคณิต จลนศาสตร์และวัสดุที่มีลักษณะทางกายภาพ ซึ่งสภาพแวดล้อมทางกายภาพสำหรับงานวิจัยนี้ได้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3



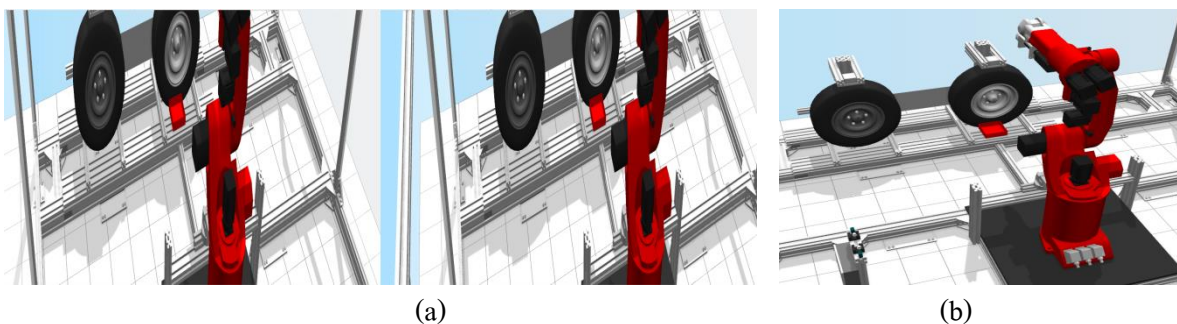
ภาพที่ 3 The physical environment was created by using CIROS Education 6.4

แผนการทดลอง

หลักการวางแผนการทดลอง ผู้วิจัยได้ยึดแผนการทดลองที่ประกอบด้วย การตั้งข้อสมมติฐาน ตัวแปร การวัด หน่วยการทดลอง กิจกรรมการทดลอง ตลอดจนการวิเคราะห์ผลทางสถิติ แผนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ จะเน้นที่กิจกรรมการสอนหุ่นยนต์ (Robot Teaching) ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ซึ่งในแผนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งสภาพแวดล้อมเสมือนจริงออกเป็น 2 สภาพแวดล้อม คือ 1) สภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตอริโอ (Stereo Environment) และ 2) สภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบอุปกรณ์เสมือนจริง (Virtual Reality Devices Environment) ทั้งนี้เพื่อเป็นการพิสูจน์ให้ทราบว่าสภาพแวดล้อมใดมีประสิทธิภาพสำหรับกิจกรรมการสอนหุ่นยนต์ การทดลองการสอนหุ่นยนต์อุตสาหกรรม สำหรับงานวิจัยนี้มีผู้เข้าร่วมทำการทดลอง จำนวน 30 คน ผู้เข้าร่วมทำการทดลองทุกคนต้องสอนหุ่นยนต์โดยเป็นการกำหนดตำแหน่งของสกรูตั้งแต่ตำแหน่งสกรูที่ 1 (SCREW 1) จนถึงสกรูที่ 5 (SCREW 5) ในทุกตำแหน่งสกรูจะถูกเก็บเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สภาพแวดล้อมใดที่สามารถอำนวยความสะดวกให้ผู้ทดลองสอนหุ่นยนต์เข้าใจตำแหน่งอ้างอิงมากที่สุด ถือได้ว่าสภาพแวดล้อมนั้นมีความแม่นยำและเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการสอนหุ่นยนต์ เพื่อให้มีความชัดเจนมากขึ้นได้แสดงลักษณะสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตอริโอได้แสดงไว้ในภาพที่ 4(a) เป็นสภาพแวดล้อมที่แสดงความเป็นเสมือนจริงด้วยการมองที่ต้องประกอบด้วยแว่นตา 3 มิติ (The stereo environment display with 3D glasses) และแสดงผลแบบสเตอริโอ ส่วนสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบอุปกรณ์เสมือนจริงได้แสดงไว้ในภาพที่ 4(b) เป็นสภาพแวดล้อมที่ต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์เสมือนจริง (The VR devices environment display with HMD) ความแตกต่างระหว่างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตอริโอและสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบอุปกรณ์เสมือนจริงนั้น



