



SIMULATION TRIPOD ROBOT FROM THE MOVIE WAR OF THE WORLDS: MOVEMENT STAND-UP

<นายคณพล กาจธัญกิจ, 65340500005>

<นายธนศพล ทิพย์แก้ว, 65340500027>



บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นโปรเจกต์สำหรับจัดทำ Simulation หุ่นยนต์ Tripod จากภาพยนตร์ War of the worlds ให้สามารถยืนขึ้นในแนวดิ่งและเงยหน้าได้ โดยทราบความยาวของขา (Fixed Link) เพื่อคำนวณหาตำแหน่งและองศาของหัว (end effector) จาก Forward Kinematic และใช้ Inverse Kinematic เพื่อคำนวณหา Configuration Space ที่ทำให้หุ่นยนต์ Tripod ยืนขึ้นในแนวดิ่งและเงยหน้าตามที่ต้องการ โดยใช้ DH-parameter และมีการแสดงผลเป็นภาพเพื่อให้สามารถง่ายต่อการสังเกต

คำสำคัญ: DH-parameter, Tripod, War of the worlds

1. บทนำ (Introduction)

คณะผู้จัดทำมีความสนใจหุ่นยนต์ Tripod จากหนังเรื่อง War of the world ที่มีความสามารถในการเคลื่อนไหวอย่างมั่นคงแม้จะมีโครงสร้างขาเพียงสามข้าง การศึกษานี้มีความสำคัญในการเข้าใจการควบคุมและการคำนวณตำแหน่งของหัวใน Task Space ของหุ่นยนต์แบบ Tripod ผ่านการใช้ Forward Kinematic และ Inverse Kinematic ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาหุ่นยนต์ในสถานะที่ต้องการความมั่นคง

1.1 จุดประสงค์โครงการ

- 1) เพื่อศึกษาขาของหุ่นยนต์ tripod แบบ revolute จากทำขึ้นในปริภูมิ 2 มิติ
- 2) เพื่อศึกษาการคำนวณ Forward Kinematic และ Inverse Kinematic เพื่อตรวจสอบตำแหน่งและองศาของหัวหุ่นยนต์ใน Task Space
- 3) เพื่อพัฒนาระบบแสดงผลการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ในเชิงภาพเพื่อให้เข้าใจการทำงานของแต่ละขาแบบได้ง่ายขึ้น

1.2 ขอบเขต

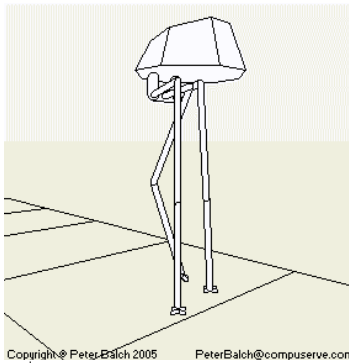
- 1) คำนวณเฉพาะ Kinematic เท่านั้น
- 2) กำหนดให้หุ่นยนต์มี 3 ขา และแต่ละขาของหุ่นยนต์ มี 2 Joint เท่านั้น
- 3) กำหนดให้ตำแหน่งปลายขาของหุ่นยนต์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่สามารถเปลี่ยนการวางแนว (orientation)
- 4) กำหนดให้ในการคำนวณทุก Link ของขาเป็น Rigid body ที่มีเพียงความยาวของ link หน่วยเมตรเท่านั้น
- 5) กำหนดให้เท้าเริ่มต้น อยู่ในสภาวะสมดุล (Task Space เริ่มต้น)
- 6) คำนวณการยืงขึ้นในแนวตั้งและการเงยหน้า โดยพิจารณาเฉพาะตำแหน่งและความเร็ว
- 7) ค่าจาก Input เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น

2. ทบทวนวรรณกรรม และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 WAR OF THE WORLDS - TRIPOD GAIT (Peter Balch., 2005) [1]

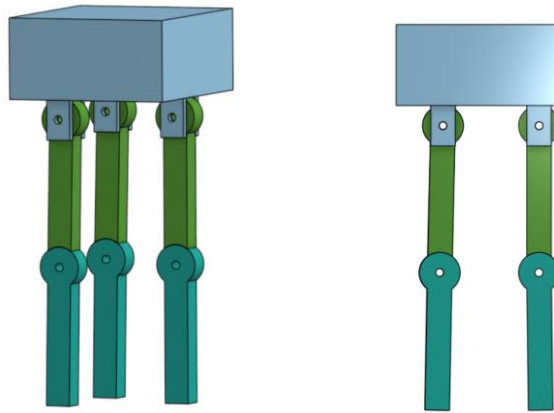
Configuration tripod robot

จากคำบรรยายลักษณะของหุ่นยนต์ในนิยาย คุณ Peter Balch ได้นำมาออกแบบเป็นหุ่นยนต์ได้ ดังนี้

