



Polyfunctional Robots

นายคมชาญ วิเศษนคร
663040419-1

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา EN813761 การสัมมนาทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568

บทคัดย่อ

Abstract

คำสำคัญ: หุ่นยนต์อเนกประสงค์, หุ่นยนต์โมดูลาร์, การควบคุมแบบลำดับชั้น, เซ็นเซอร์หลายโหมด, แอคชูเอเตอร์ปรับความแข็งได้

Keywords: Polyfunctional Robots, Modular Robotics, Hierarchical Control, Multimodal Sensors, Variable Stiffness Actuators

สารบัญ

1	บทนำ	3
1.1	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.2	ขอบเขตการศึกษา	4
1.3	คำจำกัดความสำคัญ	4
1.4	ระเบียบวิธีการศึกษา	5
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2	เนื้อหา	5
2.1	นิยามและแนวคิดหุ่นยนต์อเนกประสงค์	6
2.2	สถาปัตยกรรมและการออกแบบ	7
2.3	เทคโนโลยีหลักและการควบคุม	8
2.4	การประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม	9
3	การวิเคราะห์และอภิปราย	11
4	เอกสารประมิณขายงานฉบับสมบูรณ์	11
5	ความคิดสร้างสรรค์และความเยียบร้อย	11
6	สรุป	11
A	ภาคผนวก ก: คำศัพท์เทคนิค	13
B	ภาคผนวก ข: ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยี	13

คำนำ

องค์ประกอบของรายงาน

1 บทนำ

หุ่นยนต์อเนกประสงค์ (Polyfunctional Robots) หรือหุ่นยนต์อเนกฟังก์ชัน เป็นระบบหุ่นยนต์ขั้นสูงที่ออกแบบให้สามารถปฏิบัติการกิจที่หลากหลายและซับซ้อนภายในระบบเดียว โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนฮาร์ดแวร์หลักอย่างมีนัยสำคัญ (Liang et al., 2025) ซึ่งแตกต่างจากหุ่นยนต์แบบดั้งเดิมที่มีก๊อออกแบบมาเพื่อปฏิบัติงานเฉพาะทางเพียงอย่างเดียว หุ่นยนต์อเนกประสงค์สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการทำงานผ่านการปรับโครงสร้างทางกายภาพ (Physical Reconfiguration) การเขียนโปรแกรมควบคุมใหม่ (Software Reconfiguration) หรือการผสมผสานโมดูลต่างๆ เข้าด้วยกัน (Post et al., 2023)

ในยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรม 4.0 และการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ ความต้องการหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวได้กับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Mohammadi Zeidi et al., 2023) หุ่นยนต์อเนกประสงค์จึงกลายเป็นทางเลือกที่มีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ตั้งแต่การผลิตและการประกอบชิ้นส่วน ไปจนถึงการแพทย์และการสำรวจอวกาศ เนื่องจากสามารถลดต้นทุนการลงทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานผ่านการใช้ระบบเดียวสำหรับหลายงาน

แนวคิดของหุ่นยนต์อเนกประสงค์มีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับหุ่นยนต์โมดูลาร์ (Modular Robots) และหุ่นยนต์ที่ปรับโครงสร้างได้ด้วยตนเอง (Self-Reconfiguring Robots) (Seo & Paik, 2019) อย่างไรก็ตาม หุ่นยนต์อเนกประสงค์มีจุดเน้นที่แตกต่างออกไป คือ การเน้นที่ความสามารถในการปฏิบัติงานหลากหลายประเภทมากกว่าการเปลี่ยนรูปร่างหรือโครงสร้าง ทำให้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมที่ต้องการความเชี่ยวชาญในหลายด้านพร้อมกัน

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์อเนกประสงค์ในมุมมองทางวิศวกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายเฉพาะ ดังนี้

1. **วิเคราะห์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ** เพื่อศึกษาหลักการออกแบบสถาปัตยกรรมแบบโมดูลาร์ที่ปรับโครงสร้างได้ (Modular Reconfigurable Architecture) และระบบควบคุมแบบลำดับขั้น (Hierarchical Control Systems) ที่เป็นพื้นฐานสำคัญของหุ่นยนต์อเนกประสงค์ (Tassi & Ajoudani, 2024)