สภาพแวดล้อมแบบสแตริโอภาพจะปรากฏในลักษณะ 2 แต่เมื่อได้สวมแว่นตา 3 มิติ แล้วทำให้เห็นเป็นภาพเดียวกัน และมีมุมเชิงลึกเกิดมาทำให้เกิดเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมือนจริงมากขึ้น ในส่วนสภาพแวดล้อมแบบอุปกรณ์เสมือนจริงนั้นต้องใช้อุปกรณ์เสมือนจริงในภาพที่ 4(b) เท่านั้น จึงจะเห็นภาพได้ แต่ภาพที่ปรากฏมีความชัดเจนมากกว่าสภาพแวดล้อมแบบสแตริโอ



ภาพที่ 4 The physical environment of both environments

การทดลองในครั้งนี้ ได้มีการกำหนดค่ากลางของพารามิเตอร์ และตำแหน่งแกนกลของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งในที่นี้เป็นตำแหน่งของสกรูทั้ง 5 ตัว และตำแหน่งของประแจทั้ง 6 ตำแหน่ง ตลอดจนตำแหน่งของ Home ทั้งนี้เพื่อเป็นตำแหน่งสำหรับการอ้างอิงและการเปรียบเทียบสำหรับการทดลอง ตลอดจนการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากการทดลองเป็นการประเมินการวัดความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งของแกนกลตามตำแหน่งที่ระบุ

ตารางที่ 1 The parameter for position and orientation reference of industrial robot

Name	Position	Orientation
OFFSET	0.0, 0.0, 15.0	0, 0, 0, R, A, F
TOOL FRAME	210.0, 0.0, 151.6	90, 0, -90, R, A, F
SCREW 1	1450.0, -75.0, 344.0	-90, 0, 91, R, A, F
SCREW 2	1450.0, -49.0, 273.0	-90, 0, 91, R, A, F
SCREW 3	1450.0, 19.0, 273.0	-90, 0, 91, R, A, F
SCREW 4	1447.5, 42.9, 344.0	-90, 0, 91, R, A, F
SCREW 5	1447.5, -15.0, 388.0	-90, 0, 91, R, A, F
BOX 1	1330.0, 0.0, 105.0	173, 14, 60, R, A, F
BOX 2	1300.0, 0.0, 105.0	-177, -4, 61, R, A, F
BOX 3	1270.0, 0.0, 105.0	-177, -4, 61, R, A, F
BOX 4	1330.0, 85.0, 105.0	174, 14, 62, R, A, F
BOX 5	1300.0, 85.0, 105.0	-177, -4, 61, R, A, F
BOX 6	1270.0, 85.0, 105.0	-177, -4, 61, R, A, F
HOME	-0.3, 1053.7, 1034.2	0, 0, 90, R, A, F