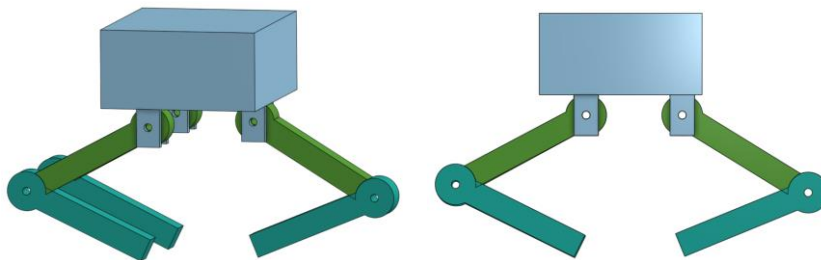


รูปที่ 1 Tripod robot โดยคุณ Peter Balch

เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณ Kinematic และเห็นองค์ประกอบของหุ่นยนต์ เช่น จำนวนและตำแหน่งของ Joint คณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบเพิ่มเติมให้มีลักษณะ ดังนี้



รูปที่ 2 Tripod robot แบบยืน โดยคณะผู้จัดทำ



รูปที่ 3 Tripod robot แบบนั่ง โดยคณะผู้จัดทำ

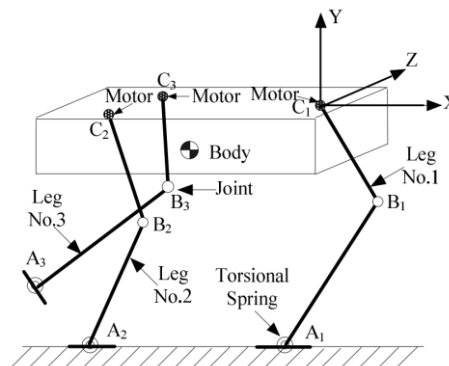
จากการออกแบบเพิ่มเติมทำให้ทราบว่า หุ่นยนต์นี้ มี 3 ขา ในแต่ละขาจะมี 2 Joint และ 2 Link โดย Joint ทั้งหมดเป็นแบบ Revolute Joint

2.2 A NOVEL BIOLOGICALLY INSPIRED TRIPOD WALKING ROBOT (Marco Ceccarelli, Conghui Liang, Giuseppe Carbone., 2009) [3]

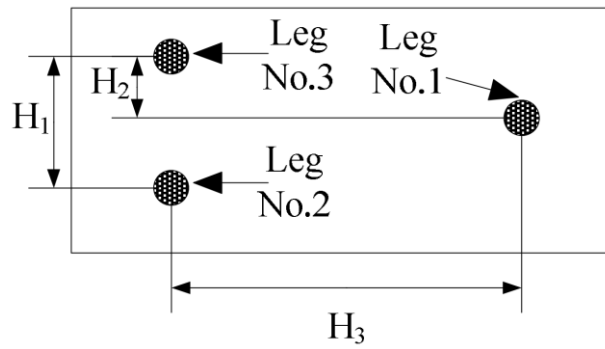
ในวิทยานิพนธ์นี้ นักวิจัยได้พัฒนาหุ่นยนต์เดินสามขา โดยใช้ลักษณะการเดินจากสิ่งมีชีวิต เช่น คนที่เดินด้วยไม้เท้าค้ำยัน , การใช้หางของจิงโจ้ในการเคลื่อนที่ มาเป็นต้นแบบของหุ่นยนต์

Mechanism

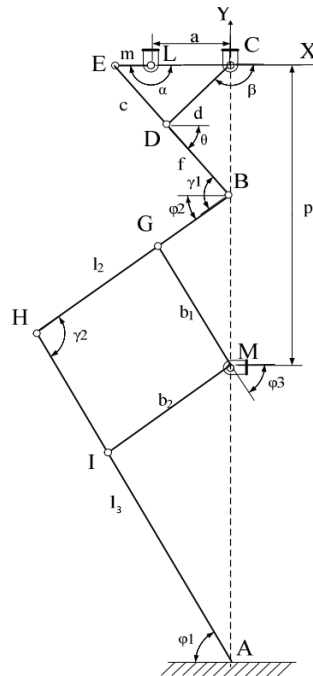
หุ่นยนต์นี้จะมี 3 ขา ในแต่ละขาจะมี 2 Joint และ 2 Link Joint ทั้งหมดเป็นแบบ Revolute Joint และมีข้อต่อแบบอิสระเชื่อมโยงแต่ละขา ทำให้แต่ละขามีความสัมพันธ์กันในเวลาเดิน อีกทั้งบริเวณเท้าจะมีสปริงเพื่อทำให้เท้าหุ่นยนต์ร่นาไปกับพื้นเวลาวางเท้า



