การออกแบบระบบควบคุมความเร็วสายพานความเร็วรอบต่ำด้วยหลักการการไหลของแสง

นายวริทธิ์ อรุณสุขมาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2566

LOW SPEED CONTROL OF CONVEYOR BELT SYSTEM USING OPTICAL FLOW TECHNIQUES

WARIT AROONSOOKMAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2023

การออกแบบระบบควบคุมความเร็วสายพานความเร็วรอบต่ำด้วยหลักการการไหลของแสง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผศ. ดร.โศรฎา แข็งการ)

ประธานกรรมการ

.....

(รศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....

(ผศ ดร.ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์)

กรรมการ

.....

(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

.....

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วริทธิ์ อรุณสุขมาก : การออกแบบระบบควบคุมความเร็วสายพานความเร็วรอบต่ำด้วยหลักการการไหลของแสง (LOW SPEED CONTROL OF CONVEYOR BELT SYSTEM USING OPTICAL FLOW TECHNIQUES)
อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, 96 หน้า.

คำสำคัญ: การไหลของแสง/การมองเห็นของเครื่องจักร/ระบบควบคุม PI

การควบคุมความเร็วของระบบสายพานลำเลียงได้อย่างแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่รวมถึงกระบวนการผลิตอาหารที่ผ่านการแผ่กระจายรังสี กระบวนการแผ่กระจายรังสีนี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบสองส่วนหลัก ๆ โดยส่วนแรกคือระบบแผ่รังสีที่ประกอบไปด้วยแหล่งต้นกำลังและหัวฉายรังสี ในส่วนที่สองคือระบบสายพานลำเลียงที่ผู้ใช้งานสามารถปรับความเร็วได้ โดยทั้งสององค์ประกอบนี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรังสีที่แผ่กระจายเข้าสู่อาหาร วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบควบคุมความเร็วสำหรับสายพานลำเลียง ซึ่งเป็นการควบคุมที่ความเร็วรอบต่ำ โดยทำงานในช่วงความเร็ว 0.7 ถึง 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที ระบบในงานวิจัยนี้ใช้หลักการการไหลของแสงซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ภาพเพื่อนำไปสู่การประมาณความเร็วของสายพานลำเลียงอย่างแม่นยำ โดยการใช้กล้องที่ติดตั้งในแนวตั้งฉากกับสายพานในการจับภาพของสัญลักษณ์ที่ถูกติดอยู่บนสายพาน และประมาณเป็นค่าความเร็วในปัจจุบัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำในการประมาณนั้นได้รับผลกระทบจากขนาดและรูปร่างของสัญลักษณ์ที่ใช้ นอกจากนี้ระบบควบคุมวงปิดที่ใช้ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน-อินทิกรัล (PI controller) ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วของสายพาน ผลการทดลองระบุว่า ระบบในงานวิจัยนี้สามารถควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เกินขอบเขตของค่าความผิดพลาดที่ ±5%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา .....
ปีการศึกษา 2566 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

WARIT AROONSOOKMAK : LOW SPEED CONTROL OF CONVEYOR BELT SYSTEM USING OPTICAL FLOW TECHNIQUES.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. JIRAPHON SRISERTPOL, Ph.D., 96 PP.

Keywords: Optical flow/Machine vision/PI controller

Precise speed control of conveyor belt systems is crucial for various industrial applications, including food irradiation. The irradiation distribution process comprises two main components: the irradiation system, consisting of power sources and radiation heads, and the conveyor belt system that users can adjust for speed. Both components play a role in affecting the amount of radiation distributed to the food. This thesis presents a speed control system for conveyor belts, specifically designed for low-speed operation in the range of 0.7 to 2.0 centimeters per second. This research employs the optical flow method for computer image processing to precisely estimate the conveyor belt speed. A vertically positioned camera captures images of markers attached to the conveyor belt, and the system calculates the current speed accurately. Experimental results show that the accuracy of estimation is influenced by the size and shape of the markers used. Additionally, a closed-loop system incorporating a Proportional-Integral (PI) controller is implemented to test the speed control performance. The results indicate that the proposed system effectively controls the belt's speed without exceeding the error margin of ±5%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Mechatronics Engineering
Academic Year 2023

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการได้เสร็จสิ้นตรงตามวัตถุประสงค์ลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทั้งในด้านวิชาการและในด้านการดำเนินงานงานวิจัย โดยทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ อย่างดียิ่ง ดังนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้มอบให้ซึ่งวิชาความรู้ทางด้านทฤษฎี ชี้นำแนวทางในด้านการปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยเสมอมา และสละเวลาเพื่อตรวจสอบ แนะนำแนวทางการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิต ให้มีความมานะ อดทน และช่วยเหลือผู้อื่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โศรฎา แข็งการ และคณาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงานวิจัย ส่งผลให้ผู้วิจัยทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ รวมถึงสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

พี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ในกลุ่ม System and Control Engineering Laboratory ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง รวมถึงให้กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณคณาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ อย่างดียิ่งเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมชาย คุณแม่กอบกุล อรุณสุขมาก รวมถึงเครือญาติของผู้วิจัยทุกท่าน ที่มอบความรัก และให้กำลังใจ การอบรมและเลี้ยงดูรวมทั้งส่งเสริมการศึกษาได้เป็นอย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเสมอมา

วริทธิ์ อรุณสุขมาก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 3
1.5 สถานที่ทำการวิจัย 3
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย 3
1.7 ประโยชน์ที่คาดจะได้รับ 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 การมองเห็นของเครื่องจักร 4
2.1.1 การมองเห็นของคอมพิวเตอร์ 4
2.1.2 การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการตรวจจับวัตถุ 4
2.1.3 การนำมองเห็นของคอมพิวเตอร์ไปใช้งาน 5
2.1.4 การติดตามวัตถุ 5
2.2 การไหลของแสง 6
2.2.1 การประมาณความเร็วด้วยการไหลของแสง 6
2.3 ระบบควบคุม 8
2.3.1 ระบบบารควบคุมแบบวงเปิด 8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 ระบบบารควบคุมแบบวงปิด 8
2.4 ตัวควบคุมชนิด PID 8
2.4.1 แนวทางการออกแบบตัวควบคุม PID 11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.6 สรุป 15
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 16
3.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 16
3.2 ติดสัญลักษณ์บนผิวของสายพาน 24
3.3 การทดลองหาจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ 25
3.4 ประมาณความเร็วที่วัดได้จากกล้อง 27
3.5 การทดลองเพื่อเปรียบความแม่นยำการประมาณความเร็ว 28
3.6 การประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 33
3.7 ออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วสายพาน 34
3.8 สรุป 37
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 39
4.1 ผลการทดสอบการนับจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ 39
4.2 ผลการประมาณความเร็วของสายพาน 40
4.3 ผลการทดสอบแสงสว่าง 56
4.4 การประมาณแบบจลองทางคณิตศาสตร์ 58
4.5 ผลการตอบสนองของระบบแบบจำลอง 58
4.6 ผลการตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วของสายพานจริง 59
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการวิจัย 60
5.2 ข้อเสนอแนะ 61
รายการอ้างอิง 62

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. รายละเอียดอุปกรณ์ในงานวิจัย 64

ภาคผนวก ข. การเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วสายพาน..... 74

ภาคผนวก ค. รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา 85

ประวัติผู้เขียน..... 96

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์ในการวิจัย 16

4.1 ผลการตรวจจับจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ 40

4.2 ผลการทดลองการประมาณความเร็วด้วยการไหลของแสง 45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 Closed loop system with PID 10
2.2 เอาต์พุตของตัวควบคุม PID เมื่อรับอินพุตแบบขั้นบันได 10
2.3 ผลตอบสนองของระบบในโดเมน 11
3.1 มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย 16
3.2 ตัวขับมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย 18
3.3 สายพานที่ใช้ในงานวิจัย 20
3.4 กล้องที่ใช้ในงานวิจัย 21
3.5 ตัวควบคุมที่ใช้ในงานวิจัย 22
3.6 การเชื่อมต่อของระบบ 23
3.7 ระยะตั้งฉากของกล้องกับสายพาน 24
3.8 มอเตอร์และเกียร์ทด 24
3.9 ตัวอย่างการติดสัญลักษณ์บนสายพาน 25
3.10 การเคลื่อนของพิกเซลในภาพในระยะเวลา dt 26
3.11 แผนภาพการทำงานของระบบประมาณความเร็วจากการไหลของแสง 27
3.12 รูปแสดงการลากเส้นเวกเตอร์ของโปรแกรม 28
3.13 รูปร่างของสัญลักษณ์ในการวิจัย 29
3.14 ตัวอย่างการวัดความสว่างด้วยเครื่องวัด 30
3.15 ภาพตารางหมากรุกในการทดลอง 31
3.16 การทดสอบหาจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ 32
3.17 การติดสัญลักษณ์ในการทดสอบหาจำนวนมุม 33
3.18 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย MATLAB 35
3.19 โครงสร้างระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมชนิด PID 35
3.20 โครงสร้างระบบควบคุมความเร็วสายพานในงานวิจัย 36
3.21 Block diagram ระบบวงเปิด 36
3.22 ผลการตอบสนองของระบบวงเปิด 37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.23 Block diagram ระบบวงปิด 37
3.24 การปรับค่า PI ด้วย Automated tuning 38
4.1 ตรวจจับจำนวนมุมบนตารางหมารุกความสว่าง 500 lux 42
4.2 ตรวจจับจำนวนมุมบนตารางหมารุกความสว่าง 0 lux 42
4.3 ทดสอบที่ 100 lux ครั้งที่ 1 43
4.4 ทดสอบที่ 100 lux ครั้งที่ 2 43
4.5 ทดสอบที่ 500 lux ครั้งที่ 1 44
4.6 ทดสอบที่ 500 lux ครั้งที่ 2 44
4.7 ทดสอบที่ 500 lux ครั้งที่ 1 45
4.8 ทดสอบที่ 500 lux ครั้งที่ 2 45
4.9 ทดสอบที่ 3 FPS 47
4.10 ทดสอบที่ 6 FPS 47
4.11 ทดสอบที่ 15 FPS 48
4.12 ทดสอบที่ 30 FPS 48
4.13 ทดสอบที่ 3 FPS 49
4.14 ทดสอบที่ 6 FPS 49
4.15 ทดสอบที่ 15 FPS 50
4.16 ทดสอบที่ 30 FPS 50
4.17 ทดสอบที่ 3 FPS 51
4.18 ทดสอบที่ 6 FPS 51
4.19 ทดสอบที่ 15 FPS 52
4.20 ทดสอบที่ 30 FPS 52
4.21 ทดสอบที่ 3 FPS 53
4.22 ทดสอบที่ 6 FPS 53
4.23 ทดสอบที่ 15 FPS 54
4.24 ทดสอบที่ 30 FPS 54
4.25 ทดสอบที่ความเร็ว 1.34 ซม./วินาที 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.26 ทดสอบที่ความเร็ว 2.01 ซม./วินาที....55
4.27 ทดสอบที่ความเร็ว 2.01 ซม./วินาที....56
4.28 ทดสอบที่ความเร็ว 1.34 ซม./วินาที....56
4.29 ทดสอบที่ความเร็ว 2.01 ซม./วินาที....57
4.30 ทดสอบที่ความเร็ว 2.68 ซม./วินาที....57
4.31 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ First order....58
4.32 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Second order....58
4.33 ผลการตอบสนองจากการจำลองของระบบวงปิด....59
4.34 ผลการตอบสนองของระบบสายพานจริง....60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

การฉายรังสีเป็นวิธีการไม่ใช้ความร้อนที่ใช้ในการถนอมอาหารโดยใช้แสงอิเล็กตรอน รังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา กระบวนการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บอาหาร นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่ชะลอการสุกของผลไม้และยับยั้งการเจริญเติบโตของปรสิตระหว่างการเก็บรักษา เพื่อให้บรรลุผลการฉายรังสีตามที่ต้องการ กระบวนการนี้ต้องใช้รังสีที่ดูดซับน้อยที่สุด ในขณะเดียวกันก็รับประกันความปลอดภัยของผู้บริโภค รักษาคุณภาพอาหาร และรักษาคุณค่าทางโภชนาการ กระบวนการฉายรังสีเกี่ยวข้องกับหัวฉายรังสีและสายพานลำเลียงที่ปรับความเร็วได้ สายพานลำเลียงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณรังสีที่ส่งไปยังอาหารระหว่างการฉายรังสี ขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการใส่อาหารลงบนสายพานลำเลียงแล้วป้อนไปทางหัวฉายรังสีซึ่งติดตั้งในแนวตั้งฉากกับสายพาน หัวฉายรังสีจะแกว่งไปมาเหนืออาหารซ้ำ ๆ โดยครอบคลุมตลอดความยาวของอาหาร เนื่องจากความหลากหลายของอาหารบนสายพานลำเลียง แต่ละประเภทควรได้รับรังสีในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงในระหว่างการฉายรังสีเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการฉายรังสีในอาหาร การควบคุมความเร็วสายพานลำเลียงด้วยมนุษย์เป็นเรื่องที่ท้าทายและเป็นอันตรายเนื่องจากการสัมผัสกับรังสีอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ทำงาน เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จำเป็นต้องมีระบบควบคุมการปรับความเร็วสายพานอัตโนมัติเพื่อลดความเสี่ยงจากรังสี การออกแบบระบบดังกล่าวจำเป็นต้องมีการวัดความเร็วสายพานลำเลียงที่แม่นยำ แม้ว่าวิธีการที่ใช้ตัวเข้ารหัสจะมีประสิทธิภาพ แต่ก็อาจทำให้ค่าความเร็วไม่สอดคล้องกันภายใต้สภาวะโหลด อีกวิธีหนึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดความเร็วโดยใช้ล้อที่มีตัวเข้ารหัสโดยสัมผัสโดยตรงกับสายพานลำเลียง แม้ว่าวิธีการนี้จะแม่นยำ แต่วิธีนี้อาจทำให้ล้อเลื่อนหลุดและเกิดความเสียหายต่อสายพานลำเลียงในระยะยาวได้ งานวิจัยนี้เสนอแนวทางทางเลือกโดยใช้การประมวลผลภาพ วิชันซิสเต็ม และเทคนิคการไหลของแสง กล้องสเตอริโอที่ติดตั้งในแนวตั้งฉากกับสายพานลำเลียงจะบันทึกภาพวิดีโอ จากนั้นจะถูกประมวลผลเพื่อระบุจุดทำเครื่องหมายบนพื้นผิวของสายพาน มีการใช้เทคนิคการตรวจจับมุมเพื่อค้นหามุมบนเครื่องหมาย ต่อมาเทคนิคการไหลด้วยแสงจะถูกนำมาใช้เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของเครื่องหมายเหล่านี้ และสร้างเวกเตอร์การกระจัด เพื่อให้สามารถคำนวณความเร็วของสายพานลำเลียงได้ สภาวะการทดลองจะใช้ความเข้มแสง 500 ลักซ์ในห้องที่มีแสงสว่างตามมาตรฐานของสำนักงาน การทดลองประกอบด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปร่างและขนาดของจุดมาร์ก รวมถึง

อัตราการถ่ายภาพด้วยกล้อง เพื่อกำหนดตัวแปรการทดลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างระบบควบคุมความเร็ว ระบบควบคุมวงปิดใช้ตัวควบคุม PI เพื่อลดเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวและรักษาความเร็วของสายพานภายในขอบเขตที่กำหนด ระบบทั้งหมดถูกนำมาใช้โดยใช้ภาษาการเขียนโปรแกรม Python บนคอมพิวเตอร์ การสื่อสารกับบอร์ด Arduino เกี่ยวข้องกับการส่งค่า 0-255 จากนั้น Arduino จะสื่อสารกับตัวควบคุมมอเตอร์โดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้า 0-5 โวลต์ เพื่อปรับความเร็วของสายพานตามการอ่านของกล้อง

สาเหตุในการเลือกกล้องสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจาก ในไลน์การผลิตที่ใช้สายพานลำเลียง จะพบว่ามีกล้องสำหรับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์บนสายพาน จึงเลือกใช้กล้องที่มีอยู่แล้ว ในการอ่านความเร็วของสายพาน เพื่อควบคุมความเร็ว เป็นการลดค่าใช้จ่ายสำหรับของอุปกรณ์การวัดความเร็วของสายพาน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างระบบควบคุมความเร็วสายพานโดยใช้หลักการการไหลของแสง

1.2.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณความเร็วของสายพาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 สายพานที่ใช้ในการทดลองเป็นสายชนิดผ้าใบเรียบ

1.3.2 ใช้ความเร็วรอบต่ำโดยอยู่ในช่วง 0.67-2.00 เซนติเมตรต่อวินาที

1.3.3 มีการทำสัญลักษณ์บนสายพานทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และวงกลม

1.3.4 ใช้กล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 640x480 พิกเซล

1.3.5 ใช้ความสว่างในการทดลองเท่ากับ 500 ลักซ์

1.3.6 ใช้ Python เป็นภาษาในการเขียนโค้ด

1.3.7 ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เป็นเครื่องมือในการคำนวณและสร้างแบบจำลองของระบบ

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาเรื่องการมองเห็นของเครื่องจักร

1.4.2 ศึกษาเรื่องการไหลของแสง

1.4.3 วัดความเร็วสายพาน

1.4.4 เขียนโปรแกรมเพื่อประมาณความเร็วสายพาน

1.4.5 ทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณความเร็ว

1.4.6 ออกแบบระบบควบคุมความเร็วสายพาน

1.4.7 บันทึกผลการทดลองและสรุปผลการศึกษา

1.4.8 จัดทำเอกสารและรายงานการวิจัย

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

1.6.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.6.2 สายพานแบบยางชนิดเรียบ กว้าง 0.4 เมตร ยาว 4.2 เมตร

1.6.3 มอเตอร์ขับสายพาน รุ่น BLM5120HP-GFV กำลัง 120 วัตต์ พร้อมตัวควบคุม

1.6.4 เขียนโปรแกรมเพื่อประมาณความเร็วสายพาน

1.6.5 กล้องสเตอริโอ รุ่น Logitech Brio 4K

1.6.6 บอร์ด Arduino UNO R3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์การวัด

1.7.2 สามารถควบคุมความเร็วสายพานแบบวงปิดได้

1.7.3 สามารถประมาณความเร็วของสายพานด้วยหลักการการไหลของแสงได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การมองเห็นของเครื่องจักร

คือการสั่งการให้เครื่องจักรสามารถรับรู้ข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลในการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมของระบบนั้น ๆ ถูกพัฒนามาจากเทคโนโลยีการมองเห็น เพื่อให้ระบบรวมถึงคอมพิวเตอร์สามารถตรวจจับสินค้าจากเซนเซอร์รวมไปถึงกล้อง เพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผลภาพและข้อมูลที่ได้รับ

2.1.1 การมองเห็นของคอมพิวเตอร์

การมองเห็นของเครื่องจักรจะใช้เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อนำค่าขาออกจากเซนเซอร์ไปช่วยให้เครื่องจักรมีการรับรู้และการทำงานที่มีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและทำให้สามารถปรับปรุงการทำงานเพื่อให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันได้ ส่วนการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ส่วนมากจะใช้กล้องแทนเซนเซอร์ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพและส่งข้อมูลขาออกไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่าง ๆ ที่ผู้ใช้พึงประสงค์อยากให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้ตั้งไว้ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวสั่งการไปยังเครื่องจักรเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ผู้ใช้งานต้องการ

2.1.2 การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการตรวจจับวัตถุ

การนำเทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ไปใช้งานในการตรวจจับวัตถุมีประโยชน์มากในหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรม, การแพทย์, และระบบอัตโนมัติ ด้วยความสามารถในการประมวลผลภาพและตรวจจับวัตถุอัตโนมัติ เนื่องจากมีข้อดีดังนี้

ความถูกต้องสูง ระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์สามารถทำงานโดยมีความถูกต้องมาก และสามารถตรวจจับวัตถุในระดับที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ในขณะเดียวกัน

ความเร็ว ระบบมองเห็นของคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลภาพได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการตอบสนองทันที

การทำงานที่ไม่มีการเหนื่อย คอมพิวเตอร์สามารถทำงานทั้งวันทั้งคืนโดยไม่มีการเหนื่อยล้า เปรียบเทียบกับมนุษย์ที่อาจมีปัญหาเรื่องความจำ, การเหนื่อยล้า, หรือผิวพรรณ

ความยืดหยุ่น สามารถปรับใช้ในหลายสถานการณ์ ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์, การตรวจสอบความปลอดภัย, หรือการจัดเรียงวัตถุ

ประหยัดทรัพยากร ลดการใช้งานมนุษย์ในงานที่ไม่จำเป็น ทำให้มีประสิทธิภาพและประหยัดทรัพยากร

การทำงานในสภาพแวดล้อมที่ท้าทาย สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ เช่น สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง, สภาพแวดล้อมที่อันตราย หรือสภาพแวดล้อมที่นำเข้าข้อมูลทางภาพได้ยาก

2.1.3 การนำเทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ไปใช้งาน

การนำเทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ไปใช้งานในการตรวจจับความผิดพลาดในการผลิตมีประโยชน์มากในการปรับปรุงประสิทธิภาพและคุณภาพของกระบวนการผลิต. นี่คือบางตัวอย่างที่คอมพิวเตอร์มองเห็นถูกนำมาใช้ในงานดังนี้

ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์: การใช้ระบบมองเห็นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น. ตัวอย่างเช่น, การตรวจสอบลวดที่ใช้ในการผลิต, ตรวจสอบลายพิมพ์บนผลิตภัณฑ์, หรือตรวจสอบการประกอบผลิตภัณฑ์เพื่อตรวจสอบว่ามีความถูกต้องตามขั้นตอนหรือไม่

การตรวจสอบการจัดเรียงและการประกอบ การใช้ระบบมองเห็นในการตรวจสอบว่าวัตถุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ถูกจัดเรียงหรือประกอบตามต้องการหรือไม่

การตรวจสอบความเต็มในบรรจุภัณฑ์ การใช้ระบบมองเห็นในการตรวจสอบว่าบรรจุภัณฑ์มีวัตถุภัณฑ์เต็มหรือไม่ เช่น ขวดน้ำอัดแก๊สที่ต้องการตรวจสอบว่ามีแก๊สเต็มหรือไม่

การตรวจสอบการเชื่อมต่อ การใช้ระบบมองเห็นเพื่อตรวจสอบว่าการเชื่อมต่อในชิ้นงานหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ถูกทำให้เสร็จสมบูรณ์และถูกต้อง

การตรวจสอบขนาด การใช้ระบบมองเห็นเพื่อตรวจสอบขนาดของวัตถุหรือผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในขนาดที่ถูกต้องหรือไม่

การตรวจสอบรอยร้าว การใช้ระบบมองเห็นในการตรวจสอบรอยร้าวหรือคราบที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์

2.1.4 การติดตามวัตถุ

ระบบติดตามที่ใช้เทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่องหมายหมายถึงเทคโนโลยีที่ใช้เทคนิคการมองเห็นคอมพิวเตอร์และกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อติดตามและควบคุมการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือสิ่งที่สนใจภายในสภาพแวดล้อมที่กำหนดเฉพาะ ระบบนี้มักใช้กล้องเพื่อจับภาพหรือวิดีโอ และจากนั้นใช้อัลกอริทึมขั้นสูงเพื่อวิเคราะห์และตีความข้อมูลนั้น จุดมุ่งหลักคือการติดตามและควบคุมตำแหน่ง, ทิศทาง, หรือคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องของวัตถุที่กำลังถูกติดตาม

เทคโนโลยีนี้ได้รับการนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น การกล้องวงจรปิด, รถหุ่นยนต์, อุตสาหกรรมอัตโนมัติ, และยานยนต์อัตโนมัติ ระบบติดตามที่ใช้เทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่อง

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ, ความแม่นยำ และอัตโนมัติในงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตามและควบคุมการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือสิ่งที่สนใจ

2.2 การไหลของแสง

การไหลของแสงเป็นการนำหลักการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ในการติดตามของวัตถุ เพื่อประมวลผลการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปภาพหรือวีดีโอ โดยมีรูปแบบการเคลื่อนไหวที่ชัดเจนของวัตถุ พื้นผิว และขอบในฉากที่มองเห็น ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวสัมพัทธ์ระหว่างผู้สังเกตกับฉาก การไหลของแสงยังสามารถกำหนดเป็นการกระจายความเร็วที่ชัดเจนของการเคลื่อนที่ของรูปแบบความสว่างในภาพ แนวคิดเรื่องการไหลของแสงได้รับการแนะนำโดยนักจิตวิทยาชาวอเมริกัน James J. Gibson ในทศวรรษ 1940 เพื่ออธิบายสิ่งเร้าทางสายตาที่จัดเตรียมไว้สำหรับสัตว์ที่เคลื่อนที่ไปทั่วโลก Gibson เน้นย้ำถึงความสำคัญของการไหลของแสงสำหรับการรับรู้ความสามารถในการจ่ายความสามารถในการแยกแยะความเป็นไปได้ของการกระทำภายในสิ่งแวดล้อมผู้ติดตามของ Gibson และแนวทางนิเวศวิทยาของเขาในด้านจิตวิทยาได้แสดงให้เห็นเพิ่มเติมถึงบทบาทของการกระตุ้นการไหลของแสงสำหรับการรับรู้การเคลื่อนไหวโดยผู้สังเกตการณ์ในโลก การรับรู้ถึงรูปร่าง, ระยะทาง, และการเคลื่อนที่ของวัตถุในโลก และการควบคุมการเคลื่อนที่ การไหลของแสงยังถูกใช้โดย roboticists ครอบคลุมเทคนิคที่เกี่ยวข้องจากการประมวลผลภาพและการควบคุมการเดินเรือรวมทั้งการตรวจจับการเคลื่อนไหว , การแบ่งส่วนวัตถุข้อมูลเวลาไปติดต่อโฟกัสของการคำนวณการขยายตัวของความสว่าง, การเคลื่อนไหวชดเชยการเข้ารหัสและการวัดความเหลื่อมล้ำ

2.2.1 การประมาณความเร็วด้วยการไหลของแสง

ลำดับของภาพที่ต่อเนื่องกันช่วยให้สามารถประมาณการเคลื่อนไหวเป็นความเร็วของภาพในทันทีหรือการกระจัดของภาพที่ไม่ต่อเนื่อง Fleet และ Weiss จัดเตรียมบทแนะนำเกี่ยวกับการไหลของแสงตามการไล่ระดับสี John L. Barron, David J. Fleet และ Steven Beauchemin ให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการไหลของแสงจำนวนหนึ่ง เน้นความแม่นยำและความหนาแน่นของการวัด

วิธีการไหลของแสงพยายามคำนวณการเคลื่อนไหวระหว่างเฟรมภาพสองเฟรมที่ถ่ายในครั้ง t และ $t + \Delta t$ ที่ตำแหน่ง voxel ทุกตำแหน่ง วิธีการเหล่านี้ เรียกว่า ดิฟเฟอร์เรนเชียล เนื่องจากใช้การประมาณอนุกรมเทย์เลอร์ในท้องถิ่นของสัญญาณภาพ นั่นคือ พวกเขาใช้อนุพันธ์บางส่วนเกี่ยวกับพิกัดเชิงพื้นที่และเวลา

สำหรับกรณีที่มีการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ ที่ตำแหน่ง (x, y, t) ด้วยความเข้ม I (x, y, t) จะได้ย้ายโดย Δx, Δy และ Δt ระหว่างเฟรมภาพสองเฟรม และข้อจำกัดความคงตัวของความสว่าง ดังสมการที่ 2.1

$$I(x,y,z) = I(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t) \tag{2.1}$$

สมมติว่าการเคลื่อนไหวมีขนาดเล็ก ข้อจำกัดของภาพที่ I (x, y, t) ด้วยซีรีส์เทย์เลอร์ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.2

$$I(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t) = I(x,y,z) + \frac{\partial I}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial I}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial I}{\partial t}\Delta t + \text{High order term} \tag{2.2}$$

โดยการตัดทอนเงื่อนไข High order term ซึ่งเป็นการทำให้เป็นเส้นตรง จะได้ดังสมการที่ 2.3

$$\frac{\partial I}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial I}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial I}{\partial t}\Delta t = 0 \tag{2.3}$$

จากนั้นหารด้วย Δt จะได้ดังสมการที่ 2.4

$$\frac{\partial I}{\partial x}\frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{\partial I}{\partial y}\frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\partial I}{\partial t}\frac{\Delta t}{\Delta t} = 0 \tag{2.4}$$

จากอัตราส่วนของระยะทางต่อเวลาจะได้เป็นค่าความเร็ว จึงได้ดังสมการที่ 2.5

$$\frac{\partial I}{\partial x}V_X + \frac{\partial I}{\partial y}Vy + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \tag{2.5}$$

โดยที่ V_x และ V_y คือ ความเร็วการไหลของแสงในแนวแกน x และ y ของ I (x, y, t) $\frac{\partial I}{\partial X} + \frac{\partial I}{\partial Y} + \frac{\partial I}{\partial t}$ เป็นอนุพันธ์ของภาพที่ (x, y, t) ในทิศทางที่สอดคล้องกับ I_x , I_y และ I_t สามารถเขียนอนุพันธ์ได้ดังต่อไปนี้ :

$$I_X V_X + I_y V_y = -I_t$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3 ระบบควบคุม

2.3.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด

ระบบควบคุมแบบวงเปิด คือระบบควบคุมที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากไม่มีกระบวนการในการตรวจสอบค่าของผลขาออก รวมทั้งการกำหนดตัวควบคุมเพื่อปรับผลของค่าขาออก เพราะขาดกระบวนการในการคืนข้อมูลและตรวจสอบสถานะระหว่างที่ระบบกำลังทำงาน ระบบควบคุมแบบวงเปิดจึงทำงานตามคำสั่งที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นโดยที่จะไม่มีการปรับเปลี่ยนใด ๆ ในกระบวนการทำงาน ตั้งแต่เริ่มต้นไปจนจบการทำงานหรือจนกว่าคำสั่งนั้น ๆ จะเสร็จสมบูรณ์

