

## การควบคุมการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุดแบบพีไอดีแขนกล Trajectory Optimization PID Control of a manipulator

ธนกฤต ภัทรเกษวิทย์<sup>1\*</sup> สินชัย ชินวรรัตน์<sup>2</sup> และศิริพรรณ ธงชัย<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
โทร 02-9132500 โทรสาร 02-9132618 \*อีเมล kengthai11@hotmail.com

Tharakrit Pattaraketwit<sup>1\*</sup>, Sinchai Chinworarat<sup>2</sup>, and Siripun Thongchai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mechanical Engineering Department, Engineering Division, King Monkut's Institute of Technology North, Bangsu  
Bangkok, 10800, Thailand, Tel: 02-9132500, Fax: 02-9132618, \*E-mail: kengthai11@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์การวางแผนการกำหนดการเคลื่อนที่ของแขนกลซึ่งเป็นงานที่ซับซ้อนและสำคัญในการออกแบบและการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ งานวิจัยได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่เพื่อให้สอดคล้องของการวางแผนการกำหนดการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำให้มีประสิทธิภาพในการกำหนดพื้นที่และการเคลื่อนที่แขนกล โดยภายใต้ในการบังคับแขนกลจะทำให้เคลื่อนที่และควบคุมผลการได้มีประสิทธิภาพตามฟังก์ชันที่กำหนด แขนกลที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นแขนกลที่มีอยู่เดิมโดยนำไปพัฒนาการเคลื่อนที่ให้ดียิ่งขึ้น เมื่อกำหนดการเคลื่อนที่และสามารถควบคุมได้ทำให้ไปตามที่วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

### Abstract

Planning of robot pose trajectory is a crucial role and application of robots in task space. This paper present a unified approach to optimal pose trajectory planning trajectory for robot manipulator in program computer The robots pose ruled surface is formed as a motion locus of configuration vector The panning of robots pose trajectory is accomplished through the way of generating and optimizing robots pose ruled surfaces under the constraints of kinematics and dynamics for function motion and optimal control.

Keywords : Labview, Robot, 3-DOF

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมไปมากเป็นเหตุผลจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

และคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมบางประเภทเป็นที่ต้องการสิ่งของจำนวนมาก ๆ หรือทำงานในลักษณะซ้ำซากหรืองานเป็นอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานในลักษณะที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติทำงานแทนได้ตามปกติแล้วในการทำงานของหุ่นยนต์ ถ้าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนแขนกลไปตามเส้นทางที่กำหนดได้โดยใช้เวลาน้อยลง การทำงานของหุ่นยนต์ก็จะเป็นไปโดยมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและถ้าข้อมูลทั้งหมดของคุณลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์และเส้นทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นมีอยู่ก่อนแล้ว ขั้นตอนวิธีการควบคุมโดยใช้เวลาน้อยที่สุด (Time-Optimal Control Algorithm) จะสามารถถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาโปรไฟล์แนววิถีที่ใช้เวลาน้อยที่สุด (Time-Optimal Trajectory Profile) ได้ การเคลื่อนที่โดยใช้เวลาน้อยที่สุดนั้นจะมีคุณลักษณะที่เด่นชัด คือ ค่าความเร่ง (Acceleration) และความหน่วง (Deceleration) ไปตามเส้นทางที่กำหนดนั้นจะเป็นค่าสูงสุดที่กำหนดนั้นจะเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้

### 2. ทฤษฎี

#### 2.1 การควบคุมโดยการคำนวณแรงบิด (Computed-Torque Control)

สมการพลวัตสำหรับอธิบายการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ที่มีข้อต่อหมุนจะอยู่ในรูปของ

$$t(t) = D(q(t)), \ddot{q}(t) + h(q(t), \dot{q}(t)) + c(q(t)) \quad (1)$$

โดยที่  $D(q)$  คือเมทริกซ์สมมาตรเกี่ยวกับความเร่งเชิงความเฉื่อย (Inertial Acceleration Related Matrix) ขนาด  $n \times n$   $h(q, \dot{q})$  คือเวกเตอร์แรงคอริโอลิสและแรงหนีศูนย์กลาง (Coriolis and Centrifugal Force Vector) ขนาด  $n \times 1$  และ  $c(q)$  คือ

