

แนวคิดในการควบคุมความเฉื่อยปรากฏสำหรับหุ่นยนต์โคบอทแบบแพนโทกราฟ Control Concept of Apparent Inertia for Pantograph Cobot

ภาวิต สุวจิตตานนท์ วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์ *
ห้องปฏิบัติการ สหวิทยาการมนุษย์และหุ่นยนต์
ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2218-6610-1 โทรสาร 0-2252-8889 E-mail: witaya.w@chula.ac.th

Parvit Suvachittanont, Witaya Wannasuphprasit*

Human Robotics Laboratory

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Payathai Rd. Patumwan Bangkok Thailand 10330

Tel (66)2 218-6610-1, Fax (66)2 252-8889 E-mail: witaya.w@chula.ac.th

*Corresponding Author

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์โคบอทแบบแพนโทกราฟ 2 องศาอิสระ ซึ่งประกอบด้วย Spherical CVT จำนวนสองชุดที่ต่อกันแบบขนาน เรียกว่า Double CVTs โดยเฟลาต์ด้านขาออกของแต่ละ CVTs เชื่อมกับข้อต่อแรกของแขนกล pantograph ทำให้ปลายแขนกลเคลื่อนที่ได้สองมิติในระนาบ นอกจากนี้ได้อธิบายหลักการวิเคราะห์การเคลื่อนที่และการควบคุมของหุ่นยนต์ ศึกษาความสัมพันธ์ของความเฉื่อยปรากฏที่มีผลต่อหุ่นยนต์โคบอทแบบสองมิติ และแนวคิดที่จะควบคุมความเฉื่อยปรากฏกับหุ่นยนต์โคบอทแบบสองมิติ

Abstract

This paper presents the development of a Two Degree of freedom (2-DOF) Pantograph Cobot (Cobot: Collaborative Robot). The cobot consists of two spherical CVTs (CVTs: Continuous Variable Transmission) connecting in parallel. The outputs of each CVT are connected to the joints of a pantograph linkage. The end effector can move in two dimensional planar workspace. Here, motion analysis, path control, and control concept of apparent inertia are presented.

1. ความเป็นมา

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอหุ่นยนต์โคบอทสองมิติ (2-DOF Cobot: Collaborative Robot) ที่ใช้ Spherical CVT[1] ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ที่ถูก

ออกแบบมาเพื่อที่ทำงานร่วมกับมนุษย์ได้โดยตรงบนพื้นที่การทำงานเดียวกันอย่างปลอดภัย โดยปกติหุ่นยนต์โคบอทเป็นอุปกรณ์ทางด้านหุ่นยนต์ที่มีพฤติกรรมเป็นพาสซีฟ (Passive) ไม่มีต้นกำเนิดกำลังสู่ระบบ หุ่นยนต์ใช้กำลังจากมนุษย์ในการเคลื่อนที่และทำหน้าที่เพียงกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์โคบอทที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหุ่นยนต์โคบอทชนิดขนานเคลื่อนที่ในสองมิติในรูปแบบของแขนกล pantograph อย่างไรก็ตามหุ่นยนต์ต้นแบบนี้ออกแบบให้สามารถเพิ่มกำลังแก่ระบบได้ แต่ยังไม่ขอล่าวรายละเอียดในบทความนี้

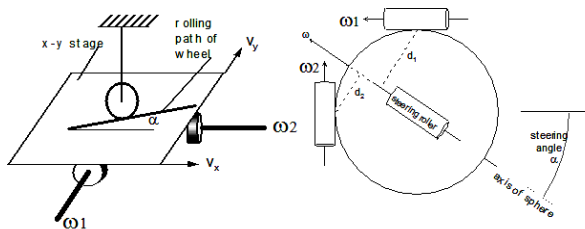
2. แนวคิดและหลักการเบื้องต้นของหุ่นยนต์โคบอท

หุ่นยนต์โคบอทแตกต่างกับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์แฮปติก (Haptic Interface) ที่โต้ตอบกับหุ่นยนต์โคบอทจะไม่สร้างแรงปฏิกิริยาตรงมาบังคับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน แต่จะเพียงเปลี่ยนทิศทางแรงของผู้ใช้งานเป็นหลักเท่านั้น ผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดการเคลื่อนที่เอง การทำงานของหุ่นยนต์โคบอทจึงเป็นการทำงานในระบบพาสซีฟ (Passive) ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ใช้ในการทำงาน

