

กลไกการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลาโดยใช้การหมุนของแผ่นจาน

The New Heaving Angle Adjustable Mechanism for Fish Robot Using the Two-contacted discs

อมรพันธุ์ พันธุ์โอภาส^{1*} และ สโรจ ไทรเมฆ²

สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9690 โทรสาร 0-2470-9703 *อีเมล amorn@fibo.kmutt.ac.th, saroj@fibo.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

กลไกการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ปลามีหลากหลายแบบโดยมีรูปแบบการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของปลาจริงที่มีรูปแบบการว่ายน้ำแบบ BCF (Body/Caudal fin) การออกแบบและจัดสร้างกลไกแบบใช้จานหมุนเป็นการควบคุมการหมุนโดยใช้กลไกมาเป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์เพื่อลดความสูญเสียทางกลที่ต้องแปลงกลับไปกลับมาระหว่างการหมุนและการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาอีกประการหนึ่งยังมีกลไกปรับความเอียงของแผ่นจานทำให้สามารถที่จะศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาได้มากขึ้น เช่น ความเร่ง ความเร็วและการชะลอความเร็ว เป็นต้น โดยสามารถสร้างรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาที่ว่ายน้ำด้วยความเร็วต่างๆ ขณะที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมการสับของหาง (heaving tail) ไปได้พร้อมกันหุ่นยนต์ปลาประกอบด้วยชิ้น ต่อโยง 3 ชิ้น คือ ส่วนลำตัว ส่วนหาง (heaving tail) และส่วนครีบหาง(และนำเสนอการทดสอบการว่ายน้ำเบื้องต้นที่มุมหาง ± 20 องศา 3 เฮิรตซ์ ว่ายน้ำได้ด้วยความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที)

Abstract

There are many kinds of fish robot mechanisms to sweep its tail back and forth. The mimic fish robot is from the life fish which swim in the BCF (Body/Caudal fin) swimming mode. The mechanism-designed uses the mechanism of the two contacted discs. It uses one direction of motor rotation to sweep the heaving tail. In this way, there is no mechanical lost in changeably turning direction of mechanism. By the way, this mechanism is able to adjust the angle of the discs as well as the wider of study such as acceleration and retardation of fish robot. The method assign to the motion of fish robot in various velocity while the heaving tail angle is been adjusting. The fish robot consists of 3 links are body link, heaving tail link and caudal fin link. The primary test is as ± 20 degrees of amplitude of heaving

angle and 3 Hz of frequency. The fish robot reached velocity of 0.2 m/s.

1. บทนำ

เซอร์เจมส์ เกรย์[1] ได้แสดงให้เห็นถึงความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเรียกว่า Gray's Paradox ในปี ค.ศ.1935 เขากล่าวว่า ถ้าแรงต้านของโลมาขณะว่ายน้ำเท่ากับแบบจำลองที่ไม่เคลื่อนที่ที่ถูกลากไปด้วยความเร็วเท่ากัน กล้ามเนื้อของโลมาจะต้องสามารถสร้างกำลังอย่างน้อยเจ็ดเท่าของกล้ามเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ถึงแม้ว่างานวิจัยดังกล่าวไม่ได้กล่าวถึงการว่ายน้ำของปลาโดยตรง แต่เนื่องจากถิ่นที่อยู่และการดำเนินชีวิตของปลาและโลมามีส่วนคล้ายกัน ความเข้าใจที่ได้จากการศึกษาการว่ายน้ำของปลาโลมา จึงน่าจะสมารถนำไปใช้อธิบาย ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับการว่ายน้ำของปลาได้ ซึ่งภายหลังถูกนำมาพิจารณาแรงผลักดันสำหรับการเคลื่อนที่ของปลา อันเป็นองค์ความรู้ทางด้านชีววิทยาที่นักวิจัยนำมาใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม สำหรับจุดมุ่งหมายทางด้านวิศวกรรม การศึกษาการเคลื่อนที่ของปลาจริงนั้นทำได้ยาก ดังนั้นหนทางการศึกษาการเคลื่อนที่ของปลาทางวิศวกรรม จึงได้สร้างหุ่นยนต์ปลาเพื่อที่จะลอกเลียนแบบการเคลื่อนที่ของปลาจริง หุ่นยนต์ปลาตัวแรกของโลกเป็นผลงานของสถาบันวิจัยวิศวกรรมทางทะเลแห่งเอ็มไอที [2] คือ Charlie I หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า Robotuna โดยเป็นหุ่นยนต์ปลาที่ลอกเลียนแบบมาจากปลาหูฉลามครีบน้ำเงิน กลไกภายในประกอบด้วยดีซีเซอร์โวมอเตอร์ 6 ตัว กับลูกโลกและสายเคเบิล การพัฒนาการสร้างหุ่นยนต์ปลาเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้หุ่นยนต์ที่สามารถว่ายน้ำได้อย่างเป็นอิสระ [3] นอกจากนี้ยังมีกลุ่มนักวิจัยหรือองค์กรต่างๆ ที่ได้พัฒนาหุ่นยนต์ปลาขึ้นมาด้วยเช่นกัน [4,5] หุ่นยนต์ปลาส่วนใหญ่จะใช้พลังงานทางไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน แม้กระทั่งการใช้ตัวขับเคลื่อนที่แตกต่างกัน เช่น กลไกเหนี่ยวนำแผ่นฟิล์มด้วยไฟฟ้า ICPF [6] แต่พลังงานไม่มากพอที่จะขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลาได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นดีซีมอเตอร์ยังคงเป็นตัวขับเคลื่อนที่ดีที่สุด ทั้งด้านราคาและการติดตั้งใช้งาน

การลอกเลียนแบบการเคลื่อนที่ของปลา หุ่นยนต์ปลาต้องการความสามารถในการปรับมุมและความถี่ต่างๆกันในการเคลื่อนที่ของหาง ผู้ออกแบบหุ่นยนต์ปลาส่วนใหญ่ใช้การควบคุมมอเตอร์โดยตรงหรือกลไกที่จะเปลี่ยนการหมุนของมอเตอร์ไปสู่การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา เช่น กลไก four-bar linkage และ กลไก slider-crank เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้เพียงกลไกเหล่านี้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถเปลี่ยนแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาได้ หรือการใช้ซีเซอร์ไว้มอเตอร์โดยบังคับให้เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมามีปัญหาในด้านกำลังที่ไม่เพียงพอ ทางออกของปัญหานี้ทำได้โดยการใช้ไฮดรอลิก [3] หรือการใช้ซีมอเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้น แต่ระบบดังกล่าวมีราคาสูงและอาจจะไม่เหมาะสม ดังนั้นกลไกแบบใหม่จึงมีความจำเป็นที่จะถูกนำมาใช้เพื่อสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความถี่ต่างๆ และสามารถปรับแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของมุมได้ด้วย

วัตถุประสงค์ข้างต้นจึงได้ออกแบบกลไกที่เรียกว่า กลไกการหมุนของแผ่นจานเพื่อนำมาใช้ในหุ่นยนต์ปลาขนาดเล็ก โดยทั่วไปหุ่นยนต์ปลาที่สามารถว่ายน้ำได้อย่างรวดเร็วจะมีองศาอิสระ 2 องศาอิสระเพื่อสร้างแรงผลักดันให้กับหุ่นยนต์ปลา ได้แก่ มุม heaving และมุม pitching โดยที่มุม heaving หมายถึงมุมเคลื่อนที่ที่โคนหาง และมุม pitching หมายถึงมุมเคลื่อนที่ที่ครีบทหาง ข้อสังเกตคือ ปลาที่ว่ายน้ำด้วยความเร็วจะมีมุมที่โคนหางสัมพันธ์กับความเร็ว โดยปลาที่ว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว จะไม่สามารถว่ายน้ำถอยหลังได้ ดังนั้นจึงได้ใช้กลไกการควบคุมมุมที่โคนหางในการวิจัยเท่านั้น

เนื้อหาในบทความอธิบายถึงการทำงานของกลไก ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของแผ่นจานและการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของโคนหาง เนื้อหาต่อมาเป็นแบบจำลองของแรงผลักดันของหุ่นยนต์ปลาที่เกิดจากกลไก จากนั้นเป็นการประยุกต์โมเดลแรงผลักดันให้กับสมการการเคลื่อนที่และแสดงผลเป็นกราฟ เนื้อหาสุดท้ายเป็นการสรุปผล

2. การออกแบบกลไกและการทำงานของกลไก

กลไกการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลาโดยใช้การหมุนของแผ่นจาน ใช้ดีซีมอเตอร์ และเซอร์ไว้มอเตอร์ ในการควบคุมความเร็วและแอมพลิจูดระหว่างการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา มอเตอร์ทั้งสองจึงต้องการ

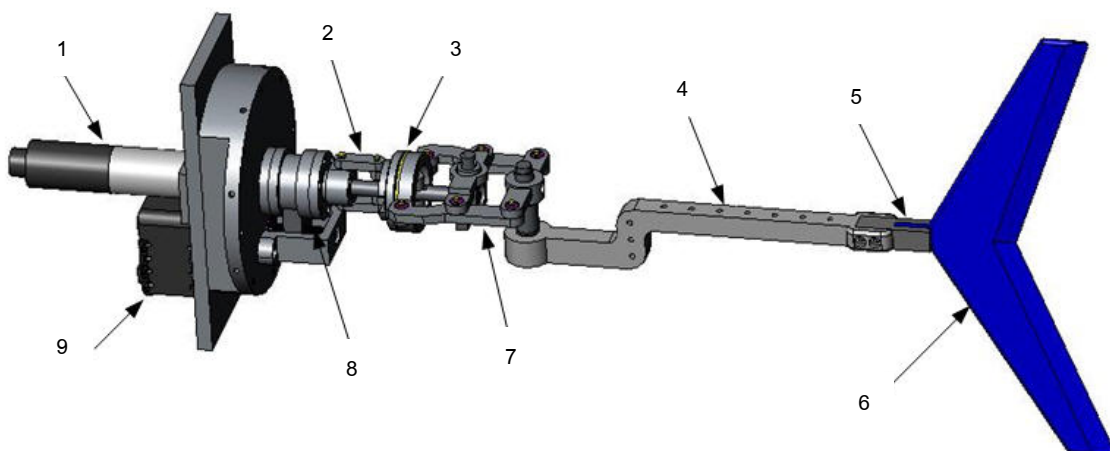
พลังงานที่สูงกว่าการหมุนโดยปกติในกลไกการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา อย่างไรก็ตามการออกแบบกลไกการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลาโดยใช้การหมุนของแผ่นจานแบบนี้ก็ลดปัญหานี้เข้าไปได้มาก

แนวความคิดของกลไกการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลาโดยใช้การหมุนของแผ่นจานมาจากกลไก swashplate ในระบบไฮดรอลิก และกลไกการปรับเอียงของโรเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งมีมอเตอร์สองตัว คือ มอเตอร์ตัวขับ และมอเตอร์ตัวปรับ ในการควบคุมความเร็วและแอมพลิจูด การประกบกันของแผ่นจานสองแผ่นจะปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนไปสู่การเคลื่อนที่สู่การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาถูกถ่ายทอดสู่กลไกการเคลื่อนที่การสะบัดของหางในส่วนของการ heaving ด้วยกลไก four-bar linkage จะสังเกตว่าแผ่นจานที่อยู่ทางด้านซ้ายจะถูกกำหนดอยู่กับมอเตอร์ตัวขับ ขณะที่แผ่นจานด้านขวาจะถูกกำหนดอยู่กับกลไก four-bar linkage ดังนั้นจึงต้องการการหล่อลิ้นในกลไกด้วย กลไกที่ออกแบบนี้ใช้ความเร็วต่ำกว่า 120 รอบต่อนาที วงแหวนทองเหลืองจะอยู่ระหว่างการประกบของแผ่นจานทั้งสองแผ่น มอเตอร์ตัวขับจะขับเคลื่อนจากทางด้านของแผ่นจานทางด้านซ้ายดังรูปที่ 1 กลไก slider-crank ดังรูปที่ 2 ได้ต่อกับแผ่นจานทางด้านซ้าย การปรับความเอียงของแผ่นจานทำโดยกลไก slider-crank ควบคุมโดยมอเตอร์ตัวปรับ

การยึดระดับความเอียงของแผ่นจาน กลไกที่จะยึดให้แผ่นจานเอียงอยู่ได้ ณ มุมเอียงนั้นด้วยสกรูที่ใช้ปรับระยะของกลไก slider-crank



รูปที่ 1 กลไกภายในของหุ่นยนต์ปลา



รูปที่ 2 กลไกต่างๆ ดังนี้ 1)มอเตอร์ตัวขับ 2)กลไก slider-crank 3)กลไกแผ่นจานหมุน 4)โคนหาง 5)ยาง 6)ครีบทหาง 7)four bar linkage 8)กลไกสกรู 9)มอเตอร์ตัวปรับ

แม้ว่าในขณะการขับเคลื่อนของกลไกการหมุนของแผ่นจานจะมีความไม่สมดุลของมวล แต่ในการทดลองเบื้องต้นก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงสมดุลของมวลภายในหุ่นยนต์ปลาที่ส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่

3 คิเนมาติกส์

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุม heaving และมุมเอียงของแผ่นจาน จากหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนของแผ่นจานที่หมุนเป็นคาบไปสู่การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาของหาง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงต้องหาความสัมพันธ์เพื่อที่จะทราบมุม heaving เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาของหาง

การปรับความเอียงของแผ่นจานถูกปรับโดยการหมุนกรูตามเข็มนาฬิกา ทำให้เกิดการเพิ่มระยะ $X(t)$ ในทางกลับกันการหมุนสกรูไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะลดระยะ $X(t)$ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3 ใช้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตจากรูปที่ 3 จะได้สมการดังต่อไปนี้

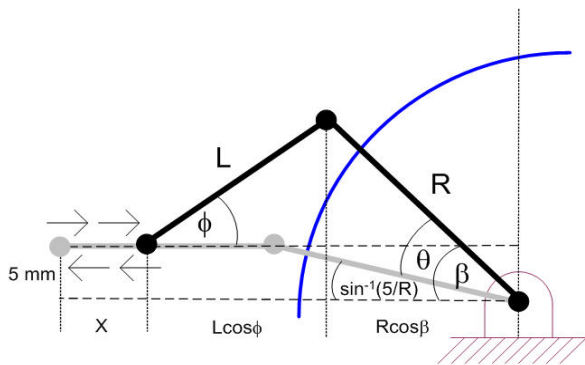
$$X(t) = \frac{\alpha a(t)}{2\pi} \quad (1)$$

$$\beta(t) = \tan^{-1} \left(\frac{b - \sqrt{b^2 + a^2 - c^2}}{a + c} \right) \quad (2)$$

$$\theta(t) = \beta(t) - \sin^{-1}(5/R) \quad (3)$$

$$\gamma_1(t) = \sin^{-1}(\sin \theta(t) \sin \alpha_d(t)) \quad (4)$$

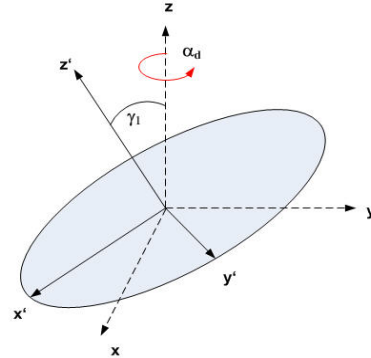
โดย $\gamma_1(t)$ คือ มุม heaving $\alpha_d(t)$ คือ มุมการหมุนของมอเตอร์ตัวขับ $\alpha_a(t)$ คือ มุมการหมุนของมอเตอร์ตัวปรับ θ (เรเดียน) คือ แอมพลิจูดของหาง L คือ ระยะของ ชิ้นต่อโยง 1 เท่ากับ 19 มิลลิเมตร และ R คือ ระยะของ ชิ้นต่อโยง 2 เท่ากับ 22 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 slider-crank mechanism

ระยะพิชของสกรู คือ 1 มิลลิเมตร การปรับระยะ $X(t)$ ด้วยการหมุนของสกรู จะอยู่ในช่วง 0-11 มิลลิเมตร ดังนั้นจากความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต แผ่นจานสามารถที่จะเอียงได้ 0-38 องศา การเอียงของแผ่นจานสัมพันธ์ตามสมการ (2) และสมการ (3) ด้วยการแก้สมการ transcendental equation อินเวอร์สคิเนมาติกส์ของกลไก slider-crank แสดงในสมการ (2) ส่วนรายละเอียดของฟอร์เวิร์ดคิเนมาติกส์ของกลไก

slider-crank และสัมพันธ์ในสมการ (2) แสดงในภาคผนวกตอนท้าย

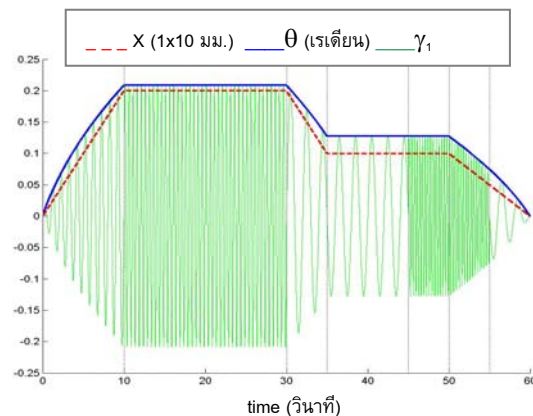


รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองการหมุนของแผ่นจานที่เอียง

รูปที่ 4 แสดงถึงการหมุนของแผ่นจานซึ่งจะหมุนตามลำดับดังนี้ โดยปรับความเอียงของแผ่นจาน $R_x(\theta)$ และการหมุนของมอเตอร์ตัวขับ $R_z(\alpha_d)$ ดังสมการที่ (4) ซึ่งจะบอกความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนของแผ่นจานและการหมุนของมอเตอร์ตัวขับรอบแกน z จากรูปที่ 5 แสดงการจำลองการทำงานของกลไกในการรวมเอากลไกการหมุนของแผ่นจาน และกลไก four-bar linkage เข้าด้วยกัน สถานการณ์การจำลองการทำงานของกลไกแสดงในตารางที่ 1 โดยการกำหนดค่า α_d (เรเดียน) และ f_d (เฮิรตซ์) เพื่อที่จะทราบค่า X (มิลลิเมตร) และ θ (เรเดียน)

ตารางที่ 1 สถานการณ์การจำลองการทำงานของกลไก

Time (วินาที)	α_a (เรเดียน)	f_d (เฮิรตซ์)	X (มิลลิเมตร)	θ (เรเดียน)
0 - 10	0-12.5	1.0	0 - 2	0-0.2
10 - 30	12.5	2.0	2.0	0.2
30 - 35	12.5-6.3	0.5	2.0 - 1.0	0.2-0.1
35 - 45	6.3	0.5	1.0	0.1
45 - 50	6.3	3.0	1.0	0.1
50 - 55	6.3-3.1	3.0	1 - 0.5	0.1-0.07
55 - 60	3.1	0.5	0.5 - 0	0.07-0



รูปที่ 5 กราฟจากสถานการณ์การจำลองการทำงานของกลไก

4 แบบจำลองของแรงผลัก

หุ่นยนต์ปลาประกอบไปด้วย 3 ชิ้นต่อโยง ได้แก่ ส่วนลำตัว(body) ส่วนโคนหาง(heaving tail) และส่วนครีบหาง(caudal fin) เชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อแบบหมุน ด้วยมุม γ_1 และ γ_2 ดังรูปที่ 6 ในการจำลองแรงผลักโดยง่ายสมมติให้ครีบหางเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมบาง(แม้ว่าลักษณะของครีบจริงจะเป็นแบบวงพระจันทร์) พิจารณาแรงที่ครีบหางแบบ 2 มิติโดยใช้ ทฤษฎี quasi-steady โดยไม่คิดแรงไฮโดรไดนามิกส์ที่ลำตัวของหุ่นยนต์ปลา ความเร็วของครีบหางที่ระยะหนึ่งในสี่ของครีบหางนั้นแสดงในสมการ (5)

$$\vec{v}_{qc} = \begin{pmatrix} \dot{x} + l_1 \dot{\gamma}_1 \sin \gamma_1 + \frac{l_2}{4} \dot{\gamma}_{12} \sin(\gamma_1 + \gamma_2) \\ \dot{y} - l_1 \dot{\gamma}_1 \cos \gamma_1 - \frac{l_2}{4} \dot{\gamma}_{12} \cos(\gamma_1 + \gamma_2) \end{pmatrix} \quad (5)$$

ส่วนแรงยก [7] ที่กระทำกับครีบหางดังสมการ (6)

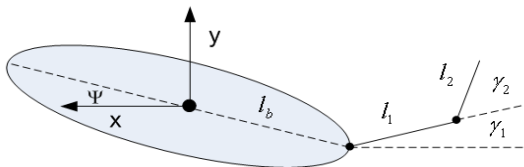
$$F_L = \pi \rho A (V_{qc} \times l_e) \times V_{qc} \quad (6)$$

$$l_e = - \begin{bmatrix} \cos \gamma_{12} \\ \sin \gamma_{12} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

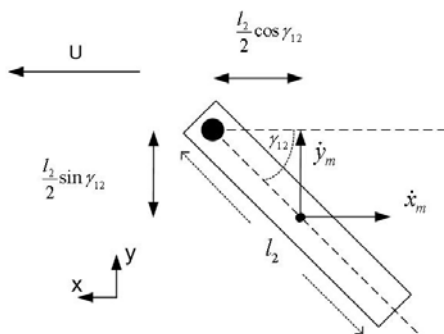
โดย l_e คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ใช้แตกเวกเตอร์ F_L ไปเป็น F_{Lx} และ F_{Ly} จะสังเกตว่ากลไกที่ได้ออกแบบนั้นไม่มีมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมมุมในการเคลื่อนที่ของครีบหาง γ_2 แต่ได้ใช้เป็นยางที่มีความยืดหยุ่นเป็นข้อต่อแทนเพื่อชดเชยพลังงานบางส่วน [8] ซึ่งการเคลื่อนที่มุมที่ครีบหาง γ_2 จะสัมพันธ์กับมุมที่โคนหาง γ_1 ไฮโดรไดนามิกส์โมเมนต์ของ γ_2 จะกระทำที่จุดศูนย์กลางของครีบหางดังสมการ (8)

$$\tau = -\pi \frac{l_2^2}{4} (\dot{x}_m \dot{y}_m \cos(2\gamma_{12}) + \frac{(\dot{y}_m^2 - \dot{x}_m^2)}{2} \sin(2\gamma_{12})) \quad (8)$$

โดย x_m, y_m คือ จุดกึ่งกลางของครีบหาง



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างหุ่นยนต์ปลา 2 ข้อต่อ



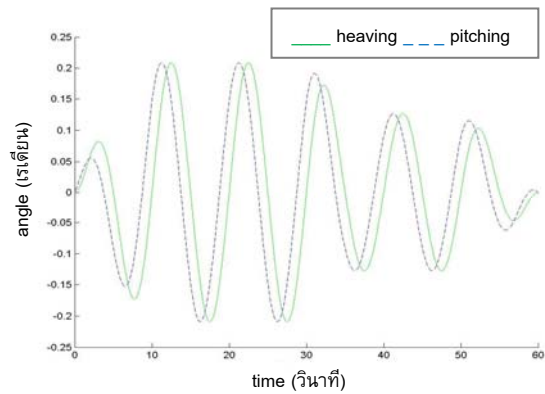
รูปที่ 7 โมเมนต์ที่กระทำกับลำตัวจากแรงที่จุดกึ่งกลางของครีบหาง

เนื่องด้วยกลไกไม่มีมอเตอร์ที่ข้อต่อระหว่างโคนหาง และครีบหาง การทำนายมุมที่โคนหางจึงได้ใช้การเลื่อนของเฟสระหว่างโคนหาง และครีบหาง ดังสมการที่ (10) รูปที่ 8 ได้แสดงการเลื่อนของเฟสระหว่างโคนหาง และครีบหาง ด้วยการเลื่อนของมุมที่ $\pi/4$ เรเดียน จากกราฟได้อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่หนึ่งแต่ใช้ค่า f_d เท่ากับ 0.1 เฮิรตซ์ ตลอดการทำงาน การเลื่อนของเฟสขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นต่างกัน ด้วยการจำลองการเลื่อนของเฟสนี้ก็เพื่อจำลองหามุมที่ครีบหาง

$$\gamma_{12}(t) = \gamma_1(t) + \gamma_2(t) \quad (9)$$

$$\gamma_{12}(t) = \dot{\gamma}_{12} dt + \varphi \quad (10)$$

โดย φ คือ มุมการเลื่อนของเฟสระหว่างโคนหาง และครีบหาง



รูปที่ 8 การเลื่อนเฟสของโคนหาง และครีบหาง ที่มุม $\pi/4$ เรเดียน

5. สมการการเคลื่อนที่

สมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลา ได้สมมติให้หุ่นยนต์ปลาเป็นมวลทรงกระบอก [9] และพิจารณาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาในแนวระนาบการเคลื่อนที่ x และ y หุ่นยนต์ปลาถูกสมมติให้เป็นมวลก้อนหนึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามหุ่นยนต์ปลาวางอยู่ในของเหลวที่มีสภาวะไม่มีความหนืด ไม่มีการหมุนวน และไม่บีบอัดตัวแรงหลักและแรงกระทำภายนอกที่กระทำกับหุ่นยนต์ปลาได้ถูกประยุกต์เข้าสู่สมการการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะลดทอนบางทอนออกไปและพิจารณาแต่ทอนที่อยู่ในระนาบ จึงเหลือ 3 องศาอิสระ ดังสมการ (11)

$$\begin{bmatrix} m_b \ddot{x} \\ m_b \ddot{y} \\ I_{zz} \ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{Lx} - D_{b,x} \\ F_{Ly} - D_{b,y} \\ \tau + (x_m, y_m) \times (F_{Lx}, F_{Ly}) - \frac{1}{2} C_D \dot{\psi} \|\dot{\psi}\| \end{bmatrix} \quad (11)$$

แรงต้านที่กระทำต่อหุ่นยนต์ปลาดังสมการ (12)

$$D_{b,qb} = \frac{1}{2} C_D \dot{q}_b \|\dot{q}_b\| \quad (12)$$

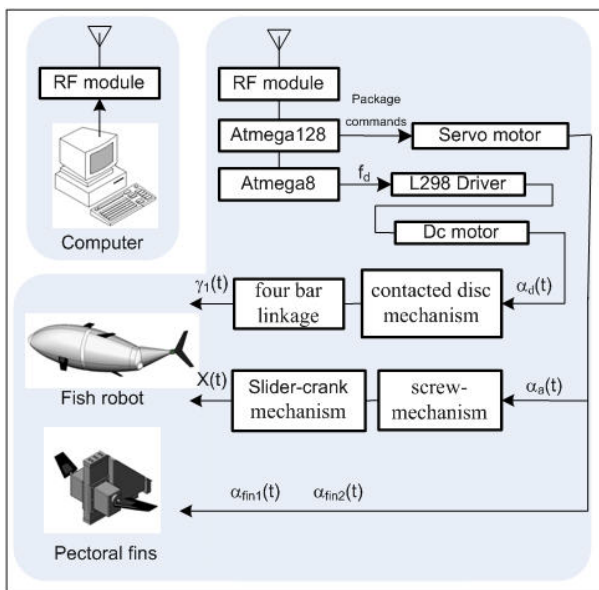
โดย C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้าน และ q_b คือ โคออดิเนตที่สนใจ

6 การควบคุม

การควบคุมใช้การควบคุมแบบวงเปิด ในการเคลื่อนที่ของมุมโคนหาง γ_1 มาจากการหมุนของมอเตอร์ตัวขับ α_d เพื่อที่จะได้ตำแหน่งของ

โคנהที่ต้องการตั้งสมการ (4) ในบล็อก contacted discs mechanism และ four bar linkage ซึ่ง γ_1 ประมาณค่าได้จากความถี่ของมอเตอร์ตัวขับ f_d แอมพลิจูดมุมโคנה θ มาจากการปรับระยะ $X(t)$ สมการ (1) สมการ (2) และสมการ (3) เพื่อที่จะได้ตำแหน่งของโคנהที่ต้องการตั้งสมการ (4) ในบล็อก screw-mechanism และ slider-crank mechanism เซอร์โวมอเตอร์มีมุม α_a แสดงในรูป 9 การพิจารณาระบบควบคุมดังนี้

หุ่นยนต์ปลาควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega128 และ Amega8 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega128 เป็นตัวประมวลผลกลางที่มีโครงสร้างการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยผู้ใช้งานจะส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์มาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยโมดูลรับส่งคลื่นความถี่ที่ความถี่ 433 เมกะเฮิร์ตซ์ ด้วยการเชื่อมต่อแบบพอร์ตอนุกรม RS232 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega128 จะส่งคำสั่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Amega8 ซึ่งจะสร้างสัญญาณ PWM ให้กับตัวขับมอเตอร์เพื่อจะขับมอเตอร์ตัวขับไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega128 ยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลแบบแพ็คเกจเพื่อไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ต่างกัน คือ เซอร์โวมอเตอร์ที่ครีbsd้านข้าง และเซอร์โวมอเตอร์ที่ปรับความเอียงของแผ่นจาน ซึ่งเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม RS485 แบบ half duplex กล้องที่ใส่ชุดควบคุมแสดงดังรูปที่ 10 a ซึ่งจะประกอบไปด้วยบอร์ดควบคุมและชุดสื่อสารแบบไร้สาย รูปที่ 10 b แสดงบอร์ดขับดีซีมอเตอร์ โดยใช้ชิป L298 ต่อกันแบบขนาน รองรับกระแสถึง 4A



รูปที่ 9 ผังการควบคุมของหุ่นยนต์ปลา



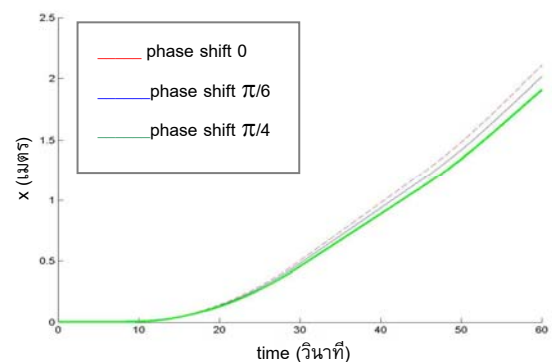
รูปที่ 10 a) กล้องควบคุม b) บอร์ดขับดีซีมอเตอร์

7. แบบจำลองการเคลื่อนที่

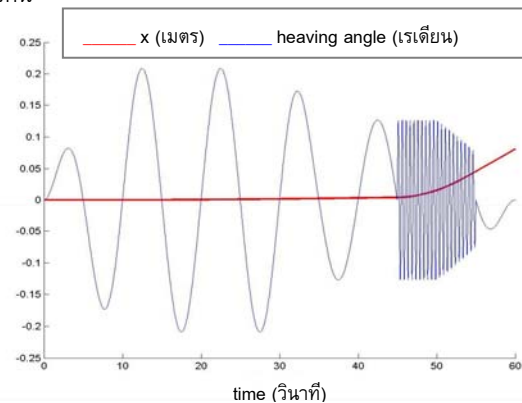
การแก้สมการการเคลื่อนที่เพื่อวิเคราะห์ถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ตามกลไกที่ออกแบบในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ปลา เพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากในการแก้สมการการเคลื่อนที่จึงได้ใช้การอินทิเกรตเชิงตัวเลขในการหาคำตอบของสมการ สถานการณ์ของการจำลองการเคลื่อนที่ที่ประยุกต์ให้กับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาอ้างอิงจากตารางที่ 1 และพารามิเตอร์ต่างๆ อ้างอิงตามตารางที่ 2 ความแตกต่างกันของการเคลื่อนที่ของเฟสต่างๆระหว่างโคנה และครีbsd้านแสดงดังรูปที่ 11

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของหุ่นยนต์ปลา

Component	Parameter	Value
body	length (l_b)	54 เซนติเมตร
	width	22 เซนติเมตร
	Mass (m_b)	6.77 กิโลกรัม
peduncle	length (l_1)	21 เซนติเมตร
	mass (m_1)	0.2 กิโลกรัม
tail fin	chord (l_2)	9 เซนติเมตร
	span	25 เซนติเมตร
	mass (m_2)	0.03 กิโลกรัม
total	length (l)	84 เซนติเมตร
	mass (m)	7 กิโลกรัม

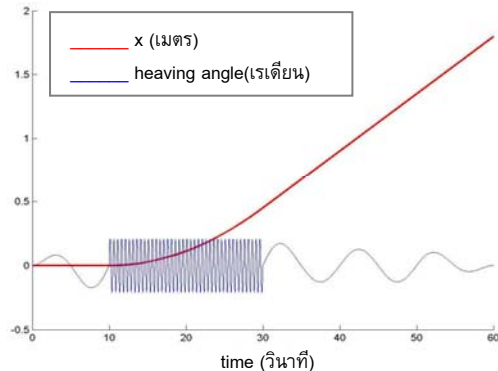


รูปที่ 11 จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาในแนวแกน x ที่เฟสต่างกัน



รูปที่ 12 จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาในแนวแกน x ที่โคנהและครีbsd้านเฟสเดียวกัน

ในรูปที่ 12 ได้สมมติสถานการณ์การเคลื่อนที่ตามตารางที่ 1 แต่ได้ปรับเปลี่ยนความถี่โคนหาง f_d กำหนดให้โคนหาง และครีบหางเคลื่อนที่ด้วยเฟสเดียวกัน ในช่วงเวลาระหว่าง 0-45 วินาที ความถี่ $f_d = 0.1$ เฮิรตซ์ ในช่วงเวลาระหว่าง 45-55 วินาที ปรับเพิ่มความถี่ $f_d = 2$ เฮิรตซ์ ในช่วงเวลาระหว่าง 55-60 วินาที ปรับลดความถี่ $f_d = 0.1$ เฮิรตซ์



รูปที่ 13 จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ปลาในแนวแกน x ที่โคนหางและครีบหางเฟสเดียวกัน

ในรูปที่ 13 ได้สมมติสถานการณ์การเคลื่อนที่ตามตารางที่ 1 แต่ได้ปรับเปลี่ยนความถี่โคนหาง f_d กำหนดให้โคนหาง และครีบหางเคลื่อนที่ด้วยเฟสเดียวกัน ในช่วงเวลาระหว่าง 0-10 วินาที ความถี่ $f_d = 0.1$ เฮิรตซ์ ในช่วงเวลาระหว่าง 10-30 วินาที ปรับเพิ่มความถี่ $f_d = 2$ เฮิรตซ์ ในช่วงเวลาระหว่าง 30-60 วินาที ปรับลดความถี่ $f_d = 0.1$ เฮิรตซ์ ทั้ง 2 กรณี จากรูปที่ 12 และรูปที่ 13 มีการเปลี่ยนความถี่ของโคนหาง ณ ช่วงเวลาต่างๆ จะพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ที่สูงขึ้นระยะทางที่หุ่นยนต์ปลาเคลื่อนที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน



รูปที่ 14 การว่ายน้ำของหุ่นยนต์ปลา

ความเร็วที่ทดสอบกับหุ่นยนต์ปลาขณะว่ายน้ำประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที ที่ความถี่ 3 เฮิรตซ์ ที่มุมโคนหาง ± 20 องศา ดังรูปที่ 14

8 สรุป

ออกแบบกลไกการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ปลาที่มีรูปแบบการว่ายน้ำต่างๆ เช่น การว่ายน้ำ และการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง หุ่นยนต์ปลาที่ออกแบบมีความสามารถในการปรับมุมแอมพลิจูดของโคนหางและความถี่ของโคนหางได้ในขณะเดียวกันขณะที่ว่ายน้ำ กลไกภายในลดการรั่วซึมเนื่องจากการประกอบกันของกลไกที่เป็นการหมุนเพื่อการเคลื่อนที่ของโคนหาง

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Gray, "The propulsive powers of the dolphin," Journal of Experimental Biology, pp.192-199. August 1935.
- [2] Michael Sfakiotakis, David M. Lane, and J. Bruce C. Davies, "Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion", IEEE Journal of Oceanic engineering, vol.24, no.2, pp.237-259, 1999.
- [3] J. M. Anderson and P.A. Kerrebrock, "The Vorticity Control Unmanned Undersea Vehicle(VCUUV)-An autonomous vehicle employing fish swimming propulsion and maneuvering," in Proc.10th Int.Symp.Unmanned Untethered Submersible Technology, pp.189-195, 1997.
- [4] Junzhi Yu, Shuo Wang and Min Tan, "A simplified propulsive model of bio-mimetic robot fish and its realization", Robotica, Volume 23, Issue 01, pp. 101-107, Jan 2005.
- [5] J. M. Anderson, and N. K. Chhabra, "Maneuvering and stability performance of a robotic tuna", Integrative and Comparative Biology, Vol: 42, issue: 5, pp: 1026-1031, Nov 2002.
- [6] S. Guo and et al., "A New Type of Fish Like Underwater Microrobot", IEEE Transactions on Mechatronics, Vol. 8, pp. 136-141, March 2003.
- [7] K. A. Morgansen, V. Duijndam, R. J. Mason, J. W. Burdick and R. M. Murray, "Nonlinear Control Methods for Planar Carangiform Robot Fish Locomotion," Proc. 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 427-434.
- [8] Karen A. Harper, Matthew D. Berkemeier, and Sheryl Grace, "Modeling the Dynamics of Spring-Driven Oscillating-Foil Propulsion", IEEE Journal of Oceanic engineering, vol.23, no.3, pp. 285-296, 1998.
- [9] Deng, Z.; Richmond, M. C.; Simmons, C.; Carlson, T. Six degrees of freedom sensor fish design:Governing equations and motion modeling. Technical Report PNNL-14779, Pacific Northwest National Laboratory, 2004.

ภาคผนวก

$$X(t) = L \left[1 - \left(1 - \left(\frac{R}{L} \sin \beta(t) - \frac{5}{L} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] + R \left(\cos(\sin^{-1}(5/R)) - \cos \beta(t) \right)$$

$$a = \frac{2RX(t)}{L^2} - \frac{2R}{L} - \frac{R^2 2 \cos(\sin^{-1}(5/R))}{L^2}$$

$$b = \frac{-2R5}{L^2}$$

$$c = \frac{-5^2}{L^2} + \frac{2X(t)}{L} - \frac{X^2(t)}{L^2} - \frac{2R \cos(\sin^{-1}(5/R))}{L} - \frac{R^2 \cos^2(\sin^{-1}(5/R))}{L^2}$$

$$+ \frac{2RX(t) \cos(\sin^{-1}(5/R))}{L^2} - \frac{R^2}{L^2}$$