เวกเตอร์จากแรงโน้มถ่วง (Gravity Loading Force Vector) สมาชิกแต่ละตัวของเมทริกซ์  $D(q)$  และเวกเตอร์  $c(q)$  จะเป็นฟังก์ชันของมุมหมุนของข้อต่อ ( $q$ ) ในขณะที่สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์  $h(q, \dot{q})$  จะเป็นฟังก์ชันของทั้งมุมหมุน

ปัญหาของการควบคุมระบบซึ่งมีความซับซ้อนอย่างเช่นระบบหุ่นยนต์จะสามารถทำได้โดยการคำนวณค่าแรงบิดดังนี้ กำหนดให้

$$t = a t' + b$$

(2)

โดย  $t$  เป็นเวกเตอร์ของแรงบิดขนาด  $n \times 1$  เลือกให้

$$b = h(q, \dot{q}) + c(q)$$

(3)

โดยการใชกฎของเซอร์โว (Servo Law) จะได้

$$t' = \ddot{q}_d + K_v \dot{E} + K_p E$$

(4)

โดยที่

$$E = q_d - q$$

(5)

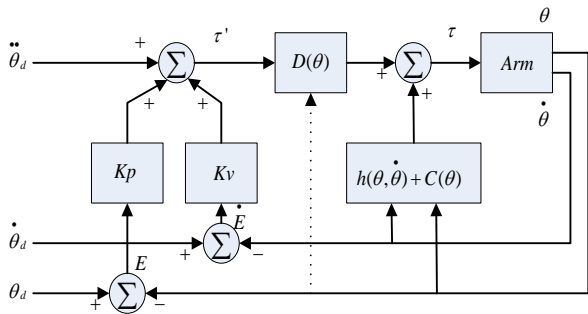
จากสมการที่ (1) ถึง (4) จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop Control Systems) จะมีสมการค่าความคลาดเคลื่อน (Error Equation) ที่อยู่ในรูปของ

$$\ddot{E} + K_v \dot{E} + K_p E = 0 \quad (6)$$

สังเกตได้ว่าสมการค่าความคลาดเคลื่อนนี้จะเป็นสมการเวกเตอร์ที่ไม่มีลักษณะการเชื่อมต่อ (De-couple) ถ้าเมทริกซ์  $K_v$  และ  $K_p$  เป็นเมทริกซ์ทแยงมุม (Diagonal Matrix) สมการที่ (6) ก็จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

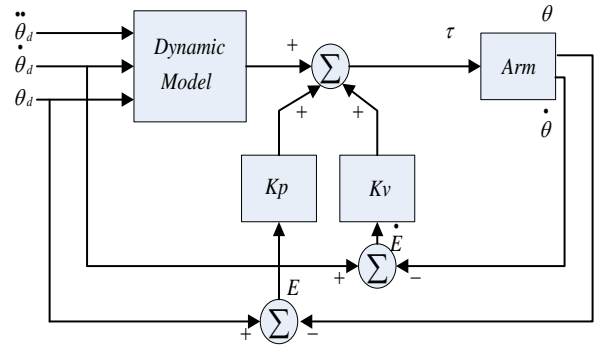
$$e_i k_{vi} \dot{e}_i + k_{pi} e_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(7)



รูปที่ 1 ระบบควบคุมแขนกลแบบอิงแบบจำลอง

อีกรูปแบบหนึ่งที่เป็นไปได้ของการควบคุมโดยการคำนวณแรงบิดได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ในกรณีนี้ส่วนควบคุมแบบอิงแบบจำลอง (Model-Based Control) จะอยู่นอกวงเซอร์โวอย่างไรก็ดีรูปแบบของระบบควบคุมตามที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2 จะไม่ทำให้เกิดลักษณะการไม่เชื่อมต่อเหมือน



