

กระบวนการควบคุมอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติด้วยโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx The Process of Controlling an Unmanned Aerial Vehicle Autonomously with the Parrot Sphinx Flight Simulator

พลากร พรหมเมศรี^{1*} สุวินันท์ จันทอไร¹ เมธพันธ์ หอทอง² วิษณุ กิตติพิงศ์วรการ³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุธราชชนครินทร์ palakorn.p@pnu.ac.th, palakorn.ep@gmail.com

²ฝ่ายบำรุงรักษาเครื่องกล การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย Mathapat.Hothong@egat.co.th, vitsanu.k@egat.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ กระบวนการควบคุมอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติด้วยโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองรูปแบบการบินเสมือนจริงและทดสอบรูปแบบการบินตามเงื่อนไขคำสั่งในการบิน ครั้งที่ 1 ทำให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ลดความเสียหายจากการควบคุมการบินจริงของอากาศยานไร้คนขับด้วยคอมพิวเตอร์ โดยจำลองรูปแบบการบินด้วยโปรแกรมจำลองการบินแบบเสมือน (Software in the Loop; Sphinx Flight Simulator) บนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์อูบุนตูลู (Ubuntu) บนลินุกซ์ (Linux) ซึ่งผลการทดสอบเปรียบเทียบรูปแบบการบินทั้ง 4 ตำแหน่ง (4 ชุดคำสั่ง) ในระยะทาง 5 เมตร เท่ากันทุกตำแหน่ง เพื่อพิจารณาจุดเริ่มต้นการบินและจุดลงจอด ทุกชุดคำสั่ง จำนวน 5 ครั้ง ในแต่ละชุดคำสั่งจะมีค่าความเที่ยงตรง (Precision) จากจุดสิ้นสุดในตำแหน่งลงจอด โดยเฉลี่ยร้อยละ 98 ตลอดช่วงของการทดสอบการบิน

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ โปรแกรมจำลองการบิน

Abstract

This article presents the process of controlling an unmanned aerial vehicle autonomously with the Parrot Sphinx flight simulator. The objective is to simulate a virtual flight pattern and test the flight pattern according to the flight command conditions one flight at a time, so that it can work correctly, and reduce the damage from the actual flight control of the unmanned aerial vehicle by the computer. The flight pattern is simulated using a virtual flight simulator program (Software in the Loop; Sphinx Flight Simulator) based on the Ubuntu operating system on Linux. The test results compare the flight patterns of all 4 positions (4 command sets) at a distance of 5 meters the same for all positions, to consider the starting point of the flight and the landing point. Every command set 5 times, each command set will have an average precision value from the end point in the landing position of 98 percent throughout the flight test.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Flight Simulator Program

1. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) หรือ โดรน (Drone) เป็นยานพาหนะทางอากาศขนาดเล็กที่มีระบบควบคุมและ

สั่งการด้วยอุปกรณ์ควบคุมระยะไกล ในรูปแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ โดยไม่มีนักบินควบคุมการทำงานอยู่บนเครื่อง [1] ซึ่งเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีทางการบินที่มีการเติบโตและมีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย ปัจจุบันมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานอากาศยานไร้คนขับหลากหลายด้าน เช่น การบินสำรวจและเก็บข้อมูลด้านการเกษตรในฟาร์มอัจฉริยะ การบินสำรวจและทำแผนที่ทางอากาศ การบินสำรวจในพื้นที่ภัยพิบัติ การบินสำรวจโครงสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้าง การบินสำรวจหาข่าวและเก็บข้อมูลทางทหาร [2] การบินสำรวจถ้ำหรือสิ่งปลูกสร้างใต้ดิน [3] การบินสำรวจความเสียหายของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง [4] หรือการบินสำรวจบำรุงรักษากระบวนพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น อากาศยานไร้คนขับที่พัฒนาขึ้นเองเพื่อตอบสนองภารกิจที่มีความแตกต่างหลากหลายนั้น ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านของผู้พัฒนารวมถึงต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินการที่ยาวนาน [5] หากแต่ ในปัจจุบันมีบริษัทผู้จำหน่ายและพัฒนาอากาศยานไร้คนขับสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ ได้มีการพัฒนาให้อากาศยานไร้คนขับสามารถทำงานได้หลากหลายภารกิจภายในเครื่องเดียว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ประกอบทางเทคนิคที่นำมา อีกทั้ง สามารถหาซื้อได้ตามร้านตัวแทนจำหน่ายทั่วไป

