

การสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบไม่สมมาตร Workspace Synthesis of Asymmetric Delta Robot

วศิน วงศ์คำ¹, ชีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

*ติดต่อ: theeraphong.wong@cmu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ (+6653) 944148-9, เบอร์โทรสาร (+6653) 944145

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์เดลตา (Delta robot) เป็นหุ่นยนต์ที่มี 3 องศาอิสระ ที่มีสายโซ่จลนศาสตร์มากกว่าหนึ่งเส้นทำให้การวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ที่มีความซับซ้อน จุดเด่นของหุ่นยนต์เดลตาถือเป็นหุ่นยนต์ที่มีความแม่นยำ มีความคล่องตัว และอัตราส่วนระหว่างแรงต่อน้ำหนักตัวสูง ซึ่งโดยทั่วไปหุ่นยนต์เดลตาจะมีโครงสร้างที่สมมาตร คือมีลักษณะแขนคล้ายขาแมงมุม 3 ขา ที่มีขนาดเท่ากันปลายของแขนทั้ง 3 ต่อกันเป็นจุดเดียว (end-effector) แขนทุกแขนถูกติดตั้งบนเส้นรอบวงกลมของฐานที่หยุดนิ่ง และแขนแต่ละแขนติดตั้งทำมุม 120 องศาต่อกัน ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างที่สมมาตร แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาที่มีโครงสร้างที่ไม่สมมาตร บทความนี้นำเสนอการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างที่เหมาะสมของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตรเมื่อกำหนดพื้นที่การทำงาน (Workspace) ที่ต้องการ โดยหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริภูมิโครงสร้างต่าง ๆ ของหุ่นยนต์เดลตาที่มีโครงสร้างไม่สมมาตรกับพื้นที่ทำงานสูงสุดโดยใช้ maximum inscribed workspace ซึ่งกำหนดพื้นที่ทำงานให้อยู่ในรูปเรขาคณิตพื้นฐาน เพื่อหาขนาดและการติดตั้งชิ้นส่วนของหุ่นยนต์เดลตาที่เหมาะสมกับพื้นที่ทำงานที่กำหนด

คำหลัก: หุ่นยนต์เดลตา, โครงสร้างไม่สมมาตร, พื้นที่ทำงาน, จลนศาสตร์

Abstract

Delta robot is a 3 degree-of-freedom (DOF) parallel robot with 3 kinematic chains. It has advantages in terms of high agility, high accuracy and high payload to weight ratio. However it has complex kinematic structure which leads to complicated analysis. Normally, Delta robot has a symmetric structure, i.e., its three arms are similar composing of rigid rods with the same length and the arms are installed on a base with 120 degree separation. In this paper, structure synthesis of the asymmetric Delta robot is presented. Given the working volume that should be reached by the robot, the task is to find the lengths of each component of the robot arms. The relationship between structure of asymmetric Delta robot and the maximum inscribed workspace defining the workspace are formulated and the solutions are obtained from the relationship. An example is provided.

Keywords: Delta robot, Asymmetric Structure, Workspaces, Kinematics

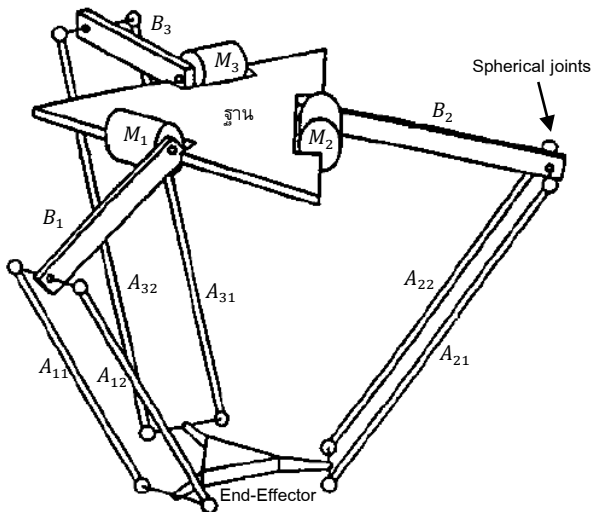
1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมส่วนหนึ่งพึ่งพาหุ่นยนต์ทำงานแทนแรงงานมนุษย์และมีแนวโน้มในการใช้หุ่นยนต์ในทางอุตสาหกรรมมากขึ้น หุ่นยนต์เดลตาออกแบบโดย Clavel [3] ในปี ค.ศ. 1988 เป็นหนึ่งในหุ่นยนต์ประเภท Parallel robot ที่มี 3 องศาอิสระและมีการเคลื่อนที่แบบ

Curvilinear ซึ่งถูกใช้ในงานประเภทการบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ (Pick and Place) อันเนื่องจากมีจุดเด่นคือ มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องแคล่ว อัตราส่วนแรงต่อน้ำหนักของหุ่นยนต์สูง และยังมีความแม่นยำสูง

DRC-07

หุ่นยนต์เดลตาเป็นหุ่นยนต์ที่มีสายโซ่จลนศาสตร์ (Kinematics chain) มากกว่าหนึ่งเส้น ซึ่งแตกต่างกับ Serial robot ที่มีสายโซ่จลนศาสตร์เพียงเส้นเดียว แต่เนื่องจากมีสายโซ่จลนศาสตร์หลายเส้นทำให้การวิเคราะห์จลนศาสตร์และพลศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลตามีความซับซ้อนกว่า Serial robot ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา นักศึกษาวิจัยหันมาให้ความสำคัญและศึกษาวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์ประเภทนี้มากขึ้น



รูปที่ 1 รูปภาพแสดงลักษณะและส่วนประกอบของหุ่นยนต์เดลตา^[1]

ตามรูปที่ 1 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของหุ่นยนต์เดลตาจะประกอบด้วย ฐาน, end-effector ซึ่งถูกยึดติดกันด้วยชุดแขนจำนวน 3 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วย แขนส่วนบน (B_i) และคู่แขนส่วนล่าง (A_{i1}, A_{i2}) ที่ถูกยึดติดกันด้วย Spherical joints โดยมี revolute actuator (M_i) เป็นตัวขับเคลื่อนส่วนบน ซึ่งคู่แขนส่วนล่างมีคุณสมบัติเป็น Parallelogram และติดตั้งอยู่กับ end-effector ซึ่งมีผลทำให้ระนาบของ end-effector ขนานกับระนาบของฐานตลอดเวลา

การเคลื่อนที่ของ end-effector ของหุ่นยนต์ เดลตาเป็นผลมาจากการควบคุมการเคลื่อนที่ของ revolute actuator (M_i) ซึ่งแต่ละตัวถูกติดตั้งทำมุมกัน 120 องศาด้วยลักษณะของโครงสร้างเช่นนี้ทำให้การเคลื่อนที่ไปยังทิศทางใดทิศทางหนึ่งของ end-effector นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับ revolute actuator เพียงตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นผลของการเคลื่อนที่ของ revolute actuator ทั้ง 3 ตัว ที่ ต้อง

สอดคล้องกัน Tsai [7,9] ศึกษาหุ่นยนต์เดลตาที่เป็นจาก revolute actuator เป็น Linear Actuator ด้วย

ที่ผ่านมาในการศึกษาการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาที่มีโครงสร้างสมมาตรโดยกำหนดพื้นที่ทำงานที่ต้องการ มีการใช้พื้นที่ทำงานแบบ maximum inscribed workspace มาใช้ในการสังเคราะห์ โดยแทนพื้นที่ทำงานที่ต้องการของหุ่นยนต์เดลตาด้วยรูปทรงกลม [2,12] เพื่อที่จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ทำงานและปริภูมิโครงสร้างได้ในรูปสมการอย่างง่ายได้ และยังมีการใช้วิธี genetic algorithm [6,8] ที่เป็นวิธีแบบ trial and error มาค้นหาปริภูมิโครงสร้างด้วย

ซึ่งในการใช้งานจริงแล้วหากจำเป็นต้องการใช้งานหุ่นยนต์เดลตาในบริเวณที่มีพื้นที่ไม่สมมาตร เมื่อทำการสังเคราะห์หาปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาโดยกำหนดพื้นที่ทำงานที่ต้องการแล้วพื้นที่ในการติดตั้งอาจจะไม่เพียงพอสำหรับการติดตั้งหุ่นยนต์เดลตาได้ งานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาตามที่ได้สืบค้นยังไม่มียานวิจัยใดที่มุ่งศึกษาการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตรโดยกำหนดพื้นที่ทำงานที่ต้องการ เพื่อให้หุ่นยนต์เดลตาสามารถทำงานในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดได้ โดยเลือกใช้พื้นที่ทำงานแบบ maximum inscribed workspace ประยุกต์รวมกับลักษณะพิเศษทางโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาใช้ในการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้าง

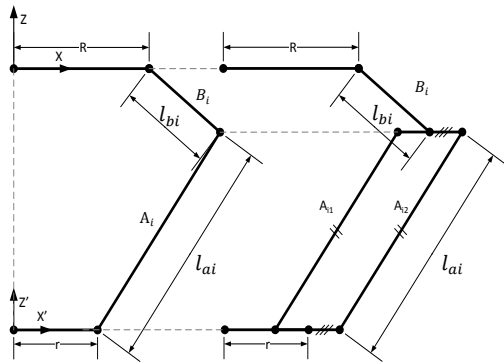
บทความนี้มีเนื้อหา ดังนี้ หัวข้อที่ 2 อธิบายจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร หัวข้อที่ 3 อธิบายพื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร หัวข้อที่ 4 อธิบายการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร หัวข้อที่ 5 แสดงผลจากการฝึกศึกษา และหัวข้อที่ 6 สรุปผล

2. จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร

จลนศาสตร์สำหรับหุ่นยนต์เดลตาหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของ revolute actuator (θ_i) กับตำแหน่งของ end-effector (x, y, z) โดยที่จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลตานี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกคือจลนศาสตร์เชิงย้อนกลับ (Inverse kinematic) ในทาง

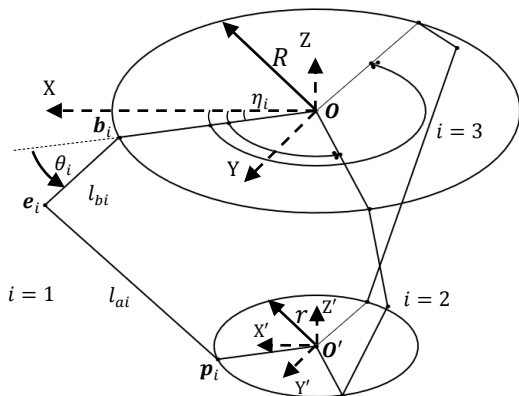
DRC-07

กลับกันอีกกรณีหนึ่งคือ จลนศาสตร์เชิงคิบหน้า(Direct kinematic)



รูปที่ 2 ภาพแสดงแขนของหุ่นยนต์เดลตา (A_{i1}, A_{i2}) ที่มีคุณสมบัติเป็น Parallelogram (ก)สัญลักษณ์ (ข)ลักษณะแขนจริง

การเขียนสัญลักษณ์แทนลักษณะโครงสร้างจริงจากรูปที่ 2(ข)เนื่องจากแขนส่วนล่างของหุ่นยนต์เดลตา (A_{i1}, A_{i2}) มีคุณสมบัติเป็นสี่เหลี่ยมด้านขนาน (Parallelogram) ในการศึกษาจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลตาจึงแทนความยาวแขนส่วนบน B_i ด้วย l_{bi} และแทนความยาว 2 แขนส่วนล่าง A_i ด้วย l_{ai} เพียงชั้นเดียวแสดงรูปที่ 2 (ก) ทำให้สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาเป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพแสดงตัวแปรแสดงตำแหน่งต่างๆของหุ่นยนต์เดลตาแบบโครงสร้างไม่สมมาตร โดยที่ $i = 1, 2, 3$

2.1 จลนศาสตร์เชิงย้อนกลับของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร

จลนศาสตร์เชิงย้อนกลับของหุ่นยนต์เดลตาคือการหาค่ามุมควม $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ เมื่อทราบตำแหน่งของ end-effector จากรูปที่ 3 กำหนดพิกัด XYZ เป็นพิกัดที่

หยุดนิ่ง โดยมีจุดกำเนิดอยู่ตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางของฐาน กำหนดเป็นจุด O และกำหนดพิกัด $X'Y'Z'$ เป็นพิกัดที่เคลื่อนที่อยู่กับ end-effector โดยมีจุดกำเนิด O' อยู่ตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางของ end-effector จลนศาสตร์เชิงย้อนกลับของหุ่นยนต์เดลตาสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ จากรูปที่ 3 กำหนดเวกเตอร์จากจุด O ไปยังตำแหน่งที่ติดตั้ง revolute actuators เป็นเวกเตอร์ b_i มีขนาดเท่ากับ R โดย $i = 1, 2, 3$ แทน revolute actuator ตัวที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ กำหนดเวกเตอร์จากจุด O ไปยัง Spherical joint ระหว่างแขน A_i, B_i เป็นเวกเตอร์ e_i และกำหนดเวกเตอร์จากจุด O' ไปยัง Spherical joint ระหว่างแขน A_i กับ end-effector เป็นเวกเตอร์ p_i และขนาดเท่ากับรัศมีของ end-effector r สามารถเขียนอธิบายได้โดยสมการ

$$b_i = (R \cos \eta_i \ R \sin \eta_i \ 0)^T$$

$$e_i = \begin{pmatrix} (R + l_{bi} \cos \theta_i) \cos \eta_i \\ (R + l_{bi} \cos \theta_i) \sin \eta_i \\ -l_{bi} \sin \theta_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$[p_i]_{O'} = (r \cos \eta_i \ r \sin \eta_i \ 0)^T$$

โดย $i = 1, 2, 3$

กำหนดเวกเตอร์จากจุด O ไปยังจุด O' เป็น $(x, y, z)^T$ จะทำให้เวกเตอร์จากจุด O ไปยังจุด p_i สามารถเขียนอธิบายได้โดยสมการ

$$p_i = (r \cos \eta_i + x, r \sin \eta_i + y, z)^T$$

และเขียนสมการแสดงความยาวของแขนส่วนล่าง l_{ai} ได้เป็น

$$(x - (R - r + l_{bi} \cos \theta_i) \cos \eta_i)^2 + (y - (R - r + l_{bi} \cos \theta_i) \sin \eta_i)^2 + (z + l_{bi} \sin \theta_i)^2 = l_{ai}^2 \quad (2)$$

โดย $i = 1, 2, 3$ จากสมการที่ (2) สามารถหาค่าของ θ_i เมื่อกำหนดตำแหน่งของ end-effector (x, y, z)

2.2 จลนศาสตร์เชิงคิบหน้าของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร

การหาจลนศาสตร์เชิงคิบหน้าของหุ่นยนต์เดลตาคือการหาตำแหน่งของ end-effector มุม $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ เมื่อกำหนดค่ามุม $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ [5] สามารถหาได้จากวิธีการ Trilateration [4] เมื่อทราบค่ามุมของ revolute actuator ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) จากสมการ (1) ทำให้ทราบตำแหน่งปลายของแขนส่วนบนทั้ง 3 แขน e_1, e_2, e_3 จากสมการ (2) สามารถจัดรูปแบบสมการได้เป็น

$$(x - x_{ci})^2 + (y - y_{ci})^2 + (z - z_{ci})^2 = l_{ai}^2 \quad (3)$$

$$x_{ci} = (R - r + l_b \cos \theta_i) \cos \eta_i$$

DRC-07

$$\begin{aligned} y_{ci} &= (R - r + l_b \cos \theta_i) \sin \eta_i \\ z_{ci} &= (-l_b \sin \theta_i) \end{aligned}$$

หรือ

$$x^2 + y^2 + z^2 - 2xx_{ci} - 2yy_{ci} - 2zz_{ci} + S_{ci}^2 = l_{ai}^2 \quad (4)$$

โดย $i = 1, 2, 3$ และ $S_{ci}^2 = x_{ci}^2 + y_{ci}^2 + z_{ci}^2$

แทน $i = 1$ ในสมการที่ (4)

$$x^2 + y^2 + z^2 - 2xx_{c1} - 2yy_{c1} - 2zz_{c1} + S_{c1}^2 = l_{a1}^2 \quad (5)$$

สมการที่ (4) - (5) ได้เป็น

$$-2xx_a - 2yy_b - 2zz_c + S_{ci}^2 - S_{c1}^2 = l_{ai}^2 - l_{a1}^2 \quad (6)$$

โดย $i = 2, 3$

$$\begin{aligned} x_a &= x_{ci} - x_{c1} \\ y_b &= y_{ci} - y_{c1} \\ z_c &= z_{ci} - z_{c1} \end{aligned}$$

แทนค่า $i = 2, 3$ ในสมการที่ (6) สามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$[W][c_h] = [\beta] - [d]z \quad (7)$$

โดย

$$\begin{aligned} [W] &= \begin{bmatrix} x_{c21} & y_{c21} \\ x_{c31} & y_{c31} \end{bmatrix} \\ [c_h] &= \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \\ [\beta] &= \begin{bmatrix} \beta_2^2 \\ \beta_3^2 \end{bmatrix} \\ [d] &= \begin{bmatrix} z_{c21} \\ z_{c31} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\beta_i^2 = (S_{ci}^2 - S_{c1}^2 + l_{a1}^2 - l_{ai}^2)/2$$

ซึ่งสามารถหา $[c_h]$ ได้จาก

$$[c_h] = [W]^{-1}([\beta] - [d]z)$$

จะเขียนสมการที่ 2 เมื่อ $i = 1$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} [c_h]^T [c_h] + z^2 - 2[c_{h1}]^T [c_h] - 2zz_{c1} + S_{c1}^2 &= l_{a1}^2 \\ [c_{h1}] &= [x_{c1} \ y_{c1}]^T \end{aligned} \quad (8)$$

จากสมการด้านบนมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าคือ z เพียงตัวแปรเดียว ดังนั้นจากสมการที่ (8) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปได้เป็น

$$az^2 + bz + c = 0$$

สามารถหา z ได้จาก

$$z_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

จะสามารถเขียน $[c]$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} [c] &= \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [W]^{-1}[\beta] \\ 0 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -[W]^{-1}[d] \\ 1 \end{bmatrix} \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) \end{aligned}$$

ซึ่งตำแหน่งของ end-effector $([c])$ ของหุ่นยนต์เดลตามีได้สูงสุด 2 ตำแหน่ง

3. พื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่

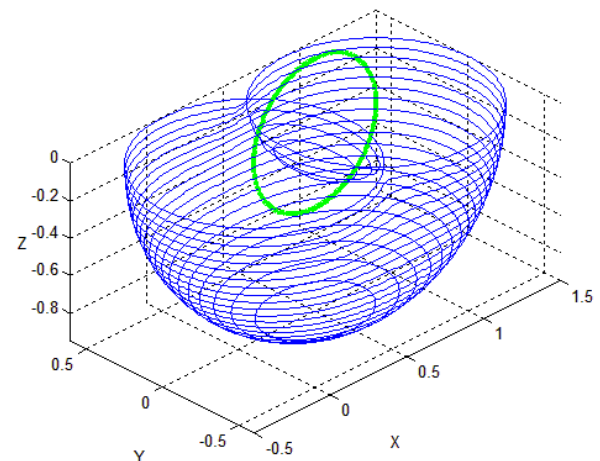
สมมาตร

พื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลตาเกิดขึ้นในตำแหน่งที่ทับซ้อนกันของพื้นที่ทำงานของชุดแขนทั้ง 3 ชุด ซึ่งพื้นที่ทำงานของแต่ละชุดแขนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์สมการที่ (2) เมื่อ $\theta_i = 0^\circ$ ถึง 360° สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} h(x, y, z) &= \\ &= (x - (R + l_{bi} \cos \theta_i - r) \cos \eta_i)^2 \\ &+ (y - (R + l_{bi} \cos \theta_i - r) \sin \eta_i)^2 \\ &+ (z - (-l_{bi} \sin \theta_i))^2 \leq l_{ai}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

โดย $i = 1, 2, 3$

พื้นที่การทำงานของ 1 ชุดแขนคือตำแหน่งที่จุดปลายของแขน L_a สามารถไปถึง ซึ่งแขน L_a และแขน L_b ต่อกันแบบ serial ด้วย spherical joint ด้านโคนของแขน L_b ถูกขับเคลื่อนด้วย revolute actuator เป็นวงกลม ทำให้เกิดขอบเขตพื้นที่ทำงานที่ปลาย L_a สามารถไปถึงได้แสดงขอบเขตด้วยเส้นสีน้ำเงินในรูปที่ 4 รอบแนวการของแขน L_a เคลื่อนที่เป็นวงกลมแสดงด้วยเส้นสีเขียวในรูปที่ 4 เมื่อมีแขนจำนวน 3 ชุด การทับซ้อนกันของพื้นที่การทำงานแขนชุดที่ 1 แสดงขอบเขตด้วยเส้นสีน้ำเงินในรูปที่ 5 แขนชุดที่ 2 แสดงขอบเขตด้วยเส้นสีดำในรูปที่ 5 แขนชุดที่ 3 แสดงขอบเขตด้วยเส้นสีเขียวในรูปที่ 5 ทำให้เกิดพื้นที่ทำงานสูงสุดของหุ่นยนต์เดลตาแสดงขอบเขตด้วยเส้นสีดำในรูปที่ 5



รูปที่ 4 ภาพแสดงครึ่งล่างของพื้นที่ทำงานของ 1 ชุดแขน (สีน้ำเงิน) และแนวการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของแขน L_{b1} (สีเขียว) โดย $l_{a1} = 0.6, l_{b1} = 0.4, R = 0.5, r = 0, \eta_1 = 0^\circ$

DRC-07

$$l_{ai} - w_r = \|l_{bi}u_{i \min} + c_i\| \quad (13)$$

$$l_{ai} + w_r = \|l_{bi}u_{i \max} + c_i\| \quad (14)$$

โดยที่

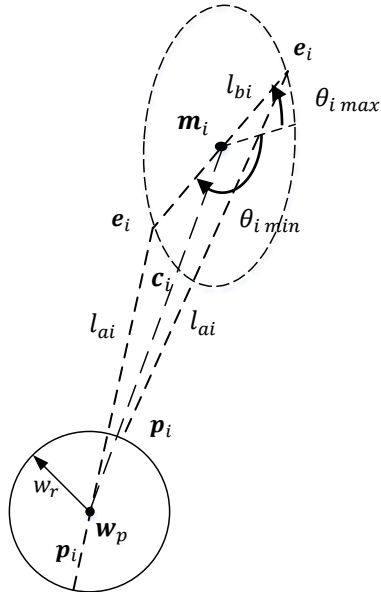
$$u_{i \min, \max} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{i \min, \max} \cos \eta_i \\ \cos \theta_{i \min, \max} \sin \eta_i \\ \sin \theta_{i \min, \max} \end{pmatrix}$$

$$c_i = b_i - p_i$$

สมการ (14) - (13) จะได้

$$2w_r = \|l_{bi}u_{i \max} + c_i\| - \|l_{bi}u_{i \min} + c_i\| \quad (15)$$

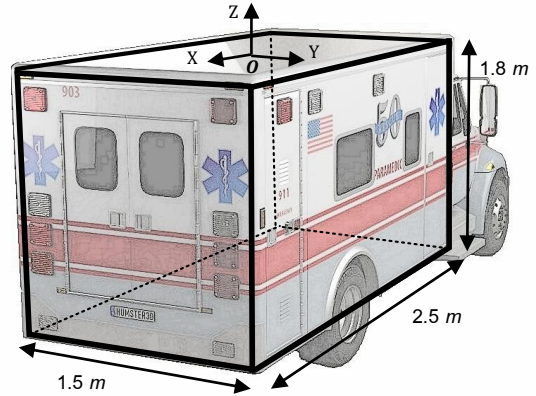
จากสมการ (15) มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าคือ l_{bi} เพียงตัวแปรเดียว ซึ่งสามารถหาความยาวของ l_{bi} ได้ เมื่อแทนความยาว l_{bi} ในสมการ (13), (14) สามารถหาความยาวของ l_{ai} ได้ ซึ่งความยาวของแขน l_{bi} และ l_{ai} ที่ได้จะทำให้พื้นที่ทำงานของแขนชุดนี้ครอบคลุมพื้นที่รูปทรงกลม จากนั้นหาความยาวของชุดแขนที่ 2 และชุดแขนที่ 3 โดยใช้สมการ (12), (15), (13) และสมการ (14)



รูปที่ 7 รูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\theta_{i \min, \max}$
 l_{ai}, l_{bi}, c_i, w_r

5. ตัวอย่างการการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบมีโครงสร้างไม่สมมาตร

สมมุติเราต้องการออกแบบหุ่นยนต์เดลตาสำหรับติดตั้งบนรถพยาบาล ซึ่งตัวรถมีขนาด กว้าง 1.5 m ยาว 2.5 m สูง 1.8 m มีจุดกำเนิด(origin)กลางหลังการรถแสดงตามรูปที่ 8 โดยกำหนดจุดติดตั้งหุ่นยนต์เดลตาติดตั้งที่ตำแหน่ง $(0 \ 0 \ -0.6)^T m$



รูปที่ 8 รูปภาพแสดงขนาดของรถพยาบาลสำหรับติดตั้งหุ่นยนต์เดลตาแบบไม่สมมาตร

ในการติดตั้งหุ่นยนต์เดลตานั้นต้องคำนึงว่าในระหว่างการทำงานจะต้องไม่มีส่วนใดของหุ่นยนต์เกินออกมาจากตัวรถ โดยกำหนดขนาดรัศมีของฐานของหุ่นยนต์เดลตา $R = 0.5 m$ รัศมีของ end-effector $r = 0.15 m$ มุมในการติดตั้ง revolute actuators $\eta_1 = 30^\circ$ องศา $\eta_2 = 180^\circ$ $\eta_3 = 330^\circ$ และต้องการพื้นที่ทำงานเป็นทรงกลมรัศมี $w_r = 0.5 m$ จุดศูนย์กลางของพื้นที่ทำงานทรงกลมอยู่ที่ตำแหน่ง $w_p = (0.5 \ 0 \ -1.25)^T m$

ในการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบไม่สมมาตร โดยหาความยาวของแขนทั้ง 3 แขน จากสมการ (12), (15) และ (14) โดย $i = 1, 2, 3$ ได้ค่า

$$\theta_{1 \min, \max} = 83.6840^\circ, -96.3160^\circ$$

$$l_{a1} = 0.7609 m$$

$$l_{b1} = 0.5806 m$$

$$\theta_{2 \min, \max} = 142.5946^\circ, -37.4054^\circ$$

$$l_{a2} = 1.0700 m$$

$$l_{b2} = 0.5000 m$$

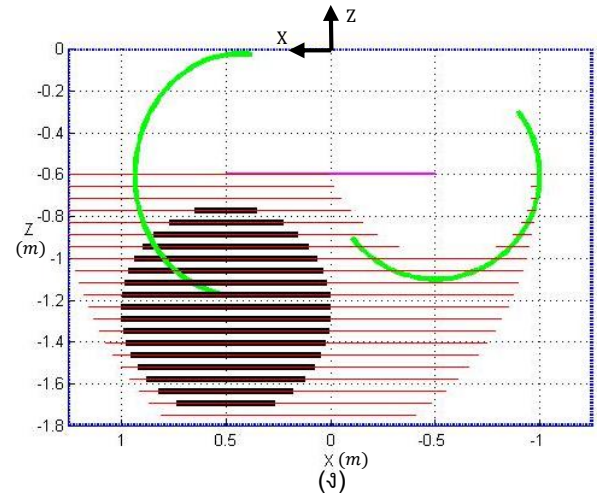
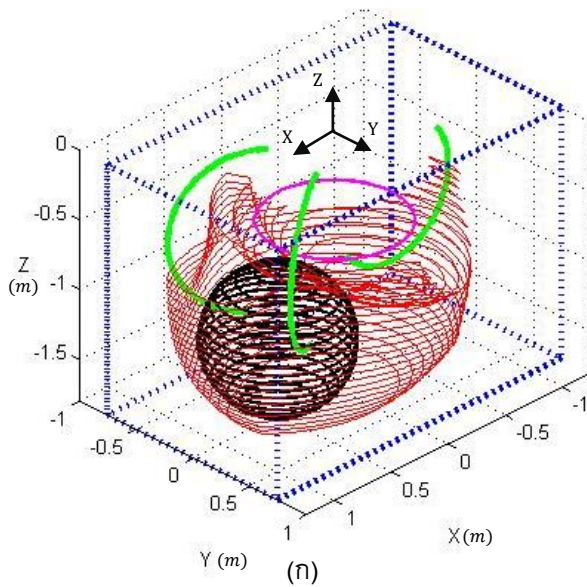
$$\theta_{3 \min, \max} = 83.6840^\circ, -96.3160^\circ$$

$$l_{a3} = 0.7609 m$$

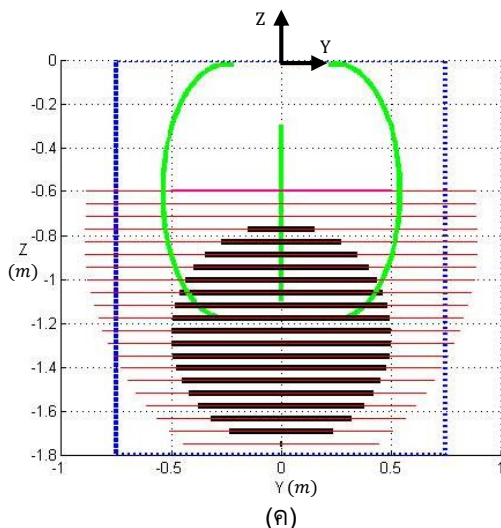
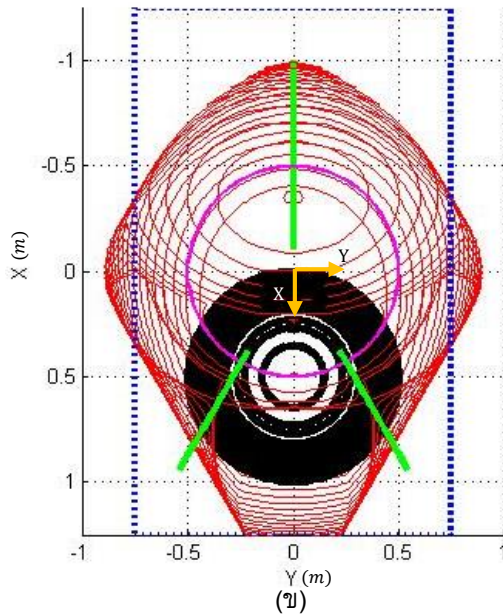
$$l_{b3} = 0.5806 m$$

ซึ่งค่า l_{bi} และ l_{ai} ที่ได้คือค่าความยาวของชุดแขนแต่ละชุดที่ทำให้พื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลตามีพื้นที่ทำงานครอบคลุมพื้นที่รูปทรงกลม และนำไปใช้ออกแบบสร้างแขนแต่ละชุดของหุ่นยนต์เดลตาเพื่อใช้จริง นำค่าที่ได้มาทำพล็อตพื้นที่ทำงานเปรียบเทียบระหว่างรูปทรงกลมที่ต้องการ ครึ่งกลางของพื้นที่ทำงานที่หุ่นยนต์เดลตาทำได้ขนาดของฐานของหุ่นยนต์เดลตา แนวการเคลื่อนที่ของปลายแขน l_{bi} ของหุ่นยนต์เดลตา และขนาดของรถพยาบาลแสดงดังรูปที่ 9

DRC-07



รูปที่ 9 รูปภาพแสดงทรงกลมพื้นที่ทำงานที่ต้องการ(สีดำ) พื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลตา(สีแดง) ฐานหุ่นยนต์เดลตา (สีม่วง) แนวการเคลื่อนที่ของแขน l_{bi} (สีเขียว) ขนาด รถพยาบาล(สีน้ำเงิน)



จากรูปที่ 9 แสดงพื้นที่ทำงานและโครงสร้างต่างๆของหุ่นยนต์เดลตาที่ไม่สามารถ รูปที่ 9(ก) แสดงภาพไอโซเมตริก รูปที่ 9(ข) แสดงภาพที่มองจากด้านบน (แกน+Z) รูปที่ 9(ค) แสดงภาพที่มองจากด้านหน้า (แกน+X) รูปที่ 9(ง) แสดงภาพที่มองจากด้านข้าง(แกน+y) ซึ่งแนวการเคลื่อนที่ของปลายแขน l_{bi} ของหุ่นยนต์เดลตา (สีเขียว) อยู่ในรถพยาบาลทั้งหมดเมื่อควบคุม end-effector ให้อยู่ในรูปทรงกลมพื้นที่ทำงานที่ต้องการ(สีดำ) เส้นสีแดงแสดงพื้นที่การทำงานทั้งหมดที่ end-effector สามารถไปถึงซึ่งตำแหน่งของ end-effector สามารถควบคุมได้จากการควบคุมมุม θ ของ revolute actuator ทั้ง 3 ตัว จากการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างจากรูปทรงกลมที่ต้องการ ความยาวของชุดแขนที่ได้เป็นขนาดที่สามารถติดตั้งอยู่ในรถพยาบาลได้โดยไม่มีส่วนใดของโครงสร้างหุ่นยนต์เดลตาเลยออกมาจากตัวรถ และได้พื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลตาครอบคลุมรูปทรงกลมที่ต้องการทั้งหมด

6. สรุป

การสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบไม่สมมาตรโดยการกำหนดมุมในการติดตั้ง revolute actuator ขนาดฐานและend-effector ของหุ่นยนต์เดลตาและรูปทรงกลมที่ครอบคลุมพื้นที่การทำงานที่ต้องการเพื่อสังเคราะห์หาความยาวของชุดแขนแต่ละชุดแขน การ

DRC-07

เลือกทำการสังเคราะห์หาความยาวของชุดแขนที่ละเอียด ทำให้ได้ความยาวของชุดแขนที่เหมาะสมที่สามารถแตกต่างกันได้ ซึ่งการสังเคราะห์ปริภูมิโครงสร้างของหุ่นยนต์เดลตาแบบไม่สมมาตรนั้นทำให้มีความยืดหยุ่นในออกแบบสร้าง และการใช้งานมากกว่าหุ่นยนต์เดลตาแบบปกติ เนื่องจากสามารถออกแบบให้พื้นที่ทำงานที่ต้องการให้เยื้องจากแนวแกน Z ได้ และสามารถกำหนดขนาดของมุมในการติดตั้ง revolute actuator ทำให้สามารถออกแบบหุ่นยนต์เดลตาเพื่อใช้ในบริเวณที่มีพื้นที่การติดตั้งจำกัดหรือใช้งานในกรณีพิเศษได้ แต่เนื่องจากใช้พื้นที่ทำงานสูงสุดของหุ่นยนต์มาใช้สังเคราะห์หาขนาดของโครงสร้างของหุ่นยนต์ทำให้ในบริเวณขอบพื้นที่ทำงานที่ต้องการที่ใกล้กับขอบพื้นที่ทำงานสูงสุดของหุ่นยนต์ จะทำให้ความสามารถในการสร้างความเร็วของ end-effector ในบางทิศทางลดลง หากต้องการลดผลจากกรณีดังกล่าวสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยเพิ่มรัศมี(w_r) ของพื้นที่ทำงานที่ต้องการ เพื่อให้ end-effector เคลื่อนที่ห่างจากบริเวณขอบพื้นที่การทำงานสูงสุดของหุ่นยนต์มากขึ้น

การเลือกมุมติดตั้ง revolute actuators รวมถึงขนาดของฐานและ end-effector ให้เหมาะสมกับข้อจำกัดของพื้นที่ในการติดตั้งหุ่นยนต์ และการเลือกรูปทรงเรขาคณิตให้สอดคล้องกับพื้นที่ทำงานที่ต้องการนั้นยังคงเป็นแง่มุมที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากความยาวของชุดแขนของหุ่นยนต์เดลตาขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ซึ่งผู้วิจัยจะทำการศึกษาวิจัยต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยทุนนักวิจัยรุ่นกลางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และโครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยระบบและนวัตกรรมแมคคาทรอนิกส์

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.-P. MERLET "Parallel Robots", Published by Springer, 2006
- [2] Yuan Yun, Liping Wang, Liwen Guan, "Dimensional Synthesis of a 3-DOF Parallel Manipulator" IEEE International Conference, 2004

- [3] R. Clavel, "Delta , a fast robot with parallel geometry", Proceedings of 18th International Symposium on Industrial Robots, pp.91-100, 1988
- [4] Dimitris E. Manolakis, "Efficient Solution and Performance Analysis of 3-D Position Estimation by Trilateration" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, IEEE Int., 1996
- [5] Mahfuzah Mustafa, Rosita Misuari, Hamdan Daniyal, "Forward Kinematics of 3 Degree of Freedom Delta Robot" The 5th Student Conference on Research and Development Malaysia, 2007
- [6] M.A. Laribi, L. Romdhane and S.Zeghloul, "Advance Synthesis of the DELTA Parallel Robot for a Specified Workspace", Parallel Manipulators, Towards New Applications, Book edited by: Huapeng Wu 2008
- [7] L. W. Tsai, "Multi-degree-of-freedom mechanisms for machine tool and the like", U.S. Patent Pending, No08/415,851, 1995
- [8] Sergiu-Dan Stan, "Genetic Algorithms to Optimal Design of a 3 DOF Parallel Robot", IEEE Int., 2008
- [9] L. W. Tsai, G. C. Walsh and R. E. Stamper, "Kinematics and Workspace of a Novel Three DOF Translational Platform(Tr. 96-74)", tech. rep., University of Maryland, U.S., 1996
- [10] Sergiu-Dan Stan, Milos Manic, Cristian Szepe, Radu Balan, "Performance analysis of 3 DOF Delta parallel robot", IEEE Int., 2011
- [11] Yao Tai-Ke, Zhou Xi, Zhou Feng, Zhang Li-Min, Wang Yong, "Accuracy synthesis of a 3-RPS Parallel robot based on manufacturing costs" , Control Conference (CCC), 2012
- [12] Merlet, J.-P. Daney D., "Dimensional Synthesis of Parallel Robots with a Guaranteed Given Accuracy over a Specific Workspace", Robotics and Automation, IEEE International Conference, 2005