

การควบคุมอากาศยานไร้คนขับโดยสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรม Unmanned Aerial Vehicle Navigation using a Behaviour based Control Architecture

พนัส นัถฤทธิ์

Panus Nattharith

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

*Corresponding author e-mail: panusn@nu.ac.th

(Received: 22 September 2020, Revised: 24 December 2020, Accepted: 21 January 2021)

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการบินสำหรับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ซึ่งเป็นอากาศยานที่สามารถควบคุมได้จากระยะไกล โดยในปัจจุบันมีการใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การใช้ในงานสำรวจพื้นที่ การค้นหา การเกษตร และการถ่ายภาพ เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการควบคุมอากาศยานดังกล่าวจากระยะไกล ผู้ควบคุมอาจไม่สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบของอากาศยานได้ทั้งหมด ส่งผลให้อาจเกิดความผิดพลาดในการควบคุมได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการบินสำหรับอากาศยานไร้คนขับ โดยนำสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมมาประยุกต์ใช้ เพื่อควบคุมให้อากาศยานดังกล่าวสามารถหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่เข้าชนกับวัตถุที่ขวางได้โดยอัตโนมัติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับเคลื่อนที่เข้าสู่จุดหมายในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ สถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรม

Abstract

This work describes a development of tele-operation control system for unmanned aerial vehicle (UAV). At this moment, the UAV is mostly used in various purposes such as surveillance, search and rescue mission, agriculture, and aerial photography. Generally, the UAV requires a human operator to remotely control it. This may introduce the problem as the pilot cannot observe all obstacles surrounding the UAV and this leads to mistakes during operation. Therefore, the UAV control system utilising a behaviour based control architecture has been developed in order to safely navigate the UAV to different goal locations. A series of experiments have been conducted and the results reveal that the UAV equipped with the developed system can effectively avoid collisions with unexpected obstacles and can successfully complete its tasks in a robust and smooth manner.

Key Words: Unmanned aerial vehicle, Robot navigation, Behaviour based control architecture

1. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle หรือ UAV) เป็นอากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการบนเครื่องแต่สามารถควบคุมการทำงานได้จากระยะไกล ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ใช้ในงานลักษณะต่างๆ เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น การใช้งานในปฏิบัติการทางทหาร การสำรวจ การทหาร และการรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการเหนืออากาศยานแบบมีนักบิน ยกตัวอย่างเช่น UAV มีขนาดเล็ก และมีต้นทุนในการขึ้นบินต่อครั้งต่ำ ส่งผลมีความคล่องตัวสูงในการใช้งาน นอกจากนี้หากเกิดอุบัติเหตุขึ้นกับ UAV จะไม่มีการสูญเสียต่อชีวิต เนื่องจากไม่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่บนอากาศยาน (Oyekan & Hu, 2009) ปัญหาหลักในการควบคุมอากาศยานจากระยะไกล คือ ผู้ควบคุมไม่สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบของอากาศยานได้ทั้งหมด ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการควบคุม ยกตัวอย่างเช่น สถานการณ์ที่อากาศยานปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีต้นไม้บังทัศนวิสัยโดยรอบ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเคลื่อนที่เข้าชนกับสิ่งกีดขวางดังกล่าว หรือกรณีการปฏิบัติงานในบริเวณที่มีอาคารสูงเป็นจำนวนมาก อากาศยานอาจเคลื่อนที่เข้าปะทะกับตัวอาคารในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เช่น เคลื่อนที่ถอยหลังเข้าชนกับส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารที่ตั้งอยู่ในทิศทางดังกล่าว ส่งผลให้อาจเกิดความเสียหายขึ้นกับอากาศยานได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการบินสำหรับอากาศยานไร้คนขับ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยชะลอความเร็วของอากาศยานลงโดยอัตโนมัติหากมีการเคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวาง โดยความเร็วของอากาศยานจะสัมพันธ์กับระยะห่างจากสิ่งกีดขวางในทิศทางที่อากาศยานเคลื่อนที่อยู่ และหากมีการเคลื่อนที่เข้าในระยะวิกฤตซึ่งมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการชน ระบบจะเข้าควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งหมดโดยทำการยกเลิกคำสั่งจากผู้ควบคุมอากาศยาน และจะทำการบังคับให้อากาศยานเคลื่อนที่ออกจากระยะวิกฤตดังกล่าวไปยังบริเวณที่ปลอดภัยโดยอัตโนมัติ หลังจากนั้นผู้ควบคุมจึงจะสามารถกลับเข้าควบคุมอากาศยานได้อีกครั้ง ผลการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับเคลื่อนที่ใน

บริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปฏิบัติงานของอากาศยานไร้คนขับส่วนใหญ่มักถูกสั่งงานจากระยะไกล ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดซึ่งอาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการปฏิบัติงานได้ เช่น ผู้ควบคุมอาจไม่สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบของอากาศยาน หรือผู้ควบคุมอาจมีอาการเหนื่อยล้า หรือหลงทิศหลงทางขณะทำการควบคุม นอกจากนี้ยังมีความน่าจะเป็นที่อาจเกิดความผิดพลาดได้มากขึ้นตามระดับความซับซ้อนในการปฏิบัติงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับอากาศยานได้ ดังนั้นจึงมีความพยายามในการพัฒนาระบบช่วยควบคุมการบินสำหรับอากาศยานไร้คนขับ ขึ้น ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยจำนวนมากที่พยายามชี้ให้เห็นถึงปัญหาในการใช้งาน UAV และเสนอแนะแนวทางหรือวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Nelson et al. (2006) ซึ่งได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบช่วยควบคุมอากาศยานไร้คนขับ โดยประยุกต์ใช้วิธี Vector Force Field (Nattharith, 2011) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในกลุ่มของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Mobile robot navigation) โดยนำเอาวิธีการดังกล่าวมาใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานเพื่อให้สามารถติดตามและเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายย่อย (Waypoints) ที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ Helble and Cameron (2007) ได้พัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการติดตามเป้าหมายย่อยและเป้าหมายภาคพื้นดิน เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอากาศยานไร้คนขับให้สามารถเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ Hoffmann et al. (2004) ได้พัฒนาระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับเพื่อศึกษาการทำงานของอากาศยานหลายลำพร้อมกันภายใต้สถานการณ์จริง โดยงานวิจัยดังกล่าวได้มีการออกแบบโครงสร้างของอากาศยานขึ้นเอง เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนอุปกรณ์และน้ำหนักของชุดคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับการใช้ในการคำนวณข้อมูล ณ เวลาจริง (Real-time) เพื่อสั่งงานให้อากาศยานทุกลำเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ Shim et al. (2005) ยังได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (Obstacle avoidance) สำหรับใช้งานบนอากาศยานไร้คนขับ เพื่อควบคุมให้อากาศยานสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่จุดหมายได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งได้พัฒนาวิธีการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ (Path planning) ของอากาศยานไร้คนขับสำหรับใช้งานภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นเขตชุมชนหรือภายในเมือง ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Doherty et al. (2000) ที่ได้ทำการพัฒนาระบบสำหรับช่วยให้อากาศยานไร้คนขับสามารถเคลื่อนที่ได้แบบอัตโนมัติ โดยมีการนำอากาศยานเหล่านั้นไปใช้ในการตรวจสอบเครือข่ายการจราจรภายในพื้นที่ชุมชน ซึ่งระบบนี้จะช่วยให้อากาศยานไร้คนขับสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ภายในสภาพแวดล้อมดังกล่าว เพื่อตรวจสอบสภาพการจราจร รวมทั้งยังสามารถระบุประเภทและพฤติกรรมของยานพาหนะเหล่านั้น เพื่อรายงานสภาพการจราจรให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับทราบต่อไป

ในส่วน ของ Amidi et al. (1998) ได้ทำการวิจัยและประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบควบคุมการบินขึ้น – ลงของอากาศยานไร้คนขับแบบอัตโนมัติ รวมทั้งได้ศึกษาและพัฒนาาระบบสำหรับควบคุมอากาศยานให้สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ Oyekan et al. (2010) ได้นำเอาสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรม (Behaviour based control architecture) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจตรวจตราและเฝ้าระวัง โดยทำการแบ่งหน้าที่การทำงานของระบบออกเป็นพฤติกรรมย่อยๆ หลากหลายพฤติกรรม อาทิเช่น พฤติกรรมการเคลื่อนที่ขึ้น – ลง พฤติกรรมการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายที่กำหนด พฤติกรรมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เป็นต้น ซึ่งระบบจะนำเอาพฤติกรรมเหล่านั้นมาใช้ควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับสามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากการใช้งานภายนอกอาคารแล้วอากาศยานไร้คนขับยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานภายในอาคารได้เช่นเดียวกัน ซึ่งโดยมากมักพบการใช้งานอากาศยานขนาดเล็กในงานสำรวจตรวจตราบุคคลหรือสิ่งของที่สนใจภายในอาคาร อย่างไรก็ตามการใช้งานอากาศยานไร้คนขับภายในอาคารมักประสบปัญหาการขาดหายของสัญญาณ GPS (Global Positioning

System) ซึ่งใช้ในการระบุตำแหน่งของอากาศยาน ดังนั้นจึงมีการศึกษาและพัฒนาวิธีการระบุตำแหน่ง (Localization) ของอากาศยานขึ้นสำหรับการใช้งานภายในอาคาร โดยอาจใช้วิธีการสร้างจุดขึ้นสำหรับใช้อ้างอิงตำแหน่ง (Achtelik et al., 2009) หรือการใช้วิธีการประมวลผลภาพในการกำหนดกรอบอ้างอิงเพื่อระบุตำแหน่งและทิศทางของอากาศยาน รวมทั้งการใช้ระบบประมวลผลภาพในการสำรวจ ค้นหา ควบคุมการเคลื่อนที่ หลบหลีกสิ่งกีดขวาง หรือติดตามเป้าหมาย ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากผลงานของ Altug et al. (2002) Jian and Dawson (2006) Rock et al. (1998) Saripalli et al. (2002) และ Zuffery and Floreano (2006)

3. สถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับระบบที่นำเสนอ

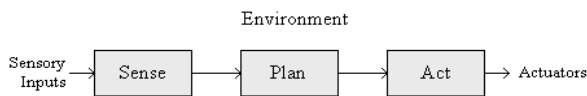
ในงานวิจัยนี้มีการนำสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมมาประยุกต์ใช้ โดยสถาปัตยกรรมดังกล่าวเป็นหนึ่งในรูปแบบของสถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Mobile Robot Architecture) ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงสถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยมีรายละเอียดเป็นดังนี้

3.1 สถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

สถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คือกระบวนการรับข้อมูลของสภาพแวดล้อมบริเวณที่หุ่นยนต์กำลังปฏิบัติงานอยู่เข้ามาประมวลผล เพื่อตัดสินใจว่าจะให้หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ต่อไปอย่างไร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือสถาปัตยกรรมแบบ Deliberative แบบ Reactive และแบบ Hybrid (Nattharith, 2011)

สถาปัตยกรรมแบบ Deliberative ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ยุคแรกของการวิจัยและพัฒนาทางด้านหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยสถาปัตยกรรมรูปแบบนี้มุ่งเน้นที่จะสร้างโมเดลจำลองของสภาพแวดล้อมบริเวณที่หุ่นยนต์ทำงาน ซึ่งโมเดลดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลภายในที่หุ่นยนต์มีอยู่ และข้อมูลภายนอกที่หุ่นยนต์รับเข้ามาจากเซนเซอร์ (Sense) เมื่อได้โมเดลจำลองแล้วระบบจะนำไปใช้ในการวางแผนเส้นทางและตัดสินใจเลือกการกระทำ (Plan) เช่น เคลื่อนที่เข้าสู่จุดหมาย หรือหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยเมื่อตัดสินใจเลือกการกระทำแล้วระบบจะสั่งให้

หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ต่อไป (Act) รูปที่ 1 แสดงแผนผังการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบ Deliberative

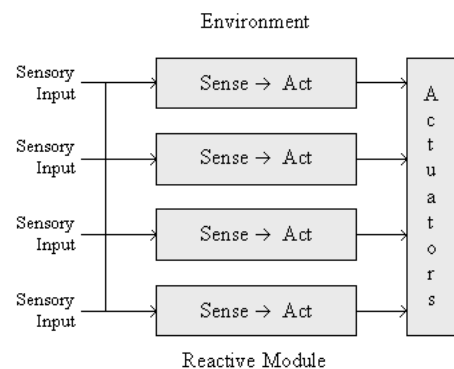


รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ Deliberative
(Nattharith, 2016)

ในการวางแผนเส้นทางและตัดสินใจเลือกการกระทำให้หุ่นยนต์นั้น ระบบจำเป็นต้องมีโมเดลของสภาพแวดล้อมที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและมีความทันสมัยตลอดเวลา ทั้งนี้เนื่องจากหุ่นยนต์จำเป็นต้องคาดเดาเหตุการณ์ที่กำลังจะเกิดขึ้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนเส้นทางและเลือกการกระทำ ในกรณีที่ระบบมีโมเดลที่ถูกต้องและทันสมัย และมีเวลามากพอที่จะวางแผนและตัดสินใจเลือกการกระทำ หุ่นยนต์จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในโลกแห่งความเป็นจริง สภาพแวดล้อมบริเวณที่หุ่นยนต์ทำงานมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ อีกทั้งหุ่นยนต์เองก็มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ระบบไม่สามารถที่จะปรับปรุงโมเดลของสภาพแวดล้อมได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลให้ระบบไม่สามารถวางแผนเส้นทางและเลือกการกระทำที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ได้ จึงมักทำให้เกิดความผิดพลาดจากการใช้งานสถาปัตยกรรมรูปแบบนี้ ยกตัวอย่างเช่น เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนตัวเข้ามาขวางหรือถูกนำมาวางขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เนื่องจากหุ่นยนต์ไม่สามารถปรับปรุงโมเดลได้ทันต่อการเข้ามาของสิ่งกีดขวางนั้น จึงไม่สามารถออกแบบเส้นทางหลบหลีกได้ นอกจากนั้นเนื่องจากสถาปัตยกรรมแบบ Deliberative มีการดำเนินงานในลักษณะที่ต่อเนื่องกันเป็นลำดับ (Sense – Plan – Act) หากมีโมดูลใดโมดูลหนึ่งเกิดความเสียหายก็จะทำให้ทั้งระบบหยุดทำงานและส่งผลให้หุ่นยนต์ไม่สามารถปฏิบัติงานต่อไปได้ ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาข้างต้น สถาปัตยกรรมแบบ Deliberative จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ปฏิบัติงานภายในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมตลอดเวลา (Mataric, 2007)

สำหรับสถาปัตยกรรมการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ Reactive หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าสถาปัตยกรรมแบบ

Behaviour based นั้นจะประกอบด้วยโมดูล Sense – Act หลากหลายโมดูลดังแสดงในรูปที่ 2 โดยแต่ละโมดูลจะทำการรับข้อมูลของสภาพแวดล้อมเพื่อทำการตอบสนองทันที เช่น สั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางที่ตรวจพบด้านหน้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสถาปัตยกรรมรูปแบบนี้ หุ่นยนต์จะไม่มี การคิดหรือวางแผนการทำงานเหมือนสถาปัตยกรรมแบบ Deliberative ทำให้หุ่นยนต์สามารถปฏิบัติงานได้อย่างรวดเร็วแม้ว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา



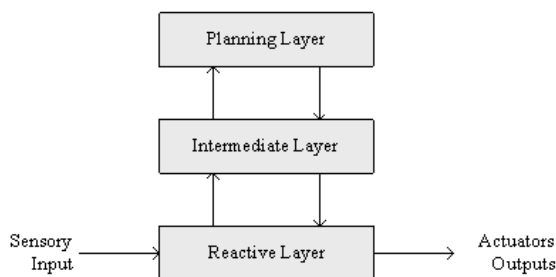
รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ Reactive
(Nattharith, 2016)

สถาปัตยกรรมแบบ Reactive นี้แต่ละโมดูลจะเป็นอิสระต่อกันและจะทำงานไปพร้อมๆ กัน มิได้ทำงานต่อเนื่องกันเป็นลำดับเหมือนสถาปัตยกรรมแบบ Deliberative ดังนั้นหากมีโมดูลใดโมดูลหนึ่งเกิดความเสียหาย โมดูลอื่นๆ ที่เหลืออยู่จะยังสามารถทำงานต่อไปได้ จึงไม่ส่งผลให้ทั้งระบบหยุดทำงานและหุ่นยนต์จะยังคงปฏิบัติงานต่อไป

แม้ว่าสถาปัตยกรรมแบบ Reactive จะสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัดตรงที่ไม่มีการสร้างโมเดลจำลองของสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการวางแผนการทำงาน ดังนั้นสถาปัตยกรรมนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในงานที่ต้องการโมเดลของสภาพแวดล้อมบริเวณที่หุ่นยนต์ทำงานอยู่เพื่อใช้ในการวางแผนและตัดสินใจเลือกการกระทำ เช่น บริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานที่มีความสลับซับซ้อนมาก

ในส่วนของสถาปัตยกรรมแบบ Hybrid หรือแบบลูกผสมนั้น จะรวมเอาความสามารถหลักของสถาปัตยกรรมทั้งสองรูปแบบข้างต้นเข้าด้วยกัน นั่นคือ การวางแผนการทำงานและความรวดเร็วในการการตอบสนอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ

ทำงานของหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตามการรวมเอาจุดเด่นของสองสถาปัตยกรรมข้างต้นเข้าด้วยกันนั้นเป็นงานที่ค่อนข้างท้าทายเนื่องจากโมดูลต่างๆ ของระบบ Reactive นั้นต้องการที่จะตอบสนองการทำงานทันทีโดยใช้ข้อมูลที่ได้รับมาจากเซนเซอร์ แต่ระบบ Deliberative นั้นจะมีการวางแผนโดยใช้ทั้งข้อมูลภายในระบบเองและข้อมูลที่ได้รับมาจากเซนเซอร์ ดังนั้นในสถาปัตยกรรมรูปแบบนี้จึงจำเป็นต้องมีตัวกลาง (Intermediate layer) เพื่อคอยจัดการกับการทำงานของทั้งสองระบบให้สอดคล้องกันดังแสดงในรูปที่ 3

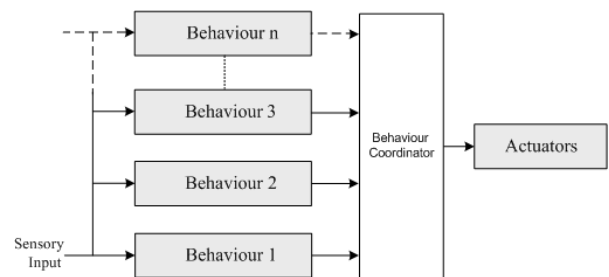


รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ Hybrid (Nattharith, 2016)

เมื่อไรก็ตามที่หุ่นยนต์ประสบเหตุการณ์ที่ไม่ได้ถูกคาดการณ์หรือวางแผนไว้โดยระบบ Deliberative (หรือ Planning layer ในรูปที่ 3) ระบบ Reactive จะเริ่มตอบสนองต่อเหตุการณ์นั้นๆ ทันทีโดยไม่สนใจว่าระบบ Deliberative จะมีการวางแผนเส้นทางไว้อย่างไร ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางเคลื่อนตัวเข้ามาขวางหรือถูกนำมาวางขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ระบบ Deliberative จะไม่สามารถปรับปรุงโมเดลให้ทันสมัยเพื่อออกแบบเส้นทางหลบหลีกได้ทัน อย่างไรก็ตามระบบ Reactive จะเข้ามาทำหน้าที่แทนโดยการสั่งให้หุ่นยนต์ทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวางดังกล่าวทันทีโดยไม่ต้องรอการออกแบบเส้นทางใหม่จากระบบ Deliberative ในทางกลับกันเมื่อหุ่นยนต์ต้องการเคลื่อนที่จากตำแหน่งปัจจุบันไปสู่เป้าหมายใหม่ซึ่งอยู่อีกสถานที่หนึ่ง ระบบ Deliberative จะคอยชี้แนะให้ระบบ Reactive ทำงานอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพโดยการออกแบบเส้นทางที่สั้นและปลอดภัยที่สุดให้กับระบบ Reactive เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปสู่จุดหมายปลายทางต่อไป

3.2 การควบคุมการเคลื่อนที่โดยสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรม

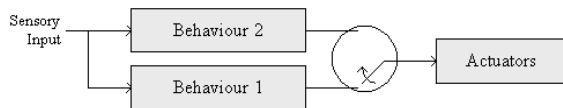
การควบคุมการเคลื่อนที่โดยสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมหรือแบบ Behaviour-based นั้น เป็นวิธีการออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติที่ลอกเลียนแบบมาจากพฤติกรรมของสัตว์ ในระบบ Behaviour-Based นั้นจะประกอบไปด้วยชุดของพฤติกรรม (Behaviours) ที่จะทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมระบบที่มีความซับซ้อน โดยแต่ละพฤติกรรมจะทำงานเป็นอิสระต่อกันและจะรับข้อมูลเข้ามาจากอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensory input) แล้วทำการตอบสนองข้อมูลเหล่านั้นโดยการแปลงเป็นคำสั่งที่จะใช้ในการควบคุมระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ (Actuators) (Nattharith & Bicker, 2009) ซึ่งก็คือมอเตอร์หรือล้อของหุ่นยนต์นั่นเอง รูปที่ 4 แสดงแผนภาพของสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรม



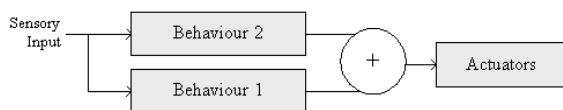
รูปที่ 4 สถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมและการทำงานของกลไกการจัดการกับพฤติกรรม (Nattharith, 2016)

อย่างไรก็ตามด้วยความที่แต่ละพฤติกรรมทำงานเป็นอิสระต่อกัน ในบางโอกาสอาจมีเหตุการณ์ที่มีพฤติกรรมมากกว่าหนึ่งพฤติกรรมที่ต้องการสั่งงานหรือควบคุมหุ่นยนต์เกิดขึ้นพร้อมกันหรืออาจเกิดความขัดแย้งในการขอใช้ทรัพยากรในการควบคุมหุ่นยนต์ ดังนั้นระบบจึงต้องมีกลไกพิเศษที่คอยทำหน้าที่จัดการกับพฤติกรรมต่างๆ เหล่านั้นโดยตัดสินใจว่าพฤติกรรมใดจะได้ควบคุมหุ่นยนต์ กลไกดังกล่าวนี้เรียกว่า กลไกการจัดการกับพฤติกรรม (Behaviour coordinator หรือ Action-selection mechanism) ดังนั้นหลังจากที่แต่ละพฤติกรรมสร้างคำสั่งในการควบคุมหุ่นยนต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ทุกพฤติกรรมจะถูกดำเนินการต่อโดยกลไกการจัดการกับพฤติกรรม เพื่อสร้างเป็นคำสั่งสุดท้ายสำหรับใช้ควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ต่อไป (พิจารณารูปที่ 4)

กลไกการจัดการกับพฤติกรรมของหุ่นยนต์โดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ กลไกแบบเลือกพฤติกรรม (Arbitration mechanism) กับกลไกแบบรวมพฤติกรรม (Fusion mechanism) ดังแสดงในรูปที่ 5 ก. และ ข. ตามลำดับ ตัวอย่างของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้วิธีการเลือกพฤติกรรมได้แก่ การควบคุมหุ่นยนต์แบบ Subsumption (Brooks, 1986) ซึ่งนำเสนอโดยศาสตราจารย์ Rodney Brooks แห่งสถาบันเทคโนโลยีแห่ง Massachusetts (MIT) ส่วนตัวอย่างของระบบที่ใช้วิธีการรวมพฤติกรรมได้แก่ การควบคุมหุ่นยนต์โดยวิธี Motor Schema (Arkin, 1989) ซึ่งคิดค้นโดยศาสตราจารย์ Ronald Arkin แห่งสถาบันเทคโนโลยีแห่ง Georgia



(ก) กลไกแบบเลือกพฤติกรรม



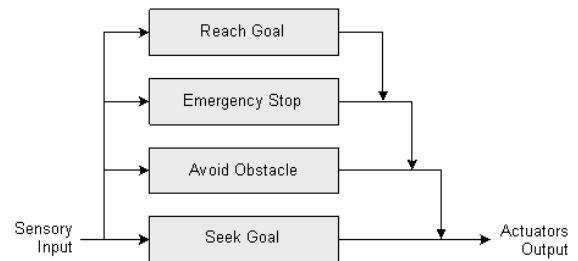
(ข) กลไกแบบรวมพฤติกรรม

รูปที่ 5 ตัวอย่างกลไกการจัดการกับแต่ละพฤติกรรมของหุ่นยนต์ (Nattharith, 2016)

สถาปัตยกรรมการควบคุมแบบ Subsumption ถูกพัฒนาขึ้นโดยศาสตราจารย์ Rodney Brooks โดยที่ Brooks ได้แบ่งระบบที่มีความซับซ้อนออกเป็นระบบย่อยๆ เรียกว่า พฤติกรรม (Behaviour) โดยแต่ละพฤติกรรมจะถูกจัดเรียงเป็นชั้นแบบขนานตามลำดับความสำคัญ เรียกว่า layer ซึ่งหมายความว่าในขณะที่ระบบทำงานอยู่นั้น ทุกพฤติกรรมในแต่ละ layer จะทำงานพร้อมกันและทำงานเป็นอิสระต่อกันนั่นเอง

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของสถาปัตยกรรมการควบคุมแบบ Subsumption ที่มี 4 layer โดยแต่ละ layer จะประกอบด้วยหนึ่งพฤติกรรม นั่นคือ พฤติกรรมการค้นหาเป้าหมาย (Seek Goal) พฤติกรรมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (Avoid Obstacle) พฤติกรรมการหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) และพฤติกรรม

การบรรลุเป้าหมาย (Reach Goal) โดยแต่ละพฤติกรรมจะถูกจัดเรียงเป็นชั้นๆ ตามลำดับความสำคัญ นั่นคือ พฤติกรรมที่มีลำดับความสำคัญมากกว่าจะมีสิทธิ์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ก่อน

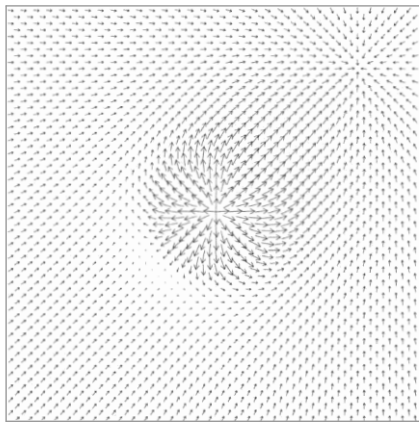


รูปที่ 6 ตัวอย่างการควบคุมหุ่นยนต์โดยสถาปัตยกรรมแบบ Subsumption (Nattharith, 2016)

เมื่อระบบเริ่มทำงาน พฤติกรรม Seek Goal จะพยายามควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย อย่างไรก็ตามหากหุ่นยนต์ตรวจพบว่ามีวัตถุมาขวางจะทำให้พฤติกรรม Avoid Obstacle ทำงาน ซึ่งจะออกคำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางนั้น ในขณะเดียวกันพฤติกรรม Avoid Obstacle ซึ่งมีลำดับความสำคัญที่สูงกว่าก็จะไปกดไม่ให้คำสั่งจากพฤติกรรม Seek Goal มีผลต่อการควบคุมหุ่นยนต์ การกดนี้เรียกว่า subsume ซึ่งเป็นที่มาของชื่อของสถาปัตยกรรมนี้ (Mataric, 2007) ในกรณีที่ Avoid Obstacle ไม่สามารถที่จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางนั้นได้และมีแนวโน้มสูงที่หุ่นยนต์จะชนสิ่งกีดขวางนั้น พฤติกรรม Emergency Stop จะทำงานทันทีเพื่อสั่งให้หุ่นยนต์หยุดเคลื่อนที่ก่อนที่จะเกิดการชนและเช่นเดียวกันพฤติกรรม Emergency Stop นี้ก็จะกดไม่ให้คำสั่งจากพฤติกรรม Avoid Obstacle และ Seek Goal มีผลต่อการควบคุมหุ่นยนต์ สำหรับ layer บนสุดนั้นจะเป็นพฤติกรรม Reach Goal ซึ่งจะทำงานเมื่อหุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่ไปจนถึงจุดหมายปลายทางแล้ว และจะทำให้คำสั่งจากพฤติกรรมของ layer ด้านล่างซึ่งมีลำดับความสำคัญต่ำกว่าไม่มีผลต่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

สำหรับสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมแบบ Motor Schema นั้น ถูกพัฒนาขึ้นโดยศาสตราจารย์ Ronald Arkin โดยการควบคุมแบบนี้จะเป็นการคำนวณหาผลรวมของพฤติกรรมต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นจากเวกเตอร์ของแรงที่กระทำต่อ

หุ่นยนต์ เพื่อสร้างเป็นพฤติกรรมลัฟ (หรือแรงลัฟ) ที่ใช้ควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป

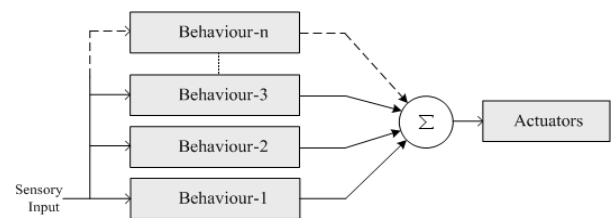


รูปที่ 7 ทฤษฎี Potential Field Method – แรงดึงดูดจะดูดอนุภาคเข้าหาเป้าหมายที่ตั้งอยู่ทางด้านบนขวาของรูป ในขณะที่แรงผลักจะผลักอนุภาคออกจากสิ่งกีดขวางที่ตั้งอยู่ตรงกลางของรูป (Nattharith, 2011)

วิธี Motor Schema นี้มีพื้นฐานมาจากวิธี Potential Field Method ที่ถูกคิดค้นโดย Osama Khatib แห่งมหาวิทยาลัย Stanford (Khatib, 1986) โดยทั้งสองวิธีนี้จะมี ความคล้ายคลึงกันตรงที่เป็นการคำนวณหาผลรวมของแรงที่กระทำต่อหุ่นยนต์เหมือนกัน สำหรับวิธี Potential Field Method นั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ง่ายและสามารถปรับเปลี่ยนไปใช้งานกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้หลากหลายรูปแบบ รวมทั้งยังสามารถนำไปใช้งานกับหุ่นยนต์แขนกลได้อีกด้วย หลักการทำงานของทฤษฎีนี้แสดงดังรูปที่ 7 โดยสมมติให้หุ่นยนต์เป็นอนุภาคเล็กๆ อนุภาคหนึ่งซึ่งจะถูกดึงดูดโดยเป้าหมาย (ซึ่งการดึงดูดดังกล่าวอาจเรียกว่าเป็นพฤติกรรมเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายของหุ่นยนต์ (Go to Target)) แต่จะถูกผลักออกโดยวัตถุกีดขวาง (หรือพฤติกรรมหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (Avoid Obstacle)) ดังนั้นเมื่อหุ่นยนต์เริ่มทำงาน หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปได้เองตามแรงดึงดูดเข้าหาเป้าหมายโดยจะไม่มีอาการชนเกิดขึ้นเนื่องจากจะมีแรงอีกชุดหนึ่งคอยผลักหุ่นยนต์ให้ออกห่างจากสิ่งกีดขวาง แรงดึงดูดดังกล่าวจะหมดลง (มีค่าเป็นศูนย์) เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายเป็นที่เรียบร้อย

สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์โดยวิธี Motor Schema นั้นมีความแตกต่างจากวิธี Potential Field Method ตรงที่ไม่ได้

จำกัดอยู่แค่การสร้างพฤติกรรม Go to Target และพฤติกรรม Avoid Obstacle เท่านั้น แต่จะสามารถเพิ่มพฤติกรรมให้กับหุ่นยนต์ได้อีกหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ยกตัวอย่างเช่น พฤติกรรมการไต่กำแพง (Wall Follow) พฤติกรรมเคลื่อนที่ไปยังที่ว่าง (Wander) เป็นต้น โดยที่ทุกพฤติกรรมจะทำงานพร้อมกันและเป็นอิสระต่อกัน โดยจะสร้างคำสั่งในรูปแบบของเวกเตอร์ของแรงที่กระทำต่อหุ่นยนต์ จากนั้นทุกคำสั่งจะถูกนำมารวมกันโดยวิธีการรวมเวกเตอร์ (Vector Summation) เพื่อสร้างเป็นพฤติกรรมลัฟ (หรือเวกเตอร์ลัฟ) สำหรับใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต่อไป รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างการควบคุมหุ่นยนต์โดยสถาปัตยกรรมการควบคุมแบบ Motor Schema



รูปที่ 8 การควบคุมหุ่นยนต์โดยสถาปัตยกรรมแบบ Motor Schema (Nattharith, 2016)

กลไกการจัดการกับพฤติกรรมของหุ่นยนต์แบบเลือกพฤติกรรม (หรือ Arbitration mechanism ที่ใช้ในการควบคุมแบบ Subsumption) มีข้อจำกัดหลักอยู่ 2 ประการ นั่นคือระบบไม่มีเสถียรภาพ (Instability) และพฤติกรรมบางพฤติกรรมไม่เคยถูกใช้งานเลย (Starvation) (Nattharith & Guzel, 2016) สาเหตุของปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากในขณะที่หุ่นยนต์ทำงานอยู่นั้นระบบมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม การควบคุมหุ่นยนต์แบบกลับไปกลับมาอยู่ตลอด ยกตัวอย่างเช่น ในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยพฤติกรรม Seek Goal (หรือ Go to Target) เมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบวัตถุกีดขวางด้านหน้า ระบบจะกำหนดให้หุ่นยนต์ทำการหลบหลีกวัตถุดังกล่าวด้วยพฤติกรรม Avoid Obstacle และทันทีที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกไปในทิศทางที่ตรวจไม่พบวัตถุกีดขวางแล้ว หุ่นยนต์ก็จะกลับมาทำพฤติกรรม Seek Goal อีกครั้ง ซึ่งอาจส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่กลับมาในทิศทางเดิมที่ถูกขวางโดยวัตถุเดิม ทำให้หุ่นยนต์ต้องทำการหลบหลีกใหม่อีกครั้ง เหตุการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ระบบกำหนดพฤติกรรมให้

หุ่นยนต์กลับไปกลับมาระหว่างพฤติกรรม Seek Goal กับพฤติกรรม Avoid Obstacle ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ไม่เรียบเนื่องจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่แกว่งไปมา (Non-smooth trajectory) อีกทั้งยังส่งผลให้พฤติกรรมอื่นๆ อาจไม่มีโอกาสได้ทำงานเลย ในขณะที่ระบบที่ใช้กลไกการจัดการกับพฤติกรรมของหุ่นยนต์แบบรวมพฤติกรรม (หรือ Fusion mechanism ที่ใช้ในการควบคุมแบบ Motor Schema) จะไม่เกิดเหตุการณ์ในลักษณะดังกล่าว เนื่องจากระบบนี้ได้รวมเอาทุกพฤติกรรมเข้าด้วยกันเพื่อกำหนดเป็นพฤติกรรมผลลัพธ์ให้กับหุ่นยนต์ ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายได้โดยไม่มีการชนเกิดขึ้นเนื่องจากหุ่นยนต์จะทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวางไปด้วยพร้อมกัน การควบคุมดังกล่าวส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกลับไปกลับมา

อีกตัวอย่างที่ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของกลไกการจัดการแบบเลือกพฤติกรรมก็คือการทำงานของกลไกประเภทนี้จะมีพฤติกรรมเพียงพฤติกรรมเดียวเท่านั้นที่ทำหน้าที่อยู่ ดังนั้นระบบอาจจะประสบเหตุการณ์ที่สามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้สำเร็จ แต่เป็นการหลบหลีกออกนอกเส้นทางที่จะนำไปสู่เป้าหมาย ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่หุ่นยนต์กำลังพยายามหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยพฤติกรรม Avoid Obstacle อยู่ นั้น ระบบได้หยุดใช้งานพฤติกรรม Seek Goal ไปด้วย ทำให้หุ่นยนต์ไม่สนใจว่าจะต้องเคลื่อนที่สู่เป้าหมาย แต่จะตั้งหน้าตั้งตาหลบหลีกสิ่งกีดขวางเพียงอย่างเดียว หุ่นยนต์จะไม่สนใจว่าจะต้องหลบหลีกไปในทิศทางไหนขอเพียงแค่หลบให้พ้นเท่านั้น การหลบหลีกดังกล่าวอาจทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ห่างไกลออกไปจากเป้าหมายและส่งผลให้หุ่นยนต์ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ในที่สุด อย่างไรก็ตามเหตุการณ์ดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นกับระบบที่ใช้กลไกการจัดการแบบรวมพฤติกรรม เนื่องจากหุ่นยนต์จะถูกพฤติกรรมผลลัพธ์ควบคุมให้เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางไปในทิศทางที่อยู่ภายในเส้นทางการเคลื่อนที่สู่เป้าหมาย ทั้งนี้เนื่องมาจากทุกพฤติกรรมที่มีผลต่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ถูกรวมไว้ในคำสั่งสุดท้ายหรือพฤติกรรมผลลัพธ์นั่นเอง

4. การพัฒนาระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับ

ดังที่กล่าวถึงข้อได้เปรียบของการใช้งานกลไกการจัดการแบบรวมพฤติกรรมหรือแบบ Fusion mechanism ในการ

ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเอากลไกการจัดการกับพฤติกรรมรูปแบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับ โดยเลือกใช้วิธีควบคุมแบบ Motor Schema ในการพัฒนาระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การออกแบบพฤติกรรมสำหรับระบบควบคุมที่นำเสนอ

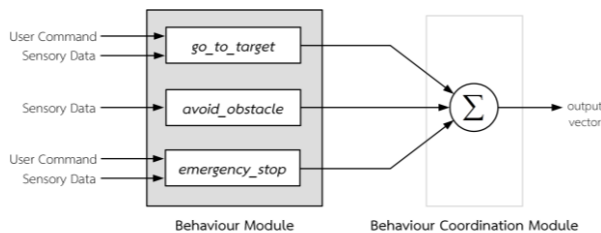
การพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับโดยวิธี Motor Schema ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ระบบมีพฤติกรรมสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานทั้งหมด 3 พฤติกรรม คือ พฤติกรรมเคลื่อนที่ไป (หรือพฤติกรรม go_to_target) พฤติกรรมหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (หรือพฤติกรรม avoid_obstacle) และพฤติกรรมหยุดฉุกเฉิน (หรือพฤติกรรม emergency_stop) แต่ละพฤติกรรมจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทต่างๆ (Sensory data) อาทิเช่น ข้อมูลตำแหน่งจากระบบ GPS หรือข้อมูลระยะห่างของสิ่งกีดขวางจากเซนเซอร์อัลตราโซนิกมาใช้ในการสร้างพฤติกรรม โดยมีรายละเอียดเป็นดังนี้

พฤติกรรม go_to_target จะทำหน้าที่พาอากาศยานให้เคลื่อนที่เข้าหาจุดหมาย โดยพฤติกรรมนี้จะเป็นพฤติกรรมที่ถูกกำหนดโดยผู้ควบคุมอากาศยาน และใช้ข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของอากาศยานในการสร้างพฤติกรรม ผลลัพธ์ที่ได้จากพฤติกรรมนี้คือเวกเตอร์ที่ชี้ไปทางพิคัดเป้าหมาย (อาจมองเป็นลักษณะของแรงที่กระทำต่ออากาศยานเพื่อดึงอากาศยานให้เคลื่อนที่เข้าสู่จุดหมาย) โดยขนาดของเวกเตอร์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าของฟังก์ชันควบคุมอากาศยาน

พฤติกรรม avoid_obstacle มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้อากาศยานเคลื่อนที่ชนกับสิ่งกีดขวาง โดยจะรับข้อมูลตำแหน่งของสิ่งกีดขวางมาจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก ผลลัพธ์ที่ได้จากพฤติกรรมนี้คือเวกเตอร์ที่ผลักอากาศยานให้ออกห่างจากสิ่งกีดขวาง โดยระบบจะเริ่มสร้างเวกเตอร์ดังกล่าวเมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ระยะห่างจากอากาศยานต่ำกว่า 2 เมตร ซึ่งขนาดของเวกเตอร์ดังกล่าวจะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างอากาศยานกับสิ่งกีดขวาง

พฤติกรรม emergency_stop จะรับข้อมูลตำแหน่งของกำแพงหรือสิ่งกีดขวางมาจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก และจะ

สร้างเวกเตอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกับเวกเตอร์ของแรงลัพธ์ที่เกิดจากพฤติกรรม `go_to_target` และ `avoid_obstacle` แต่จะมีทิศทางตรงข้ามกันเพื่อยุติการเคลื่อนที่ของอากาศยาน (เนื่องจากผลรวมของเวกเตอร์มีค่าประมาณศูนย์) โดยระบบจะสร้างพฤติกรรมนี้เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางในทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศยานที่ระยะห่างต่ำกว่า 0.75 เมตร ซึ่งเป็นระยะวิกฤตที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดจากการชนขึ้น



รูปที่ 9 สถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมที่นำเสนอ

เมื่อพฤติกรรมทั้งหมดถูกสร้างขึ้นครบแล้ว ทุกพฤติกรรมจะถูกนำมารวมกัน (Vector summation) เพื่อสร้างเป็นเวกเตอร์ลัพธ์เพียงเวกเตอร์เดียวสำหรับนำทางให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปสู่เป้าหมาย โดยระบบจะทำงานซ้ำเดิมในรอบการทำงานถัดไปจนกว่าอากาศยานจะเคลื่อนที่ไปถึงจุดหมายปลายทางเป็นที่เรียบร้อย รูปที่ 9 แสดงแผนภาพของสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมที่นำเสนอ ในขณะที่สมการที่ 1 – 3 แสดงการคำนวณเวกเตอร์ของพฤติกรรมลัพธ์สำหรับใช้ควบคุมการทำงานของอากาศยาน

$$\Delta_x = \Delta_x G + \Delta_x O + \Delta_x E \quad (1)$$

$$\Delta_y = \Delta_y G + \Delta_y O + \Delta_y E \quad (2)$$

$$R = \Delta_x + \Delta_y \quad (3)$$

โดยที่

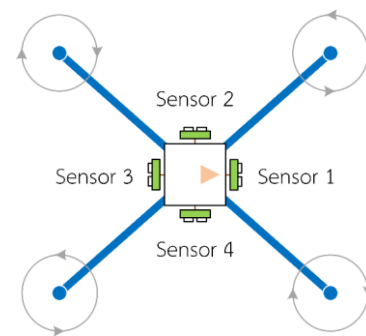
$\Delta_x G$ และ $\Delta_y G$ คือ แรงที่เกิดจากพฤติกรรม `go_to_target` ในแนวแกน X และแนวแกน Y ตามลำดับ

$\Delta_x O$ และ $\Delta_y O$ คือ แรงที่เกิดจากพฤติกรรม `avoid_obstacle` ในแนวแกน X และแนวแกน Y ตามลำดับ

$\Delta_x E$ และ $\Delta_y E$ คือ แรงที่เกิดจากพฤติกรรม `emergency_stop` ในแนวแกน X และแนวแกน Y ตามลำดับ

R คือ เวกเตอร์ลัพธ์ที่เกิดจากรวมพฤติกรรมเคลื่อนที่ทุกพฤติกรรมเข้าด้วยกัน

รูปที่ 10 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดเซนเซอร์อัลตราโซนิกซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการตรวจจับสิ่งกีดขวางในระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้น ภายในชุดประกอบด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 4 ตัว (Sensor 1 – Sensor 4) โดยเซนเซอร์แต่ละตัวจะถูกติดตั้งที่แต่ละด้านของอากาศยานเพื่อให้ครอบคลุมทิศทางการเคลื่อนที่ทั้งหมด การทำงานของเซนเซอร์ถูกออกแบบให้ทำการตรวจจับสิ่งกีดขวางเป็นลำดับ กล่าวคือระบบจะสั่งการให้เซนเซอร์ 1 เริ่มทำงานก่อน จากนั้นจึงสั่งให้เซนเซอร์ 3 ทำงาน ตามมาด้วยเซนเซอร์ 2 และเซนเซอร์ 4 ตามลำดับ โดยการสั่งให้ชุดเซนเซอร์ทำงานวนไปในลักษณะดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิด Cross talk (Meng et al., 2009) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีการนำเซนเซอร์อัลตราโซนิกหลายตัวมาใช้งานร่วมกัน



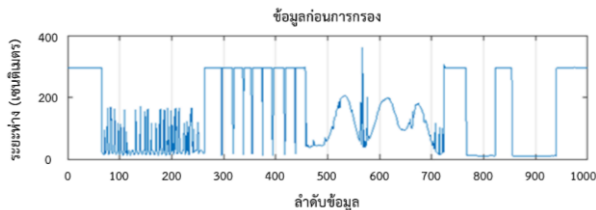
รูปที่ 10 การติดตั้งชุดเซนเซอร์อัลตราโซนิกบนอากาศยาน

จากรายละเอียดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้รับมาจากชุดเซนเซอร์อัลตราโซนิกซึ่งใช้ในการสร้างพฤติกรรมของระบบจะมีผลอย่างมากต่อความถูกต้องในการทำงานของอากาศยาน อย่างไรก็ตามในการใช้งานเซนเซอร์อาจเกิดความผิดพลาดได้ในช่วงเวลา ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์อาจให้ข้อมูลระยะห่างที่แตกต่างจากค่าปกติค่อนข้างมาก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลกลับไปมาอย่างรวดเร็ว หากระบบนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้จะส่งผลให้อากาศยานกระตุกหรือเคลื่อนที่ไม่ราบรื่นได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอขั้นตอนการกรองสัญญาณข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงเพื่อทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องน่าเชื่อถือโดยมีรายละเอียดเป็นดังนี้

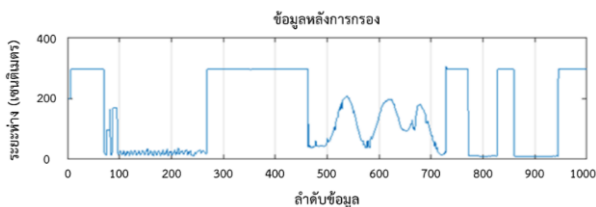
4.2 การกรองสัญญาณข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง

ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงเป็นข้อมูลที่มีการกลับไปมาในช่วงเวลาที่ติดกันและมีการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลที่สูงเกิน

กว่าค่าที่ยอมรับได้ในเวลานั้นๆ หากนำข้อมูลมาสร้างเป็นเส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นยอดแหลมหรือเป็นแท่งขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งเป็นข้อมูลของระยะห่างจากสิ่งกีดขวางที่เซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดได้ โดยข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงนี้อาจเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาดของระบบหรืออุปกรณ์วัดค่า จึงจำเป็นต้องทำการกรองข้อมูลเหล่านี้ออกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องก่อนที่จะนำไปประมวลผลในลำดับต่อไป



รูปที่ 11 ตัวอย่างของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง



รูปที่ 12 ผลลัพธ์ของการกรองข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง

การกรองข้อมูลลักษณะดังกล่าวจะนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ (ข้อมูลเอาต์พุต) มาเก็บไว้ในคิว (Queue) ซึ่งจะมีจำนวนข้อมูลเท่ากับค่าที่ยอมรับได้ว่าไม่เป็นการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาอย่างรวดเร็ว เพื่อให้สามารถนำข้อมูลในคิวไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เข้ามาใหม่ (ข้อมูลอินพุต) โดยสามารถเขียนขั้นตอนการทำงานดังกล่าวเป็นรหัสเทียม (Pseudo Code) ได้ดังนี้ (Ray et al., 2015)

$$IF (|(x(k) - y(k-1))| > M \text{ and } c < n) \{$$

$$c = c + 1$$

$$y(k) = y(k-1) \}$$

$$ELSE \{$$

$$c = 0$$

$$y(k) = x(k) \}$$

โดยที่

$x(k)$ เป็นข้อมูลอินพุตที่เวลา k

$y(k)$ ข้อมูลเอาต์พุตที่เวลา k

M เป็นขนาดการเปลี่ยนแปลงที่ยอมรับได้

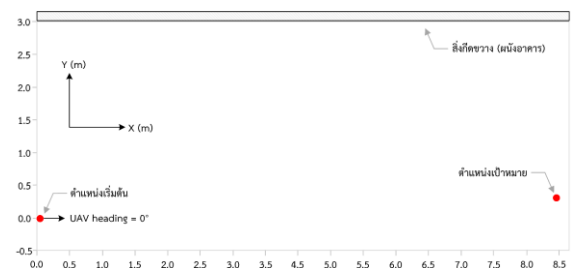
n เป็นจำนวนข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงที่ยอมรับได้

c เป็นตัวนับจำนวนครั้งที่อินพุตมีความเปลี่ยนแปลงสูง

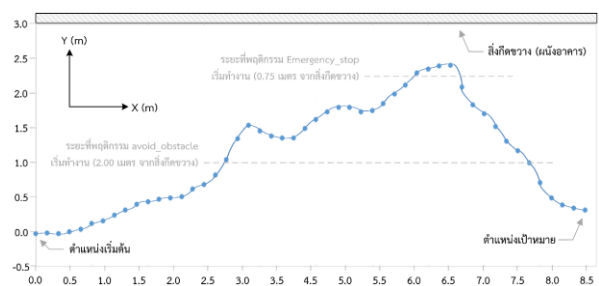
ภายหลังการกรองจะได้ข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาอย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 12

5 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่นำเสนอ

การทดสอบการทำงานของระบบที่นำเสนอถูกดำเนินการโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการทดลองในสถานที่โล่งที่มีสิ่งกีดขวางเพียงด้านเดียวตลอดการเคลื่อนที่ของอากาศยาน ดังแสดงในรูปที่ 13 ทั้งนี้เพื่อต้องการทดสอบการทำงานของพฤติกรรม `go_to_target` พฤติกรรม `avoid_obstacle` และพฤติกรรม `emergency_stop` ที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยาน การดำเนินการทดสอบเริ่มต้นโดยสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามแนวแกน X จากนั้นให้ผู้ควบคุมพยายามบังคับให้อากาศยานบินเข้าหาสิ่งกีดขวางซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของทิศทางการเคลื่อนที่ (แนวแกน +Y) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมให้อากาศยานเคลื่อนที่เข้าสู่จุดหมายที่กำหนดได้สำเร็จอย่างปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 14 โดยมีรายละเอียดการทำงานของระบบเป็นดังนี้

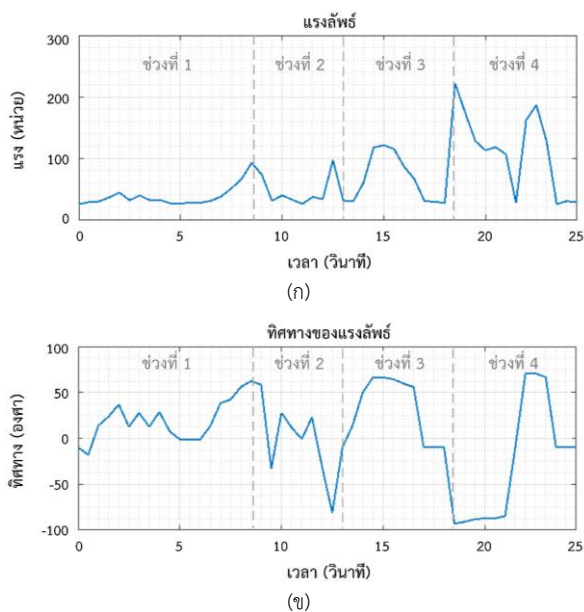


รูปที่ 13 รูปแบบของสถานการณ์ในการดำเนินการทดลองที่ 1



รูปที่ 14 เส้นทางเคลื่อนที่ของอากาศยานในการทดลองที่ 1

การทำงานในช่วงที่ 1 เริ่มต้นโดยควบคุมให้อากาศยานอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางเป็นระยะทาง 3 เมตร แล้วจึงเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างช้าๆ ในทิศทางคงที่ (อากาศยานทำมุมประมาณ 0° กับแกน X) จากนั้นผู้ควบคุมสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางซึ่งอยู่ทางด้านซ้าย (แนวแกน +Y) โดยประสงค์ให้การเคลื่อนที่ของอากาศยานมีระยะห่างจากสิ่งกีดขวางมากกว่า 2 เมตร ซึ่งในระยะดังกล่าว พฤติกรรม `go_to_target` ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ควบคุมอากาศยานจะทำงานเพียงพฤติกรรมเดียว ส่งผลให้อากาศยานสามารถเคลื่อนที่ไปตามที่ผู้ควบคุมกำหนดได้อย่างถูกต้อง รูปที่ 15 ก. และ ข. แสดงผลรวมและทิศทางของแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากทำงานของระบบ (พิจารณาช่วงที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พฤติกรรม `go_to_target` ทำงาน ในขณะที่พฤติกรรมอื่นยังไม่เริ่มทำงาน)



รูปที่ 15 ก. แรงลัพธ์ และ ข. ทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออากาศยานขณะทำการทดลองที่ 1

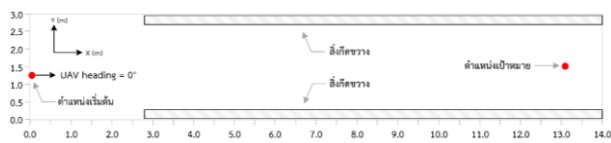
ในช่วงที่ 2 ผู้ควบคุมยังคงสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายจนกระทั่งระบบตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะห่างต่ำกว่า 2 เมตร ที่ระยะห่างนี้พฤติกรรม `avoid_obstacle` จะเริ่มทำงาน โดยจะสร้างแรงผลักซึ่งจะมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างอากาศยานกับสิ่งกีดขวางมีค่าลดลง ส่งผลให้อากาศยานเริ่มบินเข้าหาสิ่งกีดขวางได้ช้าลง เนื่องจากแรงผลักที่เกิดจากพฤติกรรม `avoid_obstacle` จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ และมีทิศทางตรงข้ามกับแรงดึงดูดที่เกิดจากการบังคับอากาศยาน

(พฤติกรรม `go_to_target`) ส่งผลให้เกิดแรงลัพธ์ขึ้นในทิศทางที่นำพาอากาศยานออกจากสิ่งกีดขวาง โดยแรงลัพธ์จะมีค่าน้อยลงและมีทิศทางพุ่งออกจากสิ่งกีดขวาง (พิจารณารูปที่ 15 ที่ช่วงเวลาประมาณวินาทีที่ 8 – 9) จากนั้นเมื่อระยะห่างจากสิ่งกีดขวางเพิ่มขึ้น (แรงผลักลดลง) แรงดึงดูดที่เกิดจากพฤติกรรม `go_to_target` จะกลับมามีค่ามากกว่าแรงผลักที่เกิดจากพฤติกรรม `avoid_obstacle` อีกครั้ง ส่งผลให้แรงลัพธ์มีค่าสูงขึ้นและมีทิศทางพุ่งเข้าหาสิ่งกีดขวาง ทำให้อากาศยานเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางอีกครั้ง โดยแรงลัพธ์และทิศทางของแรงจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมาในขณะที่ทำงานในช่วงที่ 2 (พิจารณารูปที่ 15 ที่ช่วงเวลาประมาณวินาทีที่ 9 – 13) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีการตอบสนองต่อการตรวจพบสิ่งกีดขวางได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

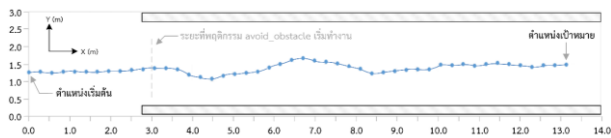
หลังจากนั้นผู้ควบคุมทำการเพิ่มแรงเพื่อบังคับให้อากาศยานเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางมากขึ้น (เพิ่มแรงให้พฤติกรรม `go_to_target`) โดยบังคับให้อากาศยานบินอยู่ที่ระยะห่างจากสิ่งกีดขวางต่ำกว่า 0.75 เมตร เพื่อให้อากาศยานเข้าสู่ระยะวิกฤต (ช่วงที่ 3) ส่งผลให้พฤติกรรม `emergency_stop` เริ่มทำงาน โดยระบบจะสร้างแรงจากสถานการณ์วิกฤตขึ้นทำให้ผู้ควบคุมไม่สามารถควบคุมอากาศยานให้เข้าใกล้มากขึ้นได้อีก (พิจารณารูปที่ 15 ประมาณวินาทีที่ 15 – 16) จากนั้นผู้ควบคุมจึงทำการเปลี่ยนแรงควบคุมให้ลดน้อยลงในทันที ส่งผลให้แรงที่เกิดจากสถานการณ์วิกฤตหมดลง (ช่วงที่ 4) ในขณะที่แรงผลักซึ่งเกิดจากพฤติกรรม `avoid_obstacle` จะมีค่าสูงกว่าแรงบังคับจากผู้ควบคุมอากาศยานมาก ส่งผลให้อากาศยานเคลื่อนที่ออกจากระยะวิกฤตเข้าสู่ระยะห่างที่ปลอดภัย จากนั้นผู้ควบคุมจึงสามารถกลับเข้าควบคุมอากาศยานได้อีกครั้ง โดยทำการควบคุมให้อากาศยานเคลื่อนที่ต่อเพื่อเข้าสู่จุดหมายปลายทางที่กำหนดไว้ได้สำเร็จอย่างปลอดภัย

การทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบการทำงานของระบบโดยจำลองสถานการณ์ให้มีสิ่งกีดขวางขนานทั้งสองด้านของการเคลื่อนที่ ในลักษณะของช่องทางแคบๆ หรือโถงอาคาร โดยกำหนดให้มีความกว้างประมาณ 2.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 16 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมให้อากาศยานเคลื่อนที่ผ่านช่องทางทดสอบเพื่อเข้าสู่จุดหมายที่กำหนดได้สำเร็จ โดยมีเส้นทางการเคลื่อนที่อยู่ภายในบริเวณกึ่งกลางของ

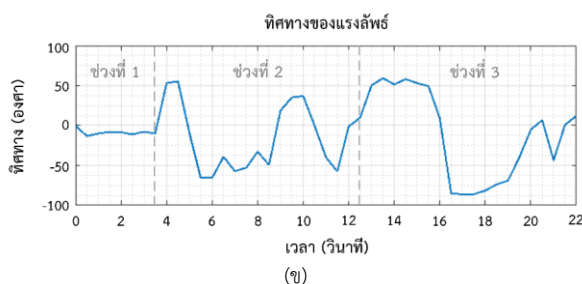
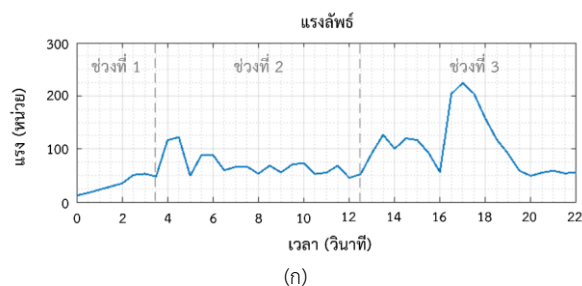
ช่องแคบดังแสดงในรูปที่ 17 โดยมีรายละเอียดการทำงานเป็นดังนี้



รูปที่ 16 รูปแบบของสถานการณ์ในการดำเนินการทดลองที่ 2



รูปที่ 17 เส้นทางเคลื่อนที่ของอากาศยานในการทดลองที่ 2

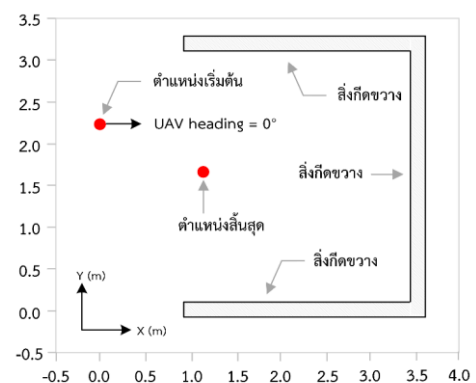


รูปที่ 18 ก. แรงลัพธ์ และ ข. ทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออากาศยานขณะทำการทดลองที่ 2

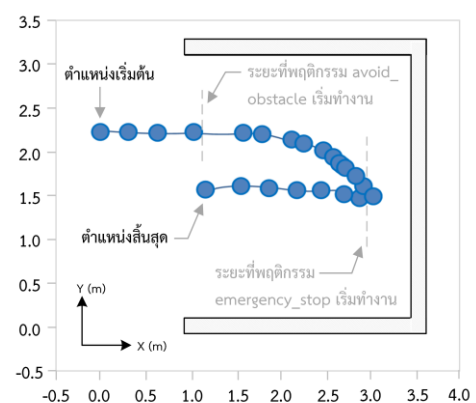
การทดลองเริ่มต้นโดยให้อากาศยานเคลื่อนที่อยู่บริเวณด้านหน้าของช่องทางทดสอบ (ช่วงที่ 1) จากนั้นผู้ควบคุมสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าช้าๆ จนกระทั่งเคลื่อนเข้าไปในช่องแคบ (ช่วงที่ 2) ในบริเวณดังกล่าวพฤติกรรม `avoid_obstacle` จะเริ่มทำงาน โดยแรงผลักจะเกิดขึ้นทั้งสองทิศทางเนื่องจากระบบสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ทั้งบริเวณด้านซ้ายและด้านขวาของอากาศยาน ซึ่งแรงผลักทั้งสองแรงดังกล่าวจะมีขนาดใกล้เคียงกันและมีทิศทางตรงข้ามกัน ผลรวมของแรงผลักจึงหักล้างกันจนทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออากาศยานมีผลมาจากพฤติกรรม `go_to_target` เป็นหลัก

ส่งผลให้อากาศยานสามารถเคลื่อนที่และรักษาเส้นทางการบินให้อยู่ในบริเวณแนวกึ่งกลางของช่องทางทดสอบได้ รูปที่ 18 ก. และ ข. แสดงผลรวมและทิศทางของแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการเคลื่อนที่ไปของอากาศยาน

ในช่วงที่ 3 ของการทดสอบ ผู้ควบคุมสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางด้านซ้าย (แนวแกน +Y) ส่งผลให้อากาศยานเข้าใกล้สิ่งกีดขวางมากขึ้น หลังจากนั้นผู้ควบคุมจึงสั่งการให้แรงบังคับนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อากาศยานกลับมารักษาเส้นทางการบินในแนวกึ่งกลางดังเดิม เนื่องจากแรงผลักที่เกิดจากสิ่งกีดขวางด้านซ้ายมีค่าสูงมากจึงทำให้เกิดแรงลัพธ์ในทิศทางที่นำพาให้อากาศยานเคลื่อนที่ห่างจากสิ่งกีดขวางดังกล่าวได้อย่างปลอดภัย จากนั้นจึงเคลื่อนที่ต่อไปจนถึงจุดหมายปลายทางที่กำหนดไว้



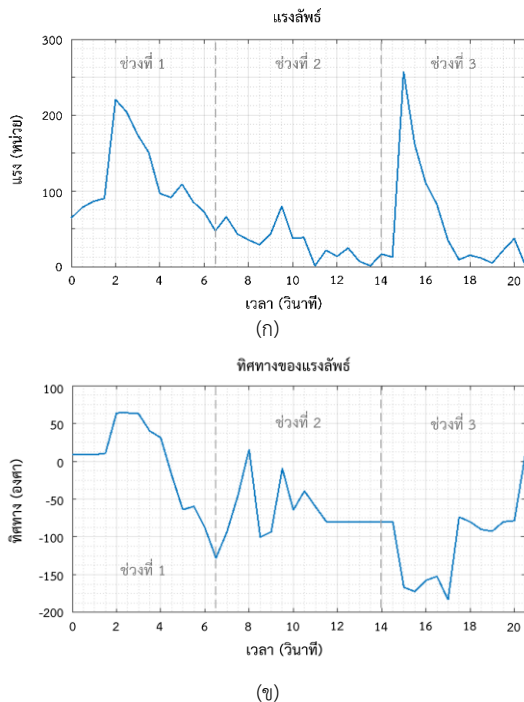
รูปที่ 19 รูปแบบของสถานการณ์ในการดำเนินการทดลองที่ 3



รูปที่ 20 เส้นทางเคลื่อนที่ของอากาศยานในการทดลองที่ 3

สำหรับการทดลองที่ 3 เป็นการควบคุมอากาศยานให้เคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นช่องปิดทางด้านหน้า (U-shape) โดยกำหนดให้ช่องปิดมีความกว้าง 3 เมตร และมี

ความลึกประมาณ 2.75 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 19 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมให้อากาศยานเคลื่อนที่ออกจากช่องปิดได้สำเร็จโดยไม่เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางรอบตัว และมีเส้นทางการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 20 โดยมีรายละเอียดการทำงานเป็นดังนี้



รูปที่ 21 ก. แรงลัพธ์ และ ข. ทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออากาศยาน ขณะทำการทดลองที่ 3

การทดสอบเริ่มจากควบคุมให้อากาศยานเคลื่อนที่อยู่ห่างจากช่องปิดเป็นระยะทางประมาณ 1 เมตร โดยหันด้านหน้าอากาศยานเข้าหาช่องปิด (แนวแกน +X) จากนั้นผู้ควบคุมทำการสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่เข้าหาช่องปิดอย่างช้าๆ (ช่วงที่ 1) เมื่อเข้าใกล้สิ่งกีดขวางในระยะต่ำกว่า 2 เมตร (สิ่งกีดขวางด้านซ้ายของอากาศยาน) พฤติกรรม `avoid_obstacle` จะสร้างแรงผลักอากาศยานออกจากสิ่งกีดขวางดังกล่าว ส่งผลให้อากาศยานรักษาดำแหน่งการเคลื่อนที่ให้อยู่บริเวณแนวกึ่งกลางช่องปิดและเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้าได้ อย่างไรก็ตามความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดแรงผลักอีกชุดหนึ่งจากสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ากระทำต่ออากาศยาน โดยแรงผลัดดังกล่าวจะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ส่งผลให้เกิดการหักล้างกันของแรง ทำให้แรงลัพธ์มีค่าลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ สถานการณ์ดังกล่าวทำให้อากาศยาน

เคลื่อนที่ได้ช้าลงจนหยุดการเคลื่อนที่ในที่สุด รูปที่ 21 ก. และ ข. แสดงผลรวมและทิศทางของแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการเคลื่อนที่ของอากาศยานภายในบริเวณช่องปิด

เมื่ออากาศยานหยุดการเคลื่อนที่ ผู้ควบคุมทำการเพิ่มแรงควบคุมในทิศทางไปข้างหน้า (พฤติกรรม `go_to_target`) เพื่อสั่งการให้อากาศยานเคลื่อนที่ต่อไป (แนวแกน +X) ส่งผลให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจนถึงระยะวิกฤติ จากนั้นระบบจะควบคุมให้อากาศยานไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้อีก ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรม `emergency_stop` ได้เริ่มทำงาน ส่งผลให้ผู้ควบคุมไม่สามารถควบคุมอากาศยานให้เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางด้านหน้าได้มากขึ้นอีก ในช่วงที่ 3 ของการทดสอบผู้ควบคุมทำการเปลี่ยนแรงควบคุมให้ลดน้อยลงในทันที ทำให้แรงที่เกิดจากสถานการณ์วิกฤติหมดลง ในขณะที่แรงผลักซึ่งเกิดจากพฤติกรรมหลบหลีกสิ่งกีดขวางจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดส่งผลให้อากาศยานเคลื่อนที่ถอยหลังออกจากระยะวิกฤติ จากนั้นผู้ควบคุมจึงสามารถควบคุมให้อากาศยานเคลื่อนที่ออกจากช่องปิดได้อย่างปลอดภัย

จากผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองแสดงให้เห็นว่าแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดและทิศทางสอดคล้องกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของอากาศยาน และอากาศยานมีการตอบสนองต่อแรงจากการออกแบบระบบควบคุมตามทฤษฎี Motor Schema ได้อย่างถูกต้อง โดยแรงผลัดออกจากสิ่งกีดขวางสามารถช่วยชะลอการเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางได้ ในขณะที่แรงที่เกิดขึ้นในสถานการณ์วิกฤติสามารถยกเลิกคำสั่งควบคุมที่อาจทำให้อากาศยานเคลื่อนที่ชนกับสิ่งกีดขวางได้ ส่งผลให้ระบบสามารถควบคุมการทำงานของอากาศยานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนากระบวนการควบคุมอากาศยานไร้คนขับโดยนำสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมมาประยุกต์ใช้งาน ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยชะลอความเร็วของอากาศยานลงโดยอัตโนมัติหากมีการเคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวาง โดยความเร็วของอากาศยานจะสัมพันธ์กับระยะห่างจากสิ่งกีดขวางในทิศทางที่อากาศยานเคลื่อนที่ไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีการตอบสนองต่อแรงควบคุมจากการ

บังคับอากาศยานได้อย่างถูกต้อง โดยเมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะห่างต่ำกว่า 2 เมตร ระบบจะสร้างแรงผลักดันเพื่อนำทางให้อากาศยานเคลื่อนที่ออกจากสิ่งกีดขวาง ส่งผลให้อากาศยานไม่ตอบสนองต่อการบังคับของผู้ควบคุมอากาศยานเหมือนในสถานการณ์ปกติ โดยอากาศยานจะยังเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ผู้ควบคุมกำหนดแต่จะเป็นการเคลื่อนที่ที่ช้าลง และเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะห่างที่ต่ำกว่า 0.75 เมตร ระบบจะเข้าควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานทั้งหมดโดยจะทำการยกเลิกคำสั่งจากผู้ควบคุมอากาศยานเนื่องจากมีความเสี่ยงสูงที่อากาศยานจะเคลื่อนที่ชนกับสิ่งกีดขวางหากมีการเคลื่อนที่ต่อไป หลังจากนั้นระบบจะทำการรักษาระยะห่างของอากาศยานกับสิ่งกีดขวาง และจะนำทางให้อากาศยานเคลื่อนที่ออกจากบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางดังกล่าวโดยอัตโนมัติ ส่งผลให้อากาศยานสามารถปฏิบัติงานได้สำเร็จอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ในการสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณนายอภิสิทธิ์ เพ็ชรเจริญ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

- Achtelik, M., Bachrach, R., He, R., Prentice, S., & Roy, N. (2009). *Autonomous Navigation and Exploration of a Quadrotor Helicopter in GPS-denied Indoor Environments*. Association for Unmanned Vehicle Systems International.
- Altug, E., Ostrowki, J. P., & Mahony, R. (2002). Control of a Quadrotor Helicopter using Visual Feedback. *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 72-77). Washington, DC, USA.
- Amidi, O., Kanade, T., & Miller, R. (1998). Vision-base autonomous helicopter research at Carnegie mellon robotics institute 1991-1997. *Proceedings of American Helicopter Society International Conference* (pp. T7-3-1 - T7-3-12) Hali, Japan.
- Arkin, R. C. (1989). Motor Schema-based Mobile Robot Navigation. *International Journal of Robotics Research*, 1989, 92-112.
- Brooks, R. A. (1986). A Robust Layered Control System for a Mobile Robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2(1), 14-23.
- Doherty, P., Granlund, G., Kuchcinske, K., Sandewall, E., Nordberg, K., Skarman, E., & Wiklund, J. (2000). The WITAS Unmanned Aerial Vehicle Project, ECAI 2000. *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence* (pp. 747-755). Berlin, Germany.
- Helble, H., & Cameron, S. (2007). OATS: Oxford Aerial Tracking System. *Robotics and Autonomous Systems*, 55(9), 661-666.
- Hoffmann, G., Rajnarayan, D. G., Waslander, S. L., Dostal, D., Jang, J. S., & Tomlin, C. J. (2004). The Stanford Testbed of Autonomous Rotorcraft for MultiAgent Control (STARMAC). *Proceedings of the IEEE Digital Avionics Systems Conference* (pp. 12.E.4-1 - 12.E.4-10). Salt Lake City, UT, USA.
- Jian, C., & Dawson, D. M. (2006). UAV Tracking with a Monocular Camera. *Proceedings of IEEE Conference on Decision and Control*.
- Khatib, O. (1986). Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots. *The International Journal of Robotics Research*, 5(1), 90-98.
- Mataric, M. J. (2007). *The Robotics Primer*. MIT Press.
- Meng, Q.-H., Lan, S.-Y., Yao, Z.-J., & Li, G. W. (2009). Real-Time Noncrossstalk Sonar System by Short Optimized Pulse-Position Modulation Sequences. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 10, 3442-3449.
- Nattharith, P. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robot. *Naresuan University Engineering Journal*, 6(2), 31-41.
- Nattharith, P. (2016). Motor Schema-based Control of Mobile Robot Navigation. *International Journal of Robotics and Automation*, 31(4), 310-320.
- Nattharith, P., & Bicker, R. (2009). Mobile Robot Navigation using a Behavioural Strategy. *Proceedings of the 11th IASTED International Conference on Control and Application*, (pp. 143-148) Cambridge, UK.

- Nattharith, P., & Guzel, M. S. (2016). Machine Vision and Fuzzy Logic-based Navigation Control of a Goal-Oriented Mobile Robot. *Adaptive Behavior*, 24(3), 168-180.
- Nelson, D. R., Barder, D. B., McLain, T. W., & Beard, R. W. (2006). Vector field path following for small unmanned air vehicle. *Proceedings of the American Control Conference* (pp. 5788-5794). Minneapolis, MN, USA.
- Oyekan, J., & Hu, H. (2009). Toward Autonomous Patrol Behaviours for UAV. *UK EPSRC Workshop on Human Adaptive Mechatronics, 2009*, 15-16.
- Oyekan, J., Lu, B., Li, B., Gu, D., & Hu, H. (2010). A Behavior Based Control System for Surveillance UAVs. In *Robot Intelligence: An Advanced Knowledge Processing Approach* (pp. 209-228). Springer.
- Rey, H. G., Pedreira, C., & Quiroga, R. Q. (2015). Past, Present and Future of Spike Sorting Techniques. *Brain Research Bulletin*, 2015, 106-117.
- Rock, S. M., Frew, E. W., Jones, H., LeMaster, E. A., & Woodley, B. R. (1998). Combined CDGPS and vision-based control of a small autonomous helicopter. *Proceedings of the American Control Conference* (pp. 694-698). Philadelphia, PA, USA.
- Saripalli, S., Montgomery, J. F., & Sukhatme, G. S. (2002). Vision-based autonomous landing of an unmanned aerial vehicle. *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2799-2804). Washington, DC, USA.
- Shim, D. H., Chung, H., Sastry, S., & Kim, H. J. (2005). Autonomous Exploration in Unknown Urban Environments for Unmanned Aerial Vehicles. *Proceedings of American Institute of Aeronautics and Astronautics Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit* (pp. 1-8).
- Zuffery, J. C., & Floreano, D. (2006). Fly-Inspired Visual Steering of an Ultralight Indoor Aircraft. *IEEE Transaction on Robotics*, 22(1), 137-146.