2.3.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด

ระบบควบคุมแบบวงปิด คือระบบควบคุมที่สามารถปรับตัวได้ตลอดเวลาที่ทำงาน เนื่องจากเป็นระบบที่มีการตรวจสอบค่าของผลขาออกของระบบ และนำข้อมูลที่ได้รับมาเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดขึ้น ทำให้ระบบมีค่าขาออกที่ความแม่นยำตรงตามที่ผู้ใช้ต้องการ เป็นที่นิยมในงานอุตสาหกรรม องค์ประกอบหลักของระบบควบคุมแบบวงปิดจะมีทั้งหมด 4 องประกอบ ได้แก่

ตัววัด (Sensor) ใช้สำหรับวัดหรือตรวจสอบสถานะหรือผลเอาต์พุตของระบบ ส่งข้อมูลกลับไปยังตัวควบคุม

ตัวควบคุม (Controller) จะประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากตัววัด และเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (setpoint) เพื่อคำนวณหรือปรับสัญญาณควบคุมเพื่อทำให้ผลเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ

ระบบ (Plant/System) ส่วนที่ถูกควบคุม ซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์หรือกระบวนการต่าง ๆ ที่มีการควบคุมผ่านทางสัญญาณควบคุมที่ตัวควบคุมส่งเข้าไป

การเปรียบเทียบและตัวปรับ (Comparator and Adjuster) ตรวจสอบค่าผลลัพธ์ที่ได้จากตัววัดและค่าที่ต้องการ และปรับสัญญาณควบคุมเพื่อให้ผลเอาต์พุตมีความแม่นยำตามที่ต้องการ

2.4 ตัวควบคุมชนิด PID

ตัวควบคุม PID ตัวควบคุม PID (Proportional-Integral-Derivative Controller) ได้รับการนำเสนอเป็น ครั้งแรกในปีค.ศ.1922 สำหรับการควบคุมระบบนำร่องการเดินเรือ นับจากนั้นเป็นต้นมา ตัวควบคุม PID ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมอย่าง กว้างขวางซึ่งพบว่า กว่าร้อยละ 90 ถึง 95 ของปัญหาการควบคุมระบบในภาคอุตสาหกรรมสามารถแก้ไขได้ด้วยตัวควบคุม PID ในทางคณิตศาสตร์ตัวควบคุม PID มีกลไกปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการปรับ สัดส่วน (proportional) การอินทิเกรต (integral) และการอนุพันธ์ (derivative) สัญญาณ ความสัมพันธ์ทาง

คณิตศาสตร์ของตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดให้ e(t) คือ สัญญาณอินพุต และ u(t) คือ สัญญาณเอาต์พุต (สัญญาณควบคุม) แสดงดังสมการที่ (2.8) เมื่อ K_P คือ ค่าคงตัวอัตราขยายเชิง ปรับสัดส่วน (proportional gain constant) K_I คือ ค่าคงตัวอัตราขยายเชิงอินทิเกรต (integral gain constant) และ K_D คือ ค่าคงตัวอัตราขยายเชิงอนุพันธ์ (derivative gain constant) ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ของตัวควบคุม PID จะแสดงได้ดังสมการที่ (2.9)

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{2.7}$$

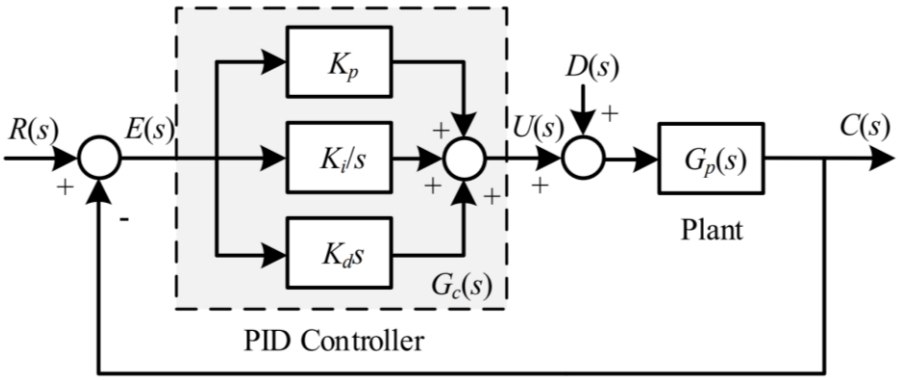
$$G_c(s)|_{PID} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \tag{2.8}$$

$$G_c(s)|_{PID} = K_c\left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s\right) \tag{2.9}$$

นอกจากนี้ ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ของตัวควบคุมพีไอดีอาจแสดงได้ดังสมการ ที่ (2.9) เมื่อ τ_I คือ ค่าคงตัวทางเวลาเชิงอินทิเกรต (integral time constant) และ τ_D คือ ค่าคง ตัวทางเวลาเชิงอนุพันธ์ (derivative time constant) เมื่อทำการเปรียบเทียบสมการที่ (2.8) และ (2.9) จะพบว่า

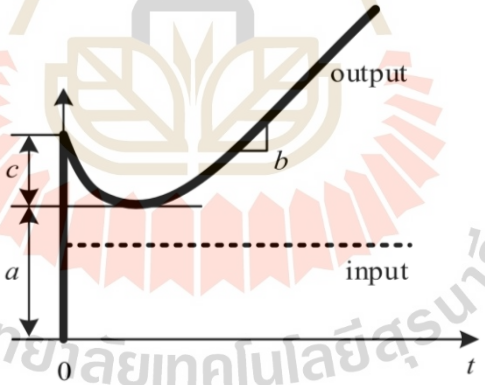
$$\begin{aligned} K_P &= K_c \\ K_I &= K_c / \tau_I \\ K_D &= K_c \tau_D \end{aligned} \tag{2.10}$$

พิจารณาระบบควบคุมในรูปที่ 2.1 ตัวควบคุม PID $G_c(s)$ จะรับสัญญาณคลาดเคลื่อน (error signal: E(s)) มาคำนวณเพื่อผลิตสัญญาณควบคุม (control signal: U(s)) และส่งไปควบคุม พลานต์ (plant) $G_p(s)$ ให้ผลิตผลตอบสนองหรือเอาต์พุต (output signal: C(s)) สอดคล้องกับ สัญญาณอินพุตอ้างอิง (reference input signal: R(s)) พร้อมทั้งกำจัดสัญญาณรบกวน (disturbance signal: D(s)) ไปพร้อมกัน ตัวควบคุม PID จะมีโพล (pole) ที่จุดกำเนิดจำนวน หนึ่งตัว และซีโร (zero) จำนวนสองตัว เมื่อตัวควบคุม PID วางตัวอยู่ในวิถีป้อนไปหน้า (forward path) ของวงรอบการควบคุม (control loop) ในลักษณะต่ออนุกรมหรือต่ออันดับกับ พลานต์ ซึ่งมีฟังก์ชันเป็น $G_p(s)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Closed loop system with PID

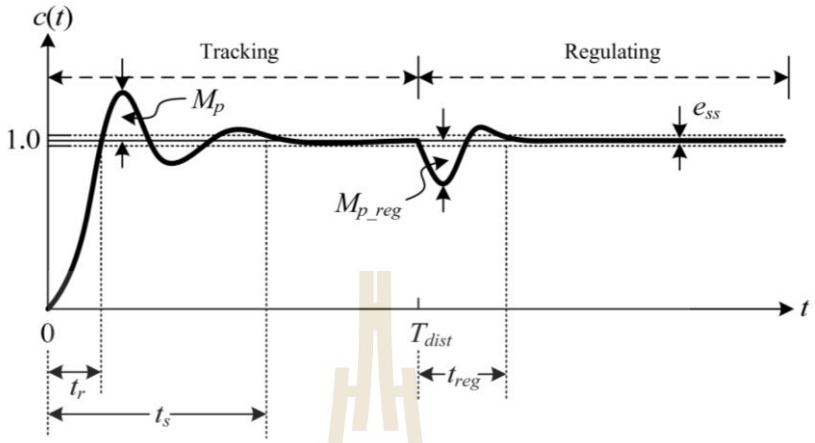
ระบบควบคุมที่ได้รับการควบคุมด้วย ตัวควบคุม PID จะมีอันดับ (order) เพิ่มขึ้นหนึ่ง และเมื่อตัวควบคุม PID รับสัญญาณอินพุตแบบ ขั้นบันได (step input) สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม PID จะแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสัดส่วน a ของ สัญญาณจะแปรผันตรงกับค่า K_P ความชัน b ของสัญญาณจะแปรผันตรงกับค่า K_I และสัดส่วน c ของสัญญาณจะแปรผันตรงกับค่า K_D



รูปที่ 2.2 เอาต์พุตของตัวควบคุม PID เมื่อรับอินพุตแบบขั้นบันได

ผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลาสามารถแบ่งพิจารณาออกเป็น ผลตอบสนองเชิงแปรตามอินพุต (command following/tracking) และผลตอบสนองเชิงคุมค่าโหลด (load regulating) ดังแสดงใน รูปที่ 2.3 ผลกระทบจากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่มีต่อผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลา ได้รับการสรุปไว้ในตารางที่ 1 เมื่อ t_r คือเวลาขึ้น (rise time), M_p คือ การพุ่งเกินสูงสุด (maximum overshoot), t_s คือ เวลาเข้าที่ (settling time), M_{p_reg} คือ การพุ่งเกินสูงสุดจากการคุมค่าโหลด (maximum overshoot of load regulation), t_{reg} คือ เวลา

เข้าที่จากการคุมค่าโหลด (settling time of load regulation) และ e_{ss} คือ ความคลาดเคลื่อน ในสภาวะคงตัว (steady-state error)



รูปที่ 2.3 ผลตอบสนองของระบบในโดเมน

2.4.1 แนวทางการออกแบบตัวควบคุม PID

กระบวนการออกแบบจะคำนึงถึงการปรับค่าสัมประสิทธิ์ P, I, และ D ให้เหมาะสมต่อระบบที่ต้องการควบคุม โดยมีการทดสอบ ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ และประเมินผลการทำงานของระบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการควบคุมระบบในสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน

สัมประสิทธิ์ของ P (Proportional) ส่วนนี้ใช้ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ระหว่างค่าที่ต้องการ (Setpoint) กับค่าที่วัดได้ปัจจุบันเพื่อคำนวณค่าของสัมประสิทธิ์ P ซึ่งมีหน้าที่แก้ไขความผิดพลาดในการแสดงผลอย่างรวดเร็ว หากค่า P มากเกินไปอาจทำให้ระบบมีความไม่สมดุลและเกิด overshoot หรือการสั่นสะเทือน

สัมประสิทธิ์ของ I (Integral) ส่วนนี้ใช้เพื่อการปรับค่าความคลาดเคลื่อนในระยะยาว โดยสะสมค่าความคลาดเคลื่อนในระยะเวลาที่ผ่านมา และนำมาปรับค่าคำสั่งที่มาจากส่วน P ซึ่งช่วยลดความคลาดเคลื่อนในสถานะนิ่งและช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่ค่า Setpoint ได้ดีขึ้น

สัมประสิทธิ์ของ D (Derivative) ส่วนนี้ใช้สำหรับการปรับค่าความคลาดเคลื่อนตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Setpoint เพื่อป้องกันการเกิด overshoot หรือการสั่นสะเทือนในขณะเร่งความเร็วในการเปลี่ยนแปลงค่า Setpoint

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Yuan Gao, et al) ในการดำเนินงานในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ การวัดความเร็วของพานลำเลียงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการผลิตที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ระบบการวัดที่ใช้การติดต่อเป็นวิธีการหลักสำหรับระบบการวัดความเร็วที่มีอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม วิธีการติดต่อไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการทำงานของพานลำเลียงได้บางอย่าง ในการศึกษานี้ ออกแบบระบบการวัดที่ไม่ต้องมีการติดต่อโดยใช้เทคนิคการไหลของแสงเป็นหลัก ซึ่งสามารถคำนวณความเร็วในการทำงานของพานลำเลียงได้เรียลไทม์ ระหว่างการทำงานของพานลำเลียง สามารถพบว่า พื้นที่ในภาพส่วนมากเป็นคล้ายกันเมื่อกล้องถูกตั้งให้ทำการถ่ายภาพต่อเนื่องในความเร็วสูง พื้นที่ของภาพที่คล้ายกันเหล่านี้จะมีการเคลื่อนที่ของการเปลี่ยนตำแหน่งบางอย่างในทิศทางการเคลื่อนที่ของพานลำเลียงเนื่องจากความแตกต่างของเวลาในการถ่ายภาพ และสามารถบรรยายได้อย่างง่ายด้วยจุดคุณลักษณะของภาพ อัลกอริทึมการมองเห็นของเครื่องจักรสามารถสกัดจุดคุณลักษณะของภาพและรับข้อมูลการไหลของแสงเพื่อได้ข้อมูลการเคลื่อนที่ของภาพ ข้อมูลการเคลื่อนที่ของภาพรวมถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ถูกสกัดออกมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลการไหลของแสงในภาพที่ถูกบันทึก เพื่อคำนวณความเร็วในการทำงาน

(Daijie He, et al) สายพานลำเลียงมีบทบาทสำคัญในการขนส่งวัสดุแบบแห้งแบบต่อเนื่อง ระบบสายพานลำเลียงขนาดใหญ่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก วิธีการควบคุมความเร็วของสายพานให้ใช้ประสิทธิภาพเต็มที่ทั้งในเงื่อนไขการทำงานทั้งหมด ได้ถูกพิสูจน์ว่าลดการใช้พลังงานของสายพานลำเลียงได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยปัจจุบันเกี่ยวกับการควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงมุ่งไปที่การคำนวณและการทำนายการประหยัดพลังงานที่เป็นไปได้ งานวิจัยเพียงเล็กน้อยให้ความสำคัญกับความเคลื่อนไหวของสายพานลำเลียงในกระบวนการทำงานชั่วคราว อย่างไรก็ตามไม่มีงานวิจัยที่อธิบายการทำงานของสายพานลำเลียงที่ควบคุมความเร็วในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีในกระบวนการทำงานชั่วคราว งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีสามขั้นตอนที่สามารถใช้ในการกำหนดวิธีการเร่งความเร็วสายพานลำเลียงที่ควบคุมความเร็วในกระบวนการทำงานชั่วคราวได้ถูกต้อง วิธีนี้พิจารณาถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานชั่วคราวและประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของสายพานลำเลียง การศึกษากรณีของระบบสายพานลำเลียงแนวนอนถูกศึกษาและใช้วิธีสามขั้นตอน ในการศึกษากรณีนั้น ตัวทำนายของการเร่งความเร็วสูงสุดที่ถูกคำนวณ จากนั้นจะดำเนินการจำลองด้วยเวลาเร่งคาดการณ์เพื่อกำหนดกระบวนการเร่งความเร็วและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของสายพานลำเลียง การจำลองนี้จะพิจารณาจากโมเดลองค์ประกอบทางจำกัดที่มีอยู่ของสายพานลำเลียง

(Kaizhan Liu, et al) เครือข่ายประสาทคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network หรือ CNN) ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในสายงานวิสัยทัศน์คอมพิวเตอร์และได้ทำความก้าวหน้า

มากในหลายเนื้อหาเช่นการตรวจจับและการจำแนกวัตถุ แม้ว่าเครือข่ายประสาทคอนโวลูชันจะมีประสิทธิภาพมากเพียงพอแล้ว การรวมเครือข่ายประสาทคอนโวลูชันหมายความว่าการทำงานของหลาย ๆ เครือข่ายประสาทคอนโวลูชันจะทำงานโดยซิงโครนัสและแบ่งปันข้อมูลเอาท์พุตของพวกเขา สามารถหาข้อความที่เป็นประโยชน์ที่ไม่สามารถได้จากแต่ละเครือข่ายแยกต่างหากได้มา ในบทความนี้ เรานำเสนอวิธีการประเมินความเร็วของวัตถุแบบเรียลไทม์โดยการรวมกันของสองเครือข่ายประสาทคอนโวลูชัน: YOLOv2 และ FlowNet ในทุก ๆ เฟรม YOLOv2 จะให้ขนาดของวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุ และประเภทของวัตถุ ในขณะเดียวกัน FlowNet จะให้การไหลของแสงในภาพทั้งหมด ในทางกลับกัน ประเภทของวัตถุและขนาดของวัตถุช่วยในการหาความสัมพันธ์ระหว่างการไหลแสงและความเร็วที่แท้จริงโดยใช้ทฤษฎีแสงและความรู้ที่มีอยู่ล่วงหน้า ด้วยเหตุนี้ ด้วยข้อมูลสองประการนี้ สามารถประเมินความเร็วของวัตถุได้ วิธีการนี้สามารถประเมินค่าของวัตถุหลายๆ วัตถุในเวลาเรียลไทม์ได้โดยใช้กล้องปกติเท่านั้น แม้ในสถานะการเคลื่อนไหว ซึ่งค่าผิดพลาดนั้นยอมรับได้ในหลายสาขาการประยุกต์ใช้ เช่น การขับรถไร้คนขับหรือการมองเห็นของหุ่นยนต์

(Israa and Hiba) เซ็นเซอร์ทางการมองเห็นจะรับผิดชอบในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานะของสายพานลำเลียงและชิ้นส่วนบนเส้นทาง โดยตามข้อมูลเหล่านี้ จะมีการตัดสินใจอัจฉริยะเกี่ยวกับความเร็วของสายพานโดยตัวควบคุม ANN ANN จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเร็วในลักษณะที่ช่วยให้การเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียงมีประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสม การควบคุมความเร็วที่เหมาะสมของสายพานลำเลียงจะถูกนำเสนอโดยการตรวจจับจำนวนและน้ำหนักของชิ้นส่วนโดยใช้เซ็นเซอร์ทางการมองเห็น โดยที่ส่วนหลังจะให้การมองเห็นที่เพียงพอเกี่ยวกับระบบ จากนั้นการประมวลผลภาพจะส่งข้อมูลที่สำคัญไปยัง ANN ที่จะตัดสินใจอย่างเหมาะสมเพื่อความเร็วของสายพานลำเลียงที่ดีที่สุด ความเร็วที่กำหนดนี้จะบรรลุเป้าหมายในการประหยัดพลังงานในการเคลื่อนที่ของสายพาน ระบบการควบคุมที่นำเสนอจะสลับความเร็วของระบบสายพานลำเลียงในสถานะ ON, OFF และ idle เพื่อลดการใช้พลังงานในสายพานลำเลียง

(Mingfang Zhang, et al) การประมวลผลทางประติมากรรม optical flow ควรทำงานไม่เพียงแค่ในเงื่อนไขแสงแดดที่เหมาะสมเท่านั้น แต่การประมาณการการไหลแสงมีการประยุกต์ใช้มากมายที่ต้องใช้งานตลอดจนถึงตอนกลางคืน ตัวอย่างเช่น ข้อมูลทางประติมากรรมสามารถนำมาใช้ในรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยตนเองและโดรนในการควบคุมความเร็วในสภาพแวดล้อมที่หนาแน่น และต้องสามารถทำงานได้ตลอดทั้งวันและคืน นอกจากนี้ การไหลแสงเป็นภาพลักษณ์ที่สำคัญสำหรับการเข้าใจวิดีโอซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงฉากที่มีแสงน้อยได้ด้วย นอกจากนี้ การไหลแสงยังถูกใช้ในการจัดเตรียมภาพในการถ่ายภาพจากมือให้สอดคล้องกันในการบันทึกภาพ burst imaging สำหรับ HDR หรือการเพิ่มความสว่างในสภาพแสงน้อย ซึ่งยังต้องการความทนทานของแบบจำลองการไหลแสงในสภาพแสงน้อย อย่างไรก็ตาม วิธีการประมาณการการไหลแสงปัจจุบันยังแสดงผลลัพธ์ที่ไม่ดีเมื่อใช้กับ

ข้อมูลแสงน้อย ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยอุปกรณ์ช่วยเพิ่มเติม เช่น ระบบไฟหรือเซ็นเซอร์ขั้นสูง อุปกรณ์เหล่านี้มีการใช้พลังงานมากขึ้นและบางครั้งไม่สามารถใช้ได้เสมอ ดังนั้น จึงต้องการวิธีการประมาณการการไหลแสงที่มีประสิทธิภาพเพื่อประมวลผลข้อมูลแสงน้อยอย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้

(Yonhqing Lu, et al) จากปัญหาเช่นภาระงานที่มาก ต้นทุนสูง การติดตั้งและการบำรุงรักษาที่ซับซ้อนในการวัดปริมาณถ่านหินบนสายพานด้วยเครื่องชั่งแบบสายพานในอดีต บทความนี้ออกแบบระบบการวัดปริมาณถ่านหินบนสายพานแบบพลวัตเฉลี่ยโดยใช้การประมวลผลภาพ ซึ่งสามารถปรับความเร็วของสายพานหลายรายการได้อัตโนมัติ ระบบนี้ประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ของวิดีโอการตรวจสอบข้อมูลที่อัพโหลดลงสู่พื้นดิน คำนวณปริมาณถ่านหิน และปรับความถี่ของระบบสายพานตามปริมาณถ่านหินในเวลาเป็นเรียลไทม์ เพื่อให้บทลงโทษของการประหยัดพลังงานและการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของระบบสายพานทั้งหมด

(Gao zerez, et al) เสนอวิธีการสอบเทียบสำหรับกล้องสเตอริโอที่มีมุมมองรวม (FOV) กว้างโดยใช้เลนส์ซูม เรานำเข้าสูตรของแมกิลล์ (Magill's formula) โดยใช้พารามิเตอร์ทางกายภาพของวัตถุในระยะทางเล็กเพื่อคำนวณพารามิเตอร์ทางกายภาพในระยะทางเพิ่มขึ้น เราใช้แผ่นปรับแคลิบรางปกติในการสอบเทียบพารามิเตอร์ภายนอกใน FOV ขนาดเล็กโดยใช้เลนส์ซูมเพื่อลด FOV แล้วคำนวณพารามิเตอร์ภายนอกใน FOV ขนาดใหญ่ การทดสอบการยืนยันแสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนในการสร้างรูปภาพสามมิติเป็นประมาณ 1 มม. เมื่อ FOV ประมาณ 6 × 6 เมตร วิธีการสอบเทียบที่เสนอนี้จะขยายขอบเขตในการใช้งานสำหรับการตรวจวัดภาพดิจิตอลสามมิติในสาขาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม

(Thanasak, et al) ในการตรวจจับและการจำแนก ที่ใช้การเรียนรู้ของ ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจจับและจำแนกข้อผิดพลาดของหัวแวคคั่มในกระบวนการการติดตั้งสไลด์เดอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เครื่องหยุดทำงานประมาณ 2% งานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญกับการใช้พิกเซลผิดปกติที่ผิวหัวแวคคั่มในเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อตรวจจับและวินิจฉัยการเกิดข้อผิดพลาดของหัวหัวแวคคั่มก่อนเกิดการรั่ว อัลกอริทึมเรียนรู้เชิงประสิทธิภาพ ถูกนำเสนอเป็นแบบจำแนกและต้องได้รับการประเมินค่าก่อนนำไปใช้ในกระบวนการจริง ผู้วิจัยได้ศึกษาและใช้คุณลักษณะของพิกเซลผิวหัวแวคคั่ม ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ภายใน พื้นที่ภายนอก และพื้นที่ภายในทั้งหมด เป็นชุดข้อมูลสอนโมเดล

(Soontaree, et al) ในงานวิจัยนี้เสนอ PI-servo ที่มีการตอบรับสถานะและตัวสังเกตนำมาใช้ในเครื่องต Stirrer แม่เหล็ก ในความเป็นจริงตัวแปรสถานะไม่สามารถวัดได้โดยตรงที่ต้องมีการตอบรับทั้งหมด จึงจำเป็นต้องใช้ตัวสังเกตในการประมาณค่าของตัวแปรสถานะเหล่านั้น การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าตระกูล DC สำหรับเครื่อง Stirrer ถูกเปรียบเทียบระหว่างวิธีของ

Ogata และ PI-servo ที่มีการตอบรับสถานะและตัวสังเกต การตอบสนองของระบบควบคุมแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในเรื่องความแข็งแรงและความมั่นคงของการรบกวน

(Kalyani and Manjula) เทคโนโลยีการรังสีอาหารกำลังได้รับความสนใจมากขึ้นทั่วโลก ในเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนหรือสารเคมี การรังสีมีประสิทธิภาพมากกว่าและเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกว่าในการกำจัดเชื้อโรคที่มาจากอาหาร การใช้เทคนิคการรังสีทำให้อาหารปลอดภัยต่อการบริโภคโดยทำลายเชื้อแบคทีเรียซึ่งเป็นกระบวนการที่คล้ายกับกระบวนการพาสเจอไรเซชัน การฉายรังสีเพื่อตอบสนองความต้องการด้านสุขอนามัยและการป้องกันศัตรูพืชของประเทศที่นำเข้าอาหาร

2.6 สรุป

จากการศึกษาทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า การใช้เทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์เข้ามาบทบาทอย่างมากในงานอุตสาหกรรมปัจจุบัน ในขณะที่เทคโนโลยีมีการพัฒนาอยู่สม่ำเสมอ ส่งผลให้กระบวนการวิเคราะห์ภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการใช้เทคนิคการไหลของแสงเพื่อนำมาประมาณความเร็วของวัตถุจากระยะทางและเวลาที่เคลื่อนที่ รวมทั้งยังทราบถึงทิศทางในการเคลื่อนที่ โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ความสว่างในการทดสอบ เพื่อเป็นข้อยืนยันว่าสามารถวัดความเร็วสายพานได้จริง และนำไปสู่การสร้างระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ตัวควบคุม PI เพื่อควบคุมระบบของสายพานให้มีประสิทธิภาพรวมทั้งผลการตอบสนองที่ดียิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จัดเตรียมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย สายพาน มอเตอร์และตัวขับมอเตอร์ กล้อง โดยมี รายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์ในการวิจัย

Equipment	Specification
Motor driver	BLE2D120-C Voltage 200-240 volts, speed range 50-4000 rpm
Motor	BLM5120HP-GFV Power 120 watts, required voltage 100 volts.
Belt conveyor	Pulley drives head Diameter 60/30 mm, width 400 mm, length 4200 mm
Camera	Logitech Brio 4K Ultra HD @ 30 fps, HD 1080p @ 60 fps and HD 720p @ 90 fps
Controller	Arduino UNO R3 Voltage 0-5 volts, receive/send values, 14 heads, connected by USB.
Computer	Intel(R) Core (TM) i7-8700 CPU @ 3.20GHz 16 GB ram, 64-bit
Light meter	Digital light meter UT383S

3.1.1 ข้อมูลอุปกรณ์โดยละเอียด

3.1.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

รูปที่ 3.1 มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลพื้นฐาน

Brand Oriental Motor

Voltage Specifications

- AC100V
- AC200V

Gearhead

- Parallel shaft gearhead
- Hollow shaft flat gearhead

Features

- Easy speed control by turning and pressing the setting dial
- Easy wiring just by connecting the motor and driver and turning on the switch
- Uses a new compact, high-output, high-efficiency brushless motor
- Lineup of cable type and connector type
- The connector type has a protection rating IP66 specification with high dust-proof and waterproof performance
- Two types of motors are available that can be selected by connection method

3.1.1.2 ตัวขับมอเตอร์ไฟฟ้า

รูปที่ 3.2 ตัวขับมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข้อมูลพื้นฐาน

Brand Oriental Motor

Power Supply Voltage

- Single-phase 100 to 120 V
- Three-phase 200 to 240 V
- Single-phase 200 to 240 / Three-phase 200 to 240 V

The BLE2 Series has a lineup of motors with electromagnetic brakes, dust-proof and waterproof specifications, as well as various lineups. It can be used for a wider range of purposes.

