

การออกแบบสมการจำลองส่วนฐานแผ่นเคลื่อนไหว ของเครื่องช่วยฝึกยานเกราะ

Design of Kinematic Motion Platform for Armored Simulator

บทความวิจัย

นายนิริศ จันทรน้ำ
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม
E-mail : naris.c@dti.or.th
นายเจษฎา ไกรขาว
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม
E-mail : jedsada.k@dti.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบสมการจำลองส่วนฐานแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) เป็นหนึ่งในกิจกรรมสำคัญของโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกขับยานเกราะของ สทป. เพื่อนำสมการจำลอง Motion Platform และระบบการควบคุม Motion Platform มาใช้พัฒนาให้เป็นเครื่องช่วยฝึกขับยานเกราะที่มีขนาดเท่ากับขนาดของยานเกราะจริงได้ เป็นการนำสมการจำลอง Motion Platform มาทำงานใน 3D space โดยจุดประสงค์ที่จะนำ Motion Platform ไปในตำแหน่งที่ต้องการนั้นจะต้องมีการเคลื่อนที่และการวางตัวตามเส้นทางการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่งและแนวการเคลื่อนตัวของส่วนแผ่นเคลื่อนไหว (Platform) เพื่อให้สามารถโปรแกรมการเคลื่อนที่ของ link และ joint ต่าง ๆ ได้แล้วนำข้อมูลการเคลื่อนที่นี้ไปจำลองการเคลื่อนที่และการจัดวาง (Transformation และ Orientation) ของ Motion Platform ที่ต้องการรูปแบบที่ชัดเจน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือ Kinematic ของ Motion Platform เนื่องจาก Kinematic จะอธิบายตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของ link ต่าง ๆ ใน 3D space รวมถึงตำแหน่งการเคลื่อนที่และการหมุนตัวของส่วน Motion Platform โดยต้องทำการศึกษาในส่วนของกลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า (Forward Kinematics) เป็นกระบวนการที่ใช้หาตำแหน่ง (Position) และการจัดวาง (Orientation) ส่วนกลศาสตร์การเคลื่อนไหวผกผัน (Inverse Kinematics) เป็นกระบวนการหาดำแหน่งบน Reference frame มาเพื่อทำการหาค่าของ Joint Variables ชุดหนึ่งเพื่อให้ได้ความเป็นไปได้ที่จะทำให้ Motion Platform อยู่ใน Position และ Orientation ที่คำนวณได้จากกลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า

คำสำคัญ : แผ่นเคลื่อนไหว, การเคลื่อนไหวอิสระ ๖ ทิศทาง, โปรแกรมสร้างกราฟิก

Abstract

This research studies and designs the equation of Motion Platform as one of the most important components of vehicles' driver training research and development project of DTI for the equation of

the Motion Platform and the Motion Platform control system used for developing a driver training simulator for the real driver training vehicles. The simulated equation of the Motion Platform works in 3D space which is intended to bring the Motion Platform to the desired position. It needs to be moving and positioning along the line of trajectory. It is determined in order for the vertical movement of the Motion Platform to be able to program the movement of links and joints. The movement data is retrieved to simulate the movement and positioning for transforming and orienting the Motion Platform. The utmost interest of the Motion Platform is Kinematic since it describes the location, speed and acceleration of link in 3D-space including the position of the movement and orientation of the Motion Platform. In this case, the mechanics of the Forward Kinematics must be realized to determine the position, orientation and the mechanics of Inverse Kinematics to further determine the position of reference frame. Finally, it is possible to find the value of joint variables and make it possible for the Motion Platform to position and orientation in line with values calculated from the Forward Kinematics.

Keywords : Motion Platform, 6 DOF (Degree of Freedom), Program Processing

๑. ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

กองพันทหารราบที่ ๑ กรมทหารราบที่ ๒ รักษาพระองค์ มีอาวุธยุทโธปกรณ์หลักคือ ยานเกราะล้อยาง BTR 3E1 ผลิตจากประเทศยูเครนจำนวน ๙๖ คัน เป็นยานเกราะประเภทสะเทินน้ำสะเทินบก สามารถตอบสนองภารกิจได้หลายรูปแบบ เช่น การลำเลียงพล การบรรทุกทุกเครื่องยิงลูกระเบิด การลาดตระเวนการพยาบาลและการกู้ภัย เป็นต้น

ซึ่งจำเป็นต้องมีการฝึกเพื่อเตรียมความพร้อมตามวงรอบ แต่หากจะให้กำลังพลฝึกกับยานเกราะจริงนั้น ต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง รวมทั้งอาจเกิดอันตรายหรือสูญเสียทรัพย์สินซึ่งมีมูลค่าสูง ดังนั้นกองพันทหารราบที่ ๑ จึงมีส่วนงานที่ทำหน้าที่ฝึกกำลังพลในการใช้ยานเกราะตามหน้าที่ต่าง ๆ โดยใช้เครื่องช่วยฝึกยานเกราะ

ด้วยข้อจำกัดของเครื่องช่วยฝึกยานเกราะที่มีประจำการอยู่เพียงแค่ชุดเดียว ไม่เพียงพอต่อการฝึก อีกทั้งปัญหาอื่น ๆ เช่น ระบบฐานการเคลื่อนไหวยานเกราะไม่สามารถซ่อมทำได้เอง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่นำเข้าจากประเทศยูเครน ส่วนฉาฝึกที่ยังไม่สมจริงไม่สอดคล้องกับภูมิประเทศของประเทศไทย เป็นต้น ส่วนงานระบบเครื่องช่วยฝึกเสมือนจริง สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาส่วนฐานการเคลื่อนไหวยานเกราะ โดยใช้อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่จัดหาภายในประเทศให้สามารถนำไปใช้ทดแทนและเตรียมความพร้อมสำหรับการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกให้กับยานเกราะที่ สทป. อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา

ผลงานวิจัยในครั้งนี้จะประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศด้านอาวุธยุทโธปกรณ์เพื่อพัฒนาศักยภาพของกองทัพและการป้องกันประเทศ ทั้งทางตรงซึ่งได้ผลผลิต (Output) จากการวิจัย ประกอบด้วย ส่วนฐานการเคลื่อนไหว และองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องช่วยฝึกรูปแบบอื่น ๆ เช่น เครื่องช่วยฝึกเครื่องบินไร้คนขับ (UAV) หรือเครื่องช่วยฝึกการเดินเรือ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการวิจัยในครั้งนี้ให้กับในเหล่าทัพ และกลุ่มหน่วยงานด้านความมั่นคงต่อไป

๒. วัตถุประสงค์การวิจัย

๒.๑ เพื่อศึกษาเทคโนโลยีของแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform)

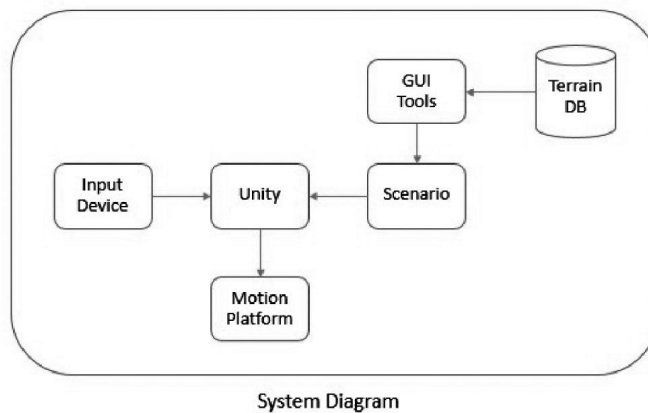
๒.๒ เพื่อออกแบบสมการจำลองแผ่นเคลื่อนไหวแบบ 6 DOF

๒.๓ สร้างโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Processing เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการ

๓. วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการศึกษาในครั้งนี้ประกอบไปด้วย ๓ ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ (๑) ศึกษาเทคโนโลยีของแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) (๒) ออกแบบสมการจำลองแผ่นเคลื่อนไหวแบบ 6DOF และ (๓) ทดสอบสร้างโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Processing ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอยู่ในส่วนหัวข้อของการสร้าง Motion Platform รายละเอียดแสดงดังรูปที่ ๑ โดยจะทำการเขียนโปรแกรม Processing ขึ้นมาเพื่อจำลองการทำงานของ Motion Platform เป็นกราฟิกเพื่อแสดงผลการทำงานของ Motion Platform ออกมาก่อนที่จะนำสมการชุดนี้ไปใช้งานจริง ดังนั้นจะสนใจในคำตอบของสมการกลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า (Forward Kinematics) ซึ่งจะได้