หุ่นยนต์โคบอทไม่ใช้มอเตอร์หรืออุปกรณ์ต้นกำลัง (actuators) เพื่อส่งกำลังให้กับข้อต่อ (joints) แต่หุ่นยนต์โคบอทจะใช้ซีวีที (CVTs : Continuous Variable Transmission) ในการควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของแต่ละข้อต่อ ทำให้สามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โคบอทได้ อุปกรณ์ซีวีทีนี้จะสร้างข้อจำกัดแบบนอนโฮโลโนมิก (nonholonomic constraints) ให้กับหุ่นยนต์โคบอทโดยที่ไม่ว่าหุ่นยนต์โคบอทจะมีจำนวนมิติการทำงาน (task space) เท่าไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โคบอทจะมีเพียง 1 องศา

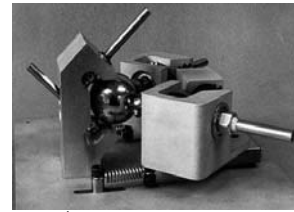
อิสระ (Degree of Freedom) เท่านั้นซึ่งคือในทิศทางการเคลื่อนที่นั้นเอง การทำงานของหุ่นยนต์โคบอทจะมีการทำงาน 2 ลักษณะคือ 1) การทำงานแบบอิสระ (Virtual Caster) การทำงานในลักษณะนี้ ผู้ใช้จะรู้สึกเหมือนกับสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ หุ่นยนต์โคบอทจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โคบอทให้เป็นไปตามการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ และ 2) การทำงานแบบบังคับ (Virtual Wall) ซึ่งจะบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของมนุษย์ พิจารณาตัวอย่างในการสร้างกำแพงเสมือน เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่เข้าหากำแพงเสมือน ผู้ใช้จะไม่สามารถเคลื่อนหุ่นยนต์โคบอทให้ทะลุกำแพงได้ แต่จะเด้งไปตามกำแพง และถ้าเคลื่อนออกจากกำแพงหุ่นยนต์โคบอทจะกลับไปทำงานในแบบอิสระดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในบทความ [2]

3. Spherical CVT



รูปที่ 1 หลักการของ Spherical CVT [3]

พิจารณารูปที่ 1 (ซ้าย) ถ้านำเอาล้อ [4,5] มาใช้เป็น CVT ระหว่างแผ่นระนาบ x-y ความเร็วของแผ่นระนาบ V_y และ V_x จะถูกควบคุมเป็นอัตราส่วนด้วยมุม α (steering angle) ของล้อโดยที่ $V_y / V_x = \tan(\alpha)$ ในขณะเดียวกันถ้าใช้กลไกที่เปลี่ยนความเร็วเชิงเส้น V_x และ V_y ให้เป็นความเร็วเชิงมุม w_1 และ w_2 ดังรูปที่ 5 (ซ้าย) เราจะได้ CVT ที่ปรับอัตราทดของความเร็วเชิงมุมได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ ถ้าม้วนแผ่นระนาบ x-y ให้เป็นทรงกลมจะได้ CVT เป็นทรงกลม ดังที่แสดงในรูปที่ 1 (ขวา) ทรงกลมจะหมุนรอบแกนหมุนที่ผ่านจุดศูนย์กลางของตนเองและแกนหมุนของทรงกลมก็จะขนานกับแกนของ steering rollers ถ้าเราเปลี่ยนมุม steering angle (α) แกนของ steering rollers (ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับล้อในรูปซ้าย) ก็จะเปลี่ยนไปตาม มีผลทำให้ระยะ d_1 และ d_2 (ระยะระหว่างแกนหมุนของทรงกลมกับจุดสัมผัสของล้อขับ w_1 และ ล้อขับ w_2) เปลี่ยนไป มีผลทำให้อัตราทดเปลี่ยนไปเช่นกัน โดยที่อัตราทด w_1/w_2 เท่ากับ d_1/d_2 เราเรียก CVT ประเภทนี้ว่า Spherical CVT สิ่งที่สำคัญในการทำงานของ Spherical CVT ชนิดนี้คือจุดศูนย์กลางของทรงกลมต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลางของ CVT เสมอ ดังรูปที่ 2 Moore [1] ได้ออกแบบ Spherical CVT โดยใช้ ทรงกลมโลหะมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.5 นิ้ว และ metal rollers 4 ตัว (minimum constraints) ในการควบคุมจุดศูนย์กลางของทรงกลมโลหะและเรียกว่า Tetrahedral CVT