รูปที่ 2 ระบบควบคุมที่มีส่วนอิงแบบจำลองอยู่นอกวงเซอร์โว

ในกรณีแรกถ้าให้  $D(q_d) @ D(q)$ ,  $h(q_d, \dot{q}_d) @ h(q, \dot{q})$  และ  $c(q_d) @ c(q)$  สมการค่าความคลาดเคลื่อนของระบบควบคุมหุ่นยนต์จะอยู่ในรูปของ

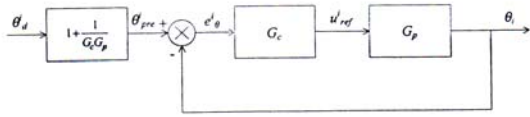
$$\ddot{E} + D^{-1}(q)K_v \dot{E} + D^{-1}(q)K_p E = 0$$

(8)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อโครงแบบ Configuration ของแขนกลเปลี่ยนไป อัตราขยายวงปิดที่มีผล (Effective Closed-loop Gain) ก็จะเปลี่ยนไปด้วยและเปลี่ยนรูป (Quasi-Static Pole) ของระบบก็จะมี การเปลี่ยนตำแหน่งในระนาบจริง-จินตภาพ (Real-Imaginary Plane) อย่างไรก็ตามสมการที่ (8) สามารถนำมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการออกแบบตัวควบคุมแบบคงทน (Robust Controller) นั่นคือออกแบบตัวควบคุมให้มีอัตราขยายคงที่ถึงแม้ว่าโพลจะมีการเปลี่ยนตำแหน่ง และให้การเปลี่ยนตำแหน่งของโพลก็จะเป็นไปในลักษณะที่ทำให้โพล้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเสมอ ในทางตรงกันข้ามการออกแบบตัวควบคุมที่มีอัตราขยายที่แปรผันได้ (Variable Gain) ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งจะทำให้ตำแหน่งโพลก็ยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิม ถึงแม้ว่าโครงแบบของแขนกลจะเปลี่ยนไป

## 2.2 การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้เวลาน้อยที่สุด (Time-Optimal Robot Control)

พิจารณาาระบบหุ่นยนต์ที่ใช้ในการควบคุมโดยการป้อนกลับ เพื่อลดการเชื่อมต่อแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear De-coupled Feedback Control) ที่แสดงไว้ในภาพที่ สัญญาณเข้าอ้างอิง (Reference Input Signal) จะสามารถถูกปรับรูปข้างหน้า (Pre-sharp) ได้โดยตัวผกผัน (Inverse) ของแบบจำลองระบบย่อยข้อต่อหุ่นยนต์ (Robot Joint Sub-System Model) และแบบจำลองตัวควบคุม (Controller Model)



รูปที่ 3 การควบคุมโดยการป้อนกลับเพื่อลดแบบไม่เชิงเส้น

ในภาพที่  $G_c$  คือแบบจำลองของตัวควบคุมซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)  $G_p$  คือแบบจำลองระบบย่อยข้อต่อหุ่นยนต์ของข้อต่อหนึ่งที่ได้หลังจากการใช้ตัวชดเชยแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward Compensator) ในการลดการเชื่อมต่อ (De-couple) ของระบบหุ่นยนต์เพื่อให้ระบบกลายเป็นเซตของระบบอันดับสองเชิงเส้น (Linear Second Order System) การปรับสัญญาณเข้าอ้างอิงในลักษณะนี้เรียกว่า การปรับรูปร่างของแนววิถี (Trajectory Pre-shaping) จะเห็นได้ว่าการปรับรูปร่างจะนำไปสู่การที่ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของแต่ละวงควบคุมข้อต่อ (Joint Control Loop) มีค่าเปลี่ยนเป็น 1 หรือทำให้แต่ละระบบย่อยข้อต่อสามารถติดตามคำสั่งควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ การปรับรูปร่างหน้าวิถีสามารถอธิบายได้โดย