2. **ศึกษาเทคโนโลยีหลัก** โดยเฉพาะการบูรณาการเซ็นเซอร์แบบหลายโหมด (Multimodal Sensor Integration) (Yang et al., 2024) แอคชูเอเตอร์ปรับความแข็งได้ (Variable Stiffness Actuators) และการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบโมเดลพื้นฐาน (Foundation Models) ในการควบคุม

3. **วิเคราะห์การประยุกต์ใช้** ในภาคอุตสาหกรรมสำคัญ รวมถึงการผลิตอัตโนมัติ การแพทย์ การสำรวจอวกาศ และการกู้ภัยพิบัติ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4. ระบุความท้าทายและข้อจำกัด ทั้งในด้านเทคนิคและการนำไปใช้งานจริง รวมถึงประเด็นด้านความปลอดภัยและมาตรฐานสากล เช่น ISO 10218-1:2025 (International Organization for Standardization, 2025)

1.2 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นหุ่นยนต์อเนกประสงค์ในบริบททางวิศวกรรม โดยครอบคลุมระบบที่มีความสามารถในการปฏิบัติงานหลากหลายผ่านกลไกต่างๆ ดังนี้

ขอบเขตด้านเทคนิค การศึกษาครอบคลุมหุ่นยนต์ที่สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันผ่าน (1) การปรับโครงสร้างทางกายภาพแบบโมดูลาร์ (2) การเปลี่ยนแปลงอัลกอริทึมควบคุมและซอฟต์แวร์ และ (3) การผสมผสานโมดูลฮาร์ดแวร์ที่แตกต่างกัน

ขอบเขตด้านการประยุกต์ใช้ เน้นการใช้งานในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมและการค้า รวมถึงการแพทย์ การสำรวจ และการบริการ โดยไม่รวมถึงหุ่นยนต์เฉพาะทางที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันได้

ขอบเขตด้านเวลา การศึกษาเน้นงานวิจัยและพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 ถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความก้าวหน้าในช่วง 5 ปีล่าสุดที่มีการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง

1.3 คำจำกัดความสำคัญ

เพื่อความชัดเจนในการศึกษา จึงกำหนดคำจำกัดความของแนวคิดสำคัญ ดังนี้

หุ่นยนต์อเนกประสงค์ (Polyfunctional Robots) หมายถึง ระบบหุ่นยนต์ที่สามารถปฏิบัติงานที่หลากหลายและแตกต่างกันได้ภายในระบบเดียว โดยมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการทำงานตามความต้องการของงานแต่ละประเภท

หุ่นยนต์โมดูลาร์ (Modular Robots) หมายถึง หุ่นยนต์ที่ประกอบด้วยโมดูลแยกส่วนที่สามารถเชื่อมต่อและแยกออกจากกันได้ เพื่อสร้างโครงสร้างและฟังก์ชันใหม่ตามต้องการ (Bi & Wang, 2016)

หุ่นยนต์ปรับโครงสร้างได้ (Self-Reconfiguring Robots) หมายถึง หุ่นยนต์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างของตนเองได้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับงานหรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Hameed et al., 2017)

การควบคุมแบบลำดับขั้น (Hierarchical Control) หมายถึง ระบบควบคุมที่จัดระดับการควบคุมเป็นชั้นๆ โดยชั้นบนมีหน้าที่วางแผนและตัดสินใจระดับสูง ส่วนชั้นล่างดำเนินการควบคุมรายละเอียดเฉพาะทาง

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมเชิงพรรณนา (Descriptive Literature Review) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ โดยรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทางวิชาการที่เชื่อถือได้ ประกอบด้วย

แหล่งข้อมูลหลัก วารสารวิชาการระดับนานาชาติที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer-reviewed Journals) เช่น IEEE Transactions on Robotics, International Journal of Robotics Research, และ Journal of Intelligent & Robotic Systems

แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ รายงานการประชุมวิชาการนานาชาติ (Conference Proceedings) มาตรฐานสากล และรายงานวิจัยจากสถาบันชั้นนำ เช่น NIST และ ISO

เกณฑ์การคัดเลือกข้อมูล เน้นงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในช่วงปี ค.ศ. 2015-2025 มีการอ้างอิงและความน่าเชื่อถือสูง และเกี่ยวข้องโดยตรงกับหุ่นยนต์อเนกประสงค์หรือแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การสังเคราะห์เชิงพรรณนา (Narrative Synthesis) โดยจัดกลุ่มข้อมูลตามประเด็นหลัก วิเคราะห์แนวโน้มและความสัมพันธ์ และสรุปเป็นองค์ความรู้ที่เป็นระบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษานี้คาดว่าจะให้ประโยชน์แก่ผู้เกี่ยวข้องหลายกลุ่ม ดังนี้