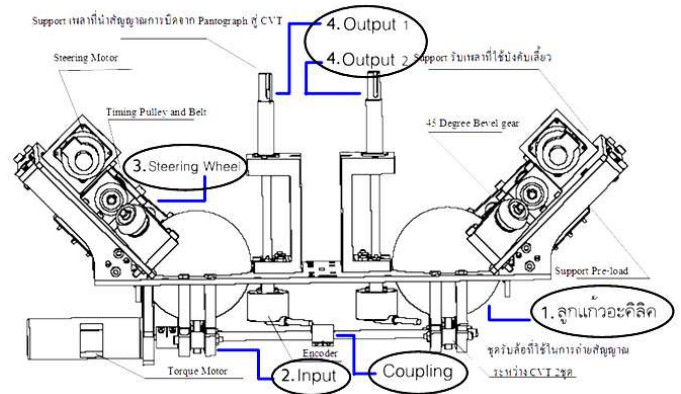


รูปที่ 2 Tetrahedral CVT [1]

4. แนวคิดในการออกแบบของ Pantograph Cobot

Cheepsumol และคณะ [2] ได้พัฒนาและออกแบบหุ่นยนต์โคบอทสองมิติโดยใช้ Spherical CVT จำนวนสองชุดต่อแบบขนานกัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณ ออกแบบ และสร้างชุด อุปกรณ์ CVT ที่ใช้หลักการเดียวกันกับ Tetrahedral CVT ขึ้นมา 2 ชุด ในแต่ละชุดของ CVT จะมีเฟลาอินพุตและเฟลาเอาต์พุต อัตราทดของเฟลาทั้งสองปรับได้ด้วย steering wheel.

ในการออกแบบนี้เชื่อมเฟลากกลางเอาต์พุตของ CVT ชุดที่หนึ่งเข้ากับเฟลากกลางอินพุตของ CVT ชุดที่สอง เพื่อการส่งถ่ายกำลังเข้าด้วยกันเราเรียกว่า Double CVT



รูปที่ 3 รายละเอียดต่างๆของอุปกรณ์ Double CVT

ชุดอุปกรณ์หลักๆของ Double CVT คือ

1. ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วจำนวนสองลูกที่มีความกลมเที่ยงตรงสูง
2. ชุด Input ที่ประกอบด้วย Torque motor ขับที่เฟลากกลาง ใช้สำหรับส่งกำลังให้กับ Double CVT และล้อยูนิเท็นสำหรับใช้หมุนลูกแก้วอะคลิลิก
3. ชุดปรับเปลี่ยนอัตราทด (Steering Wheel) ที่ประกอบด้วย Steering motor ที่ใช้สำหรับปรับมุมของล้อปรับอัตราทด และล้อยูนิเท็นสำหรับปรับแกนหมุนของลูกแก้วอะคลิลิก
4. ชุด Output ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 2 ชุด ประกอบด้วยล้อยูนิเท็นสำหรับรับถ่ายกำลังจากลูกแก้วอะคลิลิก และเฟลา Output สำหรับ ต่ออุปกรณ์นำอัตราทดที่ส่งออกจาก Double CVT ไปใช้งาน

แต่ละข้างของ Double CVT สามารถทำงานร่วมกันหรือแยกกันได้อย่างอิสระได้โดยปลดตัว Coupling ที่ต่ออยู่ที่ชุด Input ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3 ส่วนชุด Steering Wheel นั้นทั้งสองข้างใช้ motor ควบคุมอิสระ

ต่อกัน เพียงสั่งการให้ motor หมุนไปเป็นมุมที่เท่ากันหรือต่างกัน ก็จะสามารถกำหนดให้ Output ทั้งสองข้างของ CVT มีอัตราทดที่เท่ากันหรือต่างกันตามต้องการ ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ Double CVT นี้ขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC เนื่องจากต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยแผ่นฐาน (Base) นั้นทำมาจาก Stainless Steel เพื่อความแข็งแรง เพลาดังๆที่ใช้ ทำมาจาก เหล็กกล้า ส่วนประกอบขึ้นรูปอื่นๆใช้ อลูมิเนียมเป็นวัสดุหลัก ลูกแก้วที่ใช้ทำมาจากอะคริลิคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว และลูกกลิ้งใช้ยูริเทนความแข็ง CHA90 หล่อลงบนแกนล้อที่ทำจากเหล็ก ต้นแบบของ Double CVT แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปต้นแบบจริงของอุปกรณ์ส่งถ่ายความเร็วแบบปรับอัตราทดได้
ต่อเนื่อง Double CVT

