

การพัฒนาระบบควบคุมโดรนบินในอาคารแบบอัตโนมัติโดยใช้สัญลักษณ์แถบสี Development of autonomous flight control system in buildings using code colors.

เฉลิมชาติ ไพรรศรีสวัสดิ์^{1,*} และ วชิรศักดิ์ วานิชชา²

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 E-mail: chalermchart.p@mail.kmutt.ac.th, vajirasak@sit.kmutt.ac.th

¹โทรศัพท์: 0-8752-86531, ²โทรศัพท์: 0-2470- 9847

Chalermchart Prisisawatd^{1,*} and Vajirasak Vanijja²

School of Information Technology King Mongkut's University of Technology Thonburi

Thung Khru, Bangkok, Thailand 10140

E-mail: chalermchart.p@mail.kmutt.ac.th, vajirasak@sit.kmutt.ac.th

¹Tel: 66(0)-8752-86531, ²Tel: 66(0)- 2470-9847

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ โดรนได้ถูกนำมาใช้ในภารกิจที่หลากหลาย ส่วนมากเป็นโดรนที่บินภายนอกอาคารใช้ระบบ GPS ในการนำทาง แต่การนำโดรนบินตรวจการณ์ภายในอาคาร มีความยากลำบากเนื่องจากภายในอาคารปราศจากสัญญาณควบคุมตำแหน่งจาก GPS จึงทำให้โดรนไม่มีเสถียรภาพในการบินได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ การพัฒนาระบบที่ใช้ควบคุมโดรนให้บินภายในอาคารแบบอัตโนมัติ โดยใช้สัญลักษณ์แถบสีเพื่อนำทางการบิน และสามารถบังคับให้เปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรนได้ ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้โดรนแบบต้นทุนต่ำ AR Drone2.0 โดยทำการประมวลผลภาพ จากกล้องหน้าโดรน จากนั้นระบบจะส่งสัญญาณจากเครื่องคอมพิวเตอร์ย้อนกลับไปที่ควบคุมให้โดรนเคลื่อนที่ตามสัญลักษณ์แถบสี

ในการพัฒนาระบบควบคุมการบินของโดรนแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคัดเลือกสีที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้เป็นสัญลักษณ์แถบสี และขั้นตอนที่สองพัฒนาวิธีการควบคุมให้โดรนเปลี่ยนเส้นทางการบินด้วยสัญลักษณ์แถบสี ซึ่งจากการคัดเลือกสีที่ได้ทั้งหมดเป็นสีชนิดเรืองแสง เนื่องจากทำให้โดรนรับภาพผ่านกล้องหน้าได้ไกลกว่าสีชนิดธรรมดาถึงร้อยละ 30 และโดรนสามารถบินติดตามสัญลักษณ์แถบสีได้อย่างอัตโนมัติ อีกทั้งยังสามารถเปลี่ยนเส้นทางการบินได้ เมื่อบินเข้าใกล้แผ่นป้ายนำทางสัญลักษณ์แถบสี

คำสำคัญ: โดรนบินแบบอัตโนมัติ, สัญลักษณ์แถบสี

Abstract

This paper presents the solution most of the Drones unable to indoor flying cause of without some GPS signal to control. The AR Drone 2.0 has been used main experimental equipment with Python and OpenCV to flying control on the Linux Ubuntu computer system.

This experiment is divided into two parts. The first part (Part-A) is carried out to test the color pattern of the tracking sign code colors as most suitable and second part (Part-B) is carried out to develop algorithm drone to change a waypoint follow the code colors sign.

The results of experiments Part-A, there are 3 most suitable colors such as pink fluorescent, orange fluorescent and green fluorescent. The front camera of AR Drone2.0 able to respond fluorescent colors type more than ordinary color type 30%. The results of experiments Part-B, The AR Drone2.0 able to change waypoint follow the code colors sign as prescribed.

Keywords: autonomous flight control system, code colors

1. บทนำ

จากการศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับโดรนที่บินแบบอัตโนมัติสำหรับภารกิจบินตรวจการณ์ภายในอาคาร โดยไม่ใช้ระบบ GPS ซึ่งวิธีการนำทางโดรนได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Jin Kim [1] ใช้วิธีการให้โดรนบินติดตามแผ่นป้ายนำทาง ได้ออกแบบให้โดรนบินแบบอัตโนมัติ และรักษาระยะห่างระหว่างแผ่นป้ายนำทางกับตำแหน่งของโดรน ซึ่งภาพที่ได้ผ่านกล้องหน้าของโดรนจะถูกคำนวณหาจุดกึ่งกลางโดยการแบ่งครึ่งความยาวของเส้นทแยงมุมจากขอบของภาพแผ่นป้ายนำทางที่รับได้ สำหรับงานวิจัยนี้มีความเที่ยงตรงที่ระยะทาง 3 เมตร และได้ศึกษางานวิจัยของ K. Boudjit [2] ได้นำเสนอวิธีการนำเอา AR Drone มาประยุกต์ใช้งานให้บินแบบอัตโนมัติใ้มนุษย์ควบคุมการบินด้วยระบบ ROS (Robot Operating System) ซึ่งโดรนจะทำการตรวจสอบรูปร่างของวัตถุที่บินติดตามได้ อีกทั้งยังได้มีวิธีการให้โดรนบินติดตามเส้นทางที่มีสีแดงต่างจากพื้นโดยการออกแบบให้ใช้กล้องได้ลำตัวโดรนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ สำหรับงานวิจัยของ Richard Williams [3] ได้นำเสนอวิธีการนำเอาโดรนชนิดต้นทุ่นด้ามมาใช้ในการทดลองเช่นกันในงานวิจัยนี้ได้อธิบายคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายด้านของ AR Drone2.0 เช่นระบบรักษาเสถียรภาพการบินในแนวนอนกับพื้นโลกด้วยเทคโนโลยี Optical Flow ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองด้วยวิธีการ Gazebo 3D ออกแบบให้มีโดรนหลายตัวบินอัตโนมัติเพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งกำหนดให้โดรนทุกลำสามารถบินหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และไม่ชนกันเองได้ งานวิจัยของ Keiji Kamei [4] ได้นำเสนอวิธีการใช้ AR Drone2.0 บินตรวจสอบต้นไม้ในป่า กำหนดให้โดรนบินตรวจสอบผ่านแถบ 3 สีที่ผูกติดอยู่กับต้นไม้ ซึ่งเป็นการสื่อสารกับโดรนว่านั่นคือต้นไม้ เมื่อโดรนบินเข้าใกล้แถบ 3 สีนั้น โดรนจะหยุดเคลื่อนที่และบินกลับไปยังจุดปล่อยโดรนในงานวิจัยนี้ ประสบกับปัญหาในเรื่องแสงสว่างไม่

คงที่ ส่งผลให้โปรแกรมควบคุมโดรนมีความยากลำบากในการรับรู้และคัดแยกสี จึงได้แก้ปัญหาโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวกรองสีให้สามารถรับรู้แสงสว่างได้หลายระดับ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับภาพสีที่รับได้จากกล้องหน้าโดรน งานวิจัยของTianqu Zhao [5] ได้นำเสนอวิธีการนำโดรนลงจอดแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบภาพ AR Marker ซึ่งใช้กล้องได้ลำตัวเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง และนำโดรนลงจอดระบบที่ใช้ในการทดลองคือ ROS (Robot Operating System)บนระบบปฏิบัติการLinux Ubuntu

ประโยชน์ที่ได้รับจากการพัฒนาระบบควบคุมโดรนบินในอาคารแบบอัตโนมัติโดยใช้สัญลักษณ์แถบสีสามารถแก้ปัญหาในกรณีใช้โดรนบินตรวจการณ์ภายในอาคารไม่ต้องใช้สัญญาณการนำทางจาก GPS ซึ่งเป็นวิธีการที่เรียบง่าย แต่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดทรัพยากรบุคคลในการเดินตรวจการณ์ภายในอาคารลงได้ หรือนำไปประยุกต์ให้บินตรวจการณ์ในโกดังกักเก็บสารเคมี สารระเหย แพนมุษย์เพื่อช่วยลดความเสี่ยงอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพในการเดินตรวจการณ์ได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบการนำทางของโดรนโดยมากจะใช้ระบบอ้างอิงพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS) แต่ภายในอาคารจะไม่มีสัญญาณ GPS ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการนำทางโดรนให้บินภายในอาคารได้ โดยใช้กล้องหน้าของโดรนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญลักษณ์แถบสี ดังมีหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้

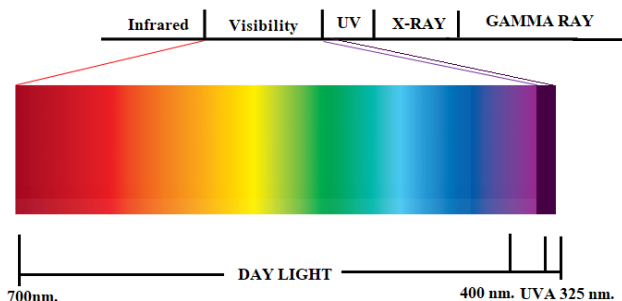
2.1 AR Drone 2.0 โดรนที่ใช้สำหรับการทดลอง

AR Drone2.0 เป็นโดรนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รีมีน้ำหนักรเบา เป็นที่นิยมใช้กันอย่างมากในงานวิจัย และพัฒนาทางด้านการบินแบบอัตโนมัติ ไร่มนุษย์ควบคุมเนื่องจาก AR Drone2.0 สามารถทำการบินภายในอาคารได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องใช้การอ้างอิงตำแหน่งจากดาวเทียม หลักการทำงานของ AR Drone2.0 ใช้เทคโนโลยีรักษาเสถียรภาพในการทรงตัวในอากาศให้ลอยตัวอยู่กับที่ด้วยเทคโนโลยี Optical flow [3] จากกล้องขนาดเล็ก ที่ติดอยู่ใต้ลำตัวของโดรนจะคอยรักษาดำเนินการบินของ AR Drone2.0 ให้คงที่ตลอดเวลาจนกว่าจะได้รับคำสั่งการเคลื่อนที่จากเครื่องคอมพิวเตอร์หรือ สมาร์ทโฟน ที่ได้ติดตั้งโปรแกรมควบคุมไว้แล้ว AR Drone2.0 ยังสามารถควบคุมการเคลื่อนด้วยภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขั้นสูงเช่นภาษาโปรแกรม Python ได้อย่างมีประสิทธิภาพ AR Drone2.0ใช้ระบบปฏิบัติการLinux 2.9.32 เพื่อควบคุมการทำงาน ใช้ CPU 32 bit ขนาดความเร็ว 800 MHz Cortex -A8เป็นระบบประมวลผล มีกล้อง 2ชุดคือกล้องหน้า และกล้องที่อยู่ใต้ลำตัวใช้การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน ผ่านระบบ WLAN สามารถรักษาระดับเพดานการบินด้วยระบบ Ultrasonic [5]

2.2 แสงสว่างที่มีผลกระทบกับการอ่านแผ่นป้ายนำทางของ AR Drone2.0

กล้องหน้าของ AR Drone2.0 จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องอาศัยแสงสีที่สะท้อนมาจากวัตถุกลับมายังกล้องหน้าโดรน ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดในการตรวจจับสัญลักษณ์แถบสีที่ใช้นำทางโดรนจึงต้องใช้แสงชนิดสีขาว (Daylight) เท่านั้น แสงสีขาวจะประกอบไปด้วย 7 สี ดังแสดงในรูปที่ 1 และแสงสีขาวที่สลายตา

มนุษย์มองเห็นมีความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร รวมไปถึงแสงที่สายตามนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้คือแสงเหนือม่วง (Ultraviolet A) มีความยาวคลื่น 315 – 400 นาโนเมตร [6]



รูปที่ 1 แถบความถี่ของแสงสีขาวยุคที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นและรับรู้ได้

2.3 สัญลักษณ์แถบสีสำหรับการนำทางของโดรน

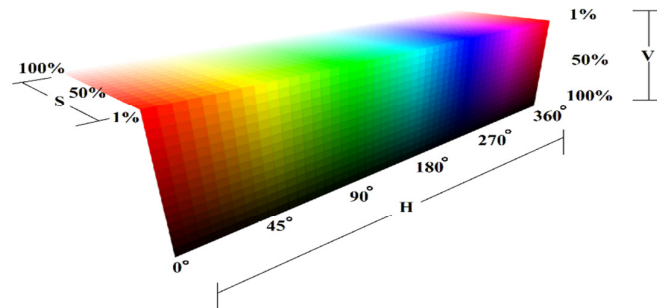
สภาพแสงส่องสว่างที่เหมาะสมภายในอาคาร ส่องตกกระทบแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสีสำหรับการนำทางของโดรน สำหรับสีที่ใช้เส้นทางโดรนต้องเป็นสีที่กลิ้งหน้าของ AR Drone2.0 รับภาพได้ชัดเจน และรับภาพได้ระยะทางที่ไกลที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อคัดเลือกสีที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเป็นแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสีเพื่อใช้เส้นทางโดรนภายใต้แสงส่องสว่างในอาคารที่มีค่าส่องสว่างอยู่ระหว่าง 20 – 2400 lx ตามมาตรฐานของการแสงส่องสว่างภายในอาคาร [7] แต่ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวิธีการทดลองคุณสมบัติของสีภายใต้แสงสว่างระดับที่กำหนดไว้คือ 1 - 2500 lx เพื่อให้ครอบคลุมสภาพแสงที่ต่ำกว่า หรือสูงกว่าค่ามาตรฐานในการทดลอง

2.3.1 ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) ที่ใช้งานร่วมกับ ไบรารี OpenCV

ระบบสีที่ใช้งานร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ระบบ HSV (Hue Saturation Value) และ BGR (Blue Green Red) สำหรับการประมวลผลภาพของ ไบรารี OpenCV จะใช้ HSV เป็นหลัก แต่ภาพที่ได้รับจากกล้องหน้า AR Drone2.0 เป็นระบบสี BGR ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงเป็นระบบ HSV ด้วยชุดคำสั่งจาก ไบรารี OpenCV ก่อนทำการประมวลผลภาพ (Image Processing)

2.3.2 องค์ประกอบของระบบสี HSV (Hue Saturation Value)

ชุดคำสั่งของ ไบรารี OpenCV ที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม Python ต้องใช้ระบบสี HSV ในการประมวลผลภาพจากกล้องหน้าของ AR Drone2.0 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ H (Hue) คือเฉดของสีที่เริ่มต้นจาก 0 – 360 องศา เรียงลำดับ จากสีแดง ถึงม่วงแดง ถัดมาคือ S (Saturation) หมายถึงระดับความเข้มของสีมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เรียงลำดับสีจาก 0% ไปถึง สีเข้ม 100% และสุดท้ายคือ V (Value) ระดับความสว่างของสีมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เรียงลำดับความมืดของสีที่ 0% ไปถึง ความสว่างของสีที่ 100% ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าของ V (Value) เนื่องจากกล้องหน้าของ AR Drone2.0 อาศัยความสว่างในการรับภาพจึงใช้ค่าของ V เป็นเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกค่าที่มีเปอร์เซ็นต์ของ V สูงสุด รูปที่ 2 แสดงถึงองค์ประกอบของระบบสี HSV แบบมุมมอง 3 มิติ ที่เรียงตามลำดับของสี ความเข้ม และความสว่าง



รูปที่ 2 องค์ประกอบของสีระบบ HSV (Hue Saturation Value)

2.4 การใช้ไลบรารี OpenCV คัดเลือกสีจากกล้องหน้า AR Dron2.0 เบื้องต้น

ดังที่กล่าวมาการตรวจจับสีในไลบรารี OpenCV สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของ V (Value) มาเป็นเกณฑ์การคัดเลือกสี ซึ่งการทดลองให้ครอบคลุมช่วงของแสงสว่างที่ 1lx – 2500lx เป็นแก้ปัญหการรับรู้สีในสภาพแสงสว่างไม่คงที่ [4] ดังในรูปที่ 3 อธิบายการชดเชยสภาพแสงสว่างที่ไม่คงที่โดยการกำหนดการรับรู้ของสีในสภาวะแสงสว่างสูงสุด (Upper) และแสงสว่างต่ำสุด (Lower)



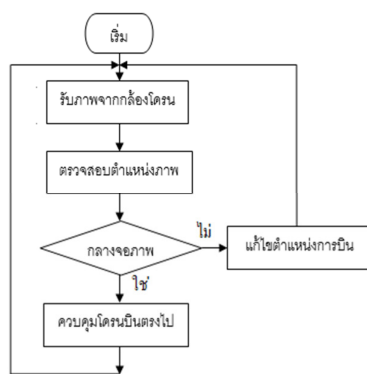
รูปที่ 3 ขอบเขตการรับรู้ค่าของความสว่างสี V (Value)

2.5 วิธีการควบคุมให้โดรนบินติดตามแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสี

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้โดรนบินติดตามสัญลักษณ์แถบสี ในตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นป้ายนำทางเพียงสีเดียวเท่านั้น คือสีที่รับภาพจากกล้องหน้าของ AR Drone2.0 ได้ชัดเจนที่สุดในขณะที่โดรนบินลอยตัวอยู่ในอากาศ จะพยายามรักษาคำแหน่งของการบินให้ภาพของแผ่นป้ายนำทางอยู่กึ่งกลางจอภาพตลอดเวลา [1] ซึ่งได้กำหนดให้มีการควบคุมการบินของโดรน 5 รูปแบบดังในตารางที่ 1 เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการรักษาคำแหน่งตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นได้กำหนดควบคุมการบินให้สัมพันธ์กับการอ้างอิงตำแหน่งพิกเซลของภาพที่รับได้จากกล้องหน้าโดรน ในรูปที่ 4 (ก)ผังการทำงานของอัลกอริทึมการควบคุมการบินของโดรน รูปที่ 4(ข) Pseudo Code ของอัลกอริทึมการควบคุมการบินของโดรน และรูปที่ 4 (ค) ตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงแผ่นป้ายนำทางขณะที่อยู่บริเวณกึ่งกลางจอภาพ โปรแกรมจะควบคุมโดรนให้บินตรงไปด้านหน้า

ตารางที่ 1 รูปแบบการบินของโดรนที่สัมพันธ์กับตำแหน่งภาพแผ่นป้ายนำทางบนหน้าจอแสดงผล

ลำดับที่	รูปแบบการบิน	ภาพจากกล้องหน้าโดรน
1	บินตรงไปด้านหน้า	บริเวณกึ่งกลางจอ
2	บินไปด้านซ้าย	บริเวณด้านขวาของจอ
3	บินไปด้านขวา	บริเวณด้านซ้ายของจอ
4	บินสูงขึ้น	อยู่ใต้บริเวณที่กำหนด
5	บินต่ำลง	อยู่เหนือบริเวณที่กำหนด



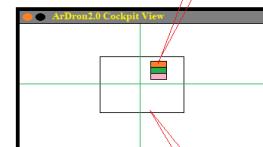
(ก) ฟังก์ชันการทำงาน

```

IF รับสัญญาณแถบสีที่กำหนดจากกล้องหน้าโดรนได้
IF สัญญาณแถบสีอยู่ในบริเวณกึ่งกลางจอภาพ
ควบคุมให้โดรนบินตรงไปข้างหน้า
Return:
IF สัญญาณแถบสีอยู่ด้านขวาของบริเวณกึ่งกลางจอภาพ
ควบคุมให้โดรนบินเลี้ยวมาทางซ้ายของบริเวณกึ่งกลาง
Return:
IF สัญญาณแถบสีอยู่ด้านซ้ายของบริเวณกึ่งกลางจอภาพ
ควบคุมให้โดรนบินเลี้ยวมาทางขวาของบริเวณกึ่งกลาง
Return:
IF สัญญาณแถบสีอยู่ด้านบนของบริเวณกึ่งกลางจอภาพ
ควบคุมให้โดรนบินสูงขึ้นของบริเวณกึ่งกลาง
Return:
IF สัญญาณแถบสีอยู่ด้านล่างของบริเวณกึ่งกลางจอภาพ
ควบคุมให้โดรนบินต่ำลงของบริเวณกึ่งกลาง
Return:
Return:
    
```

(ข) Pseudo Code

แผ่นป้ายแถบสีนำทางโดรน



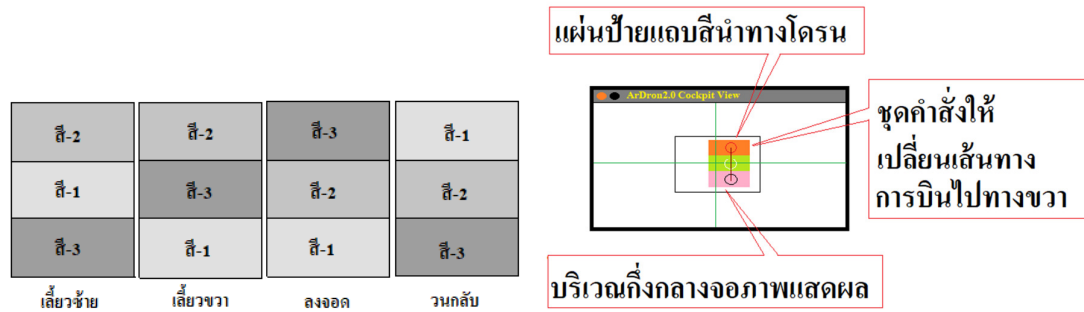
บริเวณกึ่งกลางจอภาพแสดงผล

(ค) ตัวอย่างโดรนบินตรงไปด้านหน้า

รูปที่ 4 หลักการทำงานของกรรการรักษาดำเนินการบินให้ภาพแผ่นป้ายนำทางอยู่บริเวณกึ่งกลางจอภาพตลอดเวลา

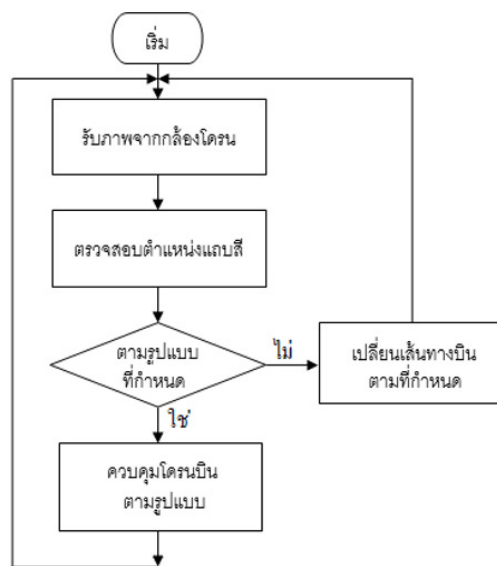
2.6 การควบคุมเปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรนด้วยสัญญาณแถบสี

เมื่อโดรนบินเคลื่อนที่มาถึงบริเวณตำแหน่งที่ต้องหยุด เพื่อตรวจสอบสัญญาณแถบสีในการเปลี่ยนเส้นทางการบิน หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับชุดคำสั่งที่ได้กำหนดรูปแบบการบินไม่ซ้ำกัน 4 รูปแบบ ดังรูปแสดงในรูปที่ 5 (ก) วิธีการกำหนดคำสั่งเปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรนโดยใช้แถบ 3 สีเรียงต่อกันในแนวตั้ง และ ในรูปที่ 5 (ข) ตัวอย่างแสดงเมื่อโดรนบินเข้าใกล้แผ่นป้ายนำทางและตรวจสอบได้ว่า ให้เปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรนไปทางด้านขวา และอัลกอริทึมการควบคุมการเปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรนแสดงในรูปที่ 6 (ก) คือฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมควบคุมโดรน รูปที่ 6 (ข) Pseudo Code



(ก) รูปแบบการเปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรน (ข) ตัวอย่างโดรนเปลี่ยนเส้นทางไปทางด้านขวา

รูปที่ 5 รูปแบบสัญลักษณ์แถบสีที่ใช้ควบคุมการเปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรน



(ก) ฟังก์ชันการทำงาน

```

IF รับสัญลักษณ์แถบสีที่กำหนดจากกล้องหน้าโดรนได้
IF สัญลักษณ์แถบตรงกับรูปแบบที่1
ควบคุมให้โดรนบินเขียวซ้าย
Return:
IF สัญลักษณ์แถบตรงกับรูปแบบที่2
ควบคุมให้โดรนบินเขียวขวา
Return:
IF สัญลักษณ์แถบตรงกับรูปแบบที่3
ควบคุมให้โดรนลงจอด
Return:
IF สัญลักษณ์แถบตรงกับรูปแบบที่4
ควบคุมให้โดรนบินวนกลับ
Return:
Return:
    
```

(ข) Pseudo Code

รูปที่ 6 อัลกอริทึมควบคุมเปลี่ยนเส้นทางการบินของโดรน

2.7 วิธีการคำนวณหาความแตกต่างของสีที่นำมาใช้เป็นสัญลักษณ์แถบสี

คือการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างสี เพื่อคัดเลือกหาสีที่ชัดเจนที่สุด สำหรับนำมาทำแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสีเพื่อใช้ในการทดลอง และทำการเปรียบเทียบระหว่างสีทั้งสองชนิด ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$V_p = (((v_a - v_b) / v_a)) * 100 \quad (1)$$

โดยที่ V_p คือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าความสว่างของสี(Value)ที่ได้รับได้จากกล้องหน้าโดรนเปรียบเทียบกับ 2 สี มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

v_a คือ ค่าความสว่างมากที่สุดของการรับสีได้จากกล้องหน้าโดรน (%)

v_b คือ ค่าความสว่างที่น้อยที่สุดของการรับสีได้จากกล้องหน้าโดรน (%)

3. การดำเนินการทดลอง

ในบทนี้จะได้อธิบายถึงขั้นตอนและสิ่งที่สำคัญในการทดลองต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ขั้นแรก จำเป็นต้องจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมการบินของโดรนซึ่งในปัจจุบันได้มีโปรแกรมที่สามารถใช้พัฒนาอัลกอริทึมควบคุมโดรนได้หลายโปรแกรมเช่น C++ Node.js และ Android ซึ่งแต่ละภาษามีข้อดีที่แตกต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ภาษา Python2.7 เนื่องจากมีชุดคำสั่งการติดตั้ง ไลบรารี OpenCV2 สำหรับการประมวลผลภาพ (Image Processing) ลงบนระบบปฏิบัติการ Linux Ubuntu16.4 ได้อย่างอัตโนมัติ กล่าวคือช่วยลดเวลาขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องมือลงได้มาก อีกทั้งยังมีตัวอย่างเพื่อสนับสนุนการพัฒนาระบบควบคุม AR Drone2.0 ที่หลากหลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง Python2.7 สำหรับการพัฒนาเครื่องมือที่สำคัญต่อไป

3.1 อุปกรณ์และสถานที่ สำหรับการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ AR Drone2.0 เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ซึ่งเป็นโดรนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการบิน จำเป็นที่จะต้องทำการอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มก่อนทำการทดลองทุกครั้ง แผ่นป้ายกระดาษที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อนำทางโดรน ต้องเป็นกระดาษที่มีสีสันแตกต่างกัน และสถานที่ทำการทดลองเป็นภายในอาคาร หรือภายนอกอาคาร ที่มีแสงสว่างอยู่ในช่วง 100 – 2500 lx และมีกระแสลมที่น้อยกว่า 1 เมตรต่อ วินาที(m/s) และเพื่อความปลอดภัยในการทดลอง จึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งชุดป้องกันพัดด้วยทุกครั้ง AR Drone2.0 ที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้แสดงในรูปที่ 7



(ก) ภาพด้านบนของโดรน

(ข) ภาพด้านล่างของโดรน

รูปที่ 7 AR Drone2.0 โดรนพลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ในการทดลอง

3.2 การตรวจวัดค่าของแสงสว่างและกระแสลมที่เหมาะสมก่อนทำการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้ ต้องอาศัยแสงสว่างเพื่อสะท้อนกับแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสี กลับมายังกล้องหน้า และกล้องที่ติดตั้งอยู่ใต้ลำตัวของโดรน ให้โดรนลอยตัวอยู่ในอากาศในสภาวะที่เสถียร AR Drone2.0 ได้ใช้วิธีการรักษาเสถียรภาพการบินด้วยเทคโนโลยี Optical Flow [3] จากการทดลองหลายครั้ง พบว่าแสงสว่างที่เหมาะสมในการทดลองจะอยู่ในช่วง 100 – 2500 lx ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดแสงสว่าง VICTOR รุ่น 1010A และกระแสลมที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง เมื่ออ่านค่าจากเครื่องมือวัดกระแสลมต้องไม่เกิน 1 เมตรต่อเวลา 1 วินาที (1m/s) โดยใช้เครื่องมือวัดกระแสลม รุ่น HT-838B ดังรูปที่ 8 (ก)

3.3 การคัดเลือกสีที่เหมาะสมสำหรับที่นำมาใช้เป็นสัญลักษณ์แถบสีในการทดลอง

การคัดเลือกสีที่จะนำมาใช้ ในการพัฒนาระบบควบคุมโดรนบินในอาคารแบบอัตโนมัติ นั้น ใช้แผ่นทดลอง 12 จุดสีที่มีขนาดกว้าง 38 เซนติเมตร ยาว 58 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดจุดสี 11 เซนติเมตร จำนวน 12 จุดสี ดังรูปที่ 8 (ข) จะทำการทดลองสีที่รับได้จากกล้องหน้าของโดรนชัดเจนที่สุดในระยะทางที่ 1 เมตร และนำสีที่ได้มาทำการคัดเลือกให้เหลือเพียง 3 สี



(ก) เครื่องมือวัดแสงสว่างและเครื่องมือวัดกระแสลม

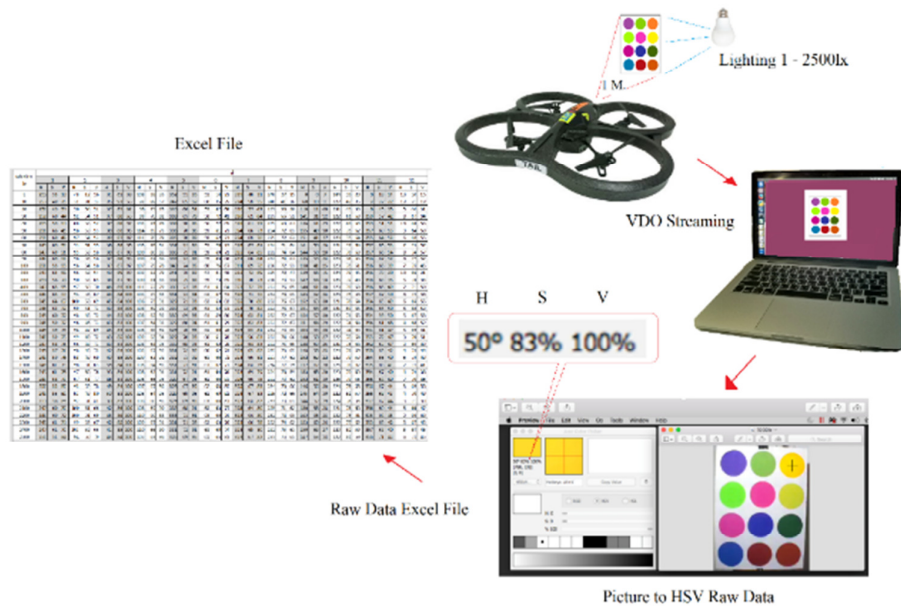
(ข) แผ่นป้ายสำหรับใช้ทดลอง 12 จุดสี

รูปที่ 8 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดลอง

ตารางที่ 2 สีที่ถูกนำมาคัดเลือกหาความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นสัญลักษณ์แถบสีในการทดลอง

สีที่	สีที่คัดเลือก	สีที่	สีที่คัดเลือก
1	สีม่วง	7	สีชมพู
2	สีเขียวอ่อน	8	สีน้ำเงิน
3	สีแดงชนิดเรืองแสง	9	สีเขียว
4	สีเขียวชนิดเรืองแสง	10	สีฟ้า
5	สีชมพูชนิดเรืองแสง	11	สีแดง
6	สีเหลือง	12	สีแสด

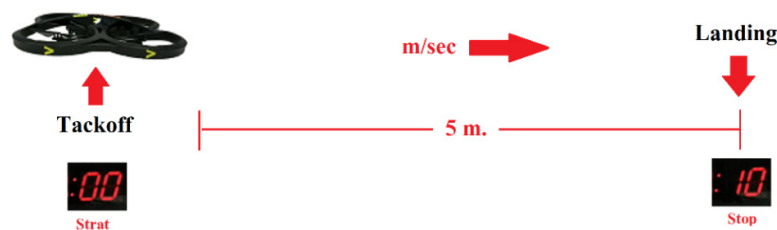
วิธีการทดลองเริ่มจาก ปรับแสงสว่างที่ส่องไปยังแผ่นทดลอง 12 จุดสี ซึ่งกำหนดค่าการส่องสว่าง ในการทดลอง อยู่ที่ 1 - 2500 lx การปรับค่าความสว่างทำได้โดยการเลื่อนหลอดไฟส่องสว่างออกจากแผ่นป้ายทดลอง และการจัดวางให้แผ่นทดลอง 12 จุดสี อยู่ห่างจากกล้องหน้าโดรนในระยะทางประมาณ 1 เมตร จากนั้นเก็บภาพหน้าจอ เพื่อใช้โปรแกรม Just Color Picker อ่านค่า HSV แล้วทำการบันทึกค่าที่อ่าน ได้ลงในตาราง Excel เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการคัดเลือกหาสีที่เหมาะสมต่อไป ดังในรูปที่ 9



รูปที่ 9 วิธีการคัดเลือกหาสีที่เหมาะสม เพื่อทำแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสีในการทดลอง

3.4 การทดลองจับเวลาโดรนบินแบบอิสระเพื่อหาค่าความเร็วเฉลี่ย

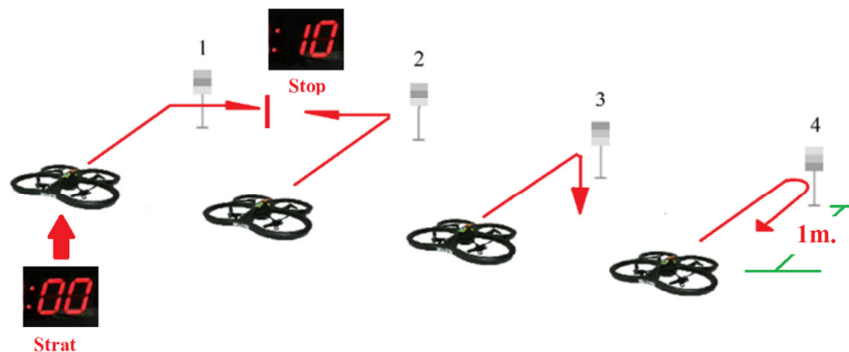
โดรนที่บินได้แบบอัตโนมัติต้องมีอัลกอริทึมควบคุมการบิน ซึ่งในขบวนการการตัดสินใจ ที่ต้องใช้เวลาในการคำนวณ หรือตรวจสอบเงื่อนไขในการทำงานต่างๆ ดังนั้นจึงต้องหาค่าของเวลาเฉลี่ยของโดรนบินอิสระ โดยปราศจากอัลกอริทึมในการตัดสินใจเป็นการอ้างอิงความเร็วสูงสุดโดยใช้วิธีการจับเวลาโดรนบินระยะทางที่ 5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ทดลองบินอิสระแบบจับเวลาที่ระยะทาง 5 เมตร

3.5 การทดลองเปลี่ยนเส้นทางบินตามแผนป้ายสัญลักษณ์แถบสีแบบจับเวลา

เมื่อที่โดรนได้ขึ้นบินติดตามแผนป้ายนำทางจนกระทั่งถึงจุดที่ต้องหยุดในตำแหน่งเปลี่ยนเส้นทางการบิน ซึ่งได้กำหนดให้อยู่ห่างจากแผนนำทางที่ระยะทางประมาณ 1 เมตร เมื่อโดรนรับภาพแผนป้ายนำทางที่มีขนาดมากกว่า 50 พิกเซล จากนั้นโปรแกรมจะตัดสินใจว่า ต้องเปลี่ยนไปเส้นทางบิน ในขณะที่ทำการทดลองนั้นให้สังเกต ถึงความสำเร็จในการเปลี่ยนเส้นทางของโดรน และเริ่มต้นจับเวลาการบินตั้งแต่โดรนเริ่มลอยตัว จนกระทั่งทำการเปลี่ยนเส้นทางการบินได้สำเร็จ จากนั้นบันทึกเวลาลงตารางเพื่อทำการคำนวณเปรียบเทียบเวลาการบินตรงแบบอิสระ(ข้อ 3.4) รูปที่ 11 แสดงถึงรูปแบบการเปลี่ยนเส้นทางการบินทั้ง 4 รูปแบบ



รูปที่ 11 ทดลองเปลี่ยนเส้นทางการบินตามแผนป้ายสัญลักษณ์แถบสีแบบจับเวลา

3.6 ขั้นตอนการทดลองโดรนบินอัตโนมัติโดยใช้สัญลักษณ์แถบสีในการนำทาง

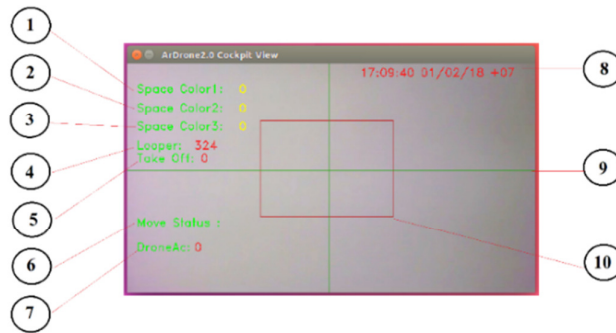
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองนี้พัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อควบคุมการบินของ AR Drone2.0 คือโปรแกรม SITLabDrone.py ออกแบบอัลกอริทึมให้โดรนบินได้แบบอัตโนมัติโดยใช้แถบสีในการนำทางซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.6.1 เชื่อมต่อ AR Drone2.0 กับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยระบบ WLAN (wireless local area network)

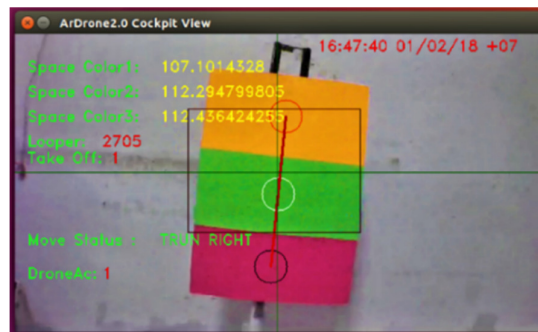
เมื่อ AR Drone2.0 เชื่อมต่อเข้ากับแบตเตอรี่แล้ว โดรนจะปล่อยสัญญาณ Access Point ชื่อสถานีคือ ardrone2_69559 สามารถเชื่อมต่อโดยที่ไม่ต้องใส่รหัสผ่าน

3.6.2 การใช้งานโปรแกรม SITLabDrone.py ทดลองควบคุม AR Drone2.0

เปิดโปรแกรม Python บนระบบระบบปฏิบัติการ Linux Ubuntu16.04 จากนั้นเปิดใช้งานโปรแกรมชื่อไฟล์ SITLabDrone.py และสั่งให้โปรแกรมทำงาน จะปรากฏภาพหน้าต่างของโปรแกรมขึ้นมาแสดงสถานะการทำงานของโดรนดังในรูปที่ 12 (ก) และรูปที่ 12 (ข) แสดงตัวอย่างเมื่อโดรนบินแบบอัตโนมัติและ ตารางที่ 3 แสดงความหมายข้อความบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อโดรนบินแบบอัตโนมัติ



(ก) รายละเอียดของหน้าจอแสดงผล



(ข) ตัวอย่างในขณะการใช้ของโปรแกรม

รูปที่ 12 รายละเอียดของหน้าจอแสดงผลเมื่อสั่งให้โปรแกรม SITLabDrone.py ทำงาน

ตารางที่ 3 รายละเอียดของหน้าจอแสดงผลเมื่อสั่งให้โปรแกรม SITLabDrone.py ทำงาน

ลำดับที่	แสดงผลหน้าของโดรน	หน่วยวัด หรือสถานะของโดรน
1	จำนวนพิกเซลสีแสดที่รับได้	≥ 10 Pixel, ≤ 150 Pixel
2	จำนวนพิกเซลสีเขียวที่รับได้	≥ 10 Pixel, ≤ 150 Pixel
3	จำนวนพิกเซลสีชมพูที่รับได้	≥ 10 Pixel, ≤ 150 Pixel
4	จำนวนรอบของโปรแกรม	>0 , ≤ 1500 then Landing
5	แจ้งสถานะของโดรน	0 = Standby, 1 After drone takeoff
6	สถานะการเคลื่อนที่ของโดรน	Hover, Forward, Turn left, Turn right, Move lift, Move right, Move up, Move down and Landing
7	สถานะโดรนพร้อมทำงาน	0 = Disable, 1 = Enable เมื่อรอบโปรแกรมมากกว่า 600 รอบ
8	วัน เวลา	แสดงวัน เวลาในขณะทำการทดลอง
9	เส้นตัดกึ่งกลางจอภาพ	อ้างอิงจุดกึ่งกลางจอ
10	กรอบการตัดสินใจของโดรน	บริเวณกึ่งกลางจอ ควบคุมให้บินตรง เมื่อแผ่นป้ายอยู่ในกรอบ

4. ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ส่วนซึ่งจะได้นำเสนอต่อไปนี้

4.1 การคัดเลือกสีที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแผ่นป้ายนำทาง

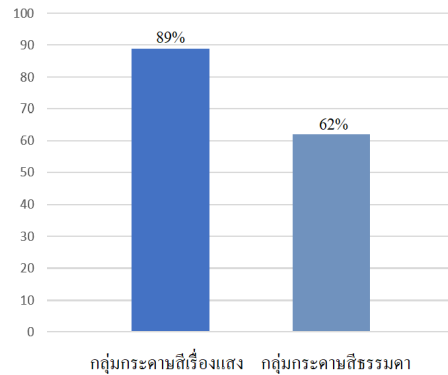
ตารางที่ 4 คือข้อมูลที่บันทึกได้ทั้งหมด 35 ค่าในการทดลองช่วงแสงสว่าง 1 – 2500 lx ของ 12 สี สำหรับตารางที่ 5 คือข้อมูลที่ได้ทำการเฉลี่ยเฉพาะค่าของความสว่าง (Value) ทั้ง 12 สีทั้งหมด 35 ค่า จากการคัดเลือกหาสีที่เหมาะสมได้พบว่ากลุ่มของกลุ่มสีเรืองแสงทำให้กล้องหน้าของ AR Drone2.0 รับภาพได้ชัดเจนที่สุดร้อยละ 30 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ กลุ่มสีชนิดธรรมดาพบว่า ดังแสดงในรูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสีทั้ง 2 กลุ่ม

ตารางที่ 4 ผลการทดลองแผ่นทดลอง 12 จุดสีในระยะทางที่ 1 เมตรในแสงสว่าง 1 – 2500lx

แสงสว่าง lx	สี											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	252	33	13	48	12	16	31	62	38	108	38	35
10	257	48	35	31	91	23	35	93	56	93	88	57
20	250	49	54	90	54	51	37	89	82	96	79	75
30	252	60	44	92	54	31	37	88	66	99	76	82
40	259	59	51	88	55	52	37	88	92	103	74	78
50	250	66	45	98	53	53	38	86	96	114	69	75
60	250	69	49	97	54	53	38	87	97	111	70	79
70	249	69	50	93	61	55	38	88	96	105	78	81
80	247	69	56	95	53	58	38	87	98	100	86	85
90	246	69	56	96	59	56	37	88	95	100	87	86
100	250	53	59	96	54	58	37	87	97	107	75	78
200	247	64	59	96	58	54	43	89	92	102	83	79
300	251	56	71	90	55	65	38	87	98	100	81	85
400	247	65	55	97	50	70	46	85	100	111	72	79
500	246	63	57	94	53	67	44	84	100	105	75	83
600	245	64	67	100	53	69	45	84	100	106	73	91
700	246	63	72	99	51	73	43	85	100	108	69	92
800	249	60	72	98	45	72	44	82	100	108	62	92
900	248	59	72	96	46	73	43	83	100	107	64	93
1000	249	59	73	98	47	69	43	83	100	108	66	92
1100	248	59	75	99	49	72	43	85	100	109	62	94
1200	247	58	78	96	48	73	43	83	100	108	64	95
1300	249	57	76	98	46	73	42	84	100	105	67	92
1400	249	59	76	98	49	69	40	85	100	109	63	92
1500	248	61	75	96	51	65	39	84	100	108	64	95
1600	249	61	75	97	50	76	93	84	100	108	63	94
1700	249	58	79	97	51	77	48	83	100	106	66	95
1800	250	55	80	93	52	78	49	84	100	107	67	96
1900	249	55	80	93	49	80	50	83	100	105	64	95
2000	251	56	83	92	51	81	50	83	100	106	66	95
2100	247	60	70	100	51	66	42	86	100	108	69	90
2200	246	60	72	100	51	69	43	84	100	110	66	88
2300	245	61	71	99	52	67	42	85	100	109	67	91
2400	247	61	70	103	52	66	41	85	100	110	66	90
2500	250	51	84	94	50	79	48	84	100	105	63	96

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยร้อยละของความสว่างสี (Value) ที่กล้องหน้า AR Drone2.0 รับได้ในแสงสว่าง 1lx – 2500lx

สีทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ค่าเฉลี่ยของ Value (V) %	64	63	94	86	87	72	77	59	26	58	43	46



รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างของสี (Value) ของสีกลุ่มชนิดเรืองแสง และกลุ่มสีชนิดธรรมดา

4.2 ผลการทดลองจับเวลาโดรนบินแบบอิสระ

จากการทดลองโดรนบินแบบอิสระจับเวลาที่ระยะทาง 5 เมตร โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่โปรแกรมสั่งให้ขึ้นบินจนกระทั่ง โดรนลงจอดดัง ผลการทดลองในตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ 11 วินาที ในรูปที่ 14 แสดงการทดลองโดรนบินอิสระแบบจับเวลาที่ระยะทาง 5 เมตร



รูปที่ 14 การทดลองจับเวลาโดรนบินแบบอิสระ

ตารางที่ 6 บันทึกผลเวลาโดรนบินแบบอิสระ 10 เที่ยวบินที่ระยะทาง 5 เมตร

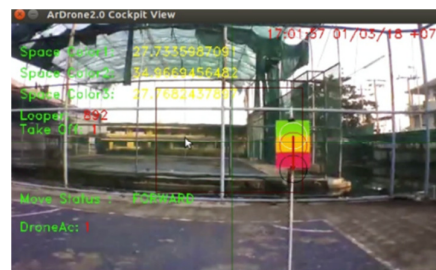
เที่ยวบินทดลอง	เวลาโดรนบินแบบอิสระที่ระยะทาง 5 เมตร /วินาที
1	10.5
2	10.7
3	10.5
4	10.9
5	11.9
6	10.8

ตารางที่ 6 (ต่อ) บันทึกผลเวลาโดรนบินแบบอิสระ 10 เที่ยวบินที่ระยะทาง 5 เมตร

เที่ยวบิน ทดลอง	เวลาโดรนบินแบบอิสระที่ระยะทาง 5 เมตร /วินาที
7	11.4
8	11.3
9	11.2
10	11.3
ค่าเฉลี่ย	11.0

4.3 ผลการทดลองโดรนบินแบบอัตโนมัติที่สามารถเปลี่ยนเส้นทางการบินโดยใช้สัญลักษณ์แถบสี

การทดลองนี้ใช้อัลกอริทึมควบคุมการบินด้วยโปรแกรม SITLabDrone.py ในรูปที่ 15 (ก) แสดงขณะที่ทำการบินแบบอัตโนมัติบินเข้าหาแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสีที่ระยะทาง 5 เมตร รูปที่ 15 (ข) ภาพสถานะการบินที่ส่งมาจากกล้องหน้าโดรน และตารางที่ 7 ผลบันทึกเวลาการบินทดลองโดรนเปลี่ยนเส้นทางบิน 4 รูปแบบ 10 เที่ยวบิน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 29.5 วินาทีต่อระยะทาง 5 เมตร และเมื่อเปรียบเทียบเวลาการทดลองโดรนบินแบบอิสระพบว่าใช้เวลามากกว่าถึงร้อยละ 62.5



(ก) AR Drone 2.0 ขณะที่ทำการบินแบบอัตโนมัติ (ข) หน้าจอแสดงผลจากAR Drone2.0 ขณะบินอัตโนมัติ
รูปที่ 15 การทดลอง AR Drone2.0 บินแบบอัตโนมัติโดยใช้อัลกอริทึมบินเข้าหาแผ่นป้ายสัญลักษณ์แถบสี

ตารางที่ 7 บันทึกเวลาในการทดลองเปลี่ยนเส้นทางการบิน 4 รูปแบบที่ระยะทาง 5 เมตร

เที่ยวบิน ทดลอง	เวลา(วินาที) ที่ระยะทางบิน 5 เมตร				ค่าเฉลี่ยเวลาทั้ง 4 รูปแบบ (วินาที)
	เลี้ยวขวา	เลี้ยวซ้าย	ลงจอด	วนกลับ	
1	28.3	29.5	29.3	29.2	29.5
2	29.7	28.4	28.9	29.4	
3	28.3	29.6	29.8	29.5	
4	30.2	28.2	28.5	29.1	
5	29.3	29.5	28.7	29.5	
6	28.6	28.8	29.4	29.8	
7	28.2	30.1	29.8	30.2	
8	29.8	29.1	30.4	30.1	
9	30.1	30.1	30.2	30.3	
10	29.2	30.3	30.1	30.2	
ค่าเฉลี่ย	29.2	29.4	29.5	29.7	

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมให้โดรนบินแบบอัตโนมัติ โดยใช้สัญลักษณ์แถบสีเพื่อการนำทางซึ่งได้ทำการคัดเลือกสีทั้งหมดจำนวน 12 สีเพื่อให้ได้สีที่ความชัดเจนที่สุด 3 สี ได้แก่ สีแสดชนิดเรืองแสง สีเขียวชนิดเรืองแสง และสีชมพูชนิดเรืองแสง เนื่องจากกล้องหน้าของ AR Drone2.0 รับภาพได้ระยะทางไกลและมีความชัดเจนกว่ากลุ่มกระดาศสีชนิดธรรมดาถึงร้อยละ 30 สำหรับการเปลี่ยนเส้นทางบินของโดรนโดยใช้สัญลักษณ์แถบสี สามารถควบคุมให้โดรนได้แบบอัตโนมัติ เมื่อโดรนบินเข้าใกล้แผ่นป้ายนำทางที่ระยะประมาณ 1 เมตร ซึ่งจากการทดลองการบินที่ระยะทาง 5 เมตรจะใช้เวลาการบินจนถึงจุดเปลี่ยนเส้นทางบินทั้ง 4 รูปแบบเฉลี่ย 29.5 วินาที ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 62.5 เมื่อเปรียบเทียบกับการบินอิสระระยะทาง 5 เมตรเท่ากัน จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ได้กับระบบเคลื่อนอัตโนมัติอื่นๆในกรณีที่ไม่มีสัญญาณการนำทางจาก GPS

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jin Kim, Yoon Suk Lee, Sang Su Han, Sang Ho Kim, Gun Hyuk Lee, Ho Jun Ji, Hye Ji Choi, Kwang Nam Choi “Autonomous Flight System using Marker Recognition on Drone “, IEEE Xplore, 2015, pp. 2-3.
- [2] K. Boudjit, “Detection and implementation autonomous target tracking with a Quadrotor AR Drone”, IEEE Xplore, Vol. 02, pp. 3.

- [3] Richard Williams, Boris Konev, and Frans Coenen, "Multi-agent Environment Exploration with AR Drones", Springer International Publishing Switzerland, Vol. 8717, pp. 2.
- [4] Keiji Kamei, Kazu Narumi and Daisuke Shuto, "Adaptive Color Tracking for Particle Filter to Control a Drone in a Forest", IEEE Xplore, 2016, pp. 515-516.
- [5] Tianqu Zhao and Hong Jiang, "Landing system for AR Drone 2.0 using onboard camera and ROS", IEEE Xplore, 2016, pp. 1098-1100.
- [6] Sharifah Syafinaz Syed Yusof¹, Norashikin M. Thamrin¹, Mohd. Khairi Nordin¹, Aiza Syuhada Mohd. Yusoff² and Norrizah Jaafar Sidik, "Effect of Artificial Lighting on Typhonium Flagelliforme for Indoor Vertical Farming", IEEE Xplore, 2016, pp. 8.
- [7] มาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549, หน้า 19
- [8] Gloria Bueno García, Oscar Deniz Suarez, Oscar Deniz Suarez, Jesus Salido Tercero, "Learning Image Processing with โอเพ่นซีวี OpenCV", Packt Publishing, ISBN 978-1-78328-765-9, 2015, pp. pp.110-113.