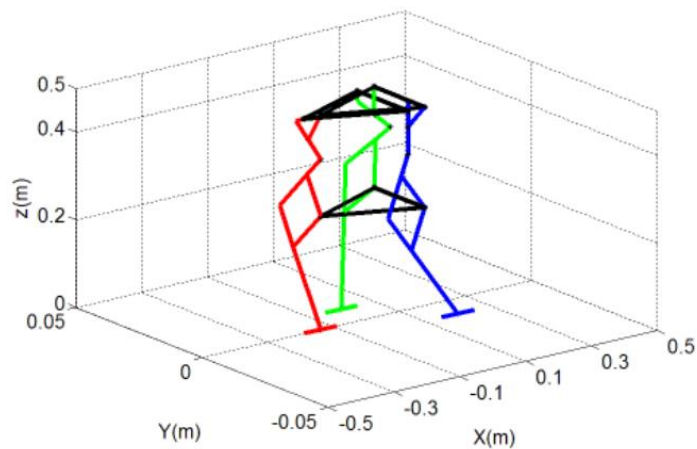
รูปที่ 4 three legs configuration



รูปที่ 5 contacts of three legs in horizontal plane



รูปที่ 6 A scheme for the proposed leg mechanism with design parameters for a tripod walking robot



Kinematic Analysis

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การตั้งแกนด้วย กฎมือซ้าย โดยเริ่มต้นคำนวณหาตำแหน่งของ B ที่เป็นข้อต่อที่ 2 ของขา ได้เป็นสมการ

$$X_B = -a + m \cos \alpha + (c + f) \cos \theta$$

$$Y_B = -m \sin \alpha - (c + f) \sin \theta \quad (1)$$

โดย	X_B	คือ ตำแหน่งของจุด B ในแกน x (หน่วย เมตร)
	Y_B	คือ ตำแหน่งของจุด B ในแกน y (หน่วย เมตร)
	a	คือ ระยะจากข้อต่อแบบอสิระ L ไปข้อต่อที่คู้มได้ C (หน่วย เมตร)
	m	คือ ระยะจากจุด E ที่เป็นตัวเชื่อมโยงกับขาอื่น ไปข้อต่ออสิระ L (หน่วย เมตร)
	α	คือ มุมของข้อต่อแบบอสิระ L เทียบกับแกน x (หน่วย องศา)
	c	คือ ระยะจากจุด E ไปจุด D (หน่วย เมตร)
	f	คือ ระยะจากจุด D ไปจุด B (หน่วย เมตร)
	θ	คือ มุมของจุด D เทียบกับแกน x (หน่วย องศา)

โดย θ หาได้จากสมการ

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{-B + (B^2 - 4AC)^{1/2}}{2A} \right) \quad (2)$$

และ

$$A = a^2 - d^2 + m^2 + c^2 + 2 a c - 2 m (c + a) \cos \alpha$$

$$B = 4 m c \sin \alpha$$

$$C = a^2 - d^2 + m^2 + c^2 - 2 a c + 2 m (c - a) \cos \alpha \quad (3)$$

โดย d คือ ระยะจากจุด C ไปจุด D (หน่วย เมตร)

ซึ่งสามารถนำ θ มาคำนวณหา β ที่เป็นองศาของข้อต่อจุด C ได้ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{-a + m \cos \alpha + c \cos \theta}{d} \right) \quad (4)$$

