ระบบการนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดโดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น

A Navigation System of Quadrotor Using a Stereo Vision System

จุฬปรัชญ์ เพ็ชร์ช้าง[1] และ วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ[2]*

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
*ติดต่อ: ojun_28@hotmail.com[1], viboon.s@chula.ac.th[2], เบอร์โทรศัพท์: 0-2218-6449, เบอร์โทรสาร: 0-2218-6583

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานสี่ใบพัดผ่านเส้นทางที่กำหนดโดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่นประกอบด้วยกล้องหลายตัวที่ติดตั้งอยู่ตามเส้นทางที่กำหนด เพื่อใช้ในการบอกตำแหน่งและการเรียงตัวของอากาศยานสี่ใบพัดในขณะที่กำลังบินเพื่อใช้ในระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานสี่ใบพัดไปตามเส้นทางที่กำหนด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมการนำทางที่ถูกพัฒนาสามารถนำไปใช้ได้อย่างน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะพัฒนาไปใช้งานจริง ซึ่งระบบการนำทางที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการนำทางโดยจีพีเอสที่มีความแม่นยำสูงได้

คำหลัก: อากาศยานสี่ใบพัด, กล้องสเตอริโอวิชั่น, การควบคุมการเคลื่อนที่

Abstract

Navigating of a quadrotor through predefined trajectories using stereo vision system is investigated in this research. The stereo vision system consisted of multi-camera attached through the environment along the trajectory. The position in space as well as orientation of the quadrotor can be controlled along the predefined trajectory. From the experimental result, it is show that the development of the navigation system can be performed very promising for real application. And the navigation system can be applied for using with high precision GPS system.

Keywords: quadrotor, stereo vision, navigating of a quadrotor

1. บทนำ

ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับ(UAV) เริ่มเป็นที่นิยมแพร่หลายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากราคาที่ถูกลง ความง่ายในการใช้งาน และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภททั้งทางด้านพลเรือนและการทหาร เช่น การถ่ายภาพมุมสูง การสำรวจสภาพป่าไม้ การรายงานสภาพแวดล้อมทางอากาศ รวมทั้งภารกิจช่วยเหลือและค้นหาเป็นต้น จะเห็นได้ว่าอากาศยานไร้คนขับจะถูกนำมาใช้ เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดอันตรายขึ้นกับมนุษย์

อากาศยานไร้คนขับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ อากาศยานปีกตรึง (Fixed wing) และอากาศยานปีกหมุน (Rotary wing) โดยในงานวิจัยนี้ใช้อากาศยานปีกหมุนแบบสี่ใบพัด ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อลดความซับซ้อนของอุปกรณ์ทางกล มีความคล่องตัวสูง การบำรุงรักษาน้อยกว่ามีเสถียรภาพในการบินสูง และมีความปลอดภัยต่อมนุษย์มากกว่า เนื่องจากใบพัดมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า

2. ส่วนประกอบต่างๆ

ในงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษานี้ มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ อากาศยานสี่ใบพัด และระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 อากาศยานสี่ใบพัด

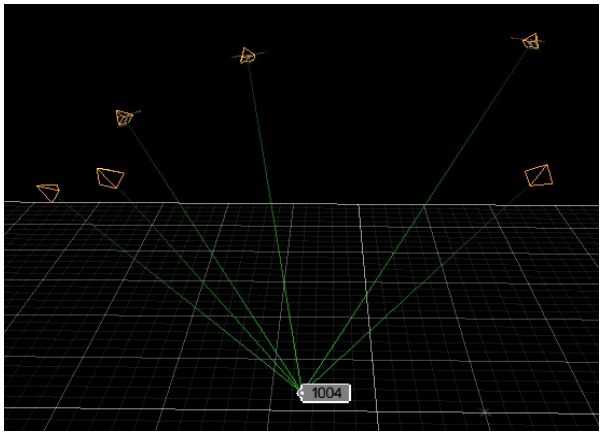
อากาศยานสี่ใบพัดที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีขนาด 450 มิลลิเมตร ขนาดใบพัด 10 นิ้ว ประกอบด้วย Brushless DC Motor จำนวน 4 ตัว ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor) ต่างๆ ประกอบด้วย Gyroscope sensor, Accelerometer sensor, Magnetic field sensor,

และ Barometer sensor ในส่วนอุปกรณ์ประมวลผลจะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino due 32bit ใช้ชิปของ Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 ความเร็ว Clock speed: 84 MHz ซึ่งในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้จะมีความเร็วดังนี้ การติดต่อระหว่าง Gyroscope sensor, Accelerometer sensor จะมีความเร็ว 1000 Hz ส่วน Magnetic field sensor จะความเร็ว 20 Hz และ Barometer sensor จะมีความเร็ว 100 Hz อากาศยานสี่ใบพัดสามารถบรรทุกอุปกรณ์ได้สูงสุด 500 กรัม และสามารถบินได้นานประมาณ 10-15 นาที[4]

2.2. ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น

การคำนวณหาตำแหน่งพิกัดของจุดสามมิติในงานวิจัยนี้ใช้หลักการระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น[1] ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กล้องอย่างน้อยสองตัวในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดในสามมิติ

ในงานวิจัยนี้ใช้กล้องของบริษัท OPTITRACK รุ่น Flex 3 จำนวน 6 ตัว ซึ่งทำให้มีพื้นที่ทำงานให้มากขึ้น โดยกล้องแต่ละตัวมีความละเอียด 640 x 480 พิกเซล อัตราเร็วรับภาพ (Frame rate) 100 FPS และมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง ± 1 เซนติเมตร โดยระบบกล้อง OPTITRACK นี้ถูกติดตั้งภายในห้องขนาด 4 x 4 เมตรดังแสดงในรูปที่1 ซึ่งการใช้งานเริ่มจากการสอบเทียบระบบกล้อง (camera calibration) ด้วยวิธี wanding ซึ่งจะนำไม้ที่มีจุดสะท้อนแสง (A calibration ward) มาแกว่งหน้ากล้องทุกตัวโดยกล้องทุกตัวต้องมองเห็นจุดสะท้อนแสงนี้ ในกระบวนการนี้จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งและลักษณะการวางตัวของกล้องแต่ละตัวเทียบกันได้ จากนั้นจึงทำการกำหนด ground plane และ origin โดยใช้ Calibration Square วางที่พื้นในตำแหน่งที่ต้องการใช้เป็นจุด origin



รูปที่ 1 ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่นที่ติดตั้งภายในห้อง

3. การออกแบบระบบนำทางของอากาศยานสี่ใบพัด

ในการออกแบบระบบนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและแนวทางในทางดำเนินงานวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

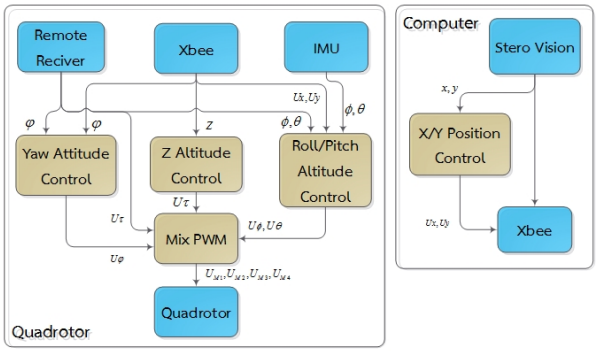
3.1 อากาศยานสี่ใบพัดและระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น

การหาตำแหน่งของอากาศยานสี่ใบพัดโดยระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น จะต้องนำอากาศยานสี่ใบพัดมาติดตั้งจุดสะท้อนแสงอย่างน้อยจำนวน 3 จุดที่ด้านบนดังรูปที่2 เพื่อให้สามารถบอกตำแหน่งและทิศทางการวางตัว โดยจุดสะท้อนแสงจะต้องติดตั้งให้อยู่กึ่งกลางของจุดหมุนของอากาศยานสี่ใบพัดมากที่สุด จากนั้นนำอากาศยานวางภายในพื้นที่ทำงาน เพื่อบันทึกค่าระยะห่างระหว่างจุดสะท้อนแสงทั้ง 3 ตำแหน่ง เมื่อกล้องแต่ละตัวจับภาพจุดสะท้อนแสงได้ ซึ่งจะเห็นการวางตัวของจุดสะท้อนแสงในมุมมองที่แตกต่างกัน แล้วจะนำค่าไปคำนวณย้อนกลับ ซึ่งจะให้ตัวแปรออกมา 6 ค่า คือ ค่าตำแหน่งพิกัด x, y, z และค่ามุม roll, pitch, yaw ของแกน x, y, z ตามลำดับ ตัวแปรที่ได้จะถูกนำไปคำนวณเพื่อใช้ควบคุมระบบนำทางของอากาศยานสี่ใบพัด โดยจะส่งค่าตัวแปรผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz ที่ความเร็ว 50 Hz ไปยังอากาศยานสี่ใบพัด ซึ่งการส่งสัญญาณที่ความเร็วมากขึ้นจะทำให้สัญญาณที่ส่งไปมีค่ารบกวนมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 2 จุดสะท้อนแสงที่ติดตั้งบนอากาศยานสี่ใบพัด

3.2 ระบบควบคุมการนำทาง

ระบบควบคุมการนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนดังรูปที่3 คือ ส่วนประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บนอากาศยานสี่ใบพัด และส่วนประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3 แผนผังระบบการนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดโดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น

ส่วนประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ จะเป็นส่วนของระบบนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดโดยจะรับค่าพิกัด x, y จากกล้องสเตอริโอวิชั่น แล้วนำมาคำนวณโดยใช้ระบบควบคุมแบบคลาสสิคคอล[5] คอนโทรลตามสมการที่1

$$Uxc = Kxp(\mathrm{x}_d - \mathrm{x}) + Kxi\int(\mathrm{x}_d - \mathrm{x})\,\mathrm{dt} + \mathrm{Kxd}(\dot{\mathrm{x}}_d - \dot{\mathrm{x}})$$
$$Uyc = Kyp(\mathrm{x} - \mathrm{x}) + \mathrm{Kyi}\int(\mathrm{x}_d - \mathrm{x})dt + Kxd(\dot{\mathrm{x}}_d - \dot{\mathrm{x}}) \quad (1)$$

ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากจะต้องบินโดยรักษามุม yaw ของอากาศยานสี่ใบพัด ให้ทับกับมุม yaw ของเฟรมกล้องพอดี จึงจะไม่มีค่าความผิดพลาด ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้จากสมการที่ 1 มาคำนวณในสมการที่ 2 [2,3] เพื่อแก้ปัญหามุม yaw ซึ่งค่าคำสั่งควบคุมพิกัด x, y ที่ได้จะถูกนำมารวมกับค่า z และyawแล้วส่งไปยังอากาศยานสี่ใบพัดผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย Xbee 2.4 GHz ที่ความเร็ว 50 Hz

$$Ux = \cos(\varphi)\,\mathrm{Uxc} - \sin(\varphi)\,\mathrm{Uyc}$$
$$Uy = \sin(\varphi)\,\mathrm{Uxc} + \cos(\varphi)\,\mathrm{Uyc} \quad (2)$$

ส่วนประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บนอากาศยานสี่ใบพัดประกอบด้วยระบบควบคุม 3 ส่วนคือ

ส่วนของ Yaw attitude control โดยจะรับค่า yaw จากรีโมท และค่า yaw ของระบบกล้องสเตอริโอวิชั่นผ่าน Xbee และนำค่า yaw มาเปรียบเทียบค่ามุมที่แตกต่างกัน แล้วนำค่าไปคำนวณโดยใช้ PID ซึ่งจะได้ค่าสั่ง $U\varphi$

ส่วนของ Z altitude control จะรับค่าความสูง z จาก xbee แล้วนำไปคำนวณในสมการ PID ซึ่งจะได้ค่าคำสั่ง $U\tau$

ส่วนของ Roll/Pitch attitude control จะรับค่า roll/pitch จาก IMU และจากรีโมท แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบหาค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง แล้วนำค่ามารวมกับ Ux,Uy ที่ได้จากระบบนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดที่คำนวณโดยคอมพิวเตอร์แล้วส่งค่ามาโดย Xbee จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการ PID โดยจะได้ค่าคำสั่ง $U\phi,U\theta$

นำค่าคำสั่งที่ได้จากระบบควบคุมทั้ง 3 ส่วนมารวมกัน โดยประกอบไปด้วยค่า $U\phi,U\theta,U\varphi,U\tau$ ซึ่งจะนำค่าทั้งหมดมาแปลงให้เป็นค่าคำสั่งที่ใช้สั่งงานมอเตอร์แต่ละตัว $(U_{M1},U_{M2},U_{M3},U_{M4})$ ซึ่งจะใช้ค่านี้ไปสั่งอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ต่อไป

4. การทดลอง

4.1 การทดลองระบบนำทางอากาศยานสี่ใบพัดโดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น

การทดลองระบบนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดจะทดลองโดยกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่อ้างอิง เพื่อให้อากาศยานสี่ใบพัดเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งอ้างอิงที่ได้กำหนดไว้ การกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแต่ละจุดจะกำหนดโดยการระบุพิกัดของ x และ y ภายในพื้นที่ทำงานของกล้องสเตอริโอวิชั่นที่สามารถจับภาพได้ ซึ่งพิกัดจะถูกกำหนดในโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์ และจะคำนวณคำสั่งเพื่อสั่งให้อากาศยานสี่ใบพัดบินไปยังเส้นทางการเคลื่อนที่ที่กำหนด และส่งค่าสัญญาณไร้สายไปยังอากาศยานสี่ใบพัดต่อไป

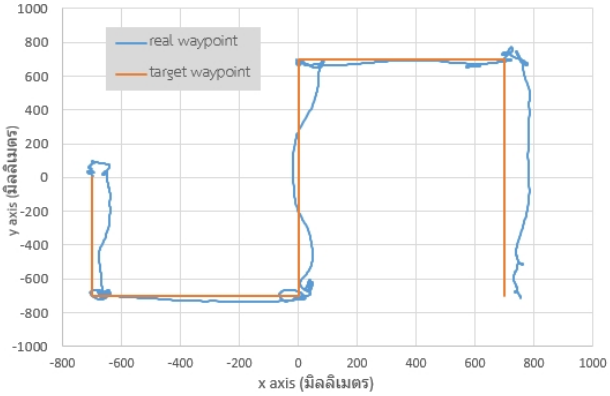
ในการทดลองผู้ทดลองได้กำหนดพิกัดของเส้นทางการเคลื่อนที่อ้างอิงดังตารางที่ 1 โดยการเปลี่ยนพิกัดการเคลื่อนที่จะถูกกำหนดโดยเวลา ซึ่งจะเปลี่ยนไปตำแหน่งถัดไปเมื่อถึงเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งแกน x และ y ที่พิกัดต่างๆ

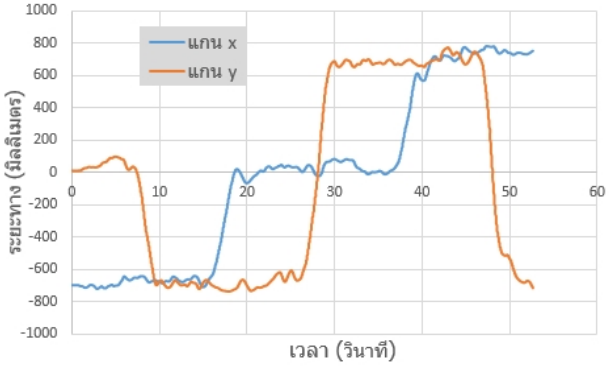
พิกัดที่	เวลา (วินาที)	ตำแหน่งแกน x (mm)	ตำแหน่งแกน y (mm)	มุม Yaw (องศา)
1	5	-700	0	0
2	10	-700	0	90
3	15	-700	-700	90
4	20	-700	-700	0
5	25	0	-700	0
4	30	0	-700	-90
5	35	0	700	-90
6	40	0	700	0
6	45	700	700	0
6	50	700	700	90
6	55	700	-700	90

5. ผลการทดลอง

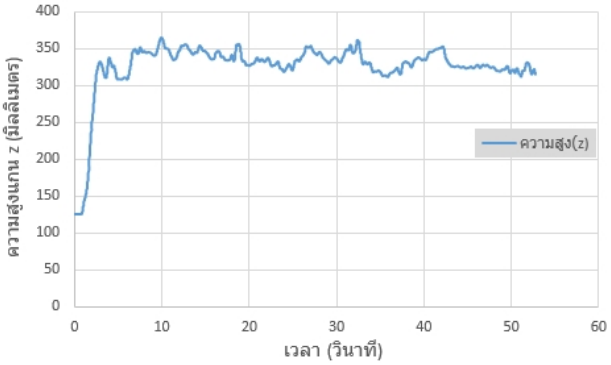
จากการทดลองบินไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่อ้างอิงที่กำหนดและนำข้อมูลที่บันทึกขณะบินมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ พบว่าจากกราฟรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าอากาศยานสี่ใบพัดสามารถบินไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ๆกำหนดได้ แต่ยังมีค่าความผิดพลาดอยู่บ้างในการรักษาตำแหน่งให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด กราฟรูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของแกน x และ y เทียบกับเวลา กราฟรูปที่ 6 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงขณะเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่กำหนดเทียบกับเวลา กราฟรูปที่ 7 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมของอากาศยานสี่ใบพัดขณะบินตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่กำหนด



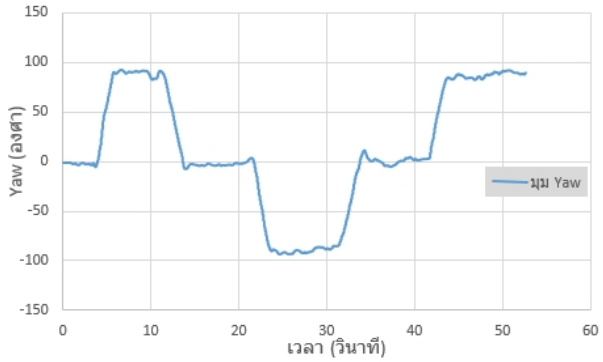
รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งพิกัดของอากาศยานสี่ใบพัดที่บินตามเส้นทางการเคลื่อนที่อ้างอิง



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดตำแหน่ง x และ yที่เคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่อ้างอิง



รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงแกน z ของอากาศยานสี่ใบพัดขณะเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่อ้างอิง



รูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Yaw ของอากาศยานสี่ใบพัดที่เวลาต่างๆ

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดโดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่ออกแบบมาเพื่อควบคุมให้อากาศยานสี่ใบพัดเคลื่อนที่ไปยังพิกัดหรือเส้นทางที่กำหนดไว้ โดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่นในการระบุตำแหน่งของอากาศยานสี่ใบพัดซึ่งมีหลักการทำงาน คือการตรวจจับจุดสะท้อนแสงที่ติดตั้งอยู่ด้านบนจำนวน 3 จุด แล้วนำภาพที่รับได้จากกล้องแต่ละตัวมาประมวลผลรวมกันค่าตัวแปรที่ได้จากระบบกล้องสตอริโอวิชั่นประกอบด้วยค่า x, y, z, roll, pitch, yaw โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เฉพาะค่า x, y, z, yaw ซึ่งระบบควบคุมตำแหน่ง x, y จะประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ เพื่อลดภาระในการคำนวณของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งค่าคำสั่งที่คำนวณได้รวมกับตัวแปรที่เหลือผ่านระบบส่งสัญญาณไร้สาย Xbee ไปยังอากาศยานสี่ใบพัด ซึ่งจะรับค่าตัวแปรที่เหลือแล้วนำมาคำนวณเพื่อสั่งงานมอเตอร์แต่ละตัว จากผลการทดลองพบว่าระบบการนำทางของอากาศยานสี่ใบพัดสามารถควบคุมให้อากาศยานสี่ใบพัดให้เคลื่อนที่ไปยัง

ตำแหน่งพิกัดที่ต้องการได้ โดยค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง ± 10 เซนติเมตร จากการศึกษาวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของระบบ ซึ่งสามารถนำระบบการนำทางโดยใช้ระบบกล้องสเตอริโอวิชั่นนี้ไปประยุกต์ใช้กับระบบการนำทางโดยใช้จีพีเอสได้ง่ายขึ้น

จากการศึกษาวิจัยนี้พบปัญหาที่ส่งผลต่อระบบการนำทางคือ ปัญหาการส่งสัญญาณไร้สายที่ไม่ค่อยมีความเสถียร ทำให้ข้อมูลที่ได้รับไม่ครบตามที่ส่งมา จะส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งได้ เป็นผลให้บางครั้งอากาศยานสี่ใบพัดบินออกนอกพื้นที่ทำงานทำให้อากาศยานตกซึ่งอาจทำให้มอเตอร์แกนคด มีผลทำให้อากาศยานสี่ใบพัดสั่นในขณะบินและทำให้อุปกรณ์ตรวจรู้วัดค่าผิดพลาด

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ducard, G. and Andrea, R.D. (2009). Autonomous Quadrotor Flight Using a Vision System And Accommodating Frames Misalig-nment, *IEEE Symposium on Industrial Embedded Systems SIES 2009*, 8-10 July 2009 Switzerland.

[2] Wierema, M. (2008). Design implementation and flight test of indoor navigation and control system for a quadrotor UAV, Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology.

[3] Bouabdallah, S. and Siegwart, R. (2007). Full Control of a Quadrotor, Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems San Diego, CA, USA, Oct 29 - Nov 2, 2007

[4] ร.ท. จีรศักดิ์ หมวดโพธิ์กลาง และ วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ (2556). การประมาณค่าความสูงสำหรับการลงจอดอัตโนมัติของอากาศยานสี่ใบพัดโดยใช้ระบบการเห็นภาพ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27, 16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี

[5] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ (2556). การควบคุมระบบพลศาสตร์ Control of Dynamic Systems สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330