ผลการวิจัย

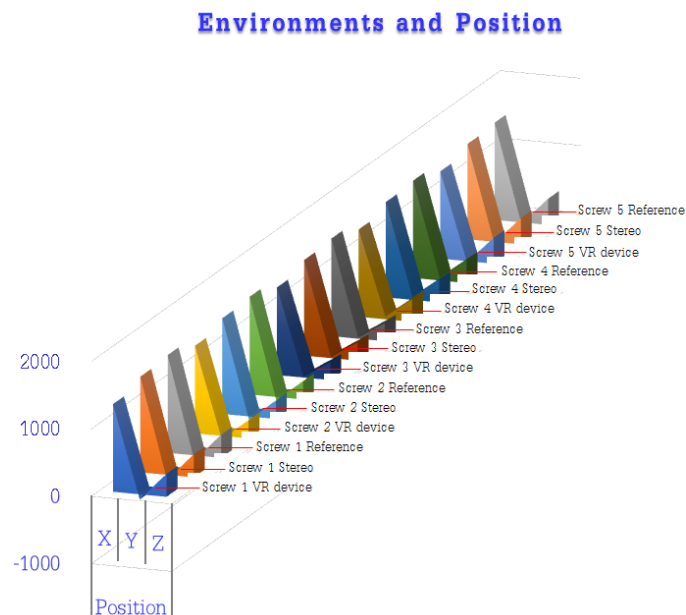
ผลการทดลองที่ได้จากกิจกรรมการสอนหุ่นยนต์สำหรับการถอดสกรูออกจากวงล้อรถยนต์นั้น การทดลองในครั้งนี้ มีผู้เข้าร่วมทำการทดลอง จำนวน 30 คน ผู้เข้าร่วมการทดลองได้ทำการสอนหุ่นยนต์สำหรับการถอดสกรูออกจากวงล้อ ตั้งแต่สกรูตัวที่ 1 จนถึงสกรูตัวที่ 5 ตามลำดับ ซึ่งสกรูแต่ละตัวจะประกอบด้วย 3 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ตำแหน่ง X, Y, และ Z โดยที่ผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนต้องทำการสอนหุ่นยนต์ จำนวน 10 รอบด้วยกัน และต้องสอนหุ่นยนต์ให้ครบทุกตำแหน่ง เมื่อผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนได้ทำการทดลองครบ 10 รอบ ถือว่าการทดลองได้เสร็จสมบูรณ์ การบันทึกผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ความแม่นยำทางสถิตินั้น ผู้วิจัยได้มีการเก็บบันทึกข้อมูลจากการสอนหุ่นยนต์ทุกตำแหน่งของสกรูทั้งหมด และนำผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยตำแหน่งของสกรูทั้ง 2 สภาพแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย สภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตอริโอและสภาพแวดล้อมแบบอุปกรณ์เสมือนจริง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งในสภาพแวดล้อมทั้งสอง เพื่อให้มีความง่ายต่อการประเมินผลของความแม่นยำในตำแหน่งต่าง ๆ นั้น ผู้วิจัยได้มีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงจากโปรแกรมตลอดจนค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมอ้างอิง ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 1 ไว้ก่อนหน้านี้นี้แล้ว ส่วนผลการทดลองที่ได้จากกิจกรรมการสอนหุ่นยนต์สำหรับการถอดสกรูออกจากวงล้อรถยนต์นั้น ข้อมูลได้ถูกแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของสกรูทั้ง 5 ตำแหน่ง และทั้ง 3 สภาพแวดล้อม ดังตารางที่ 2 การทดลองในครั้งนี้ ผู้เข้าร่วมการทดลองมีความตั้งใจสูงและมีความตื่นตัวพอสมควร เนื่องจากเป็นสิ่งแปลกใหม่สำหรับผู้เข้าร่วมการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ยตำแหน่งของสกรูที่ 1 ถึงสกรูที่ 5 (ตำแหน่ง X, Y, Z) และสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ได้ทำการทดลองเพียง 2 สภาพแวดล้อมเท่านั้น คือ สภาพแวดล้อมแบบสเตอริโอและแบบอุปกรณ์เสมือนจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตำแหน่งของสกรูทุกตำแหน่งในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตอริโอมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากกว่าสภาพแวดล้อมแบบอุปกรณ์เสมือนจริง ทั้งนี้เพื่อให้มีความง่ายต่อการวิเคราะห์และพิจารณาข้อมูลทางสถิติที่ได้จากตารางที่ 2 นั้น ผู้วิจัยได้สร้างเป็นกราฟ 3 มิติ ทั้งนี้เพื่อให้ผลที่ได้จากการทดลองได้มีความชัดเจนมาก และกราฟดังกล่าวได้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 5