สำหรับนักวิจัยและนักวิชาการ เป็นการสังเคราะห์องค์ความรู้ที่เป็นปัจจุบันและครอบคลุม สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิจัยต่อยอดในอนาคต

สำหรับผู้ประกอบการและวิศวกร ให้ข้อมูลสำคัญสำหรับการตัดสินใจลงทุนและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์อเนกประสงค์ในภาคอุตสาหกรรม

สำหรับนักศึกษาและผู้สนใจ เป็นแหล่งข้อมูลการเรียนรู้ที่เป็นระบบเกี่ยวกับเทคโนโลยีหุ่นยนต์ขั้นสูง และแนวโน้มการพัฒนาในอนาคต

สำหรับหน่วยงานกำกับดูแล ให้ข้อมูลประกอบการพิจารณาจัดทำนโยบายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานหุ่นยนต์อเนกประสงค์อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

2 เนื้อหา

เนื้อหาของรายงานในส่วนนี้จะครอบคลุมองค์ความรู้หลักเกี่ยวกับหุ่นยนต์อเนกประสงค์ในด้านต่างๆ ที่สำคัญทางวิศวกรรม โดยแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อย่อยหลัก ได้แก่ นิยามและแนวคิด สถาปัตยกรรมและการออกแบบ เทคโนโลยีหลักและการควบคุม และการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม

2.1 นิยามและแนวคิดหุ่นยนต์อเนกประสงค์

หุ่นยนต์อเนกประสงค์ (Polyfunctional Robots) เป็นแนวคิดที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการทำงานได้ตามสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากหุ่นยนต์แบบดั้งเดิมที่มีกรอบแบบมาเพื่อปฏิบัติงานเฉพาะอย่างเดียว (Liang et al., 2025) การพัฒนาหุ่นยนต์อเนกประสงค์มีพื้นฐานมาจากหลักการของหุ่นยนต์โมดูลาร์และหุ่นยนต์ที่สามารถปรับโครงสร้างได้ด้วยตนเอง แต่มีจุดเน้นที่การเพิ่มความสามารถในการปฏิบัติงานหลากหลายมากกว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเพียงอย่างเดียว

แนวคิดหลักของหุ่นยนต์อเนกประสงค์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามกลไกการปรับเปลี่ยนฟังก์ชัน ประการแรก **การปรับโครงสร้างทางกายภาพ (Physical Reconfiguration)** ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือรูปร่างของหุ่นยนต์เพื่อให้เหมาะสมกับงานใหม่ เช่น การเชื่อมต่อหรือแยกโมดูลต่างๆ การปรับขนาดหรือรูปร่างของส่วนประกอบ (Post et al., 2023) ประการที่สอง **การปรับซอฟต์แวร์และอัลกอริทึม (Software Reconfiguration)** เป็นการเปลี่ยนแปลงโปรแกรมควบคุม อัลกอริทึมการเรียนรู้ หรือแผนการทำงานของหุ่นยนต์โดยไม่ต้องเปลี่ยนฮาร์ดแวร์ และประการสุดท้าย **การผสมผสานโมดูลฮาร์ดแวร์ (Hardware Module Integration)** คือการรวมหรือแยกโมดูลฮาร์ดแวร์ที่มีฟังก์ชันเฉพาะเพื่อสร้างความสามารถใหม่

ความแตกต่างสำคัญระหว่างหุ่นยนต์อเนกประสงค์กับหุ่นยนต์ประเภทอื่นสามารถสรุปได้ดังนี้ **หุ่นยนต์ทั่วไป (Conventional Robots)** ออกแบบมาเพื่อปฏิบัติงานเฉพาะอย่างเดียวด้วยประสิทธิภาพสูง เช่น หุ่นยนต์เชื่อมโลหะหรือหุ่นยนต์วาดภาพ **หุ่นยนต์โมดูลาร์ (Modular Robots)** เน้นการประกอบและแยกชิ้นส่วนเพื่อสร้างรูปร่างใหม่ (Bi & Wang, 2016) **หุ่นยนต์ปรับโครงสร้างได้ (Self-Reconfiguring Robots)** สามารถเปลี่ยนรูปร่างโดยอัตโนมัติเพื่อเคลื่อนที่หรือปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Hameed et al., 2017) และ **หุ่นยนต์อเนกประสงค์ (Polyfunctional Robots)** เน้นความสามารถในการปฏิบัติงานหลากหลายประเภทภายในระบบเดียวผ่านการปรับเปลี่ยนทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