$$q_{pre}^i(s) = q_d^i(s) + \frac{1}{G_c G_p(s)} q_d^i(s) \quad (9)$$

โดยที่  $q_{pre}^i(s)$  เป็นผลการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ของแนววิถีที่ต้องการที่ถูกปรับรูปร่างไปข้างหน้า (Pre-shaped Desired Trajectory) สำหรับข้อต่อที่  $i$   $q_d^i(s)$  เป็นผลการแปลงลาปลาซของแนววิถีที่ต้องการและ  $G_c G_p(s)$  เป็นผลการแปลงลาปลาซของแบบจำลองตัวควบคุมและระบบย่อยข้อต่อหุ่นยนต์ สมการที่ (9) นั้นไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีเนื่องจากสาเหตุในเรื่องของการทำได้จริง (Realisability) อย่างไรก็ตาม การปรับรูปร่างหน้าของแนววิถีจะสามารถคำนวณได้จากโพรไฟล์แรงบิดวงเปิดที่ใช้เวลาน้อยที่สุด (Time-Optimal Open-loop Torque Profile) ดังนี้  
เริ่มจากสมการที่ (9) สามารถเขียนในโดเมนเวลา (Time Domain) ได้ดังนี้

$$q_{pre}^i(t) - q_d^i(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{G_c G_p(s)} q_d^i(s) \right] \quad (10)$$

โดยที่  $L^{-1}[\cdot]$  คือ ตัวดำเนินการผลการแปลงลาปลาซผกผัน (Inverse Laplace Transform Operator) อาศัยจากพิจารณาวงควบคุม (Control Loop) จะเห็นได้ว่า  $q_i$  จะสมมูล (Equivalent) กับ  $q_d^i$  เนื่องจากฟังก์ชันถ่ายโอนมีค่าเป็นหนึ่ง ดังนั้น

$$q_{pre}^i(t) - q_d^i(t) = e^i(t) \quad (11)$$

โดยที่  $e^i(t)$  เป็นสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนของการควบคุม (Control Error Signal) เนื่องจากขั้นตอนวิธีควบคุมโดยใช้เวลาน้อยที่สุดจะให้ผลลัพธ์ในเรื่องของโพรไฟล์แรงบิดวงเปิดที่ใช้เวลาน้อยที่สุดด้วยค่า  $u_{ref}^i(t)$  จะสามารถคำนวณได้โดยใช้

$$u(t) = h(q, \dot{q}) + c(q) - D(q) \ddot{q} + M^{-1} \left[ \sum_{i=1}^n a_{0i} \ddot{q}_i(t) + a_{0i} \dot{q}_i(t) - l_i u_{ref}^i(t) \right] \quad (12)$$

โดยที่  $U(t)$  คือ โพรไฟล์แรงบิดวงเปิดที่ใช้เวลาน้อยที่สุดที่ได้จากขั้นตอนวิธี และ  $q$  กับ  $\dot{q}$  ก็ได้จากขั้นตอนวิธีเช่นกัน นอกจากนี้  $u_{ref}^i(t)$  ก็ยังสามารถคำนวณได้จาก

$$\ddot{q}_i(t) + a_{1i} \dot{q}_i(t) + a_{0i} q_i(t) = l_i u_{ref}^i(t), i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

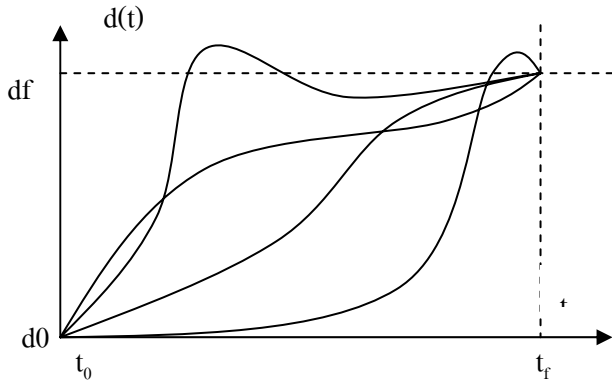
โดยที่  $q$ ,  $\dot{q}$  และ  $\ddot{q}$  ก็จะเป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนวิธี เมื่อตัวควบคุมที่มีลักษณะเป็นตัวควบคุมดิจิทัลโดยตรง (Direct Digital Controller) เช่นตัวควบคุมแบบพีไอดีถูกนำมาใช้ ค่าของสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนของการควบคุมก็จะสามารถคำนวณได้จากค่าสัญญาณควบคุมหรือ

$$e^i(k) = PID^{-1} \left( u_{ref}^i(k) \right) \Big|_{opt} \quad (14)$$

โดยที่  $e^i(k)$  คือสัญญาณคลาดเคลื่อนเวลา (Discrete Time Error Signal)  $u_{ref}^i(k) \Big|_{opt}$  คือ  $u_{ref}^i(t)$  ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่โดยใช้เวลาน้อยที่สุดในเวลา และ  $PID^{-1}(\cdot)$  แสดงการคำนวณย้อนกลับจากตัวควบคุมแบบพีไอดีในเวลา สมการที่ (2-54) จึงสามารถเขียนในเวลาได้เป็น

$$q_{pre}^i(k) = q_d^i(k) + PID^{-1} \left( u_{ref}^i(k) \right) \Big|_{opt} \quad (15)$$

ในการคำนวณเส้นทางเดินของแขนกล (Space Trajectories) โดยพิจารณาในรูปของมุมของการเคลื่อนที่โดยใช้ฟังก์ชันโพลีโนเมียลกำลังสามพิจารณาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากตำแหน่งเริ่มต้นที่เวลา  $t_0$  ไปตำแหน่งสุดท้ายที่เวลา  $t_f$  แล้วใช้จลนศาสตร์ผกผันคำนวณหามุมที่ตรงกันกับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ที่ต้องการ โดยตำแหน่งที่เริ่มต้นของแขนกลจะทราบค่าในรูปของตำแหน่งเริ่มต้นคือฟังก์ชันแต่ละข้อต่อเริ่มต้นเวลา  $t_0$  และเวลาสุดท้าย  $t_f$  ดังแสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 เส้นทางหลายทางเลือกสำหรับจุดหนึ่งจุด

ในฟังก์ชันที่ราบเรียบ (Smooth Function) ต้องทราบอย่างน้อย 4 เงื่อนไขของ  $q(t)$  โดย 2 เงื่อนไขมาจากค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้าย

$$q(0) = q_0, q(t_f) = q_f \quad (16)$$

ส่วนอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันต่อเนื่อง (Continuous)

$$\dot{q}(0) = 0, \dot{q}(t_f) = 0 \quad (17)$$

จากเงื่อนไขทั้ง 4 นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้โพลิโนเมียลดีกรีสาม (Third Degree Polynomials) หรือ Cubic ซึ่งมีรูปดังสมการ (18)

$$q(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (18)$$

ส่วนความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ในสมการ (17) และ สมการ (18) ตามลำดับ

$$\dot{q}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (19)$$

$$\ddot{q}(t) = 2a_2 + 6a_3 t \quad (20)$$

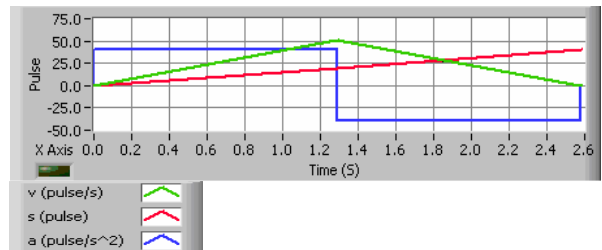
สามารถได้มาซึ่ง 4 สมการ 4 ตัวแปรตาม (20)

$$\begin{aligned} q_0 &= a_0 \\ q_f &= a_0 + a_1 t_f + a_2 t_f^2 + a_3 t_f^3 \\ 0 &= a_1 \\ 0 &= a_1 + a_2 t_f + a_3 t_f^2 \end{aligned} \quad (21)$$

หาผลลัพธ์สมการ (21) ได้ว่า

$$\begin{aligned} a_0 &= q_0 \\ a_1 &= 0 \\ a_2 &= \frac{3}{t_f^2}(q_f - q_0) \\ a_3 &= -\frac{3}{t_f^3}(q_f - q_0) \end{aligned} \quad (22)$$

สามารถใช้สมการ (22) คำนวณหาค่าตอบของโพลิโนเมียลดีกรีสามซึ่งต่อระหว่างจุดเริ่มต้นใด ๆ กับจุดสุดท้ายใด ๆ ในกรณีของการเริ่มและจุดสุดท้ายมีความเร็วเป็นศูนย์



รูปที่ 5 กราฟตำแหน่งความเร็วและความเร่ง

### 3 การหาค่าความเร็วความเร่ง

ในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนนั้นสิ่งที่ต้องสนใจในการเคลื่อนที่คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Displacement), ความเร็วของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Velocity) และความเร่งของแขนหุ่นยนต์ (Acceleration) โดยค่าต่างๆมีความหมายดังนี้

อัตราเร็ว (สัญลักษณ์:  $v$ ) คืออัตราของการเคลื่อนที่ หรือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งก็ได้ หลายครั้งมักเขียนในรูป ระยะทาง  $d$  ที่เคลื่อนที่ไปต่อ หน่วย ของ เวลา  $t$  อัตราเร็วเป็น ปริมาณ สเกลาร์ ที่มีได้เมนชัน เป็น ระยะทาง/เวลา ปริมาณ เวกเตอร์ ที่เทียบเท่ากับอัตราเร็วรู้จักกันในนาม ความเร็ว อัตราเร็ววัดในหน่วยเชิงกายภาพเดียวกับความเร็ว แต่อัตราเร็วไม่ได้มีองค์ประกอบของทิศทางแบบที่ความเร็วมี อัตราเร็วจึงเป็นองค์ประกอบที่เรียกว่า ขนาด ของความเร็ว ในรูปสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ อัตราเร็วคือ

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (23)$$

ความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ ขณะที่ อัตราเร็วที่เป็นปริมาณ

สเกลาร์ซึ่งมีปริมาณเท่ากันแต่มีทิศทางของการเคลื่อนไหวเพิ่มเข้ามา ความเร็วจึงกล่าวได้ว่าเป็นส่วนประกอบในด้านของอัตราเร็ว

ความเร่ง (Acceleration, สัญลักษณ์: a) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลง (หรืออนุพันธ์เวลา) ของความเร็ว เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีหน่วยเป็น ความยาว/เวลา<sup>2</sup> ในหน่วยเอสไอกำหนดให้หน่วยเป็น pluse/s<sup>2</sup> เมื่อวัตถุมีความเร่งในช่วงเวลาหนึ่ง ความเร็วของมันจะเปลี่ยนแปลงไปความเร่งอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ซึ่งเรามักจะเรียกความเร่งกับความหน่วง ตามลำดับความเร่งมีนิยามว่า "อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง" และกำหนดโดยสมการนี้

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} \quad (24)$$

เมื่อ

- a คือ เวกเตอร์ความเร่ง หน่วย pluse/s<sup>2</sup>
- v คือ เวกเตอร์ความเร็ว ในหน่วย pluse/s
- t คือ เวลาในหน่วยวินาที

หรือเขียนเป็นอีกสมการได้

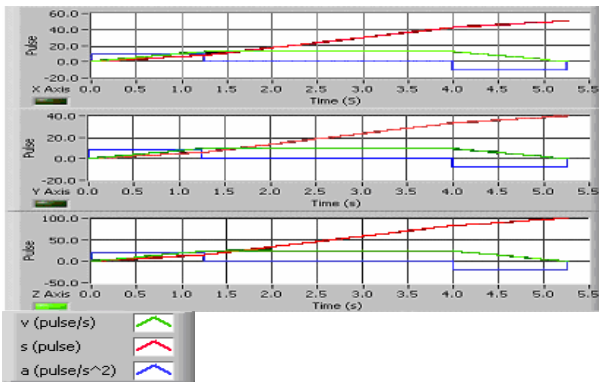
$$\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{u}}{t} \quad (25)$$

เมื่อ

- $\bar{a}$  คือ ความเร่งเฉลี่ย (pluse/s<sup>2</sup>)
- $\bar{u}$  คือ ความเร็วต้น (pluse/s)
- $\bar{v}$  คือ ความเร็วปลาย pluse
- t คือ ช่วงเวลา (s)

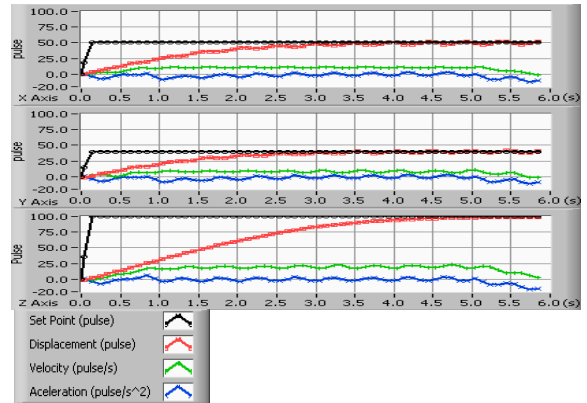
#### 4. การทดสอบและการประเมินผล

##### 4.1 ผลการทดลองการจำลองด้วยโปรแกรมระยะการเคลื่อนที่ X=50, แกน Y=40, แกน Z=100



รูปที่ 6 เป็นค่า ไม่มี PID Control แกน X=50, แกน Y=40, แกน Z=100

##### 4.2 ผลการทดลองโดยใช้ตัวควบคุม PID แกน X=50, แกน Y=40, แกน Z=100



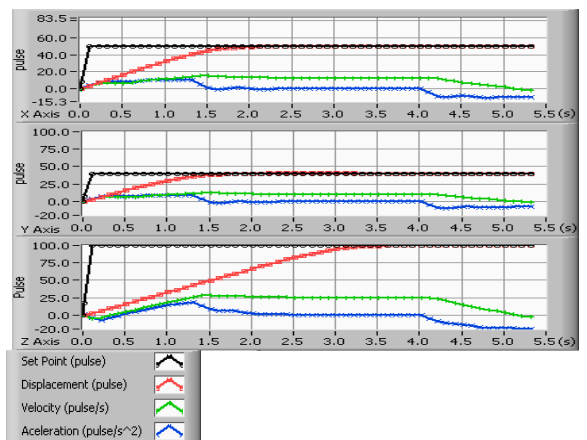
รูปที่ 7 ผลการทดลองโดยใช้ตัวควบคุม PID

ตารางที่ 1 สมรรถนะของระบบควบคุม PID

Time Delay			Rise Time			Setting Time			Overshoot		
X	y	Z	x	y	Z	x	y	Z	x	y	Z
0.4	0.4	0.3	2.1	1.6	3.6	3.0	2.5	4.5	10%	10%	0%

จากรูปที่ 7 เป็นการทดลองควบคุมระยะทางการเคลื่อนที่ของแขนกล 3 แกนเข้าสู่จุดเป้าหมายที่ตำแหน่ง แกน X=50, แกน Y=40, แกน Z=100 โดยใช้การควบคุมแบบ PID เพิ่มขึ้นพบว่าระบบมีค่าหน่วงเวลา (Time Delay) ที่แกน X= 0.4 วินาที แกน Y= 0.4 วินาที แกน Z= 0.3 วินาทีที่มีค่าเวลาไต่ระดับ (Rise Time) แกน X= 2.1 วินาที แกน Y= 3.5 วินาที แกน Z=3.6 วินาทีและมีค่าเวลาคงตัว (Setting Time) แกน X= 3.0วินาที แกน Y=2.5 วินาที แกน Z=4.5 วินาทีการเกิดค่า Overshoot แกน X =10% แกน Y=10% แกน Z= 0%

##### 4.3 ผลการทดลองโดยใช้ตัวควบคุม Optimization PID แกน X=50, แกน Y=40, แกน Z=100



รูปที่ 8 ผลการทดลองโดยใช้ตัวควบคุม Optimization PID

## ตารางที่ 2 สมรรถนะของระบบควบคุม Optimization PID

Time Delay			Rise Time			Setting Time			Overshoot		
x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
0.5	0.5	0.5	1.5	1.3	3.5	2.0	1.7	3.5	0%	0%	0%

จากรูปที่ 8 เป็นการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 3 แกนเข้าสู่จุดเป้าหมายที่ตำแหน่ง แกน X=50, แกน Y=40, แกน Z=100 โดยใช้การควบคุมแบบ PID เพิ่มขึ้นพบว่าระบบมีค่าห้วงเวลา (Time Delay) ที่แกน X= 0.5 วินาที แกน Y= 0.5 วินาที แกน Z= 0.5 วินาทีที่มีค่าเวลาไต่ระดับ (Rise Time) แกน X= 1.5 วินาที แกน Y= 1.3 วินาที แกน Z=3.5 วินาทีและมีค่าเวลาคงตัว (Setting Time) แกน X= 2.0 วินาที แกน Y=1.7 วินาที แกน Z=3.5 วินาทีและโดยไม่มี Overshoot

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า Optimization PID ทำให้ระบบเข้าสู่ระดับอ้างอิงเร็วขึ้นและลดการ Overshoot ได้เมื่อเปรียบเทียบกับใช้ PID แบบธรรมดาและถ้าเปรียบเทียบกับโดยใช้ PID จะทำเวลาที่เร็วกว่า

### 5.สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองได้ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ตำแหน่งของแขนกลแบบคาร์ทีเซียนโดยมีการใช้ optimization ในการเคลื่อนที่ของแขนกลเข้าสู่เป้าหมายที่กำหนดและในขั้นตอนการทดลองได้ทำการสร้างโปรแกรมควบคุมระบบจำลองขึ้นมาเพื่อตรวจสอบผลการเคลื่อนที่ทั้งการเคลื่อนที่ แกน X แกน Y และแกน Z โดยในส่วน 3 แกน เพื่อให้การเคลื่อนที่ของแขนกลมีเส้นทางที่ถูกต้องและใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อการเคลื่อนที่ที่รวดเร็วได้สร้างระบบการเคลื่อนที่แบบปรับค่าเพื่อให้โปรแกรมสามารถการเคลื่อนที่ของแต่ละมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันโดยการนำเอาค่าตำแหน่งของแต่ละแกนทำการคำนวณและประมวลผลหาค่าการขยายที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งไปขับที่ตัวมอเตอร์ต่อไป

ผลการทดลองของการทำวิจัยพบว่าระบบการใช้ optimization เป็นการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานในการเคลื่อนที่ของแขนกลจึงทำให้ผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งเงื่อนไขต่างๆของระบบเคลื่อนที่ได้โดยง่ายรวมทั้งการใช้ optimization และจากการทดลองการควบคุมแขนกลแบบ 3 แกนด้วยวิธีการแยกควบคุมและแบบปรับค่าการขยายของสัญญาณแอมป์โดยใช้ตัวแปรคือระยะทางของตำแหน่งแต่ละแกนนำมาเพื่อทำการคำนวณและนำไปปรับค่าการขยายและนำไปควบคุมมอเตอร์พบว่าการเคลื่อนที่แบบปรับอัตราขยายจะทำให้เส้นทางเคลื่อนที่ของแขนกลมีเส้นทางที่เป็นเส้นตรงและสั้นและยังทำให้การเคลื่อนที่แต่ละแกนของแขนกลมีการเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นโดยจะดูได้จากเส้นแสดงความเร่งความเร็วและระยะทางของแต่ละแกน

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Pfeiffer, F. and Johanni, R. (1987). A concept for manipulator trajectory planning. IEEE Journal of Robotics and Automation, 3(2), 115-123
- [2] Rana, A. S. and Zalzal, A. M. S. (1996). Near time-optimal collision-free motion planning of robotic manipulators using an evolutionary algorithm. Robotic
- [3] R K Mittal and I J Nagrath "Robotics and Control" Birla Institute of Technology and Science,
- [4] Tata MacGraw-Hill Publishing Company Limited New Delhi. 2004