คำตอบเป็นตำแหน่ง (Position) และการจัดวาง (Orientation) ของ Coordinate Platform ดังรูปที่ ๑๕ และนำ Coordinate ที่ได้มาทำการหาค่าของ Joint Variables โดยใช้กลศาสตร์การเคลื่อนไหวผกผัน (Inverse Kinematics) ซึ่งค่าที่ได้จาก Joint Variables จะเป็นคำตอบที่อยู่ในรูปขององศาเทียบกับตำแหน่งฐาน (Base) ดังรูปที่ ๑๕ และจะนำค่าที่ได้จากกลศาสตร์การเคลื่อนไหวผกผัน (Inverse Kinematics) มาใช้สั่งในการหมุนที่จุดหมุนที่ฐาน (เซอร์โวมอเตอร์) ส่งผลให้ link ส่งผ่านการเคลื่อนที่เพื่อให้ Platform เปลี่ยนระนาบของ Coordinate ตามที่หามาได้จากกลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า (Forward Kinematics) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

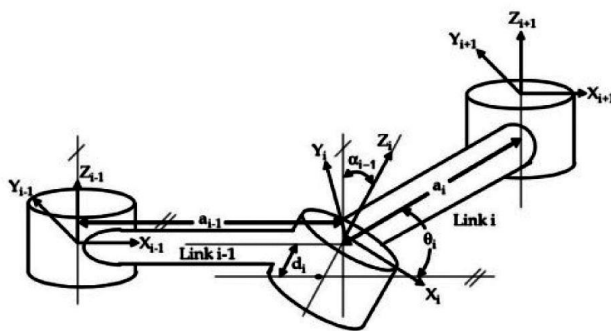


รูปที่ ๑ แสดงขั้นตอนการออกแบบฐานการเคลื่อนไหว

๓.๑ ศึกษาเทคโนโลยีและออกแบบระบบฐานการเคลื่อนไหว

๓.๑.๑ สมการคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่และรูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Transformation และ Orientation) แบบ Forward kinematic ในการออกแบบ Motion Platform เพื่อนำมาทำงานใน 3D space ซึ่งมีจุดประสงค์ที่จะนำ Platform ไปในตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นจะต้องมีการเคลื่อนที่และการหมุนตัวตามเส้นทางการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่งและแนวการเคลื่อนตัวของ Platform เพื่อสามารถที่จะโปรแกรมการเคลื่อนที่ของ link และ joint ต่างๆ ได้ในการจำลองสมการคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่และรูปแบบ

การเปลี่ยนแปลง (Transformation และ Orientation) ของ Motion Platform ที่ต้องการรูปแบบที่ชัดเจน สิ่งที่ต้องสนใจเป็นอันดับแรกคือ Kinematic ของ Motion Platform เนื่องจาก Kinematic จะอธิบายตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง ของ link ต่าง ๆ ใน 3D space รวมถึงตำแหน่งการเคลื่อนที่และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ Motion Platform การพิจารณา link ของ Motion Platform จะพิจารณาเป็น Rigid body ซึ่งเป็น link หลาย ๆ link ที่เชื่อมกันด้วย joint ต่าง ๆ ดังนั้นในแต่ละ link จะมี Coordinate เป็นของตัวเองเพื่อกำหนดตำแหน่งต่างๆ บน link นั้น coordinate บน link จะเรียกว่า Local Coordinate และเรียกระบบแกนนี้ว่า Local frame



รูปที่ ๒ แสดงระบบแกนของเฟรม (Local frame)

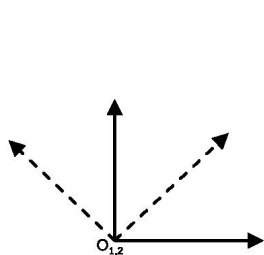
แต่ทั้งหมดจะต้องเชื่อมโยงตำแหน่งบน link กับตำแหน่งใน 3D space ได้ frame ที่ใช้กำหนดตำแหน่งใน 3D space จะเรียกว่า Global frame หรือ Reference frame ในที่นี้จะแสดงวิธีการย้าย Coordinate ของจุดหรือ Vector จาก frame หนึ่งไปอีก frame หนึ่ง ซึ่งจะต่อเข้าด้วยกันเป็น Open loop ดังนั้นแต่ละ link จะเชื่อมต่อเข้าด้วย joint สำหรับ joint ที่นิยมใช้มี ๒ แบบ คือ Revolute และ Prismatic ซึ่ง

- Revolute Joint (R-Joint) ซึ่งจะยอมให้มีเฉพาะการหมุนตัว (Rotation) รอบจุดต่อระหว่าง link ที่เชื่อมต่อกันอยู่
- Prismatic Joint (P-Joint) ซึ่งจะยอมให้มีเฉพาะการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Sliding) ระหว่าง link ที่เชื่อมต่อกันอยู่

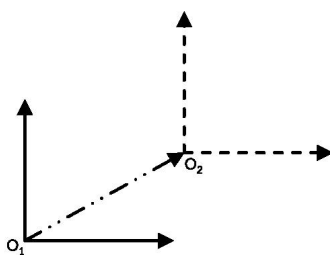
จำนวน Degree of Freedom (DOF) ของ Motion Platform เป็นจำนวนพารามิเตอร์อิสระที่ต้องกำหนดเพื่อให้ได้ตำแหน่ง (Position) และรูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Orientation) ดังนั้นจำนวน DOF ที่พิจารณาจะเท่ากับจำนวน joint ของ Motion Platform

การเปลี่ยนพิกัดจากระบบแกนหนึ่งไปสู่อีกระบบแกนหนึ่ง (Mapping) ซึ่งระบบแกนที่จะทำการแกนเปลี่ยนพิกัดนั้นอาจวางตัวอยู่ในลักษณะต่าง ๆ กันได้ดังนี้

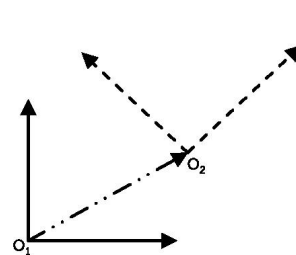
- Rotation Frame คือ เฟรมทั้งสองจะมีจุด Origin ร่วมกัน แต่ระบบทั้งสองไม่ขนานกัน
- Translation Frame คือ เฟรมทั้งสองจะมีจุด Origin ที่ต่างกัน และระบบทั้งสองขนานกัน
- Rotation & Translation Frame คือ เฟรมทั้งสองจะมีจุด Origin ที่ต่างกัน แต่ระบบทั้งสองไม่ขนานกัน



รูปที่ ๓ แสดง
Rotation Frame

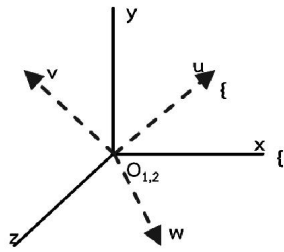


รูปที่ ๔ แสดง
Translation Frame



รูปที่ ๕ แสดง
Rotation & Translation Frame

การ Mapping ในกรณี Rotation Frame ซึ่งจะพิจารณาเฟรม {1} ซึ่งมีระบบแกน x,y,z และเฟรม {2} เป็น u,v,w ซึ่งทั้ง ๒ จุด มีจุด Origin ร่วมกัน ดังนั้นถ้าจุด P เป็นจุดใน 3D space ที่เราต้องการจะเคลื่อนที่ไปถึง



รูปที่ ๖ แสดง Rotation Frame ในระบบ ๓ แกน

ถ้าพิจารณาจากเฟรม {1} จะได้ว่า

$${}^1P = {}^1P_x\hat{x} + {}^1P_y\hat{y} + {}^1P_z\hat{z} \quad (1)$$

และถ้าพิจารณาจากเฟรม {2} จะได้ว่า

$${}^2P = {}^2P_u\hat{u} + {}^2P_v\hat{v} + {}^2P_w\hat{w} \quad (2)$$

เมื่อ u, v และ w คือ Unit vector ซึ่ง ${}^1P$ และ ${}^2P$ ต้องมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เทียบต่อกันเนื่องจากจุด P เป็นจุดคงที่จุดหนึ่ง (Unique) ใน space ทั้งเฟรม {1} และเฟรม {2} ดังนั้นการหาตำแหน่งจุด P จากระบบแกนทั้ง 2 ที่มีจุด Origin ร่วมกันโดยทราบพิกัดของจุด P เทียบต่อเฟรม {2} ทำให้สามารถหา Coordinate ของจุด P เทียบต่อเฟรม {1} ได้โดยการหาความยาวของ ${}^2P$ ในแนวแกน x ได้ดังนี้

$${}^1P_x = \hat{x} \cdot {}^2P \quad (3)$$

หรือ

$${}^1P_x = \hat{x} \cdot {}^2P = \hat{x} \cdot {}^2P_u\hat{u} + \hat{x} \cdot {}^2P_v\hat{v} + \hat{x} \cdot {}^2P_w\hat{w} \quad (4)$$

$${}^1P_y = \hat{y} \cdot {}^2P = \hat{y} \cdot {}^2P_u\hat{u} + \hat{y} \cdot {}^2P_v\hat{v} + \hat{y} \cdot {}^2P_w\hat{w} \quad (5)$$

$${}^1P_z = \hat{z} \cdot {}^2P = \hat{z} \cdot {}^2P_u\hat{u} + \hat{z} \cdot {}^2P_v\hat{v} + \hat{z} \cdot {}^2P_w\hat{w} \quad (6)$$

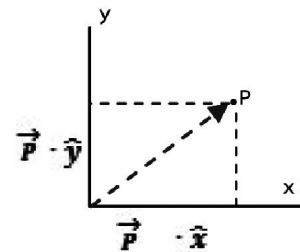
เขียนใหม่ให้อยู่ในสมการเมทริกซ์ได้ว่า

$$\begin{bmatrix} {}^1P_x \\ {}^1P_y \\ {}^1P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \cdot \hat{u} & \hat{x} \cdot \hat{v} & \hat{x} \cdot \hat{w} \\ \hat{y} \cdot \hat{u} & \hat{y} \cdot \hat{v} & \hat{y} \cdot \hat{w} \\ \hat{z} \cdot \hat{u} & \hat{z} \cdot \hat{v} & \hat{z} \cdot \hat{w} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^2P_u \\ {}^2P_v \\ {}^2P_w \end{bmatrix} \quad (7)$$

หรือ

$${}^1P = {}^1R_2 \cdot {}^2P \quad (8)$$

โดยที่เทอม ${}^1R_2$ เป็น Rotation Transformation Matrix จากเฟรม {2} มาเฟรม {1} และเนื่องจากเทอม ${}^1R_2$ ไม่ได้มีค่าอื่นนอกจาก dot product ของ unit vector ของระบบแกนทั้ง ๒ นั้นเท่านั้น จึงทำให้เทอม ${}^1R_2$ นี้สามารถ Transformation ทุกจุดจากเฟรม {2} มาเฟรม {1} ได้ใน



รูปที่ ๗ แสดง Rotation Frame ในระบบ ๓ แกน

ทำนองกลับกัน ถ้ารู้ ${}^1P$ ก็สามารถหา ${}^2P$ ได้ว่า

$${}^2R_1 = \begin{bmatrix} \hat{u} \cdot \hat{x} & \hat{u} \cdot \hat{y} & \hat{u} \cdot \hat{z} \\ \hat{v} \cdot \hat{x} & \hat{v} \cdot \hat{y} & \hat{v} \cdot \hat{z} \\ \hat{w} \cdot \hat{x} & \hat{w} \cdot \hat{y} & \hat{w} \cdot \hat{z} \end{bmatrix} \quad (9)$$

ซึ่งจะสังเกตได้ว่า

$${}^2R_1 = [{}^1R_2]^T \quad (10)$$

จาก

$${}^1P = {}^1R_2 \cdot {}^2P \quad (11)$$

จะหา ${}^2P_1$ ได้ว่า

$${}^2P = [{}^1R_2]^I \cdot {}^1P \quad (12)$$

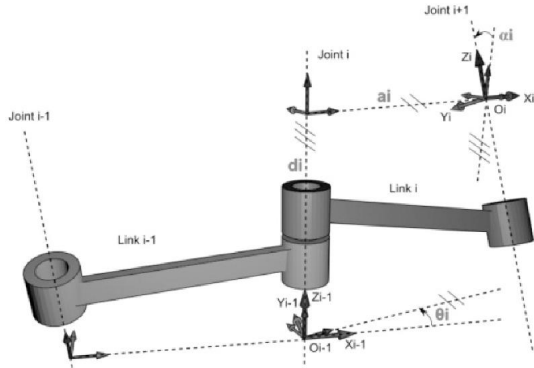
แต่

$${}^2P = {}^2R_1 \cdot {}^1P = [{}^1R_2]^T \cdot {}^1P \quad (13)$$

ดังนั้นสมการ (12) และ (13) จะเท่ากับ $[{}^1R_2]^I = [{}^1R_2]^T$

ซึ่งหมายความว่า $R^I R = R^T R = \mathbf{I}$ เป็น Identity Matrix ที่มี Invert เท่ากับ Transpose เรียกว่า Orthogonal Matrix ทำให้ Rotation Transformation นี้เรียกว่า Orthogonal Transformation

การหา Position Orientation โดยวิธี Denavit - Hartenberg คือ วิธีการหา Transformation Matrix ระหว่างเฟรม ๒ เฟรม ที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งจะพิจารณาเฟรม $\{i-1\}$ และเฟรม $\{i\}$ โดยที่เฟรมทั้งสองจะติดกับ link $i-1$ และ link i และการหา kinematic ของด้วยวิธี Denavit - Hartenberg จะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ของ joint และ link ซึ่งจะมีอยู่ 4 ค่า คือ $\theta_i, d_i, \alpha_i, a_i$



รูปที่ ๘ แสดงสัมพันธะระหว่าง link ที่เชื่อมต่อกัน

การทำ Transformation จากเฟรม {i-1} ไปที่เฟรม {i} จะประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

- Rotation รอบแกน Z_{i-1} ด้วยมุม θ_i
 - Translation ตามแกน Z_{i-1} ด้วยระยะ d_i
 - Translation ตามแกน X_i ด้วยระยะ a_i
 - Rotation รอบแกน X_i ด้วยมุม α_i
- } Link Parameter
} Joint Parameter

ทำให้สามารถใช้ Spatial transformation สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ทราบค่าในเฟรม {i} ให้มาเป็นตำแหน่งในเฟรม {i-1} จะได้เป็น Coordinate Transformation matrix ดังนี้

$${}^{i-1}T_i = Trans_{Z_{i-1}}(d_i) \cdot Rot_{Z_{i-1}}(\theta_i) \cdot Trans_{X_i}(a_i) \quad (14)$$

เมื่อ

$$Trans_{Z_{i-1}}(d_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Rot_{Z_{i-1}}(\theta_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$Trans_{X_i}(a_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

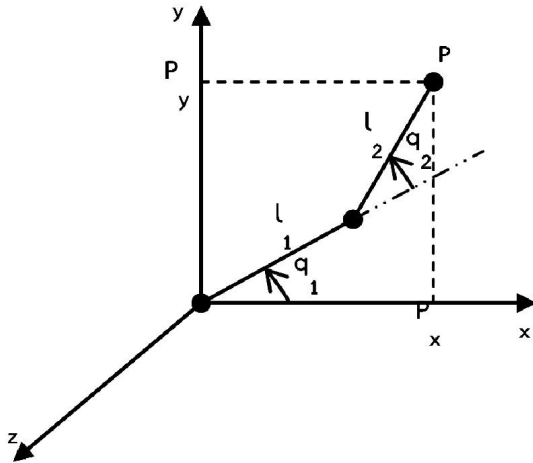
$$Rot_{X_i}(\alpha_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i & 0 \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

รวมผลคูณเมทริกซ์ ในสมการที่ (14)

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \cos\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

๓.๑.๒ การทบทวนวรรณกรรมของแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) สมการคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่และหมุนตัว (Transformation และ Orientation) แบบ Inverse kinematic ในหัวข้อที่ผ่านมาจะแสดงวิธีการกำหนดค่าของ Joint-link parameter ทั้งหมดมาหนึ่งชุดเพื่อหาค่าของ Position และ Orientation ของ Platform เทียบต่อ Referene frame ซึ่งจะเรียกว่า Forward Kinematic โดยสมการดังกล่าวจะให้ Position และ Orientation ของ Platform เป็น function ของ Joint Variables และ Joint-link parameter ซึ่งในกรณีนี้ค่าพารามิเตอร์ทุกตัวจะเป็นค่าคงที่

ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาในเรื่องของการกำหนด Position และ Orientation ของ Motion Platform เมื่อทำการเทียบกับตำแหน่งบน Referene frame มาให้เพื่อให้ทำการหาค่าของ Joint Variables ชุดหนึ่งเพื่อให้ได้ความเป็นไปได้ที่จะทำให้ Motion Platform อยู่ใน Position และ Orientation ที่กำหนดมา ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้จะเรียกว่า Inverse Kinematic



รูปที่ ๙ แสดงการหา Joint-link parameter ของ Inverse Kinematic

จากรูปจะเป็นการกำหนดตำแหน่งของจุดที่ต้องการจะให้ link เคลื่อนที่ไปหาจุดที่ต้องการจะเคลื่อนที่ไปหา คือ จุด P ใน 3D-Space โดยกำหนดความยาวของ link ทั้งสอง มาให้คือ l_1 และ l_2 มาให้ซึ่งจะต้องหามุม q_1 และ q_2 โดยที่ l_1 จะทำมุมเทียบกับ Referene frame นั้นคือแกน x และ l_2 ทำมุม q_2 เทียบกับ l_1 ซึ่งเป็น Referene frame ให้กับ l_2 ดังนั้นจะเริ่มทำการหาตำแหน่ง P จะหาได้ดังนี้

$$P_x = l_1 \cos_1 + l_2 \cos_{12} \quad (20)$$

$$P_y = l_1 \sin_1 + l_2 \sin_{12} \quad (21)$$

เขียนใหม่ให้อยู่ในสมการ Direct Kinematic ได้ว่า

$$Px^2 + Py^2 - (l_1^2 + l_2^2) = 2 l_1 \cdot l_2 (\cos_1 \cos_{12} + \sin_1 \sin_{12}) = 2 l_1 \cdot l_2 \cos_2 \quad (22)$$

จะได้ว่า

$$\cos_2 = \frac{Px^2 + Py^2 - l_1^2 - l_2^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2} \quad (23)$$

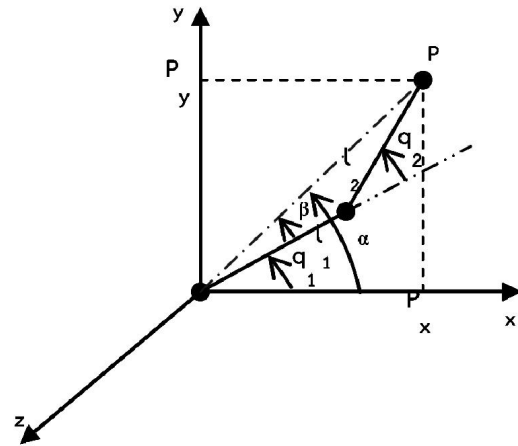
และ

$$\sin_2 = \pm \sqrt{1 - \cos_2^2} \quad (24)$$

ดังนั้น

$$q_2 = \text{Atan2}(\sin_2, \cos_2) \quad (25)$$

และหา q_1



รูปที่ ๑๐ แสดงการหา Joint-link parameter ของ Inverse Kinematic

จะได้ว่า

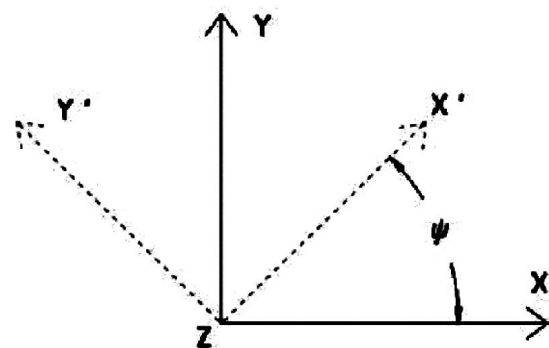
$$q_1 = \alpha - \beta \quad (26)$$

หรือ

$$q_1 = (\text{Atan2}(Px, Py)) - (\text{Atan2}(l_2 \sin_2, l_1 + l_2 \cos_2)) \quad (27)$$

ในการที่ link สองอัน มีการหมุน (Rotation) เทียบต่อกันนั้นเราจะหาว่า link ทั้งสองมีลำดับการหมุน (Order) ของแกนใดบ้าง และลำดับการหมุนด้วยมุมเท่าใดบ้างนั้น อันดับแรกจะพิจารณาการหมุนของแกนต่างๆ โดยกำหนดให้ ; แกน X = β (Roll), แกน Y = α (Pitch), แกน Z = σ (Yaw)

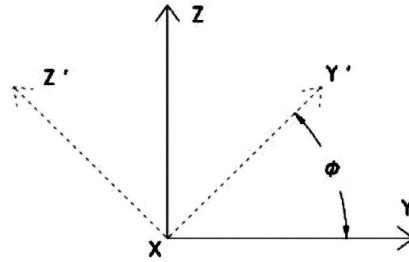
ถ้าเราหมุนแกนรอบแกน Z เป็นมุม ψ จะได้ว่า



รูปที่ ๑๑ แสดงหมุนแกนรอบแกน Z เป็นมุม ψ

$$R_z(\Psi) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & \cos(\frac{\pi}{2} + \psi) & \cos(\frac{\pi}{2}) \\ \cos(\frac{\pi}{2} - \psi) & \cos(\psi) & \cos(\frac{\pi}{2}) \\ \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

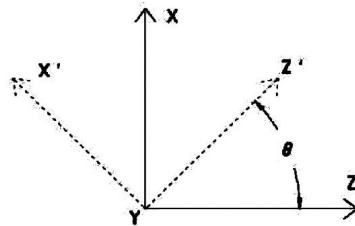
หมุนแกนรอบแกน X เป็นมุม ϕ จะได้ว่า



รูปที่ ๑๒ แสดงหมุนแกนรอบแกน X เป็นมุม ϕ

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} \cos(0) & \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(\frac{\pi}{2}) \\ \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(\phi) & \cos(\frac{\pi}{2} + \phi) \\ \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(\frac{\pi}{2} - \phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix} \quad (29)$$

หมุนแกนรอบแกน Y เป็นมุม θ จะได้ว่า



รูปที่ ๑๓ แสดงหมุนแกนรอบแกน Y เป็นมุม θ จะได้ว่า

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(\frac{\pi}{2} - \theta) \\ \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(0) & \cos(\frac{\pi}{2}) \\ \cos(\frac{\pi}{2} + \theta) & \cos(\frac{\pi}{2}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (30)$$

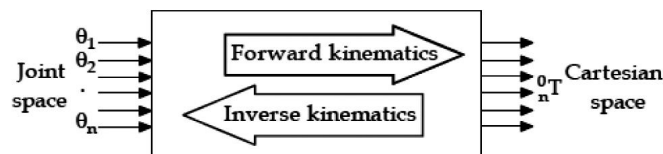
จะได้ว่า

$$R_{zyx} = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\theta & -\sin\psi \cos\phi + \cos\psi \sin\theta \sin\phi & \sin\psi \sin\phi + \cos\psi \sin\theta \cos\phi \\ \sin\psi \cos\theta & \cos\psi \cos\phi + \sin\psi \sin\theta \sin\phi & -\cos\psi \sin\phi + \sin\psi \sin\theta \cos\phi \\ -\sin\theta & \cos\theta \sin\phi & \cos\theta \cos\phi \end{bmatrix} \quad (31)$$

๓.๑.๓ ศึกษาเทคโนโลยีในส่วนของระบบสมการของ Motion Platform ทำให้ผู้ศึกษาเข้าใจในระบบสมการของ Motion Platform ที่ใช้กับเครื่องช่วยฝึกกระบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ 6 DOF มีดังนี้ ลักษณะของ Motion Platform ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มของ Parallel Kinematic Machine ซึ่งเป็น Parallel Manipulator เป็นกลไกทางกลแบบ

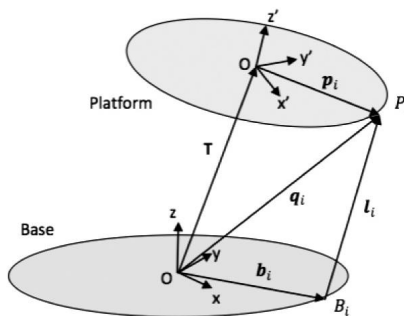
close-loop โดยพื้นฐานของ Platform จะมี link เชื่อมต่ออยู่ 2 อัน คือ ส่วนแรกคือ link ที่เชื่อมต่อกับชุดส่งกำลัง และ ส่วนที่สอง เชื่อมต่อกับ Platform มีlink ที่เชื่อมต่อกับชุดส่งกำลัง (มอเตอร์) ทั้งหมดอยู่ 6 ชุด

โดยการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบและวิเคราะห์ระบบฐานการเคลื่อนไหวยของ Motion Platform ซึ่งการออกแบบจะต้องนำความรู้ทางด้านกลศาสตร์การเคลื่อนไหวยไปข้างหน้า (Forward Kinematics) เพื่อที่ใช้หาตำแหน่ง (Position) และการจัดวาง (Orientation) ของจุดเชื่อมต่อที่ Platform กับ link เพื่อนำค่าพิกัดตำแหน่งไปทางศาการหมุนของแขน link เทียบกับจุดศูนย์กลางของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งจะใช้หลักการกลศาสตร์การเคลื่อนไหวยผกผัน (Inverse Kinematics) เพื่อนำค่าองศาที่คำนวณมาใช้ในการขับมอเตอร์ เพื่อให้ Motion Platform เกิดการเคลื่อนไหวยตามองศาการขับมอเตอร์



รูปที่ ๑๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง forward กับ Inverse Kinematic

จากรูปที่ ๑๕ ลำดับการทำงานของระบบของ Motion Platform ต้องทำการหาตำแหน่ง (Position) และการจัดวาง (Orientation) ที่ระนาบเคลื่อนไหวย (Platform) ถูกเชื่อมต่อกับระนาบฐาน (Base) โดย link 2 อัน จำนวน 6 ชุด จุดเชื่อมต่อที่ระนาบฐาน (Base) 6 จุด และที่ระนาบเคลื่อนไหวย (Platform) อีก 6 จุด ซึ่งในที่นี้จะแสดงการคำนวณการหาตำแหน่ง(Position) และการจัดวาง (Orientation) ของ link เพียง 1 ชุด ตามรูปที่ ๑๒ ดังนี้



รูปที่ ๑๕ แสดง Coordinate ของ Motion Platform

โดยที่พิจารณาจุด P_i เพื่อหาระยะจากจุดอ้างอิง (Origin ของ Base) ไปถึงจุดเชื่อมต่อระนาบเคลื่อนไหวย (Platform) นั่นคือจุด q_i ได้จากสมการ

$$q_i = T + {}^P R_B \cdot p_i \quad \text{เมื่อ } i = 1 \dots 6 \quad (32)$$

แทนค่าลงในสมการ 32

$$q_i = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\sin\psi\cos\phi + \cos\psi\sin\theta\sin\phi & \sin\psi\sin\phi + \cos\psi\sin\theta\cos\phi \\ \sin\psi\cos\theta & \cos\psi\cos\phi + \sin\psi\sin\theta\sin\phi & -\cos\psi\sin\phi + \sin\psi\sin\theta\cos\phi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \quad (33)$$

จะได้ว่า

$$q_i(x) = [(cos\psi \cdot cos\theta \cdot P_x)] + [(-sin\psi \cdot cos\phi + cos\psi \cdot sin\theta \cdot sin\phi \cdot P_y)] + [(sin\psi \cdot sin\phi + cos\psi \cdot sin\theta \cdot cos\phi \cdot P_z)] \quad (34)$$

$$q_i(y) = [(sin\psi \cdot cos\theta \cdot P_x)] + [(cos\psi \cdot cos\phi + sin\psi \cdot sin\theta \cdot sin\phi \cdot P_y)] + [(-cos\psi \cdot sin\phi + sin\psi \cdot sin\theta \cdot cos\phi \cdot P_z)] \quad (35)$$

$$q_i(z) = [(-sin\theta) \cdot P_x] + [(cos\theta \cdot sin\phi \cdot P_y)] + [(cos\theta \cdot cos\phi \cdot P_z)] \quad (36)$$

เมื่อ

T คือ Translation vector

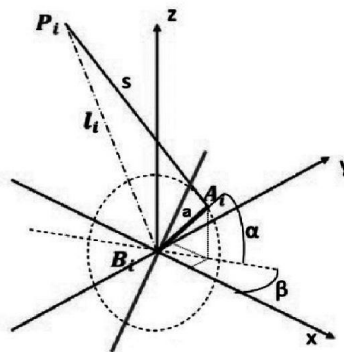
${}^P R_B$ คือ Rotation Matrix จากสมการที่ 33

p_i คือ เวกเตอร์กำหนดจุดพิกัดของตำแหน่ง P_i

และการหาระยะห่างจากจุดเชื่อมต่อที่ระนาบฐาน (Base; B_i) กับจุดเชื่อมต่อระนาบเคลื่อนไหว (Platform; P_i) ได้จาก

$$l_i = T + {}^P R_B \cdot p_i - b_i \quad \text{เมื่อ } i = 1 \dots 6 \quad (37)$$

จากนั้นทำการหาค่าส่วนประกอบต่างๆ ของ link ที่เชื่อมต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อที่ระนาบฐาน (Base; B_i) และจุดเชื่อมต่อที่ระนาบเคลื่อนไหว (Platform; P_i) ตามรูป



รูปที่ ๑๖ แสดงส่วนประกอบของ link ที่เชื่อมต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อที่ระนาบฐาน (Base) และจุดเชื่อมต่อที่ระนาบเคลื่อนไหว (Platform)

เมื่อ

P_i คือ เวกเตอร์กำหนดจุดพิกัดของจุดเชื่อมต่อระนาบเคลื่อนไหว

B_i คือ เวกเตอร์กำหนดจุดพิกัดของจุดเชื่อมต่อที่ระนาบฐาน

A_i คือ เวกเตอร์กำหนดจุดพิกัดของจุดเชื่อมต่อระหว่าง Servo link กับ Platform link

b_i คือ เวกเตอร์กำหนดจุดพิกัดของตำแหน่ง B_i เทียบกับจุดอ้างอิง (Origin ของ Base)

l_i คือ ระยะห่างจากจุดเชื่อมต่อที่ระนาบฐาน (Base) B_i กับจุดเชื่อมต่อระนาบเคลื่อนไหว (Platform) P_i

a คือ Servo link

s คือ Platform link

β คือ มุมการหมุนของ Servo ในระนาบ z-y

α คือ มุมการหมุนของ Servo ในระนาบ x-y

หาค่าตำแหน่ง A_i ได้จากสมการ

$$a = [x_a \ y_a \ z_a]^T \quad (38)$$

หาค่าตำแหน่ง B_i ได้จากสมการ

$$b = [x_b \ y_b \ z_b]^T \quad (39)$$

หาค่าตำแหน่ง P_i ได้จากสมการ

$$p = [x_p \ y_p \ z_p]^T \quad (40)$$

ดังนั้นการหาพิกัดที่จุด A จะได้ว่า

$$x_a = a \cos \alpha \cdot \cos \beta + x_b \quad (41)$$

$$y_a = a \cos \alpha \cdot \sin \beta + y_b \quad (42)$$

$$z_a = a \sin \alpha + z_b \quad (43)$$

และฝั่งตรงข้าม จะได้ว่า

$$x_a = a \cos(\pi - \alpha) \cdot \cos(\pi + \beta) + x_b \quad (44)$$

$$y_a = a \cos(\pi - \alpha) \cdot \sin(\pi + \beta) + y_b \quad (45)$$

$$z_a = a \sin(\pi - \alpha) + z_b \quad (46)$$

จากรูปที่ ๑๖ ทำการหาความยาวของ link a (Servo link) และ link s (Platform link) ได้จากสมการตรีโกณมิติ ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate System) คือ

$$r^2 = (x^2 + y^2) \quad (47)$$

แทนค่าลงในสมการ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} a^2 &= (x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2 \\ &= (x_a^2 + y_a^2 + z_a^2) + (x_b^2 + y_b^2 + z_b^2) - 2(x_a x_b + y_a y_b + z_a z_b) \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} l^2 &= (x_p - x_b)^2 + (y_p - y_b)^2 + (z_p - z_b)^2 \\ &= (x_p^2 + y_p^2 + z_p^2) + (x_b^2 + y_b^2 + z_b^2) - 2(x_p x_b + y_p y_b + z_p z_b) \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} s^2 &= (x_p - x_a)^2 + (y_p - y_a)^2 + (z_p - z_a)^2 \\ &= (x_p^2 + y_p^2 + z_p^2) + (x_a^2 + y_a^2 + z_a^2) - 2(x_p x_a + y_p y_a + z_p z_a) \end{aligned} \quad (50)$$

เขียนสมการใหม่ จะได้ว่า

$$l^2 - (s^2 - a^2) = 2a \sin \alpha (z_p - z_b) + 2a \cos \alpha [\cos \alpha (x_p - x_b) + \sin \beta (y_p - y_b)] \quad (51)$$

ในกรณีที่การรวมสมการของ sin และ cos ไม่เป็น Non-zero linear จะจัดสมการให้อยู่ในรูป

$$L = M \sin \alpha + N \cos \alpha$$

จะได้ว่า

$$a \sin x + b \cos x = c \sin (x + \bullet)$$

เมื่อ

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

และ

$$\tan \bullet = \frac{b}{a}$$

ดังนั้นจะมีอีก $\sin\alpha$ ที่สัมพันธ์กับ δ คือ

$$L = \sqrt{M^2 + N^2} \sin(\alpha + \delta)$$

และ

$$\delta = \tan^{-1} \frac{N}{M}$$

ดังนั้น

$$\sin(\alpha + \delta) = \frac{L}{\sqrt{M^2 + N^2}}$$

และ

$$\alpha = \sin^{-1} - \tan^{-1} \frac{N}{M}$$

(52)

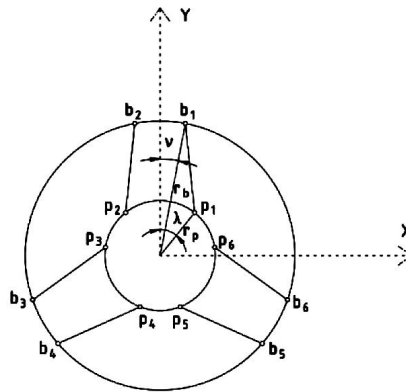
เมื่อ

$$L = l^2 - (s^2 - a^2)$$

$$M = 2a \sin\alpha (z_p - z_b)$$

$$N = 2a [\cos\beta (x_p - x_b) + \sin\alpha (y_p - y_b)]$$

ทำการหาตำแหน่งของ B_i และ P_i จากรูป



รูปที่ ๑๗ แสดงแผนภาพตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อของ B_i และ P_i

จากสมการที่ 39 และ 40

$$B_i = [x_{bi} \ y_{bi} \ z_{bi}]^T$$

$$= \begin{bmatrix} x_{bi} \\ y_{bi} \\ z_{bi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{bi} \cos v_{bi} \\ r_{bi} \sin v_{bi} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} v_i &= \frac{i\pi}{3} - \frac{\theta_b}{2} & ; i = 1,3,5 \\ v_i &= v_{i-1} + \theta_b & ; i = 2,4,6 \end{aligned} \quad (53)$$

$$P_i = [x_{pi} \ y_{pi} \ z_{pi}]^T$$

$$= \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{pi} \cos \lambda_i \\ r_{pi} \sin \lambda_i \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} \lambda_i &= \frac{i\pi}{3} - \frac{\theta_p}{2} & ; i = 1,3,5 \\ \lambda_i &= \lambda_{i-1} + \theta_p & ; i = 2,4,6 \end{aligned} \quad (54)$$

จะได้ว่า

$$B_1 = \begin{bmatrix} r_{b1} \cos v_{b1} \\ r_{b1} \sin v_{b1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (55)$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} r_{b2} \cos v_2 \\ -r_{b2} \sin v_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (56)$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} -r_{b3} \cos \frac{\pi}{6} - v_3 \\ -r_{b3} \sin \frac{\pi}{6} - v_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (57)$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} -r_{b4} \cos \frac{\pi}{6} + v_4 \\ -r_{b4} \sin \frac{\pi}{6} + v_4 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (58)$$

$$B_5 = \begin{bmatrix} r_{b5} \cos \frac{\pi}{6} + v_5 \\ -r_{b5} \sin \frac{\pi}{6} + v_5 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$B_6 = \begin{bmatrix} r_{b6} \cos \frac{\pi}{6} - v_6 \\ -r_{b6} \sin \frac{\pi}{6} - v_6 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (60)$$

และ $P_1 = \begin{bmatrix} r_{p1} \cos \frac{\pi}{6} + \lambda_1 \\ r_{p1} \sin \frac{\pi}{6} + \lambda_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (61)$

$$P_2 = \begin{bmatrix} -r_{p2} \cos \frac{\pi}{6} + \lambda_2 \\ r_{p2} \sin \frac{\pi}{6} + \lambda_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (62)$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} -r_{p3} \cos \frac{\pi}{6} - \lambda_3 \\ r_{p3} \sin \frac{\pi}{6} - \lambda_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (63)$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} -r_{p4} \cos \lambda_4 \\ -r_{p4} \sin \lambda_4 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (64)$$

และ $P_5 = \begin{bmatrix} -r_{p5} \cos \lambda_5 \\ r_{p5} \sin \lambda_5 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (65)$

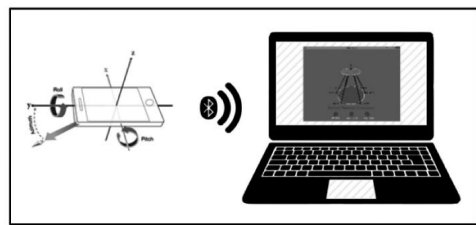
$$P_6 = \begin{bmatrix} r_{p6} \cos \frac{\pi}{6} - \lambda_6 \\ r_{p6} \sin \frac{\pi}{6} - \lambda_6 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (66)$$

๓.๑.๔ สร้างโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Processing เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการ

การสร้างโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหว เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการคำนวณของสมการการเคลื่อนไหวของแผ่นเคลื่อนไหวสำหรับ ๖ แกน (6 DOF) โดยการเคลื่อนไหวของแผ่นเคลื่อนไหวจำลองนั้นจะเป็นไปตามองศาการหมุนที่จุดหมุนที่ฐาน (เซอร์โวมอเตอร์) ทั้งหมด ๖ จุด แต่ละจุดจะมีมุมและทิศของการเคลื่อนที่แตกต่าง และเป็นอิสระต่อกัน โดยมุมที่จุดหมุนที่ฐาน (เซอร์โวมอเตอร์) แต่ละจุดนั้นจะเป็นไปตามผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของสมการ transformation

and orientation ซึ่งสมการนี้จะรับค่า Input จาก orientation ของสิ่งที่ต้องการเลียนแบบการเคลื่อนไหว เช่น การเคลื่อนไหวของตัวเครื่องบิน (orientation) ที่กำลังบินอยู่ เป็นต้น

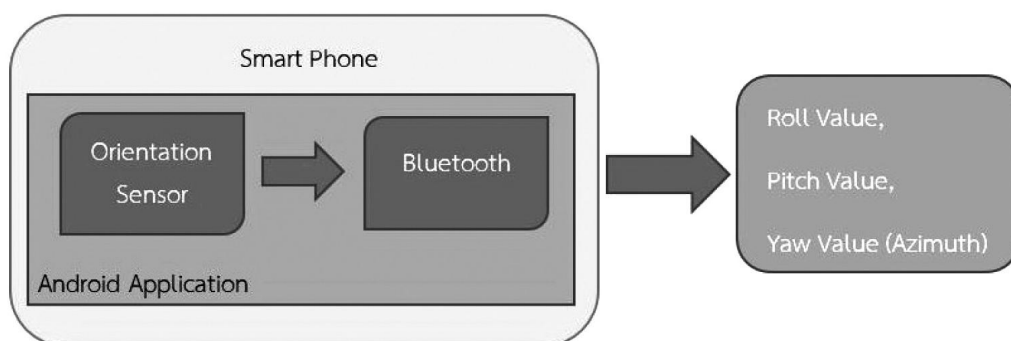
๓.๑.๔.๑ ระบบการเชื่อมต่อของโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Processing



รูปที่ ๑๘ แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อระบบ

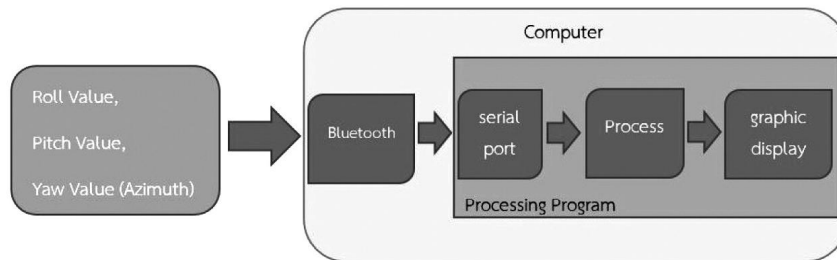
จากรูปเป็นการแสดงการเชื่อมต่อของระบบโดยรวมซึ่งระบบจะแบ่งออกเป็น ๒ ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกจะเป็นส่วนของการสร้างค่า Input ของระบบ ซึ่งได้จากการรับค่า Orientation จาก Smart Phone ที่มีค่าและการตรวจจับการเคลื่อนไหวของตัว Smart Phone เอง นำมาเป็นค่าจำลองสำหรับ Input ของระบบทดสอบ ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของโปรแกรมทดสอบที่เขียนขึ้นจากโปรแกรม Processing ที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมนี้อจะเป็นโปรแกรมหลักที่ใช้สำหรับการจำลอง และทดสอบสมการแผ่นเคลื่อนไหว โดยการรับค่า Input มาทำการประมวลผล และแสดงผลลัพธ์เป็น 3D Graphic โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่อและรับส่งข้อมูลกันผ่านเครือข่ายไร้สาย Bluetooth

๓.๑.๔.๒ หลักการทำงานของโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Processing ส่วนแรก จะเป็นการอธิบายการทำงานของส่วนการสร้างค่า Input ของระบบจำลองจาก Smart Phone ที่มีการเขียน Application ไว้บนระบบปฏิบัติการ Android เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยการทำงานจะเริ่มจากการตรวจสอบค่าการเคลื่อนไหว (Orientation) ของตัว Smart Phone เองด้วย Orientation Sensor ที่ให้ค่าเป็นข้อมูลของมุมมองของการเคลื่อนไหว (Roll, Pitch, Yaw) โดยค่าทั้งสามนี้จะเปลี่ยนไปตามการเคลื่อนไหวของ Orientation ของตัว Smart Phone หลังจากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังระบบการเชื่อมต่อ Bluetooth ของ Smart Phone เพื่อเปลี่ยนข้อมูลการติดต่อสื่อสารไร้สาย และส่งข้อมูลไปยัง Computer ต่อไป ดังรูป

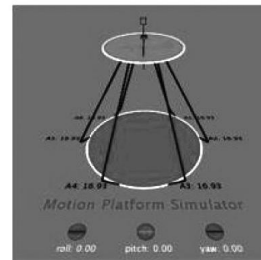
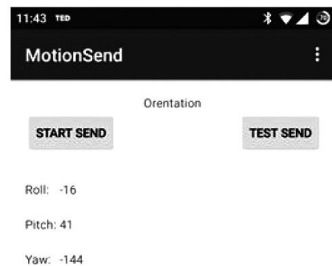


รูปที่ ๑๙ แสดงการเชื่อมต่อในส่วนการส่งค่าของ Smart Phone

ส่วนที่สองเป็นการอธิบายการทำงานของส่วนประมวลผลและส่วนการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม Processing ที่ทำงานอยู่บน Computer โดยเริ่มจากระบบการเชื่อมต่อ Bluetooth ของ Computer รอรับค่า Input ของระบบที่ส่งมาจาก Smart Phone ซึ่งเป็นข้อมูลของมุมมองของการเคลื่อนไหว (Roll, Pitch, Yaw) จากนั้น Bluetooth จะส่งข้อมูลออกผ่าน Serial Port ไปยังโปรแกรม Processing ให้โปรแกรม Processing ทำการรับค่า และนำข้อมูลของมุมมองของการเคลื่อนไหว (Roll, Pitch, Yaw) ไปทำการประมวลผล (Process) โดยการใช้สมการ transformation and orientation เพื่อคำนวณหามุมและทิศทางการเคลื่อนที่ของแขน Servo ทั้ง ๖ ตัวสำหรับการเคลื่อนไหวของแผ่นเคลื่อนไหว โดยโปรแกรม Processing จะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นแบบจำลอง 3D Model ทั้งในส่วนของการหมุนของแขน Servo และการเคลื่อนไหวของแผ่นเคลื่อนไหว ดังรูป



รูปที่ ๒๐ แสดงการเชื่อมต่อในส่วนการรับค่า ประมวลผล และแสดงผล



รูปที่ ๒๑ แสดงหน้าจอการแสดงผลของ Smart Phone และ โปรแกรม Processing

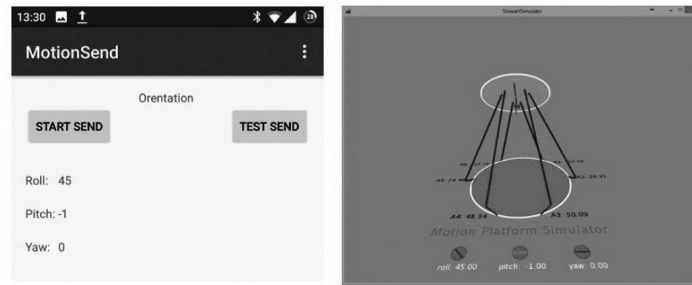
๔. เครื่องมือในการวิจัย

โปรแกรม Processing เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมที่สามารถรับส่งค่าและทำงานร่วมกับ Hardware และ Software ได้หลายรูปแบบ เช่น การรับส่งค่าด้วย Serial Port ในการเชื่อมต่อกับ Bluetooth, Sensor หรือ Microcontroller การรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายด้วย TCP/IP Protocol เป็นต้น และโปรแกรม Processing ยังสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลสมการทางคณิตศาสตร์ และสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการแสดงผลในรูปแบบของการเคลื่อนไหวแบบ 3D Graphic ได้ทำให้ง่ายต่อการนำเสนอผลลัพธ์ และการจำลองระบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นเหตุผลในการใช้โปรแกรม Processing สำหรับการสร้าง ทดสอบ และจำลองการทำงานของสมการแผ่นเคลื่อนไหวนั้น

๕. ผลการวิจัย

จากการทดสอบทำการใส่ค่าการหมุนของแกนต่างๆ โดยกำหนดให้; แกน X = β (Roll) = 45 องศา, แกน Y = α (Pitch) = -1 องศา และแกน Z = σ (Yaw) = 0 องศา ให้ Smart Phone ซึ่งจะเป็นค่า Orientation ส่งผ่าน

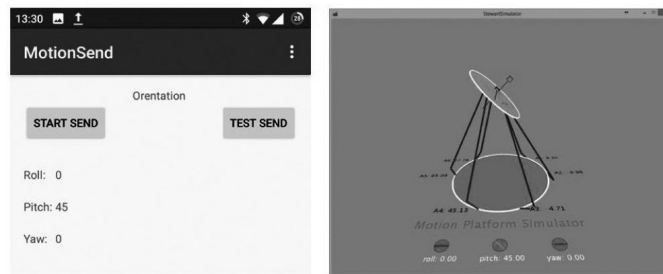
ไปยังโปรแกรม Processing ซึ่งจะนำค่าองศาของการเคลื่อนไหว (Roll, Pitch, Yaw) นี้มาเป็นระนาบ Platform (ระนาบสี่เหลี่ยมจตุรัสจากรูปที่ ๒๒) ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องฝึกช่วยขับยานเกราะค่า Input จะนำค่ามาจากสภาพภูมิประเทศที่จะต้องขับรถยนต์เกราะผ่านสภาพภูมิประเทศต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลจาก Terrain Data (รูปที่ ๑) มาแปลงเป็นค่าการเคลื่อนไหว (Roll, Pitch, Yaw) จะเป็นค่า Input ให้กับโปรแกรมที่เขียนตามสมการจำลองส่วนฐานแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) ที่ได้หาสมการมาแล้ว จากนั้นจะคำนวณผ่านโปรแกรม Processing ออกมาเป็นค่าองศาเทียบกับระนาบฐาน (ระนาบสี่เหลี่ยมจตุรัสจากรูปที่ ๒๒) ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณ (A1 - A6 จากตารางที่ ๑) มาใช้ในการหมุนจุดหมุนที่ระนาบฐานทั้ง ๖ จุด การประยุกต์ใช้จะนำค่าองศาที่หามาได้นี้มาขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อให้ link ทั้ง ๒ ส่วน (เส้นสี่เหลี่ยมจตุรัสจากรูปที่ ๒๒) คือ เส้นสั้น คือ link ที่จุดหมุนระนาบฐาน ส่วนเส้นยาว คือ link ที่จุดหมุนระนาบเคลื่อนไหว (Platform) ซึ่ง link ทั้งสองถูกประกอบไว้ด้วยกันจะมีทั้งหมด ๖ ชุด จะส่งผ่านการเคลื่อนที่เพื่อให้ Platform เปลี่ยนระนาบตามที่กำหนดมาได้



รูปที่ ๒๒ แสดงการทดสอบ Roll = 45, Pitch = -1 Yaw = 0 องศา

จากนั้นทำการทดสอบเปลี่ยนค่า Orientation แกน X = β (Roll) = 0 องศา, แกน Y = α (Pitch) = 45 องศา และแกน Z = σ (Yaw) = 0 องศา เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ ๒๓

จากการศึกษาและสร้างแบบจำลองแผ่นเคลื่อนไหวแบบ 6 DOF โดยใช้โปรแกรม Processing เข้ามาดำเนินการทดสอบตัวสมการการและรูปแบบการเปลี่ยนแปลง (TransformationและOrientation) จะได้ผลการทดสอบโปรแกรม



รูปที่ ๒๓ แสดงการทดสอบ Roll = 0, Pitch = 45 Yaw = 0 องศา

จำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวจากการรับค่า และการคำนวณของสมการจากตารางบันทึกผลการทดสอบระหว่าง Smart Phone และโปรแกรม Processing ดังนี้

	Input Orientation from Smart Phone Sensor (degrees)			Processing Program 6 DOF					
				Angle Servo with Process Program (degrees)					
	Roll	Pitch	Yaw	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	45	-1	0	10.59	26.31	50.09	48.34	24.46	10.78
2	0	45	0	8.30	-9.96	-4.71	45.13	65.09	27.78
3	0	0	0	17.40	22.48	17.40	22.48	17.40	22.48
4	-17	36	25	21.52	-3.61	-4.96	35.33	47.18	50.19
5	-11	-28	15	32.10	43.89	27.08	-1.45	-4.88	20.39

ตารางแสดงผลการทดสอบโดยโปรแกรม Processing

จากการทดสอบการทำงานโปรแกรมจำลองสมการแผ่นเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรม Processing โดยเป็นการรับค่า Input ซึ่งเป็นค่า Orientation (Roll, Pitch, Yaw) จาก Sensor หรือ Software นั้น เมื่อนำมาคำนวณด้วยสมการ transformation and orientation สำหรับ 6 Degrees of Freedom แล้วจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นมุมมองการหมุนของแขน Servo ทั้ง ๖ ตัว และทำการสร้าง Orientation ของแผ่นเคลื่อนไหวดำเนินการตามค่า Orientation ที่รับมาจาก Input หรือเลียนแบบการเคลื่อนไหวดำเนินการตามค่า Orientation ที่รับมาได้ ซึ่งความถูกต้องและความแม่นยำจำเป็นต้องอาศัยการทำงานบน Hardware จริง เนื่องจากการคำนวณของสมการจำเป็นต้องใช้ค่าตัวแปรในการคำนวณตาม Hardware ที่ได้ออกแบบไว้ แต่สำหรับโครงสร้างของ Hardware ที่ใช้ในการทดสอบนี้ยังมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ หรือผลตอบสนองของ Orientation ในบางทิศทางยังไม่สามารถทำได้

๖. บทสรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการหาสมการการเคลื่อนที่และรูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Transformation และ Orientation) ของแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) แบบ 6 DOF ทั้งแบบ Forward kinematic ที่ใช้หาตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อ (Joint) ทั้ง 6 จุดที่บริเวณแผ่นเคลื่อนที่ (Platform) โดยใช้หลักการของ Cartesian Coordinate Frame เข้ามาหาตำแหน่งใน 3D space เพื่อที่จะนำตำแหน่งที่หามาได้มาใช้ในการหาการเปลี่ยนแปลงของแขนเชื่อมโยง (link) ทั้ง ๖ ขา ซึ่งจะหาได้จากสมการ Inverse kinematic ซึ่งจากการหาสมการที่ได้กล่าวมานำมาคำนวณ วิเคราะห์ และจำลองตัวสมการผ่านโปรแกรม Processing สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) ได้ จึงสามารถนำชุดสมการเคลื่อนไหวดำเนินการแบบ 6 DOF มาใช้ในการควบคุมโครงสร้างของแผ่นเคลื่อนไหว (Motion Platform) ที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมงานเครื่องช่วยฝึกในแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องได้ เช่น สามารถนำไปใช้กับโครงการเครื่องช่วยฝึกขับยานเกราะของ สทป. ซึ่งจะต้องใช้ Degree of Freedom (DOF) เพียง 3 DOF

๗. ข้อเสนอแนะ

๗.๑ ความถูกต้องและความแม่นยำของแผ่นเคลื่อนไหวดำเนินการจำเป็นต้องอาศัยการทำงานอยู่บน Hardware จริง เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ค่าตัวแปรจาก Hardware เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความยาวของแขน Servo เป็นต้นซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนไปตามการ Design ของ Hardware บนระบบจริง

๗.๒ การเพิ่มความแม่นยำของสมการโดยใช้ Software จะทำให้การตอบสนองของแผ่นเคลื่อนไหวต่อ Input ช้าลง

๗.๓ จากข้อจำกัดของโครงสร้าง Hardware เช่น ระยะในการยึดของแขน Servo เป็นต้น ทำให้ผลการตอบสนองของ Orientation ของแผ่นเคลื่อนไหวในบางทิศทางไม่สามารถทำได้

๗.๔ วิธีการออกแบบแผ่นเคลื่อนไหวซึ่งจะต้องพัฒนาความรู้ที่ได้ไปออกแบบฐานการเคลื่อนไหวที่มีปัจจัยต่าง ๆ กัน เช่น รับน้ำหนักได้มากขึ้น หรือจำนวนองศาอิสระที่น้อยลง เพื่อให้สอดคล้องกับเครื่องช่วยฝึกแต่ละชนิด

๗.๕ วิธีการออกแบบระบบควบคุมแผ่นเคลื่อนไหวของเครื่องช่วยฝึกประเภทยานยนต์ ซึ่งระบบควบคุมนี้เป็นส่วนสำคัญที่จะสร้างแบบจำลองให้สมจริง เช่น ความเร็วในการตอบสนอง ความแม่นยำของตำแหน่ง รวมทั้งระบบควบคุมที่ออกแบบนี้ควรจะต้องมีความสะดวกในการบำรุงรักษา และจัดหาอะไหล่ทดแทน เป็นต้น

๗.๖ วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ฐานการเคลื่อนไหวของเครื่องช่วยฝึกยานยนต์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานทางทหาร มีการรับรองมาตรฐานที่เชื่อถือได้เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาสู่สายการผลิตต่อไป

บรรณานุกรม

- Alba P.G. (2007). *“Kinematic of robots”*.
- Alessandro De Luca, Prof. *“Inverse kinematic dynamic”*. Sapienza Universita DiRoma.
- C.C.Ng, S.K.Ong and A.Y.C.Nee. *“Design and development of 3-DOF moular micro parallelkinematic manipulators”*. Singapore: Singapore MIT Alliance and National University of Singapore.
- Clement G. (1988). *“Kinematic Analysis, Optimization and programming of parallel robotic manipulator”*. Department of mechanical engineering, McGill University Montreal, Canada.
- Filip S. *“Stewart platform with fixed rotary actuator”*.
- John J.C., *“Manipulator kinematic”*. *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. (Third Edition).
- Lorenzo S., Bruno S. (1996). *“Modeling and control of robot manipulators”*.
- Mark W.S., M.Vidyasagar. *“Rigid motions homogeneous transformation and forward kinematic: The Denavit-Hartenberg representation”*. *Robot dynamic and control*.
- Mohamad K.A.J., Assoc. Prof. Dr. *“Design and development of 6-DOF motion platform for vehicle driving simulator”*. Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Serdar K., Zafer B. (2006). *“Robotic kinematic: Forward and Inverse kinematic”*. *Industrial - Robotics - Theory - Modelling - Control*.
- Supachoke M. (2010). *“A Simulation of 6R indudtrial articulated robot arm using neural network”*.
- S.Viboon, P.Nutason. (2004). *“Kinematics and dynamic analysis of the PA10-7C manupalatorarm”*. Department of mechanical engineering, Chulalongkorn University.
- Zafer B., Oguzhan K., *“Dynamic modeling and simulation of stewart platform”*. Turkey: Mechatronics Engineering, Kocaeli University.