การจำแนกประเภทของหุ่นยนต์อเนกประสงค์สามารถแบ่งตามมิติต่างๆ ได้ดังนี้ **ตามลักษณะการเคลื่อนที่** แบ่งเป็น หุ่นยนต์ติดตั้งคงที่ (Stationary) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ (Mobile) และหุ่นยนต์ไฮบริด (Hybrid) **ตามระดับความอัตโนมัติ** แบ่งเป็น หุ่นยนต์ควบคุมด้วยมือ (Manual) กึ่งอัตโนมัติ (Semi-autonomous) และอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully Autonomous) **ตามขอบเขตการประยุกต์ใช้** แบ่งเป็น หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial) หุ่นยนต์บริการ (Service) และหุ่นยนต์เฉพาะทาง (Specialized) และ **ตามกลไกการปรับเปลี่ยนฟังก์ชัน** แบ่งเป็น แบบปรับฮาร์ดแวร์ (Hardware-based) แบบปรับซอฟต์แวร์ (Software-based) และแบบผสมผสาน (Hybrid Approach)

2.2 สถาปัตยกรรมและการออกแบบ

สถาปัตยกรรมของหุ่นยนต์อเนกประสงค์มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากหุ่นยนต์ทั่วไป โดยเน้นการออกแบบแบบโมดูลาร์ที่สามารถปรับโครงสร้างได้ (Modular Reconfigurable Architecture) เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Liang et al., 2025) สถาปัตยกรรมนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่

โมดูลฮาร์ดแวร์พื้นฐาน (Core Hardware Modules) เป็นโมดูลหลักที่ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง เช่น เซอร์พรีนฐาน และระบบสื่อสาร โมดูลนี้ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการควบคุมและประสานงานกับโมดูลอื่นๆ โดยมีการออกแบบให้มีความทนทานและเสถียรภาพสูง เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้งานตลอดเวลาไม่ว่าหุ่นยนต์จะปฏิบัติงานประเภทใด

โมดูลฟังก์ชันเฉพาะ (Specialized Function Modules) เป็นโมดูลที่ออกแบบมาเพื่อปฏิบัติงานเฉพาะทาง เช่น โมดูลสำหรับการจับยึด (Gripping Module) โมดูลสำหรับการตัด (Cutting Module) โมดูลสำหรับการเชื่อมต่อ (Welding Module) หรือโมดูลสำหรับการวิเคราะห์ (Analysis Module) โมดูลเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมได้ตามความต้องการของงาน (Post et al., 2023)

ระบบเชื่อมต่อและอินเทอร์เฟซ (Connection and Interface Systems) เป็นระบบที่ทำให้โมดูลต่างๆ สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกันได้อย่างราบรื่น ระบบนี้ประกอบด้วย การเชื่อมต่อทางกายภาพ (Physical Connection) การเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Electrical Connection) และการเชื่อมต่อทางข้อมูล (Data Connection) การออกแบบระบบเชื่อมต่อจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรง ความเสถียร และความสะดวกในการถอดเปลี่ยน

ระบบควบคุมแบบลำดับชั้น (Hierarchical Control System) เป็นระบบที่จัดการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ในระดับต่างๆ โดยแบ่งเป็น 3 ระดับหลัก ระดับบน (High-level Control) ทำหน้าที่วางแผนงานโดยรวมและตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ ระดับกลาง (Mid-level Control) ดำเนินการแปลงแผนงานเป็นคำสั่งเฉพาะ และระดับล่าง (Low-level Control) ควบคุมการทำงานของแต่ละโมดูลในรายละเอียด (Tassi & Ajoudani, 2024)

