Institute of Field Robotics, King Mongkut's University of Technology Thonburi
126 Pracha Uthit Rd, Bang Mot, Thung Khru, Bangkok, Thailand 10140
Senior Thesis FRAB (FIBO Robotics and Automation: Bachelor)
Copyright © 2021 by FIBO

VISUALISATION TRIPTERON ROBOT

นันทพงศ์ เสถียรพงศ์, 66340500025
วรภัทร ภัทรเปรมเจริญ, 66340500049

บทคัดย่อ

โปรเจคนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ Tripteron ประเภท Parallel Manipulator (PM) ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่เชิงเส้นได้ทั้ง 3 แกน เพื่อควบคุมให้ปลายมือจับ (End Effector) ไปยังตำแหน่งที่ต้องการภายในพื้นที่ทำงานแบบสามมิติ โดยใช้การขับเคลื่อนจากมอเตอร์จำนวน 3 ตัว ที่ติดตั้งบนแขนกลแต่ละข้าง

การศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่การคำนวณทางจลนศาสตร์ของระบบ Forward Kinematic เพื่อแปลงข้อมูลจาก Joint Space ไปสู่ Task Space ผ่านการกำหนด Denavit–Hartenberg (DH) Parameter ผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งเชิงเส้น (Translation) และการหมุนเชิงมุม (Rotation) ของปลาย End Effector และ inverse kinematic จาก Task Space ไป joint Space และคำนวนหา different kinematic ของตัวหุ่นเพื่อหา Jacobian นำมาใช้หาความเร็วของปลายมือกับข้อต่อ และ static force ภายในระบบที่ทำให้ joint หมุน จากนั้นจะนำไปทำ Simulate ผ่าน โปรแกรม MATLAB เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและสามารถใช้ในการ Simulate เมื่อ Configuration เปลี่ยน

คำสำคัญ: DH Parameter, Task Space , Configuration , Forward kinematic , Inverse kinematic, Jacobian , static force

1. บทนำ (Introduction)

1.1 จุดประสงค์โครงการ

1. เพื่อพัฒนาและควบคุมหุ่นยนต์ Tripteron แบบ Parallel Manipulator ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ **3** แกนในพื้นที่ทำงานเชิงสามมิติ
2. เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณทางจลนศาสตร์ของระบบ Forward Kinematic โดยอาศัย Denavit–Hartenberg (DH) Parameter
3. เพื่อแปลงตำแหน่งจาก Joint Space ไปยัง Task space และหาตำแหน่งของ End effector
4. เพื่อคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนของ **Joint** ในรูปแบบของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และ Torque
5. เพื่อทำระบบ **SIMULATE** ผ่าน **MATLAB** เพื่อทำการตรวจสอบโดยระบบคอมพิวเตอร์

1.2 ขอบเขต

1) ศึกษาและพัฒนาระบบ Tripteron Robot ชนิด Parallel Manipulator ที่มีอิสระ **3** แกนเชิงเส้นเท่านั้น (3-DOF Translational)
2) ใช้ตัวแบบคำนวณทางจลนศาสตร์เชิงตรงและเชิงกลับสำหรับระบบ Forward Kinematic โดยกำหนดพารามิเตอร์ตาม Denavit–Hardenberg (DH Parameter)
3) การคำนวณและแสดงผลจะครอบคลุมเฉพาะตำแหน่ง (Translation) ของ End Effector ใน Task Space

4) ขอบเขตของระบบควบคุมอยู่ในระดับการเคลื่อนที่พื้นฐาน โดยไม่รวมถึงการควบคุมแรง, การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง หรือการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงโครงสร้างขั้นสูง

5) การทดลองประเมินผลจะเน้นความถูกต้องของตำแหน่งปลาย End Effector ภายใต้สภาวะการทำงานปกติ

6) โปรแกรมที่จะใช้คำนวนจะมาจาก **MATLAB** เพียงเท่านั้น

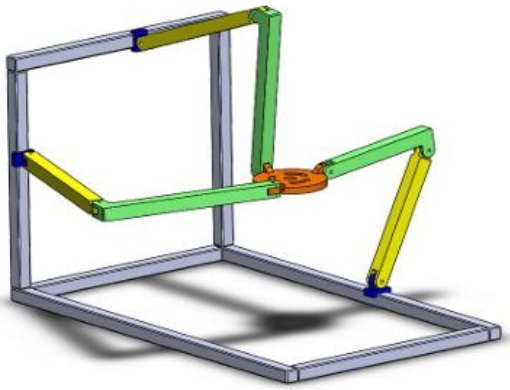
2. ทบทวนวรรณกรรม และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