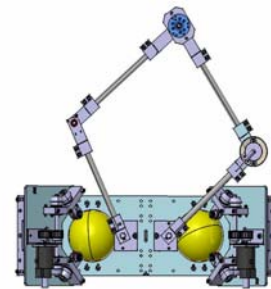
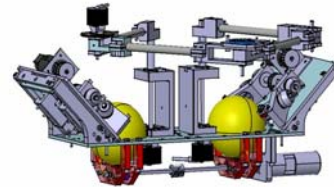
หลักการทำงานอันหนึ่งของ Double CVT คือการให้ Input จาก Torque motor ไปที่เพลากลาง เพื่อส่งกำลังให้ลูกทรงกลมอะคริลิกทั้งสองลูกในเวลาเดียวกัน แล้วกำหนดอัตราทดของแต่ละ CVT โดยปรับมุมของชุดบังคับเลี้ยว (Steering wheel) ไปเป็นมุม (α) ต่างๆ เพื่อควบคุมความเร็วที่ออกทาง Output1 และ Output2 ดังนั้นจึงสามารถกำหนดอัตราส่วนการทดระหว่าง Input กับ Output1 และกับ Output2 ในกรณีนี้อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่เสมือนกับอุปกรณ์ส่งกำลังแบบปรับความเร็วสองแกน (Output สองแกน) ที่ปรับได้อย่างต่อเนื่องและอิสระโดยมีแกน Input ร่วมกันอันเดียว

5. Pantograph Cobot

รูปแบบการทำงานที่สำคัญอีกลักษณะหนึ่งซึ่งนำมาใช้กับหลักการของหุ่นยนต์โคบอต โดยเพลากลางมีไว้ทำหน้าที่รับ Input และทำหน้าที่แค่เชื่อมต่อกับ CVT ทั้งสองชุด ในกรณีนี้จะต่อกลไกแขนกล Pantograph เข้ากับแกนเพลาลูก Output1 และ Output2 ของ Double CVT ทิศทางของแขนกลจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนความเร็วของ Output1 และกับ Output2 ซึ่งเกิดจากการการควบคุมอัตราทดของ CVT ทั้งสอง เมื่อเรานำเอา Five bar linkage มาต่อกับทางด้าน output ของชุด CVT ทั้งสองก็จะได้เป็น หุ่นยนต์โคบอตในรูปแบบ Pantograph Cobot ดังในรูปที่ 5

ปลายแขนของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ได้ในระนาบ X-Y โดยเราจะควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนจากการปรับมุมอัตราทดของ CVT ในขณะทำงานร่วมกับมนุษย์ ผู้ใช้จะออกแรงขับเคลื่อนที่ปลายแขนแต่ทิศทางการเคลื่อนที่จะเป็นตามอัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Output1 กับ Output2 ซึ่งระบบเป็นผู้ควบคุม ในระหว่างการเคลื่อนที่ระบบควบคุมปรับมุมอัตราทดเป็นค่าต่างๆ เพื่อบังคับทิศทางให้แขนกล

ตามเส้นทางที่โปรแกรมไว้รูปที่ 5 ได้แสดงหุ่นยนต์แขนกล Pantograph Cobot

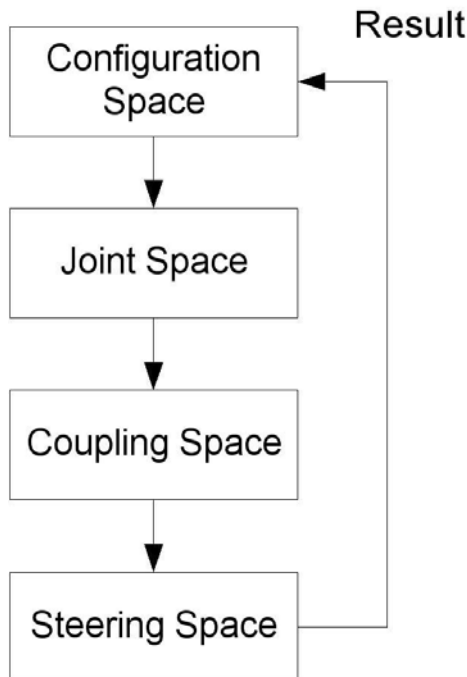


รูปที่ 5 Pantograph Cobot

6. หลักการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โคบอตแบบขนาน

การทำงานของโคบอตนั้นจะไม่ใช้การบังคับอุปกรณ์ดังกล่าวให้เกิดการทำงานโดยตรง แต่จะบังคับทิศทางเคลื่อนที่ของปลายแขน ดังนั้นนอกจากต้องหาจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและย้อนกลับของแขนกลดังเช่นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทั่วไป ต้องวิเคราะห์จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์โคบอตซึ่งไม่ได้ใช้เวลาแต่ใช้ระยะตำแหน่ง (pathlength) เป็นตัวแปร การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของโคบอตนั้นจะไม่วิเคราะห์เพียงแต่ตำแหน่ง แต่จะเป็นการวิเคราะห์ในมิติการเคลื่อนที่อื่นๆด้วยได้แก่ ความเร็วทั้งขนาดและทิศทาง ความโค้งเวกเตอร์ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ และระยะทางที่โคบอตเคลื่อนที่ไป การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะใช้ในการแปลงกรอบการทำงานของโคบอต

กรอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โคบอตโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 4 ประเภทด้วยกัน [4,6] คือ ปริภูมิตำแหน่งปลาย (Configuration Space : C_T) บอกถึงการเคลื่อนที่ของตำแหน่งปลายของโคบอต ปริภูมิข้อต่อ (Joint Space : C_j) บอกถึงการเคลื่อนที่ของข้อต่อของโคบอต ปริภูมิการจับคู่ (Coupling Space : $\sum_i$) บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อซึ่งสร้างความสัมพันธ์กันโดยผ่านกลไกของซีวีทีและ ปริภูมิของมุมปรับอัตราทด (Steering Space : Φ) บอกถึงมุมที่ซีวีทีต้องหมุนปรับไปซึ่งก็คือค่าสัญญาณที่เราต้องควบคุม ลำดับการแปลงรูปจะเริ่มต้นจากการหาการเคลื่อนที่ในปริภูมิตำแหน่งปลาย จากนั้นแปลงไปเป็นการเคลื่อนที่ในปริภูมิข้อต่อ จากนั้นทำการจับคู่การเคลื่อนที่ในปริภูมิข้อต่อที่ละคู่ทุกคู่ซึ่งก็จะได้เป็นการเคลื่อนที่ในปริภูมิการจับคู่ เมื่อได้การเคลื่อนที่ในปริภูมิการจับคู่แล้วก็สามารถทำการคำนวณมุมที่ซีวีทีต้องหมุนปรับไปซึ่งก็คือปริภูมิของมุมปรับอัตราทदनั่นเอง ลำดับการแปลงรูปเป็นดังรูปที่ 6

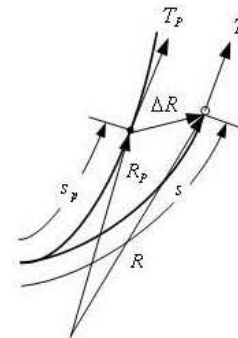


รูปที่ 6 แผนผังการเปลี่ยนรอบการทำงานของโคบอท

7. การควบคุม Pantograph

การควบคุมโคบอทนั้นแตกต่างจากการควบคุมหุ่นยนต์ทั่วไป กล่าวคือนอกจากจะต้องทำการควบคุมตำแหน่งแล้ว ยังต้องควบคุมทิศทางของการเคลื่อนที่ของโคบอทไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ณ ตำแหน่งที่กำหนดอีกด้วย ดังนั้นตัวแปรต้นเป็นระยะตำแหน่งของโคบอท การควบคุมโคบอทจะใช้วิธีการควบคุมแบบให้เคลื่อนตามเส้นทาง (Path Following Control) คือการกำหนดเส้นทางที่ต้องการในโปรแกรม แล้วจึงควบคุมทิศทางให้โคบอทวิ่งเข้าสู่เส้นทางนั้น โดยใช้พื้นฐานของวิธีการป้อนกลับให้เป็นเชิงเส้น (Feedback Linearization) และการแปลงการเคลื่อนที่ (Curvature Transformation) [4,6] ดังจะได้อธิบายโดยย่อต่อไป

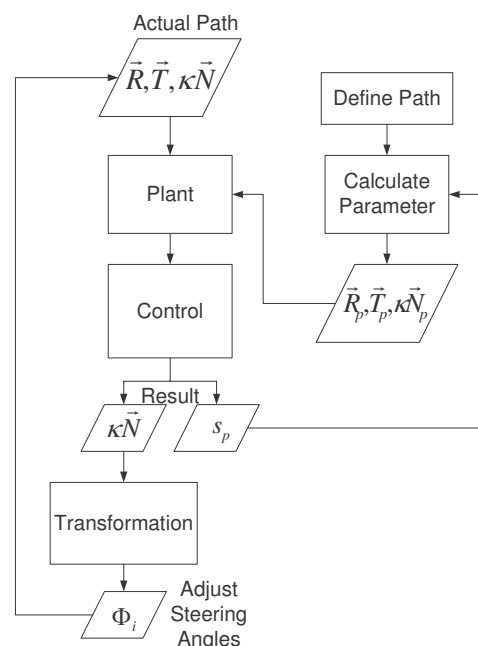
กำหนดให้เส้นทางที่โคบอทต้องเดินไปคือ S_p โดยที่ตำแหน่งของโคบอทจริงเดินอยู่บนเส้นทาง S ดังรูปที่ 7 วิธีการควบคุมทางเดินของโคบอทก็ต้องปรับทิศทางเดินของโคบอทจริงให้หันเข้าหาเส้นทางที่ต้องการ และเมื่อโคบอทวิ่งเข้าสู่เส้นทางที่ต้องการแล้ว จึงทำการควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ให้เป็นไปตามเส้นทางที่ต้องการ วิธีการดังกล่าวสามารถทำได้โดยการปรับให้เวกเตอร์ $\vec{T}$ มีทิศทางพุ่งเข้าหา S_p จากนั้นเมื่อโคบอทเคลื่อนที่อยู่บน S_p แล้ว ก็ทำการปรับเวกเตอร์ $\vec{T}$ ให้เป็นไปตามเวกเตอร์ $\vec{T}_p$ ก็จะทำให้โคบอทเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการโดยการปรับค่าเกณฑ์ป้อนกลับ