Features

- Speed control range 80 to 4,000 r/min
- Speed fluctuation rate ±0.2% (At the time of digital setting)
- Torque can be limited
- Multi-speed operation Up to 16 speeds
- Holds the output shaft when stopped (Up to 50% of rated torque)
- Protection rating IP66 (Motor part only)
- High rust prevention and corrosion resistance due to stainless steel shaft
- Monitor / test function useful for starting up the device and avoiding troubles
- Digital settings and operations on the driver itself
- Close contact mounting is possible with a compact and low profile driver
- Speed can be set with a personal computer or an external signal
- Cable with selectable pull-out direction
- Up to 20 m between motor and driver with direct connection
- Lineup 30 W to 400 W

3.1.1.3 สายพาน

รูปที่ 3.3 สายพานที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลพื้นฐาน

Driving Type

- Head drive

Max. Conveyance Speed(m/min)

- 96.5

Tail Roller Dia. D (Tail Transfer Part R)(mm)

- 27.2

Drive Roller Dia.(mm)

- 65

Belt Material

- Polyurethane

Reverse Switch Option

- No

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.1.4 ตัวตรวจจับ(กล้อง)

รูปที่ 3.4 กล้องที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลพื้นฐาน

ขนาด

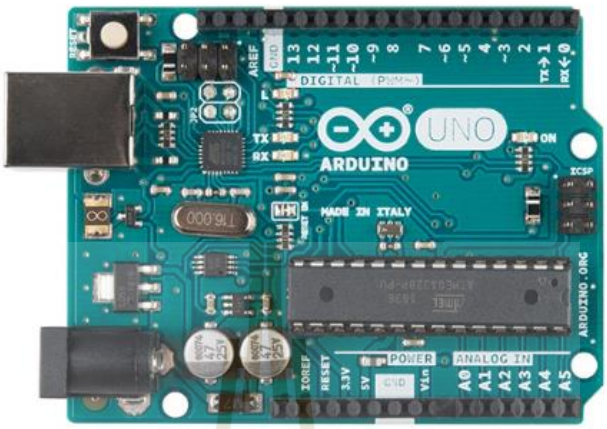
- ความสูง: 27 มม.
- ความกว้าง: 102 มม.
- ความลึก: 27 มม.
- ความยาวสาย: 2.2 ม.
- น้ำหนัก: 63 กรัม

ความละเอียด

- 4K/30fps (สูงสุด 4096 x 2160 พิกเซล)
- 1080p/30 หรือ 60 fps (สูงสุด 1920 x 1080 พิกเซล)
- 720p/30, 60 หรือ 90 fps (สูงสุด 1280 x 720 พิกเซล)
- เมกะพิกเซลของกล้อง: 13
- ชนิดการโฟกัส: โฟกัสอัตโนมัติ
- ชนิดเลนส์: กระจก
- ไมโครโฟนภายใน: สเตอริโอ
- ระยะไมค์: สูงสุด 1.22 ม.
- มุมมองภาพแนวทแยงมุม (dFoV): 90°/78°/65°
- ดิจิทัลซูม: 5 เท่า

- การเชื่อมต่อ USB: USB-A ต่อและใช้ได้ทันที, รองรับ USB-C เมื่อใช้อะแดปเตอร์ภายนอก

3.1.1.5 Controller



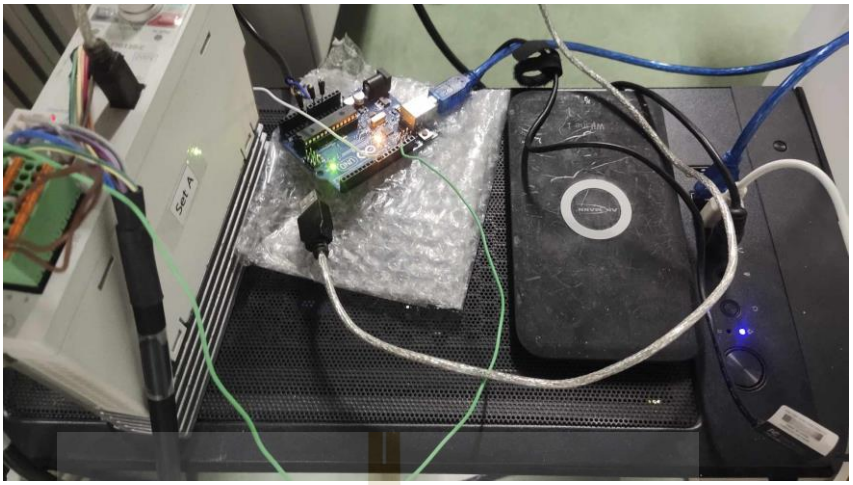
รูปที่ 3.5 ตัวควบคุมที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลพื้นฐาน

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328. It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

3.1.2 การเชื่อมต่อของระบบวัดความเร็วสายพาน

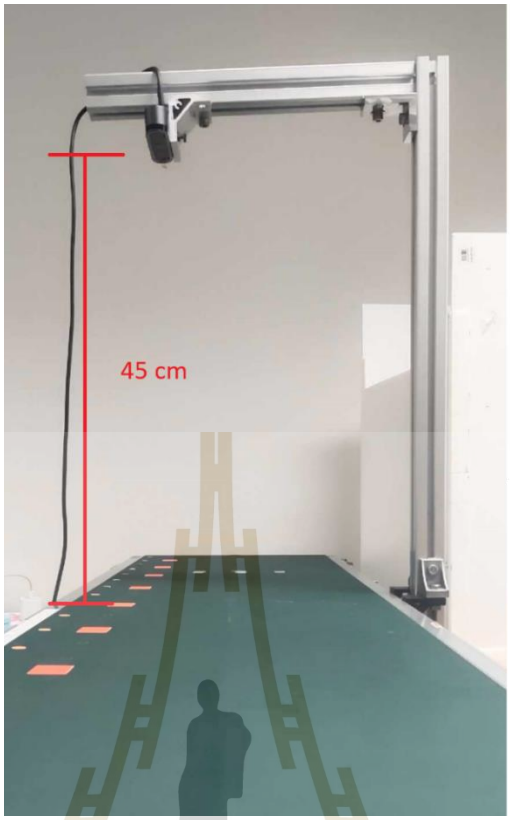
การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารของระบบจะประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งประมวลผลกลาง บอร์ดควบคุม และตัวขับมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อของระบบ

โดยคอมพิวเตอร์จะสื่อสารกับบอร์ด Arduino เพื่อส่งค่าในรูปแบบของตัวเลขในช่วง 0-255 หลังจากที่บอร์ด Arduino ได้รับค่าแล้ว จะทำการส่งค่าที่อยู่ในช่วง 0-5 ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าให้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อทำการขับสายพานให้วิ่งด้วยความเร็วที่กำหนด โดยมีตัวเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ในการวัดความเร็วของสายพานคือกล้องสเตอริโอ ซึ่งตั้งฉากกับสายพาน มีระยะห่างจากสายพานเท่า 45 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



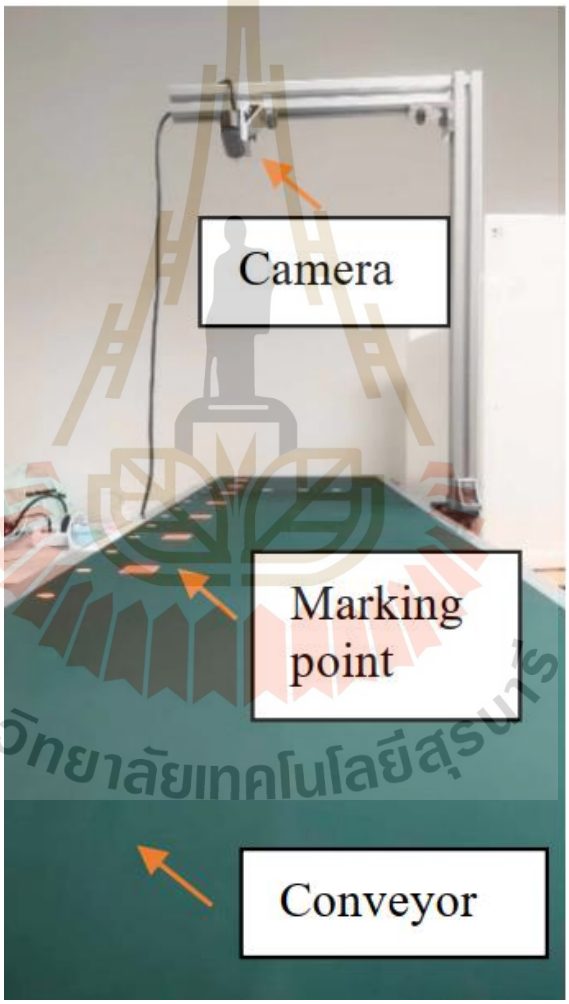
รูปที่ 3.7 ระยะตั้งฉากของกล้องกับสายพาน

ในส่วนของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับเกียร์ทด สำหรับเพิ่มกำลังในการขับพูลเลย์ เป็นอัตราทด 1:50 ดังรูปที่ 3.8 ส่งผลให้เป็นข้อกำหนดของค่าความเร็วสายพานในการทดลองร่วมกันกับค่าต่ำที่สุดที่ตัวขับมอเตอร์สามารถทำได้ซึ่งมีค่าความเร็วรอบอยู่ที่ 50 รอบต่อนาที จะได้ความเร็วต่ำที่สุดของสายพานในระบบเท่ากับ 0.67 เซนติเมตรต่อวินาที จึงเลือกข้อกำหนดนี้เป็นตัวแปรหนึ่งในการทดลองในการวัดความเร็วของสายพาน

รูปที่ 3.8 มอเตอร์และเกียร์ทด

3.2 ติดสัญลักษณ์บนผิวของสายพาน

ติดสัญลักษณ์โดยมีระยะห่างระหว่างสัญลักษณ์เท่ากับ 10 เซนติเมตร ตลอดแนวความยาวของสายพาน โดยจะติดบนสายพานและทำการทดสอบวัดความเร็วทีละสัญลักษณ์ ระยะห่างในการติดสัญลักษณ์จะสอดคล้องกับกรอบของเฟรมภาพ โดยมีข้อกำหนดคือ ในกรอบจะต้องมีสัญลักษณ์ที่กล้องสามารถตรวจจับได้อย่างน้อยจำนวน 1 สัญลักษณ์ เพื่อป้องกันให้โปรแกรมอ่านความเร็วของสายพานผิดพลาดเนื่องจากไม่สามารถสร้างเวกเตอร์การกระจัดทำให้ไม่สามารถระบุระยะทางที่สายพานเคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

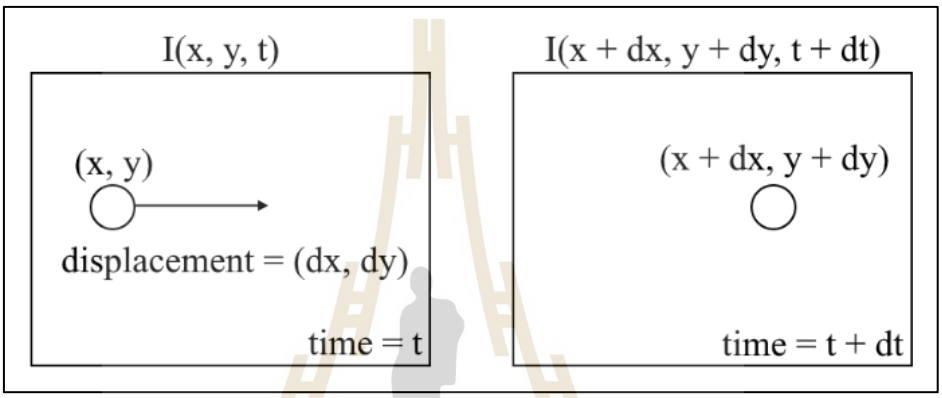


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการติดสัญลักษณ์บนสายพาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 ประมาณความเร็วของสายพานด้วยหลักการไหลของแสง

จากหลักการการไหลของแสง จะสามารถประมาณความเร็วของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ได้ โดยอาศัยหลักการในการหาความเร็วจากระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบพิกเซลเดียวกันบนสัญลักษณ์ที่มีการเคลื่อนที่ จะทำให้ทราบระยะทางที่พิกเซลที่เคลื่อนที่จากเฟรมแรกไปจนถึงเฟรมที่ 10 และระยะเวลาในการเคลื่อนที่คืออัตราการถ่ายภาพของกล้อง สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การเคลื่อนของพิกเซลในภาพในระยะเวลา dt

จากภาพที่ 3.10 แสดงถึงการเคลื่อนที่ของพิกเซล I ณ ตำแหน่งเริ่มต้น โดยทราบพิกัดตำแหน่งเป็น x และ y เมื่อเคลื่อนที่ไปยังจุดสุดท้าย องค์ประกอบพิกเซลยังคงเดิม สิ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงคือตำแหน่งของพิกเซลและระยะเวลาในการเคลื่อนที่ โดยการประมาณความเร็วสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Rd_i}{f}}{n} \tag{3.1}$$

โดยที่

V คือ ความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณ

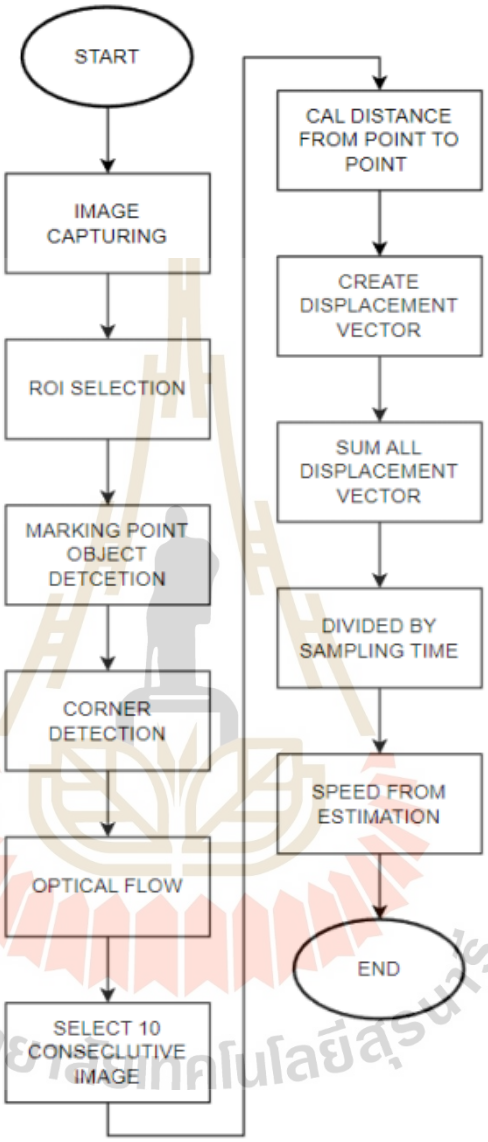
Rd_i คือ ความยาวของเวกเตอร์จากการเคลื่อนที่ของพิกเซล

f คือ อัตราการถ่ายภาพของกล้อง

n คือ จำนวนเวกเตอร์ทั้งหมดในภาพ 1 เฟรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

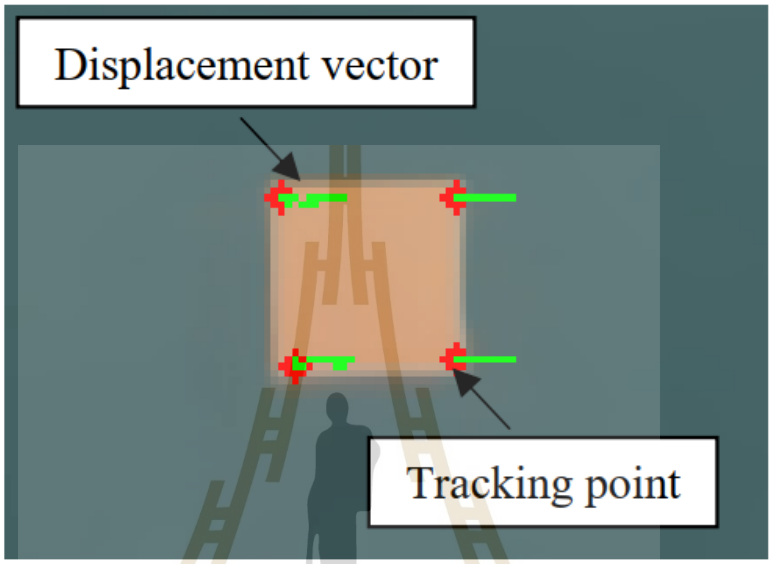
กระบวนการที่ทำให้ได้มาซึ่งการประมาณความเร็วของสายพานด้วยหลักการไหลของแสงโดยใช้กล้องสำหรับกระบวนการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ สามารถอธิบายเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนภาพการทำงานของระบบประมาณความเร็วจากการไหลของแสง

จากรูปที่ เมื่อวางวัตถุลงบนสายพาน และเปิดการทำงานของสายพาน กล้องที่เปิดโหมดในการทำงานเป็นการบันทึกวีดีโอ จะถ่ายภาพของสัญลักษณ์บนสายพาน โดยจะถ่ายเฉพาะในบริเวณที่ได้ทำการตีกรอบไว้ (Region of Interest) จากการระบุคู่พิกัดในโปรแกรม จากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบและเลือกสัญลักษณ์บนสายพาน (Object Detection) เพื่อตรวจหาและระบุจำนวนมุมของสัญลักษณ์ โดยกระบวนการทั้ง 4 ขั้นตอนนี้จะนำไปสู่กระบวนการการไหลของแสง โปรแกรมจะ

เลือกเฟรมที่ต่อเนื่องกันจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องเป็นจำนวนทั้งหมด 10 เฟรม เพื่อระบุตำแหน่งของคู่พิกัดในแนวแกน x และ y ในเฟรมแรกและเฟรมสุดท้าย ทำให้ทราบถึงระยะทางทั้งหมดที่สายพานเคลื่อนที่ เพื่อนำไปสร้างเส้นเวกเตอร์การกระจัด โดยจะมีจำนวนเส้นทั้งหมดสอดคล้องกันกับจำนวนมุมของสัญลักษณ์ที่โปรแกรมตรวจพบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.12



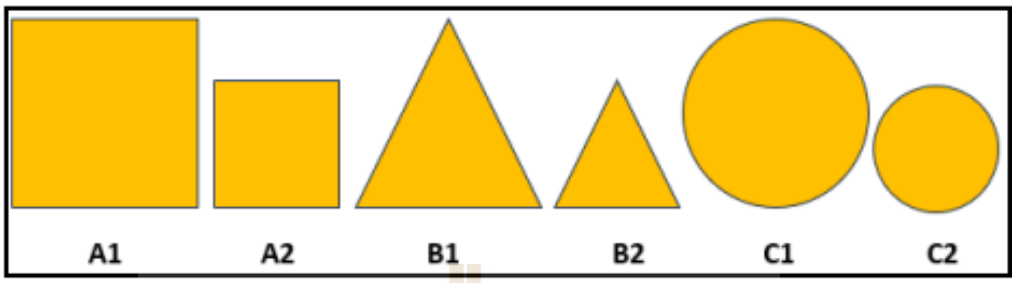
รูปที่ 3.12 รูปแสดงการลากเส้นเวกเตอร์ของโปรแกรม

เมื่อได้เส้นเวกเตอร์การกระจัดแล้ว จากนั้นจะหาผลรวมของระยะกระจัดทั้งหมดในเฟรมของภาพ เพื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ย จากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับระยะเวลาทั้งหมดที่สายพานเคลื่อนที่โดยเทียบจากภาพ 10 เฟรม โดยที่เวลาใน 1 เฟรม จะมีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายภาพของกล้อง (Frame rate) ซึ่งกำหนดโดยผู้ใช้ให้มีค่าเท่ากับ 15 เฟรมต่อวินาที ดังนั้น เวลาในการถ่ายภาพ 1 เฟรมเท่ากับ 0.067 วินาที สรุปได้ว่าการประมาณความเร็วของสายพานจะให้การประมวลผลภาพและการไหลของแสง จะคำนวณทุก ๆ 10 เฟรมที่ต่อเนื่องกันของภาพ โดยมีเวลาในการเคลื่อนที่ของภาพเท่ากับ 0.67 วินาที เมื่อทราบทั้งระยะทางและเวลา จะทำให้สามารถประมาณความเร็วของสายพานได้

3.4 การทดลองเพื่อเปรียบความแม่นยำการประมาณความเร็วของสัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน

เมื่อทำการทดลองการประมาณความเร็วของสายพานด้วยหลักการการไหลของแสงสำหรับสัญลักษณ์รูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 3x3 เซนติเมตร โดยทดลองจากการถ่ายภาพด้วยกล้องมีจำนวนทั้งหมดเท่ากับ 2,000 เฟรม โดยผ่านกระบวนทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เสร็จสิ้น จากนั้นจะดำเนินการ

ทดลองในลำดับถัดไป โดยมีข้อกำหนดคงเดิม เพียงแต่เปลี่ยนตัวแปรของรูปร่างสัญลักษณ์ ได้แก่ A1 B1 B2 C1 และ C2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปร่างของสัญลักษณ์ในการวิจัย

กำหนดให้

A1 แทน สัญลักษณ์รูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 3x3 เซนติเมตร

A2 แทน สัญลักษณ์รูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 เซนติเมตร

B1 แทน สัญลักษณ์รูปร่างสามเหลี่ยมขนาด 3x3 เซนติเมตร

B2 แทน สัญลักษณ์รูปร่างสามเหลี่ยมขนาด 2x2 เซนติเมตร

C1 แทน สัญลักษณ์รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

C2 แทน สัญลักษณ์รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร

การทดลองนี้จะนำไปสู่กระบวนเปรียบเทียบความแม่นยำสำหรับการประมาณความเร็วของสายพาน เพื่อที่จะเลือกสัญลักษณ์ที่มีความแม่นยำสูงที่สุดไปใช้เป็นข้อกำหนดในการทดลองการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสายพาน โดยกำหนดเงื่อนไขความเร็วในการทดลองอยู่ที่ 0.67, 1.34, 2.01 และ 2.68 เซนติเมตรต่อวินาที และเริ่มเก็บผลการทดลองหลังจากที่ปล่อยให้สายพานวิ่งไปแล้ว 30 วินาที เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากการกระชากกระแสไฟฟ้าเมื่อเริ่มเปิดใช้งานสายพาน

3.5 การทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณความเร็ว

3.5.1 ความสว่าง

เนื่องจากกระบวนการประมวลผลด้วยภาพที่มีจากการถ่ายภาพจากวีดีโอซึ่งเป็นกระบวนการการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ดังนั้น ความสว่างจึงเป็นปัจจัย ๆ หนึ่งที่มีความสำคัญอย่าง

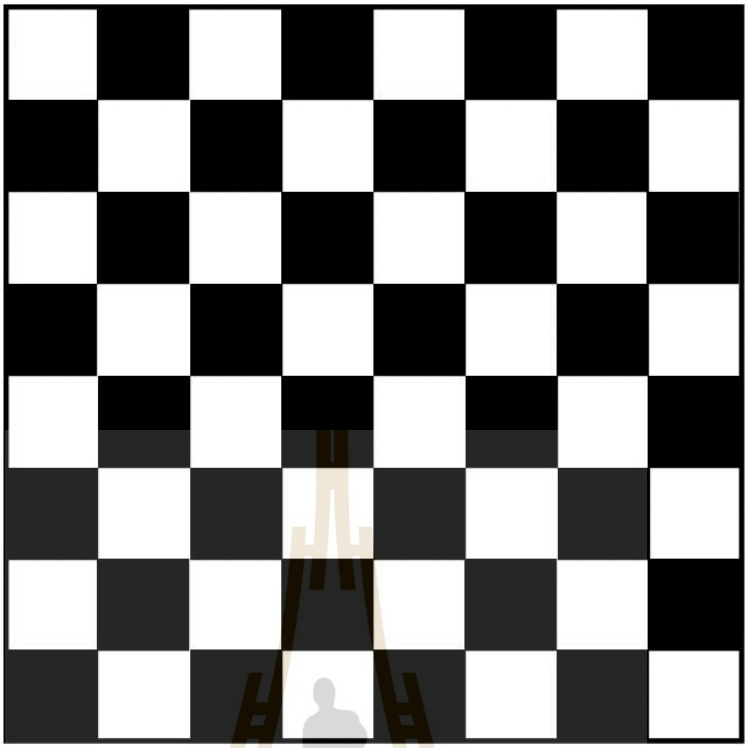
มากต่อผลการทดลอง โดยในส่วนของการทดลองนี้จะใช้อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความสว่างเป็น Digital light meter ซึ่งสามารถวัดความสว่างและแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขได้ดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการวัดความสว่างด้วยเครื่องวัด

โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ คือ ใช้ค่าความสว่างทั้งหมดจำนวน 3 ค่าซึ่งได้จากการประมาณเป็นจำนวน 3 ครั้งในแต่ละค่าความสว่าง โดยมีค่าประมาณอยู่ที่ 100, 300 และ 500 luxเป็นตัวแปรในการทดลอง เพื่อหาค่าความสว่างที่เหมาะสม และไม่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการประมาณความเร็วของสายพาน ในการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบกับภาพตารางหมากรุก และ การทดสอบกับสัญลักษณ์รูปร่าง A1

3.5.1.1 การทดสอบความแม่นยำด้วยภาพตารางหมารุก

ในการทดลองลำดับแรกคือการปริ้นภาพตารางหมากรุกที่มีขนาดรอบนอกยาวด้านละ 15 เซนติเมตร เป็นสีขาวสลับสีดำ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ภาพตารางหมากรุกในการทดลอง

เมื่อได้ภาพตารางหมากรุกแล้ว จากนั้นจะนำไปวางบนสายพาน โดยตั้งฉากกับกล้อง เพื่อถ่ายภาพ และนำไปประมวลผลด้วยเทคนิคการตรวจและนับจำนวนมุมของภาพที่มีชื่อว่า Shi-Tomasi Corner Detection เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการนับจำนวนมุมที่โปรแกรมอ่านได้ของแต่ละค่าความสว่างทั้งสิ้น 2 ค่า คือ 0 และ 500 lux โดยทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

3.5.1.2 การทดสอบกับสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม

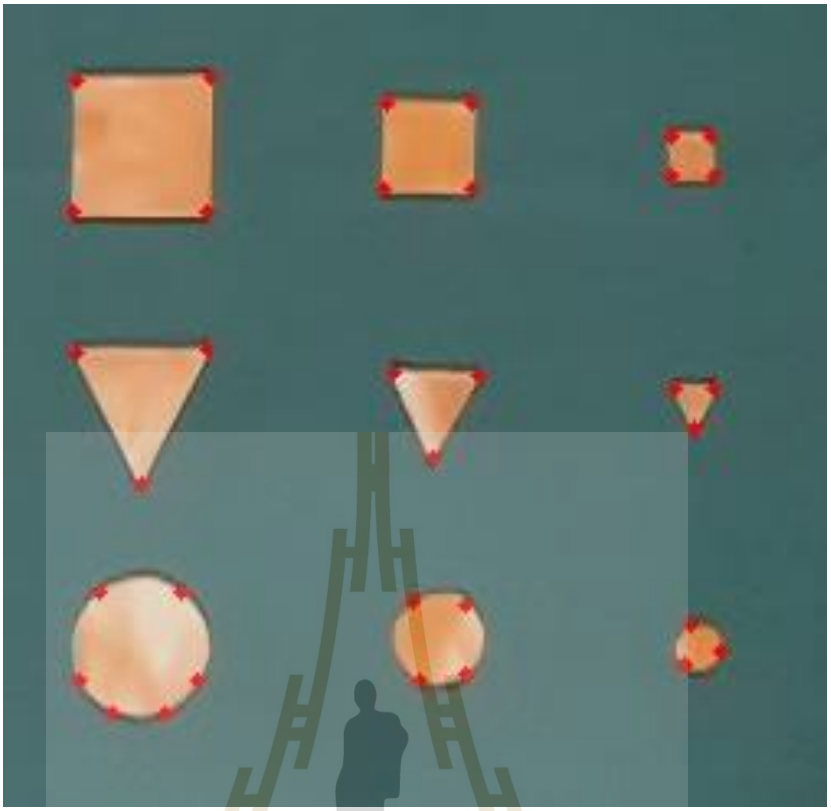
หลังจากที่ทดสอบความแม่นยำจากการจำลองตารางหมากรุกแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบกับสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย โดยจะวางสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมบนสายพาน 1 รูป เพื่อนับจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ ซึ่งจะใช้ความสว่างทั้งหมด 3 ค่า คือ 100 300 และ 500 lux โดยทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 การทดสอบหาจำนวนมุมบนสัญลักษณ์

3.5.2 รูปร่างและขนาดของสัญลักษณ์

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการตรวจจับมุมบนสัญลักษณ์ด้วยเทคนิคตรวจจับวัตถุ (Object Detection) จากการเขียนโปรแกรม หลังจากที่กล้องตรวจพบสัญลักษณ์บนสายพานแล้ว โปรแกรมจะตรวจหามุมบนสัญลักษณ์ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกันกับสายพานด้วยเทคนิคการตรวจจับมุม (Corner Detection) ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการติดตามวัตถุด้วยเทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Object Tracking) โดยการทดลองจะใช้สัญลักษณ์ทั้งหมด 3 รูปร่าง แต่ละรูปร่างจะแบ่งตามขนาดได้ 3 ขนาด และทำการทดลองซ้ำรวมทั้งสิ้น 3 ครั้งของแต่ละรูปร่างและขนาดของสัญลักษณ์ โดยจะทดสอบในขณะที่สายพานหยุดนิ่ง ดังรูปที่ 3.17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.17 การติดสัญลักษณ์ในการทดสอบหาจำนวนมุม

เมื่อโปรแกรมตรวจพบมุมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การติดตามวัตถุ (Object Tracking) ด้วยเทคนิคนี้จำเป็นต้องระบุมุมของสัญลักษณ์ให้ชัดเจน เพื่อติดตามจุด ๆ เดิมที่มีการเคลื่อนที่ในเฟรมของภาพที่ต่างกัน เพื่อทำให้โปรแกรมสามารถสร้างเวกเตอร์การกระจัดที่ลากเชื่อมต่อกันจากมุมของสัญลักษณ์ระหว่างเฟรมที่ 1 ไปจนถึงเฟรมที่ 10 และนำไปประมาณความเร็วของสายพาน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทดลองการตรวจจับมุมบนสัญลักษณ์เพื่อป้องกันไม่ให้โปรแกรมเกิดความผิดพลาดในการคำนวณความเร็ว

3.5.3 อัตราการถ่ายภาพของกล้อง

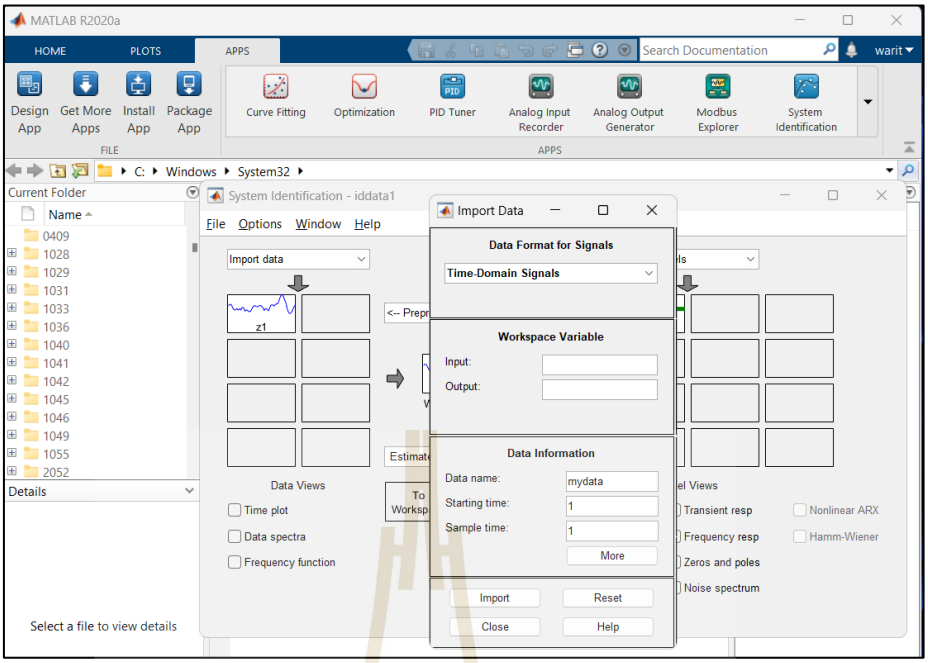
เมื่อกล่าวถึงระบบควบคุมที่มีความแม่นยำ จำเป็นจะต้องมีการเก็บข้อมูลทั้งขาเข้าและขาออกของระบบอย่างแม่นยำ ในงานวิจัยนี้เป็นการประมาณความเร็วด้วยหลักการไหลของแสง ซึ่งประมาณโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการอ่านความยาวของเส้นเวกเตอร์หารด้วยเวลาในการถ่ายภาพทั้งหมด 10 เฟรม ดังนั้น การควบคุมให้อัตราถ่ายภาพของกล้องมีค่าคงที่จึงมีความสำคัญต่อการเก็บผลการทดลองเป็นอย่างมาก โดยเงื่อนไขในการทดลอง คือ ใช้สัญลักษณ์รูปร่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมที่มีขนาด 3x3 และ 2x2 เซนติเมตร โดยจะเริ่มเก็บผลการทดลองหลังจากเปิดการทำงานของสายพานเป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งจะใช้ความเร็วของสายพานทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ 0.67, 1.34, 2.01

และ 2.68 เซนติเมตรต่อวินาที ในส่วนของอัตราการถ่ายภาพจะใช้รวมทั้งสิ้น 4 ค่า ได้แก่ 3, 6, 15 และ 30 เฟรมต่อวินาที

3.6 ประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบงาน จะอยู่ในรูปของ box โดยจะทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ White box model, grey box model และ black box model โดยในงานวิจัยนี้รูปแบบของระบบคือ black box model เนื่องจากระบบมีมอเตอร์ขับสายพาน ที่ไม่ทราบโครงสร้างภายใน การที่จะระบุแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ จะทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง input เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวขับมอเตอร์จ่ายให้แก่มอเตอร์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.0625 – 0.25 V และ output เป็นค่าความเร็วของสายพานจากการประมาณการของโปรแกรมที่ได้ทำการทดลองมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยจะเลือกสัญลักษณ์ อัตราการถ่ายภาพ และความสว่าง อย่างละหนึ่งค่าที่มีความแม่นยำสูงที่สุด เพื่อให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบมีความคล้ายคลึงกับระบบสายพานจริงมากที่สุด ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวช่วยในโปรแกรม MATLAB ที่มีชื่อว่า System Identification ดังรูปที่ 3.18 เพื่อสร้างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเร็ว ทำให้สามารถทราบความแม่นยำของระบบ และทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับช่วงความเร็วที่ได้เลือกมาสอนให้กับโปรแกรม เพื่อนำไปสร้าง Block diagram ของระบบสายพาน โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะอยู่ในรูปของสมการระบบควบคุมอันดับสอง (Second Order) เนื่องจากรูปแบบทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นแบบ second order เพื่อนำไปใช้ตรวจสอบผลตอบสนองของระบบจากการจำลองในโปรแกรม MATLAB Simulink

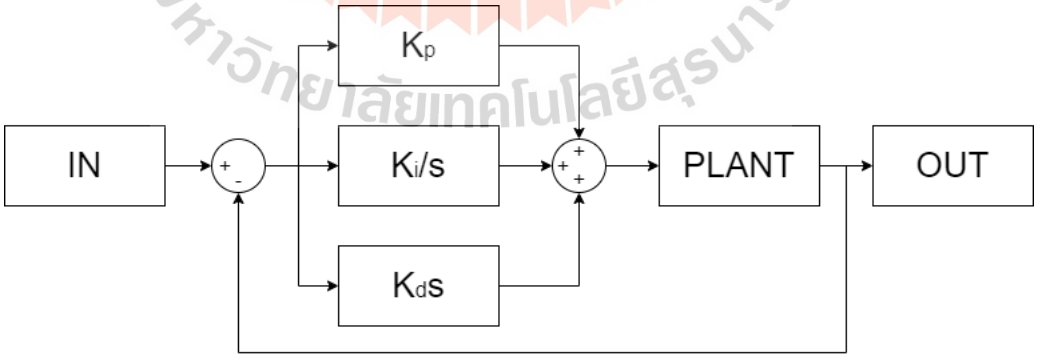
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.18 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย MATLAB

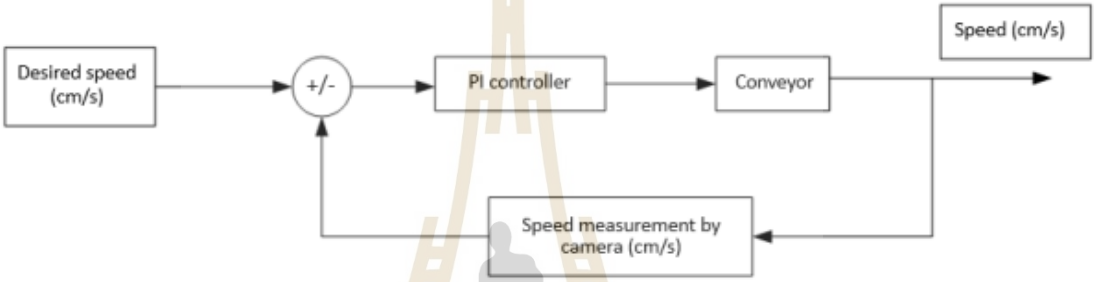
3.7 ออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วสายพานประกอบด้วยตัวควบคุม PI แบบวงปิด

เมื่อทราบแบบจำลองของระบบสายพานแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือการออกแบบระบบควบคุมเพื่อให้สายพานวิ่งด้วยความเร็วตามที่ผู้ใช้กำหนดได้ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.19



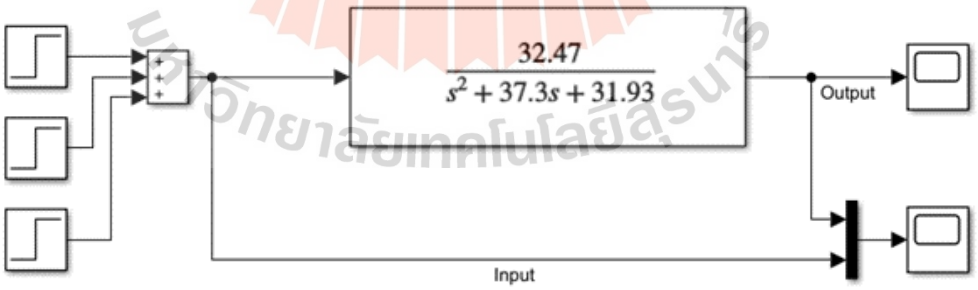
รูปที่ 3.19 โครงสร้างระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมชนิด PID

โดย IN (Input) คือ ค่าความเร็วที่ผู้ใช้ต้องการให้ระบบทำงาน PLANT คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสายพานและมอเตอร์ไฟฟ้า OUT (Output) คือ ค่าความเร็วขาออกจากการทำงานของระบบ ซึ่งโครงสร้างของระบบวงปิดจะมีการส่งผลย้อนกลับ (Feedback) ของ output ไปเปรียบเทียบ กับค่า input เพื่อคำนวณเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของระบบ และนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ไปกระทำกับตัวควบคุมชนิด PI เพื่อให้ระบบมีผลการตอบสนองที่ดียิ่งขึ้น และสามารถรักษาค่าขาออกให้คงที่ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) สามารถอธิบายเป็น Block diagram ได้ดังรูปที่ 3.20



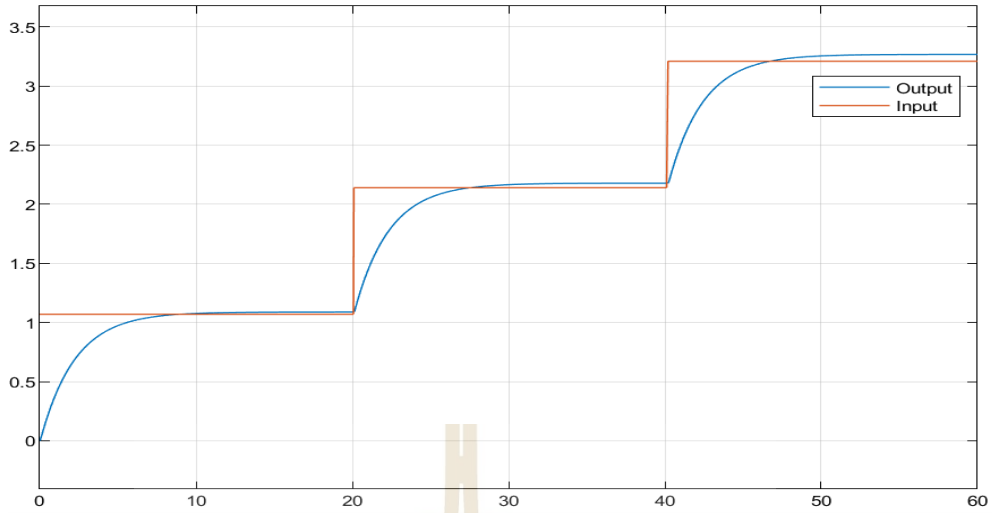
รูปที่ 3.20 โครงสร้างระบบควบคุมความเร็วสายพานในงานวิจัย

การทดลองในส่วนนี้จะเริ่มจากการเขียน block diagram โดยใช้ MATLAB Simulink ซึ่งในเบื้องต้นจะออกแบบระบบวงเปิดเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบค่าขาออกของระบบ ดังรูปที่ 3.21



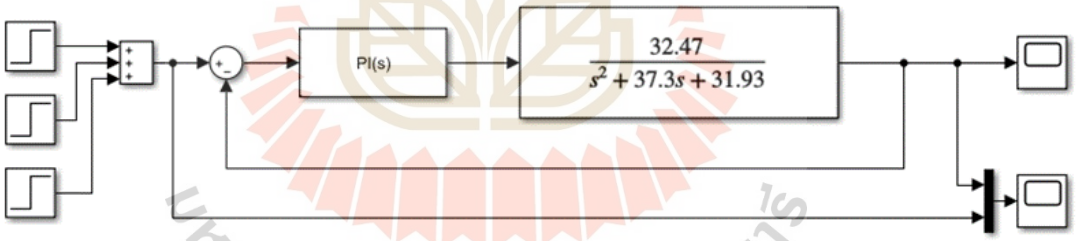
รูปที่ 3.21 Block diagram ระบบวงเปิด

จากรูปที่ 3.21 จะแสดงให้เห็นว่ามีค่า Input 3 ค่า โดยกำหนดเป็น Step input ซึ่งเริ่มจากความเร็วสายพานที่ 1.1 เซนติเมตรต่อวินาทีไปยังพลานต์ที่แทนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อตรวจสอบผลการตอบสนองของระบบจะได้ดังรูปที่ 3.22



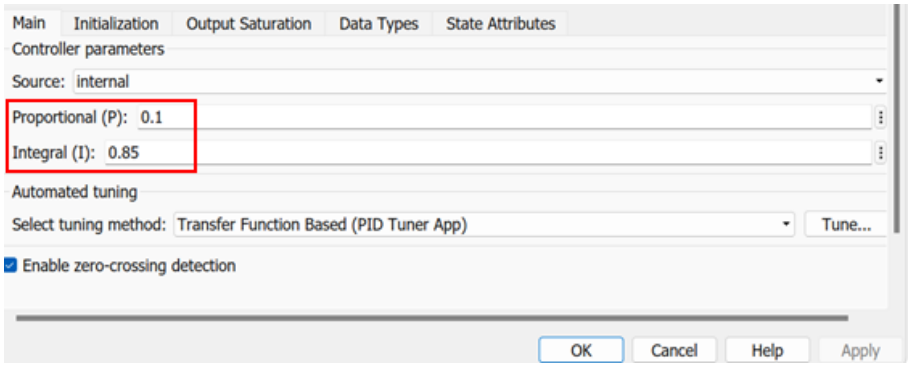
รูปที่ 3.22 ผลการตอบสนองของระบบวงเปิด

เมื่อตรวจสอบผลการตอบสนองแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การออกแบบระบบแบบวงปิด โดยใช้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังเดิม กำหนด Step input ในช่วง 0.7 – 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที และมีตัวควบคุมชนิด PI ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 Block diagram ระบบวงปิด

จากรูป Block diagram จะพบว่า มีตัวควบคุม PI เป็นตัวปรับปริมาณ error จากการเปรียบเทียบค่าความเร็วขาออกและความเร็วอ้างอิง เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ จึงต้องปรับค่าตัวควบคุม PI ด้วยการใช้ Automated tuning ของ MATLAB เพื่อตรวจสอบผลการตอบสนองและบันทึกผล ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การปรับค่า PI ด้วย Automated tuning

3.8 การควบคุมความเร็วสายพานในหน้างานจริง

เมื่อทำการทดลองที่เป็นการจำลองเสมือนทำงานจริงเสร็จสิ้น จากนั้นจะทำการทดลองควบคุมความเร็วของสายพานในพื้นที่การทำงานจริง โดยเขียนโปรแกรมเป็นภาษา Python และนำเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ผ่านการทดสอบแล้วว่ามีความแม่นยำต่อการประมาณและควบคุมความเร็ว ใส่ลงไปในโปรแกรมอย่างควบถ้วน รวมทั้งค่าตัวควบคุม PI ที่ได้จากการจำลอง โดยกำหนดความเร็วที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 0.80 – 1.20 เซนติเมตรต่อวินาที หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลการตอบสนองในหน้างานจริงและแบบจำลองว่าสอดคล้องกันหรือไม่ โดยจะตรวจสอบจากค่า เวลาที่ค่าความเร็วเข้าสู่สภาวะคงตัว (Settling time) และค่าเปอร์เซ็นต์ Overshoot

3.9 สรุป

การดำเนินงานวิจัยในการสร้างระบบควบคุมความเร็วสายพาน โดยทดสอบเพื่อประมาณความเร็วของสายพานด้วยการไหลของแสงที่มีอินพุตต่างกัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณความเร็วและนำเงื่อนไขที่ทำให้ผลการทดลองมีความแม่นยำสูงที่สุดไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสายพาน โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink และทดลองปรับหาตัวควบคุม PI ที่เหมาะสมกับช่วงความเร็วที่ต้องการควบคุม เพื่อนำไปควบคุมความเร็วสายพานในหน้างานจริง สามารถจำแนกได้เป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นสายพานผ้าใบชนิดเรียบ มีมอเตอร์ขับที่ส่วนหัว ใช้บอร์ด Arduino ที่รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ส่งค่าแรงดันให้แก่ตัวขับ เพื่อให้สายพานทำงานที่ค่าอ้างอิงได้ตามที่ผู้ใช้กำหนด โดยมีกล้องเป็นตัววัดความเร็วและส่งค่ากลับมายังคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะติดตั้งกล้องในแนวตั้งฉากกับสายพานและอยู่เหนือสายพานเป็นระยะ 45 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 ติดสัญลักษณ์บนผิวของสายพาน โดยจะติดตลอดแนวยาวของสายพานเป็นระยะทั้งสิ้น 4.2 เมตร แต่ละสัญลักษณ์ห่างกัน 10 เซนติเมตร ซึ่งสัมพันธ์กับขอบเขตของภาพที่กล้องมองเห็น โดยเมื่อสัญลักษณ์เคลื่อนที่ไปพร้อมกับสายพาน ภาพจากกล้องจำเป็นต้องตรวจพบสัญลักษณ์อย่างน้อย 1 รูป เพื่อป้องกันการเกิดความผิดพลาดเมื่อไม่พบวัตถุเคลื่อนที่บนสายพาน

ขั้นตอนที่ 3 ประมาณความเร็วที่วัดได้จากกล้อง โดยการเปรียบเทียบระยะทางกับระยะเวลาทั้งหมดที่สายพานเคลื่อนที่ โดยอ้างอิงจากภาพ 10 เฟรม ที่โปรแกรมตรวจพบสัญลักษณ์ด้วยเทคนิค object detection เพื่อเข้าสู่กระบวนการประมาณความเร็วของสายพานด้วยเทคนิค optical flow

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบความแม่นยำการประมาณความเร็ว โดยทั้งหมดจะมีสัญลักษณ์เป็นจำนวน 6 แบบ จะทำการทดลองทีละแบบ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วของสายพานจากการประมาณเป็นจำนวน 100 ค่า และทำซ้ำทุก ๆ แบบ แบบละ 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับทุก ๆ ค่าความเร็วอ้างอิงที่ทำทดสอบ

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณความเร็ว จะเป็นการทดสอบที่มีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์รวมทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความสว่าง รูปร่างและขนาดของสัญลักษณ์ และอัตราการถ่ายภาพของกล้อง เพื่อนำเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดไปหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

ขั้นตอนที่ 6 ประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในงานวิจัยนี้จะเป็นโมเดลชนิดกล่องดำซึ่งไม่ทราบโครงสร้างภายในของสายพานและมอเตอร์ ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าขาเข้าและขาออกเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย System Identification ใน MATLAB

ขั้นตอนที่ 7 สร้างระบบควบคุมความเร็วสายพาน ซึ่งงานวิจัยนี้จะออกแบบเป็นระบบปิดที่ผสานเข้ากับตัวควบคุมชนิด PI โดยนำค่า Feedback ซึ่งเป็นค่าความเร็วที่ประมาณจากการไหลของแสง มาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วอ้างอิง เพื่อหา error และปรับค่าให้เหมาะสม เพื่อการตอบสนองที่ดีของระบบ รวมทั้งการคงไว้ที่ความเร็วเดิมเมื่อ error ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 8 การควบคุมความเร็วสายพานในหน้างานจริง จะเป็นการเขียนโปรแกรมเป็นภาษา Python เพื่อให้คอมพิวเตอร์สั่งงานไปยังบอร์ดกลางเพื่อส่งต่อไปยังตัวขับมอเตอร์ โดยใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ผ่านการทดสอบแล้วว่ามีความแม่นยำ เพื่อเปรียบเทียบผลการตอบสนองในหน้างานจริงและแบบจำลองว่าสอดคล้องกันหรือไม่อย่างไร

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการประมาณความเร็วของสายพาน

เมื่อทำการทดลองประมาณความเร็วของสายพานที่อ่านได้จากกล้องด้วยการใช้เทคนิคการไหลของแสง จะคำนวณทุก ๆ 10 เฟรมของภาพที่ต่อเนื่องกัน รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 2,000 เฟรม โดยมีเวลาในการเคลื่อนที่ของภาพเท่ากับ 0.67 วินาทีต่อ 1 รอบการคำนวณ และแต่ละความเร็วผ่านกระบวนการทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งกำหนดค่าความเร็วของสายพานอ้างอิงทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ 0.67, 1.34, 2.01 และ 2.68 เซนติเมตรต่อวินาที เขียนแทนด้วยตัวแปร V1, V2, V3 และ V4 ตามลำดับ ผลลัพธ์การประมาณความเร็วของสายพานแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการประมาณความเร็วด้วยการไหลของแสง

สัญลักษณ์	ความเร็ว	ความเร็วเฉลี่ย (ซม./วินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม./วินาที)	ความเร็วต่ำที่สุด (ซม./วินาที)	ความเร็วสูงที่สุด (ซม./วินาที)	ค่าความผิดพลาดสูงสุด (ซม./วินาที)
A1	V1	0.668	0.009	0.644	0.692	0.026
	V2	1.328	0.035	1.241	1.415	0.075
	V3	2.008	0.031	1.918	2.085	0.092
	V4	2.679	0.056	2.442	2.760	0.238
A2	V1	0.664	0.009	0.644	0.685	0.026
	V2	1.310	0.036	1.238	1.401	0.102
	V3	1.970	0.046	1.881	2.084	0.129
	V4	2.621	0.072	2.494	2.756	0.186
B1	V1	0.667	0.011	0.640	0.695	0.030
	V2	1.305	0.035	1.245	1.413	0.095
	V3	1.965	0.054	1.876	2.096	0.134
	V4	2.623	0.076	2.443	2.756	0.237

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการประมาณความเร็วด้วยการไหลของแสง (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความเร็ว	ความเร็วเฉลี่ย (ซม./วินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม./วินาที)	ความเร็วต่ำที่สุด (ซม./วินาที)	ความเร็วสูงที่สุด (ซม./วินาที)	ค่าความผิดพลาดสูงสุด (ซม./วินาที)
B2	V1	0.671	0.012	0.643	0.703	0.033
	V2	1.300	0.036	1.228	1.370	0.112
	V3	1.956	0.050	1.864	2.062	0.146
	V4	2.563	0.121	2.431	2.759	0.249
C1	V1	0.643	0.022	0.545	0.684	0.135
	V2	1.299	0.037	1.215	1.373	0.125
	V3	1.952	0.071	1.689	2.140	0.460
	V4	2.614	0.078	2.413	2.809	0.267
C2	V1	0.644	0.020	0.594	0.696	0.086
	V2	1.296	0.067	0.785	1.402	0.555

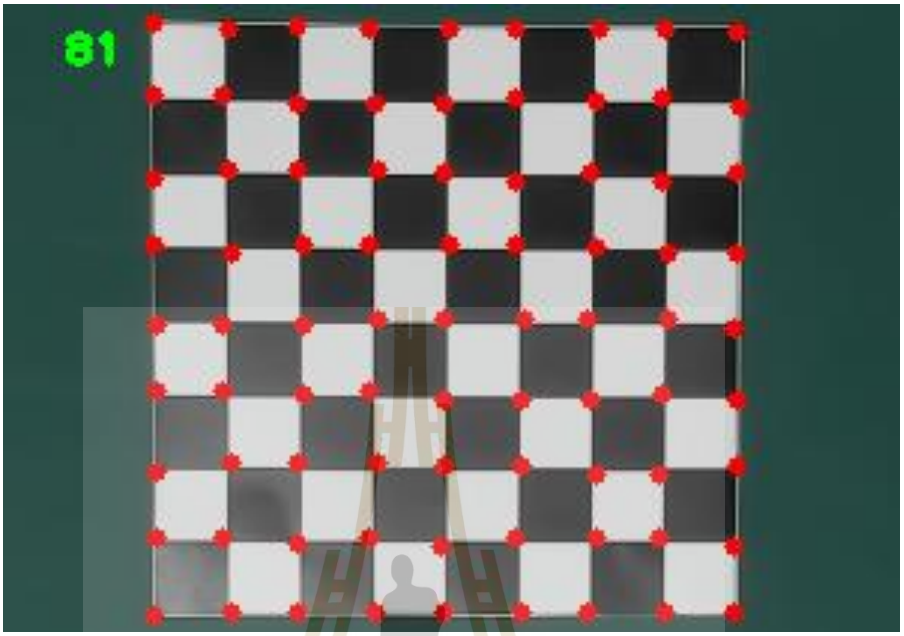
จากตารางที่ 4.1 จะพบว่า ค่าความผิดพลาดสูงสุดจากการเฉลี่ยทั้ง 4 ค่าความเร็ว ของรูปร่าง A1 มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสัญลักษณ์อื่น ๆ สัญลักษณ์ที่แม่นยำที่สุดเป็นอันดับที่ 2 คือ สัญลักษณ์ A2 ซึ่งทั้ง 2 สัญลักษณ์นี้จะมีความแม่นยำมากกว่า B1 และ B2 ที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกัน ส่วน ค่าความผิดพลาดของสัญลักษณ์ C1 และ C2 จะไม่สอดคล้องกันกับสัญลักษณ์ทั้ง 4 ที่กล่าวมาข้างต้น จากข้อสันนิษฐานที่ว่า เมื่อทดสอบที่ความเร็วสูงขึ้น ค่าความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้น โดยความผิดพลาดของสัญลักษณ์ C1 และ C2 เกิดจากมุมที่โปรแกรมตรวจจับบนสัญลักษณ์ในทุก ๆ 10 เฟรมของภาพ มีจำนวนมุมไม่คงที่ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการลากเส้นเวกเตอร์การกระจัดที่เชื่อมระหว่างเฟรมที่ 1 ไปยังเฟรมที่ 10 ซึ่งมีผลต่อการคำนวณค่าเฉลี่ยของความยาวเวกเตอร์การกระจัด ส่งผลให้การประมาณความเร็วเกิดการคลาดเคลื่อนได้

4.2 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณความเร็วสายพาน

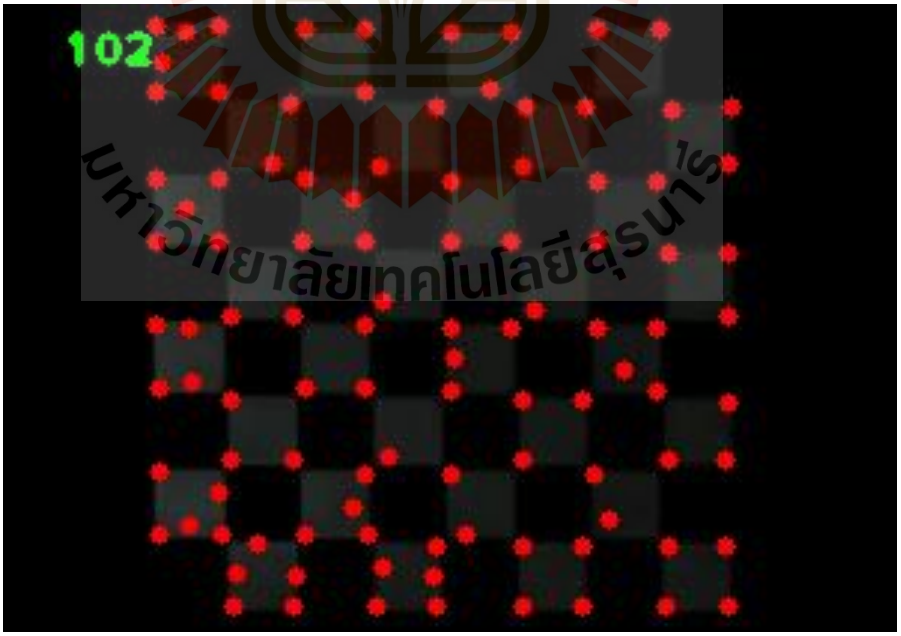
4.2.1 ความสว่าง

การทดสอบในการเลือกใช้ค่าความเข้มของแสงส่องสว่างที่มีค่าประมาณเท่ากับ 100, 300 และ 500 lux ซึ่งส่งผลต่อกระบวนตรวจจับมุมของวัตถุและสามารถทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการประมาณความเร็วของสายพานได้ โดยเลขที่มุมบนด้านซ้ายแสดงถึงจำนวนมุมที่โปรแกรมตรวจพบจากการอ่านด้วยโปรแกรมเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเป็นจริง และนำไปสู่การเลือกความสว่างในการทดลองที่เหมาะสม โดยมีผลการทดสอบดังนี้

4.2.1.1 ทดสอบด้วยตารางหมากรุก



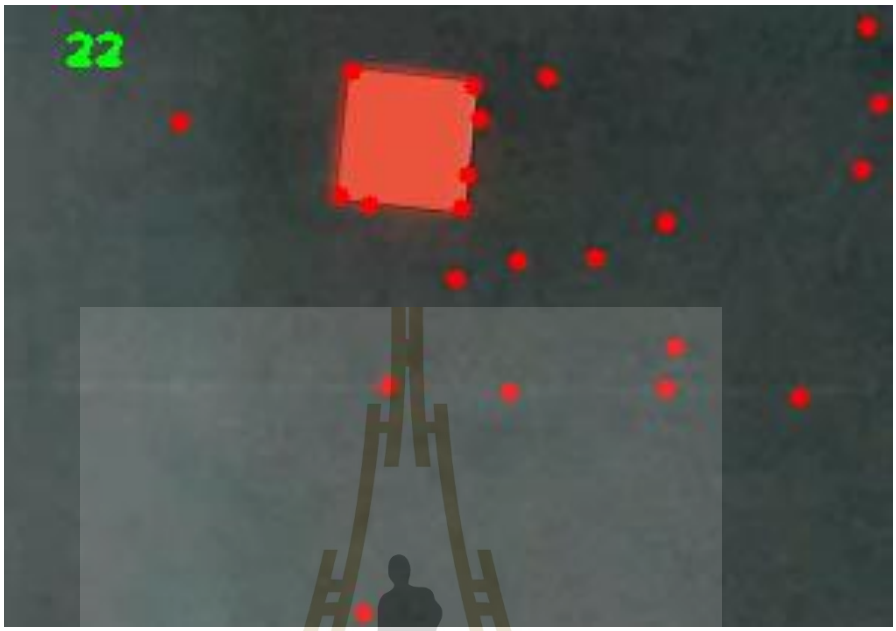
รูปที่ 4.1 ตรวจจับจำนวนมุมบนตารางหมารุกความสว่าง 500 lux



รูปที่ 4.2 ตรวจจับจำนวนมุมบนตารางหมารุกความสว่าง 0 lux

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.1.2 การทดสอบแสงสว่างที่ 100 lux

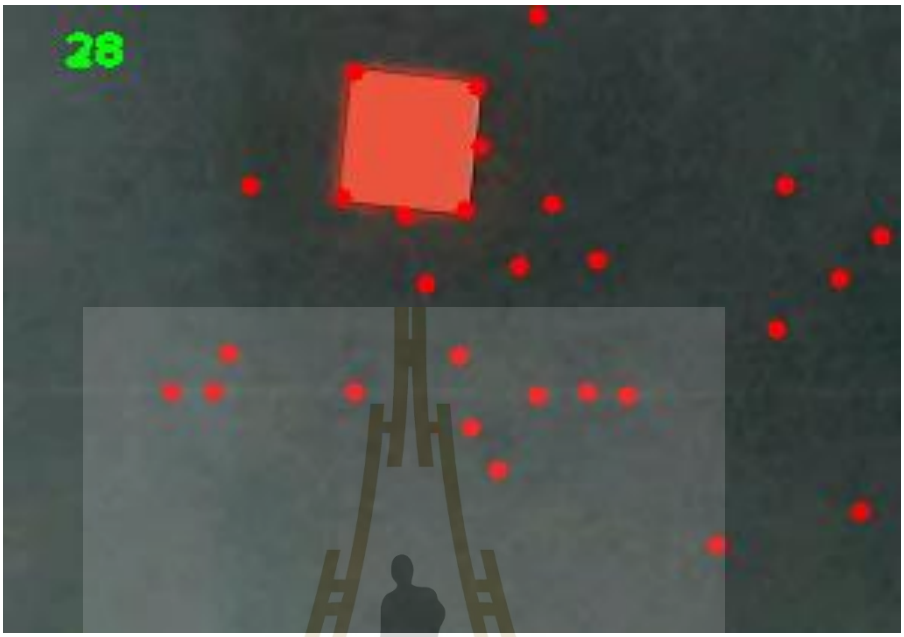


รูปที่ 4.3 ทดสอบที่ 100 lux ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.4 ทดสอบที่ 100 lux ครั้งที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.1.3 การทดสอบแสงสว่างที่ 300 lux