[1]POSITION AND FORCE ANALYSIS OF A 3-DOF PARALLEL TRANSLATIONAL MECHANISM

Tripteron เป็นกลไกที่แต่ละแขนแยกการทำงานออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งหมายความว่า แอคทูเอเตอร์เชิงเส้นแต่ละตัวบนข้อต่อแบบ PRISMATIC จะให้เพียงหนึ่งองศาอิสระทางการเลื่อน นอกจากนี้ องศาอิสระทั้งสามทั้งหมดยังขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแอคทูเอเตอร์ที่สอดคล้องกัน แต่ตั้งฉากกับแอคทูเอเตอร์อื่น ๆ ดังนั้น หุ่นยนต์สามารถอธิบายได้ว่าเป็นแบบ PM การเลื่อน 3-DOF

$$M = 6(n-1) - \sum_{i=1}^{j}(6-f_i) = 6(11-1) - \sum_{i=1}^{12}(6-1) = 0$$

โดย M คือค่าการเคลื่อนที่รวม (MOBILITY/DOF) และ n คือ จำนวนชิ้นส่วนหรือบอดีทั้งหมด

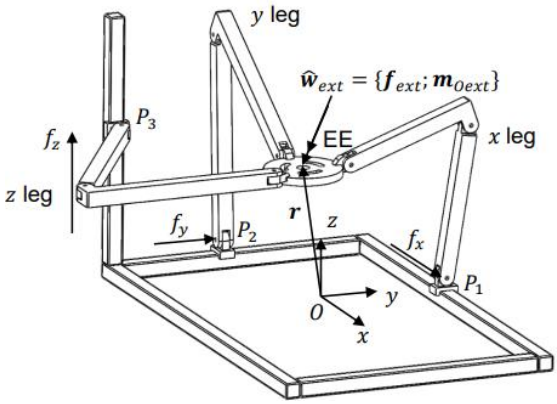


รูปที่ 1 แบบจำลอง 3 มิติของดีไซน์ TRIPTERON

พื้นที่ทำงานถูกจำกัดเป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด $l_1 \times l_2 \times l_3$CM เมื่อต้องคำนึงถึงขนาดแพลตฟอร์มและคิเนแมติกส์ของกลไก จำเป็นต้องเลือกค่าพารามิเตอร์เฉพาะ ได้แก่ โครง (FRAME), ข้อต่อ/ลิงก์ของขา 3 ขาแต่ละท่อน และเอ็นด์เอฟเฟกเตอร์

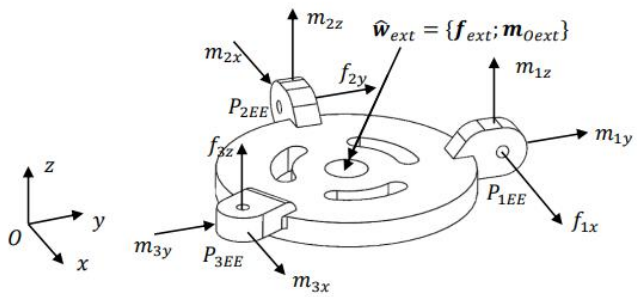
REVERSE FORCE ANALYSIS

ในการออกแบบ TRIPTERON มี 3 ACTUATOR สามารถออกแรงได้ เมื่อแรงภายนอกถูกนำมาใช้กับปลายเอฟเฟกเตอร์สามารถหาค่าแรงจากตัวกระตุ้นเชิงเส้นทั้งสามได้ นอกจากนี้ยังมีแรงและโมเมนต์ตอบสนองที่ข้อต่อหมุนเกิดขึ้นเนื่องจากแรงภายนอก



รูปที่ 2 แบบจำลอง TRIPTERON เมื่อมีแรง W มากระทำต่อ EE

จากรูปมี WRENCH ที่จุด EE และได้กำหนดเวกเตอร์ตำแหน่ง R ของ EE ไว้แล้ว เพื่อทำให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น จึงไม่คิดแรงโน้มถ่วงที่กระทำกับลิงก์



รูปที่ 3 จุด EE แรงที่กระทำในแต่ละข้อ

เพื่อหาองค์ประกอบที่ยังไม่ทราบทั้งหมด ได้แสดง FBD ของ EE ไว้ในรูปที่ 4-5 เนื่องจากพารามิเตอร์ของกลไกเป็นค่าคงที่และเวกเตอร์ตำแหน่ง R ถูกกำหนดแล้ว เราจึงคำนวณพิกัดของจุด PE จาก FBD: ขาแกน X มีแรงที่พาดผ่านจุด P1EE ในทิศแกน X และ ไม่มี องค์ประกอบแรงในทิศ Y หรือ Z เพราะข้อต่อหมุนทั้งสามของขาแกน X ไม่สามารถให้ ‘แรงบิด (TORQUE)’ ที่จำเป็นในการถ่วงสมดุลแรงตาม Y และ Z ได้

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ m_{01} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_{1x} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ m_{1y} + f_{1x} z_{1EE} \\ m_{1z} - f_{1x} y_{1EE} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{Bmatrix} f_2 \\ m_{02} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ f_{2y} \\ 0 \\ m_{2x} + f_{2xy} z_{2EE} \\ 0 \\ m_{2z} - f_{2y} X_{2EE} \end{Bmatrix} \tag{2}$$

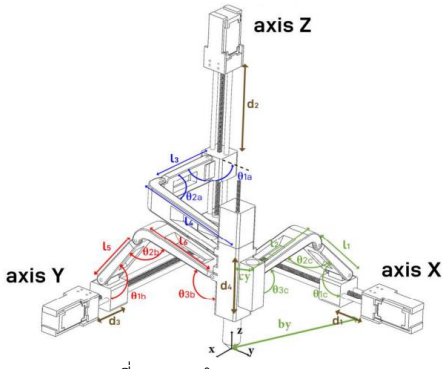
$$\begin{Bmatrix} f_3 \\ m_{03} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_{3Z} \\ m_{3X} + f_{3z} Y_{3EE} \\ m_{3y} - f_{3z} X_{3EE} \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{3}$$

การทำให้แรงบิดขาของขาเท่ากับแรงบิดภายนอกให้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_{ext_x} \\ f_{ext_y} \\ f_{ext_z} \\ m_{0ext_x} \\ m_{0ext_y} \\ m_{0ext_z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{2y} \\ f_{3Z} \\ m_{2X} + m_{3X} + f_{3z}Y_{3EE} - f_{2y}Z_{2EE} \\ m_{1y} + m_{3y} + f_{1x}Z_{1EE} - f_{3z}X_{3EE} \\ m_{1z} + m_{2z} + f_{2y}X_{2EE} - f_{1x}y_{1EE} \end{Bmatrix} \tag{4}$$

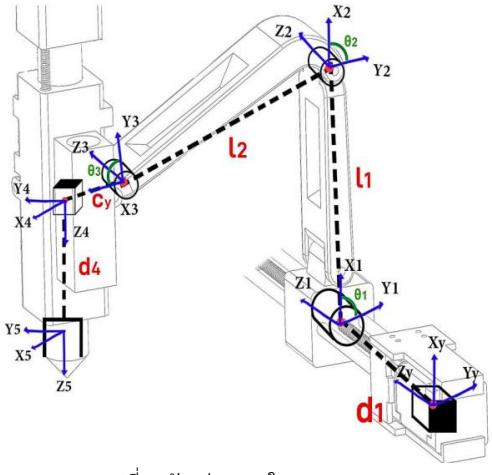
[2] MECHATRONICS DESIGN AND KINEMATIC SIMULATION OF A TRIPTERON CARTESIAN-PARALLEL AGRICULTURAL ROBOT MOUNTED ON 4-WHEELED MOBILE PLATFORM TO PERFORM SEED SOWING ACTIVITY

FORWARD KINEMATIC



รูปที่ 4 แบบจำลอง TRIPTERON

ในการคำนวณ FOWAED KINEMATIC TRIPTERON จะต้องแยกกลไกออกเป็น 3 ส่วน ในแต่ละแขนใช้ วิธี DENAVIT–HARTENBERG (DH) ในการตั้งพารามิเตอร์



รูปที่ 5 ตัวอย่างแขนในTRIPTERON

JOINT	KINEMMATIC PARMETER			
	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	d_1	0	0
2	θ_2	0	l_1	0
3	θ_3	0	l_2	0
4	θ_4	0	c_Y	90°
5	0	d_2	0	0

ตารางที่ 1 DENAVIT–HARTENBERG (DH) PARAMETER ของแขน

d_i คือระยะการเลื่อนที่แปรผันของข้อต่อที่ I , θI คือมุมการหมุนที่แปรผันของข้อต่อที่ i, l_1 คือความยาวลิงก์ระหว่างข้อต่อ 2 และ 3 l_2 คือความยาวลิงก์ระหว่างข้อต่อ 3 และ 4 ,c_Y คือระยะจากข้อต่อ 4 ไปยังจุดกึ่งกลางของข้อต่อ 5

$$T_{partial} - Y = A_Y^5 = A_Y^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4 A_4^5 \tag{5}$$

โดยที่ A คือเมทริกซ์ทรานส์ฟอร์มโฮโมจีเนียสที่เชื่อมระบบพิกัด I–1 กับระบบ I และ A1Y คือเมทริกซ์ที่เชื่อมระบบฐานของโซ่แกน Y กับระบบที่ 1

$$T_y = T_{base \to y} A_Y^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4 A_4^5 \tag{6}$$

$T_{base \to Y}$ คือเมทริกซ์ทรานส์ฟอร์มแบบโฮโมจีเนียสที่เชื่อมระบบพิกัด XYZ กับระบบพิกัดบนแกน Y

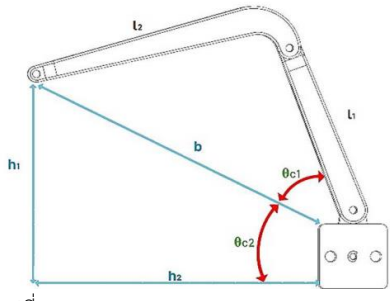
$$T_x = T_{base-x} A_x^6 A_6^7 A_7^8 A_8^9 A_9^5 \tag{7}$$

$$T_z = T_{base-z} A_z^{10} A_{10}^{11} A_{11}^{12} A_{12}^{13} A_{13}^5 \tag{8}$$

$T_{base \to X}$ หรือ Z คือเมทริกซ์ที่เปลี่ยนจากฐานกลาง XYZ ไปยังฐานของโซ่แกน X หรือ Z

INVERSE KINEMATIC

ในการจะหา JOINT ที่เปลี่ยนไปจากการเลื่อน LINK จะต้องหาจาก INVERSE KINEMATIC โดยจากรายงานที่ได้มาเราสามารถคำนวนมุม $\theta_{c1}\theta_{c2}$ ของมุมต่างๆได้จากสมการดั้งนี้ ตัวอย่างนี้นำเสนอการคำนวนผ่านแกน X



รูปที่ 6 Free body diagram ของ TRIPTERON

$$\theta_{c1} = cos^{-1}(\frac{b^2 + l_1^2 - l_2^2}{2 * b * l_1}) \tag{9}$$

$$\theta_{c2} = tan^{-1}(\frac{h_1}{h_2}) \tag{10}$$

โดยองศาทั้งหมดที่ได้จะเท่ากับ

$$\theta_{total} = cos^{-1}\left(\frac{b^2 + l_1^2 - l_2^2}{2 * b * l_1}\right) + tan^{-1}(\frac{h_1}{h_2}) \tag{11}$$

จากที่เห็นจากรูปภาพที่ *4* และ รูปภาพที่ *6* จะทำให้เห็นจุด *EE* ห่างกับจุด *ACTUATOR* เท่ากับ b และสามารถเคลื่อนที่ได้ d *จาก ACTUATOR โดย* $l_1 l_2$ *คือ LINK บน และ LINK ล่าง ที่ทำการเชื่อมระหว่า EE กับ ACTUATOR ซึ่งสามารถใช้ในการหา ตำแหน่ง ความเร็ว และ ความเร่งได้จากสมการนี้*

$$b_Y + d_1 + c_Y + l_1 + l_2 = [X\ Y\ Z]^T \tag{12}$$

เนื่องจาก $\boldsymbol{b}$ *อยู่ในแกนแนว Y และ* $l_1 l_2$ *จึงตั้งฉากกัยแกน X เมื่อนำมา Dot product เมื่อ* $\hat{\imath}$ *ตำแหน่งของ X-LINEAR JOINT สามารถแสดงได้จากสมการนี้*

$$d_1 = (X - b_x\hat{\imath})\hat{\imath} \tag{13}$$

นำสมการที่ 12 มาใส่สมการที่ 13

$$\lambda_x = l_1 + l_2 \tag{14}$$

$$\lambda_x = [0\ Y\ Z\ ]^T - b_x - c_x + (b_x\hat{\imath})\hat{\imath} \tag{15}$$

จากสมการที่ 11 เราสามารถแทนค่าลงสมการที่เพื่อที่ได้สมการดังนี้

$$a_x = cos^{-1}\left(\frac{||\lambda_x||^2 + ||l_1||^2 - ||l_2||^2}{2 * ||l_1||^2 * ||\lambda_x||^2}\right) + tan^{-1}(\frac{z - b_x * \hat{k}}{Y - (b_x + c_x) * \hat{\jmath}}) \tag{16}$$

ดังนั้น เมื่อคำนวณ a_x แล้ว จะได้ l_1 ดังนี้:

$$l_1 = l_1(cosa_x\hat{\jmath} + sina_x\hat{k}) \tag{17}$$

และเวกเตอร์ L_1 สามารถหาได้โดยการแทรกสมการที่ 17 ลงในสมการที่ 14

$$l_2 = \lambda_x - l_1(cosa_x\hat{j} + sina_x\hat{k}) \tag{18}$$

เมื่อแก้ปัญหานี้ทำใน LINKที่ 1 ซึ่งตั้งอยู่บนแกน X และทำซ้ำใน LINKที่ 2 (แกน Y) และ LINKที่ 3 (แกน Z) ของหุ่นยนต์ TRIPTERON ด้วยวิธีการนี้ จะได้ค่าดังนี้

$$d_3 = (Y - b_Y\hat{j})\hat{j} \tag{19}$$

$$l_5 = l_5(cosa_Y\hat{j} + sina_Y\hat{k}) \tag{20}$$

$$a_x = cos^{-1}\left(\frac{||\lambda_Y||^2 + ||l_5||^2 - ||l_6||^2}{2 * ||l_5||^2 * ||\lambda_Y||^2}\right) + tan^{-1}\left(\frac{z - b_Y * \hat{k}}{(b_Y) * \hat{\imath} - X}\right) \tag{21}$$

$$\lambda_x = [X\ 0\ Z\ ]^T - b_Y + (b_Y\hat{j})\hat{j} \tag{22}$$

$$l_5 = \lambda_Y - l_6(cosa_Y\hat{j} + sina_Y\hat{k}) \tag{23}$$

$$d_2 = (z - b_z\hat{k})\hat{k} \tag{24}$$

$$l_3 = l_3(cosa_Z\hat{j} - sina_Z\hat{k}) \tag{25}$$

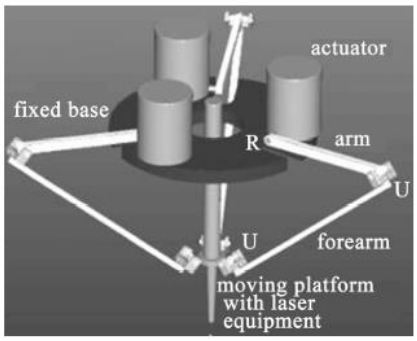
$$a_x = cos^{-1}\left(\frac{||\lambda_Z||^2 + ||l_3||^2 - ||l_4||^2}{2 * ||l_3||^2 * ||\lambda_Z||^2}\right) + tan^{-1}\left(\frac{b_Z * \hat{\imath} - X}{(b_Z * \hat{j} - Y)}\right) \tag{26}$$

$$\lambda_Z = [X\ Y\ 0\ ]^T - b_Z + (b_Z\hat{k})\hat{k} \tag{27}$$

$$l_4 = \lambda_Y - l_3(cosa_Z\hat{j} + sina_Z\hat{k}) \tag{28}$$

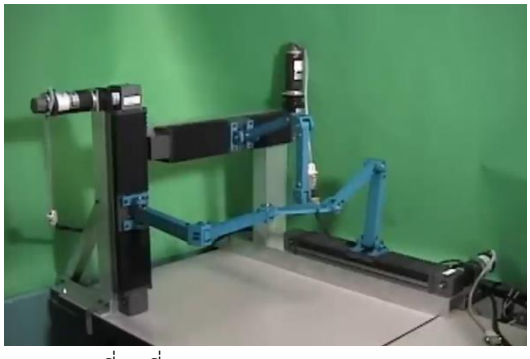
[3].CLOSE-LOOP MANIPULATOR

โดยทั่วไปจะหมายถึง PARALLEL MANIPULATOR (หุ่นยนต์แขนกลแบบขนาน) เป็นกลไกที่มีการเชื่อมโยงระหว่างส่วนฐาน (BASE) และปลายมือ (END-EFFECTOR) ผ่านแขนกลจลนศาสตร์หลายชุด (MULTIPLE KINEMATIC CHAINS) ซึ่งแต่ละแขนทำงานร่วมกันในลักษณะ วงปิด (CLOSED KINEMATIC CHAIN) และขับเคลื่อนเพื่อรักษาสมดุลของโครงสร้างทั้งหมดให้คงรูปอยู่เสมอ



รูปที่ 7 ตัวอย่างหุ่นยนต์ PARALLEL CLOSED-LOOP MANIPULATO มีโครงสร้างลักษณ์เป็นวงปิด ซึ่งมี 3 แขนเชื่อมฐานและปลายมือ

สำหรับหุ่นยนต์ TRIPTERON ที่เป็นหุ่นยนต์แบบขนาน (PARALLEL MANIPULATOR) มี โครงสร้างจลนศาสตร์แบบวงปิด (CLOSED-LOOP KINEMATIC CHAIN MECHANISM) หรือก็คือเมื่อผู้ควบคุมสั่งให้ปลายมือของ TRIPTERON เคลื่อนที่ในแนวแกนใดแกนหนึ่ง เช่น แนว X ตัวขับเชิงเส้นในแขนแกน X จะเคลื่อนออก ขณะที่แขนแกน Y และ Z จะปรับระยะเชื่อมโยงเพื่อคงรูปร่างของโครงสร้างไว้ ผลลัพธ์คือ ปลายมือเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนว X โดยไม่เกิดการเอียงหรือหมุน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบแบบวงปิดใน TRIPTERON ซึ่งหมายความว่าการเคลื่อนที่ของปลายมือ (END-EFFECTOR) ถูกควบคุมและรองรับโดยโครงสร้างแขนกลหลายชุดที่เชื่อมต่อกันเป็นวงปิดระหว่างฐาน (BASE) ในส่วนโครงสร้างของ TRIPTERON แขนกลทั้งสามชุดถูกจัดวางในแนวตั้งฉากกันตามแกน X, Y และ Z แต่ละแขนจะให้การเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นหนึ่งทิศทาง (TRANSLATIONAL DOF) โดยรวมแล้วหุ่นยนต์นี้สามารถเคลื่อนที่ได้สามองศาอิสระเชิงเส้น (3-DOF TRANSLATIONAL MOTION)

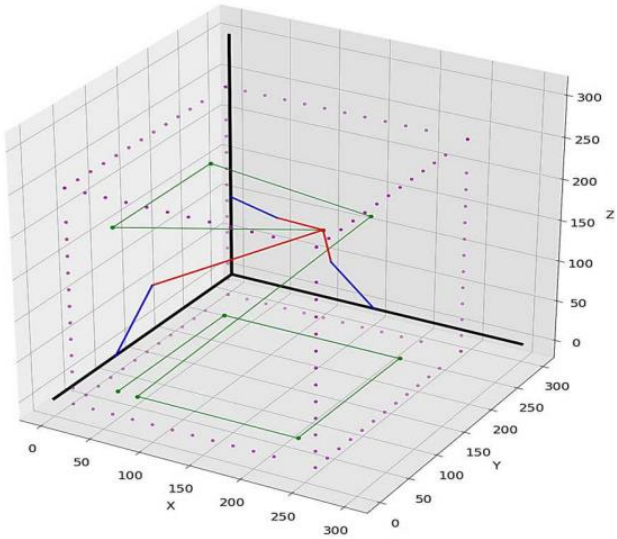


รูปที่ 8 ที่สภาวะสมดุลของ TRIPTERON

รูปที่ 9 การเคลื่อนที่แนวแกน X ส่งผลให้ข้อต่อในแขนแกน Y , Z ขยับเพื่อรักษาสมดุลของโครงสร้าง

[4].MATLAB SIMULATION

การจำลอง (SIMULATION) เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบจริงโดยไม่ต้องสร้างต้นแบบจริงขึ้นมา ซึ่งช่วยลดเวลาและต้นทุนในการออกแบบระบบอย่างมาก สำหรับ (PARALLEL ROBOT) อย่าง TRIPTERON ROBOT ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือ การเคลื่อนที่ของปลายมือ (END-EFFECTOR) เกิดจากการทำงานร่วมกันของขาเชิงเส้นสามขาในแนวแกน X, Y และ Z



การสร้างแบบจำลองจลนศาสตร์ (KINEMATIC MODELING)

ใช้สำหรับคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของปลายมือจากค่าตำแหน่งของข้อต่อที่ทราบจาก IK โดยอาศัยสมการแปลงพิกัด (TRANSFORMATION MATRIX) และหลักการ D–H PARAMETERS

การสร้างแบบจำลองจลนศาสตร์เชิงกลับ (INVERSE KINEMATICS)

ในการจำลองหรือคำนวณจลนศาสตร์เชิงกลับของ TRIPTERON เมื่อกำหนดให้ปลายมือเคลื่อนที่ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะต้องพิจารณาผลกระทบต่อข้อต่อทุกขาในระบบเพราะ จะทำให้ข้อต่อของอีกสองขาเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งโดยอัตโนมัติ เพื่อรักษาสมดุลและทิศทางของโครงสร้างทั้งหมด

การวิเคราะห์จาคอบเบียน (JACOBIAN ANALYSIS):

MATLAB สามารถใช้ในการคำนวณเมทริกซ์จาคอบเบียนของระบบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของข้อต่อกับความเร็วของปลายมือ

การคำนวณแรงและทอร์ก (STATIC FORCE SIMULATION)

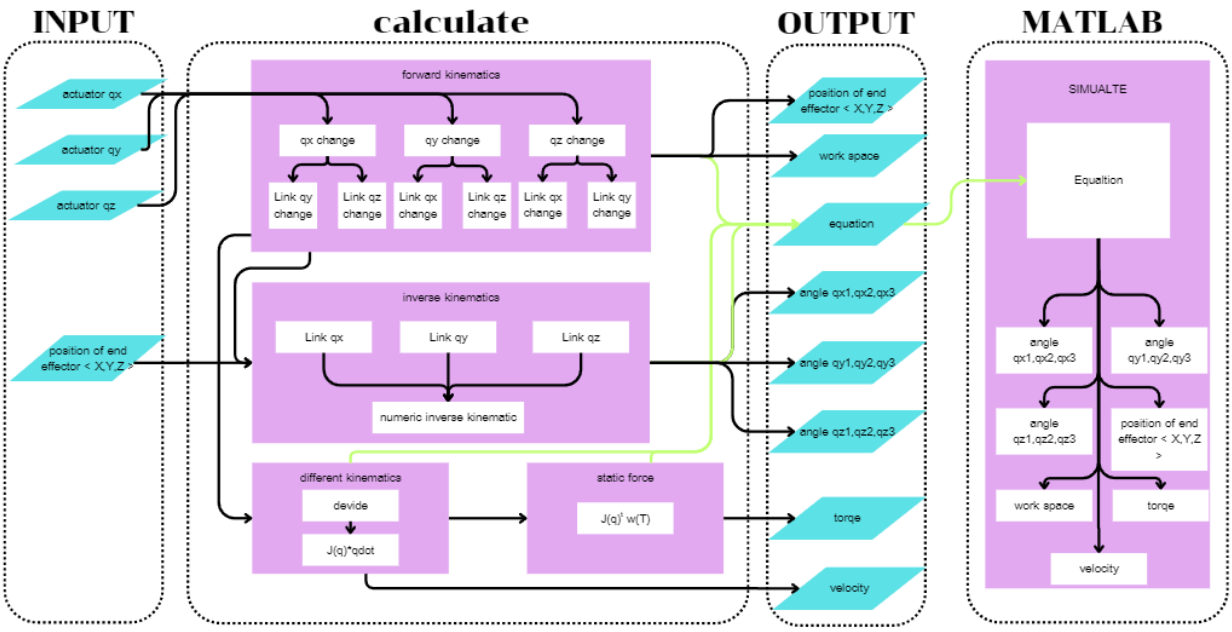
สำหรับ TRIPTERON ROBOT ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ขนานสามองศาอิสระแต่ละแขนจะทำงานร่วมกันเพื่อให้ EE เคลื่อนที่แบบเชิงเส้นในแนวแกน X,Y,Z โดยไม่เกิดการหมุนเมื่อมีการขับเคลื่อนขาใดขาหนึ่งอีก2ขาจะขยับเพื่อรักษาสมดุลซึ่งจะ

ก่อให้เกิดแรงปฏิกิริยา (REACTION FORCE) ระหว่างลิงก์และข้อต่อของแขนทั้งสาม ซึ่งเป็รแรง STATIC FORCE ที่กระทำต่อแต่ละข้อต่อ

3. เนื้อหาในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง

1) Forward kinematic
2) Inversed kinematic
3) Different kinematic
4) Static force

4. System Diagram / System Overview (Function and Argument)



รูปที่ 7 System Diagram

1. การคำนวน Forward kinematic จากการขยับ actuator X Y Z ส่งผลต่อ end effector และ Joint ใน link อื่นอย่างไหร่

   คณะผู้จัดทำจะทำคำนวณ Forward kinematic โดยการใช้ DH-Parameter ในการดูผลกระทบต่อ Link ที่ actuator ขยับ จากนั้นจะหาตำแหน่ง end-effector ณ ปัจจุบันที่เปลี่ยน นำมาคำนวณหาระยะห่าง Link อื่น กับ end-effector ใหม่ที่เปลี่ยนไปจากเดิม แล้วใช้ inverse kinematic ในการหา q1,q2,q3 ของ linkนั้นเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของทั้งระบบจากการเปลี่ยน actuator

2. การคำนวน Inverse Kinematic ใช้หา q1,q2,q3 ของทุก Link จาก end effector ที่ได้รับเข้ามาเพื่อดูว้า Joint ใน link เปลี่ยนแปลงอย่างไหร่

   คณะผู้จัดทำจะนำ end-effector ที่เปลี่ยนแปลงไปนำมาหา q1,q2,q3 ของ link ต่างโดยทำให้ความยาวของระยะห่างของ Link และ end-effector มีขนานสมเหตุผลเพื่อใช้ในการดูการเปลี่ยนแปลงของทั้งระบบจากการเปลี่ยน actuator

3. การคำนวณหา different kinematic เพื่อหาความเร็วปลายมือสัมพัทธ์

   คณะผู้จัดทำจะเอา position ที่ได้จากทำ Forward Kinematic นำมา divide ด้วยสมการแล้วทำให้ออกมาในรูปแบบของ Jacobian และdot product กับ $\dot{q}$ จะได้ความเร็ว Jacobian ที่ได้จะนำไปใช้ในคำนวนอย่างอื่นต่อ

4. การคำนวณหา static force เพื่อหาความเร็วปลายมือสัมพัทธ์

คณะผู้จัดทำจะเอา คณะผู้จัดทำจะเอา Jacobian มาทำ transpose และ dot product กับ แรงที่เกิดขึ้นภายใน Link เพื่อหา torque ที่เกิดขึ้นในแต่ละ*joint*

5. การทำ *Simulate* ใน *MATLAB*

หลังจากการคำนวณหา Forward kinematic , inverse kinematic , different kinematic และ static force จะได้สมการออกมาทางคณะผู้จัดทำจะทำการนาสมการเหล่าเอามาสร้าง *Simulate* ใน *MATLAB*

5. ผลการศึกษาที่คาดหวัง

1) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของมุมในส่วนของ **Link X, Link Y และ Link Z** ที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของ **End Effector**
2) เพื่อคำนวณหามุมของลิงก์ทั้งสามที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเคลื่อนไหวของลิงก์อื่น ๆ ภายในระบบ
3) เพื่อหาความเร็วสัมพัทธ์ของปลายมือ (**End Effector Velocity**) และสร้างเมทริกซ์ **Jacobian** ของระบบเพื่อใช้ในการคำนวณทางจลนศาสตร์และการควบคุม
4) เพื่อคำนวณแรงสถิต (**Static Force**) ที่กระทำต่อข้อต่อ (**Joint**) ทั้งหมดในระบบ
5) เพื่อศึกษาการทำรบบ **simulate** ภายในระบบ **MATLAB**

6. รายละเอียดโครงการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
1	ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับ closed loop Kinematic Chain						
2	จัดทำ Proposal						
3	คำนวน forward kinematic ของ Tripteron						
4	คำนวน inverse kinematic ของ Tripteron						
5	คำนวน different kinematic ของ Tripteron						
6	คำนวน static force ของ Tripteron						
7	ทำ simulate ผ่าน MATLAB						
8	ปรับจูนแก้ไข และส่งงาน						

7. การแบ่งหน้าที่

ชื่อ	หน้าที่หลัก
นันทพงศ์ เสถียรพงศ์	คำนวณสมการเพื่อนำไปใช้ต่อใน MATLAB
วรภัทร ภัทรเปรมเจริญ	Simulate ผ่าน โปรแกรม MATLAB

8. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] YUANZHE ZHAO , POSITION AND FORCE ANALYSIS OF A 3-DOF PARALLEL TRANSLATIONAL MECHANISM , UNIVERSITY OF FLORIDA 2020

[2] MECHATRONICS DESIGN AND KINEMATIC SIMULATION OF A TRIPTERON CARTESIAN-PARALLEL AGRICULTURAL ROBOT MOUNTED ON 4-WHEELED MOBILE PLATFORM TO PERFORM SEED SOWING ACTIVITY
FORWARD KINEMATIC

[3] PATEL, Y. D., & GEORGE, P. M. (2012). *PARALLEL MANIPULATORS APPLICATIONS—A SURVEY*. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH AND APPLICATIONS

[4] THE MATHWORKS, INC., "SIMULATE DYNAMIC SYSTEM BEHAVIOR - SIMULINK,"
HTTPS://WWW.MATHWORKS.COM/HELP/SIMULINK/SIMULATION.HTML