รูปที่ 7 เส้นทางเดินของโคบอท

การปรับทิศทางของเวกเตอร์ $\vec{T}$ ในทางปฏิบัติสามารถทำได้โดยการปรับอัตราของวิธีที่โดยการแปลงรูประหว่างปริภูมิตำแหน่งปลายและปริภูมิของค่ามุมปรับอัตราทด ค่ามุมปรับอัตราทดทำให้ได้ค่าเวกเตอร์ $\vec{T}$ ที่ต้องการ จุดประสงค์หลักในการควบคุมก็คือการคำนวณค่าเวกเตอร์ $\vec{T}$ ออกมานั่นเอง แต่เพื่อให้การควบคุมมีความราบเรียบในลำดับของอนุกรม จึงต้องคำนวณหาอนุพันธ์ของค่าเวกเตอร์ $\vec{T}$ ออกมาด้วยซึ่งก็คือค่าเวกเตอร์ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ $\kappa\vec{N}$ (Curvature Vector) นั่นเอง นอกจากการคำนวณค่าเวกเตอร์ $\kappa\vec{N}$ แล้วก็ต้องคำนวณหาตำแหน่งบนเส้นทางที่ต้องการที่จะให้โคบอทเคลื่อนที่เข้าหาด้วยเพื่อให้โคบอทสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เส้นทางที่ต้องการได้อย่างราบเรียบ การคำนวณหาตำแหน่งดังกล่าวสามารถทำได้โดยการคำนวณหาตำแหน่งบนเส้นทางที่ต้องการ S_p

ดังนั้นในการคำนวณจึงจำเป็นต้องคำนวณค่าเวกเตอร์ $\kappa\vec{N}$ และระยะ S_p ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วิธีป้อนกลับให้เป็นเชิงเส้น (Feedback Linearization) ดังแผนภูมิการควบคุมในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังการควบคุม [7]

รายละเอียดและผลการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ pantograph โคบอท ที่ใช้โครงสร้างการควบคุมดังกล่าวนี้อยู่ในบทความ [8]

8. ความเฉื่อย (Inertia)

เป้าหมายอีกประการของงานวิจัยนี้คือการศึกษาค่าความเฉื่อยของระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเฉื่อยที่ปรากฏในขณะที่มนุษย์เคลื่อนปลายแขนของหุ่นยนต์ ความเฉื่อยคือคุณสมบัติของสสารที่พยายามต้านการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น[9] หมายความว่า ในวัตถุใดๆ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่วัตถุจะออกแรงต้านการเคลื่อนที่

8.1 แรงเฉื่อยและแรงบิดเฉื่อย(Inertia force and Inertia torque)

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่แบบ Plane Motion [9,10] แล้วจะได้สมการของการเคลื่อนที่ดังนี้

$$\sum F = m A_G \quad (1)$$

$$\sum M_G = I_G \alpha \quad (2)$$

โดยที่ $\sum F$ คือผลรวมของแรงกระทำจากภายนอกวัตถุทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่

M คือมวลของวัตถุ

A_G คือความเร่งของจุด G ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ

$\sum M_G$ คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงกระทำจากภายนอกวัตถุทั้งหมดรอบแกนที่ผ่าน จุด G ซึ่งจะตั้งฉากกับระนาบของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

I_G คือ Mass Moment of Inertia ของวัตถุรอบแกนที่ผ่านจุด G

α คือความเร่งเชิงมุมของวัตถุ

8.2 ความเฉื่อยกับหุ่นยนต์โคบอทแบบขนานสองมิติ

วัตถุเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ที่จะเกิดความเฉื่อยของวัตถุ หุ่นยนต์โคบอทเมื่อเคลื่อนที่ในพื้นที่การทำงาน (Work Space) จะเกิดความเฉื่อยปรากฏขึ้น ซึ่งความเฉื่อยที่ปรากฏขึ้นในแต่ละตำแหน่งในพื้นที่การทำงานนั้นไม่เท่ากัน เนื่องจากโครงสร้างของโคบอทเองซึ่งมาจากทั้งความเฉื่อยจากแขนของโคบอท และชุด CVT ของโคบอทด้วย