ตารางที่ 2 The average screw position operate by robot arm in each environment

Name	Environment	Positions		
		X	Y	Z
SCREW 1	VR device	1300.045	-75.236	340.335
	Stereo	1420.009	-75.047	343.267
	Reference	1450.000	-75.000	344.000
SCREW 2	VR device	1300.048	-49.338	269.231
	Stereo	1420.010	-49.068	272.246
	Reference	1450.000	-49.000	273.000
SCREW 3	VR device	1300.048	18.662	269.231
	Stereo	1420.010	18.932	272.246
	Reference	1450.000	19.000	273.000
SCREW 4	VR device	1297.598	42.562	340.231
	Stereo	1417.560	42.832	343.246
	Reference	1447.500	42.900	344.000
SCREW5	VR device	1297.598	-15.338	384.231
	Stereo	1417.560	-15.068	387.246
	Reference	1447.500	-15.000	388.000



ภาพที่ 5 The average position of robot arm in different environments



จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าตำแหน่งของสกรูทุกตัวในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอมีค่าใกล้เคียงค่าจุดอ้างอิงในทุกตำแหน่งของแกน อาทิเช่น แกน X, Y และ แกน Z มากกว่าสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบอุปกรณ์เสมือนจริง เพราะฉะนั้นความเหมาะสมในการเลือกสภาพแวดล้อมสำหรับการสอนหุ่นยนต์ควรเลือกสภาพแวดล้อมที่มีค่าตำแหน่งที่มีความแม่นยำมากที่สุด จึงจะเกิดประสิทธิภาพต่อการปฏิบัติงาน ด้วยเหตุผลที่ค่าความแม่นยำของของตำแหน่งต่างๆในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอมีมากกว่าสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบอุปกรณ์เสมือนจริง เนื่องจากความสะดวกและความคล่องตัวสำหรับการทำกิจกรรมด้วยสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอมีอุปกรณ์ที่ไม่มากนัก

อภิปรายผล

ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับข้อสมมติฐานสำหรับงานวิจัยได้อย่างชัดเจนคือ ถ้าเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงได้ถูกต้องแล้ว การเชื่อมต่อโปรแกรมการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเข้ากับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริงก็ถูกต้องเช่นกัน จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมที่มีความแม่นยำและมีค่าเฉลี่ยเข้าใกล้กับสภาพแวดล้อมอ้างอิงมากที่สุดคือสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอมากกว่าสภาพแวดล้อมแบบอุปกรณ์เสมือนจริง เพราะฉะนั้นการกำหนดตำแหน่งต่างๆ ของแขนกลสามารถนำข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอมากำหนดต่างแขนกลในโปรแกรม โดยไม่จำเป็นต้องใช้แขนกลจริง ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันและลดข้อผิดพลาดทางเทคนิคได้ อาทิเช่น การชนของหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่ผิดตำแหน่งของเกียร์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไม่สมดุล ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้

สรุป

จากการวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า เทคโนโลยีเสมือนจริงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการสอนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้จริง เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเขียนโปรแกรมแล้วสามารถลดการชนและการกระแทกของแขนกลได้ เมื่อผู้ปฏิบัติงานได้ทดลองใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงก่อน ก่อนที่จะใช้กับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริง จากการทดลองในเบื้องต้นระหว่างการใช้สภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอกับการใช้สภาพแวดล้อมอุปกรณ์เสมือนจริงนั้น จะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแบบสเตรีโอมีค่าเฉลี่ยของความแม่นยำเข้าใกล้กับสภาพแวดล้อมอ้างอิงมากที่สุด ในความเป็นจริงการใช้สภาพแวดล้อมเสมือนจริงอาจจะอยู่ที่เงื่อนไขและข้อจำกัดของระบบ ตลอดจนความเหมาะสมกับงานในแต่ละประเภท