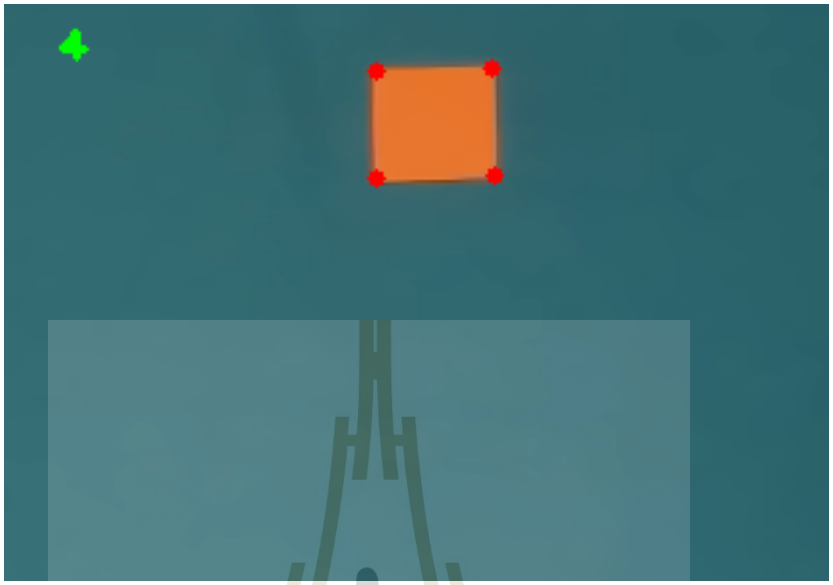


รูปที่ 4.5 ทดสอบที่ 300 lux ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.6 ทดสอบที่ 300 lux ครั้งที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.1.4 การทดสอบแสงสว่างที่ 500 lux



รูปที่ 4.7 ทดสอบที่ 500 lux ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.8 ทดสอบที่ 500 lux ครั้งที่ 2

4.2.1.5 การเลือกแสงสว่างที่เหมาะสมเพื่อไปใช้งาน

จากผลการทดลองที่ 4.2.1.2 ถึง 4.2.1.3 ทดสอบโดยใช้ความสว่างประมาณ 100 และ 300 lux ตามลำดับ พบว่า มีสิ่งรบกวนในการตรวจจับมุมของสัญลักษณ์รูป

สี่เหลี่ยมซึ่งอาจจะเป็นผลจากความสว่างไม่เพียงพอต่อการประมวลผลภาพของกล้อง ทำให้โปรแกรมเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับและนับจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ ซึ่งโดยปกติจะวัดได้ทั้งหมด 4 มุม จึงเลือกใช้ค่าความสว่างที่ 500 lux ในผลการทดลองที่ 4.2.1.4 เนื่องจากมีความแม่นยำในการตรวจหามุมและนับจำนวนมุมได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งยังเป็นค่าความสว่างทั่วไปที่ใช้ในสำนักงานหรือในครัวเรือน

4.2.2 รูปร่างและขนาดของสัญลักษณ์

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการนับจำนวนมุม เพื่อให้เกิดความแน่ชัดว่าภาพในเฟรมที่แตกต่างกันจะมีจำนวนมุมของสัญลักษณ์ที่เท่ากัน เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการลากเส้นเวกเตอร์การกระจัดที่เชื่อมต่อกันระหว่างเฟรมแรกจนถึงเฟรมสุดท้ายที่นำมาประมาณความเร็วของสายพาน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจจับจำนวนมุมบนสัญลักษณ์

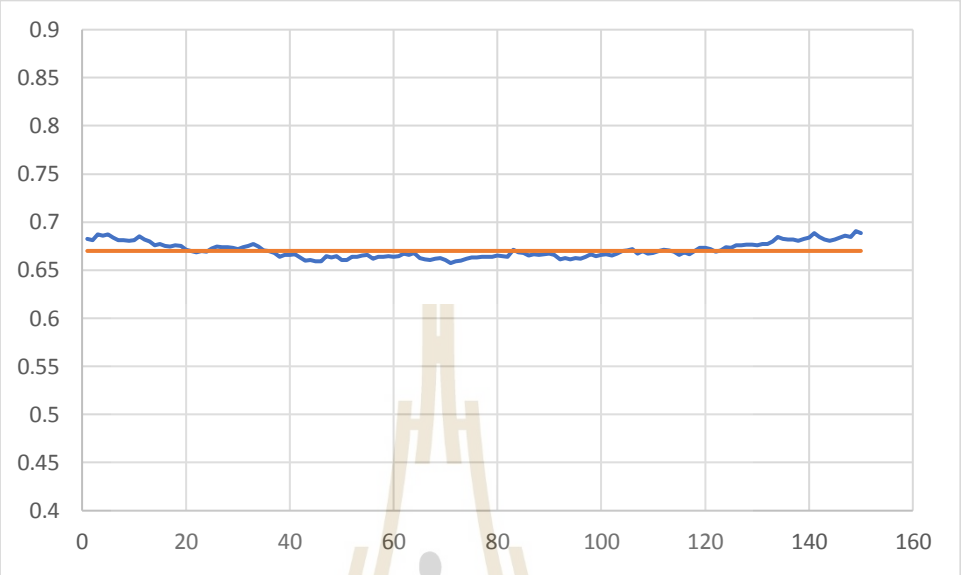
รูปร่างสัญลักษณ์	**จำนวนมุมที่ตรวจพบ**				
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 5**
A1	4	4	4	4	4
A2	4	4	4	4	4
B1	3	3	3	3	3
B2	3	3	3	3	3
C1	6	5	5	6	6
C2	3	3	4	3	4

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าสัญลักษณ์ C1 และ C2 เกิดความผิดพลาดที่โปรแกรมนับจำนวนมุม แต่สัญลักษณ์ A และ B ไม่พบความผิดพลาดใด ๆ ในการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง จึงเป็นเหตุผลที่ไม่ควรใช้สัญลักษณ์รูปวงกลมในการทดลองการประมาณความเร็วของสายพาน

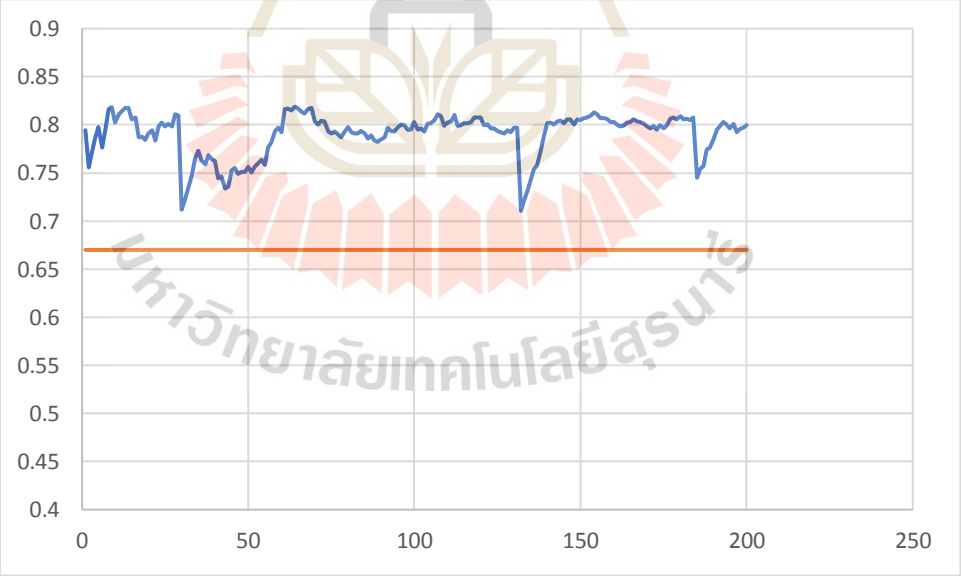
4.2.3 อัตราการถ่ายภาพของกล้อง

การควบคุมให้อัตราถ่ายภาพของกล้องมีค่าคงที่จึงมีความสำคัญต่อการเก็บผลการทดลองเป็นอย่างมาก รูปร่างสัญลักษณ์ที่ใช้เป็น A1 A2 B1 และ B2 กำหนดความเร็วของสายพานทั้งหมด 4 ค่าได้แก่ 0.67, 1.34, 2.01 และ 2.68 เซนติเมตรต่อวินาที อัตราการถ่ายภาพทั้งหมด 4 ค่าได้แก่ 3, 6, 15 และ 30 เฟรมต่อวินาที ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.2.3.1 ทดสอบโดยใช้รูปร่าง A1 ที่ความเร็วสายพาน 0.67 ซม./วินาที

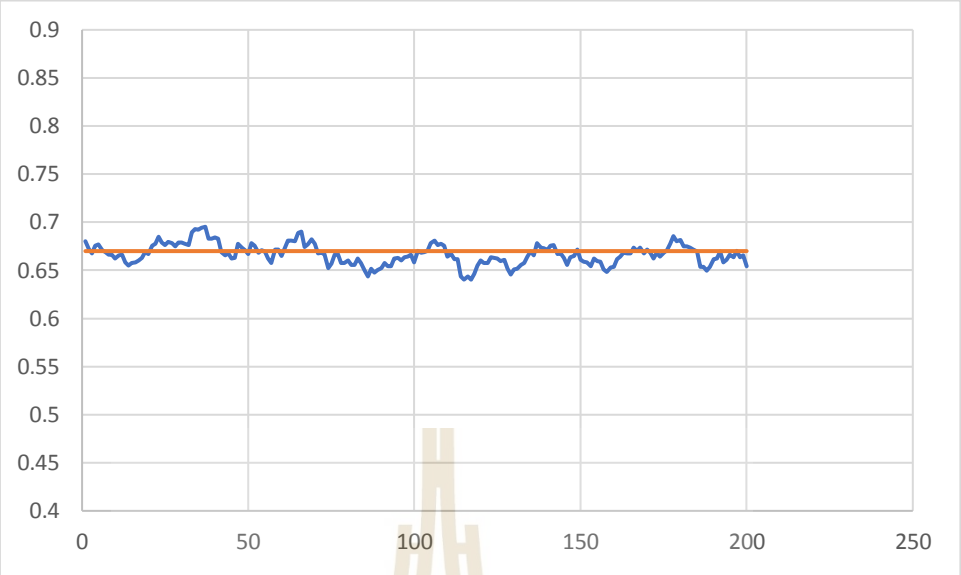


รูปที่ 4.9 ทดสอบที่ 3 FPS

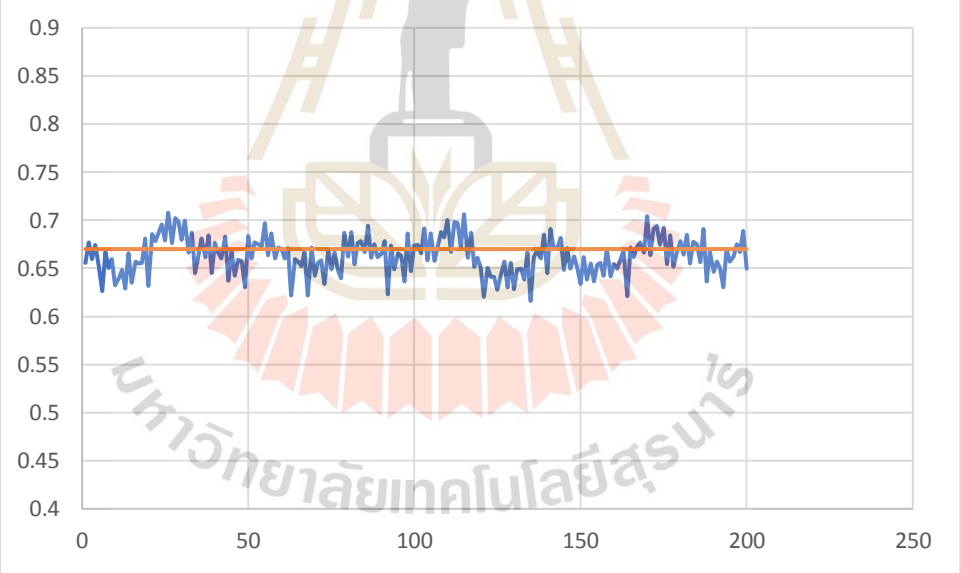


รูปที่ 4.10 ทดสอบที่ 6 FPS

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

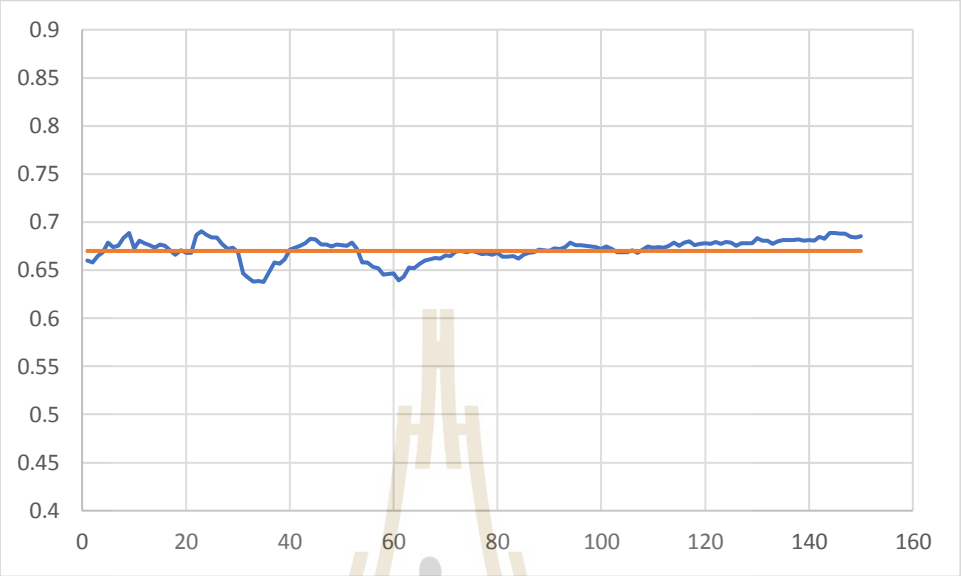


รูปที่ 4.11 ทดสอบที่ 15 FPS

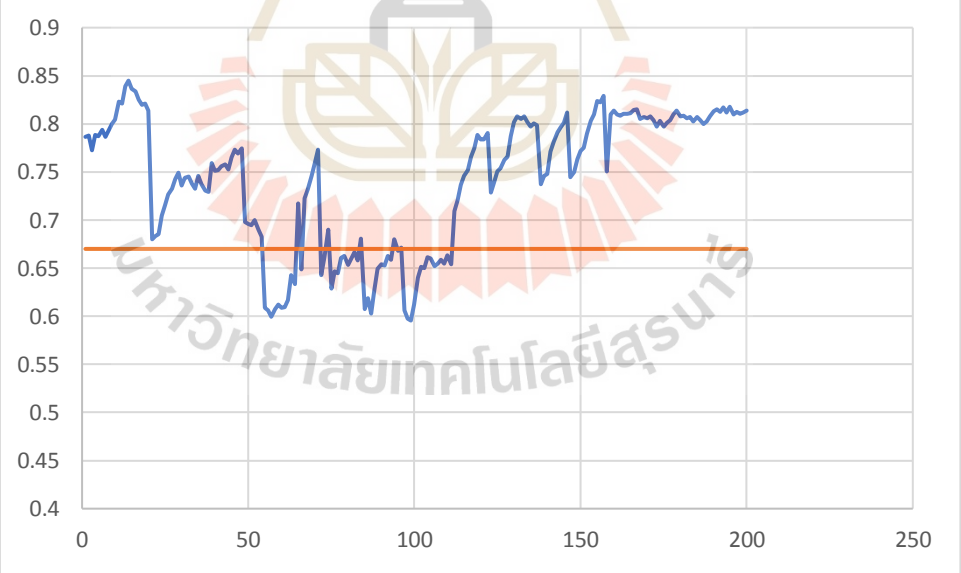


รูปที่ 4.12 ทดสอบที่ 30 FPS

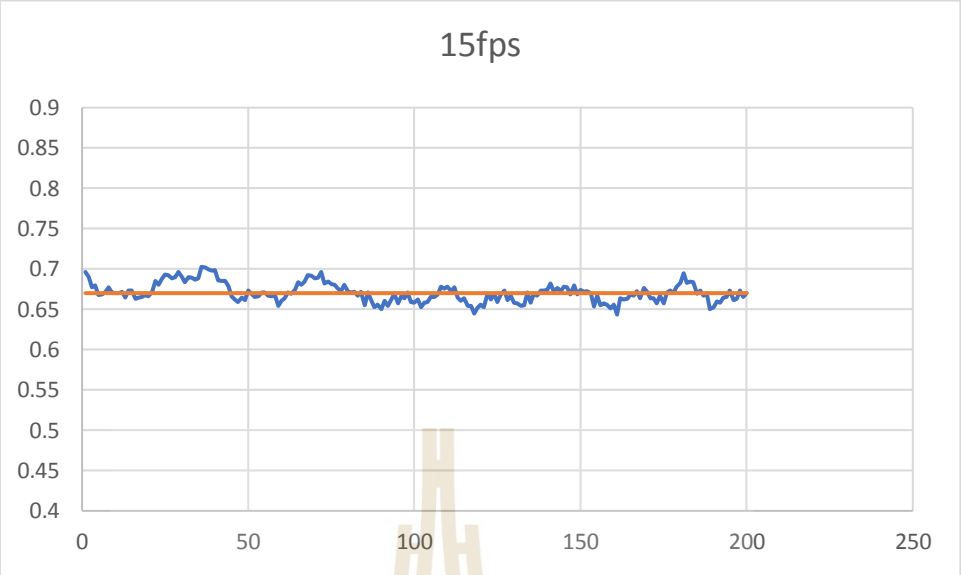
4.2.3.2 ทดสอบโดยใช้รูปร่าง A2 ที่ความเร็วสายพาน 0.67 ซม./วินาที



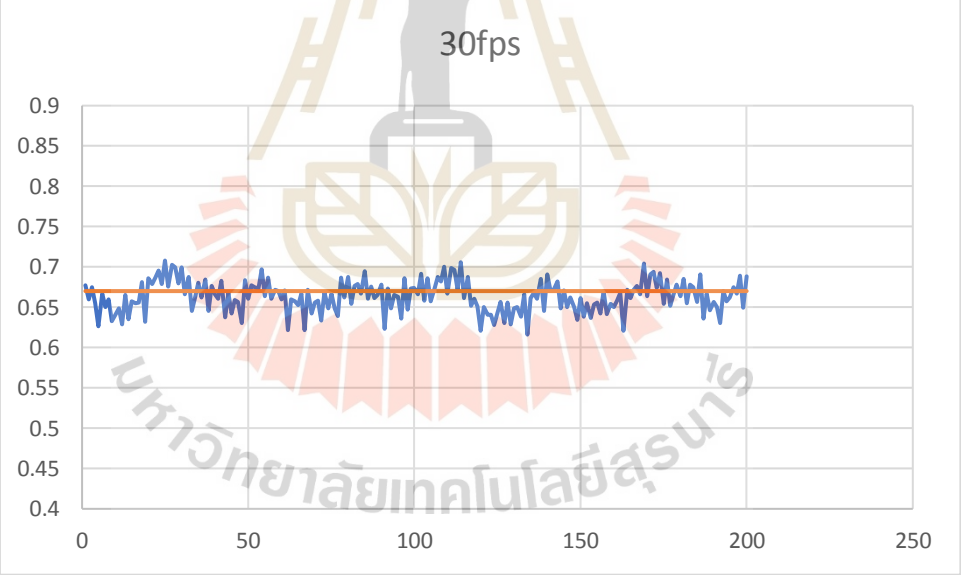
รูปที่ 4.13 ทดสอบที่ 3 FPS



รูปที่ 4.14 ทดสอบที่ 6 FPS

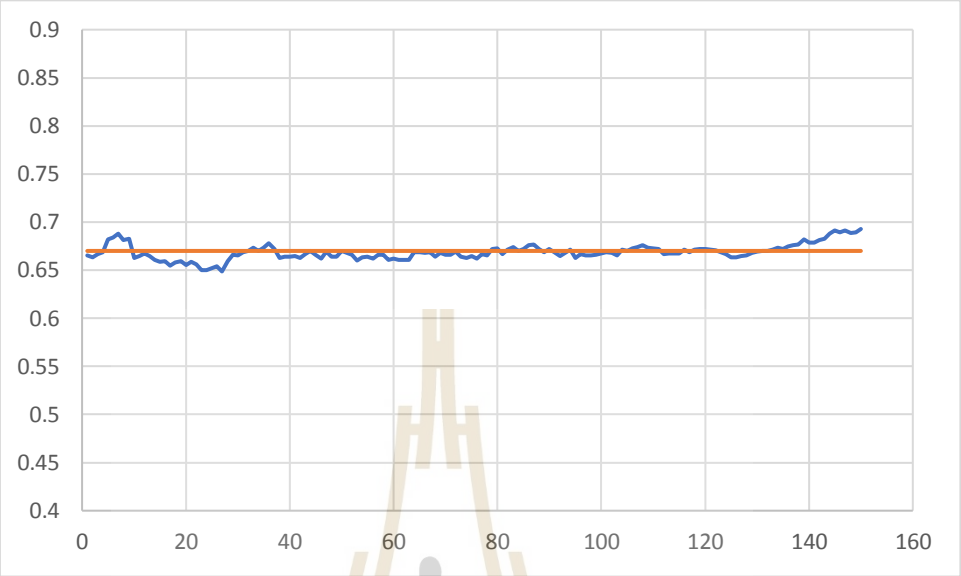


รูปที่ 4.15 ทดสอบที่ 15 FPS

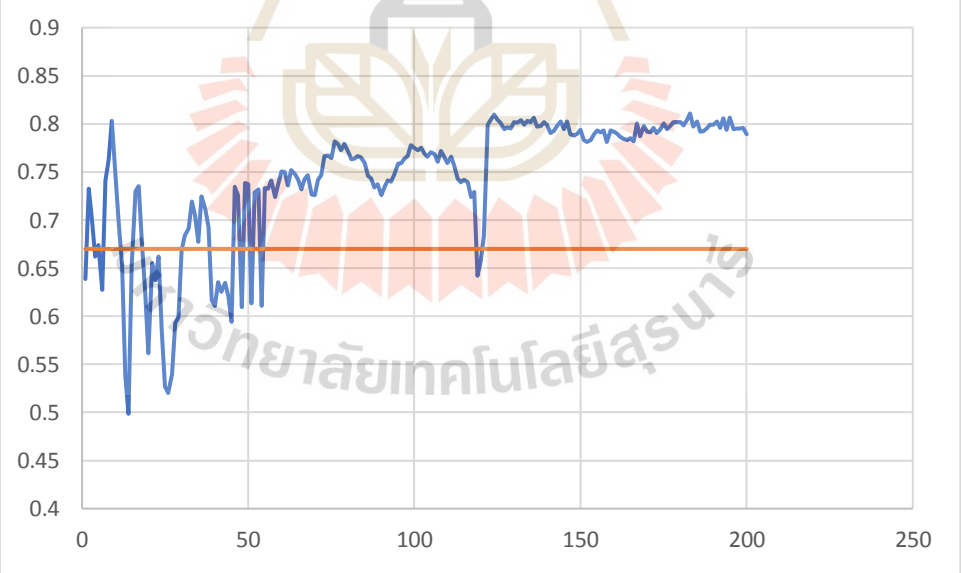


รูปที่ 4.16 ทดสอบที่ 30 FPS

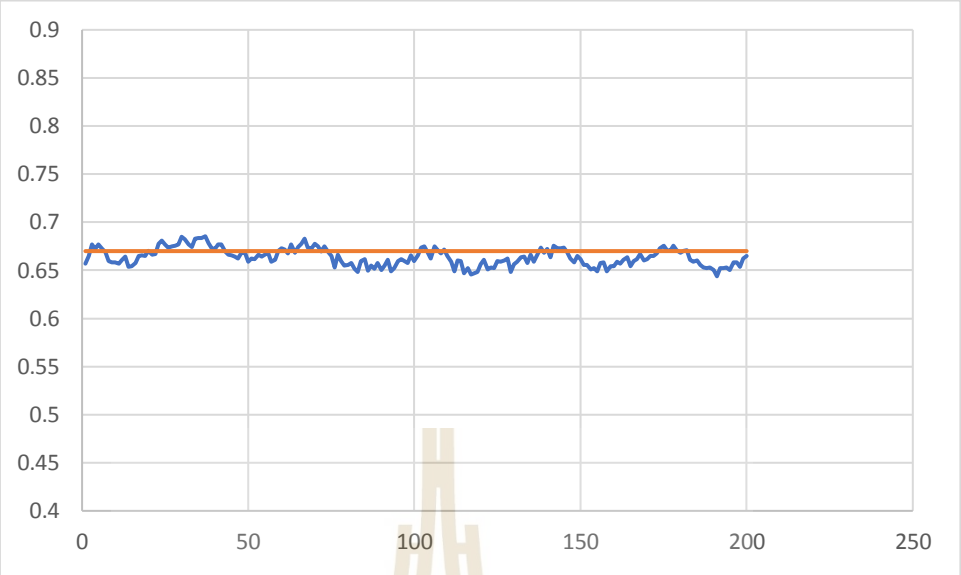
4.2.3.3 ทดสอบโดยใช้รูปร่าง B1 ที่ความเร็วสายพาน 0.67 ซม./วินาที



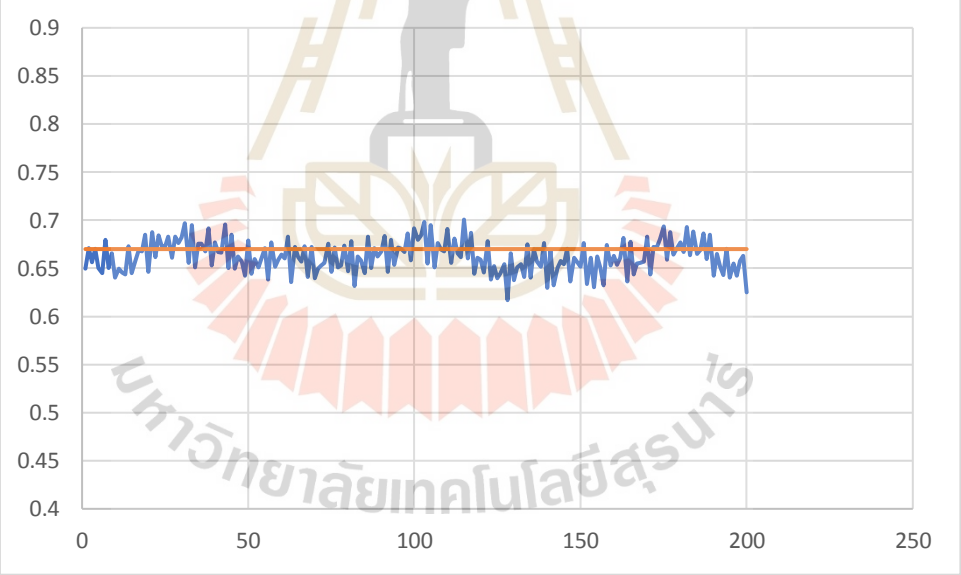
รูปที่ 4.17 ทดสอบที่ 3 FPS



รูปที่ 4.18 ทดสอบที่ 6 FPS



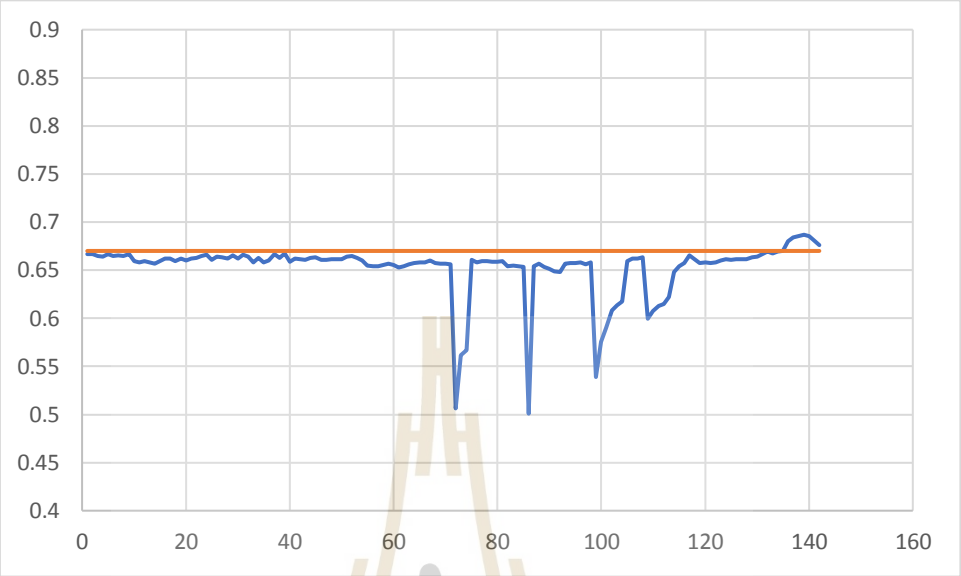
รูปที่ 4.19 ทดสอบที่ 15 FPS



รูปที่ 4.20 ทดสอบที่ 30 FPS

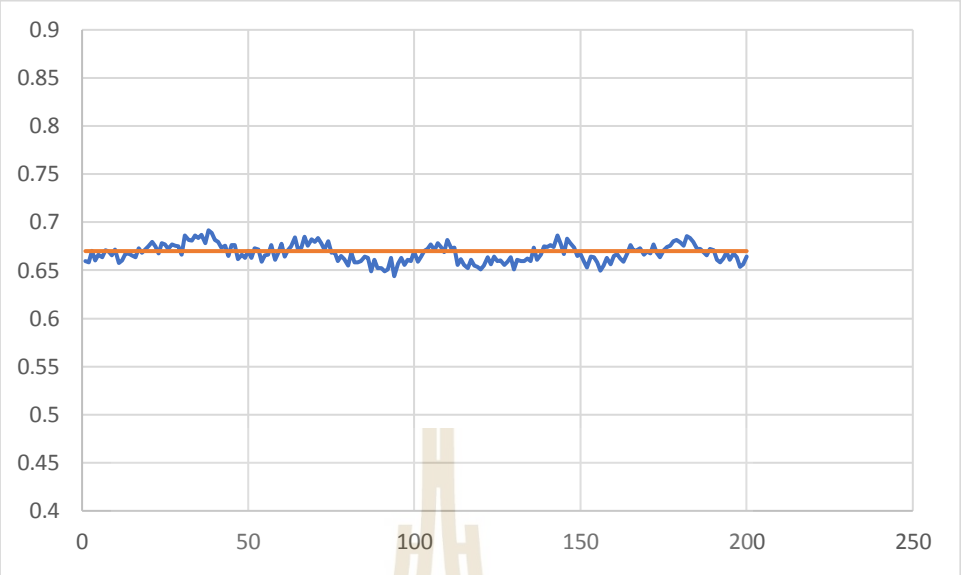
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.3.4 ทดสอบโดยใช้รูปร่าง B2 ที่ความเร็วสายพาน 0.67 ซม./วินาที

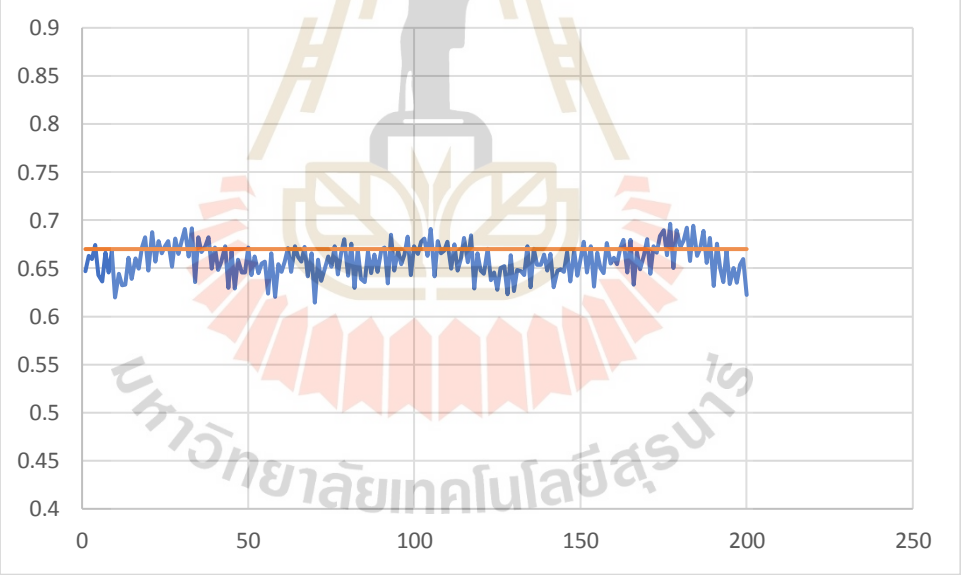


รูปที่ 4.21 ทดสอบที่ 3 FPS

รูปที่ 4.22 ทดสอบที่ 6 FPS

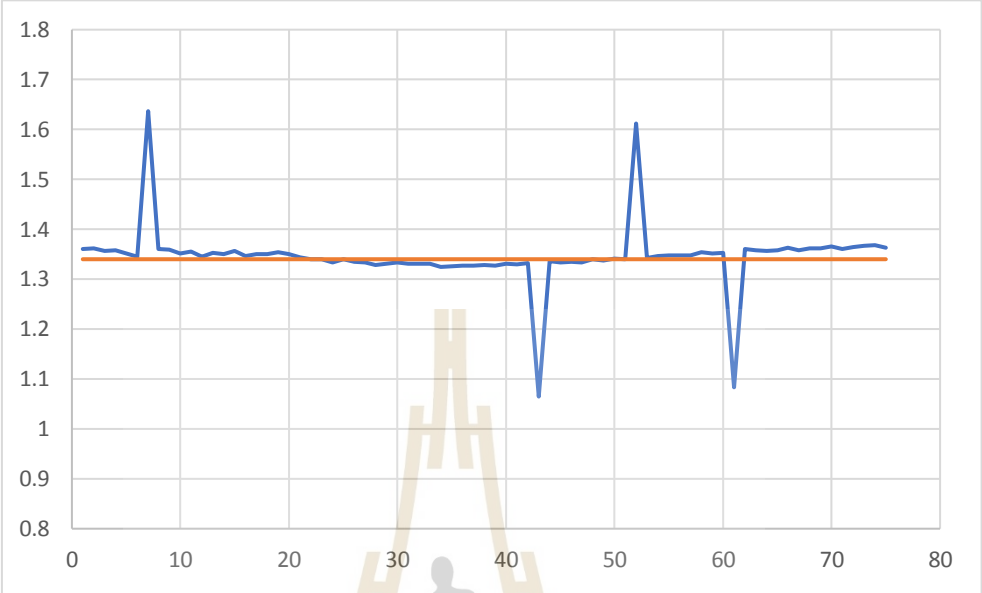


รูปที่ 4.23 ทดสอบที่ 15 FPS

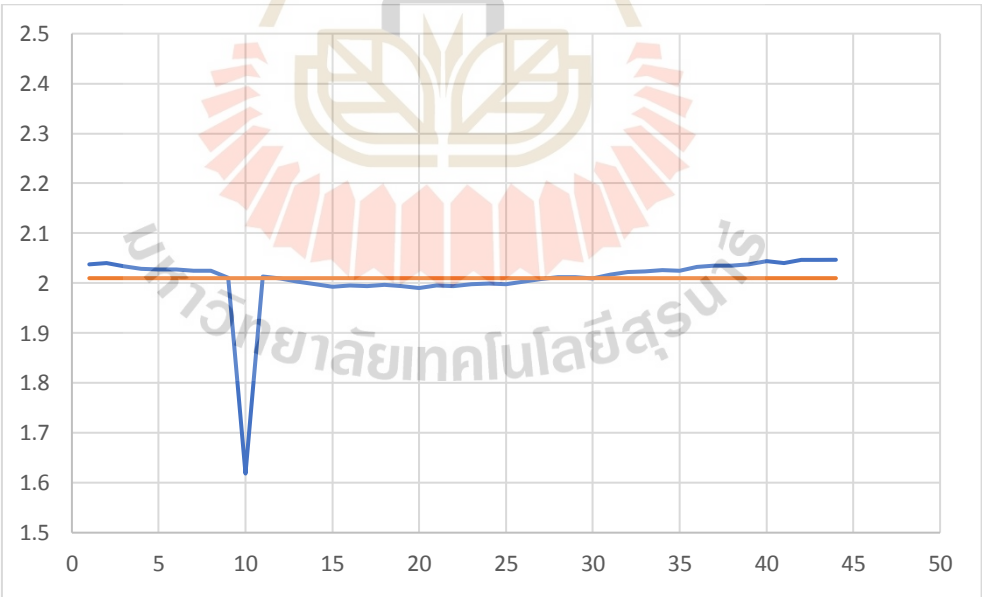


รูปที่ 4.24 ทดสอบที่ 30 FPS

4.2.3.5 ทดสอบโดยใช้รูปร่าง A1 ที่ 3 FPS

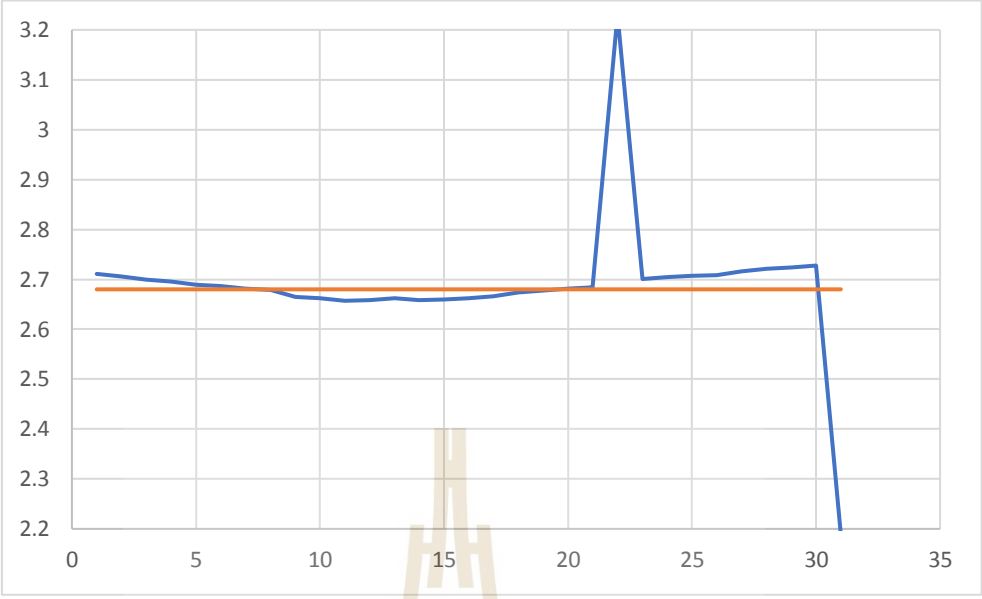


รูปที่ 4.25 ทดสอบที่ความเร็ว 1.34 ซม./วินาที



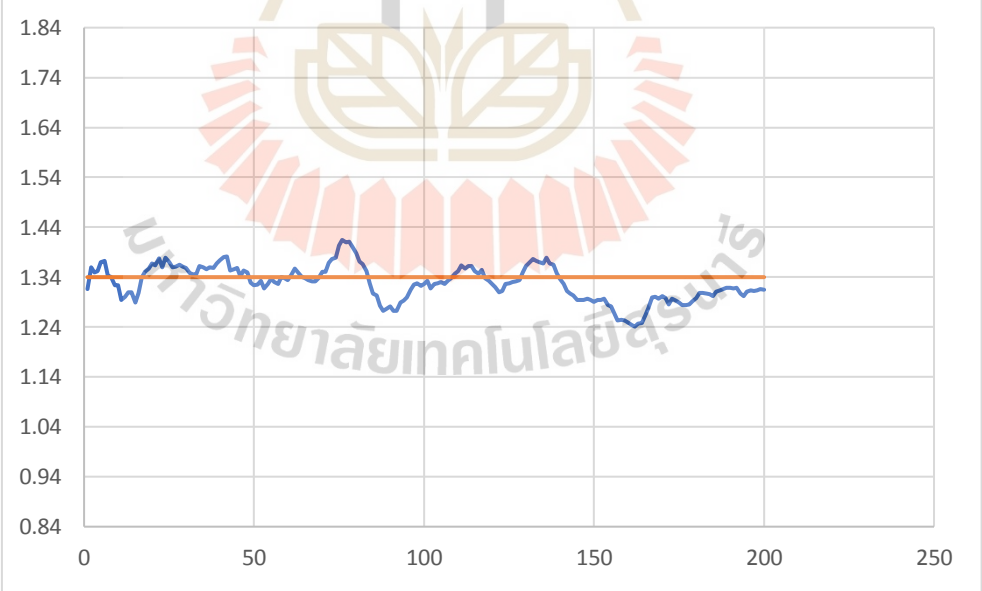
รูปที่ 4.26 ทดสอบที่ความเร็ว 2.01 ซม./วินาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

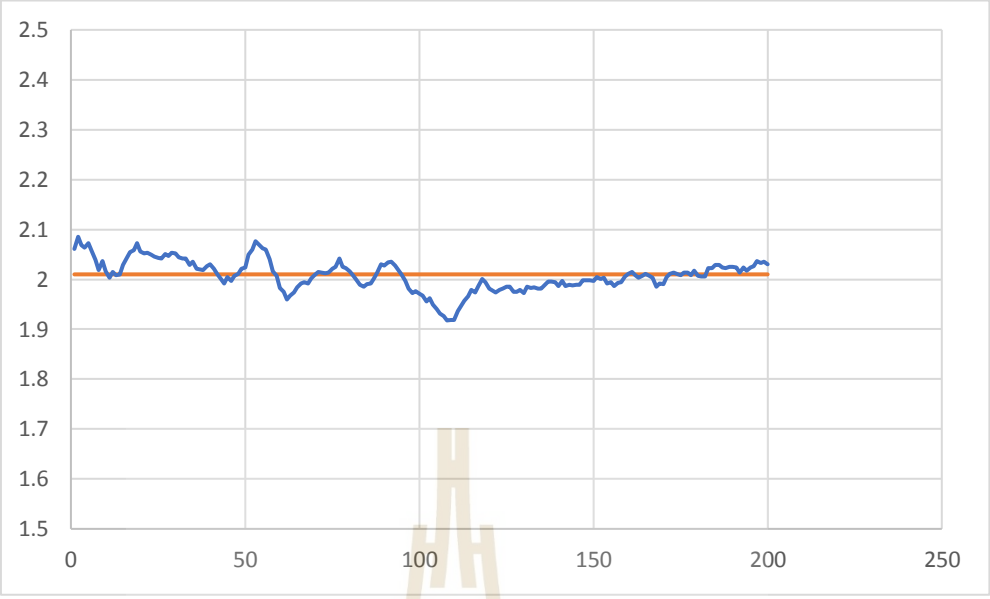


รูปที่ 4.27 ทดสอบที่ความเร็ว 2.01 ซม./วินาที

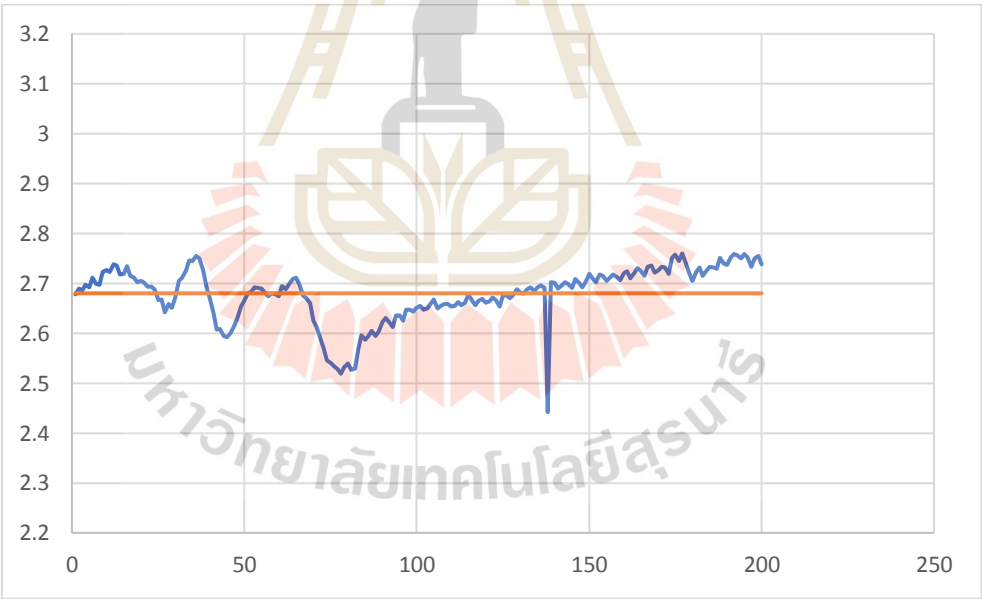
4.2.3.6 ทดสอบโดยใช้รูปร่าง A1 ที่ 15 FPS



รูปที่ 4.28 ทดสอบที่ความเร็ว 1.34 ซม./วินาที



รูปที่ 4.29 ทดสอบที่ความเร็ว 2.01 ซม./วินาที

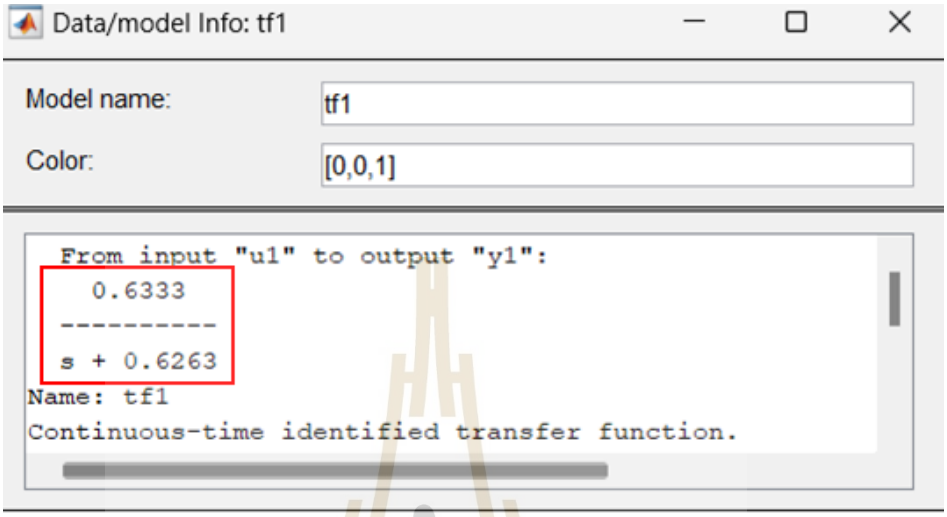


รูปที่ 4.30 ทดสอบที่ความเร็ว 2.68 ซม./วินาที

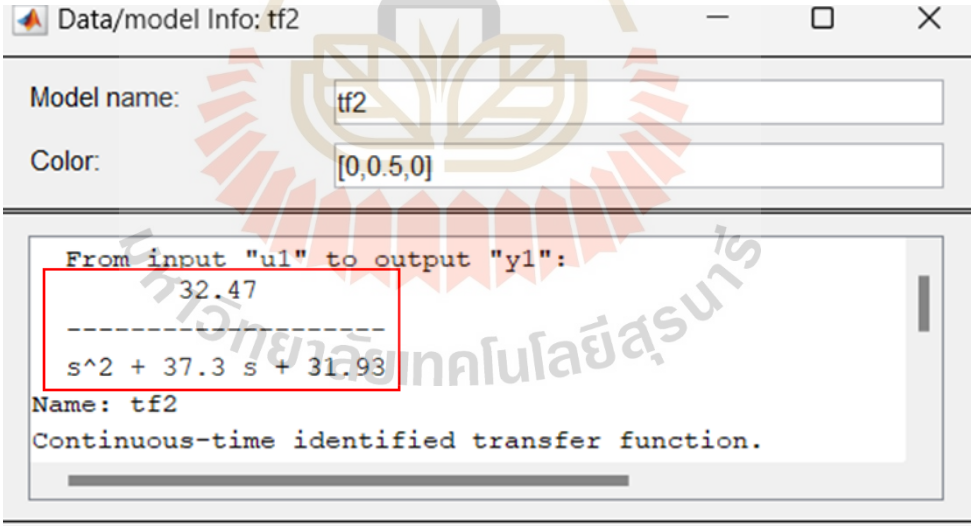
4.3 การประมาณแบบจลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อนำค่าอินพุตและเอาต์พุตไปประมาณแบบจลองทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรม MATLAB ที่มีฟังก์ชัน system identification เพื่อทำการพลอตเป็นกราฟระหว่างความเร็วและเวลา จะได้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังรูปที่ 4.29 ซึ่งเป็นสมการชนิด First order และรูปที่ 4.30 ที่เป็นสมการชนิด Second order



รูปที่ 4.31 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ First order



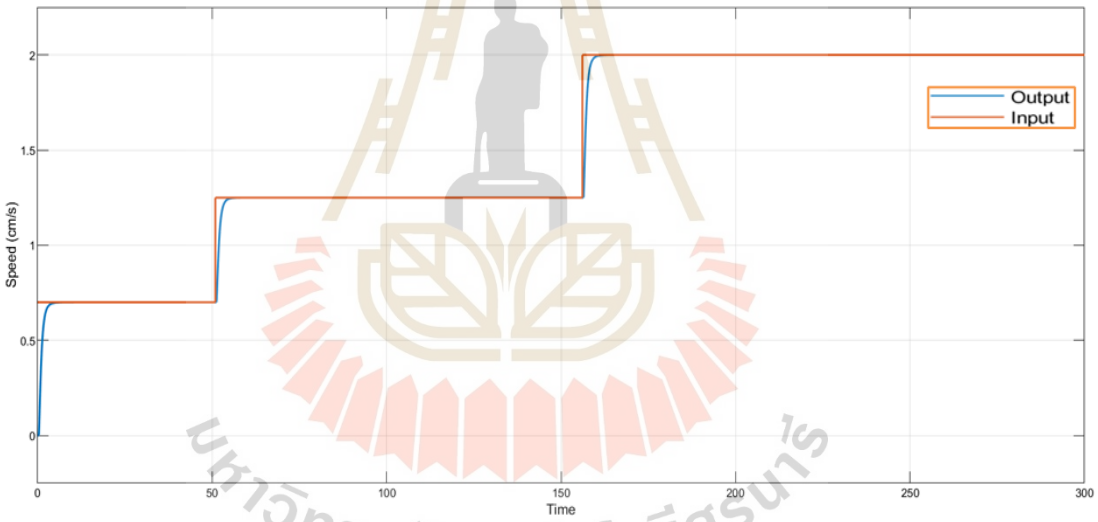
รูปที่ 4.32 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Second order

สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\frac{32.47}{(S^2+37.3S+31.93)} \tag{3.2}$$

4.4 ผลการตอบสนองของระบบแบบจำลอง

เมื่อสร้างระบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ที่มีตัวควบคุมชนิด PI คูณอยู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยระบบเป็นระบบชนิดวงปิด โดยไม่มีมีค่าเปอร์เซ็นต์ overshoot เริ่มวิ่งด้วยความเร็ว 0.67 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.0 และค่าสุดท้ายเป็น 1.34 เซนติเมตรต่อวินาที เวลาของระบบที่ลู่เข้าสู่ค่าความเร็วอ้างอิงเท่ากับ 4 วินาที และรักษาความเร็วให้คงที่เท่ากับความเร็วที่อ้างอิงของสายพาน กราฟจากการจำลองด้วยโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 4.31

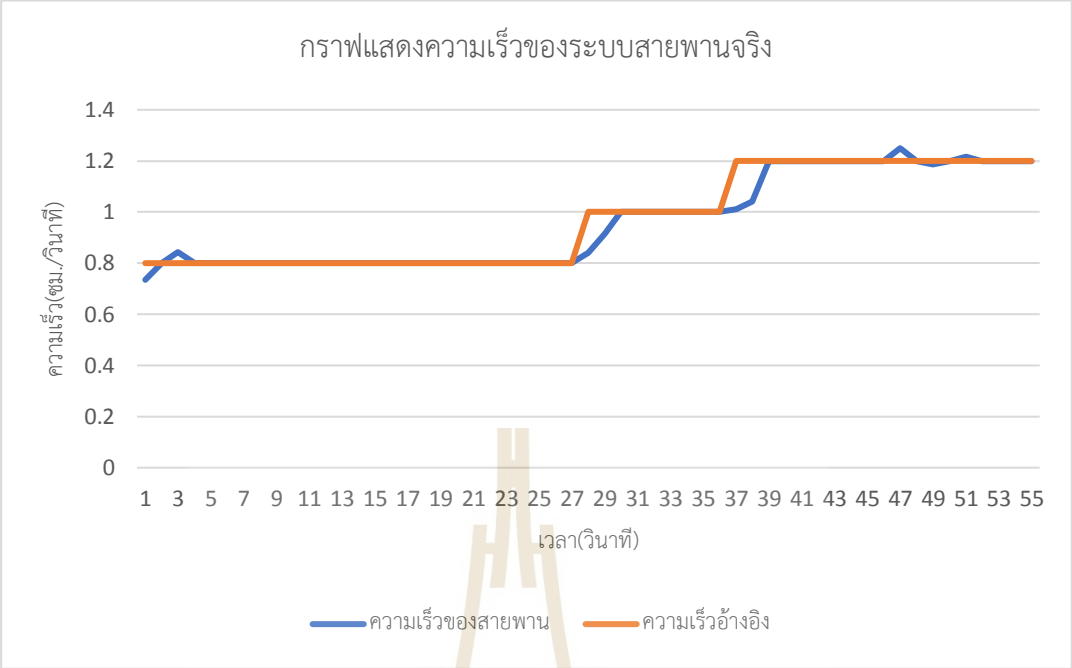


รูปที่ 4.33 ผลการตอบสนองจากการจำลองของระบบวงปิด

4.5 ผลการตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วของสายพานจริง

เมื่อการทดสอบกับระบบจริงเสร็จสมบูรณ์ โดยการทดลองจะเป็นการเริ่มวิ่งด้วยความเร็ว 0.8 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.0 และค่าสุดท้ายเป็น 1.2 เซนติเมตรต่อวินาที จะพบว่า เวลาที่เข้าสู่ความเร็วอ้างอิงในช่วงที่เปลี่ยนอินพุตมีค่าเท่ากับ 4 วินาที และมีค่าเท่ากันทั้งในช่วงแรกและช่วงที่สอง โดยมีความสอดคล้องกันกับระบบจำลองตามผลการทดลองที่ 4.4 แสดงดังรูปที่ 4.32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.34 ผลการตอบสนองของระบบสายพานจริง

4.6 สรุป

จากการทดลองเพื่อประมาณความเร็วของสายพาน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ภาพด้วยการไหลของแสงจะมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความสว่างในการทดลอง รูปร่างและขนาดของสัญลักษณ์ และอัตราการถ่ายภาพของกล้อง ผลการทดลองการประมาณความเร็วโดยสัญลักษณ์รูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 3x3 เซนติเมตร^2 มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) น้อยที่สุดในการทดสอบที่ค่าความสว่าง 500 lux ในส่วนการทดสอบระบบควบคุมจากการจำลองที่ประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสร้างระบบวงปิด โดยระบบจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงที่ 4 วินาที และไม่มี overshoot ซึ่งตรงกันกับผลการตอบสนองของระบบสายพานจริงในงานวิจัย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคนิคการไหลของแสงเพื่อใช้ในการประมาณความเร็วของสายพานโดยมุ่งเน้นไปที่การใช้กล้องแทนการใช้อุปกรณ์ในการวัดชนิดสัมผัสกับสายพานโดยตรง เพื่อป้องกันสายพานเสียหายรวมทั้งไม่รบกวนพื้นที่การทำงาน และทดสอบหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการไหลของแสง เพื่อนำไปออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วของสายพาน ที่มีตัวควบคุมชนิด PI ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในช่วงความเร็ว 0.7 ถึง 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที จากการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยค่าความเร็วของสายพานที่ประมาณได้ด้วยกล้องร่วมกับหลักการการไหลของแสงทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการตอบสนองของระบบ เพื่อนำมาปรับใช้กับระบบจริง ซึ่งสามารถสรุปตามขั้นตอนในการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 การทดลองเพื่อประมาณความเร็วของสายพาน

โดยในการทดลองจะใช้สัญลักษณ์ทั้งหมด3 รูปร่าง โดยแต่ละรูปร่างจะแบ่งเป็น 2 ขนาด จะพบว่า รูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 3x3 เซนติเมตร^2 มีความแม่นยำสูงที่สุด รูปร่างวงกลมมีความผิดพลาดในการประมาณความเร็วที่เกิดจากการหาจำนวนมุมในแต่ละเฟรมของภาพจะพบจำนวนมุมบนวงกลมไม่เท่ากัน ส่งผลให้การลากเวกเตอร์ระหว่างเฟรมต่อเฟรมนั้นไม่คงที่ ทำให้การเฉลี่ยความเร็วของรูปร่างวงกลมเกิดความคลาดเคลื่อน

5.1.2 ความสว่างที่มีผลต่อการประมาณความเร็ว

จากการทดลองที่ใช้ค่าความสว่างประมาณ 100, 300 และ 500 ลักซ์ ที่สามารถวัดได้จากมิเตอร์วัดแสงแบบดิจิตอล ด้วยการตรวจจับและนับจำนวนมุมบนสัญลักษณ์ที่ติดบนสายพาน จากการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จะพบว่าที่ความสว่าง 100 และ 300 ลักซ์เกิดความผิดพลาดในการตรวจจับและนับจำนวนมุม และที่ความสว่าง 500 ลักซ์ พบว่าไม่เกิดความผิดพลาดในการทดลอง จึงเป็นค่าที่เหมาะสมและเป็นค่าความสว่างที่ใช้ในอาคารโดยทั่วไป

5.1.3 รูปร่างและขนาดของสัญลักษณ์ที่มีผลต่อการประมาณความเร็ว

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า รูปร่างที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองคือรูปร่าง C1 และ C2 (วงกลมทั้ง 2 ขนาด) เนื่องจากโปรแกรมตรวจจับมุมได้ไม่คงที่เมื่อเปรียบกันระหว่างเฟรมของภาพที่ต่อเนื่องกัน จึงเลือกใช้รูปร่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมเป็นตัวแปรในการทดลองถัด ๆ ไป เพราะไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการทดลอง

5.1.4 อัตราการถ่ายภาพที่มีผลต่อการประมาณความเร็วของสายพาน

จากการทดลองที่ปรับอัตราการถ่ายภาพทั้งหมด 4 ค่า จะพบว่า ที่ 6 และ 30 FPS มีความเคลื่อนเคลื่อนสูงเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ นำมาซึ่งความไม่แม่นยำเมื่อนำไปใช้ในการระบบควบคุม ในส่วนของ 3 และ 15 FPS มีความแม่นยำสูงและใกล้เคียงกันที่ความเร็วสายพานที่ต่ำที่สุดคือ 0.67 เซนติเมตรต่อวินาที แต่เมื่อทดสอบที่ความเร็ว 1.34 ถึง 2.68 ที่อัตรา 3 FPS จะเกิดข้อผิดพลาดในบางครั้งซึ่งเกิน 5 เปอร์เซ็นต์และสูงกว่าที่อัตรา 15 FPS ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราการถ่ายภาพที่ค่า 15 FPS เป็นตัวแปรในการทดลองเพื่อสร้างระบบควบคุม

5.1.5 ประมาณการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสายพาน

ด้วยโปรแกรม MATLAB - Simulink โดยมีอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์และมีค่าความเร็วที่อ่านได้จากกล้องเป็นเอาต์พุต โดยมีค่าความแม่นยำในการประมาณเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะอยู่ในรูปแบบ second order ซึ่งตรงกันกับสมการทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้า

5.1.6 ออกแบบระบบควบคุมความเร็วสายพานแบบวงปิด

โดยระบบจะมีการเปรียบเทียบระหว่างค่าเอาต์พุตและค่าความเร็วของสายพานอ้างอิง เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยมีตัวควบคุม PI เป็นตัวควบคุมค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อให้ระบบมีการตอบสนองที่ดียิ่งขึ้น และรักษาระดับความเร็วให้คงที่เท่ากับค่าความเร็วของสายพานอ้างอิง ในช่วงความเร็ว 0.7 ถึง 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที โดยผลการตอบสนองจะไม่มี Overshoot และมีค่า Settling time เท่ากับ 4 วินาที

5.1.7 การนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

เมื่อนำงานวิจัยนี้ไปใช้ในงานอุตสาหกรรม จะสามารถลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์การวัดความเร็วของสายพาน รวมไปถึงการหลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์การวัดที่ต้องสัมผัสกับสายพาน ซึ่งอาจส่งผลต่อพื้นที่การทำงาน และการซ่อมบำรุงรวมไปจนถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องควบคุมความสว่างเนื่องจากเป็นการใช้กล้องเพื่อจับภาพและประมาณเป็นความเร็ว จึงเหมาะสมกับพื้นที่การทำงานที่มีความสว่างคงที่ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการวัดความเร็วของสายพาน

5.2.2 สัญลักษณ์ที่มีรูปร่างหกเหลี่ยมอาจมีความแม่นยำมากกว่า เนื่องจากมีค่าความเร็วที่นำมาเฉลี่ยมากกว่ารูปร่างสี่เหลี่ยม แต่อาจทำให้เวลาในการประมวณผลเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการวัดความเร็ว

5.2.3 ค่าตัวควบคุม PI ของระบบที่ทดลองจะไม่เหมาะสมหากใช้ในช่วงความเร็วที่นอกเหนือจากการทดลอง หรืออาจจะใช้ได้แต่ผลการตอบสนองจะไม่ดีเท่าที่ควร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

B. Kalyani, and K. Manjula, “Food Irradiation - Technology and Application,” Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., vol. 3, pp. 549-555, April 2014.

G. Chang, Z. Luo, Y. Zhang, X. Xu, T. Zhou, and X. Wang, “Effect and Mechanism of Eliminating Staphylococcus aureus by Electron Beam Irradiation and Reducing the Toxicity of Its Metabolites,” Appl. Environ. Microbiol., vol 89, pp. 2-11, February 2023.

D. He, Y. Pang, G. Lodewijks, and X. Liu, ‘‘Healthy speed control of belt conveyors on conveying bulk materials,’’ Powder Technol., vol. 372, pp. 408–419, March 2018.

D. He, Y. Pang, and G. Lodewijks, ‘‘Speed control of belt conveyors during transient operation,’’ Powder Technol., vol. 301, pp. 622–631, November 2016.

M. Bebic and L. Ristic, “Speed controlled belt conveyors: drives and mechanical considerations,” Advances in Electrical and Computer Engineering, vol. 18, pp. 51-61, July 2018.

S. Israa, and H. Hiba, “Implementation of artificial neural network to achieve speed control and power saving of a belt conveyor system,” Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 1, pp. 44-53, April 2021.

X. Feng, C. Jo, K. Nam, and D. Ahn, “Impact of electron-beam irradiation on the quality characteristics of raw ground beef,” Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 54, pp. 87-92, March 2019.

M. Krey, K. R. Schneider, and S. Zippel, ‘‘Signal synthesis for magneto resistive speed sensors based on field simulations combined with measured sensor characteristic diagrams,’’ in Proc. IEEE Int. Instrum. Meas.Technol. Conf., vol. 1, pp. 300–305, May 2012.

W. Kokuyama, T. Watanabe, H. Nozato, and A. Ota, ‘‘Angular velocity calibration system with a self-calibratable rotary encoder,’’ Measurement, vol. 82, pp. 246–253, March 2016.

Z. Liu, J. Li, Y. Ke, Y. Zhao, and J. Liu, ‘‘Velocity measurement based on alternate M/T method and incremental optical encoder,’’ Adv. Mater. Res., vol. 295, pp. 2552–2555, July 2011.

K. Zhang, Y. Liang, X. Bian, and P. Yang, “Torque Analytical Calculation of Formed Winding Permanent Magnet Motor,” IEEE Access, vol. 11, pp. 36702-36712, April 2023.

J. Tessier, C. Duchesne, and G. Bartolacci, ‘‘A machine vision approach to online estimation of run of mine ore composition on conveyor belts,’’ Minerals Eng., vol. 20, pp. 1129–1144, Oct. 2007.

W. Yang, X. Zhang, and H. Ma, ‘‘An inspection robot using infrared thermography for belt conveyor,’’ in Proc. 13th Int. Conf. Ubiquitous Robots Ambient Intell., pp. 400–404, August 2016.

Y. Gao, T. Qiao, H. Zhang, Y. Yang, Y. Pang, and H. Wei, ‘‘A contactless measuring speed system of belt conveyor based on machine vision and machine learning,’’ Measurement, vol. 139, pp. 127–133, June 2019.

J. Zhang, M. M. Lek, S. Lazebnik, and C. Schmid, ‘‘Local features and kernels for classification of texture and object categories: A comprehensive study,’’ Int. J. Comput. Vis., vol. 73, pp. 213–238, June 2006.

S. Hare, A. Saffari, and P. H. S. Torr, ‘‘Efficient online structured output learning for key point-based object tracking,’’ in Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., pp. 1894–1901, June 2012.

N. Feng, G. Luchen, H. Yanfeng, L. Dong, and W. Xiaoxue, “Research on operation stability for model predictive speed control system based on parameter mismatch for motors,” Dianji yu Kongzhi Xuebao/Electric Machines and Control, vol. 27, pp. 55-63, June 2023.

S. Saensri, S. Prawanta, S. Odngam, and J. Srisertpol, “PI-servo with State-D Feedback and Observer for Magnetic Stirrer Machine,” International Conference on Circuits, Devices and Systems, vol. 1, pp.6-10, September 2017.

C. Lin, “Introduction to Motion Estimation with Optical Flow,” Computer Science, HKUST, vol. 1, April 2019.

ภาคผนวก ก

รายละเอียดอุปกรณ์ในงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มอเตอร์ไฟฟ้า

Dimensions (Unit = mm)

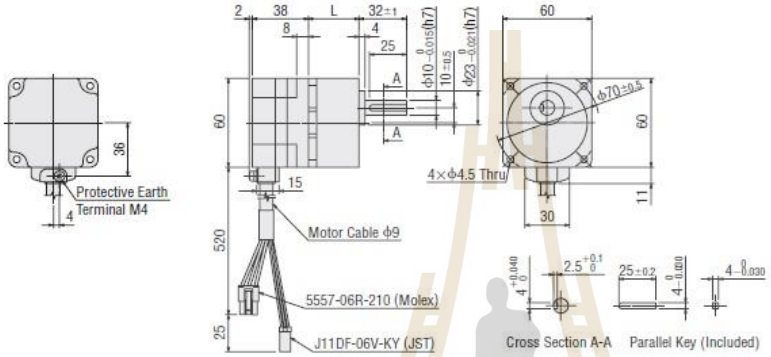
Motor (Cable type)

- "Mounting screws" are included. Dimensions of Installation Screws → Page 45
- A number in the box □ in the product name indicates the gear ratio.

◇Parallel Shaft Gearhead **GFV** Gear · 30 W

2D & 3D CAD

Product Name	Motor Product Name	Gearhead Product Name	Gear Ratio	L	Mass kg	2D CAD
BLM230-□B	BLM230-GFV2	GFV2G□	**5~20**	34	0.92	A1360A
			30~100	38		A1360B
			200	43		A1360C

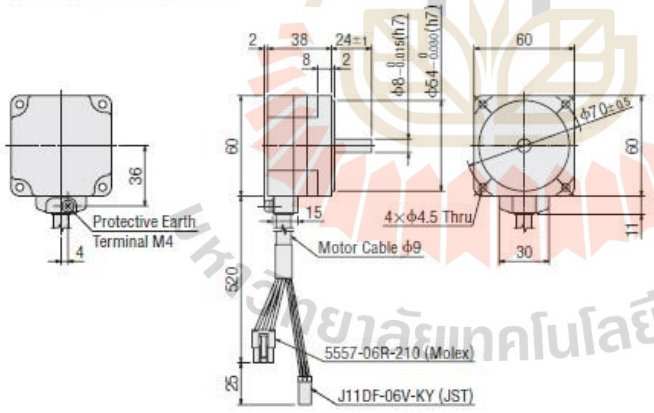


◇Round Shaft Type · 30 W

BLM230-A2

Mass: 0.42 kg

2D CAD A1362 3D CAD



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Motor (Connector type)

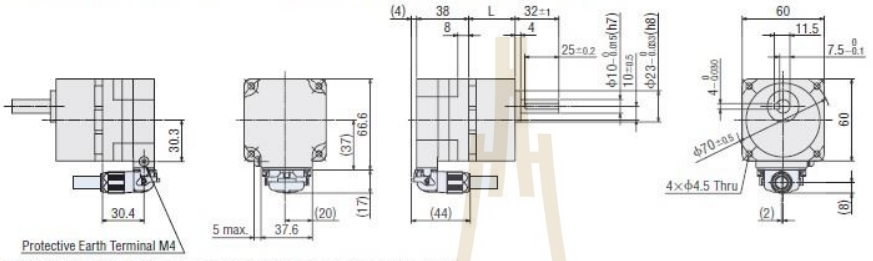
- The dimensions drawing of the motor is an example where a separately sold connection cable (▭ portion in the figure) is connected.
  The described mass does not include the connection cable. Cable Dimensions and Mass → Page 44
- "Mounting screws" are included. Dimensions of Installation Screws → Page 45
- A number in the box □ in the product name indicates the gear ratio.
  The box ■ in a product name is replaced with the code that represents the gearhead size.

◇Parallel Shaft Gearhead **GFV** Gear · 30 W

2D & 3D CAD

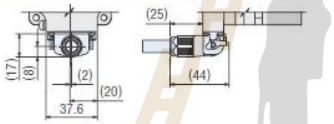
Product Name	Motor Product Name	Gearhead Product Name	Gear Ratio	L	Mass kg	2D CAD	
						Connection cable drawing from the output shaft side is connected	Connection cable drawing from the counter-output shaft side is connected
BLM230HP-□S **BLM230HP-□SF**	BLM230HP-GFV	GFV2G□S GFV2G□SF	**5~20**	34	0.63	A1465A	A1466A
			30~100	38	0.68	A1465B	A1466B
			200	43	0.73	A1465C	A1466C

•When connecting the connection cable drawing from the output shaft side

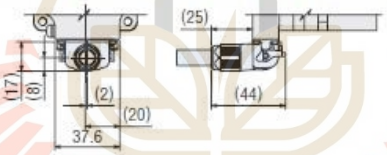


- At the time of shipment, the parallel key is fixed in the key slot of the gearhead shaft.

•When connecting the connection cable drawing from the counter-output shaft side



•When connecting the connection cable drawing from the counter-output shaft side

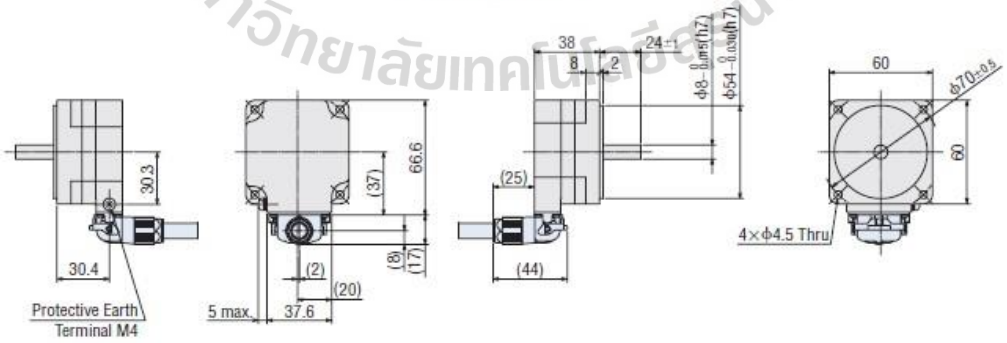


◇Round Shaft Type · 30 W

BLM230HP-AS

Mass: 0.35 kg

2D CAD A1475 3D CAD



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Specifications

●30 W

Product Name	Motor	Combination Type with a Parallel Shaft Gearhead		BLM230HP-□S	
		Round Shaft Type		BLM230HP-AS	
	Driver			BMUD30-A2	BMUD30-C2
Rated Output Power (Continuous)			W	30	
Power Supply Input	Rated Voltage		VAC	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240 / Three-Phase 200-240
	Permissible Voltage Range			−15～+10%	
	Frequency		Hz	50/60	
	Permissible Frequency Range			±5%	
	Rated Input Current		A	1.2	Single-Phase: 0.7 / Three-Phase: 0.38
	Maximum Input Current		A	2	Single-Phase: 1.2 / Three-Phase: 0.75
Rated Speed			r/min	3000	
Rated Torque			Nm	0.096	
Max. Instantaneous Torque			Nm	0.144	
Rotor Inertia	J		$\times10^{-4}$ kgm^2	0.042	
Round Shaft Type Permissible Inertia	J		$\times10^{-4}$ kgm^2	1.8	
Speed Control Range				80～4000 r/min (speed ratio 1:50)	
Speed Regulation		Load		±0.2% or less: Conditions 0～rated torque, rated speed, rated voltage, normal ambient temperature	
		Voltage		±0.2% or less: Conditions Rated voltage−15～+10%, rated speed, no load, normal ambient temperature	
		Temperature		±0.2% or less: Conditions Operating ambient temperature 0～+40˚C, rated speed, no load, rated voltage	

Parallel Shaft Gearhead GFV Gear 30 W, 60 W, 120 W

Specifications

Product Name	Motor	Cable Type	BLM230-□B		BLM460S-□B		BLM5120-□B	
		Connector Type	BLM230HP-□S / BLM230HP-□SF		BLM460SHP-□S / BLM460SHP-□SF		BLM5120HP-□S / BLM5120HP-□SF	
	Driver		BMUD30-A2	BMUD30-C2	BMUD60-A2	BMUD60-C2	BMUD120-A2	BMUD120-C2
Rated Output Power (Continuous)		W	30		60		120	
Power Supply Input	Rated Voltage	VAC	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240/ Three-Phase 200-240	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240/ Three-Phase 200-240	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240/ Three-Phase 200-240
	Permissible Voltage Range		−15～+10%		−15～+10%		−15～+10%	
	Frequency	Hz	50 / 60		50 / 60		50 / 60	
	Permissible Frequency Range		±5%		±5%		±5%	
	Rated Input Current	A	1.2	Single-Phase: 0.7/ Three-Phase: 0.38	1.7	Single-Phase: 1.0/ Three-Phase: 0.52	3.3	Single-Phase: 2.0/ Three-Phase: 1.1
	Maximum Input Current	A	2.0	Single-Phase: 1.2/ Three-Phase: 0.75	3.3	Single-Phase: 1.9/ Three-Phase: 1.1	6.8	Single-Phase: 4.1/ Three-Phase: 2.0
Rated Speed		r/min	3000					
Speed Control Range			80～4000 r/min (Speed ratio 1:50)					
Speed Regulation	Load		±0.2% or less: Conditions 0 to rated torque, rated speed, rated voltage, normal temperature					
	Voltage		±0.2% or less: Conditions Rated voltage −15～+10%, rated speed, no load, normal temperature					
	Temperature		±0.2% or less: Conditions Operating ambient temperature 0～+40˚C, rated speed, no load, rated voltage					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Gear Ratio				5	10	15	20	30	50	100	200
Rotation Direction				Same direction as the motor				Opposite direction to the motor			Same direction as the motor
Output Shaft Rotation Speed [r/min]*1			80 r/min	16	8	5.3	4	2.7	1.6	0.8	0.4
			4000 r/min	800	400	267	200	133	80	40	20
Permissible Torque [N·m]		30 W	At 80~2000 r/min	0.45	0.9	1.4	1.8	2.6	4.3	6	6
			At 3000 r/min	0.43	0.86	1.3	1.7	2.5	4.1	6	6
			At 4000 r/min	0.32	0.65	0.97	1.3	1.9	3.1	5.4	5.4
		60 W	At 80~2000 r/min	0.9	1.8	2.7	3.6	5.2	8.6	16	16
			At 3000 r/min	0.86	1.7	2.6	3.4	4.9	8.2	16	16
			At 4000 r/min	0.65	1.3	1.9	2.6	3.7	6.2	12.4	14
		120 W	At 80~2000 r/min	2.0	4.1	6.1	8.1	11.6	19.4	30	30
			At 3000 r/min	1.7	3.4	5.2	6.9	9.9	16.4	30	30
			At 4000 r/min	1.3	2.6	3.9	5.2	7.4	12.3	24.7	27
Permissible Radial Load [N]	10 mm from output shaft end*2	30 W	At 80~3000 r/min	100	150			200			
			At 4000 r/min	90	130			180			
		60 W	At 80~3000 r/min	200	300			450			
			At 4000 r/min	180	270			420			
		120 W	At 80~3000 r/min	300	400			500			
			At 4000 r/min	230	370			450			
	20 mm from output shaft end*2	30 W	At 80~3000 r/min	150	200			300			
			At 4000 r/min	110	170			230			
		60 W	At 80~3000 r/min	250	350			550			
			At 4000 r/min	220	330			500			
		120 W	At 80~3000 r/min	400	500			650			
			At 4000 r/min	300	430			550			
Permissible Axial Load [N]		30 W		40							
		60 W		100							
		120 W		150							
Permissible Load Inertia J [$\times 10^{-4}$kg·m^2]		30 W		12	50	110	200	370	920	2500	5000
		60 W		22	95	220	350	800	2200	6200	12000
		120 W		45	190	420	700	1600	4500	12000	25000
	At instantaneous stop, instantaneous bi-directional operation*3	30 W		1.55	6.2	14	24.8	55.8	155		
		60 W		5.5	22	49.5	88	198	550		
		120 W		25	100	225	400	900	2500		

ตัวขับมอเตอร์

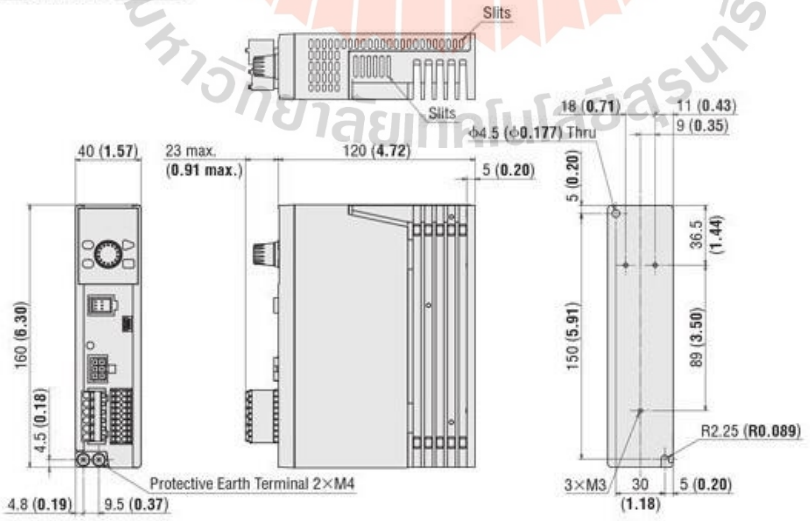
Dimensions Unit = mm (in.)

Driver

BLE2D30-A, BLE2D30-C, BLE2D60-A, BLE2D60-C, BLE2D120-A, BLE2D120-C, BLE2D200-C, BLE2D400-S

Mass: 0.8 kg (1.76 lb.)

2D CAD A1461 3D CAD



■ Dimensions Unit: mm (in.)

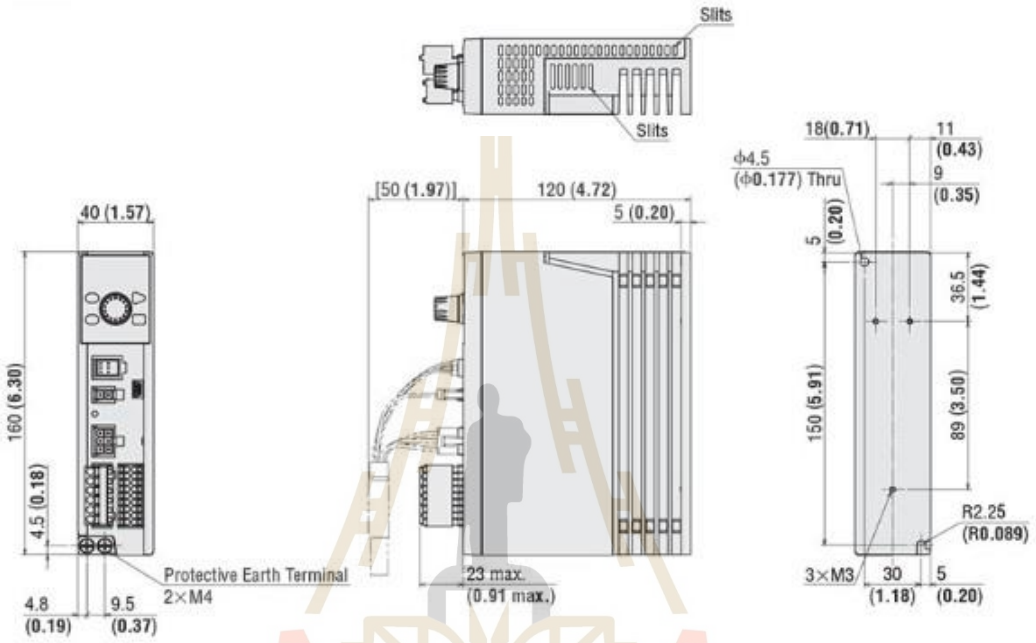
● Driver

BLE2D120-AM, BLE2D120-CM, BLE2D200-CM
Mass : 0.8 kg (1.76 lb.)

2D CAD

A1710

3D CAD



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Output power	Power supply voltage	Driver model	Motor model
30 W	Single-phase 100-120 VAC	BLE2D30-A	BLM230HP
	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D30-C	
60 W	Single-phase 100-120 VAC	BLE2D60-A	BLM460SHP BLM260HP
	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D60-C	
120 W	Single-phase 100-120 VAC	BLE2D120-A	BLM5120HP
	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D120-C	
200 W	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D200-C	BLM6200SHP BLM5200HP BLM7200HW
300 W	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D300-C	BLM6300SHP BLM5300HP BLM7300HW
400 W	Three-phase 200-240 VAC	BLE2D400-S	BLM6400SHP BLM5400HP BLM7400HW

● With Electromagnetic Brake

Output power	Power supply voltage	Driver model	Motor model
30 W	Single-phase 100-120 VAC	BLE2D30-AM	BLM230HPM
	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D30-CM	
60 W	Single-phase 100-120 VAC	BLE2D60-AM	BLM460SHPM BLM260HPM
	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D60-CM	
120 W	Single-phase 100-120 VAC	BLE2D120-AM	BLM5120HPM
	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D120-CM	
200 W	Single-phase 200-240 VAC Three-phase 200-240 VAC	BLE2D200-CM	BLM6200SHPM BLM5200HPM

สถาบันวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กล้องเว็บแคม

DIMENSIONS

Webcam

Height: 1.06 in (27 mm)
Width: 4.01 in (102 mm)
Depth: 1.06 in (27 mm)
Cable length: 7.2 ft (2.2 m)
Weight: 2.2 oz (63 g)

ATTACHABLE MOUNTING CLIP

Height: 0.75 in (19 mm)
Width: 1.42 in (36 mm)
Depth: 2.48 in (63 mm)
Weight: 1.55 oz (44 g)

COMPATIBILITY

Compatible with

Windows 8 or later [1]
macOS 10.10 or later
ChromeOS [2]
2 GB RAM or more needed for 1080p video streaming
1 GB is typically needed for streaming 720p

One USB 2 or USB 3 port [3]

Compatible with Microsoft DirectShow

Works with popular calling platforms

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Multiple resolutions

4K/30fps (up to 4096 x 2160 pixels)
1080p/30 or 60 fps (up to 1920 x 1080 pixels)
720p/30, 60, or 90 fps (up to 1280 x 720 pixels)

Camera mega pixel: 13

Focus type: Autofocus

Lens type: Glass

Built-in mic: Stereo

Mic range: Up to 4 ft (1.22 m)

Diagonal field of view (dFoV): 90°/78°/65°

Digital zoom: 5x

USB connectivity: USB-A plug-and-play, supports USB-C with third party adapter (not included)

Detachable universal mounting clip fits laptops, LCD or monitors

Rightlight 3 with HDR for clear image in various lighting environments ranging from low light to direct sunlight.

Image controls with optional Camera Settings application for control of pan, tilt, and zoom

Infrared sensor technology for Windows (SDK available for application integration)

Attachable privacy shutter

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

PACKAGE CONTENTS

Webcam with detachable universal mounting clip (on webcam)
Attachable privacy shutter
Travel bag
7.2 ft (2.2 m) USB-A to USB-C cable (USB 2.0 or 3.0)
User documentation

WARRANTY INFORMATION

3-year limited hardware warranty

PART NUMBER

960-001105

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

การเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วสายพาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
import numpy as np
import cv2
import time
import os
import csv
import glob
import pyfirmata
import serial
import statistics
fps = 90
cap = cv2.VideoCapture(0)
cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 640)
cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT,480)
cap.set(cv2.CAP_PROP_FPS, fps)
cap.set(cv2.CAP_PROP_POS_MSEC, 0 )
cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_COUNT, -1)
cap.set(cv2.CAP_PROP_BRIGHTNESS,100)
cap.set(cv2.CAP_PROP_CONTRAST,100)
cap.set(cv2.CAP_PROP_SATURATION,128)
cap.set(cv2.CAP_PROP_HUE,-1)
cap.set(cv2.CAP_PROP_GAIN,0)
cap.set(cv2.CAP_PROP_CONVERT_RGB,1)
cap.set(28, 5)

board = pyfirmata.Arduino('COM11')
print("Communication Successfully started")
conveyor = board.digital[9]
conveyor.mode = pyfirmata.PWM
def speedCon(speeds):
    rpm = speeds/0.013526
    pwm = (rpm/800)/5
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
    conveyor.write(pwm)
p1 = []
p0 = []
p0r = []
lk_params = dict(winSize  = (15, 15),
                 maxLevel = 2,
                 criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS |
                             cv2.TERM_CRITERIA_COUNT, 10, 0.03))

feature_params = dict(maxCorners = 10,
                      qualityLevel = 0.8,
                      minDistance = 10,
                      blockSize = 10 )

trajectory_len =10
detect_interval = 2
trajectories = []
frame_idx = 0

trajectoryX =0
AVGtrajectoriesX =0
tf = 0
fulltf=0
alltf =[]
speed=0
timeinterval = 2

Vreff = 1
Vact = 0
data_filter = 0
speedCon(1)
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
vin = '1'
Kp = 0.01
Ki = 0.85
Kd = 0
T = 0.67
total_error=0
last_error = 0
control_signal = Vreff
delt_time = 0
error = 0
epsilon = 0.05
speed_old = 0
speed_curr =0
data_filter_old =0
a = 0.6
b = 0.4
print("Kp : ",Kp)
print("Ki : ",Ki)
print("Kd : ",Kd)
measure1 = time.perf_counter()
measure2 = time.perf_counter()
fps = 15
i=0
print('set FPS : ', fps)
objectsNames = [0]
directoryimg = r'C:\Users\CONTROL\pic\RealSense\Optical Flow\log data\GetData
PI/*.jpg'
directory = r'C:\Users\CONTROL\pic\RealSense\Optical Flow\log data\GetData PI'
os.chdir(directory)
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
slri = ['Synchrotron Light Research Institute', '111 University Avenue Muang District
Nakhon Ratchasima 30000 THAILAND', 'Tel.: 66 44 217 040 Fax: 66 44 217 047 Email:
siampl@slri.or.th']
colum = ["No."+ ","+"X"+ ","+"conner"+ ","+"time"+ ","+"Control"+ ","+"SpeedOutput"+
","+"SpeedInput"+ ","+"Error"]
version = ['Original Version()']
projecName =['PID'+"\n"+ "Kp : "+str(Kp)+"\n"+"Ki : "+str(Ki)+"\n"+"epsilon :
"+str(epsilon)+"\n"+"Weight Filter : "+str(a)+"/"+str(np.around(b, 4))]
header = projecName + version + slri + colum
with open ('17LoadPI.csv', 'w') as file:
    for line_1 in header :
        file.write(line_1)
        file.write('\n')
num=0
start = time.perf_counter()
while 1:
    start_time = time.perf_counter()
    num = num+1
    n=0
    while n<10:
        n=n+1
        ret, frame = cap.read()
        if ret==1:
            while 1:
                if measure2 - measure1 >= 1/fps:
                    measure1 = measure2
                    measure2 = time.perf_counter()
                    break
                else:
                    measure2 = time.perf_counter()
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
    ts = time.perf_counter()
    file_name = str(n)+str(ts) + ".jpg"
    cv2.imwrite(file_name, frame)
AVGtrajectoriesX=[]
numtrajctoriesX=[]
for filename in glob.glob(directoryimg):
frame = cv2.imread(filename)
frame = frame[120:200, 180:460]
frame_gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
img = frame.copy()

if len(trajectories) > 0:
    img0, img1 = prev_gray, frame_gray
    p0 = np.float32([trajectory[-1] for trajectory in trajectories]).reshape(-1, 1, 2)
    p1, _st, _err = cv2.calcOpticalFlowPyrLK(img0, img1, p0, None,
                      **lk_params)
    p0r, _st, _err = cv2.calcOpticalFlowPyrLK(img1, img0, p1, None,
                      **lk_params)
    d = abs(p0-p0r).reshape(-1, 2).max(-1)
    good = d < 1
    new_trajectories = []
    trajectoriesX=[]
    for trajectory, (x, y), good_flag in zip(trajectories, p1.reshape(-1, 2), good):
            j=0
            if not good_flag:
                continue
            trajectory.append((x, y))
            if len(trajectory) > trajectory_len:
                j=j+1
                del trajectory[0]
                End = trajectory[-1]
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
                Start = trajectory[0]
                trajectoryX = Start[0] - End[0]
                if trajectoryX>1:
                    trajectoriesX.append(trajectoryX)
            new_trajectories.append(trajectory)

            cv2.circle(img, (int(x), int(y)), 2, (0, 0, 255), -1)
        trajectories = new_trajectories

        AVGtrajectoriesX.append(np.mean(trajectoriesX))
        numtrajctoriesX.append(len(trajectoriesX))

cv2.polylines(img, [np.int32(trajectory) for trajectory in trajectories], False, (0, 255,
                0))
if frame_idx % detect_interval == 0:
        mask = np.zeros_like(frame_gray)
        mask[:] = 250
        for x, y in [np.int32(trajectory[-1]) for trajectory in trajectories]:
            cv2.circle(mask, (x, y), 5, 0, -1)
        p = cv2.goodFeaturesToTrack(frame_gray, mask = mask, **feature_params)
        if p is not None:
            for x, y in np.float32(p).reshape(-1, 2):
                trajectories.append([(x, y)])
    frame_idx += 1
    prev_gray = frame_gray

del AVGtrajectoriesX[0], AVGtrajectoriesX[-1], numtrajctoriesX[0],
    numtrajctoriesX[-1]
AVGtrajectoriesX = np.where(np.isnan(AVGtrajectoriesX), 0, AVGtrajectoriesX)
print('X : ', statistics.median(AVGtrajectoriesX))
print('Nmember : ', np.mean(numtrajctoriesX))
```

```
speed = (1.23*0.095*statistics.median(AVGtrajectoriesX)/(trajectory_len/fps))
speed = (0.9447*speed)-0.0136
data_filter = a*data_filter+b*speed
up = Vreff +  0.05*Vreff
low = Vreff -  0.05*Vreff
if data_filter > low and data_filter < up :
    data_filter_new = Vreff
elif data_filter < low:
    data_filter_new = data_filter
elif data_filter > up:
    data_filter_new = data_filter
curr_time = time.perf_counter()
error = Vreff - data_filter
if abs(error)>=epsilon:
    if num%1==0:
        max_control = 3
        min_control = 0.75
        delt_time = curr_time-start_time
        if delt_time>=T:
            total_error=total_error+error
            if total_error>=max_control:
                total_error = max_control
            elif total_error<=min_control:
                total_error = min_control
            delt_error = error - last_error
            control_signal = Kp*error+(Ki*T)*total_error
            if control_signal>=max_control:
                control_signal=max_control
            elif control_signal<=min_control:
                control_signal=min_control
            last_error = error
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
            last_time = curr_time
        Vact = control_signal
if abs(speed - speed_old)<=0.05:
    speed_curr = speed_old
elif abs(speed - speed_old)>0.05:
    speed_curr = speed
    speed_old = speed
print(delt_time)
speedCon(Vact)
print('control_signal : ',Vact)
print('delt_time : ',delt_time)

cv2.putText(img, f"Speed :{data_filter_new :.2f} cm/s", (5, 15),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 255, 0), 1)
cv2.imshow('Optical Flow', img)
print('Time :', np.around(curr_time-start, 4))
print('Vreff : ',Vreff)
print('Speed :', data_filter)
print('Speed_curr :', data_filter_new )
print('error : ',error)
print('total_error : ',total_error)
print('.....')
print(num)

with open ('17LoadPI.csv', 'a') as file:
    data_text1 = str(num) +"," +str(np.around(statistics.median(AVGtrajectoriesX), 0))
                    +","+str(int(np.mean(numtrajctoriesX))) +","

    data_text2 = str(np.around(curr_time-start, 2))+"," +str(Vact)+"," +
                    str(data_filter_new)+"," +str(vin)+","+str(error)
    data_text = data_text1 +data_text2
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
    file.write(data_text)
    file.write("\n")
files = glob.glob(directoryimg)
for f in files:
    os.remove(f)

key = cv2.waitKey(1)

if key == ord('q'):
    Vreff = 0.0
    vin = '0.00'
if key == ord('w'):
    Vreff = 0.8
    vin = '0.8'
if key == ord('e'):
    Vreff = 1.0
    vin = '1.0'
if key == ord('r'):
    Vreff =1.2
    vin = '1.2'
if key == ord('t'):
    Vreff = 1.4
    vin = '1.4'
if key == ord('y'):
    Vreff = 1.6
    vin = '1.6'
if key == ord('u'):
    Vreff = 1.8
    vin = '1.8'
if key == ord('i'):
    Vreff = 2.0
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
        vin = '2.0'

    if key == 27:
        break
speedCon(0)
file.close()
cv2.destroyAllWindows()
```

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผื่อแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

วริทธิ์ อรุณสุขมาก สมบูรณ์ทรัพย์ รอดพร เริงรุจ รุจนะไกรกานต์ และจิระพล ศรีเสริฐผล. (2566) การวัดความเร็วสายพาน ด้วยหลักการการไหลของแสง งานประชุมวิชาการระดับชาติสวนดุสิต 2023 ครั้งที่ 5 ณ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ.2566 จำนวน 6 หน้า.

Aroonsookmak W., Rodporn S., Rujanakraikarn R., Srisertpol J. (2023) Measuring belt conveyor speed bases on optical flow method. SNDC2023.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การวัดความเร็วสายพานด้วยหลักการการไหลของแสง

Measuring belt conveyor speed bases on optical flow method

วริทธิ์ อรุณสุขมาก[1] สมบูรณ์ทรัพย์ รอดพร[1*] เริงรุจ รุจนะไกรกานต์[2]
และจิระพล ศรีเสริฐผล [1]

Warit Aroonsookmak[1*], Somboonsup Rodporn[1], Roengrut Rujanakraikarn[2]
and Jiraphon Srisertpol[1]

[1] *สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000*
[2] *สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000*
[*] *Corresponding Author E-mail Address : warit.arsm@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร พบได้อย่างแพร่หลาย รวมไปถึงอุตสาหกรรมการฉายรังสีในอาหาร ซึ่งในบริเวณการทำงานไม่ควรมีมนุษย์ในบริเวณนั้นเพื่อป้องกันการได้รับอันตรายจากรังสี และเนื่องด้วยความจำเป็นที่ต้องควบคุมความเร็วสายพานในขณะที่ฉายรังสีสู่อาหาร จึงเกิดการวิจัยนี้ขึ้น เพื่อที่จะวัดความเร็วของสายพานอย่างแม่นยำ โดยจะใช้ทฤษฎีการไหลของแสง ซึ่งสามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของสายพานจำเลียงได้แบบเรียลไทม์ ด้วยการถ่ายภาพต่อเนื่องจากกล้องสเตอริโอในระหว่างการทำงานของสายพานจำเลียงเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุ นำมาซึ่งระยะกระจัดที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบระยะกระจัดกับเวลา จะได้ความเร็วของสายพานในขณะนั้น จากผลการทดลองในการวิจัยนี้จะมีค่าความคลาดคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ที่ 0.104 มิลลิเมตร/วินาที

คำสำคัญ: การวัดความเร็วของสายพาน, การมองเห็นของเครื่องจักร, กล้องสเตอรีโอวิเคราะห์ภาพ

Abstract

Currently, the food manufacturing industry is widespread, including the food irradiation industry, where human presence should be avoided in the working area to prevent radiation exposure. Due to the need to control the conveyor belt speed while irradiating the food, research has been conducted to accurately measure the belt speed. The research utilizes the theory of light flow to calculate the real-time movement speed of the conveyor belt by continuously capturing images from a stereo camera during the belt's operation to observe changes in object positions. This information is used to calculate the displacement distance caused by the object's movement. By comparing the displacement distance with time, the belt speed at that moment can be determined. The experimental results of this research showed an average root mean square error (RMSE) of 0.104 millimeters per second.

Keywords: Measuring speed of conveyor belt, Machine vision, Stereo cameras analysis

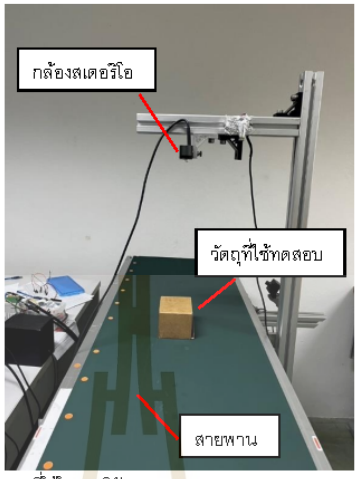
บทนำ/Introduction

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร พบได้อย่างแพร่หลาย โดยสิ่งที่ใช้ในกระบวนการลำเลียงอาหาร เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่างๆ คือ สายพานลำเลียงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รวมไปถึงอุตสาหกรรมการฉายรังสีในอาหาร (Kalyani and Manjula, 2014) โดยมีจุดประสงค์ในการฉายเพื่อชะลอการสุก หรือ ฆ่าไข่ของแมลงเพื่อป้องกันการแพร่พันธุ์ ในกระบวนฉายรังสีสิ่งที่ต้องควบคุมและจำเป็นอย่างยิ่งคือ ความเร็วของสายพานในขณะฉายรังสี (Bebic et al., 2018; Israa and Hiba., 2021) เนื่องจากบนสายพานลำเลียงจะมีอาหารหลายชนิด ทำให้ปริมาณรังสีที่ฉายจะไม่เท่ากัน (Feng et al., 2019) ในขณะที่เครื่องฉายรังสีจะมีอัตราฉายที่คงที่ ดังนั้นสิ่งที่กำหนดปริมาณการฉายให้สอดคล้องกับอาหาร คือ ความเร็วของสายพาน โดยปกติแล้วการวัดความเร็วของสายพานอาจวัดได้ด้วยการดูที่รอบการหมุนของมอเตอร์ แต่ความเร็วของมอเตอร์ที่วัดได้ไม่ใช่ความเร็วจริงๆของสายพาน เนื่องจากขณะที่บนสายพานมีอาหาร สิ่งที่เกิดขึ้นคือ มีน้ำหนักบนสายพาน มอเตอร์ควรหมุนช้าลง เนื่องจากอาหารบนสายพานทำให้เกิดทอร์กที่ต้านการหมุนของมอเตอร์ (Zhang et al., 2023) ในขณะที่ความเร็วของสายพานต้องเท่าเดิมกับตอนที่ไม่มีอาหารบนสายพาน หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การใช้ชุดลูกล้อมาสัมผัสบนพื้นผิวของสายพานเพื่อให้ลูกล้อหมุนแล้วเก็บค่าเป็นความเร็วรอบ การใช้วิธีนี้จะเก็บข้อมูลได้ถูกต้อง แต่มีข้อเสียคือ เมื่อมีน้ำหนักบนสายพาน สายพานจะถูกกดตัวทำให้ลูกล้อสัมผัสพื้นผิวสายพานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการวัดความเร็ว และเพื่อหลีกเลี่ยงวิธีทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ทางผู้จัดทำจึงได้ทำงานวิจัยนี้ขึ้น เพื่อวัดความเร็วของสายพานด้วยกล้องสเตอริโอร่วมกับการมองเห็นของเครื่องจักรโดยใช้หลักการไหลของแสงเพื่อหาระยะกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่และนำไปเปรียบเทียบกับเวลา เนื่องด้วยสายพานการผลิตจะติดกล้องเพื่อตรวจสอบปริมาณอาหารไว้เสมอ จึงเสนอให้ใช้กล้องตัวนั้นมาอ่านค่าความเร็วในเวลาเดียวกัน โดยข้อดีคือ จะไม่ส่งผลต่อพื้นที่การทำงาน และไม่จำเป็นต้องมีมนุษย์อยู่ในบริเวณนั้น รวมไปถึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาอุปกรณ์อื่นๆเพื่อมาวัดความเร็ว และนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วสายพานที่วัดได้จริงจากการเคลื่อนที่ของสายพานครบ 1 รอบเทียบกับเวลา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ/Materials and Methods

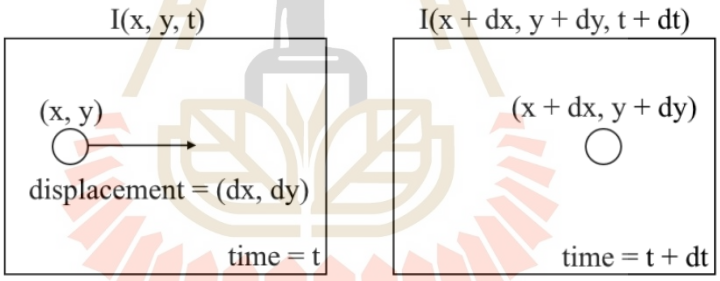
ตารางที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์	ลักษณะเฉพาะ
ตัวขับมอเตอร์	BLE2D120-C แรงดันไฟฟ้า 200-240 โวลต์ ย่านความเร็ว 80-4000 รอบ/นาที จำกัดทอร์กได้
มอเตอร์	BLM5120HP-GFV กำลัง 120 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ 100 โวลต์
สายพานลำเลียง	พูเลย์ขับส่วนหัว เส้นผ่านศูนย์กลาง 60/30 มม. กว้าง 400มม. ยาว 4.2 เมตร
กล้อง	Logitech Brio 4K Ultra HD ที่ 30 fps, HD 1080p ที่อัตราเฟรม 30 หรือ 60 fps และ HD 720p ที่ 30, 60 หรือ 90 fps
แผงควบคุม	Arduino UNO R3 แรงดันไฟฟ้า 0-5 โวลต์ รับ/ส่งค่า 14 หัว เชื่อมต่อด้วย USB
คอมพิวเตอร์	Intel(R) Core (TM) i7-8700 CPU @ 3.20GHz 16 GB ram 64-bit



รูปที่ 1 รูปภาพแสดงอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพรวมในงานวิจัยนี้คือการใช้หลักการการไหลของแสงเพื่ออ่านค่าความเร็วของสายพานด้วยการคำนวณจากการเปลี่ยนตำแหน่งการกระจัดเทียบกับเวลาในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ โดยจัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดดังรูปที่ 1



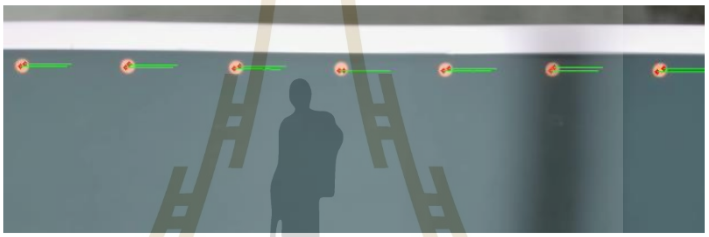
รูปที่ 2 รูปแสดงการกระจัดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

การไหลของแสง จะสังเกตวัตถุที่สนใจ เพื่อดูการเคลื่อนที่ในระยะเวลาสั้นๆ โดยจะเชื่อว่า วัตถุจะยังคงสภาพเดิมเพียงแต่เปลี่ยนเฉพาะตำแหน่ง จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งดังรูปฝั่งซ้าย เมื่อเทียบกับรูปฝั่งขวา จะได้ระยะกระจัดของการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยเวลาที่เปลี่ยนไปจะแทนด้วยตัวแปร dt และระยะกระจัดที่ได้จะอยู่ในรูปตัวแปร dx และ dy ดังรูปที่ 2 โดยมีสมการการคำนวณหาความเร็วดังสมการที่ 1

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Rd_i}{f}}{n} \quad (1)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วของสายพาน
Rd คือ ความยาวของเวกเตอร์ของการกระจัด
f คือ ระยะเวลาในการทำงาน 1 รอบ
n คือ จำนวนเวกเตอร์ทั้งหมดในการทำงาน 1 รอบ

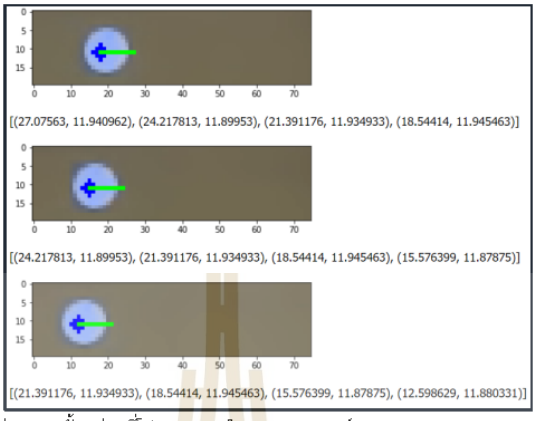
การคำนวณความเร็ว โดยปกติแล้ว จะคิดจากระยะทางทั้งหมดเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด ตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดสุดท้าย ดังนั้น ในการคำนวณความเร็วโดยใช้หลักการการไหลของแสง (Gao et al., 2019) จะสามารถคำนวณได้จาก ความยาวของเวกเตอร์ที่เกิดจากจุดเริ่มต้น ลากไปยังจุดสุดท้าย ซึ่งเวกเตอร์นี้คือระยะกระจัด แล้วนำไปเปรียบเทียบกับเวลาทั้งหมด กล่าวคือ เวลาที่ระบบทำงานใน 1 รอบ จะได้ผลลัพธ์เป็นความเร็วของสายพานในขณะนั้น



รูปที่ 3 รูปภาพแสดงเส้นเวกเตอร์ที่ลากจากจุดแรกถึงจุดสุดท้ายของวัตถุที่สนใจ

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่า เส้นเวกเตอร์ทุกเส้นมีความยาวใกล้เคียงกัน จึงนำมาซึ่งการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาความเร็วของสายพาน ดังสมาการที่ 1 โดย ผลรวมของความยาวเวกเตอร์ (Rd) ทั้งหมดบนพื้นที่การทำงานของระบบ เมื่อได้ผลรวมแล้วจากนั้นจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อเส้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเวลา (f) จะได้ค่าความเร็ว (v) ออกมาตามสมการที่ 1 โดยคอมพิวเตอร์จะรับค่าความยาวของเวกเตอร์การกระจัด จากนั้นจะคำนวณเทียบกับเวลา เพื่อให้ได้ความเร็วของสายพาน และแสดงค่าความเร็วที่ได้ออกมาผ่านหน้าจอแสดงผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4 รูปแสดงตำแหน่งของจุดทั้ง4 ก่อนที่โปรแกรมจะทำการลากเวกเตอร์

จากการทดลอง จะได้ตำแหน่งของจุดทั้งหมด 4 จุด ด้วยการกำหนดจำนวนจุดทั้งหมดที่โปรแกรมสามารถสร้างขึ้นใน 1 รอบการทำงาน ก่อนที่โปรแกรมจะทำการลากเวกเตอร์เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงระหว่างจุดทั้ง 4 ดังรูปที่ 4 เมื่อคำนวณผลต่างระหว่างจุดแรกถึงจุดสุดท้ายจะได้เป็นความยาวของเวกเตอร์นั้นๆ โดยที่ทั้ง 3 เส้น มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าประมาณ 8.7 จากนั้นจะนำความยาวที่ได้ไปเทียบกับเวลาเพื่อหาค่าความเร็วของสายพาน

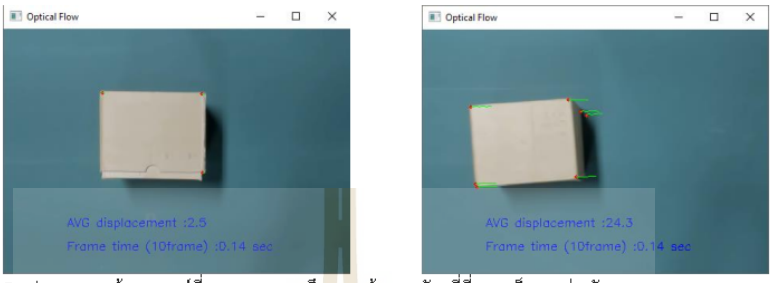
เมื่อได้ความเร็วของสายพานจากการคำนวณผ่านโปรแกรมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับความเร็วของสายพานที่วัดได้จริง โดยคิดจากการเคลื่อนที่ของสายพาน 1 รอบเทียบกับเวลาที่ใช้ที่ได้จากการใช้นาฬิกาจับเวลา โดยทำซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละความเร็วสายพานที่ทำการทดลองดังตารางที่ 2 เพื่อหาความแม่นยำจากผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความเร็วของสายพานที่วัดได้จริงเทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์

ครั้งที่	ความยาวของสายพาน (มิลลิเมตร)	ระยะเวลาที่สายพานเคลื่อนที่ 1 รอบ (วินาที)	ความเร็วของสายพาน (มิลลิเมตร/วินาที)	ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบ/วินาที)
1	4,200	629	6.68	50
		314	13.38	100
		157	26.75	200
2		628	6.69	50
		315	13.33	100
		157	26.75	200
3		628	6.69	50
		314	13.38	100
		156	26.92	200

จากตารางที่ 2 จะได้ความเร็วเฉลี่ยของสายพานเมื่อกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 50, 100 และ 200 รอบ/วินาที อยู่ที่ 6.68, 13.36 และ 26.81 มิลลิเมตร/วินาที ตามลำดับ

ผลการวิจัย/Results



รูปที่ 5 รูปภาพแสดงเส้นเวกเตอร์ที่ลากจากจุดแรกถึงจุดสุดท้ายของวัตถุที่ที่ความเร็วแตกต่างกัน

จากการทดสอบปรับความเร็วสายพานที่ความเร็วตั้งแต่ 6.68 ถึง 26.81 มิลลิเมตร/วินาที สังเกตค่าระยะการกระจัดที่เพิ่มขึ้นทุกๆ การถ่ายภาพ 10 ภาพ มีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความเร็วมอเตอร์ และมีการจับเวลาการถ่ายภาพดังแสดงในตารางที่ 3 แล้วนำมาหาความเร็วได้จากระยะกระจัดหารด้วยเวลา โดยการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

ตารางที่ 3 การทดสอบปรับความเร็วมอเตอร์เพื่อหาระยะการกระจัด

ความเร็วสายพานจริง (มิลลิเมตร/วินาที)	ค่าที่ได้จากคอมพิวเตอร์		
	ระยะการกระจัด (มิลลิเมตร)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	ความเร็วสายพาน (มิลลิเมตร/วินาที)
6.68	1.01	0.15	6.73
	0.93	0.14	6.64
	0.94	0.14	6.71
13.36	1.87	0.14	13.36
	2.02	0.15	13.47
	2.00	0.15	13.33
26.81	3.77	0.14	26.92
	3.98	0.15	26.53
	3.78	0.14	27.00

จากตารางที่ 3 เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน จะได้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วจากสมการที่ 2 6.68, 13.36 และ 26.81 อยู่ที่ 0.04, 0.06 และ 0.21 มิลลิเมตร/วินาที ตามลำดับ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{x}_i - x_i)^2}{n}} \quad (2)$$

โดยที่ $\hat{x}_i$ คือ ความเร็วที่ได้จากการทดลอง

x_i คือ ความเร็วจริงของสายพาน

n คือ จำนวนของข้อมูล

การอภิปรายผล/Discussion

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อทดสอบที่ความเร็วต่ำ (6.68 มิลลิเมตร/วินาที) ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าการทดสอบที่ความเร็วสูง (26.81 มิลลิเมตร/วินาที) เนื่องจากความเร็วในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ที่ไม่เพียงพอและไม่สอดคล้องกับความเร็วในการถ่ายภาพของกล้องเท่าที่ควร ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gao Y. และคณะ ที่พบว่า การทดสอบวัดความเร็วสายพานที่ความเร็วสูง จะเกิดความผิดพลาดมากกว่าความเร็วต่ำ

บทสรุป/Conclusion

ในงานวิจัยนี้สามารถหาค่าความเร็วของสายพานด้วยหลักการการไหลของแสง โดยใช้กล้องสเตอริโอตรวจจับวัตถุ และคอมพิวเตอร์ในการสร้างเวกเตอร์การกระจัดเพื่อนำมาเทียบกับเวลา โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.104 มิลลิเมตร/วินาที ทางผู้วิจัยขอเสนอแนวทางที่จะปรับปรุงการทดลองให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมไปถึงกล้องที่ใช้ทดสอบ หรือปรับเปลี่ยนภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมจาก Python เป็นชนิดอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง/Reference

Kalyani B. and Manjula K. (2014). Food Irradiation - Technology and Application. Department of Home Science. S.V.University. 3(4) :549-555.

Bebic M.Z. and Ristic L.B. (2018). Speed controlled belt conveyors: drives and mechanical considerations. Advances in Electrical and Computer Engineering. 18(1): 51-61.

Feng X., Jo C., Nam K.C. and Ahn D.U. (2019). Impact of electron-beam irradiation on the quality characteristics of raw ground beef. Innovative Food Science & Emerging Technologies. (54): 87-92.

Gao Y., Qiao T., Zhang H., Yang Y. and Xiong X. (2019). A Contactless Measuring Speed System of Belt Conveyor Based on Optical Flow Techniques. IEEE Access. (7):121646-121654.

Israa S. and Hiba H. (2021). implementation of artificial neural network to achieve speed control and power saving of a belt conveyor system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (1):44-53.

Zhang K., Liang Y., Bian X. and Yang P. (2023). Torque Analytical Calculation of Formed Winding Permanent Magnet Motor. IEEE Access. (11):36702-36712.

แบบประเมินบทความวิจัย(สายวิทยาศาสตร์ กลุ่ม 1, 2, 3)

การประชุมวิชาการระดับชาติสวนดุสิต 2023 ครั้งที่ 5 "นวัตกรรมและปัญญาประดิษฐ์เพื่อการศึกษาในยุคดิจิทัล"
9 มิถุนายน 2566 ณ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

1. **รหัสบทความวิจัย** .....185AORS2.....

2. ชื่อบทความ .....การวัดความเร็วสายพานด้วยหลักการการไหลของแสง.....
.....Measuring belt conveyor speed bases on optical flow method.....

3. หัวข้อที่พิจารณา

ลำดับ	หัวข้อ	ผ่าน/ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไขปรับปรุง/เสนอแนะ
1	บทคัดย่อ (Abstract)		บทคัดย่อไม่โช่บทนำ ควรเขียนให้ชัดเจนและกระชับ บทคัดย่อควรประกอบด้วยวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย ซึ่งผลวิจัยผู้วิจัยควรบอกว่าได้ค้นพบอะไรบ้าง โดยผลของการวิจัยต้องตอบวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ให้ครบทุกข้อ
2	บทนำ (Introduction) 2.1 วัตถุประสงค์มีความชัดเจนและสอดคล้องกับที่มาและความสำคัญของปัญหา/เรื่องที่นำเสนอ		1. บทนำควรเรียบเรียงให้ดี เขียนให้ชัดเจนว่าที่มาของปัญหาคืออะไร แล้วงานที่จะทำคืออะไร 2. เขียนวัตถุประสงค์ของการวิจัยให้ชัดเจน เช่น ศึกษาการวัดความเร็วสายพานด้วยกล้อง (แสง), เปรียบเทียบการวัดความเร็วสายพานด้วยกล้องกับการทดลองจริงหรือการดูรอบมอเตอร์ เป็นต้น 3. ควรมีข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักของบนสายพานว่าน้ำหนักเท่าไรจึงส่งผลต่อความเร็วสายพานและส่งผลต่อความเร็วสายพานมากน้อยแค่ไหน จึงทำให้ต้องศึกษาความเร็วที่แท้จริงของสายพานด้วยการวัดความเร็วสายพานด้วยกล้อง หาข้อมูลอ้างอิงมาประกอบ เช่น หนังสือ งานวิจัยที่ผ่านมา 4. การใส่อ้างอิงควรใส่ในข้อความที่สำคัญและได้จากบทความหรือหนังสือนั้นจริงๆ 5. การเขียนควรเว้นวรรคให้ถูกต้อง ตรวจสอบคำถูกผิดด้วย
3	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย (Materials and Methods /Research Methodology) มีความถูกต้องและมีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์		1. วิธีการดำเนินวิจัยเขียนไม่ชัดเจน ควรเขียนให้เป็นระบบชัดเจนสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และผลการทดลอง 2. ในรูปที่ 1 ควรมีคำอธิบายชี้ไปที่อุปกรณ์แต่ละตัวว่าคืออะไร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

			3. อธิบายการวัดความเร็วสายพานด้วยกล้องว่าวัดอย่างไร (ใช้หลักการของแสงและส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อหาความเร็วสายพานใช่หรือไม่อธิบายให้ชัดเจน) วัดตำแหน่งไหนบ้าง แต่ละตำแหน่งทดลองซ้ำกี่ครั้ง บอกน้ำหนักวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่บนสายพาน และความเร็วจริงของสายพานวัดอย่างไรควรบอกด้วย 4. ควรระบุด้วยว่าการทดลองทำซ้ำกี่ครั้ง 5. กล้องที่ใช้วัดความเร็วสายพานเป็นกล้องเพื่อตรวจสอบปริมาณอาหารเป็นกล้องทั่วไปหรือมีอุปกรณ์พิเศษอะไรหรือไม่ เมื่อนำมาวัดความเร็วสายพานจำเป็นต้องติดอุปกรณ์เพิ่มหรือไม่ควรระบุ
4	ผลการวิจัยหรือการอภิปรายผล/Results or Finding ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่หรือทันต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการณ์ปัจจุบันและมีคุณค่าต่อการนำไปใช้ประโยชน์		1. ในตารางผลการทดลองคอลัมน์ที่ 1 ใช่ความเร็วของสายพานที่วัดได้จริงใช่หรือไม่ ควรอธิบายด้วยว่าวัดอย่างไรและระบุในตารางด้วยว่าเป็นความเร็วที่วัดได้จริง หรือเป็นความเร็วจากการดูที่รอบการหมุนของมอเตอร์ หรือเป็นความเร็วที่ตั้งค่าจากเครื่อง 2. ตารางผลการทดลองถ้าจะเอาความเร็วสายพานที่วัดได้จริงกับใช้กล้องมาเปรียบเทียบกันต้องแปลงหน่วยให้เป็นหน่วยเดียวกัน 3. การเขียนอภิปรายผลไม่ถูกต้อง การอภิปรายผลควรประกอบด้วยผลการทดลอง/วิจัยเป็นอย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีการยืนยันผลว่างานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ..... ที่พบว่า..... เป็นต้น
5	บทสรุป/Conclusion		บทสรุปจะสรุปงานวิจัยของตนเอง และอาจเสนอแนะแนวทาง ขั้นตอน ต่อไปสำหรับนักวิจัยคนอื่นที่จะทำต่อยอด
6	เอกสารอ้างอิง/Reference		ควรหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น
7	คุณค่าทางวิชาการ (Academic Quality)		แก้ไขตามเสนอแนะจะทำให้เนื้อหามีความหนักแน่นขึ้น
8	ภาพรวม /Overview and collect idea การนำเสนอเนื้อหาครอบคลุมและเหมาะสม		

4. อื่น ๆ ตรวจสอบคำผิด การเว้นวรรค การเรียงลำดับรูปภาพและตาราง

5. สรุปผลการประเมิน

☐ ผ่าน ☑ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน .....

ประวัติผู้เขียน

นายวริทธิ์ อรุณสุขมาก เกิดเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2539 ที่อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา และระดับมัธยมศึกษาทั้งตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เข้าศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ในขณะที่ศึกษาระดับมหาบัณฑิตได้มีประสบการณ์เป็นผู้สอนวิชาปฏิบัติการและเป็นผู้ช่วยสอนของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมยานยนตร์ จำนวน 2 รายวิชา ได้แก่ (1) กรรมวิธีการผลิตเบื้องต้น และ (2) เขียนแบบวิศวกรรม และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา ดังปรากฏในภาคผนวก ค. ทั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจในด้านระบบควบคุมแบบอัตโนมัติและการประยุกต์ใช้โปรแกรมและอุปกรณ์ที่ทันสมัยมาใช้ในงานระบบควบคุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี