บทที่ 1 บทนำ

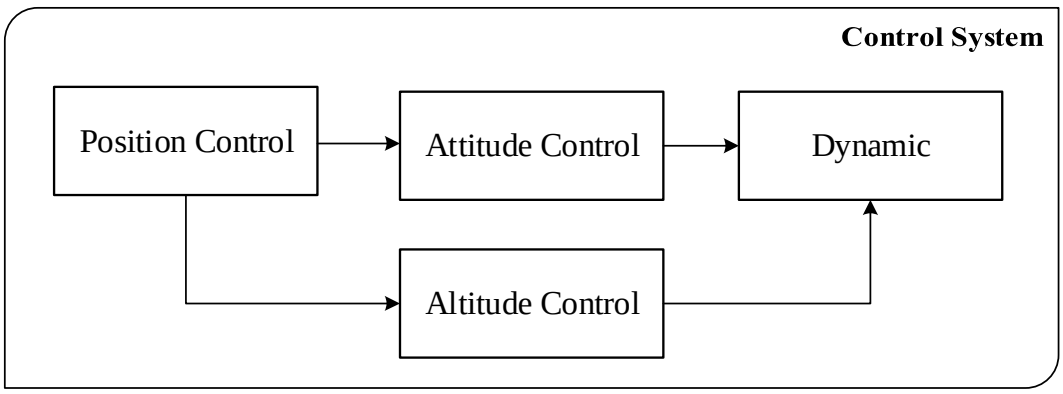
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันเครื่องบินขนาดเล็ก (Mini-Aircraft) [1-2] ได้นำมาประยุกต์ใช้โดยการติดกล้องถ่ายภาพหรือกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว เพื่อใช้ในทางการทหาร การสำรวจพื้นที่ การรักษาความปลอดภัย การเกษตร การรายงานสภาพอากาศ การรายงานข่าว และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งมันถูกเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า อากาศยานไร้นักบิน (UAV) ซึ่งมีความสามารถใช้ในการสำรวจพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากและพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงได้ดี ซึ่งภารกิจเหล่านี้อาทิ เช่น เช่น การค้นหาผู้ประสบภัยทางทะเล ภารกิจตรวจการของกองทัพ เป็นต้น ในปัจจุบันนั้นเครื่องบินขนาดเล็กมีหลายลักษณะที่สามารจำแนกได้ตามการเคลื่อนที่ โดยลักษณะที่ผู้วิจัยสนใจคือเครื่องบินขึ้น-ลงทางแนวดิ่ง (VTOL) เครื่องบินที่เคลื่อนที่ในรูปแบบนี้ได้แก่ เฮลิคอปเตอร์ (Helicopter), ควอดโรเตอร์ (Quadrotor) และชีนุก (Chinook) เครื่องบินเหล่านี้มีคุณสมบัติที่สามารถขึ้นลงในบริเวณพื้นที่ที่จำกัดได้ดี ปรับเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเครื่องบินทั่วไป (Airplane) อีกทั้งยังสามารถลอยนิ่ง (Hovering) อยู่บนอากาศได้ จากที่ยกตัวอย่างมาในข้างต้นจะเห็นว่าเครื่องบินขึ้น-ลงทางแนวนิ่งก็ยังมีหลายลักษณะที่แตกต่างกันทางด้านโครงสร้าง ซึ่งก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน เช่น เฮลิคอปเตอร์แบบมีใบพัดหลักและใบพัดหาง (Main Rotor and Tail Rotor Model) เฮลิคอปเตอร์แบบมีสองใบพัดในแกน เดียวกัน (Twin Rotor in Coaxial Model) เฮลิคอปเตอร์แบบมีสองใบพัดด้านหน้าและด้านหลัง (Twin Rotor Side by Side Model) หรือที่เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่าชีนุก (Chinook) รูปแบบที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเมื่อนำมาสร้างเป็นเครื่องบินขนาดเล็กจะมีปัญหาด้านอากาศพลศาสตร์ในเรื่องของความคงทน (Robustness) ต่อสิ่งรบกวนภายนอก ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสำหรับการสำรวจพื้นที่หรือภารกิจตรวจการณ์ที่ต้องถ่ายภาพนิ่งหรือวิดีโอที่ต้องการความนิ่งของอากาศยาน ดังนั้นผู้วิจัยสนใจศึกษาและพัฒนาเครื่องบินหลายใบพัด (Multiple Rotors Models) ซึ่งเป็นเครื่องบินขนาดเล็กรูปแบบหนึ่งที่จะมีความคงทนต่อการรบกวนจากภายนอกได้ดีกว่าในเครื่องบินขึ้น-ลงทางแนวนิ่งแบบอื่นๆ โดยรูปแบบที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาและพัฒนานั้นคือควอดโรเตอร์โดยมีความต้องการพัฒนาให้เป็นหุ่นยนต์สี่ใบพัด ซึ่งโครงสร้างมีความซับซ้อนน้อยกว่ารูปแบบอื่นๆ แต่สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทางเป็นแบบหกองศาอิสระ (6 DOF) ซึ่งหัวใจสำคัญของการพัฒนาหุ่นยนต์สี่ใบพัดนั้นหนีไม่พ้นในเรื่องของการพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ เพราะหากมีระบบควบคุมที่เที่ยงตรง และแม่นยำจะทำให้หุ่นยนต์สี่ใบพัดสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงและมีความเสี่ยงสูงได้ดี โดยการควบคุมหุ่นยนต์สี่ใบพัดให้เคลื่อนที่ได้เที่ยงตรงตามทิศทางการเคลื่อนที่ที่กำหนดขึ้นนั้นไม่ใช่เรื่องง่ายๆ เนื่องจากมีหลายๆ ปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อระบบควบคุม อาทิเช่น โครงสร้างของตัวเครื่องบิน สภาพอากาศในขณะเคลื่อนที่ ขนาดของใบพัด เป็นต้น ซึ่งระบบควบคุมการเคลื่อนเป็นระบบพื้นฐานที่จะทำให้หุ่นยนต์สี่

ใบพัดทรงตัวบนอากาศด้วยตัวของตัวเองได้ ภายในระบบควบคุมดังกล่าวนั้นเป็นแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต (MIMO) ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาการออกแบบระบบควบคุมติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สี่ใบพัดโดยใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบและวิธีการควบคุมภายในระบบ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคตได้

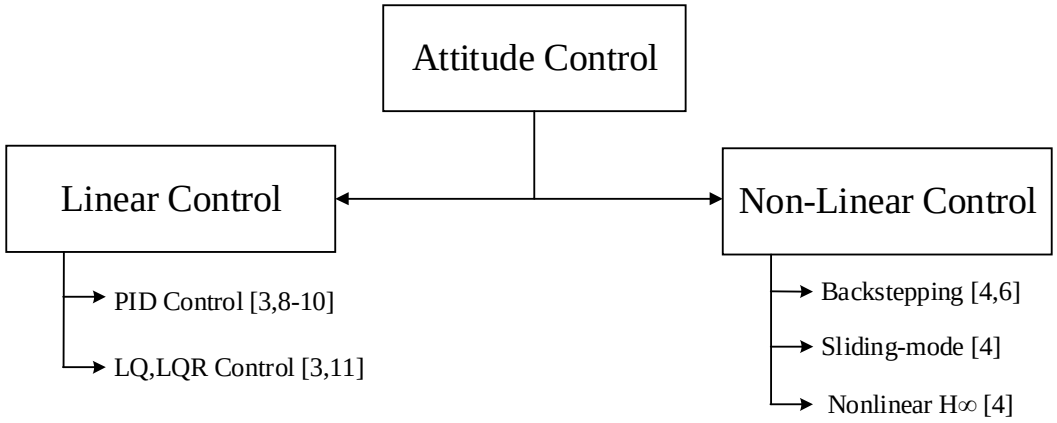
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต

ในระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์สี่ใบพัดมีองค์ประกอบภายในหลักๆ ด้วยกันสี่ส่วนดังในรูปที่ 1.1 คือระบบควบคุมตำแหน่ง (Position Control) ซึ่งจะรับค่าตำแหน่งในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) แล้วส่งสัญญาณควบคุมไปที่ระบบควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ (Attitude Control) และระบบควบคุมความสูง (Altitude Control) เพื่อควบคุมตัวเครื่องบินให้เคลื่อนที่หรือหยุดนิ่งตามสัญญาณคำสั่งจากระบบควบคุมตำแหน่งและระบบควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่จะไปควบคุมพลวัตของเครื่องบินขณะบิน ส่วนระบบควบคุมความสูงจะควบคุมระดับความสูงในขณะบิน, ขณะขึ้น (Take-Off) และขณะลง (Landing)



รูปที่ 1.1 ระบบควบคุมของหุ่นยนต์สี่ใบพัด

เมื่อทราบถึงระบบควบคุมของหุ่นยนต์สี่ใบพัดในภาพรวมแล้ว ผู้วิจัยสนใจและจะมุ่งเน้นพัฒนาระบบควบคุมทิศทางการเคลื่อน เพราะเนื่องจากเป็นระบบหลักที่จะทำให้หุ่นยนต์สี่ใบพัดเคลื่อนที่ไปยังทิศทางต่างๆ ได้ โดยการออกแบบควบคุมในอดีตได้ออกแบบทั้งระบบควบคุมที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเป็นเชิงเส้นดังในรูปที่ 1.2 ซึ่งแต่ละงานวิจัยมีทั้งข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.2 แผนภาพระบบควบคุมที่ออกแบบขึ้นในอดีต

Bouabdallah และคณะ [3] ได้นำเสนอการประยุกต์เทคนิคการควบคุมด้วยระบบควบคุมดั้งเดิม PID และระบบควบคุมสมัยใหม่ LQ โดยใช้ไดนามิกโมเดลอย่างง่าย และดำเนินการจำลองการทำงานตามกฎของการควบคุมบนชุดทดลอง โดยยึดควอดโรเตอร์ติดกับแกนกลาง ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ระบบควบคุม PID สามารถควบคุมให้มุมเป็นไปได้ตามเป้าหมายได้ดีกว่าระบบควบคุมสมัยใหม่ LQ โดยมีการรบกวนเพียงเล็กน้อย

Bouaballah และ Siegwart [4] ได้นำเสนอเทคนิคการประยุกต์ควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งได้แก่ เทคนิค Backstepping และ Sliding Mode ซึ่งได้ผลทั้งการจำลองและการทดลองบนชุดทดลอง ซึ่งยึดควอดโรเตอร์ติดกับแกนกลาง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ จากค่าเฉลี่ยของการทดลองแนะนำให้ใช้ตัวควบคุม Sliding-mode ที่ความถี่สูง ส่วน Backstepping สามารถควบคุมให้มุมเป็นไปตามเป้าหมายได้โดยมีการรบกวนค่อนข้างสูง

Raffo และคณะ [5] ได้นำเสนอ Integral Predictive และ Nonliner Robust Control โดยระบบควบคุมที่นำเสนอประกอบด้วยระบบควบคุม Model Predictive สำหรับตามรอยสัญญาณอ้างอิงโดยใช้ Nonlinear H_∞ เพื่อรักษาเสถียรภาพของการเอียงมุม ผลการจำลองแสดงในเห็นว่าระบบนำเสนอมีประสิทธิภาพและมีความคงทนต่อสิ่งรบกวน

Zuo [6] ได้ออกแบบระบบควบคุมติดตามตามเส้นทางมีความต้องการที่จะออกแบบระบบควบคุมติดตามตามเส้นทางการเคลื่อนที่ให้มีความแม่นยำ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่และความเร่งเชิงเส้นแล้วนำมาออกแบบอัลกอริทึมสำหรับออกแบบระบบควบคุมติดตามตามเส้นทางการเคลื่อนที่ โดยใช้เทคนิคใหม่คือ Command-Filtered Backdstepping เพื่อรักษาเสถียรภาพ

ของทิศทางการเคลื่อนที่และ Liner Tracking Differentiator ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่าการชดเชย Command-Filtered จะทำให้มีความแม่นยำมากขึ้นในการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด แต่ทั้งนี้ก็ยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้น อีกทั้งงานวิจัยนี้ทำการจำลองการเคลื่อนที่ในความเร็วต่ำ

Alexis และคณะ [7] ได้ออกแบบระบบควบคุม Model Predictive Control ทั้งระบบควบคุมการเอียงมุมและระบบควบคุมความสูง เพื่อศึกษาการควบคุมควอดโรเตอร์ภายในร่ม โดยใช้เซ็นเซอร์ Inertia Measurement Unit และ Optic-Flow สำหรับวัดมุมออยเลอร์แล้วเซ็นเซอร์โซน่าผลทั้งการจำลองและการทดลองแสดงประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่ออกแบบว่าสามารถตามรอยสัญญาณอินพุตของมุมออยเลอร์ได้

จะเห็นได้ว่าการควบคุมการเคลื่อนที่หลักอยู่ที่ระบบควบคุมการเอียงมุมมีการพัฒนาทั้ง Classical Control [8-10] , Modern Control [11] และ Nonlinear Control [12,13] ดังนั้นการเริ่มต้นการวิจัยจะทำการศึกษาการออกแบบระบบควบคุมการทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อให้เข้าใจหลักวิธีการออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์สี่ใบพัดเบื้องต้น

1.3 งานวิจัยที่นำเสนอ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาการออกแบบระบบควบคุมการทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สี่ใบพัด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมพีไอดี (PID Control) กับระบบควบคุมแอลคิวอาร์ (LQR Control) เพื่อให้เข้าใจหลักการเคลื่อนที่และวิธีการออกแบบระบบควบคุมสำหรับหุ่นยนต์สี่ใบพัด ซึ่งจะเป็นความรู้พื้นฐานที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการออกแบบระบบควบคุมที่สมบูรณ์ให้กับหุ่นยนต์สี่ใบพัดได้ในอนาคต

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สี่ใบพัด
2. เพื่อศึกษาการออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับหุ่นยนต์สี่ใบพัด

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สี่ใบพัด
2. ศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์สี่ใบพัดด้วยการจำลองการทำงาน
3. ศึกษาและออกแบบตัวกรอง (Filter) เพื่อลดค่าความผิดพลาดจากเซ็นเซอร์
4. ทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่ออกแบบขึ้นกับระบบจริง

1.6 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมสำหรับหุ่นยนต์สี่ใบพัด
2. ได้ระบบควบคุมสำหรับหุ่นยนต์สี่ใบพัดใช้งานได้กับระบบจริงด้วยทดลองบนแท่นทดสอบ

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาพฤติกรรมการของระบบและสมการแทนระบบ
2. ศึกษาการออกแบบระบบควบคุม
3. ศึกษาและออกแบบตัวกรองสัญญาณป้อนกลับ
4. จำลองการทำงานระบบควบคุมของระบบควบคุม
5. ทดลองระบบควบคุมที่ออกแบบขึ้นบนระบบจริง
6. ปรับปรุงค่าความผิดพลาดในระบบ
7. สรุปผลและทำเล่มวิทยานิพนธ์