ข้อเสนอแนะ

การใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมและระบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมต้องมียุทธศาสตร์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมระบบอัตโนมัติและกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ การใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมและระบบอัตโนมัติสามารถเพิ่มผลผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความแม่นยำและความต่อเนื่องของกระบวนการ ซึ่งมนุษย์มีขีดความสามารถที่จำกัด ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาความสามารถในการใช้งานตลอดจนการพัฒนาหุ่นยนต์และพัฒนาระบบใหม่ ๆ กระบวนการเหล่านี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการแก้ไขปัญหาที่ชาญฉลาด ทั้งนี้เพื่อให้กระบวนการเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในระบบนั้น ๆ งานวิจัยนี้สามารถช่วยเหลือในการฝึกอบรมสำหรับผู้ใช้งานหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและระบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี

รายการอ้างอิง (References)

- Adebayo, A.O., Chaubey, M.S., & Numbu, L.P. (2019). Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution and how it Relates to the Application of Internet of Things (IoT). *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 5(2), 2477-2482.
- Alla G.K., & Kacprzyk, J. (2019). Robotics: Industry 4.0 Issues & New Intelligent Control Paradigms, *Studies in Systems, Decision and Control*, Volume 272. Springer.
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing Industry. *Iise Transactions*, 51(3), 284-310.
- Burghardt, A., Szybicki, S.P., Gierlak, P., Kurc, K., Pietru, P., & Cygan, R. (2020). Programming of Industrial Robots Using Virtual Reality and Digital Twins. *Applied Sciences*, 10(486), 1-13.
- Ervural, B.C., & Ervural, B. (2018). Overview of Cyber Security in the Industry 4.0 Era, Industry 4.0: Managing. *The Digital Transformation*, 267-284.
- Galin, R., & Meshcheryakov, R. (2019). Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. *Materials Science and Engineering*, 537, 1-6.
- Geihs, K. (2020). Engineering Challenges Ahead for Robot Teamwork in Dynamic Environments. *Applied Sciences*, 10(1368), 1-18.
- Kravets Alla G. (2020). Analysis of Dynamics in Human—Exoskeleton Collaborative, System Robotics: Industry 4.0. *Issues & New Intelligent Control Paradigms*, 272, 113-124.



- Kuts, V., Tahemaa, T., Otto, T., & Bondarenko, Y. (2019). Digital twin based synchronised control and simulation of the industrial robotic cell using virtual reality, *Journal of Machine Engineering*, 19(1), 128-145.
- Lampropoulos, G., Siakas, K., & Anastasiadis, T. (2019). Internet of Thing in the Context of Industry 4.0: an Overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7(1), 4-19.
- McMillan, K., Flood, K., & Glaeser, R. (2017). Virtual reality, augmented reality, mixed reality, and the marine conservation movement. *John Wiley & Sons*, 27(S1), 162–168.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127–182.
- Perez, L., Rodríguez-Jiménez, S., Rodríguez, N., Usamentiaga R., & Daniel F.G. (2020). Digital Twin and Virtual Reality Based Methodology for Multi-Robot Manufacturing Cell Commissioning. *Applied Sciences*, 10(3633), 1-18.
- Qu, Y.J., Ming, X.G., Liu, Z.W., Zhang, X.Y. & Hou, Z.T. (2019). Smart manufacturing systems: state of the art and future trends, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 3751–3768.
- Radianti, J., Tim A.M., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 1-29.
- Tosello, E., Menegatti, E., & Castaman, N. (2019). Using Robotics to Train Students for Industry 4.0, *International Federation of Automatic Control*, 52(9), 159–164.
- Trochimczuk, R., Lukaszewicz, A., Szczebiot, R., Alexey G.K., & Mircheski, I. (2019). Modeling, Programming and Simulation of Robotized Workcell Created for Industrial and Service Needs. *Engineering for Rural Development*, 18(455), 1313-1318.
- Vassilis C.M., & Nikos A.A. (2016). IT and Mechatronics in Industrial Robotic Workcell Design and Operation. *Research Gate*, 440-455.
- Vinuesa et al., (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communication*, 11(233), 1-10.