จาก pantograph mechanism ที่เคยมีการคำนวณไว้ในเอกสารอ้างอิง [4] นำมาหาตำแหน่งของ A ได้สมการ

$$X_A = X_B - l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3$$

$$Y_A = Y_B - l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 \quad (5)$$

โดย X_A คือ ตำแหน่งของจุด A ในแกน x (หน่วย เมตร)
 Y_A คือ ตำแหน่งของจุด A ในแกน y (หน่วย เมตร)
 l_2 คือ ระยะจากจุด B ไปจุด H (หน่วย เมตร)
 l_3 คือ ระยะจากจุด A ไปจุด H (หน่วย เมตร)
 φ_3 คือ มุมของข้อต่ออิสระ M ที่เป็นตัวเชื่อมโยงกับขาอื่น เทียบกับแกน x (หน่วย องศา)
 และสามารถเขียนสมการ close-loop คำนวณหาองศาของ Link เทียบกับระนาบพื้นหุ่นยนต์ได้ ดังนี้

$$\varphi_2 = 2 \tan^{-1} \left(\frac{-E - (E^2 - 4DF)^{1/2}}{2D} \right)$$

$$\varphi_3 = \cos^{-1} \left(\frac{-X_B + (l_2 - b_2) \cos \varphi_2}{b_1} \right) \quad (6)$$

และคำนวณตำแหน่ง จุดต่างๆ จากสมการ

$$D = X_B^2 - b_1^2 + (l_2 - b_2)^2 + Y_B^2 + p^2 + 2(l_2 - b_2)X_B + 2Y_B p$$

$$E = -4(Y_B + p(l_2 - b_2)) \quad (7)$$

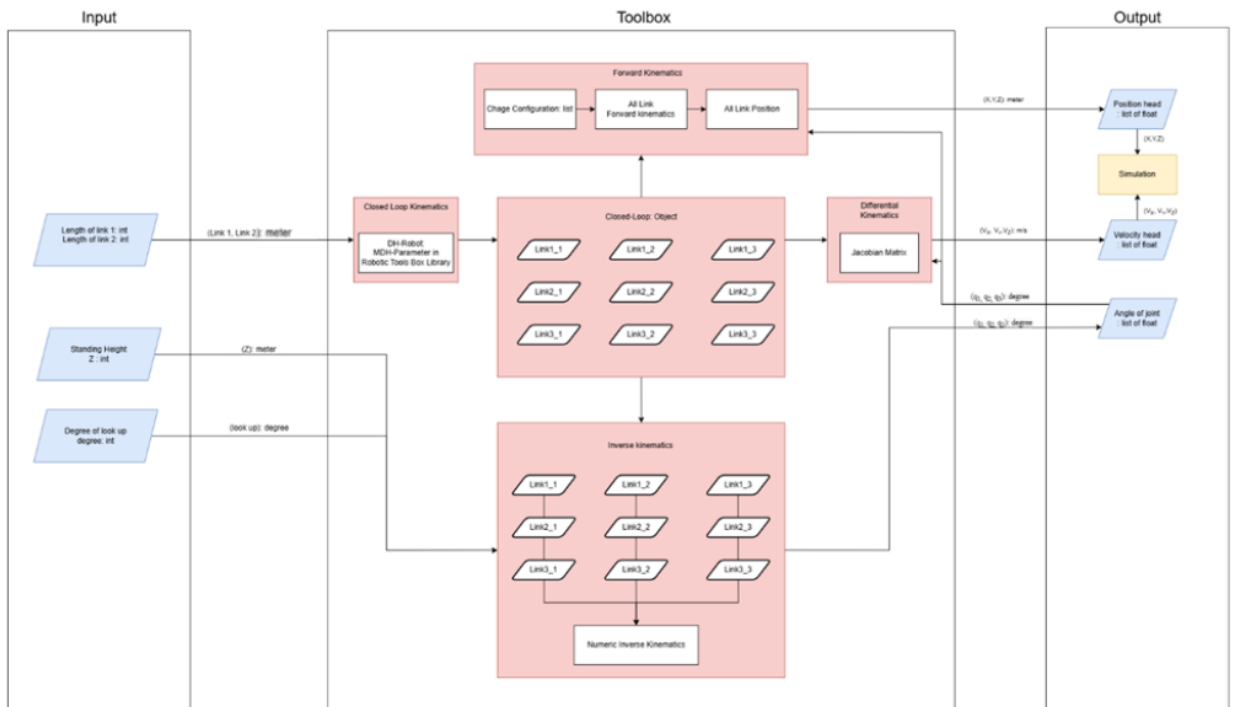
$$F = X_B^2 - b_1^2 + (l_2 - b_2)^2 + Y_B^2 + p^2 - 2(l_2 - b_2)X_B + 2Y_B p$$

โดย φ_2 คือ มุมของข้อต่อ B เทียบกับแกน x (หน่วย องศา)
 b_1 คือ ระยะจากจุด G ไปจุด M (หน่วย เมตร)
 b_2 คือ ระยะจากจุด I ไปจุด M (หน่วย เมตร)
 p คือ ความสูงจากจุด C ไปจุด M (หน่วย เมตร)

3. เนื้อหาในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง

- 1) Transformation Of Coordinate Frame
- 2) Forward Kinematics
- 3) Inverse Kinematics
- 4) Differential Kinematics
- 5) Robot Modelling
- 6) Python

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



รูปที่ 8 System Diagram

Input

- 1) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดความยาวขาระหว่างข้อต่อหุ่นยนต์:
 - เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดความยาวขาของข้อต่อของหุ่นยนต์โดยรับค่าเป็นจำนวนเต็มในหน่วยเมตร
- 2) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดความสูงในการยืนหุ่นยนต์:
 - เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดความสูงในการยืนของหุ่นยนต์โดยรับค่า เป็นจำนวนเต็มในหน่วยเมตร
- 3) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดองศาการเงยหน้าหุ่นยนต์:
 - เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดองศาการเงยหน้าของหุ่นยนต์โดยรับค่า เป็นจำนวนเต็มในหน่วยองศา

Toolbox

- 1) ฟังก์ชันสำหรับการหา Forward Kinematics:
 - ฟังก์ชันนี้จะคำนวณตำแหน่งของ Head โดยอ้างอิงจากมุมข้อต่อต่างๆ ของหุ่นยนต์ที่ถูกกำหนดไว้
 - Forward Kinematics คำนวณหาตำแหน่งของปลายหุ่นยนต์ Head ในระบบพิกัด (X, Y, Z) โดยใช้มุมข้อต่อต่างๆ ในปัจจุบัน
- 2) ฟังก์ชันสำหรับการหา Inverse Kinematics:
 - ฟังก์ชันนี้ใช้พารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ใน ฟังก์ชันกำหนดความสูงในการยืนหุ่นยนต์ และฟังก์ชันกำหนดองศาการเงยหน้าหุ่นยนต์ เพื่อหาค่ามุมข้อต่อที่ทำให้ Head ของหุ่นยนต์สามารถไปถึงตำแหน่งเป้าหมายใน Task Space
 - การคำนวณนี้ใช้วิธี Numerical Method โดยจะปรับแต่งมุมข้อต่ออย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้ตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อให้สามารถคำนวณหา Configuration ของข้อต่อที่เหมาะสมได้
- 3) ฟังก์ชันสำหรับการหา Differential Kinematics:
 - ฟังก์ชันนี้ใช้ค่ามุมข้อต่อของหุ่นยนต์ในปัจจุบัน เพื่อหาความเร็ว Head ของหุ่นยนต์
 - การคำนวณนี้ใช้ Jacobian Matrix โดยจะรับมุมข้อต่ออย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

Output

- 1) การแสดงผลลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Simulation):
 - ค่าที่ได้จากการคำนวณ Forward Kinematics จะถูกนำมาแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งช่วยให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของลิงก์และข้อต่อต่างๆ ของหุ่นยนต์ในรูปแบบภาพ
 - การ Simulation นี้ทำให้สามารถสังเกตท่าทางของหุ่นยนต์ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะการหมุนและการจัดท่าทางของข้อต่อต่างๆ ตามที่กำหนด

5. ผลการศึกษาที่คาดหวัง

- 1) สามารถคำนวณ Transformation, Forward Kinematics, Inverse Kinematics และ Differential Kinematics ของหุ่นยนต์ Tripod ได้
- 2) สามารถทำ Simulation การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ Tripod ทำยืนในแนวดิ่งและการเงยหน้าได้

6. รายละเอียดโครงการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
1	ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับ 3-RRR Kinematics						
2	จัดทำ Proposal						
3	ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับ 3-RRR Kinematics						
4	ทำ Simulation ของหุ่นยนต์						
5	ปรับแก้ไข และส่งงาน						

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Peter Balch. “War of the Worlds - Tripod Gait”. 2005: [War of the Worlds - Tripod Gait](#)
- [2] John J. Craig. “Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Edition)”. 2014
- [3] Marco Ceccarelli, Conghui Liang, Giuseppe Carbone. “A Novel Biologically Inspired Tripod Walking Robot” July 2009: [A-novel-biologically-inspired-tripod-walking-robot.pdf](#)
- [4] Erika Ottaviano, Marco Ceccarelli, Salvatore Grande. “A Biped Walking Mechanism for a Rickshaw Robot” April 2010, DOI: [10.1080/15397731003645008](#)