การใช้งานอากาศยานไร้คนขับสำเร็จรูปที่ต้องใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติตามเงื่อนไขการทำงานที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อน ยังมีข้อจำกัดอยู่ ผู้ผลิตอากาศยานไร้คนขับ เช่น DJI [6], Ryze [7], Parrot [8] และ Bitcraze [9] จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือในการสร้างโปรแกรม (Software Development Kits; SDK) ที่สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารเข้ากับระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ (Robot Operation System; ROS) ของอากาศยานไร้คนขับ โดยมีเพียงบางรุ่นเท่านั้นที่สามารถใช้เครื่องมือในการสร้างโปรแกรมให้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขของผู้พัฒนา ปัจจุบันระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ ยังใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์รวมถึงอากาศยานไร้คนขับยุคใหม่ที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรมที่มีความหลากหลาย มีชุดคำสั่งให้สามารถเลือกใช้งานในการออกแบบพัฒนาอากาศยานไร้คนขับ เช่น การระบุตำแหน่งอากาศยานไร้คนขับด้วยภาพ [10] การรับรู้และกำหนดสภาพแวดล้อม [11] การวางแผนการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับ [12] และจำลองควบคุมอากาศยานไร้คนขับเสมือนจริง [13, 14]

โปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx เป็นเครื่องมือในการจำลองการทำงานของอากาศยานไร้คนขับ ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Parrot ประเทศฝรั่งเศส มุ่งเน้นพัฒนารูปแบบการบินภายใต้สภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยสามารถบันทึกข้อมูลการบินในเวลาจริง จำลองการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและกล้อง สร้างฉาก 3 มิติประกอบการบิน และเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของอากาศยานไร้คนขับตามความต้องการของผู้พัฒนาบนพื้นฐานภายใต้โปรแกรม GAZEBO 11 และ Unreal Engine 4.26 [15]

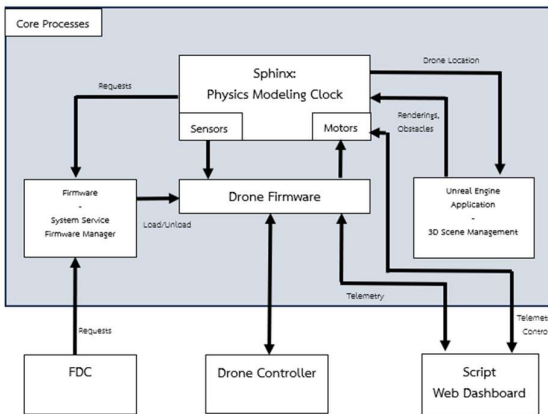
*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

นอกจากนั้น โปรแกรมยังสามารถเชื่อมต่อและสื่อสารเข้ากับระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ ซึ่งทำให้การทดสอบมีความเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น บทความนี้นำเสนอ กระบวนการควบคุมอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติด้วยโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองรูปแบบการบินเสมือนจริงและทดสอบรูปแบบการบินตามเงื่อนไขคำสั่งในการบิน ครั้งที่ 1 ถ้าให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ลดความเสียหายจากการควบคุมการบินจริงของอากาศยานไร้คนขับด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อพิจารณาและกำหนดจุดเริ่มต้นการบินและจุดลงจอดภายใต้โปรแกรมจำลองการบินในทุกชุดคำสั่ง ตลอดช่วงของการทดสอบการบิน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx

Parrot Sphinx คือ โปรแกรมจำลองการบินของอากาศยานไร้คนขับ (UAV Flight Simulation Program) ที่มีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นสูง ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานการจำลองอากาศยานไร้คนขับที่มีความแม่นยำตามหลักฟิสิกส์ และการสร้างภาพ 3 มิติ ที่มีความเสมือนจริงบนพื้นฐาน GAZEBO และ Unreal Engine โดยผู้พัฒนาอากาศยานไร้คนขับสามารถใช้โปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx เพื่อทดสอบภาระกิจการบินเสมือนจริงที่ออกแบบขึ้นเองได้ ก่อนนำไปทำการบินในสภาพแวดล้อมจริง โปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย 3 ส่วน คือ เฟิร์มแวร์บริการ เฟิร์มแวร์อากาศยานไร้คนขับ และแอปพลิเคชัน Unreal Engine ดังรูปที่ 1 เพื่อให้เกิดการจำลองการทำงานในกระบวนการที่ผู้พัฒนาต้องการตามลำดับ [15]



รูปที่ 1 การทำงานโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx

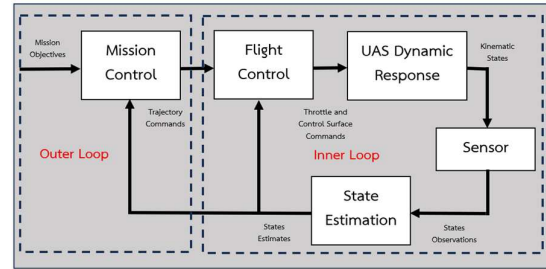
โปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx มาพร้อมเครื่องมือในการสร้างโปรแกรม (SDK) ที่ช่วยให้สามารถพัฒนาแพลตฟอร์ม 3 มิติ แบบเวลาจริง (Real Time) บนพื้นฐานของ Unreal Engine; UE ที่ผู้พัฒนาสามารถออกแบบขึ้นเอง ด้วยกระบวนการดังกล่าวทำให้สามารถควบคุมอากาศยานไร้คนขับ ภายใต้สภาพแวดล้อม 3 มิติ ที่เลือกไว้ได้

2.2 ระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (UAV) เคลื่อนที่ตามคำสั่งของผู้ควบคุมการบิน ระบบจะทำการวัดสถานะการทำงาน เช่น ความเร่ง ความสูง และความเร็วเชิงมุม โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งภายในบอร์ดควบคุมหรือที่ติดตั้งเพิ่มเติมภายนอก ค่าสถานะของอากาศยานไร้คนขับไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากอุปกรณ์ตรวจจับ จึงมีการใช้ระบบประมาณค่าสถานะ (State

Estimation) เพื่อประเมินค่าเหล่านั้นและส่งกลับไปยังบอร์ดควบคุม เพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อให้ระบบรักษาเสถียรภาพได้อย่างเหมาะสม ซึ่งกระบวนการควบคุมนี้ เรียกว่า การควบคุมภายใน (Inner Loop)

ในกรณีที่มีการใช้งานระบบการบินอัตโนมัติ (Auto Pilot) โดยการกำหนดภารกิจและเส้นทางการบินล่วงหน้า ระบบควบคุมจะต้องทำงานร่วมกับระบบควบคุมภายนอก (Outer Loop) เพื่อบริหารภารกิจ (Mission Control) และส่งพิกัดเป็นคำสั่งไปยังระบบควบคุมภายใน เพื่อให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามภารกิจที่กำหนดไว้ [16] การทำงานร่วมกันของระบบควบคุมทั้ง 2 รูปแบบ สามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทำงานระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับ

2.3 สมการการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับ

การเคลื่อนที่ทั่วไปของอากาศยานไร้คนขับ ที่มีจำนวนใบพัด n ตัว โดยพิจารณาถึงแรงภายนอก ในบางกรณีสามารถละเลยได้ ภายใต้สมมติฐานว่าอากาศยานไร้คนขับทำการบินในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง และไม่มีอิทธิพลของแรงลม [17]