การออกแบบสถาปัตยกรรมแบบโมดูลาร์มีหลักการสำคัญหลายประการ **หลักการมาตรฐานการเชื่อมต่อ (Standardized Interface)** กำหนดให้โมดูลทุกตัวมีรูปแบบการเชื่อมต่อที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้สามารถผสมผสานโมดูลต่างประเภทได้อย่างอิสระ **หลักการแยกฟังก์ชัน (Functional Separation)** แยกฟังก์ชันต่างๆ ออกเป็นโมดูลอิสระ ทำให้สามารถพัฒนา ปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงแต่ละฟังก์ชันได้โดยไม่กระทบต่อส่วนอื่น **หลักการความยืดหยุ่น (Flexibility Principle)** ออกแบบให้ระบบสามารถรองรับการเพิ่มหรือลดโมดูลได้ตามความต้องการ และ **หลักการความปลอดภัย (Safety Principle)** มีระบบป้องกันการทำงานผิดพลาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง

การออกแบบเชิงกลไกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของหุ่นยนต์อเนกประสงค์ โดยเฉพาะการออกแบบกลไกการเชื่อมต่อ (Coupling Mechanisms) ที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความแข็งแรง

เชิงกล (Mechanical Strength) ต้องรองรับน้ำหนักและแรงกระทำจากการใช้งาน ความง่ายในการเชื่อมต่อและถอด (Ease of Connection/Disconnection) เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้รวดเร็ว ความแม่นยำในการวางตำแหน่ง (Positioning Accuracy) เพื่อให้การเชื่อมต่อมีความแม่นยำสูง และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม (Environmental Durability) เพื่อใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย (Krishnan et al., 2023)

2.3 เทคโนโลยีหลักและการควบคุม

เทคโนโลยีหลักที่ขับเคลื่อนหุ่นยนต์อเนกประสงค์ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญหลายด้าน โดยเฉพาะการบูรณาการเซ็นเซอร์แบบหลายโหมด (Multimodal Sensor Integration) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้และตีความข้อมูลจากสภาพแวดล้อมได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำ (Yang et al., 2024) ระบบเซ็นเซอร์แบบหลายโหมดผสมผสานเซ็นเซอร์ประเภทต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น เซ็นเซอร์ภาพ (Vision Sensors) เซ็นเซอร์การสัมผัส (Tactile Sensors) เซ็นเซอร์เสียง (Audio Sensors) เซ็นเซอร์แรง (Force Sensors) และเซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Temperature Sensors) เพื่อสร้างการรับรู้ที่ครอบคลุมและสามารถปรับใช้กับงานที่หลากหลาย

ระบบเซ็นเซอร์ที่มีการกระจายตัวบนผิวหนังของหุ่นยนต์ (Distributed Surface Sensing) เป็นนวัตกรรมสำคัญที่ช่วยให้หุ่นยนต์อเนกประสงค์สามารถรับรู้การสัมผัสและปฏิสัมพันธ์กับวัตถุได้ทั่วทั้งร่างกาย การพัฒนาเซ็นเซอร์แบบนี้ใช้เทคโนโลยีผิวหนังเทียม (Artificial Skin) ที่มีความยืดหยุ่นและสามารถติดตั้งบนโครงสร้างที่มีรูปร่างโค้งหรือซับซ้อน ทำให้หุ่นยนต์สามารถทำงานที่ต้องการความละเอียดอ่อนในการจับต้องและจัดการวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แอกชูเอเตอร์ปรับความแข็งได้ (Variable Stiffness Actuators) เป็นเทคโนโลยีอีกหนึ่งเทคโนโลยีหลักที่ทำให้หุ่นยนต์อเนกประสงค์สามารถปรับเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนไหวและการตอบสนองต่อแรงภายนอกได้ตามลักษณะของงาน (IEEE/ASME Contributors, 2024) แอกชูเอเตอร์ประเภทนี้สามารถปรับเปลี่ยนระดับความแข็งแรงและความยืดหยุ่นได้ในระหว่างการทำงาน ทำให้หุ่นยนต์สามารถสลับระหว่างการทำงานที่ต้องการความแม่นยำสูง (เช่น การประกอบชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรง) และการทำงานที่ต้องการความนุ่มนวล (เช่น การจัดการวัตถุที่บอบบาง) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบควบคุมแบบลำดับชั้นเป็นแกนหลักในการจัดการความซับซ้อนของหุ่นยนต์อเนกประสงค์ ระบบนี้แบ่งการควบคุมออกเป็นหลายระดับ โดยแต่ละระดับมีหน้าที่และขอบเขตความรับผิดชอบที่ชัดเจน **ระดับควบคุมสูง (High-level Control)** ทำหน้าที่วางแผนภารกิจโดยรวม (Mission Planning) การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (Strategic Decision Making) และการจัดการทรัพยากร (Resource Management) ระดับนี้ใช้ปัญญาประดิษฐ์และอัลกอริทึมการเรียนรู้เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์และกำหนดแผนการทำงาน **ระดับควบคุมกลาง (Mid-level Control)** ทำหน้าที่แปลงแผนการทำงานจากระดับสูงเป็นคำสั่งเฉพาะ (Task Decomposition) การประสานงานระหว่างโมดูล (Inter-module Coordination) และการตรวจสอบความปลอดภัย (Safety

Monitoring) และ **ระดับควบคุมต่ำ (Low-level Control)** ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของแต่ละแอคชูเอเตอร์และเซ็นเซอร์ในรายละเอียด (Actuator Control และ Sensor Data Processing) (Tassi & Ajoudani, 2024)

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบโมเดลพื้นฐาน (Foundation Models) ในการควบคุมหุ่นยนต์อเนกประสงค์เป็นแนวทางใหม่ที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มความสามารถในการปรับตัวและเรียนรู้งานใหม่ โมเดลพื้นฐานเหล่านี้ได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลจำนวนมากและสามารถนำมาปรับใช้กับงานใหม่ได้โดยไม่ต้องการข้อมูลฝึกเพิ่มเติมเพียงเล็กน้อย การใช้โมเดลพื้นฐานช่วยให้หุ่นยนต์สามารถเรียนรู้และปรับตัวเพื่อทำงานใหม่ได้เร็วขึ้น รวมถึงสามารถโอนถ่ายความรู้จากงานหนึ่งไปยังอีกงานหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีการเรียนรู้แบบต่อเนื่อง (Continual Learning) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้หุ่นยนต์อเนกประสงค์สามารถเรียนรู้และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานได้ตลอดเวลา โดยไม่สูญเสียความรู้เดิมที่ได้เรียนรู้มาแล้ว เทคโนโลยีนี้ใช้อัลกอริทึมพิเศษที่ป้องกันปัญหา Catastrophic Forgetting และช่วยให้หุ่นยนต์สามารถสะสมความรู้และประสบการณ์ไปเรื่อยๆ จากการทำงานหลากหลายประเภท

2.4 การประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์อเนกประสงค์ในภาคอุตสาหกรรมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากในยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรม 4.0 โดยเฉพาะในการผลิตอัตโนมัติที่ต้องการความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนประเภทผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต (Mohammadi Zeidi et al., 2023) หุ่นยนต์อเนกประสงค์ประเภทโมบายแมนิปูเลเตอร์ (Mobile Manipulators) ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้งานในโรงงานผลิตรถยนต์ โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ และโรงงานอาหาร เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆ ในสายการผลิตและปฏิบัติงานหลากหลาย เช่น การหยิบจับ การประกอบ การตรวจสอบคุณภาพ และการบรรจุหีบห่อในระบบเดียว

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หุ่นยนต์อเนกประสงค์ถูกใช้ในกระบวนการประกอบแผงวงจรพิมพ์ (PCB Assembly) ซึ่งต้องการการปรับเปลี่ยนเครื่องมือและวิธีการทำงานบ่อยครั้งตามประเภทของแผงวงจรที่แตกต่างกัน หุ่นยนต์เหล่านี้สามารถเปลี่ยนจากการติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยการปรับเปลี่ยนเครื่องมือปลายมือ (End-effector) และพารามิเตอร์การควบคุมแบบอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้ในภาคการแพทย์และสุขภาพเป็นอีกหนึ่งด้านที่มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว หุ่นยนต์อเนกประสงค์ทางการแพทย์สามารถปฏิบัติงานหลากหลาย ตั้งแต่การช่วยเหลือในการผ่าตัด การฟื้นฟูสมรรถภาพ การดูแลผู้ป่วย ไปจนถึงการขนส่งยาและอุปกรณ์การแพทย์ภายในโรงพยาบาล ระบบหุ่นยนต์เหล่านี้ต้องมีความปลอดภัยสูงและสามารถปรับเปลี่ยนระหว่างการทำงานแบบเข้มงวดที่ต้องการความแม่นยำสูง (เช่น การผ่าตัด) และการทำงานแบบอ่อนโยนที่ต้องการปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ (เช่น การดูแลผู้ป่วย) (Stueckler et al., 2023)

ในภาคการสำรวจอวกาศและการกู้ภัยพิบัติ หุ่นยนต์อเนกประสงค์มีบทบาทสำคัญเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอนและการเปลี่ยนแปลงของภารกิจอย่างรวดเร็ว หุ่นยนต์สำรวจอวกาศสามารถปรับเปลี่ยนจากการขุดเจาะดินเพื่อเก็บตัวอย่างเป็นการติดตั้งอุปกรณ์วิทยาศาสตร์หรือการซ่อมแซมยานอวกาศได้ตามความจำเป็น ส่วนหุ่นยนต์กู้ภัยสามารถปฏิบัติงานหลากหลาย เช่น การค้นหาและการช่วยเหลือผู้ประสบภัย การจัดส่งสิ่งกีดขวาง การนำส่งเสบียงและยา และการประเมินความเสียหายในพื้นที่ที่มนุษย์เข้าไปไม่ได้

ในภาคการเกษตรสมัยใหม่ (Precision Agriculture) หุ่นยนต์อเนกประสงค์ได้รับการพัฒนาให้สามารถปฏิบัติงานตลอดวงจรการเกษตร ตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการคัดแยกผลผลิต หุ่นยนต์เหล่านี้ใช้เทคโนโลยีการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ร่วมกับเซ็นเซอร์ต่างๆ เพื่อระบุสภาพของพืช วัชพืช และโรคพืช จากนั้นจึงปรับเปลี่ยนเครื่องมือและวิธีการทำงานให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ เช่น การเปลี่ยนจากการพ่นปุ๋ยเป็นการกำจัดวัชพืชหรือการเก็บเกี่ยวผลไม้

การประยุกต์ใช้ในระบบโลจิสติกส์และคลังสินค้าแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของหุ่นยนต์อเนกประสงค์ในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หุ่นยนต์ในคลังสินค้าสามารถปฏิบัติงานหลากหลาย เช่น การรับสินค้า การจัดเก็บ การหยิบสินค้า การบรรจุหีบห่อ และการขนส่งภายในคลัง โดยสามารถปรับเปลี่ยนระหว่างการจัดการสินค้าที่มีขนาดน้ำหนักและรูปร่างแตกต่างกันได้อย่างอัตโนมัติ (Xie et al., 2024)

การบูรณาการกับระบบโคบอท (Collaborative Robots) เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมที่ต้องการทั้งความยืดหยุ่นจากหุ่นยนต์และความคิดสร้างสรรค์จากมนุษย์ (Vitolo et al., 2022) การผสมผสานระหว่างโมบายแมนิปูเลเตอร์กับโคบอทช่วยให้สามารถสร้างระบบการผลิตที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยโคบอททำงานร่วมกับมนุษย์ในงานที่ต้องการความละเอียดอ่อนและการตัดสินใจ ขณะที่โมบายแมนิปูเลเตอร์ดำเนินการงานที่ต้องการการเคลื่อนที่และการปรับเปลี่ยนบ่อยครั้ง

ในด้านการประเมินประสิทธิภาพและการวัดผล หน่วยงาน NIST (National Institute of Standards and Technology) ได้พัฒนามาตรฐานการวัดประสิทธิภาพของโมบายแมนิปูเลเตอร์ในงานประกอบเพื่อการผลิต (Bostelman et al., 2016) การวัดผลครอบคลุมด้านต่างๆ เช่น ความแม่นยำในการวางตำแหน่ง (Positioning Accuracy) ความเร็วในการปฏิบัติงาน (Task Execution Speed) ความสามารถในการปรับตัว (Adaptability) และความปลอดภัยในการทำงาน (Safety Performance) การมีมาตรฐานเหล่านี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์อเนกประสงค์ต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ

ความท้าทายในการนำหุ่นยนต์อเนกประสงค์ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมรวมถึงประเด็นหลายด้าน ประการแรก **ความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรม** เนื่องจากต้องการการจัดการหลายฟังก์ชันและการปรับเปลี่ยนระหว่างงานต่างๆ ประการที่สอง **ต้นทุนการลงทุนสูง** เนื่องจากต้องการเทคโนโลยีขั้นสูงและระบบควบคุมที่ซับซ้อน ประการที่สามเสมอ **ความต้องการการฝึกอบรมบุคลากร** เพื่อให้สามารถใช้งานและบำรุงรักษาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ **ประเด็นด้านความปลอดภัย** โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีการทำงานร่วมกันระหว่าง

มนุษย์และหุ่นยนต์

แนวโน้มการพัฒนาในอนาคตของการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์อเนกประสงค์ในอุตสาหกรรมมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มระดับปัญญาประดิษฐ์และความสามารถในการเรียนรู้อัตโนมัติ การพัฒนาระบบการรับรู้ที่ซับซ้อนขึ้น การปรับปรุงความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ รวมถึงการลดต้นทุนเพื่อให้สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้นสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก การพัฒนาเหล่านี้คาดว่าจะทำให้หุ่นยนต์อเนกประสงค์กลายเป็นองค์ประกอบหลักของระบบการผลิตที่ชาญฉลาดและยืดหยุ่นในอนาคต

3 การวิเคราะห์และอภิปราย

4 เอกสารประเมินผลงานฉบับสมบูรณ์

5 ความคิดสร้างสรรค์และความเยียบร้อย

6 สรุป

เอกสารอ้างอิง

- Bi, Z., & Wang, X. (2016). Survey on research and development of reconfigurable modular robots. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(8), 1687814016659597. <https://doi.org/10.1177/1687814016659597>
- Bostelman, R. V., Foufou, S., Legowik, S. A., & Hong, T. H. (2016). Mobile manipulator performance measurement towards manufacturing assembly tasks. *Proceedings of the 13th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM16)*. <https://www.nist.gov/publications/mobile-manipulator-performance-measurement-towards-manufacturing-assembly-tasks>
- Hameed, A., Ordys, A., Mořaryn, J., & Sibilska-Mroziewicz, A. (2017). Modular self-reconfigurable robotic systems: A survey on hardware architectures. *Journal of Robotics*, 2017, 5013532. <https://doi.org/10.1155/2017/5013532>
- IEEE/ASME Contributors. (2024). A compact variable stiffness actuator for agile legged locomotion. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 3409115. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2024.3409115>

- International Organization for Standardization. (2025). *Robotics — Safety requirements — Part 1: Industrial robots*. Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/73933.html>
- Krishnan, G., Pillai, H., & Garg, S. (2023). Deep Learning-driven design of robot mechanisms. *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 23(6), 060811. <https://doi.org/10.1115/1.4062745>
- Liang, G., Wu, D., Tu, Y., & Lam, T. L. (2025). Decoding modular reconfigurable robots: A survey on mechanisms and design. *The International Journal of Robotics Research*, 44(5). <https://doi.org/10.1177/02783649241283847>
- Mohammadi Zeidi, G., Ahmadi Bahram, T., Zoppi, M., & Molfino, R. (2023). Mobile manipulators in Industry 4.0: A review of developments for industrial applications. *Sensors*, 23(19), 8026. <https://doi.org/10.3390/s23198026>
- Post, M. A., Yan, X.-T., Letier, P., et al. (2023). Modular self-configurable robots—The state of the art. *Actuators*, 12(9), 361. <https://doi.org/10.3390/act12090361>
- Seo, J., & Paik, M. (2019). Modular reconfigurable robotics. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 2, 63–88. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-053018-023834>
- Stueckler, J., Kohlbrecher, S., Schwarz, M., Droeschel, D., Stückler, J., Behnke, S., et al. (2023). HoLLiE C -- A multifunctional bimanual mobile robot supporting versatile care applications. *arXiv preprint arXiv:2312.06292*. <https://arxiv.org/abs/2312.06292>
- Tassi, F., & Ajoudani, A. (2024). Multi-modal and adaptive robot control through hierarchical quadratic programming. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 110, 164. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02193-1>
- Vitolo, F., Rega, A., Di Marino, C., Pasquariello, A., Zanella, A., & Patalano, S. (2022). Mobile robots and cobots integration: A preliminary design of a mechatronic interface by using MBSE approach. *Applied Sciences*, 12(1), 419. <https://doi.org/10.3390/app12010419>
- Xie, Y., Liu, J., & Yang, Y. (2024). Pose optimization for mobile manipulator grasping based on hybrid manipulability. *Industrial Robot*, 51(1), 134–147. <https://doi.org/10.1108/IR-06-2023-0128>

Yang, M. J., Cho, J., Chung, H., Park, K., & Kim, J. (2024). A body-scale robotic skin using distributed multimodal sensing modules: Design, evaluation, and application. *IEEE Transactions on Robotics*, 40, 2709–2719. <https://doi.org/10.1109/TRO.2024.3502204>

A ภาคผนวก ก: คำศัพท์เทคนิค

B ภาคผนวก ข: ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยี