



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอแบบเวลาจริงสำหรับการสื่อสารสื่อประสมของอากาศยาน
ขณะเคลื่อนที่

Real-Time Video Stabilization for Aerial Mobile Multimedia Communication

นามผู้วิจัย นายศรัณยู นายศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ณัฐกานา หอมทรัพย์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิษระ จงบุรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอทัศนแบบเวลาจริงสำหรับการสื่อสารสื่อประสม
ของอากาศยานขณะเคลื่อนที่

Real-Time Video Stabilization for Aerial Mobile Multimedia Communication

โดย

นายสรันยู นวยศ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรัณยู นายศ 2554: ระบบปรับเสถียรภาพวิดิทัศน์แบบเวลาจริงสำหรับการสื่อสารสื่อ
ประสมของอากาศยานขณะเคลื่อนที่ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์: รองศาสตราจารย์ณัฐธาดา หอมทรัพย์, Ph.D. 50 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเกี่ยวกับการปรับเสถียรภาพวิดิทัศน์สำหรับการควบคุมแบบ
มุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV: First Person View) เพื่อที่จะทำการลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการ
ขยับหรือเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ถ่ายภาพในด้านแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน โดยทั่วไประบบปรับ
เสถียรภาพวิดิทัศน์เป็นเทคนิควิธีการปรับปรุงคุณภาพของชุดภาพในรูปแบบที่เรียกว่าวิดิทัศน์ที่ไม่
สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวหรือการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน
ไร้คนขับ (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) ได้ ระบบปรับเสถียรภาพแบบเวลาจริงได้ถูกนำมาใช้
เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของวิดิทัศน์ที่ได้ถูกส่งมาจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ซึ่งกำลัง
ปฏิบัติงานอยู่ในภารกิจที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งระบบสื่อสารสื่อประสมที่ใช้ในประกอบการทำวิจัย
ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ถ่ายภาพถ่ายภาพวิดิทัศน์, ชุดรับ-ส่งภาพวิดิทัศน์แบบไร้สาย โดยวิดิทัศน์
จะถูกส่งมาจากอากาศยานมายังสถานีรับที่ภาคพื้นดิน ซึ่งวิดิทัศน์ที่ถูกส่งจะเข้ากระบวนการ
วิเคราะห์และแสดงภาพแก่นักบินหรือผู้บังคับต่อไป ซึ่งระบบนี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการ
ควบคุมแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV) เพื่อการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้งและแกนการหมุนรอบ
ตัวเอง (Yaw axis) ส่งผลกระทบต่อการควบคุมการบินรวมถึงการเสียชีวิตของนักบินหรือผู้บังคับ
ซึ่งผลรับสุดท้ายของงานวิจัยชุดนี้จะเป็นต้นแบบของระบบการปรับเสถียรภาพวิดิทัศน์สำหรับ
ระบบการควบคุมอากาศยานไร้คนขับแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง โดยอาศัยอัลกอริทึมของ Pyramid
Lucas-Kanede Optical flow รวมถึงได้มีการลดตัวแปรของสมการเพื่อความรวดเร็วในการ
ประมวลผล

Saranyu Navayot 2011: Real-Time Video Stabilization for Aerial Mobile Multimedia Communication. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nuttaka Homsup, Ph.D. 50 pages.

This research develops a video stabilization system for First Person View (FPV) in order to reduce the vibration both in vertical and yaw axis of camera motion. Generally, video stabilization system is the technique to improve the quality of video sequences arising from an uncontrollable motion of the capturing camera. The real-time video stabilization scheme is introduced to stabilize video sequences transmitting from Unmanned Aerial Vehicles (UAV) operated in the surveillance mission. Clearly, the multimedia communication system consists of CMOS camera, a video transmitter and a receiver module. A video sequence is transmitted to a receiver at the ground control station, and a raw video is processed and displayed on a ground monitor. Also, this system can be improved for the FPV. However, the shaking image in vertical and yaw axis hardly effects to the pilot. As a result the FPV system has to be stabilized particularly in vertical and yaw axis. This research improves the FPV by using the smart optical flow algorithms, Pyramid Lucas-Kanede. The advantage of this research is to reduce parameters and faster computation. This system can be used as a surveillance video or as a part of the First Person View (FPV) for a RC video control.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ พลอากาศตรีศาสตราจารย์ดร. วิโรจน์ หอมทรัพย์ อาจารย์พิเศษ รองศาสตราจารย์ดร. ญัฐภา หอมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. วชิระ จงบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาทั้งในด้านการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงอบรมสั่งสอนแก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคม (สพท.) สำนักงานคณะกรรมการ กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นอย่างสูง สำหรับทุนสนับสนุนค่าเล่าเรียนและค่าใช้จ่ายระหว่างดำเนินการวิจัยจากโครงการ NTC Scholarship ประจำปี 2552 ตามสัญญารับทุนเลขที่ สพท.ทศ.ท 002/2552 และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับต้นแบบอากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วม (Co-axial rotor) เพื่อใช้สำหรับในการทำการวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจรวมถึงให้การปรึกษาถึงแนวคิดและข้อแนะนำต่างๆ รวมถึงเพื่อนและรุ่นพี่ ที่ได้ให้คำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ พร้อมทั้งขออภัย มา ณ ที่นี้ด้วย

และสุดท้ายนี้ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้มอบทุกสิ่งให้กับข้าพเจ้า

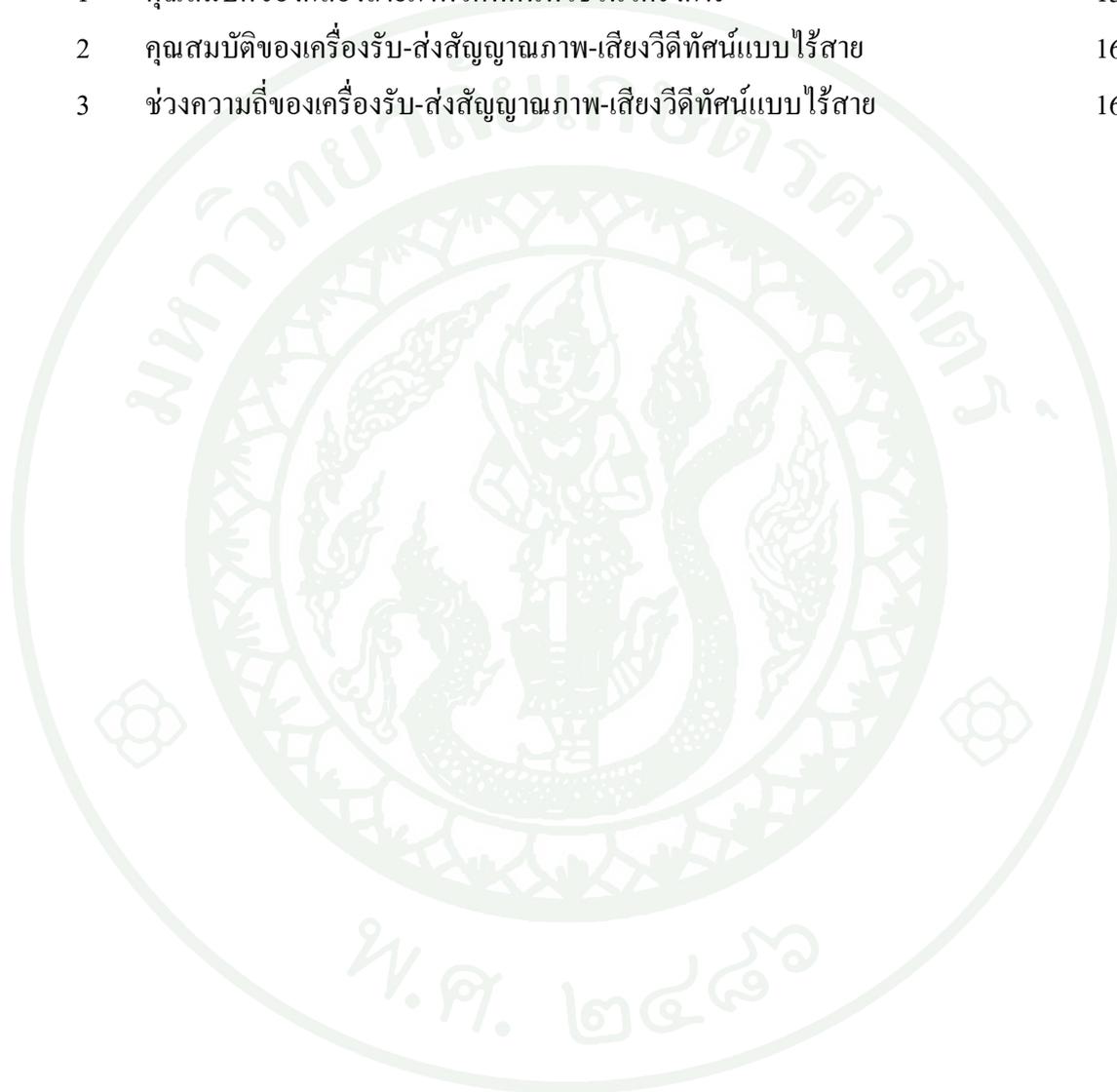
ศรัณยู นวยศ
พฤษภาคม 2554

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------------------|------|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (3) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 3 |
| การตรวจเอกสาร | 4 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 13 |
| อุปกรณ์ | 13 |
| วิธีการ | 13 |
| ผลและวิจารณ์ | 32 |
| ผล | 32 |
| วิจารณ์ | 45 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 46 |
| สรุป | 46 |
| ข้อเสนอแนะ | 46 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 48 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 50 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | คุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพวิดีโอที่ใช้นในโครงการ | 15 |
| 2 | คุณสมบัติของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอแบบไร้สาย | 16 |
| 3 | ช่วงความถี่ของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอแบบไร้สาย | 16 |

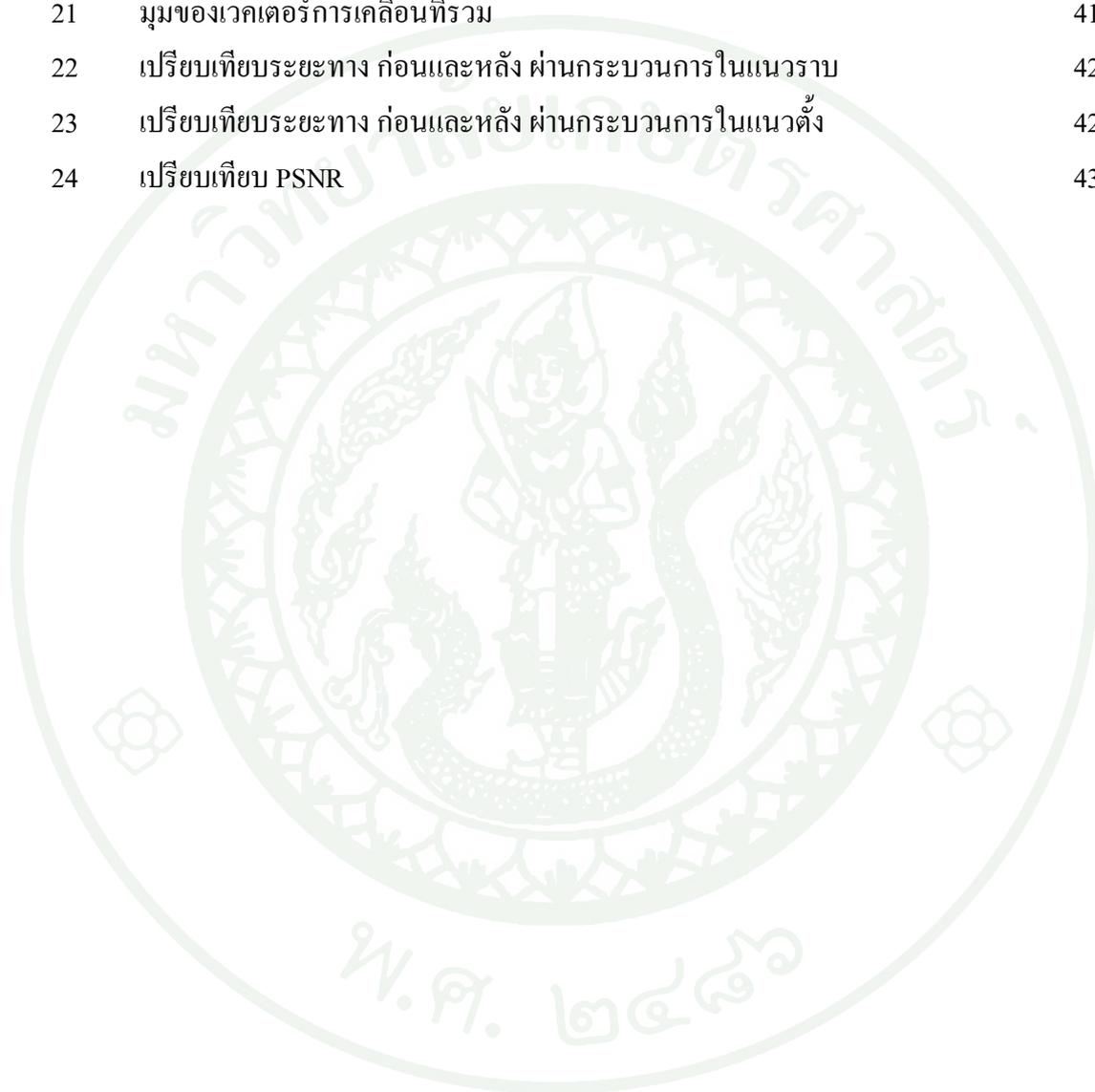


สารบัญญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 1 | ลักษณะของเลนส์และตัวรับรู้อุปกรณ์ในสภาวะปกติ | 5 |
| 2 | เลนส์และตัวรับรู้อุปกรณ์ในสภาวะที่เกิดการไม่สมดุลกับเลนส์ที่ใช้ปรับแก้ความไม่สมดุล | 5 |
| 3 | หน่วยวัดความเอียง | 7 |
| 4 | แผนผังการควบคุมแบบ FPV | 9 |
| 5 | แกนการหมุนของอากาศยาน | 10 |
| 6 | อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็ก | 14 |
| 7 | กล้องถ่ายภาพวิดีโอทัศนียภาพขนาดเล็ก | 14 |
| 8 | เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอทัศนียภาพแบบไร้สาย | 17 |
| 9 | USB TV Tuner Box ตรายี่ห้อ Gadmei รุ่น UTV332 | 17 |
| 10 | ระบบแกนของอากาศยานแบบแกนร่วมเทียบกับระบบแกนของกล้อง | 20 |
| 11 | แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกล้องถ่ายภาพ | 20 |
| 12 | แบบจำลองการคำนวณการไหลของกลุ่มแสงโดยวิธีของ Pyramid Lucas-Kande | 28 |
| 13 | แผนผังการคำนวณของโปรแกรมของระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอทัศนียภาพแบบเวลาจริง | 31 |
| 14 | ภาพปัญหาที่เกิดจากการสั่นไหวของกล้องในการควบคุมแบบ FPV ที่ได้จากการทดลอง 33 | |
| 15 | ภาพปัจจุบัน, ภาพก่อนหน้า, ภาพที่เวกเตอร์การไหลของกลุ่มแสง, ภาพที่ถูกชดเชย, และภาพที่ทำการวาร์ปของลำดับภาพที่ 1, 5, 10, 27, 58 | 34 |
| 16 | ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อน และ หลัง การทำการปรับเสถียรภาพของ ลำดับภาพที่ 1, 5, 10, 27, 5 | 35 |
| 17 | ภาพปัจจุบัน, ภาพก่อนหน้า, ภาพที่เวกเตอร์การไหลของกลุ่มแสง, ภาพที่ถูกชดเชย, และภาพที่ทำการวาร์ปของลำดับภาพที่ 79, 125, 145, 173, 207 | 36 |
| 18 | ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อน และ หลัง การทำการปรับเสถียรภาพของลำดับภาพที่ 79, 125, 145, 173, 20 | 37 |
| 19 | เปรียบเทียบหาความแตกต่าง ก่อนและหลังผ่านกระบวนการปรับเสถียรภาพของลำดับภาพต่อเนื่อง 4 ภาพ | 40 |
| 20 | ขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม | 41 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 21 | มุมมองของเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม | 41 |
| 22 | เปรียบเทียบระยะทาง ก่อนและหลัง ผ่านกระบวนการในแนวราบ | 42 |
| 23 | เปรียบเทียบระยะทาง ก่อนและหลัง ผ่านกระบวนการในแนวตั้ง | 42 |
| 24 | เปรียบเทียบ PSNR | 43 |



ระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอทัศนแบบเวลาจริงสำหรับการสื่อสารสื่อประสม ของอากาศยานขณะเคลื่อนที่

Real-Time Video Stabilization for Aerial Mobile Multimedia Communication

คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ อากาศยานไร้คนขับและเทคโนโลยีทางการทหารมีความก้าวหน้าและพัฒนาอย่างรวดเร็ว เช่นเทคโนโลยีเกี่ยวกับ อากาศยานไร้คนขับ (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) หุ่นยนต์กู้ระเบิด อุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวแทนของเทคโนโลยีสมัยใหม่และสงครามสมัยใหม่ที่มีปฏิบัติการแบบไร้มนุษย์ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการปฏิบัติการ ลดความเสี่ยงจากภัยอันตรายและการสูญเสียของมนุษย์ในการปฏิบัติการ สามารถช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการประหยัดงบประมาณเนื่องจากช่วยประหยัดทรัพยากรและพลังงาน

ระหว่างในการปฏิบัติการของอากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือภารกิจแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV: First Person View) ผู้บังคับหรือนักบินจะอาศัยภาพวิดีโอที่ถูส่งมาจากอากาศยานเพื่อใช้ในการบังคับอากาศยาน โดยเฉพาะการควบคุมแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV) จำเป็นที่จะต้องได้รับภาพที่ไม่เกิดการรบกวนซึ่งแสดงผลอยู่บนจอภาพ และภาพนั้นต้องมีคุณภาพและความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยในการปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมจริง วิดีทัศน์ที่ถูส่งมาจากอากาศยานโดยทั่วไปแล้วจะมีการรบกวนเกิดขึ้นเนื่องจาก การทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นของอากาศยานในแนวแกนตั้งและแนวการหมุนรอบตัวเครื่อง รวมถึงสภาพแวดล้อมของอากาศขณะนั้นด้วยเช่น ลมที่พัดมากระทบอากาศยานซึ่งจะส่งต่อการเอียงของเครื่อง ทำให้ภาพเกิดการหมุนเอียง ดังนั้นในระบบแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV) หรือ การควบคุมอากาศยานไร้คนขับ จำเป็นที่จะต้องมียระบบที่จะทำการปรับเสถียรภาพวิดีโอ

ระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอเป็นหนึ่งในกระบวนการประมวลผลวิดีโอซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการลดความไม่เสถียรหรือลดการสั่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ของวิดีโอซึ่งระบบนี้มีความจำเป็นอย่างมากต่อการควบคุมอากาศยานไร้คนขับ ถ้าในการควบคุมอากาศยานไร้คนขับไม่มีระบบการปรับเสถียรภาพวิดีโอจะทำให้ภาพที่ได้รับจากอากาศยานซึ่งมีอุปกรณ์ถ่ายภาพติดตั้งอยู่มีการ

ล้วนเป็นอย่างมากดังนั้นระบบการปรับเสถียรภาพจึงถูกนำมาใช้โดยระบบนี้สามารถนำไปพัฒนาไปติดตั้งได้ทั้งบนอากาศยานและสถานีภาคพื้นดิน

ระบบปรับเสถียรภาพวีดิทัศน์สามารถที่จะแบ่งระบบการปรับเสถียรภาพได้เป็น สองวิธีหลักๆคือ ด้านฮาร์ดแวร์ และ ด้านอิเล็กทรอนิกส์หรือซอฟต์แวร์ ซึ่งด้านฮาร์ดแวร์จะเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้อุปกรณ์พิเศษเพื่อลดการสั่นสะเทือนของรูรับแสงในตัวอุปกรณ์ถ่ายภาพซึ่งวิธีการนี้ก็ไม่สามารถที่จะลดการสั่นสะเทือนทั้งหมดได้รวมถึงข้อเสียในด้านราคาที่สูงมาก ส่วนทางด้านซอฟต์แวร์หรืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำเนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องอาศัยอุปกรณ์พิเศษเฉพาะอย่างแต่อย่างใด เพียงแต่ใช้วิธีการประมวลผลในคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการจะเป็นการคำนวณและเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่าง ภาพก่อนหน้า กับ ภาพปัจจุบัน จากนั้นนำไปหาตัวแปรที่จะทำการประมาณการเคลื่อนที่จากนั้น จะนำภาพเป้าหมายหรือก็คือภาพปัจจุบันไปทำการชดเชยรวมถึงสร้างภาพใหม่เพื่อแสดงผลออกมาที่จอแสดงผล

ดังนั้นในงานวิจัยชุดนี้ซึ่งจะเน้นการหาการประมาณการเคลื่อนที่โดยอาศัยการประมาณการไหลของกลุ่มแสง (Optical flow estimation) ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการคำนวณแบบเวลาจริง โดยวิธีการนี้จะแบ่งภาพเป็น ภาพปัจจุบัน และ ภาพก่อนหน้า ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ จากนั้นนำกลุ่มย่อยต่างๆ มาคำนวณการทิศทางการไหลของกลุ่มแสง (Optical flow vectors) และในขั้นต่อมาจะเป็นการทำการชดเชยภาพ (Compensation Image) เพื่อให้เหมาะสมต่อระบบการควบคุมแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV) ซึ่งเน้นในทิศทางแนวการเคลื่อนที่ของภาพแนวแกนตั้งและแกนนอน ซึ่ง แนวแกนทั้งสองนี้จะส่งผลต่อการการสั่นของภาพและความคมชัด ส่วนทิศทางการหมุนภาพไม่จำเป็นที่จะต้องทำการชดเชยเนื่องจาก นักบินจำเป็นที่จะต้องทราบแนวการเอียงของอากาศยาน

วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอต้นแบบการประมวลผลภาพที่ได้รับมาจากอากาศยานไร้คนขับ โดยมีจุดประสงค์มุ่งเน้นไปที่การปรับเสถียรภาพวิดีโอที่บันทึกแบบเวลาจริงสำหรับการสื่อสารสื่อประสม โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึม และ วิธีการประมวลผลภาพ มาใช้ในการปรับเสถียรภาพวิดีโอที่มีความเหมาะสมกับอากาศยานไร้คนขับ



การตรวจเอกสาร

1. ที่มาของระบบปรับเสถียรภาพ

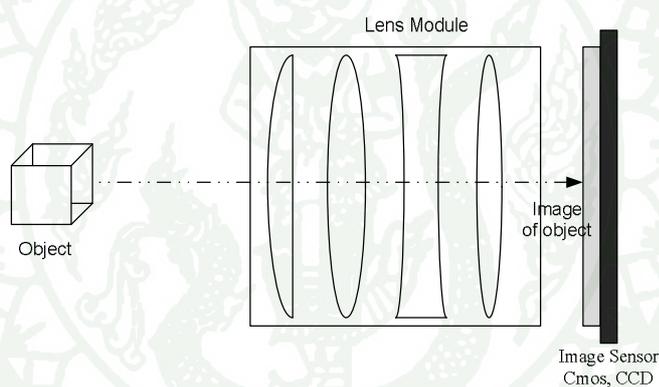
การถ่ายภาพในปัจจุบันทั้งที่เป็นภาพหยุดนิ่งที่ได้จากกล้องถ่ายภาพไม่ว่าจะเป็นภาพที่ได้จากกล้องประเภทพกพาขนาดเล็ก (Compact Camera), กล้องแบบกระจกสะท้อนชั้นเดียว (SLR: Single Len Reflect) หรือ ภาพเคลื่อนไหวที่เกิดจากการถ่ายภาพต่อเนื่องมาต่อกันจนเกิดเป็นภาพเคลื่อนไหวที่เรียกว่าภาพวิดีโอที่สน์ที่ได้จากกล้องถ่ายภาพวิดีโอที่สน์ซึ่งล้วนแล้วแต่ในปัจจุบันอยู่ในรูปแบบกล้องที่ใช้วงจรไฟฟ้าและใช้ตัวรับรู้รับภาพ (Image Sensor) ประเภท Charge-Couple Device (CCD) หรือ Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) เป็นตัวรับรู้ที่ใช้ในรับภาพและบันทึกภาพที่ต้องการถ่ายลงในแผ่นเก็บข้อมูล (Storage Card) แทนฟิล์ม โดยในปัจจุบันจะเรียกว่า กล้องดิจิทัล (Digital Camera) ซึ่งตัวรับรู้ชนิดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ในส่วนหลังสุดที่ต่อจากชุดเลนส์ (Lens Modules) ที่ทำหน้าที่ในการรวมแสงพร้อมทั้งปรับระดับความคมชัดของภาพให้ไปตกที่ CCD หรือ CMOS ซึ่งในจุดนี้เองเมื่อผู้ที่ต้องการถ่ายภาพทั้งภาพเคลื่อนไหวและภาพหยุดนิ่งจะต้องทำการหันหน้ากล้องที่ประกอบไปด้วยชุดเลนส์และตัวกล้องที่มีตัวรับรู้รับภาพ (Image Sensor) บรรจุอยู่ชี้ไปทางวัตถุหรือบุคคลที่ต้องการถ่ายภาพจากนั้นจึงทำการบันทึกภาพซึ่งในขณะที่ทำการบันทึกภาพนี้ถ้าเกิดการขยับตัวกล้องซึ่งทำให้จุดตกกระทบของแสงที่จะตกกระทบต่อ CCD หรือ CMOS เลื่อนตำแหน่งไปทำให้เกิดภาพที่มีลักษณะขาดความคมชัดขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการของผู้บันทึกจึงทำให้เกิดการพัฒนาาระบบปรับเสถียรภาพขึ้นมาเพื่อลดอัตราการเกิดภาพไม่คมชัดในระหว่างการถ่ายนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวขึ้น

Wen-Chung *et al.* (2009) ได้กล่าวถึงเหตุผลของการเกิดการไม่คมชัด, การเกิดการสั่นไหวของภาพในขณะที่ทำการถ่ายนิ่งกับภาพเคลื่อนไหวโดยเรียกว่าการเกิดการไม่มีเสถียรภาพของภาพขึ้นเกิดจากการที่บริษัทผู้ผลิตกล้องได้ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิตวัสดุอุปกรณ์ไว้ว่าจะเป็นชุดเลนส์, ตัวรับรู้รับภาพ (Image Sensor) และรวมถึงแผงวงจรไฟฟ้า ทั้งหมดมาประกอบและทำให้มีขนาดเล็กลงได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อให้ง่ายต่อการพกพาซึ่งเมื่อทำการถ่ายภาพจากกล้องที่มีขนาดเล็กเหล่านี้เมื่อกล้องอยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลหรือมีการสั่นไหวเกิดขึ้นซึ่งแม้จะไม่รุนแรงแต่ก็ถือว่าการสั่นไหวที่มีผลต่อภาพถ่ายเป็นอย่างมากเพราะฉะนั้นจึงทำให้เกิดแนวคิดถึงการทำระบบที่สามารถปรับให้ภาพที่ต้องการบันทึกมีเสถียรภาพมากขึ้น ซึ่งในจุดนี้บริษัทผู้ผลิตหลายแห่งจึงได้มีการเพิ่มความสามารถในการปรับเสถียรภาพลงไปในอุปกรณ์ผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตเองซึ่งทำ

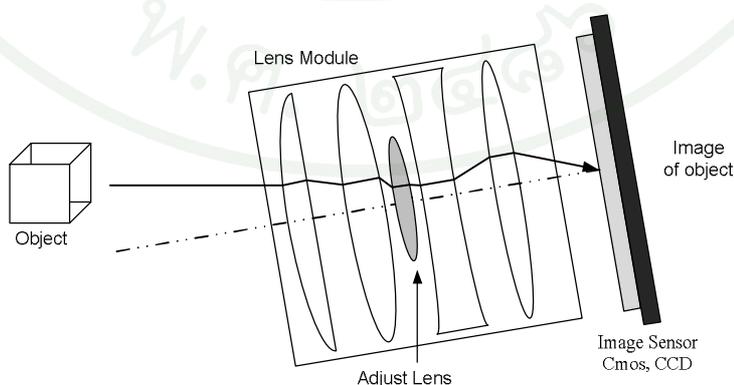
ให้มีราคาสูงโดยวิธีการที่ใช้ในการปรับเสถียรภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆได้ดังต่อไปนี้

1.1 ระบบปรับเสถียรภาพแบบใช้อุปกรณ์ (Hardware Stabilization)

ระบบการปรับเสถียรภาพประเภทนี้จะใช้อุปกรณ์พิเศษในการช่วยปรับเสถียรภาพของภาพที่ถูกส่งมาซึ่งโดยมีข้อได้เปรียบของการใช้ระบบปรับเสถียรภาพชนิดนี้คือมีความรวดเร็ว, ไวและ มีความสามารถในการกำจัดการสั่นไหวได้ เนื่องจากมีการใช้อุปกรณ์เสริมช่วยในการปรับให้ชุดเลนส์เกิดการหักเหแสงไปตกที่ตัวรับรูรับภาพ (Image Sensor) ในตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งเดิมจนทำให้เสมือนว่ากล้องไม่เกิดการสั่นไหวขึ้นโดยส่วนมากจะใช้ชิ้นกระจกชนิดพิเศษในการปรับให้แสงที่ตกบนตัวรับรูรับภาพในตำแหน่งเดิม



ภาพที่ 1 ลักษณะของเลนส์และตัวรับรูรับภาพในสภาวะปกติ



ภาพที่ 2 เลนส์และตัวรับรูรับภาพในสภาวะที่เกิดการไม่สมดุลกับเลนส์ที่ใช้ปรับแก้ความไม่สมดุล

หลักวิธีการของการใช้เซ็นเซอร์พิเศษในการแก้ปัญหาจะเป็นการใช้เซ็นเซอร์พิเศษทำการปรับแสงให้ตกลงตรงจุดเดิมบนตัวรับรู้รับภาพอย่างเดียว หรือ เป็นทั้งการขยับตัวรับรู้รับภาพและใช้เซ็นเซอร์พิเศษเพื่อให้จุดตกของแสงบนตัวรับรู้รับภาพตรงอยู่ในตำแหน่งเดิมซึ่งจะมีลักษณะในการควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์นี้แบ่งออกเป็น 2 วิธี กล่าวคือ

1.1.1 การใช้เซ็นเซอร์แบบปริซึมที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างได้

การใช้เซ็นเซอร์แบบปริซึมที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างได้โดยทาง Wen-Chung *et al.* (2009); Sato *et al.* (1993); Morofuji (2004) ได้กล่าวว่าเป็นการใช้ปริซึมที่มีลักษณะเป็นของเหลวและเปลี่ยนรูปร่างได้ช่วยในการปรับทิศทางของแสงให้ตกกระทบบนจุดเดิมบนตัวรับรู้รับภาพได้มากที่สุด

1.1.2 การปรับเสถียรภาพโดยอาศัยเซ็นเซอร์ควบคู่ไปกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เป็นการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการช่วยปรับระบบเสถียรภาพให้กับภาพที่ต้องการบันทึกโดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ตัวรับรู้ที่สามารถวัดค่ามุมที่เกี่ยวข้องกับแนวการเอียงจากแนวระดับมาช่วยในการปรับเซ็นเซอร์เลนส์โดยระบบนี้จะถูกติดตั้งอยู่ในชุดเลนส์ หรือ ในตัวกล้องถ่ายภาพเองก็ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่ามีแนวคิดเกี่ยวกับระบบเหล่านี้หรือไม่ ซึ่งเทคนิควิธีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้มาใช้เพื่อช่วยปรับเสถียรภาพซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อระบบปรับเสถียรภาพแบบใช้โปรแกรมร่วม (Software Stabilization) เพราะเป็นการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมกับโปรแกรมร่วมมาช่วยในการคำนวณมุมเพื่อปรับระดับของเซ็นเซอร์เลนส์ให้ส่งทิศทางของแสงมาตกกระทบบนบริเวณที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิมบนตัวรับรู้รับภาพได้มากที่สุด

ซึ่งอย่างไรก็ตามแม้การใช้ระบบปรับเสถียรภาพแบบใช้อุปกรณ์จะมีความรวดเร็วและสะดวก และสามารถใช้งานได้ดี แต่ก็มีข้อเสียคือจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ และมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจาก การใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่มีความซับซ้อนและความละเอียดสูง

1.2 ระบบปรับเสถียรภาพแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรม (Electronic and Software Stabilization)

ระบบปรับเสถียรภาพแบบใช้โปรแกรมร่วมเป็นระบบที่มีการพัฒนาต่อยอดขึ้นมาจากระบบการปรับเสถียรภาพแบบใช้อุปกรณ์ โดยระบบการปรับเสถียรภาพแบบใช้โปรแกรมร่วมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 วิธีดังต่อไปนี้

1.2.1 ระบบปรับเสถียรภาพที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับโปรแกรม

ระบบปรับเสถียรภาพแบบที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีตัวรับรู้ประเภทวัดความเฉื่อย (IMU: Inertial Measurement Unit) ที่ประกอบไปด้วยหน่วยวัดความเร่ง (Accelerometers) และ หน่วยวัดการเอียง (Gyroscopes) ซึ่งสามารถที่จะวัดการสั่นสะเทือนหรือความไม่สมดุลของกล้องที่เกิดขึ้นได้ จากนั้นตัวควบคุมที่รับข้อมูลจากหน่วยวัดความเฉื่อยจะส่งสัญญาณควบคุมไปยังกลไกที่ติดตั้งอยู่ภายในชุดเลนส์เพื่อปรับระดับของขึ้นกระจกให้หักเหแสงที่ส่องเข้ามาให้ตกกระทบกับตัวรับรูรับภาพในตำแหน่งเดิม



ภาพที่ 3 หน่วยวัดความเฉื่อย

1.2.2 ระบบปรับเสถียรภาพแบบใช้โปรแกรมอย่างเดียว

ระบบปรับเสถียรภาพแบบนี้จะไม่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือชิ้นเลนส์ที่เป็นอุปกรณ์พิเศษมาใช้ในการช่วยปรับเสถียรภาพแต่เป็นการใช้โปรแกรมรับข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพหรือกล้องถ่ายวิดีโอที่ส่งมาประมวลผล โดยอาศัยกระบวนการวิธีต่างๆ ทางการประมวลผลภาพมาปรับเพื่อให้ภาพสุดท้ายที่พร้อมแสดงผลเป็นภาพที่ไม่มีการสั่นไหวจนเกิดความคมชัดลดลง

เกิดขึ้นโดยในช่วง หนึ่งถึงสองทศวรรษที่ผ่านมาเริ่มมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับเสถียรภาพแบบใช้โปรแกรมช่วยในการประมวลผลอย่างเดียว ซึ่งมีการใช้วิธีการต่างๆทางการประมวลผลภavnนำมาใช้ช่วยในการปรับเสถียรภาพ อาทิเช่น

N.A. Tsoiligkas *et al.* (2006) ได้ทำการเสนองานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการเคลื่อนไหวโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวกับ optical flow ของ Horn-Schunck ในการคำนวณและประมาณค่าการเคลื่อนไหวเพื่อนำไปสู่การปรับเสถียรภาพและความถี่ของวิคิตส์นซึ่งให้ผลการทดลองไว้ว่า วิธีที่กล่าวมานี้สามารถที่จะกระทำได้อย่างง่ายไม่ยุ่งยากต่อการคำนวณเพราะเนื่องจากการคิดคำนวณแบบภาพต่อภาพแต่ในขณะเดียวกันวิธีนี้ก็ใช้เวลาในการคำนวณนานทำให้ขาดประสิทธิภาพซึ่งในจุดนี้สามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพได้

Chih *et al.* (2007) ได้ทำการเสนองานวิจัยเรื่อง Feature-Based Full-Frame Image Stabilization โดยใช้ อัลกอริทึม ในการจัดการกับผลรวมของค่าความผิดพลาดที่มาจากวิธีการประมาณการแบบครอบคลุมใน transformation chain กับภาพอ้างอิงซึ่งได้ระบุผลการทดลองว่าสามารถที่จะปรับปรุงภาพพร้อมทั้งลดการเกิดค่าผิดพลาด

นอกเหนือจากงานวิจัยที่ได้กล่าวข้างบนยังมี ตัวอย่างงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการปรับเสถียรภาพอีกเช่น Optical flow (Sridhar *et al.* (1997); Hung-Chang *et al.* (2004); J. Cai *et al.* (2009)), Gray-coded bit-plane matching (S. Ko *et al.* (1999)), Phase-correlation based motion estimation (S. Erturk *et al.* (2003)), Edge Mapping (Liu *et al.* (2008))

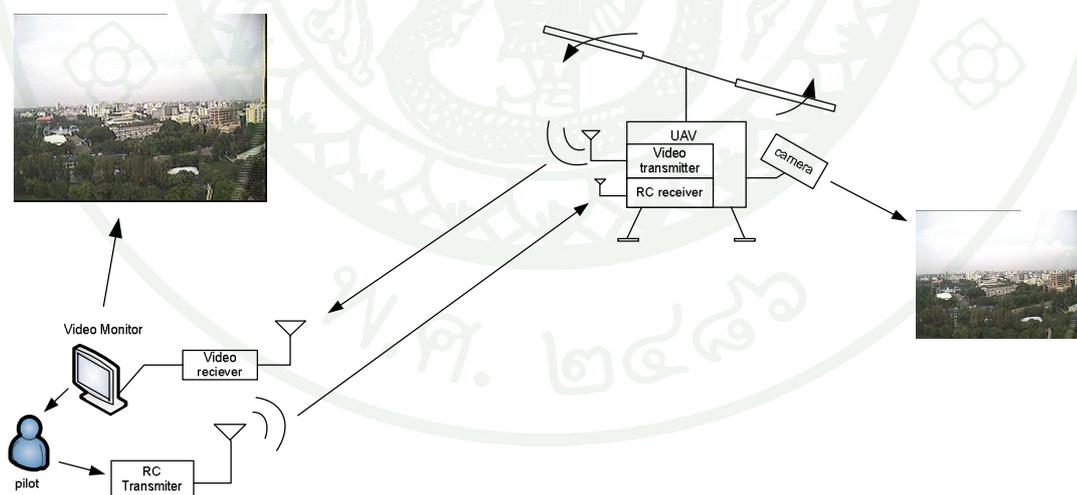
2. ระบบปรับเสถียรภาพกับอากาศยานไร้คนขับ

เนื่องด้วยในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะเทคโนโลยีทางการทหาร เช่นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับ UAV, หุ่นยนต์ทุ้ระเบิด ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวแทนของเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้มนุษย์เข้าไปควบคุมอยู่ที่ตัวอุปกรณ์แต่เป็นการใช้คลื่นวิทยุในการบังคับและควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้ในระยะทางไกล ซึ่งผู้ควบคุมจะนั่งประจำอยู่ที่สถานีแล้วคอยควบคุมอุปกรณ์นี้ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีกล้องติดตั้งอยู่ที่ อากาศยานไร้คนขับ กับ หุ่นยนต์ทุ้ระเบิด เพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้ส่งภาพกลับมายังผู้ควบคุมแบบเวลาจริง ทำให้เพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการเข้าถึง รวมทั้งลดความเสี่ยงในการปฏิบัติการกิจหน้าที่ที่มีความอันตรายและลดการสูญเสียได้ รวมถึง การประหยัดงบประมาณเนื่องจากช่วยประหยัดทรัพยากรและพลังงาน

ระบบที่ผู้ควบคุมนั่งอยู่หน้าจอมอนิเตอร์ เพื่อรับชมวีดิทัศน์ที่ถูกส่งมาจาก UAV เพื่อใช้ในการบังคับ UAV ซึ่งจะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (FPV : First Person View Control)

2.1 ระบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (First Person View)

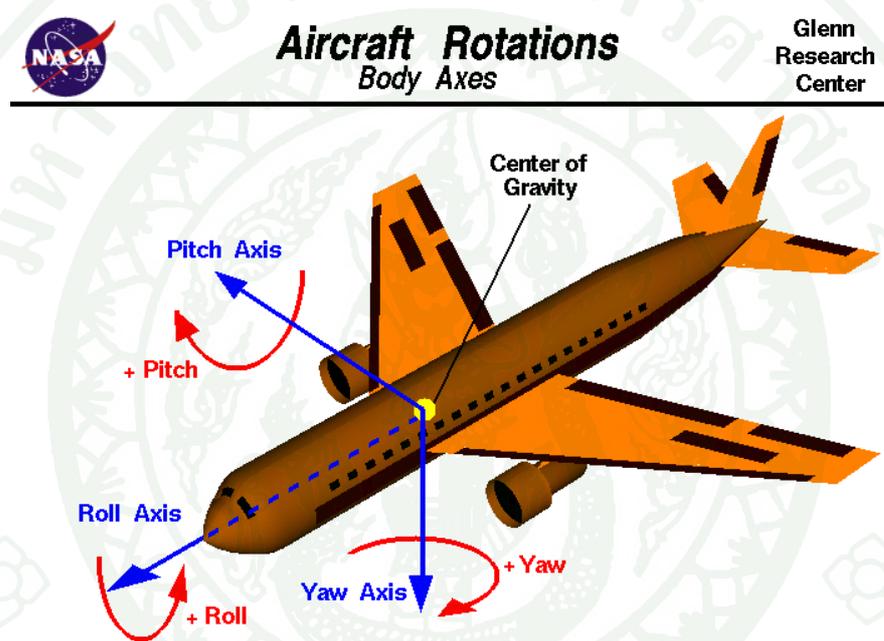
ระบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง เป็นระบบวิธีที่ใช้ควบคุมยานพาหนะโดยอาศัยการควบคุมผ่านเครื่องวิทยุบังคับ (RPV: Remote pilot vehicles) โดยส่วนมากจะถูกนำมาใช้ในการบังคับ UAV โดยผู้บังคับหรือนักบินของ UAV จะควบคุมอยู่บนสถานีภาคพื้นดินดังแสดงในภาพที่ 4 โดยการควบคุมแบบ FPV นี้จะเป็นการนำกล้องและชุดส่งสัญญาณภาพ (Video Transmitter) ไปติดตั้งไว้กับยานพาหนะ ซึ่งในที่นี้คือ UAV จากนั้นเมื่อ UAV ออกปฏิบัติหน้าที่ภาพจะถูกส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดินที่มีหน้าจออมอนิเตอร์ติดตั้งอยู่ เพื่อให้ผู้ควบคุมทราบถึงสถานการณ์ในปัจจุบันของ UAV แบบเวลาจริง (Real-Time Situation) ซึ่งจะทำให้ผู้ควบคุมหรือนักบินบังคับ UAV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการควบคุมลักษณะนี้จะทำให้ผู้บังคับหรือนักบินมีความรู้สึกเหมือนนั่งบังคับอยู่บนอากาศยานตามจริงแต่อย่างไรก็ดีระบบ FPV ในปัจจุบันภาพที่ถูกส่งมาจากอากาศยานยังคงเกิดการสั่นไหวเนื่องจากยังขาดระบบปรับเสถียรภาพ



ภาพที่ 4 แผนผังการควบคุมแบบ FPV

2.2 ระบบแกนของอากาศยาน (Aircraft Direction)

National Aeronautics and Space Administration [NASA] (2009) และ Thai Technic (n.d.) ได้กล่าวถึงข้อมูลของระบบแกนหมุนของอากาศยานนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานแกนระบบพิกัดฉาก 3 มิติที่ประกอบไปด้วยแกน X, Y และ Z ซึ่งสอดคล้องกับการควบคุมอากาศยานเพราะอากาศยานล้วนเกิดการหมุนรอบระบบพิกัดฉาก โดยมีจุดศูนย์กลางถ่วงเป็นจุดศูนย์กลางหรือจุดหมุนของอากาศยาน ซึ่งมีลักษณะการหมุนดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แกนการหมุนของอากาศยาน

ที่มา : National Aeronautics and Space Administration (2008)

ก. Yaw Axis หรือเรียกอีกอย่างว่า Vertical Axis ในแนวแกนของระบบพิกัดฉาก ซึ่ง Yaw axis เป็นการหมุนในลักษณะที่หัวอากาศหักเลี้ยวไปทางซ้ายหรือขวาของอากาศยานซึ่งแนวแกนนี้จะตั้งฉากกับบินของอากาศยาน

ข. Pitch Axis หรือเรียกอีกอย่างว่า Lateral Axis จะเป็นแนวแกนที่ตั้งฉากกับ Yaw axis และเป็นแนวแกนที่ขนานไปกับปีกของเครื่องบินซึ่งการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในแนวแกนนี้จะทำให้หัวเครื่องบินเชิดหัวขึ้นหรือกดหัวลงและสุดท้ายแนวแกน

ค. Roll Axis หรือเรียกอีกอย่างว่า Longitudinal Axis จะเป็นแนวแกนที่ตั้งฉากกับ Yaw และ Pitch ซึ่งเป็นแนวแกนที่ขนานไปกับหัวของอากาศยานซึ่งการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในแนวแกนนี้จะทำให้ปีกของอากาศยานขยับขึ้นลงเกิดเป็นการเอียงไปทางซ้ายหรือขวา

แนวแกนทั้ง 3 แกนนี้เมื่อเครื่องยนต์ของอากาศยานทำงานอากาศยานจะเคลื่อนที่โดยอาศัยการควบคุมทิศทางของแนวแกนทั้ง 3 นี้ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับเสถียรภาพและพาหนะไร้คนขับ

ในปี ค.ศ. 2009 ได้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะประเภทไร้คนขับไม่ว่าจะเป็น UAV หรือ หุ่นยนต์ทุ้ระเบิด ซึ่งต้องอาศัยการประมวลผลแบบเวลาจริง (Real-Time Processing)

Jen-Pin *et al.* (2009) ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอที่หุ่นยนต์ทุ้ระเบิดโดยให้เหตุผลว่า หุ่นยนต์ทุ้ระเบิดเมื่อปฏิบัติหน้าที่ อาจจะมีการเคลื่อนที่ไปในทางที่มีลักษณะเป็นผิวขรุขระ ทำให้ภาพที่ส่งมาเกิดการสั่นไหวซึ่งในจุดนี้ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงทำให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมาโดยมีการใช้ Kalman filter ในการประมาณเวกเตอร์การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แล้วนำค่าที่ได้นั้นมาปรับปรุงโดยใช้อัลกอริทึมที่มาปรับปรุงใช้งานบน T1 DSP 6437 ซึ่งเป็นระบบสมองกลฝังตัวที่ติดตั้งอยู่บนหุ่นยนต์ทุ้ระเบิดในการคำนวณซึ่งผลการทดลองสามารถที่จะทำการปรับปรุงภาพที่เสียหายเนื่องจากการสั่นไหวได้พร้อมทั้งมี Frame rate เพิ่มขึ้นจาก 10 fps เป็น 28 fps พร้อมทั้งลดค่าความผิดพลาดการตรวจจับตำแหน่งเป้าหมายไป 79%

He Shan *et al.* (2009) ได้กล่าวว่าภาพที่ถูกส่งมาจากอากาศยานไร้คนขับนั้นไม่สามารถควบคุมการสั่นไหว หรือ ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นได้ซึ่งมีผลให้ตรวจจับเป้าหมายเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จึงได้เสนอ อัลกอริทึมของระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอแบบเร็วเพื่อลดการสั่นไหวที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยอาศัยหลักการของ Block matching ในการแบ่งภาพออกเป็นส่วนเล็กๆ แล้วจากนั้นทำการจับคู่ในส่วนเดียวกันของแต่ละภาพเพื่อเปรียบเทียบหาตัวแปรที่แสดงถึงการเคลื่อนไหวระหว่างภาพ 2 ภาพที่อยู่ติดกันทางเวลา (frame by frame) จากนั้นจะทำการนำค่าตัวแปรไปปรับปรุงเพื่อทำการชดเชยแก่ภาพที่เกิดการสั่นไหวที่ไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วในการประมวลผลของอัลกอริทึมกับประสิทธิภาพของ

เครื่องคอมพิวเตอร์มีผลต่อการปฏิบัติงานของอากาศยานไร้คนขับเป็นอย่างมากแต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ของ He Shan *et al.* ได้ทำการใช้ภาพที่ถูกส่งมาจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบชนิดที่มีลักษณะเหมือนกับ เครื่องบิน หรือ เครื่องร่อน ซึ่งมีปีกขนาดใหญ่ที่คอยควบคุมความสมดุลในการบินให้กับตัวอากาศยานซึ่ง อากาศยานในลักษณะนี้ภาพที่ถูกส่งมาจะมีลักษณะที่เกิดการสั่นไหวน้อยกว่าแบบอากาศยานที่ใช้แกนร่วมแบบชนิดแกนร่วมแบบใบพัดเดี่ยว (Co-axial rotor)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็ก (Small Co-axial helicopter : Big lama)
2. กล้องถ่ายภาพวิดีโอ (Camera)
3. เครื่องส่ง-รับสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอไร้สาย (Wireless Video Transmitter - Receiver)
4. USB TV Tuner Box ตราอักษร Gadmei รุ่น UTV332
5. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมประมวลผล

วิธีการ

1. การศึกษาและเลือกวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ

ในการดำเนินโครงการวิจัยมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์สำคัญหลายๆอย่างเพื่อให้โครงการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้แก่ อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็ก, กล้องถ่ายภาพวิดีโอ, เครื่องส่ง-รับสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอไร้สาย, USB TV Tuner Box ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็ก

ในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็กในการทดลองบังคับแบบ FPV เนื่องด้วย อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็ก มีความสามารถในการรับน้ำหนักทำให้การติดตั้งอุปกรณ์อย่างกล้องวิดีโอและ ชุดส่งสัญญาณภาพไร้สาย เป็นไปได้ง่าย และการควบคุม อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็กนี้ สามารถควบคุมโดยใช้วิทยุควบคุมที่มีสัญญาณควบคุมเพียงแค่ 4 ช่องสัญญาณทำให้ง่ายต่อการควบคุม และง่ายต่อการซ่อมแซม อีกทั้งยังใช้แบตเตอรี่ชนิด ลิเทียม-โพลีเมอร์ (Li-Polymer) ซึ่งมีน้ำหนักเบาและให้กระแสสูงทำให้อากาศยานสามารถปฏิบัติการได้นานขึ้น



ภาพที่ 6 อากาศยานไร้คนขับแบบแกนร่วมแกนเดี่ยวขนาดเล็ก

1.2 กล้องถ่ายภาพวิดีโอทัศน

กล้องถ่ายภาพวิดีโอทัศนเป็นอุปกรณ์สำคัญในการวิจัยเรื่องการปรับเสถียรภาพของภาพวิดีโอทัศนเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพที่อากาศยานกำลังปฏิบัติหน้าที่อยู่ซึ่งกล้องถ่ายภาพจะถูกติดตั้งไว้กับอากาศยาน



ภาพที่ 7 กล้องถ่ายภาพวิดีโอทัศนขนาดเล็ก

กล้องถ่ายภาพที่ใช้ในการถ่ายภาพวิดีโอทัศนียภาพนี้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพวิดีโอทัศนียภาพที่ใช้ในโครงการ

| Specification | Description |
|----------------------|-------------------------------|
| Image Sensor | 1/4" Color CCD |
| Effective Pixel | 500x528 (PAL), 510x492 (NTSC) |
| Resolution | 350 TV line |
| Power Supply | 5 – 12 VDC |
| Shutter Speed | 1/50 – 1/100,000 sec |
| Video output | 1 Vp-p, 75 Ohm composite |
| Minimum illumination | 0.2 Lux F1.2 |
| Video System (Color) | PAL, NTSC |

เนื่องด้วยในปัจจุบันได้มีกล้องความละเอียดสูง (High Definition Camera) ที่มีความละเอียดอยู่ที่ 720 เส้นถึง 1080 เส้น แต่ก็ยังมีขนาดใหญ่รวมถึงการจดหาที่จะนำมาใช้ในโครงการวิจัยยังเป็นไปได้ลำบากเนื่องจากราคายังสูงอยู่ในตลาดปัจจุบันและอย่างไรก็ตามกล้องที่ใช้ในโครงการวิจัยที่มีความละเอียด 350 เส้นก็เพียงพอที่จะใช้ควบคุมอากาศยานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอทัศนียภาพแบบไร้สาย (Wireless Video Transmitter-Receiver)

เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวิดีโอทัศนียภาพแบบไร้สาย เป็นอุปกรณ์ที่เสมือนเป็นเครื่องช่วยในการติดต่อระหว่างอากาศยานกับผู้ควบคุมเพราะเนื่องจากเป็นตัวกลางช่วยในการส่งภาพจากกล้องวิดีโอทัศนียภาพผ่านคลื่นความถี่กลับมายังสถานีควบคุมภาคพื้นดินซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะใช้ชุดรับ-ส่งในคลื่นความถี่ 2.4 กิกะ เฮิรตซ์ ซึ่งมีช่วงความถี่ (Frequency Range) ดังนี้

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวีดิทัศน์แบบไร้สาย

| Specification | Description |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Frequency | 2400 MHz |
| Channel | 8 Channel with Phase lock loop (PLL) |
| RF output power | 1000 mWatt |
| Transmit Range | 400 meters+ (with line of sight) |
| Power supply | 5 – 12 Vdc |
| Operated time (battery 1000mA) | 3060 second |

ตารางที่ 3 ช่วงความถี่ของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวีดิทัศน์แบบไร้สาย

| Channel | Frequency (MHz) |
|---------|-----------------|
| CH1 | 2410 |
| CH2 | 2430 |
| CH3 | 2450 |
| CH4 | 2470 |
| CH5 | 2370 |
| CH6 | 2390 |
| CH7 | 2490 |
| CH8 | 2510 |

โดยเครื่องรับ-ส่งสัญญาณที่ใช้มีลักษณะรูปร่างเล็กน้ำหนักน้อยเพื่อช่วยลดภาระในการบรรทุกของอากาศยานลงทำให้ความร้อนในการทำงานของเครื่องยนต์ของอากาศยานลดลงด้วย



ภาพที่ 8 เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวีดิทัศน์แบบไร้สาย

1.4 USB TV Tuner Box



ภาพที่ 9 USB TV Tuner Box ตราอักษร Gadmei รุ่น UTV332

ที่มา : Gadmei Electronics Technology Co.,Ltd,

USB TV Tuner Box เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้สำหรับกลุ่มบุคคลที่ต้องการจะรับชมรายการโทรทัศน์แต่ไม่มีเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ หรือเป็นกลุ่มบุคคลที่ต้องการจะจับภาพของรายการโทรทัศน์, เครื่องเล่นแผ่นซีดี ดีวีดี หรือแม้กระทั่งต้องการจะจับภาพจากกล้องถ่ายภาพ มาลง

คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ USB TV Tuner Box มีความสามารถที่จะเชื่อมต่อเปลี่ยนสัญญาณสายจากเอวี (AV) เป็น USB เพื่อใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้โปรแกรมในคอมพิวเตอร์สามารถที่จะสั่งการจับภาพจากกล้องถ่ายภาพวีดิทัศน์เพื่อนำมาใช้ในการประมวลผล

2. สมการคณิตศาสตร์

2.1 แบบจำลองของภาพวีดิทัศน์ (Video Model)

ภาพวีดิทัศน์ที่ได้จากกล้องถ่ายภาพที่ถูกส่งมาจากอากาศยาน คือ ภาพหยุดนิ่งที่ถูกถ่ายภาพแบบต่อเนื่องจนเมื่อนำมาเรียงต่อกันจะก่อให้เกิดเป็นภาพเคลื่อนไหวช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า ภาพวีดิทัศน์นั้นเป็นภาพในฟังก์ชันสามมิติที่ประกอบไปด้วย

$$\begin{aligned} \varphi(x, y, t) ; x = 1, 2, \dots, M \\ y = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

x, y = ค่าความเข้ม (intensity) ของแสงและเงาที่จุด x, y ใดๆ บนภาพ
 t = ช่วงเวลาใดๆ ในชุดภาพต่อเนื่อง

โดยปกติแล้ว x, y เป็นจุดพิกเซลในระบบพิกัดของภาพซึ่งสามารถเขียนเป็นเมทริกซ์ที่มีขนาด M หลัก และ N แถวได้

$$\varphi(x, y, t) = \begin{pmatrix} \varphi(0, 0, t) & \varphi(0, 1, t) & \dots & \varphi(0, N-1, t) \\ \varphi(1, 0, t) & \varphi(1, 1, t) & \dots & \varphi(1, N-1, t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi(M-1, 0, t) & \varphi(M-1, 1, t) & \dots & \varphi(M-1, N-1, t) \end{pmatrix} \quad (2)$$

และในลำดับภาพวีดิทัศน์นั้นจะสามารถกำหนดตัวแปรของภาพในลำดับภาพที่สนใจเพื่อใช้ประมวลผลในการปรับเสถียรภาพ โดยกำหนดให้ภาพที่อยู่ในลำดับเวลาก่อนหน้าลำดับที่สนใจ $t-1$ เป็น “ภาพก่อนหน้า (Previous image)” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\varphi(x, y, t_2) ; t_2 = t-1 \quad (3)$$

และภาพในลำดับเวลาที่สนใจ t เป็น “ภาพเป้าหมาย (Target image)” ซึ่งเขียนเป็นสมการได้

$$\varphi(x, y, t_1) ; t_1 = t \quad (4)$$

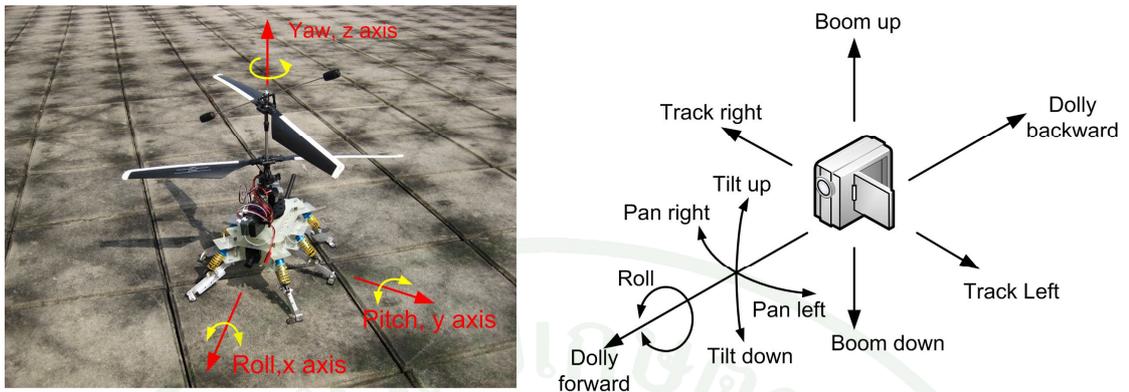
2.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ (Motion Model)

แบบจำลองการเคลื่อนที่ที่เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างไว้เพื่อสำหรับอธิบายเหตุผลในการเคลื่อนที่หรือเกิดการเคลื่อนไหวของวัตถุในภาพหรือเป็นการเคลื่อนไหวของกล้องถ่ายภาพเอง ซึ่งถ้าตีความในอีกความหมายก็จะหมายถึงการเคลื่อนที่ของจุดพิกเซลในภาพที่อยู่ติดกัน 2 ภาพในทางเวลานั้นเอง ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนที่หรือการเคลื่อนไหวในภาพจะเกิดได้ 3 กรณีตามที่ Donovan (2005) และทั่วไป กล่าวถึงไว้ว่า

- ก. อุปกรณ์ถ่ายภาพไม่เคลื่อนที่ แต่วัตถุในภาพมีการเคลื่อนที่
- ข. วัตถุในภาพไม่เคลื่อนที่ แต่อุปกรณ์ถ่ายภาพเกิดการเคลื่อนที่
- ค. ทั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพและวัตถุในภาพมีการเคลื่อนที่

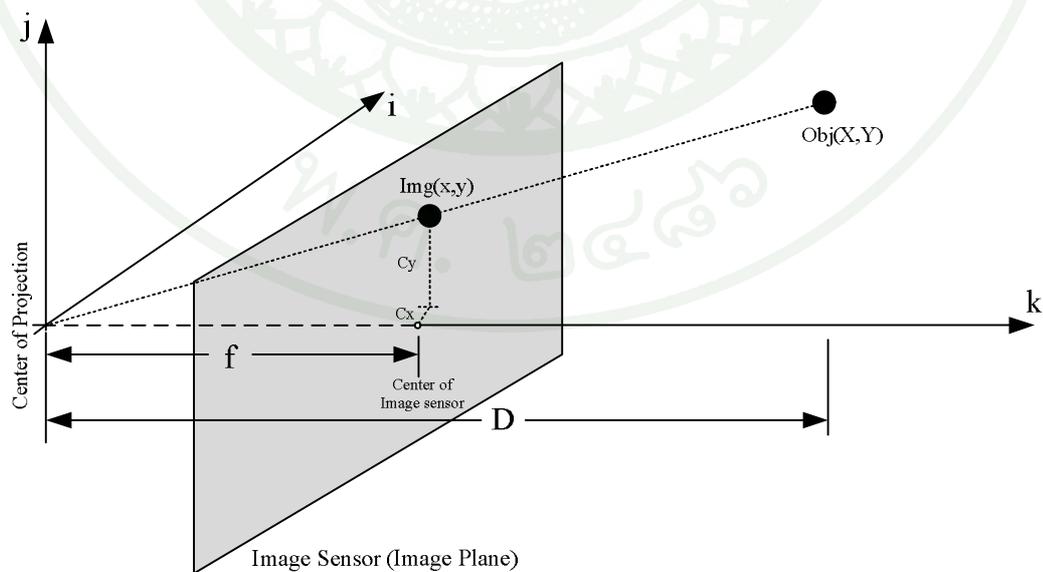
ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์ถ่ายภาพ หรือกล้องถ่ายภาพจะถูกติดตั้งอยู่บนอากาศยาน ดังนั้นเมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ไปในลักษณะใดอุปกรณ์ถ่ายภาพก็จะเคลื่อนที่ตามไปในลักษณะเดียวกันและ เมื่ออากาศยานปฏิบัติหน้าที่ที่กล้องถ่ายภาพจะทำการถ่ายภาพส่งกลับมายังผู้ควบคุม ทำให้วัตถุที่อยู่ในภาพที่กล้องถ่ายภาพได้จะไม่หยุดนิ่งและเกิดการเคลื่อนไหวซึ่งจะทำให้กรณีของอุปกรณ์ถ่ายภาพและวัตถุมีการเคลื่อนที่

โดยการเคลื่อนที่ของกล้องจะมีแนวแกนการเรียกต่างกับแนวแกนของอากาศยานแต่โดยรวมแล้วจะมีทิศทางเหมือนกัน



ภาพที่ 10 ระบบแกนของอากาศยานแบบแกนร่วมเทียบกับระบบแกนของกล้อง

แต่อย่างไรก็ดี แม้อากาศยานจะถูกติดตั้งอยู่บนอากาศยานและจะมีการเคลื่อนไหวตามอากาศยานก็ตามและวัตถุที่ถูกฉายภาพลงไปบนตัวรับรับรู้ภาพจะไม่หยุดนิ่งก็ตาม แต่เมื่ออากาศยานปฏิบัติการในระดับความสูงที่สูงมากขึ้น วัตถุจะมีขนาดเล็กลง เนื่องจากองศารับภาพที่มีความกว้างมากขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาจากภาพที่ 11 จะเห็นว่าวัตถุ $Obj(X,Y)$ มีขนาด X และ Y อยู่ห่างจากจุดเกิดภาพเป็นระยะ D ทำให้เกิดภาพ $Img(x,y)$ ฉายบนตัวรับรับรู้มีขนาด x และ y และมีระยะโฟกัสการเกิดภาพที่ f ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพที่เกิดขึ้นมีการเลื่อนห่างจากจุดศูนย์กลางของตัวรับรับรู้เป็นระยะทาง c_x และ c_y



ภาพที่ 11 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกล้องถ่ายภาพ

และจากภาพที่ 11 สามารถนำมาเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = [f] \begin{bmatrix} \frac{X}{D} \\ \frac{Y}{D} \end{bmatrix} + [c] \quad (5)$$

$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ = ตำแหน่งของภาพที่ตกกระทบบนตัวรับรูรับภาพ

$[f]$ = ระยะโฟกัสของกล้องถ่ายภาพซึ่งเป็นค่าคงที่

X, Y = ขนาดของวัตถุจริงมีขนาดคงที่

D = ระยะของกล้องถึงวัตถุซึ่งมีระยะมากขึ้นเมื่ออากาศยานเคลื่อนที่สูงขึ้น

$[c]$ = ตัวแปรเสริมสำหรับกรณีที่วัตถุไม่ได้อยู่ในจุดกึ่งกลางภาพ

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีค่าคงที่ทั้งเป็นคุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพและเลนส์นั้น ได้แก่ ระยะโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ ($[f]$) รวมถึง ตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ที่ไม่ใช่คุณสมบัติของกล้อง คือ ขนาดของวัตถุที่เป็นแบบให้ถูกฉายภาพไปตกกระทบบน (X, Y) ล้วนแล้วแต่มีค่าที่แน่นอนตายตัว แต่อย่างไรก็ตาม ตัวแปรที่มีผลต่อภาพที่จะทำให้วัตถุที่ถูกฉายภาพลงไปยังตัวรับรูมีขนาดเล็กกลลงนั่นคือ ตัวแปรบอกระยะของกล้องถ่ายภาพกับวัตถุหรือนั่นก็คือตัวแปรระยะทาง (D) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ขึ้นในทิศทางของ Yaw ทำให้ระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องถ่ายภาพห่างกันมากขึ้นหมายความว่า ตัวแปร D จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ ทำให้ค่าของ $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ มีขนาดเล็กลงตามสมการ (5) เนื่องด้วยเหตุผลนี้ทำให้สามารถที่จะอนุมานว่าภาพที่กล้องถ่ายภาพถ่ายได้นั้นวัตถุที่อยู่ในภาพเสมือนไม่มีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น เพราะเมื่อระดับของอากาศยานสูงขึ้นไปเรื่อยๆ ค่าของ $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ จะมีค่าลดลงจนใกล้ศูนย์ หรือก็คือจะมองเห็นวัตถุนั้นมีขนาดใกล้เคียงกับจุดฟิกเชล แล้วทำให้กล้องเห็นทั้งภาพเป็นภาพที่ไม่มีการเคลื่อนไหวแบบขนาดใหญ่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้เข้ากรณีของวัตถุไม่มีการเคลื่อนไหวแต่อุปกรณ์ถ่ายภาพเกิดการเคลื่อนไหวขึ้นแทน และทำให้สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของภาพได้ โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างภาพก่อนหน้า และภาพเป้าหมายที่อยู่ติดกัน ดังนี้

$$[X]' = \{[R] \cdot [X]\} + [T] \quad (6)$$

$$[X]' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \text{จุดในภาพปัจจุบัน}$$

$$[X] = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \text{จุดในภาพก่อนหน้า}$$

$$[T] = [T_x, T_y, T_z]^T = \text{เวกเตอร์แสดงการเคลื่อนที่ (Translation Vector)}$$

$$[R] = \text{เมทริกซ์การหมุน (Rotation Matrix)}$$

เมทริกซ์การหมุน $[R]$ เป็นเมทริกซ์ที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเป็นมุมรอบแกนในระบบพิกัดฉาก x, y และ z หรือก็คือการหมุนในแนว Roll, Pan และ Tilt ซึ่งเทียบได้กับแนวแกน Roll, Pitch, Yaw ของอากาศยาน ซึ่งเมทริกซ์ในแนวแกนหมุนแต่ละแกนสามารถเขียนแจกแจงได้ดังนี้

$$[R_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[R_y] = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[R_z] = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

และเมื่อรวมเมทริกซ์ $[R_x]$, $[R_y]$ และ $[R_z]$ เข้าด้วยกันเป็น $[R]$ ซึ่งเป็นรูปทั่วไปของเมทริกซ์การหมุนได้ดังนี้

$$[R] = [R_x] \cdot [R_y] \cdot [R_z] \quad (10)$$

แทนสมการ (7), (8) และ (9) ลงในสมการ (10) จะสามารถเขียนได้เป็น

$$[R] = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix}}_{[R_x]} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix}}_{[R_y]} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{[R_z]} \quad (11)$$

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos \theta_y \cos \theta_z & \sin \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z & -\cos \theta_x \sin \theta_z & \cos \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z + \sin \theta_x \sin \theta_z \\ \cos \theta_y \sin \theta_z & \sin \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z + \cos \theta_x \cos \theta_z & \cos \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z - \sin \theta_x \cos \theta_z \\ -\sin \theta_y & \sin \theta_x \cos \theta_y & \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (12)$$

และเมทริกซ์การหมุนยังมีคุณสมบัติเป็นเมทริกซ์เชิงตั้งฉาก (Orthogonal Matrix) โดยมีคุณสมบัติที่สามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

$$[R]^{-1} = [R]^T \quad (13)$$

$$\det[R] = \pm 1 \quad (14)$$

ส่วน เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Translation Vectors) $[T]$ เป็นเวกเตอร์ที่ใช้บ่งบอกการเคลื่อนที่ของกล้องในแนวแกน Dolly, Track, Boom หรือก็คือการเคลื่อนไปตามแนวแกน Roll, Pitch, Yaw ของอากาศยาน ซึ่งโดยทั่วไปนั้น เวกเตอร์การเคลื่อนที่จะถูกกำหนดการเคลื่อนเทียบไว้กับแนวแกน x, y และ z ซึ่งสามารถแทนตัวแปรได้ด้วย T_x , T_y และ T_z และถ้าพิจารณาต่อไปอีกแนวแกนการเคลื่อนที่ทางแกน z ซึ่งเป็นแนว Dolly ในระบบแกนของกล้อง ซึ่งก็คือการเคลื่อนกล้องไปทางข้างหน้าหรือข้างหลังนี้ มีความหมายถึงการขยายภาพใหญ่ขึ้นหรือทำภาพให้เล็กลง และเมื่อนำกล้องไปติดตั้งอยู่บนอากาศยานการขยับเลื่อนของกล้องที่จะอยู่ในแกน Dolly นั้นถือว่ามีค่าเป็นศูนย์ ทำให้กล้องเกิดการขยับเลื่อนไปมาทางแนวแกน Track and Boom ทำให้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ T_x และ T_y มีความสำคัญในระบบปรับเสถียรภาพมากขึ้น และเนื่องด้วยเหตุนี้ ทำให้ เมทริกซ์การหมุน สามารถที่จะทำการลดรูปในสมการ (12) ให้เหลือแต่เพียงแนวแกน z ซึ่งจะส่งผลให้สมการ (6) ลดรูปเหลือเพียงแนวแกน Pan, Tilt และเคลื่อนที่ในแนว Track กับ Boom ซึ่งสามารถเขียนสมการ (6) ใหม่ให้อยู่ในรูปดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (15)$$

แต่อย่างไรก็ตามสมการนี้เป็นสมการการเคลื่อนที่ของจุดพิกเซลในภาพก่อนหน้าไปยังจุดพิกเซลในภาพเป้าหมายซึ่งเป็นสมการที่สามารถนำไปวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่อื่นๆต่อไปได้ แต่เนื่องด้วยกล้องถ่ายภาพถูกนำไปติดตั้งไว้บนอากาศยานเพื่อการบังคับแบบ FPV ทำให้ระบบปรับเสถียรภาพภาพสั้นไหวในแบบทั่วไปไม่สามารถที่จะนำมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพกล่าวคือระบบปรับเสถียรภาพภาพสั้นไหวแบบทั่วไปจะทำการลดแนวแกนกานสั้นไหวในทุกแนวแกนของสมการ (15) ซึ่งก็คือเมื่อภาพมีการหมุนเกิดขึ้นในแนวแกน z ไม่ว่าจะเกิดผลในการสั้นมากหรือเล็กน้อยระบบจะทำการปรับและหมุนภาพกลับเสมือนว่าภาพที่ถ่ายได้ไม่เคยเกิดการหมุนมาก่อน ซึ่งการทำการปรับเสถียรภาพในทุกแนวยังส่งผลให้เกิดความล่าช้าเนื่องจากการประมวลผลที่มากซึ่งจะทำให้เกิดการหน่วงของภาพขึ้นได้ ประกอบกับเมื่อนำมาใช้กับระบบ FPV จะทำให้ผู้ควบคุมหรือนักบินเกิดการสับสนขึ้นได้ เพราะเหตุผลในการที่กล้องจะเกิดการสั้นไหวเมื่อติดตั้งอยู่บนอากาศยานจะเกิดได้จาก 2 กรณี

2.2.1 ผลจากการทำงานของเครื่องยนต์อากาศยาน

เมื่อเครื่องยนต์ของอากาศยานทำงานจะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนของมอเตอร์ การบิดตัวของแกนหมุน และแรงลมที่เกิดจากใบพัด เพื่อใช้ในการรักษาสมดุลของอากาศยานจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนภายในตัวอากาศยานขึ้นซึ่งส่งผลต่อกล้องที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นด้วย ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะเป็นการสั่นสะเทือนในแนวแกน ทั้ง 2 ในแนวแกนตั้ง และแนวแกนนอน (yaw)

2.2.2 ผลจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ผลจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยส่วนมากสิ่งที่มีผลต่ออากาศยานคือความแรงของลมที่พัดมากระทบกับอากาศยานซึ่งเมื่ออากาศยานบินสูงขึ้นความแรงของกระแสลมจะสูงขึ้นตามลำดับและจะส่งผลให้อากาศยานเกิดการเอียงขึ้นซึ่งจุดนี้ผู้บังคับหรือนักบินจำเป็นที่จะต้องทราบเหตุการณ์รวมถึงสภาพสถานการณ์จริงเพื่อบังคับอากาศยานให้ปฏิบัติงานอย่างราบรื่น

จากสาเหตุในข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 นี้ส่งผลให้เกิดการสั่นไหวของภาพทั้ง 2 กรณีทำให้มีผลต่อการบังคับอากาศยานแบบ FPV แต่ถ้าเทียบความรุนแรงของสาเหตุที่จะส่งผลกระทบต่อการบินบังคับแบบ FPV ระหว่าง 2.2.1 และ 2.2.2 แล้ว ข้อ 2.2.1 จะมีผลกระทบรุนแรงมากกว่าเพราะเมื่ออากาศยานเกิดการสั่นจากเครื่องยนต์จะทำให้ภาพเกิดการสั่นไหวในแนวแกนตั้ง และ แลและแกนนอน จะส่งผลให้ภาพเกิดการสั่นไหวจนขาดความคมชัด ซึ่งจะส่งผลให้ผู้บังคับหรือนักบินสูญเสียสมาธิในการควบคุม ประกอบกับสาเหตุในข้อ 2.2.2 ผลจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจะทำให้อากาศยานเกิดการเอียงและส่งผลให้ภาพถ่ายเกิดการสั่นไหวไปในแนวแกนหมุน (θ_z) ตามทิศทางที่อากาศยานเกิดการเอียง ซึ่งถ้าเป็นระบบปรับเสถียรภาพโดยทั่วไป จะต้องการปรับแต่งเพื่อลดการสั่นไหวในแนวแกนนี้แต่ใน กรณีการควบคุมแบบ FPV ไม่จำเป็นที่จะต้องปรับแต่งเพื่อลดการสั่นไหวของภาพในแนวแกนการหมุน เพราะผู้ควบคุมหรือนักบินจำเป็นที่จะต้องทราบถึงระดับการเอียงของอากาศยานเพื่อบังคับควบคุมไม่ให้อากาศยานเกิดอุบัติเหตุได้ แต่ถ้าระบบปรับเสถียรภาพทำการปรับแต่งเพื่อลดการสั่นไหวจะทำให้ผู้ควบคุมหรือนักบินควบคุมอากาศยานได้อย่างลำบากมากขึ้นทำให้ระบบปรับเสถียรภาพที่ใช้สำหรับ FPV จำเป็นที่จะต้องมีการปรับเสถียรภาพในแนวแกนตั้งและแกนนอน เพื่อให้ผู้ควบคุมหรือนักบินควบคุมอากาศยานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการที่มีระบบปรับเสถียรภาพบางแกนทำให้เพิ่มความรวดเร็วในการประมวลผลมากขึ้นด้วย

2.3 การวิเคราะห์-ประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation/Analysis)

การวิเคราะห์-ประมาณการเคลื่อนที่ เป็นกระบวนการสำคัญที่สำคัญในระบบการปรับเสถียรภาพ และการประมาณการเคลื่อนที่ ซึ่งในการคำนวณจะประกอบไปด้วยภาพอย่างน้อย 2 ภาพซึ่งก็คือ ภาพก่อนหน้า (Previous image) และภาพเป้าหมาย (Target image) โดยวิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ที่ใช้ในงานวิจัยชุดนี้ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการประมาณการไหลของกลุ่มแสง (Optical flow) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหา Local motion estimation ที่เป็นการประมาณการไหลของทั้งภาพที่อาจจะแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ได้ ซึ่งข้อมูลของ Local motion estimation นี้จะสามารถนำมาทำการประมวลต่อเพื่อที่จะวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่ของทั้งภาพหรือที่เรียกว่า Global motion estimation ซึ่ง Global motion estimation นี้จะเป็นเวกเตอร์ที่บ่งบอกทิศทางของการเคลื่อนที่ของภาพรวมถึงทิศทางการหมุนด้วย

ลักษณะโดยทั่วไปของการไหลของกลุ่มแสง (Optical flow) จะบ่งบอกถึงการเคลื่อนที่ของภาพในช่วงเวลา dt หรือก็คือช่วงเวลาของภาพก่อนหน้า กับ ภาพเป้าหมาย ซึ่งจะแสดงถึงสนามการไหลของกลุ่มแสง (Optical flow field) หรือสนามความเร็ว (Velocity field) ของการเคลื่อนที่ในสามมิติของวัตถุมาฉายให้อยู่ในแนวสองมิติบนภาพ

การคำนวณหาทิศทางการไหลของแสงในงานวิจัยชุดนี้จะใช้ทฤษฎีของ Lucas-Kanade แบบชนิดที่มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการคำนวณแบบปริมาตร หรือก็คือเป็นการคำนวณแบบหลายชั้นย่อยเข้ามาช่วยเพื่อทำให้การคำนวณมีความรวดเร็วและมีความสามารถในการคำนวณที่มากกว่า Lucas-Kanade แบบชั้นเดียว โดยการคำนวณหาทิศทางการไหลของแสงโดยวิธีการ Lucas-Kanade นั้นจะอาศัยเงื่อนไข (Bradski et al. (2008) และ Sonka et al. (2008)) คือ

ก. ความสว่าง (brightness) และความเข้ม (Intensity) ของพิกเซลที่อยู่บนวัตถุในภาพเมื่อภาพมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม อาทิเช่น จากภาพก่อนหน้ามายังภาพเป้าหมาย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้สามารถตรวจจับพิกเซลเหล่านี้ได้

ข. การเคลื่อนที่ของบริเวณจุดพิกเซลในวัตถุในภาพเกิดการเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยมีความสัมพันธ์กับอัตราการถ่ายภาพ หรือกล่าวคือ วัตถุในภาพไม่เคลื่อนที่เร็วจนเกินไปจนไม่ปรากฏวัตถุเดิมอยู่บนภาพอีก

ค. จุดพิกเซลในบริเวณเดียวกันของผิววัตถุที่มีการเคลื่อนไหวไปในทางเดียวกันนั้น จะถูกไปปรากฏอยู่บนภาพเช่นเดียวกัน

เมื่อได้กล่าวถึงเงื่อนไขของการคำนวณหาการไหลของแสงเราสามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varphi(x + dx, y + dy, t + dt) = \varphi(x, y, t) \quad (17)$$

โดย dx และ dy ตามลำดับซึ่งเป็นระยะการเปลี่ยนแปลงของพิกเซลเดิม และเมื่อหาอนุพันธ์ของ $\varphi(x + dx, y + dy, t + dt)$ จะได้ว่า

$$\varphi(x + dx, y + dy, t + dt) = \varphi(x, y, t) + \varphi_x dx + \varphi_y dy + \varphi_t dt \quad (18)$$

จากสมการ (17), (18), เงื่อนไขแรกและเงื่อนไขที่สอง กล่าวคือเมื่อความสว่างและความเข้มของจุดพิกเซลบนวัตถุไม่มีการเปลี่ยนแปลง และการเคลื่อนที่ของวัตถุไม่รวดเร็วจนเกินไปจะทำให้ได้ว่า

$$\varphi(x, y, t) + \varphi_x dx + \varphi_y dy + \varphi_t dt = \varphi(x, y, t) \quad (19)$$

$$\varphi_x dx + \varphi_y dy + \varphi_t dt = 0 \quad (20)$$

$$\varphi_x \frac{dx}{dt} + \varphi_y \frac{dy}{dt} = -\varphi_t \quad (21)$$

$$\varphi_x u + \varphi_y v = -\varphi_t \quad (22)$$

ซึ่ง $(u, v) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}\right)$ ก็คือเวกเตอร์ความเร็วของพิกเซลในแต่ละจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงในภาพก่อนหน้าและภาพปัจจุบัน

และเมื่อเขียนสมการ (22) ให้อยู่ในรูปเมทริกซ์โดยจะมีการกำหนดขนาดของหน้าต่างเพื่อใช้ในการหีบกลุ่มพิกเซลในขนาดที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วเลื่อนไปเทียบกับพิกเซลอื่นๆ เพื่อคำนวณหาการไหลของกลุ่มแสงโดยกำหนดของหน้าต่างได้มีขนาด 5×5 จะทำให้เกิดสมการในการคำนวณถึง 25 สมการ (เพราะต้องเทียบพิกเซลทั้ง 25 พิกเซล) ซึ่งเขียนเป็นเมทริกซ์ดังนี้

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \varphi_{x1} & \varphi_{y1} \\ \varphi_{x2} & \varphi_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ \varphi_{x25} & \varphi_{y25} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} u \\ y \end{bmatrix}}_{[u]} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\varphi_{t1} \\ -\varphi_{t2} \\ \vdots \\ -\varphi_{t25} \end{bmatrix}}_{\varphi_t} \quad (23)$$

ซึ่งสามารถลดรูปโดยใช้ตัวแปรและแก้สมการหา $[u]$ ออกมาได้โดยอาศัยหลักการหาขนาดของระยะทางที่น้อยที่สุด และการแก้เมทริกซ์ ดังต่อไปนี้

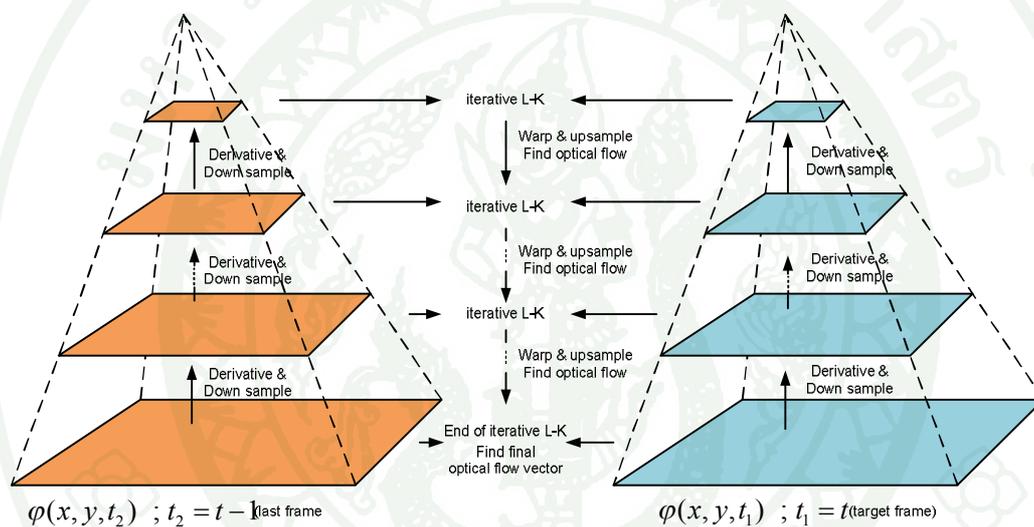
$$A[u] = \varphi_t \quad (24)$$

$$A^T A[u] = A^T \varphi_t \quad (25)$$

$$\underbrace{(A^T A)^{-1}}_1 (A^T A)[u] = (A^T A)^{-1} A^T \varphi_t \quad (26)$$

$$[u] = (A^T A)^{-1} A^T \varphi_t \quad (27)$$

และเมื่อนำสมการ (27) ซึ่งเป็นการหาเวกเตอร์ความเร็วของ Lucas-Kanade มาประยุกต์ใช้กับแนวคิดการคำนวณแบบปิระมิดจะเป็นดังแผนภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แบบจำลองการคำนวณการไหลของกลุ่มแสงโดยวิธีของ Pyramid Lucas-Kande

โดยปิระมิดด้านซ้ายมือจะแทนภาพก่อนหน้า (Previous image) และ ภาพขวามือจะแทนภาพเป้าหมาย (Target image) โดยในแต่ละระดับขั้นของปิระมิดจะเริ่มกระบวนการหาไหลของแสงในแบบวิธีของ Lucas-Kanade ซึ่งจะทำให้การหา $[u]$ ในแต่ละขั้นซึ่งจะมีวิธีการหาอนุพันธ์ พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตในการทำงานของหน้าต่างให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถที่จะหา $[u]$ ได้อย่างแม่นยำซึ่งเมื่อหลังจากคำนวณหา $[u]$ จากวิธีการของ Pyramid Lucas-Kanade แล้วจะได้ $[u]$ ออกมาพร้อมกับบอกตำแหน่งของพิกเซลที่เคลื่อนที่ซึ่งเหล่านี้จะถูกรู้จักว่า Local velocity vector เพื่อนำไปทำการจัดเรียงข้อมูลโดยนำเวกเตอร์ $[u]$ มาคำนวณหาขนาดของความเร็วซึ่งจะบ่งบอกได้ถึง ทิศทาง และ ขนาด จากนั้นจะทำการจัดเรียงข้อมูลของขนาดเวกเตอร์และทิศทางเวกเตอร์ซึ่งจะสามารถเลือกตัดขอบเขตของข้อมูลได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของภาพส่วนมากมักจะมีทิศทางและ

ขนาดไปในทางเดียวกัน ยกเว้นบางครั้งที่อาจจะเกิดการผิดพลาดเนื่องจากพิกเซลในภาพไม่ตรงตามเงื่อนไขของการการไหลของกลุ่มแสงซึ่งจะมีการทำขอบเขตไว้เป็นตัวกรองเพื่อเอากลุ่มของข้อมูลที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะทำให้รู้ถึงทิศทางและระยะทางการเคลื่อนที่ของทั้งภาพหรือเรียกว่า Global velocity vector แล้วจึงนำข้อมูลนี้กลับไปชดเชยภาพเป้าหมาย

2.4 การชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation)

การชดเชยการเคลื่อนที่เป็นกระบวนการสุดท้ายของระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอที่ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อทำการคำนวณหา Global velocity vector จะทำให้ทราบถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของทั้งภาพซึ่งจะทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่าง ภาพเป้าหมาย กับ ภาพก่อนหน้า เพราะทิศทางการเคลื่อนที่จากภาพก่อนหน้า มาสู่ ภาพเป้าหมาย จะเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการ (15) แต่อย่างไรก็ตามในสมการ (15) นั้นจะยังมีตัวแปรที่ไม่สามารถหาได้เนื่องจากไม่ทราบแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่ทำให้ $[R]$ และ $[T]$ ไม่สามารถหาค่าได้ จึงต้องอาศัยวิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่เพื่อหาเมทริกซ์ทั้ง 2 ที่ไม่สามารถหาได้พร้อมทั้งทำการอินเวิร์สสมการ (15) กลับไปเพื่อทำให้ภาพเป้าหมายมีทิศทางไปในแนวเดียวกับภาพก่อนหน้า หรือก็คือเป็นการทำให้ภาพเป้าหมายถูกชดเชยกลับไปอยู่ในแนวทิศทางเดิม

จากสมการ (15)

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}_{[X']} = \underbrace{\begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z \end{bmatrix}}_{[R_{\theta_z}]} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{[X]} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix}_T$$

$$[X'] - [T] = [R_{\theta_z}][X] \quad (28)$$

$$[R_{\theta_z}]^{-1}([X'] - [T]) = \underbrace{[R_{\theta_z}]^{-1}[R_{\theta_z}]}_1 [X] \quad (29)$$

$$[X] = [R_{\theta_z}][X'] - [T] ; [R_{\theta_z}] = [R_{\theta_z}]^{-1} \quad (30)$$

จากสมการ (30) จะเป็นสมการอินเวิร์สของสมการ (15) เพื่อทำการชดเชยการเคลื่อนที่ของภาพ แต่ในกรณีของ FPV จะทำการควบคุมตัวแปรในสมการ (30) คือ มุมการหมุน (θ_z) จะไม่ถูกนำมาคำนวณโดยจะสมมติการหมุนเป็นศูนย์เนื่องจาก ผู้ควบคุมหรือนักบินจำเป็นที่จะต้องทราบการเปลี่ยนแปลงในแนวแกนการเอียงของอากาศยานเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นได้ตามที่ได้กล่าวมาในข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 รวมถึงหลังจากทำการชดเชยแก่ภาพเป้าหมายแล้วยังจะต้องทำการตกแต่งภาพหรือที่เรียกว่าการทำวาร์ป (Warping) ซึ่งก็คือการคัดลอกหรือ Mapping ภาพที่ถูกชดเชยไปสร้างภาพใหม่โดยกำหนดตำแหน่งให้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับภาพก่อนหน้า รวมถึงภาพจะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากการกำจัดขอบดำของภาพที่ถูกชดเชย

2.5 การตรวจสอบคุณภาพของภาพ (Image Quality Check)

การตรวจสอบคุณภาพของภาพเป็นการตรวจสอบเพื่อวัดคุณภาพของภาพที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการทางการประมวลผลภาพ เช่น การบีบอัด, การส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่าย เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่จะทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพลดลงดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีเพื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพของภาพ ซึ่งวิธีการโดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้ ซึ่ง อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal-to-Noise Ratio) ตรวจสอบการบิดเบือนของภาพ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) = 20 \log \left(\frac{MAX}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (31)$$

โดยค่า MAX จะเป็นค่าสูงสุดของจุดสีในภาพซึ่งในระบบภาพที่ใช้จะเป็นภาพแบบ 8 บิตซึ่งจะทำให้ค่าของ MAX มีค่าเป็น $2^8 = 255$ (นับรวมศูนย์ด้วย) และ MSE หรือ ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Square Error) เป็นการวัดค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งในทางการประมวลผลภาพแล้วจะเป็นการหาความผิดพลาดจากภาพที่มีขนาด $M \times N$ ระหว่างภาพที่ต้องการเปรียบเทียบ 2 ภาพโดยทั่วไปแล้วจะนำภาพต้นฉบับกับภาพที่คาดว่าจะมีการถูกรบกวนเกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกันแต่ในงานวิจัยนี้จะเป็นจะมองภาพต้นฉบับเป็นภาพก่อนหน้า และ ภาพที่ถูกสัญญาณรบกวนเป็น ภาพเป้าหมาย, ภาพที่ถูกชดเชย, ภาพที่ถูกปรับเสถียรภาพ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |\varphi(i, j, t_1) - \varphi(i, j, t_2)|^2 \quad (32)$$

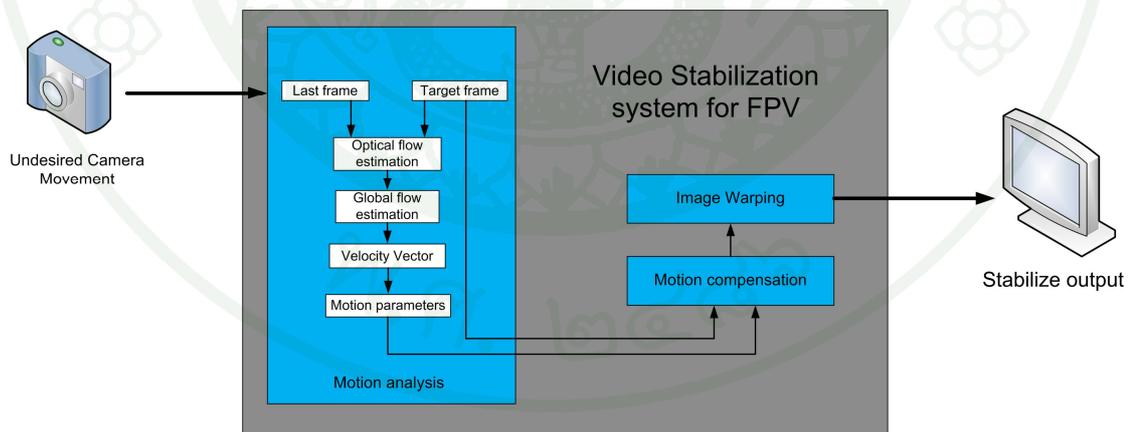
แทน MAX และ MSE ตามที่ได้อธิบายไว้แทนลงไปในสมการ (31) จะสามารถเขียนเป็นสมการรวมได้ดังต่อไปนี้

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2 (M \times N)}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |\varphi(i, j, t_1) - \varphi(i, j, t_2)|^2} \right) \quad (33)$$

โดยทั่วไปแล้ว PSNR ที่ได้จากภาพที่ไม่มีการรบกวนหรือภาพที่ถูกบีบอัดอย่างดีจะมีค่าอยู่ประมาณ 30-50 เดซิเบล (dB) ซึ่งถือว่ามีคุณภาพสูงมาก แต่ถ้าภาพถูกส่งผ่านชุดไร้สายจะมี PSNR อยู่ประมาณ 20 – 25 dB (Welstead (1999); Thomos *et al.* (2006); Xiangjun *et al.* (2007))

3. แผนผังการทำงานโดยรวมของทั้งระบบ

แผนผังการทำงาน โดยรวมของทั้งระบบจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ ในด้านซ้ายและขวาซึ่งจะประกอบไปด้วย Motion Estimation และ Motion Compensation ซึ่งในแต่ละวิธีการใหญ่จะแบ่งออกเป็นวิธีการย่อยซึ่งได้กล่าวถึงวิธีการทำงาน โดยละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2

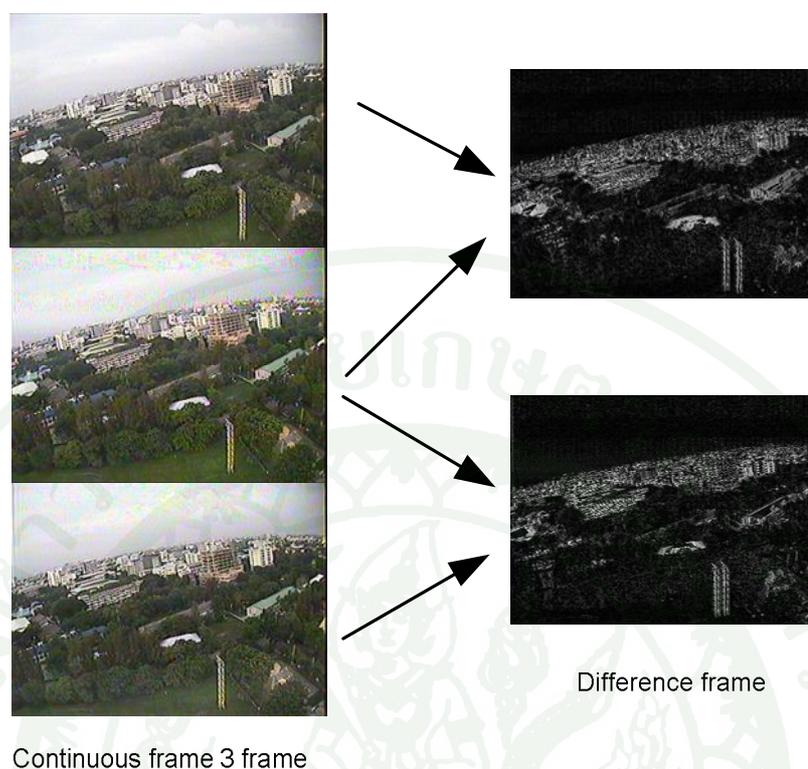


ภาพที่ 13 แผนผังการคำนวณของโปรแกรมของระบบปรับเสถียรภาพวิดีโอทัศนแบบเวลาจริง

ผลและวิจารณ์

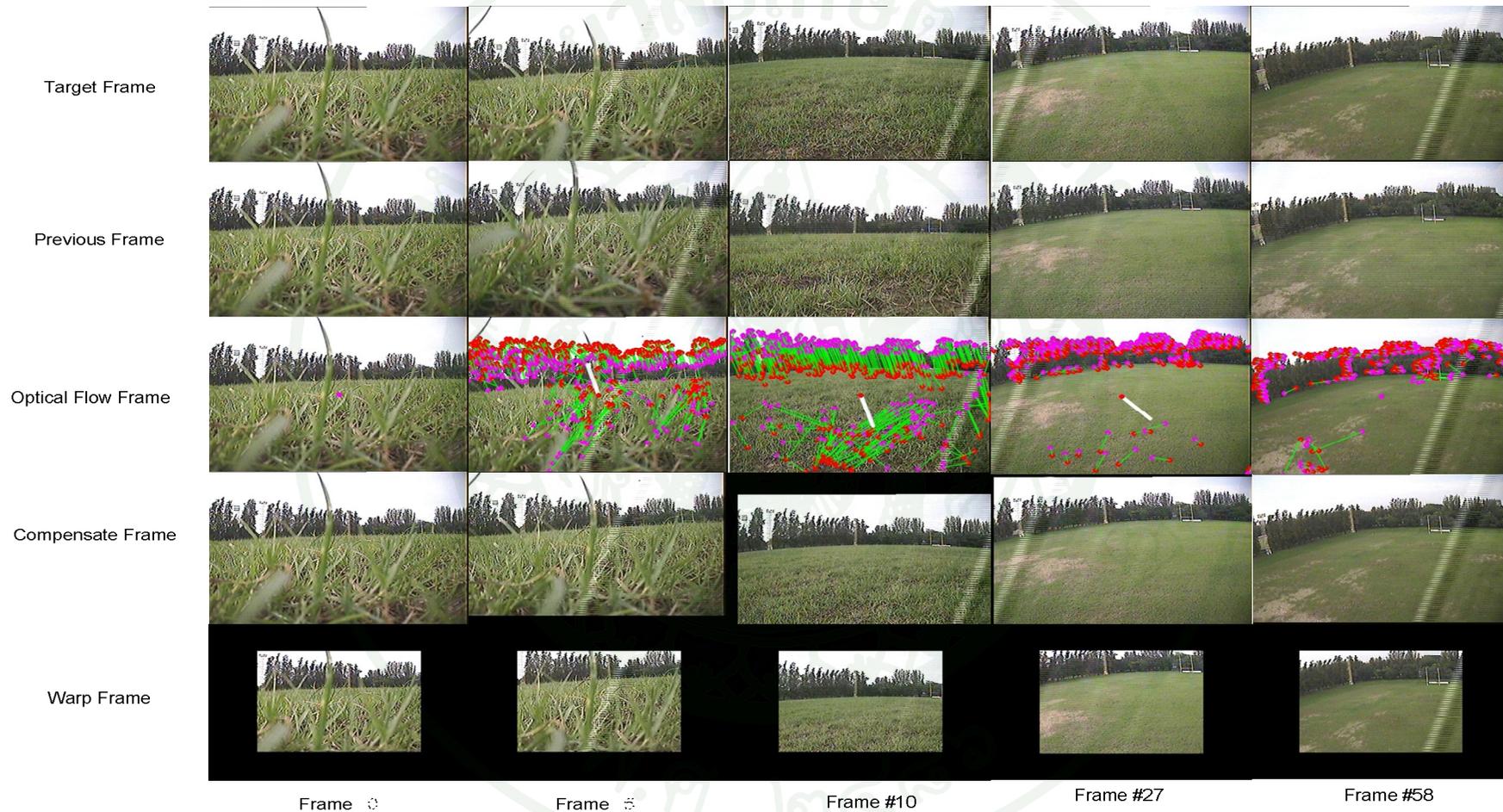
ผล

จากการทดลองเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพ และ ชุดรับ-ส่งสัญญาณภาพ-เสียงวีดิทัศน์แบบไร้สายไว้กับอากาศยานแบบแกนร่วมขนาดเล็ก และถูกควบคุมผ่านเครื่องบังคับ โดยใช้สัญญาณวิทยุควบคุมผ่านระบบควบคุมแบบ FPV โดยกำหนดอัตราการถ่ายภาพที่ 10 ภาพต่อวินาที (Frame per second: fps) และขนาดของภาพเป็น 320 พิกเซลในแนวแกนนอนและ 240 พิกเซลในแนวแกนตั้ง โดยการทดลองได้ทำการเก็บบันทึกภาพขณะอากาศยานกำลังทำการปฏิบัติหน้าที่ โดยแยกบันทึกภาพ ระหว่าง ภาพปกติที่มีปัญหาในการสั้นไหว, ภาพที่แสดงเวกเตอร์การไหลของกลุ่มแสง, ภาพที่ถูกชดเชยการเคลื่อนไหว, และภาพที่ทำการวาร์ป (warp) เพื่อป้องกันขอบภาพหาย โดยในการทำการทดลองนี้ได้เก็บภาพตัวอย่างเป็นจำนวนทั้งสิ้น 250 ภาพต่อเนื่อง โดยภาพการสั้นไหวที่บันทึกได้จะทำการแยกเป็นภาพก่อนหน้าและภาพเป้าหมาย โดยในผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบภาพ 2 ภาพติดกัน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าภาพ 2 ภาพติดกันจะเกิดแถบเหลืองสีขาวขึ้นเมื่อนำภาพทั้ง 2 มาลบเพื่อหาความแตกต่างของภาพ ซึ่งหมายความว่า ปัญหาที่ตั้งไว้ตอนต้นนั้นเกิดขึ้นจริงและยังสังเกตได้อีกว่าได้ว่าการเกิดแถบเหลืองสีขาวขึ้นจะเกิดในลักษณะแนวการเลื่อนไปในทิศทางของหมุนกับทิศทางของการขยับไปในแนวแกนตั้งซึ่งทำให้เราสามารถวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคของการประมาณการไหลของกลุ่มแสงได้เพื่อนำมาใช้จัดการชดเชยการเคลื่อนที่กับภาพเป้าหมายทำให้ได้ผลออกมาตามภาพที่ได้แสดงไว้ในหนังสือโดยในเริ่มแรกหลังจากนำ ภาพเป้าหมายกับภาพก่อนหน้ามาหาความแตกต่างจะผลลัพธ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 14 ภาพปัญหาที่เกิดจากการสั่นไหวของกล้องในการควบคุมแบบ FPV ที่ได้จากการทดลอง

จากภาพที่ 14 เป็นการนำตัวอย่างของลำดับภาพต่อเนื่อง ภาพหมายเลขที่ 158, 159 และ 160 เรียงตามลำดับจากข้างบนลงข้างล่าง นำมาหาความแตกต่าง จะเห็นว่าเป็นไปตามที่ปัญหาที่ได้ตั้งไว้ คือ ภาพหมายเลขที่ 158, 159 และ 160 ถ้าสังเกตในด้านซ้ายภาพทั้ง 3 มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันแต่ถ้า นำภาพทั้ง 3 มาหาความแตกต่างจะพบว่ามีความแตกต่างเกิดขึ้น เกิดเป็นลักษณะแถบสีขาวขึ้นซึ่งมีความหมายว่า ภาพ 2 ภาพมีความแตกต่างกันเกิดขึ้น ยิ่งภาพทั้ง 2 มีความแตกต่างกันมากเท่าไร แถบเหลืองสีขาวก็จะปรากฏเด่นชัดและมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งถ้าระบบปรับเสถียรภาพวีดิทัศน์มีความประสิทธิภาพในการทำงาน เมื่อนำภาพที่ผ่านการปรับเสถียรภาพแล้ว กับ ภาพก่อนหน้ามา เปรียบเทียบหาความแตกต่างส่วนที่เกิดการแตกต่างที่ปรากฏเป็นแถบสีขาวจะต้องหายไปจนทั้ง ภาพเป็นภาพสีดำหรืออาจจะมีแถบเหลืองน้อยในกรณีที่เกิดการสั่นอย่างรุนแรงมากๆ ในส่วนต่อไปจะนำผลการทดลองมาแสดงถึงการทำงานของระบบปรับเสถียรภาพวีดิทัศน์สำหรับการ ควบคุมแบบ FPV โดยทำการสุ่มมาเป็นตัวอย่าง จำนวน 10 ภาพ ซึ่งมีความแตกต่างกันถึงในช่วง ลักษณะตั้งแต่อากาศยานเริ่มทำการลอยตัวจากพื้นดินไประดับความสูงเล็กน้อย, ปานกลาง, สูง

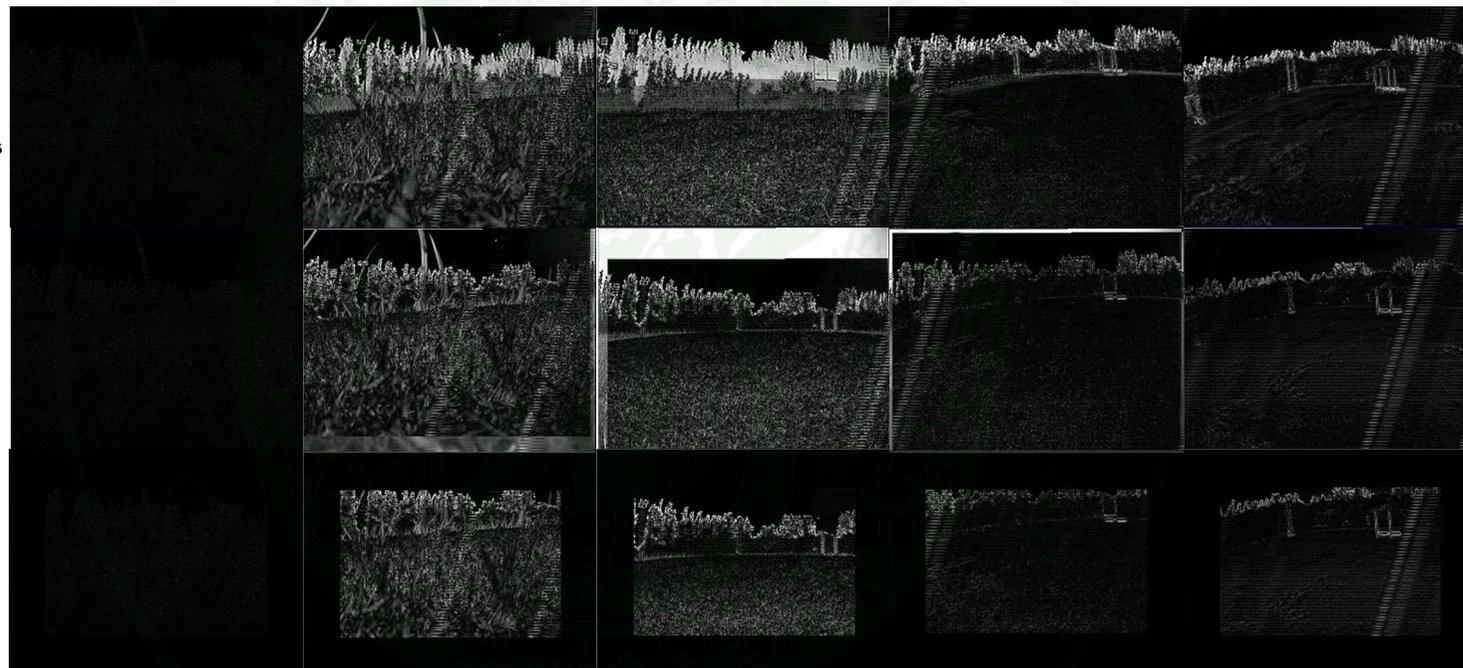


ภาพที่ 15 ภาพปัจจุบัน, ภาพก่อนหน้า, ภาพที่เวกเตอร์การไหลของกลุ่มแสง, ภาพที่ถูกชดเชย, และภาพที่ทำการวาร์ปของลำดับภาพที่ 1, 5, 10, 27, 58

Compare between target
and previous frame
Before Stabilization Process

Compare between stabilize
and previous frame
After Stabilization Process

Compare between stabilize
and previous frame
After Stabilization Process
(crop image)



Frame #0

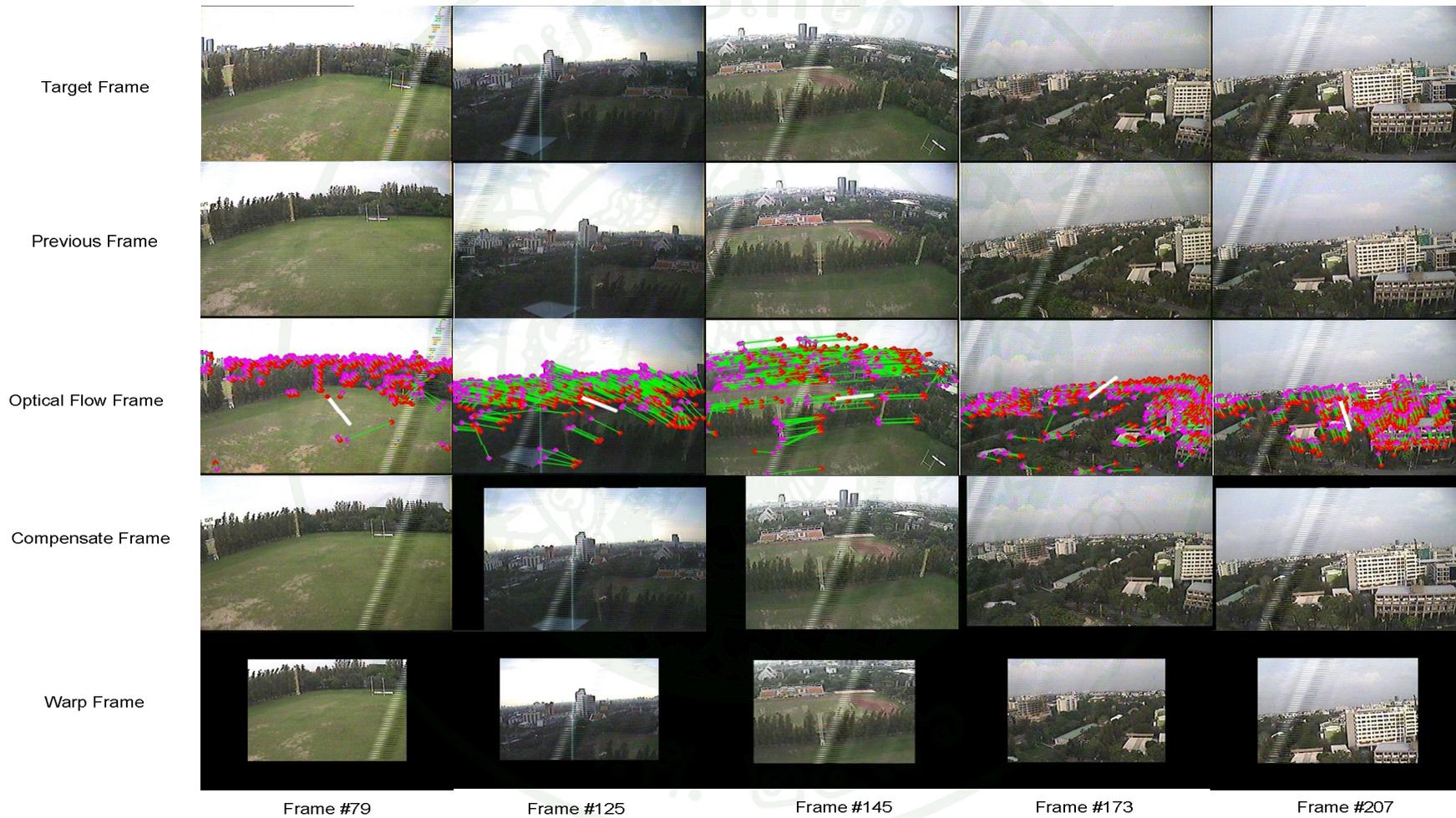
Frame #5

Frame #10

Frame #27

Frame #58

ภาพที่ 16 ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อน และ หลัง การทำการปรับเสถียรภาพของลำดับภาพที่ 1, 5, 10, 27, 5



ภาพที่ 17 ภาพปัจจุบัน, ภาพก่อนหน้า, ภาพที่เวกเตอร์การไหลของกลุ่มแสง, ภาพที่ถูกขจัดเซช, และภาพที่ทำการวาร์ปของลำดับภาพที่ 79, 125, 145, 173, 207

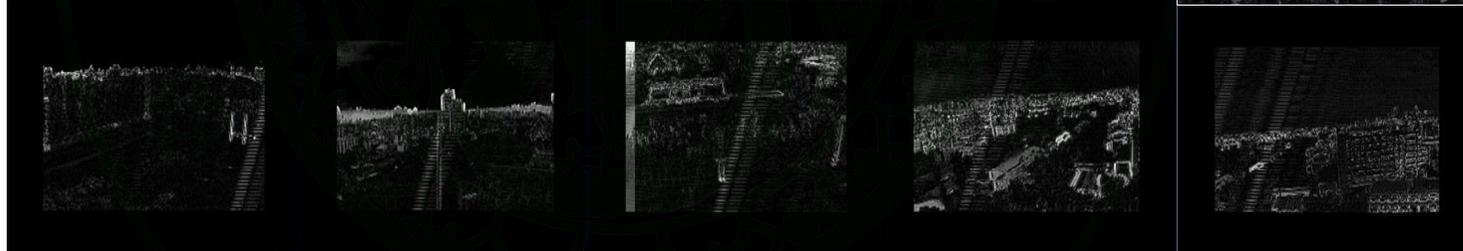
Compare between target
and previous frame
Before Stabilization Process



Compare between stabilize
and previous frame
After Stabilization Process



Compare between stabilize
and previous frame
After Stabilization Process
(crop image)



Frame #79

Frame #125

Frame #145

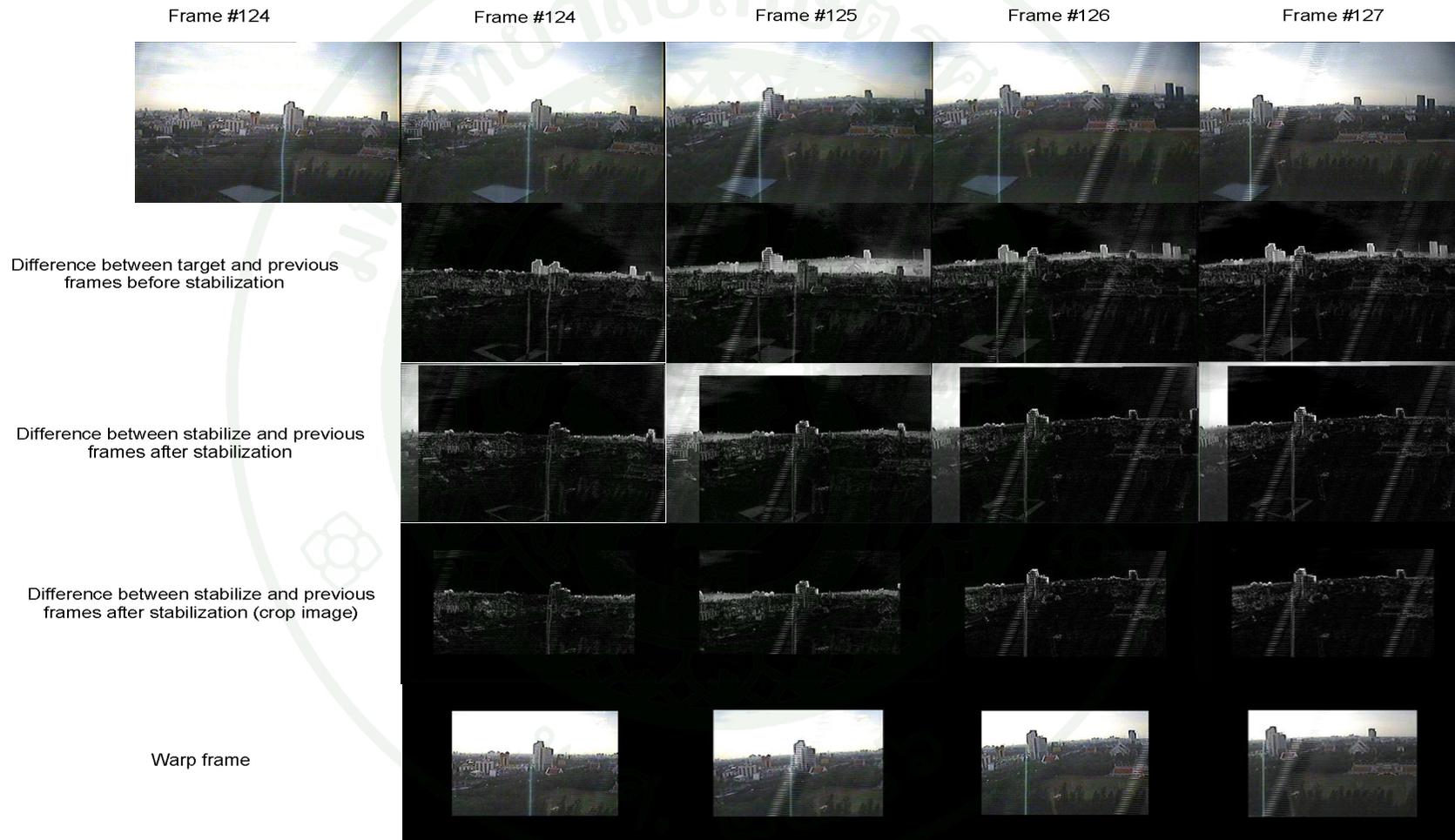
Frame #173

Frame #207

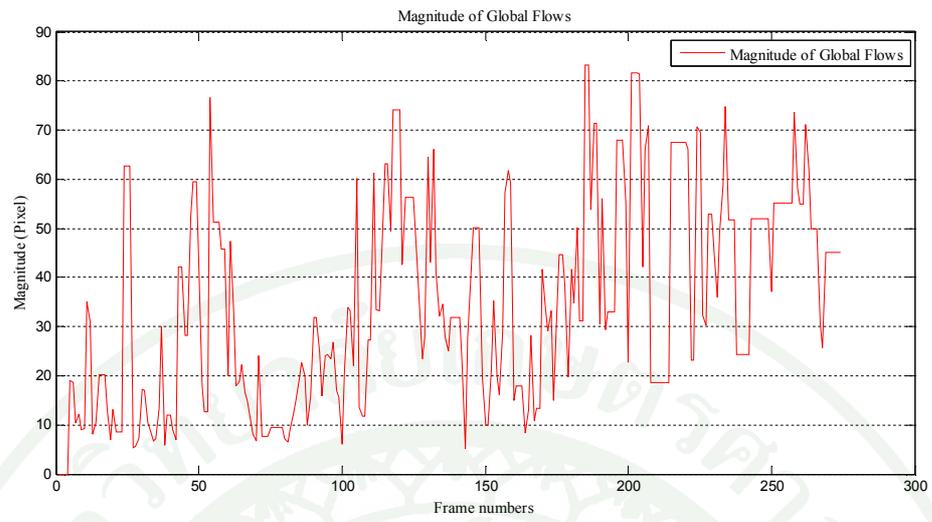
ภาพที่ 18 ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อน และ หลัง การทำการปรับเสถียรภาพของลำดับภาพที่ 79, 125, 145, 173, 20

จากภาพที่ 15 และ 16 ในแต่ละหลักจะเป็นภาพในลำดับภาพที่ 0, 5, 10, 27 และ 58 ซึ่งในภาพที่ 15 จะสังเกตเห็นได้ว่าในแถวที่หนึ่งที่เป็นแถวบนสุดเป็นชุดภาพเป้าหมายที่จะทำการปรับเสถียรภาพโดยจะเทียบหาการเคลื่อนไหวกับภาพในแถวที่สองที่เป็นภาพก่อนหน้าซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบหาการเคลื่อนไหวของทั้งภาพได้แล้วจะแสดงเป็นภาพที่มีเวกเตอร์ความเร็วแสดงในแถวที่สาม โดยมี เวกเตอร์ที่เป็นเส้นสีเขียวจะเป็น Local velocity vector โดยมีทิศทางจากจุดสีแดงที่เป็นจุดพิกเซลในภาพก่อนหน้าที่มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดที่เป็นสีชมพูที่เป็นจุดพิกเซลที่ย้ายไปอยู่ในตำแหน่งของภาพเป้าหมาย และสุดท้ายในกลางภาพจะเป็นมีเส้นเวกเตอร์สีขาว โดยมีหัวเวกเตอร์เป็นจุดสีแดงแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของภาพทั้งหมดหรือก็คือ Global velocity vector ซึ่งถ้าจะมีทิศทางตามกับกลุ่มของ Local velocity vector จากนั้นจะนำทิศทางของ Global velocity vector ไปทำการชดเชยการเคลื่อนที่กับภาพเป้าหมาย ซึ่งจะแสดงอยู่ในภาพแถวที่สี่ โดยภาพจะมีการถูกปรับแต่งโดยการเลื่อนไปในแนวที่ทิศทางตรงข้ามกับ Global velocity vector ซึ่งในการเลื่อนบางครั้งอาจจะทำให้ภาพขาดหายไปบางส่วนเนื่องจากการเคลื่อนดึงภาพออกจากไปขอบเขตของภาพเดิม ซึ่งถ้าสังเกตในแถวที่ 4 ลำดับภาพที่ 10 จะเห็นว่ามิชอบดำจากการปรับแต่งเลื่อนภาพเกิดขึ้นซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการใช้การวาร์ป (warp) หรือก็คือการจัดรูปแบบภาพให้กลับมาอยู่ในสภาวะที่ดูสวยงามโดยภาพมีขนาดเล็กลงแต่ก็เพียงพอที่จะทำให้ผู้บังคับ หรือนักบิน สามารถควบคุมอากาศยานแบบ FPV ได้ซึ่งภาพที่ถูกวาร์ปจะแสดงอยู่ในแถวล่างสุด และเมื่อสังเกตในภาพที่ 16 จะเป็นภาพที่แสดงความแตกต่างของลำดับภาพที่ 0, 5, 10, 27 และ 58 ซึ่งในแถวแรกจะเป็นการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของภาพก่อนหน้าและภาพเป้าหมาย จะเห็นว่าเกิดแถบเหลืองซึ่งแสดงถึงการสั้นสะเทือนของภาพเกิดขึ้น และภาพในแถวที่สองจะเป็นภาพที่แสดงการเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างภาพเป้าหมายที่ถูกชดเชยแล้วกับภาพก่อนหน้าซึ่งจะเห็นว่ามิบริเวณที่เป็นแถบเหลืองสีขาวน้อยลงโดยเฉพาะถ้าสังเกตลำดับภาพที่ 10 จะเห็นว่าภาพแถวบนสุดของลำดับภาพที่ 10 จะเกิดแถบเหลืองสีขาวเป็นขนาดใหญ่แต่เมื่อหลังจากผ่านกระบวนการชดเชยแล้วภาพในแถวที่สองของลำดับภาพที่ 10 จะมีแถบสีขาวเกิดน้อยลงแต่จะเกิดแถบสีขาวสว่างในด้านบนซึ่งเมื่อเทียบกับ แถวที่สี่ ของลำดับภาพที่ 10 ใน ภาพที่ 15 ก็คือแถบดำที่เกิดขึ้นจากการเลื่อนซึ่งเมื่อนำมาหาความแตกต่างกับภาพเดิมจะทำให้เกิดเป็นแถบขาวขึ้นในแถวที่ สอง ของลำดับภาพที่ 10 ใน ภาพที่ 16 เพราะค่าพิกเซลในแถบดำเมื่อคิดเป็นตัวเลขจะมีค่าเป็นศูนย์ เพราะในการประมวลผลภาพค่าตำแหน่งความสว่างและสีจะถูกอ้างอิงเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0 – 255 โดย ค่าศูนย์เทียบได้กับภาพว่างเปล่าหรือก็คือภาพที่มีที่มืดที่สุด ส่วน 255 เทียบได้ที่มีความสว่างมากที่สุด และในภาพที่ 16 แถวที่สามเมื่อนำภาพที่ถูกวาร์ปหลังจากถูกชดเชยแล้วมาเปรียบเทียบกับภาพก่อนหน้าจะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกับภาพในแถวที่สองเพราะเนื่องการวาร์ปเป็นแค่การปรับแต่งภาพให้อยู่ในแนวเดียวกันไม่เหลืองกันแบบในภาพในแถวที่ สอง ส่วนในภาพที่ 17 และ 18 จะเป็นภาพในแต่ละลำดับภาพที่

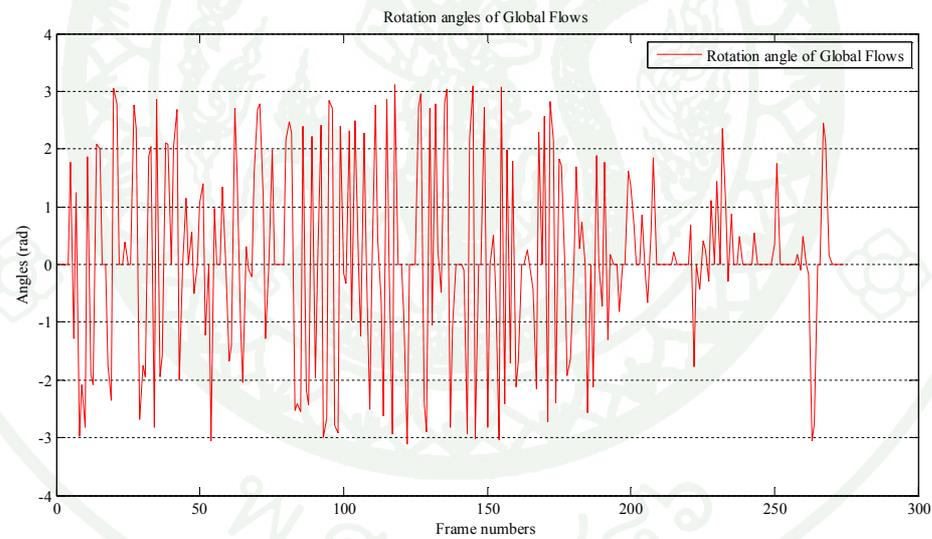
79, 125, 145, 173, 207 ซึ่งจะมีลักษณะในการวิเคราะห์และถูกปรับแต่งเช่นเดียวกับในภาพที่ 15 กับ 16 และเมื่อสังเกตในภาพที่ 15 กับ 17 ลำดับภาพที่ 0, 5, 10 จะเป็นภาพในลำดับที่อากาศยานถ่ายภาพในระดับที่มีความสูงตั้งแต่พื้นดินจนไปถึงความสูงระดับต่ำ ซึ่งจะเห็นว่า วัตถุในภาพเช่น วัชพืช ต้นไม้ มีขนาดใหญ่ทำให้ การประมาณการไหลของกลุ่มแสง ไปแสดงอยู่บนวัตถุด้วย แต่ถ้าลองสังเกตในลำดับภาพที่ 79, 173, 207 จะเป็นภาพที่อากาศยานปฏิบัติงานในระดับความสูงปานกลางไปจนถึงความสูงในระดับหนึ่ง ซึ่งจะเห็นว่าวัตถุมีขนาดเล็กลงไปตามข้อสันนิษฐานทำให้ทำให้การประมาณการไหลของกลุ่มแสง ทำงานได้ดีขึ้น และในขั้นต่อไปจะแสดงผลภาพที่เกิดจากการนำ ลำดับภาพที่ 123-127 เป็นลำดับภาพต่อเนื่อง 4 ภาพ ถูกมาเรียงต่อกันพร้อมทั้งหาความแตกต่างระหว่างภาพก่อนหน้า กับ ภาพเป้าหมาย ซึ่งมีภาพที่เกิดขึ้นก่อนกระบวนการปรับเสถียรภาพ และหลังปรับเสถียรภาพซึ่งจะเปรียบเทียบระหว่างภาพเป้าหมายที่ถูกชดเชย กับ ภาพก่อนหน้า และภาพที่ถูกวาร์ป กับ ภาพก่อนหน้า ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งจะเห็นว่าภาพในแถวที่สอง ระหว่างลำดับภาพที่ 123-127 เกิดแถบเหลืองสีขาวขึ้นเป็นจำนวนมากแต่เมื่อทำการปรับเสถียรภาพแล้วแถบสีขาวเกิดขนาดลดลง และเมื่อทำการทดลองเก็บข้อมูลลำดับภาพทั้ง 250 ภาพต่อเนื่องจะทำให้สามารถหาข้อมูลของ Global velocity vector ของทั้งหมดได้ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิซึ่งแผนภูมินี้สามารถชี้บ่งบอกถึงลักษณะที่เกิดการสั่นของอากาศยานได้ รวมถึงผลการเปรียบเทียบ



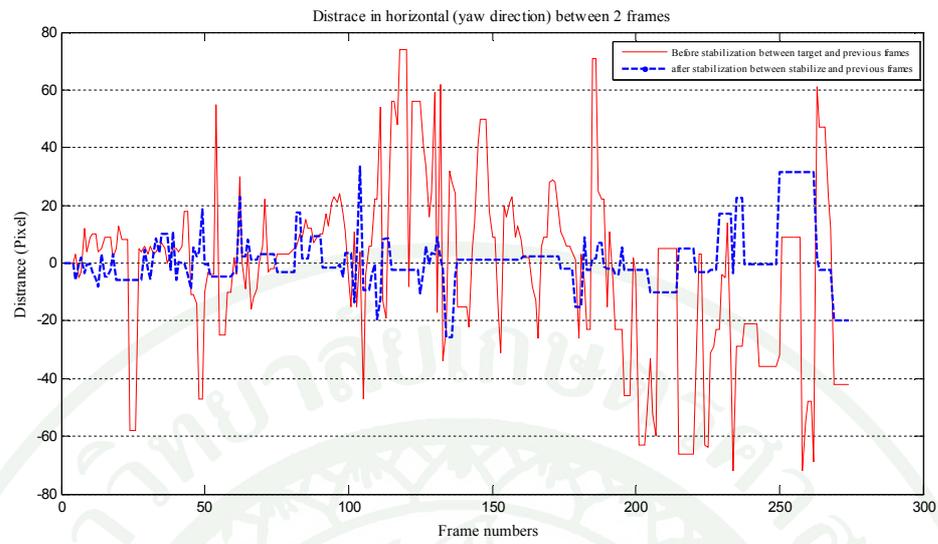
ภาพที่ 19 เปรียบเทียบหาความแตกต่าง ก่อนและหลังผ่านกระบวนการปรับเสถียรภาพของลำดับภาพต่อเนื่อง 4 ภาพ



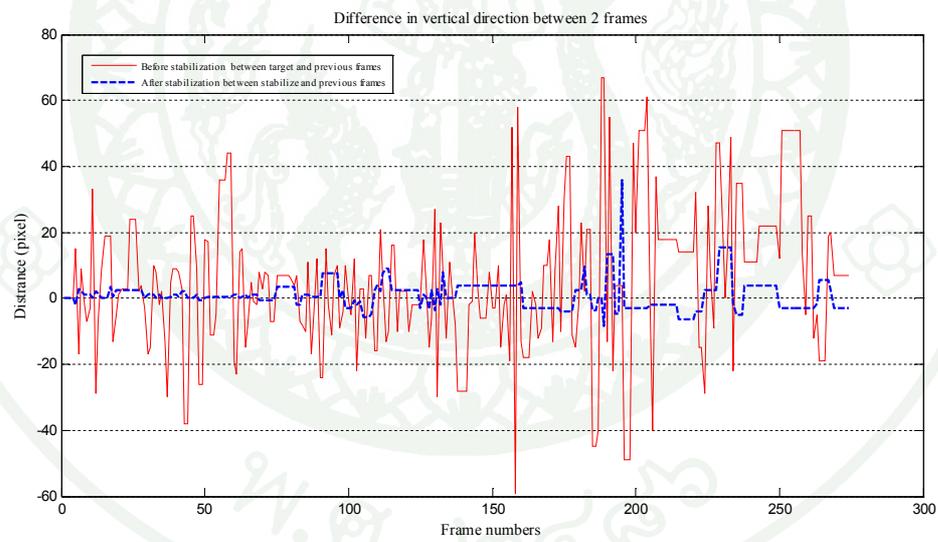
ภาพที่ 20 ขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม



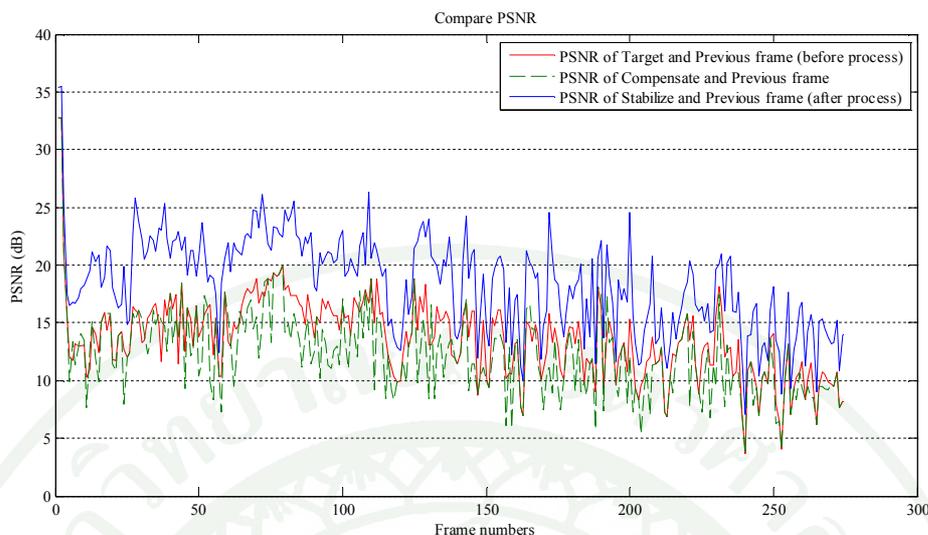
ภาพที่ 21 มุมของเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบระยะทาง ก่อนและหลัง ผ่านกระบวนการในแนวราบ



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบระยะทาง ก่อนและหลัง ผ่านกระบวนการในแนวตั้ง



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบ PSNR

ภาพที่ 20 จะเป็นภาพที่แสดงถึงขนาดของ Global velocity vector ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากผลของการทำงานของเครื่องยนต์และผลจากธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อม ส่วนในภาพที่ 21 จะเป็นภาพที่แสดงถึงมุมของ Global velocity vector ซึ่งบ่งบอกถึงว่ากล้องได้ถ่ายภาพไปในทิศทางอย่างไรบ้างซึ่งหมายความว่าอากาศยานมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเหล่านั้นเช่นเดียวกัน และเมื่อระบบได้ทำการปรับเสถียรภาพวิดีโอทัศน์จะสามารถนำมาสร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของระบบได้ ซึ่งในภาพที่ 22 และ 23 จะเป็นแผนภูมิที่ทำการเปรียบเทียบ ก่อน และหลังการผ่านกระบวนการโดยคำนวณหา Global velocity vector ของทั้งก่อน และหลังกระบวนการ มาสร้างเป็นแผนภูมิแยกออกเป็น ในแนวแกนราบ และในแนวแกนนอนซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่า เส้นสีแดง จะเป็นเส้นแสดง Global velocity vector ของภาพเป้าหมายกับภาพก่อนหน้า และ เส้นสีน้ำเงินจะเป็นเส้นแสดงของ ภาพที่ถูกปรับเสถียรภาพกับภาพก่อนหน้า โดยเส้นสีน้ำเงินจะมีระยะทางความแตกต่างใกล้เคียงกันซึ่งหมายความว่า ภาพที่ถูกปรับเสถียรภาพมีทิศทางที่ถูกปรับมาให้ใกล้เคียงกับภาพก่อนหน้ามากที่สุด โดยภาพที่ 24 จะเป็นการเปรียบเทียบ PSNR ระหว่างภาพเป้าหมายกับภาพก่อนหน้า (เส้นสีแดง), ภาพที่ถูกชดเชยกับภาพก่อนหน้า (เส้นประสีเขียว), ภาพที่ถูกปรับเสถียรภาพควบคู่กันตอนกับภาพก่อนหน้า (สีน้ำเงิน) จากภาพจะเห็นได้ว่า เส้นสีแดงจะอยู่ระหว่างเส้นประสีเขียวและเส้นสีน้ำเงิน โดยเส้นสีน้ำเงินจะอยู่บนสุดเนื่องจากเป็น PSNR ของภาพที่ถูกปรับเสถียรภาพกับภาพก่อนหน้า และยังแสดงให้เห็นว่า ภาพที่ถูกปรับเสถียรภาพแล้วมีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับภาพก่อนหน้าที่ได้นำมาทำการเปรียบเทียบด้วย ทำให้ค่า PSNR ที่ได้มีค่าสูงกว่า PSNR ของภาพเป้าหมายและภาพก่อนหน้า ส่วน PSNR ที่เป็นเส้นประสีเขียวจะเป็น PSNR ที่มีค่าน้อยเพราะเนื่องจากการเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ถูกชดเชย

กับภาพก่อนหน้าซึ่งจากภาพที่ 15 และ 17 แถวที่ 4 จะสังเกตเห็นได้ว่าภาพที่ถูกขดเซชจะมีการเลื่อนไปในทิศทางใดขึ้นกับค่าของตัวแปรการเคลื่อนที่ซึ่งจะเกิดขอบดำเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ภาพถูกเลื่อนและเมื่อนำมาเปรียบเทียบหา PSNR จะทำให้ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าปกติเล็กน้อย



วิจารณ์

จากผลการทดลองจะพบว่าเมื่ออากาศยานปฏิบัติหน้าที่ภาพจะเกิดการสั่นไหวในแนวแกนที่ได้สมมติฐานไว้คือในแนวแกนตั้งและแนวนอนทำให้การควบคุมแบบ FPV เป็นปัญหาเกิดปัญหาได้ตามที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ซึ่งเมื่อระบบปรับเสถียรภาพได้ถูกนำมาใช้งานโดยทำการปรับเสถียรภาพในแนวแกนที่ได้กล่าวไปจะทำให้ภาพที่ส่งมาจากอากาศยานอยู่ในมุมและระนาบที่เหมาะสมต่อการควบคุมแบบ FPV ซึ่งถ้าสังเกตในภาพที่ 15, 16, 17, 18 และ 19 ภาพที่มีปัญหาที่เกิดการเหลื่อมของแถบขาวที่เกิดจากสาเหตุการสั่นไหวของกล้องหรือก็คือการสั่นไหวของอากาศยาน เกิดขึ้นมาก และเมื่อทำการคำนวณหาการประมาณการไหลของกลุ่มแสงพบว่าสามารถที่จะคำนวณและตรวจจับทิศทางเคลื่อนที่รวมของภาพโดยอาศัยเทคนิควิธีการหาการไหลของกลุ่มแสงแบบ PLK ประกอบกับใช้วิธีการจัดการเรียงข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาชุดข้อมูลที่มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ประกอบกับเมื่ออากาศยานปฏิบัติการในระดับความสูงที่ต่างกัน ขนาดของวัตถุจะมีขนาดเปลี่ยนแปลง โดยจะผกผันกับระยะทางจากกล้องไปถึงวัตถุ หรือก็คือ แปรผกผันกับระดับความสูงของอากาศยาน ซึ่งจากผลการทดลองยังพบอีกว่าเมื่ออากาศยานปฏิบัติการในระดับความสูงที่สูงขึ้น การประมาณการไหลของแสงจะสามารถทำงานวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของภาพได้ดีขึ้นเนื่องจาก เหตุผลในการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุ เนื่องจากการประมาณการไหลของกลุ่มแสงจำเป็นที่จะต้องใส่ใจตามที่ได้กล่าวไปแล้วในการช่วยคำนวณ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองได้พบข้อจำกัดบางอย่างคือ ในบางช่วงของภาพอากาศยานเกิดการสั่นหรือหมุนที่รุนแรงทำให้ภาพที่ถูกส่งมาเกิดการขาดช่วงหรือไม่ติดต่อกัน เนื่องจากสภาพอากาศในการส่งสัญญาณภาพประกอบกับอัตราการจับภาพที่ใช้ในการทดลองน้อยเกินไป แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยชุดนี้เป็นต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบ FPV ยานพาหนะรูปแบบอื่นๆ ได้ โดยอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ข้างต้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีที่มาจากความต้องการใช้ระบบปรับเสถียรภาพแบบเวลาจริงมาใช้ในการควบคุมแบบ FPV เพื่อทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมอากาศยานในระยะทางไกลเพื่อใช้ในการสำรวจ, สอดแนม หรือ งานจราจรเป็นต้น จึงทำให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงจากระบบปรับเสถียรภาพแบบทั่วไปที่จะเป็นการนำภาพที่ได้บันทึกไว้มาทำการปรับเสถียรภาพ ซึ่งยังใช้เวลาในการคำนวณนาน จนมาเป็นต้นแบบของระบบปรับเสถียรภาพวิถีทัศนแบบเวลาจริง ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณปรับแต่งให้ภาพที่ถูกส่งมาอย่างทันทีทันใด หรือก็คือใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด จนผู้ควบคุมหรือนักบินไม่รู้สึกลังการหน่วงของภาพ เพื่อใช้ในการควบคุมแบบ FPV และจากผลการทดลองที่ได้แสดงไปในขั้นต้นทำให้สรุปได้ว่า เทคนิควิธีการที่นำมาใช้และประยุกต์ใช้ในงานวิจัยสามารถทำการปรับเสถียรภาพของระบบวิถีทัศนได้ และยังเป็นการออกแบบให้ใช้แต่โปรแกรมในการคำนวณซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนในการที่จะใช้อุปกรณ์ช่วยในการทำระบบปรับเสถียรภาพแต่อย่างไรก็ดีการทำงานของเครื่องยนต์ของอากาศยาน และ สภาพภูมิอากาศมีผลต่อการส่งสัญญาณภาพกลับมายังผู้ควบคุมหรือนักบิน

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาในระหว่างช่วงในการศึกษาข้อมูลเพื่อดำเนินการวิจัย และช่วงการทดลองพร้อมทั้งผลการทดลอง ทางผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางในการที่คาดว่าจะประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. แนวทางการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบ FPV ในยานพาหนะชนิดอื่นๆ อาทิเช่น ระบบควบคุม FPV ของ เรือ, รถยนต์, หุ่นยนต์ เป็นต้น
2. ขนาด, ชนิด, และการบรรทุกของอากาศยานมีต่อเงื่อนไขในการใช้ระบบปรับเสถียรภาพเช่น ถ้าอากาศยานมีลักษณะคล้ายเครื่องร่อนหรือเครื่องบิน จะมีการสั่นสะเทือนที่น้อยกว่าเนื่องจากขนาดของปีกจะใช้รับลมเพื่อให้อลอยตัวในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนความสามารถในการบรรทุกน้อย และถ้าอากาศยานมีลักษณะเป็นใบพัดแกนเดี่ยว จะง่ายต่อการ

ควบคุม มีความสามารถในการบรรลุทุกสูง และสามารถที่จะหยุดนิ่งอยู่กับที่ได้ แต่มีข้อเสียคือจะเกิดการสั่นในตัวอากาศยาน

3. สามารถเพิ่มระยะทำการของอากาศยานและระยะการส่งภาพของอุปกรณ์ส่งภาพวีดิทัศน์โดยเปลี่ยนไปใช้เสาอากาศที่มีลักษณะเพิ่มกำลังส่งเพื่อให้การส่งสัญญาณเป็นไปได้ดีขึ้น

4. จากแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองจะเห็นว่าถ้ามีการใช้กล้องที่มีความละเอียดมากขึ้นจะสามารถทำให้หา Local/Global velocity vector ได้ละเอียดมากขึ้นและจะทำให้ระบบปรับเสถียรภาพมีความละเอียดในการปรับแต่งทิศทางของภาพมากขึ้น

5. เพื่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นสามารถนำโปรแกรมมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยในการปรับเสถียรภาพจะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Chih-Yuan, Chung and Homer H. Chen. 2007. Feature-Based Full-Frame Image Stabilization. pp. 100-106. *In the Proceeding of the 9th IEEE International Symposium on Multimedia*. Taichung, Taiwan.
- Gary Bradski and Adrian Kaehler. 2008. **Learning OpenCV Computer Vision With the OpenCV Library**. O'Reilly Media, Inc. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol.
- He Shen, Quan Pan, Yongmai Cheng and Ying Yu. 2009. Fast Video Stabilization Algorithm for UAV. **ICIS 2009 IEEE International Conference**. vol. 4; pp. 542-546.
- Hung-Chang Chang, Shang-Hong Lai and Kuang-Rong Lu. 2004. A Robust and Efficient Video Stabilization Algorithms. **IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)**. vol. 1: pp.29-32.
- J. Cai and R. Walker. 2009. Robust video Stabilization algorithm using feature point selection and delta optical flow. **The Institution of Engineering and Technology**. IET Comput. Vis., 2009, vol. 3, no. 4: pp.176-188.
- Jen-Pin Hsiao, Cheng-Chung Hsu, Tzu-Chiang Shih, Pau-lo Hsu, Syh-Shiuh Yeh and Bor-Chyun Wang. 2009. The Real-time Video Stabilization for the Rescue Robot. *In the Proceeding of the ICROS-SICE International Joint Conference 2009*. Fukuoka International Congress Center, Japan.
- Liu Lingqiao, Fu Zhizhong, Xie jingjing, Qian wei. 2008. Edge Mapping : A New Motion Estimation Method for Video Stabilization. *In Proceeding of International Symposium on Computer Science and Computational Technology 2008 (ISCST '08)*. vol. 2: pp 440-444.

Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. 2008. **Image Processing Analysis and Machine Vision. Cengage Learning.**

N. A. Tsoligkas, D. Xu, I. French and Y. Luo. 2006. A Motion Model Base Video Stabilization Algorithm, *In the Proceeding of the World Automation Congress (WAC)*. Budapest, Hungary.

Peter O' Donovan. 2005. **Using Optical flow for Stabilizing Image Sequence.**

S. Erturk. 2003. Digital image Stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**. vol 49, no.4: pp.1320-1325.

S.Ko, S. Lee, S.Jeon, and E. Kang. 1999. Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**. vol. 45, no.3: pp.598-603.

Sridhar Srinivasan and Rama Chellappa. 1997. Image Stabilization and Mosaicking Using The Overlapped Basis Optical Flow Field. *In Proceeding International Conference on Image Processing*. vol.3: pp.356-359

Stephen T. Welstead. 1999. Fractal and Wavelet Image Compression Techniques. **SPIE-The International Society for Optical Engineering**. Bellingham, Washington

Thomas N., Boulgournis N.V. and Strintzis M.G. 2006. Optimized Transmission of JPEG2000 Streams Over Wireless Channels. **IEEE Transactions on Image Processing**. vol.15, no.1: pp 54-67.

Xiangjun Li and Jianfei Cai. 2007. Robust Transmission of JPEG2000 Encoded Images Over Packet Loss Channels. pp.947. **International Multimedia and Expo 2007 (ICME 2007)**. Beijing, China

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

| | |
|----------------------------|--|
| ชื่อ-นามสกุล | นายศรัณยู นวยศ |
| วันเดือนปีเกิด | 25 ธันวาคม พ.ศ. 2529 |
| สถานที่เกิด | วชิรพยาบาล เขตดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร |
| ประวัติการศึกษา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | NTC Scholarship ประจำปีการศึกษา 2552 จาก สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคม (สพท.) สำนักงานคณะกรรมการ กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) |
| ผลงานตีพิมพ์/ประชุมวิชาการ | นำเสนอผลงานในการประชุมเชิงวิชาการ ICIMT2010: the 2 nd International Conference on Information and Multimedia Technology ในหัวข้อ Real-Time Video Stabilization for Aerial Mobile Multimedia Communication |