นอกจากนี้ หากอากาศยานไร้คนขับกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ แรงทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamical Forces; F_{D_i}) จะถูกจำลองตามแบบจำลองแรงต้านเชิงเส้น จากสมการที่ (1) โดยไม่นำผลกระทบจากปัจจัยอากาศพลศาสตร์อื่นเข้ามาพิจารณาเพิ่มเติม อีกทั้ง ในการควบคุมการบินที่ทำผ่านบอร์ดควบคุมที่มีความเร็วในการตอบสนองสูง สามารถลดรูปของสมการให้อยู่ในรูปแบบสมการอันดับหนึ่งได้ เมื่อกำหนด จำนวนใบพัดที่ จำนวน 4 ใบ จะได้สมการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับ ดังสมการที่ (2)

$$F_{D_i} = d_i v_i \quad (1)$$

เมื่อ d_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านกลับของ i

$$\dot{p}^n = v^n$$

$$\dot{v}^n = \frac{1}{m} \left(R_{nb} \sum_{i=0}^4 F_{T_i} - R_{nb} \sum_{i=0}^4 F_{D_i} \right) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{p}^n$ คือ ตำแหน่งอากาศยานไร้คนขับในกรอบพิกัด NED

v^n คือ ความเร็วเชิงเส้นอากาศยานไร้คนขับในกรอบพิกัด NED

R_{nb} คือ เมทริกซ์การหมุนระหว่างกรอบพิกัด NED และกรอบพิกัดของลำอากาศยาน (Body Frame)

F_{T_i} คือ แรงยก (Thrust Force) ที่เกิดจากใบพัดตัวที่ i

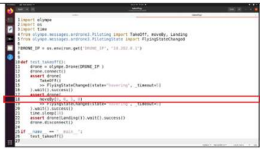
g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

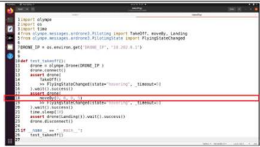
หมายเหตุ: กรอบพิกัดคงที่ที่เลือกใช้ (North-East-Down; NED)

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบชุดคำสั่งกับตำแหน่งการบินจากโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx

ชุดคำสั่ง (1)	ตำแหน่งการบินเริ่มต้น			ตำแหน่งการบินสิ้นสุด (ครั้งที่ 1-5)		
	x	y	z	x	y	z
	-475.53	-0.03	102.48	21.45	-44.60	102.48
				21.52	-44.76	102.48
				21.92	-42.21	102.48
				21.79	-44.78	102.48
22.60	-44.33	102.48				
ชุดคำสั่ง (2)	ตำแหน่งการบินเริ่มต้น			ตำแหน่งการบินสิ้นสุด (ครั้งที่ 1-5)		
	x	y	z	x	y	z
	-475.53	-0.03	102.48	-428.64	498.20	102.48
				-427.58	497.60	102.48
				-428.19	497.63	102.48
				-439.75	493.96	102.48
-433.68	497.14	102.48				

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบชุดคำสั่งกับตำแหน่งการบินจากโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx (ต่อ)

ชุดคำสั่ง (3)	ตำแหน่งการบินขึ้นใหม่			ตำแหน่งการบินสิ้นสุด (ครั้งที่ 1-5)		
	x	y	z	x	y	z
	-475.53	-0.03	102.48	-473.76	-3.44	152.85
				-474.55	-2.12	152.61
				-474.66	1.59	152.66
				-474.61	2.36	152.53
				-458.36	4.39	152.84

ชุดคำสั่ง (4)	ตำแหน่งการบินขึ้นใหม่			ตำแหน่งการบินสิ้นสุด (ครั้งที่ 1-5)		
	x	y	z	x	y	z
	-475.53	-0.03	102.48	-364.47	140.78	102.48
				-364.61	141.76	102.48
				-360.84	142.80	102.48
				-346.63	146.49	102.48
				-346.97	146.01	102.48

จากตารางที่ 1 และ 2 เป็นผลการจำลองรูปแบบการบินของอากาศยานไร้คนขับด้วยโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx โดยทำการเปรียบเทียบทั้ง 4 ตำแหน่ง (4 ชุดคำสั่ง) ซึ่งกำหนดให้มีการจำลองรูปแบบเงื่อนไขการบินเพียงเงื่อนไขเดียว คือ บินไปด้านหน้า บินไปทางขวา บินขึ้น และหมุนโดยรอบตามระยะทางรวมถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ในคำสั่ง คือ 5 ซึ่งหมายถึง การเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับไปในระยะ 5 เมตร ทิศทางที่กำหนด โดยผลการจำลองรูปแบบการบินของอากาศยานไร้คนขับด้วยโปรแกรมแบบเสมือนสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดตามคำสั่ง หากแต่ จากการทดสอบคำสั่งโดยพิจารณาจากตำแหน่งการบินเมื่อสิ้นสุดทั้งหมด 5 ครั้ง ในแต่ละชุดคำสั่งจะมีค่าความเที่ยงตรง (Precision) ในการสิ้นสุดในตำแหน่งลงจอดแต่ละพิกัด โดยเฉลี่ยร้อยละ 98 และเกิดความคลาดเคลื่อน (Error) เฉลี่ยร้อยละ 2 ในการทดสอบแต่ละครั้ง

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

กระบวนการควบคุมอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติด้วยโปรแกรมจำลองการบิน Parrot Sphinx เพื่อจำลองรูปแบบการบินเสมือนจริงและทดสอบรูปแบบการบินตามเงื่อนไขคำสั่งการบิน ครั้งละ 1 ลำ ให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ลดความเสียหายจากการควบคุมการบินจริงของอากาศยานไร้คนขับด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อพิจารณาและกำหนดจุดเริ่มต้นการบินและลงจอดภายใต้โปรแกรม โดยในทุกชุดคำสั่ง ตลอดช่วงของการทดสอบการบิน จะทำการเปรียบเทียบทั้ง 4 ตำแหน่ง (4 ชุดคำสั่ง) ซึ่ง

กำหนดให้มีการจำลองรูปแบบเงื่อนไขการบินเพียงเงื่อนไขเดียว คือ บินไปด้านหน้า บินไปทางขวา บินขึ้น และหมุนโดยรอบตามระยะทางรวมถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ในคำสั่ง คือ 5 ซึ่งหมายถึง การเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับไปในระยะ 5 เมตร ทิศทางที่กำหนด โดยผลการจำลองรูปแบบการบินของอากาศยานไร้คนขับด้วยโปรแกรมแบบเสมือนสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดตามคำสั่ง หากแต่ จากการทดสอบคำสั่งโดยพิจารณาจากตำแหน่งการบินเมื่อสิ้นสุดทั้งหมด 5 ครั้ง ในแต่ละชุดคำสั่งจะมีค่าความเที่ยงตรง (Precision) ในการสิ้นสุดในตำแหน่งลงจอดแต่ละพิกัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 98 มีความคลาดเคลื่อน (Error) เฉลี่ยร้อยละ 2 ในการทดสอบแต่ละครั้ง ซึ่งเป็นปัจจัยที่พึงพิจารณา เนื่องจาก ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบการบินในโปรแกรมจำลองการบินแม้เพียงเล็กน้อย จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานไปสั่งงานการบินของอากาศยานไร้คนขับสำเร็จ ทำให้จุดลงจอดเกิดความคลาดเคลื่อนในระยะที่เพิ่มขึ้นจากความเป็นจริงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการดำเนินงานและงบประมาณการวิจัยจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ภายใต้งบประมาณสนับสนุนการวิจัยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2565

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะอนุกรรมการพิจารณากฎหมาย โครงสร้าง หน้าที่และอำนาจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเทคโนโลยีสารสนเทศฯ, “รายงานการพิจารณาการศึกษา เรื่อง แนวทางส่งเสริมการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์” การประชุมคณะกรรมการการ, ครั้งที่ 26/2563, 18 สิงหาคม 2563
- [2] พลอากาศโท สุวินันท์ จันทูโร และ เมธวัฒน์ หอทอง, “การศึกษาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์กึ่งหุ่นยนต์โรงไฟฟ้าล้าตะคองชลภาวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา ด้วยอากาศยานไร้คนขับแบบกลุ่มร่วมกับระบบประมวลผลปัญญาประดิษฐ์,” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์, นครราชสีมา, 2566
- [3] M. Tranzatto, T. Miki, M. Dharmadhikari, L. Bernreiter, M. Kulkarni, F. Mascari, O. Andersson, S. Khattak, M. Hutter, R. Siegwart, and K. Alexis, “CERBERUS in the DARPA Subterranean Challenge,” *Science Robotics*, vol. 7, no. 66, p. eabp9742, 2022.
- [4] A. Suarez, R. Salmoral, A. Garofano-Soldado, G. Heredia, and A. Ollero, “Aerial Device Delivery for Power Line Inspection and Maintenance,” *2022 International Conference on Unmanned Aircraft System (ICUAS)*, 2022, pp. 30-38.
- [5] A. Sarabakha, and P.N. Suganthan, “: anafi_ros: from off-the-shelf drones to research platform,” *2023 International Conference on Unmanned Aircraft System (ICUAS)*, 2023, pp. 1308-1315.
- [6] DJI Developer. “DJI Developer Technologies; Unleash Productivity in All Industries with Imaginative Drone Solutions,” Developer.dji.com. Accessed: 2023. [Online]. Available: <http://developer.dji.com>
- [7] GitHub, Inc. “Tello-Python,” Github.com. Accessed: 2019 [Online]. Available: <http://github.com/djisdsk/Tello-Python>

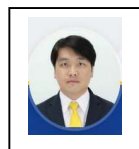
- [8] DJI Developer “Parrot for Developer; Parrot Drone SDK,” Developer.dji.com. Accessed: 2023. [Online]. Available: <http://developer.parrot.com/docs/index.html>
- [9] Bitcraze AB “SDL Bitcraze,” Bitcraze.io. Accessed: 2023 [Online]. Available: <http://www.bitcraze.io/documentation>
- [10] R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel, and J. D. Tardós, “ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015.
- [11] R. Tallamraju, E. Price, R. Ludwig, K. Karlapalem, H. H. Bülthoff, M. J. Black and A. Ahmad, “Active Perception Based Formation Control for Multiple Aerial Vehicle,” *IEEE Robotics and Automation Letter*, vol. 4, no. 4, pp. 4491-4498, 2019.
- [12] B. Zhou, J. Pan, F. Gao, and S. Shen, “RAPTOR: Robust and Perception-Aware Trajectory Replanning for Quadrotor Fast Flight,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 37, no. 6, pp. 1992-2009, 2021.
- [13] G. Torrente, E. Kaufmann, P. Föhn, and D. Scaramuzza, “Data-Driven MPC for Quadrotors,” *IEEE Robotics and Automation Letter*, vol. 6, no. 2, pp. 3769-3776, 2021.
- [14] A. Sarabakha and E. Kayacan, “Online Deep Fuzzy Learning for Control Nonlinear Systems Using Expert Knowledge” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 28, no. 7, pp. 1492-1503, 2020.
- [15] “Parrot-customized ue editor,” 2024 [Online]. Available: http://developer.parrot.com/docs/sphinx/build_ue-editor.html
- [16] J. Barton, “Fundamental of Small Unmanned Aircraft Flight,” *Johns Hopkins APL Technical Digest*, vol. 31, pp. 132-149, 2012.
- [17] H. Nguyen, M. Kamel, K. Alexis, and R. Siegwart, “Model Predictive Control for Micro Aerial Vehicle: Survey,” *CoRR*, vol. abs/2011.11104, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2011.11104>
- [18] M. Shimizu, N. Koenig, A. Vissor, and T. Takahashi, “A realistic RoboCup Rescue Simulation base on Gazebo,” *Lecture Notes in Computer Science*, 2015, pp. 331-338.



พลากร พรหมเมศรี อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
งานวิจัยที่สนใจ: การวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า, ไฟฟ้าแรงสูงและการประยุกต์ใช้, พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก



สุวินันท์ จันทูโร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก



เมธพันธ์ หอทอง วิศวกรระดับ 4 ฝ่ายบำรุงรักษาเครื่องกล การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
งานวิจัยที่สนใจ: งานบำรุงรักษาเครื่องกล



วิษณุ กิตติพงศ์วรการ หัวหน้าแผนกวิศวกรรมโรงไฟฟ้าพลังน้ำและพลังงานหมุนเวียน ฝ่ายบำรุงรักษาเครื่องกล การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
งานวิจัยที่สนใจ: งานบำรุงรักษาเครื่องกล