ผลกระทบจากความเฉื่อยปรากฏที่ไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่การทำงานมีผลให้มนุษย์ที่ออกแรงที่ปลายแขนรู้สึกว่าการต้านการเคลื่อนที่ของโคบอทในแต่ละตำแหน่งมีค่าไม่เท่ากัน เช่นบางตำแหน่งรู้สึกหนักและบางตำแหน่งเบากว่า

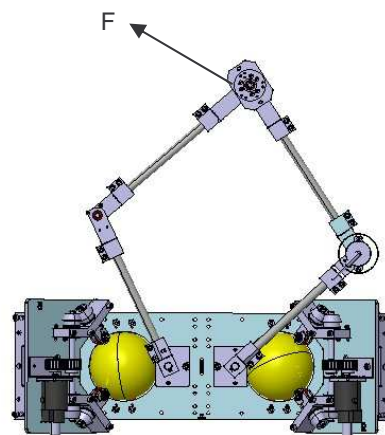
ประเด็นหนึ่งที่สำคัญในงานวิจัยนี้คือทำการศึกษาความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นจากหุ่นยนต์โคบอทแบบขนานสองมิติ และทำการออกแบบระบบควบคุมให้ความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันทั้งหมดในพื้นที่การทำงาน ทำให้คนที่ออกแรงที่ปลายแขนไม่รู้สึกถึงความแตกต่างของความเฉื่อยเมื่อเคลื่อนที่ในพื้นที่การทำงานในแต่ละตำแหน่ง

อีกประเด็นหนึ่งของการศึกษาค่าความเฉื่อยปรากฏของอุปกรณ์ เราสามารถหาความเฉื่อยปรากฏนี้มาใช้ในการจำลองน้ำหนักเสมือน

ของวัตถุได้ในสถานการณ์ต่างๆ กันได้โดยการควบคุมความเฉื่อยปรากฏของหุ่นยนต์โคบอทในขณะที่ทำงานร่วมกับมนุษย์

8.3 แนวคิดในการควบคุมความเฉื่อยปรากฏของหุ่นยนต์โคบอทแบบขนานสองมิติ

หุ่นยนต์โคบอทแบบขนานสองมิติที่ใช้อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอัตราทดอย่างต่อเนื่องชนิดทรงกลมนี้ จะกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนโดยการปรับอัตราทดของ CVT ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ชุด CVT 2 ชุด ซึ่งสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โคบอท (ตามปกติแล้วนี้ใช้ชุด CVT เพียงชุดเดียวก็สามารถให้ปลายแขนเคลื่อนที่ไปในพื้นที่การทำงานได้แต่จะไม่สามารถทำการควบคุมความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นได้) ดังนั้นการใช้ CVT สองชุดโดยทำการกำหนดการปรับอัตราทดของ CVT ทั้งสองให้มีค่าที่เหมาะสมก็จะสามารถควบคุมความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นได้ และถ้าต้องการสามารถเพิ่มกำลังแก่ระบบเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 9 แสดงการเคลื่อนที่ของปลายแขน

พิจารณาจากรูปในขณะที่มนุษย์ทำงานร่วมกับหุ่นยนต์โคบอท ชุด CVT ของโคบอทจะทำหน้าที่กำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ในส่วนแรงที่ทำให้ปลายแขนเคลื่อนที่นั้นมนุษย์ส่งแรงเข้าไปให้เกิดการเคลื่อนที่ตามสมการ

$$F = I(C_j, r_1, r_2) a \quad (3)$$

โดยที่ I คือความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นของโคบอท ซึ่งค่าความเฉื่อยนี้จะเปลี่ยนไปตาม โครงสร้าง (Configuration) ของโคบอท ซึ่งค่า I นั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ตามฟังก์ชัน $I(C_j, r_1, r_2)$ โดยที่ C_j คือ Joint Space ของ โคบอท

r_1 คือ อัตราทดระหว่างความเร็วของ จอยท์ 1 และ ความเร็วของเพลากลาง ซึ่งก็คือ อัตราทดของ CVT1 ที่ปรับได้

r_2 คือ อัตราทดระหว่างความเร็วของเพลากลาง และความเร็วของ จอยท์ 2 ซึ่งก็คือ อัตราทดของ CVT2 ที่ปรับได้

โดยที่ $R = r_1 \times r_2$ (4)

R คืออัตราทดรวมของระบบซึ่งก็คืออัตราทดระหว่างOutput1 และOutput2 (ดูในรูปที่ 3)

ค่าความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นของแขนกลเองเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตามที่ได้ออกมาแล้ว คือ C_J ได้แก่ $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4$ ตัวแปรจอยซ์ของแขนโคบอท ซึ่งค่ามุมต่างๆ จะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของปลายแขนโคบอท และเปลี่ยนไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบเอาไว้ ค่าความเฉื่อยปรากฏของแขนกลสามารถคำนวณได้ แต่ไม่สามารถควบคุมความเฉื่อยปรากฏให้เป็นไปตามค่าที่ต้องการให้ อย่างไรก็ตามความเฉื่อยปรากฏของทั้งระบบขึ้นอยู่กับอัตราทดของ CVT ทั้งสองด้วย ดังนั้นเราสามารถควบคุมความเฉื่อยปรากฏของทั้งระบบได้ โดยการปรับมุมอัตราทดของ CVT ทั้งสองด้วยค่าที่เหมาะสมเพื่อให้ความเฉื่อยปรากฏที่เกิดขึ้นมีค่าตามที่เรากำลังต้องการ ในการปรับค่า r_1 และ r_2 นั้นเราจะปรับค่าไปตามที่เราได้ออกแบบเอาไว้ให้สัมพันธ์กัน โดยที่ค่าอัตราทดรวมของระบบ (R) ไม่เปลี่ยนไปเพื่อให้โคบอทเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ออกแบบเอาไว้

9. สรุป และงานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ Pantograph Cobot สองมิติที่ใช้ Spherical CVT จำนวนสองชุด โดยนำเสนอหลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่และการควบคุม นอกจากนี้ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเฉื่อยกับหุ่นยนต์ และแนวคิดที่จะนำความเฉื่อยปรากฏ มาใช้ควบคุมหุ่นยนต์โคบอท

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่นี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ความเฉื่อยปรากฏ ในการควบคุมหุ่นยนต์โคบอทสองมิติ ซึ่งจะทำให้การหาความสัมพันธ์ของความเฉื่อย กับค่าตัวแปรต่างๆ ตามฟังก์ชัน $I(C_J, r_1, r_2)$ รวมทั้งการหาสมการพลศาสตร์ของระบบ เมื่อหาความสัมพันธ์ของความเฉื่อยปรากฏกับค่าตัวแปรต่างๆ ได้แล้ว ก็สามารถที่จะนำสมการหรือความสัมพันธ์นี้มาใช้ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยจะนำมาใช้ในการจำลองเคลื่อนที่ในคอมพิวเตอร์ที่ดำเนินการล่วงหน้าแล้ว[8] และทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้และปรับปรุงประเด็นด้านต่างๆ ต่อไป

10. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติและบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Moore, C., "Continuously Variable Transmission for Serial Link Cobot Architectures", Master's thesis, Department of Mechanical Engineering, Northwestern University, March 1997

- [2] Wannasuphprasit, W. and Cheepsumol, T. 2004. Parallel CVT mechanisms, Proceedings of the 2004 JSAE Annual Congress. JSAE Annual Congress Proceedings No. 64-04, Pacific Convention Plaza, Yokohama, Japan, 18-21 May 2004, code 20045459.
- [3] Colgate, J.E., Peshkin, M.A. and Wannasuphprasit, W., "Nonholonomic Haptic Display," IEEE International Conference on, Robotics and Automation. Minneapolis, pp. 539-544., 1996
- [4] Wannasuphprasit, W, R.B. Gillespie, J.E. Colgate, M.A. Peshkin, "Cobot Control", Proceeding of the IEEE 1997 International Conference on Robotics & Automation, pp. 3571-3576, 1997.
- [5] Wannasuphprasit, W. and Chanphat, S. "T-Cobot: Transformable collaborative robot", Proceedings of 2005 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2005). Orlando, Florida, USA, 5-11 November 2005, code IMECE2005-82027, (2005)
- [6] Peshkin M. A. ,Colgate, J. E. and Gillespie, R. B. (2001). "A General Framework for Cobot Control", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 17, Aug. 2001, pp. 391-401
- [7] Moore, C.A., Peshkin, M.A., Colgate, J.E. "A Three Revolute Cobot Using CVTs in Parallel", Proceeding of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, (1999)
- [8] ภาวิต สุวจิตตานนท์ และ วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์ "การจำลองเส้นทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ Pantograph Cobot" Proceedings of 2006 TRS Conference on Robotics and Industrial Technology
- [9] ดร.อิทธิพล ปานงาม ประเสริฐ เสริมศรีสุวรรณ ,กลศาสตร์เครื่องจักรกล
- [10] Saeed B. Niku "Introduction to Robotics Analysis, System, Application" Prentice Hall Upper Saddle River, NJ 07458