

Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2022

การวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้สำหรับ ออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

ณพล สัตยสิทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Applied Mechanics Commons](#), and the [Engineering Mechanics Commons](#)

Recommended Citation

สัตยสิทธิ์, ณพล, "การวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า" (2022). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 6441.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6441>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล่องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบการจัดวาง
กล่องในตู้เก็บสินค้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบกายภาพที่เชื่อมประสานด้วยเครือข่ายไซเบอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Dimensional Measurement of Rectangular Parcel Box Using Depth Camera for 3D Bin
Packing



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Cyber-Physical System

Department of Mechanical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า
โดย	นายณพล ลัดพลี
สาขาวิชา	ระบบกายภาพที่เชื่อมประสานด้วยเครือข่ายไซเบอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสีทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา พนมแข็ง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสีทธิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กิตติกุล โกวิทางกูร)

ณพล ลัดพลี : การวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้
สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า. (Dimensional Measurement of
Rectangular Parcel Box Using Depth Camera for 3D Bin Packing) อ.ที่ปรึกษา
หลัก : ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสีทธิ์

Robotic Process Automation (RPA) กำลังกลายเป็นส่วนสำคัญของการดำเนินงาน
โรงงานและการจัดการคลังสินค้าในปัจจุบัน แทนที่จะอาศัยมนุษย์ในการทำงานซ้ำๆ ระบบอัตโนมัติ
สามารถทำงานดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำลง ใน
อุตสาหกรรมโลจิสติกส์งานทั่วไปอย่างหนึ่งคือการวัดขนาดของกล่องพัสดุที่มาถึงคลังสินค้าเพื่อ
วัตถุประสงค์ในการจัดการสินค้าคงคลัง โดยทั่วไปแล้วผู้ปฏิบัติงานจะต้องวัดขนาดกล่องด้วยตนเอง
ในงานนี้เรานำเสนอการวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้
สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ระบบนี้จับภาพความลึกของกล่องที่จะวัดและใช้
อัลกอริทึม Flood fill เพื่อตรวจนับระนาบด้านบนและคำนวณหาขนาดของกล่องพัสดุ มีขั้นตอน
การประมวลผลเพิ่มเติม เช่น การสุ่มตัวอย่างแบบกริดและการชดเชยความสูง เพื่อปรับปรุงความ
แม่นยำเมื่อกล่องผิดรูป ข้อมูลขนาดกล่องจากการวัดจะอัปเดตไปยังฐานข้อมูลออนไลน์ และ
สามารถส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าได้ ด้วยการศึกษา Gage
R&R ระบบที่นำเสนอแสดงผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ พร้อมทั้งมี Repeatability และ Reproducibility
ที่ดี ในมุมมองด้านความแม่นยำ ข้อผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดขนาดกล่องที่แตกต่างกัน 4 ขนาดใน
ตำแหน่งที่แตกต่างกัน คือ 1.12% และเวลาประมวลผลเฉลี่ยคือ 2.38 วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา ระบบกายภาพที่เชื่อมประสาน ลายมือชื่อนิสิต
ด้วยเครือข่ายไซเบอร์
ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6470024121 : MAJOR CYBER-PHYSICAL SYSTEM

KEYWORD: Lidar Depth Camera, Dimensional Measurement, 3D Bin Packing

Napol Ladplee : Dimensional Measurement of Rectangular Parcel Box
Using Depth Camera for 3D Bin Packing. Advisor: NATTAPOL
DAMRONGPLASIT, Ph.D.

Robotic Process Automation (RPA) is becoming an integral part of today's factory operation and warehouse management. Instead of relying on humans to perform repetitive tasks, an automated system can perform such tasks with higher efficiency and at a lower operating cost. In the logistics industry, one such common task is to determine the sizes and dimensions of packages that arrive at the warehouse for inventory management purposes. Traditionally, operators are required to measure the box size manually. In this work, we propose an automated dimensional system for measuring rectangular parcel box for 3D bin packing using depth camera. This system captures depth images of the box to be measured and apply flood fill algorithm to locate the top plane and extract box dimensions. Additional signal processing steps such as grid sampling and height offset are added to improve accuracy when measuring boxes that are deformed. Measurement data is updated to an online database inventory and can be sent to a 3D bin packing application. By performing Gage R&R study, the proposed system shows acceptable result with good repeatability and reproducibility. From an accuracy standpoint, the average error of measuring 4 different box sizes in various orientations is 1.12% and the average processing time is 2.38 seconds.

Field of Study: Cyber-Physical System

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาของ ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ เสนอแนวทาง ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณและความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษฎา พนมเชิง รองศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ และ ดร. กิตติกุล โกวิทางกูร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบและให้คำแนะนำสำหรับการปรับปรุงวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ CPS ที่ได้แลกเปลี่ยนข้อมูลตลอดการทำวิทยานิพนธ์ในการเรียนปริญญาโท

ขอขอบคุณครอบครัวและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักน้อยสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ณพล ลัดพลี

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการทำงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล้อง RGB-D.....	6
2.1.1 Structured Light and Coded Light.....	6
2.1.2 Stereo Depth.....	7
2.1.3 Time of flight and Lidar.....	8
2.1.4 กล้อง RGB-D ที่มีความแม่นยำมากที่สุด.....	10
2.2 Point Cloud.....	10

2.3 Computer vision	13
2.3.1 Bounding Box.....	13
2.3.2 Anchor Boxes	14
2.3.3 Intersection over union (IOU)	14
2.3.4 Non-max suppression.....	15
2.3.5 Binary Mask	15
2.3.6 Object detection.....	16
2.3.7 Semantic segmentation.....	16
2.3.8 Instance segmentation.....	17
2.3.9 Edge detection	17
2.4 อัลกอริทึม Flood fill	18
2.5 Plane segmentation.....	19
2.5.1 Plane R-CNN.....	19
2.5.2 Flood fill plane segmentation.....	20
2.6 การวัดขนาดและปริมาตรของสิ่งของ.....	20
2.7 เครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม	22
2.8 การวิเคราะห์ระบบการวัด	23
2.8.1 ความผันแปรของตำแหน่ง	23
2.8.2 ความผันแปรของความกว้าง	23
2.9 การประมาณค่าในช่วงความเชื่อมั่น.....	26
2.10 สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน.....	27
2.11 การจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า.....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 ฮาร์ดแวร์	30

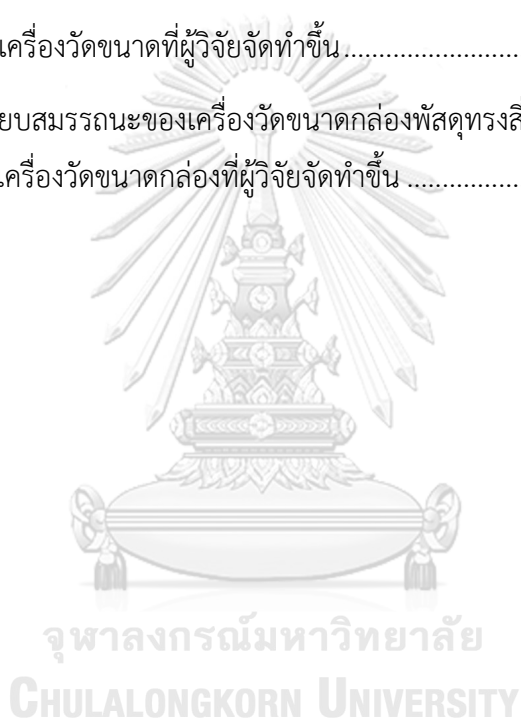
3.1.1 กล้อง RGB-D.....	30
3.1.2 แลปท็อป	32
3.2 ซอฟต์แวร์	32
3.2.1 Visual Studio Code	32
3.2.2 Python.....	32
3.2.3 JS, HTML, และ CSS	33
3.3 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์.....	34
3.4 กล้องที่นำมาทดสอบ.....	35
3.5 ผังงานของการวัดขนาดของกล้อง.....	38
3.6 การตรวจจับระนาบด้านบน	40
3.7 การวัดความสูงจากกล้องที่ไม่เรียบ	42
3.8 ระยะห่างระหว่างขอบกล้องถึงพื้น.....	45
3.9 ผลลัพธ์ของการวัดขนาดกล้อง.....	47
3.10 แอปพลิเคชันการจัดวางกล้องในตู้เก็บสินค้า	47
3.11 หน้าต่างส่วนที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน	49
3.11.1 หน้าต่างการวัดขนาดของกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม.....	49
3.11.2 หน้าต่างการจัดการข้อมูลในคลังสินค้า	53
3.11.3 หน้าต่างการจัดวางกล้องในตู้เก็บสินค้า	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	59
4.1 การทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม.....	60
4.1.1 Gage R&R Study Worksheet	60
4.1.2 Gage R&R (ANOVA) Report.....	68
4.2 การทดลองการวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม	70

4.3 การทดลองหาค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่ง ต่างๆในขอบเขตภาพ	77
4.4 การทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น	82
4.5 การทดลองจับเวลาระยะเวลาในการประมวลผล	85
4.6 การทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน	88
4.7 การทดลองเปรียบเทียบความผิดพลาดในการวัดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมกับโปรแกรม Intel Realsense Dimension Weight Software	91
4.8 เปรียบเทียบระบบที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นกับเครื่องวัดขนาดกล่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม.....	93
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	96
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	96
5.2 สรุปผลพัฒนาเทคนิคการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกใน สภาพแวดล้อมเสมือนจริง.....	96
5.3 สรุปผลการพัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่วัดได้ที่ระบบการจัดวาง กล่องในตู้เก็บสินค้า	97
5.4 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้นกับระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน	98
5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและข้อจำกัดในการใช้งาน	98
5.5.1 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	98
5.5.2 ข้อจำกัดในการใช้งาน	98
5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อ.....	100
บรรณานุกรม.....	101
ภาคผนวก.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	157

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงาน	4
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบกล้อง RGB-D รุ่นต่างๆของ Intel Realsense [3]	9
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของกล้อง Intel Realsense D415, D455, และ L515 [4]	10
ตารางที่ 4 ข้อมูลก่อนทำการ Flood fill [13]	18
ตารางที่ 5 ข้อมูลหลังทำการ Flood fill [13]	18
ตารางที่ 6 การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของ Best	28
ตารางที่ 7 คุณสมบัติของกล้อง RGB-D [37]	31
ตารางที่ 8 Camera intrinsic	31
ตารางที่ 9 คุณสมบัติของแล็ปท็อป [38]	32
ตารางที่ 10 ค่าที่วัดได้จากถลับเมตรของกล้อง 0, A, B, C, D	37
ตารางที่ 11 ขนาดอ้างอิงจากไปรษณีย์ของกล้อง 0, A, B, C, D [45]	38
ตารางที่ 12 ความผิดพลาดของการตรวจจับกล้องระหว่าง วิธี Canny edge detection และ Flood fill algorithm	41
ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาประมวลผลและค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของความสูง จากการวัดที่จุดกึ่งกลางของกล้องเพียงจุดเดียว	43
ตารางที่ 14 ตารางค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาวในการทดลองวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม	75
ตารางที่ 15 ตารางค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาวในการทดลองวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น	85
ตารางที่ 16 ระยะเวลาประมวลผลจากการทดลองวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล้องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน	89

ตารางที่ 17 Interval Estimation ของการทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ของกล่อง A, B, C, D	90
ตารางที่ 18 ความแม่นยำในการวัดขนาดของโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software.....	91
ตารางที่ 19 ค่าผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดด้วยตลับเมตรของกล่อง 0, A, B, C, D	92
ตารางที่ 20 Interval Estimation ของการวัดขนาดกล่อง 0, A, B, C, D	93
ตารางที่ 21 ราคาของเครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรม	94
ตารางที่ 22 ราคาของเครื่องวัดขนาดที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น	95
ตารางที่ 23 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเทียบกับเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น	95



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 กราฟแสดงการเติบโตของระบบโลจิสติกส์ในประเทศไทย[1]	1
รูปที่ 2 Structured light and coded light [2].....	7
รูปที่ 3 Stereo depth [2].....	7
รูปที่ 4 Time of flight and Lidar [2]	8
รูปที่ 5 Intel Realsense D455, D435, D415 และ L515 [3].....	10
รูปที่ 6 Point cloud [5].....	11
รูปที่ 7 การเปลี่ยนภาพ RGB เป็น Point cloud [8].....	11
รูปที่ 8 ภาพมุมมองด้านบน แสดงระนาบ x-z [8]	12
รูปที่ 9 Point cloud ที่ถูกแปลงมาจาก RGB-D [8].....	12
รูปที่ 10 Bounding box [10]	14
รูปที่ 11 Anchor boxes [10]	14
รูปที่ 12 Intersection over union [10].....	15
รูปที่ 13 Non-max suppression [10].....	15
รูปที่ 14 Binary mask [10].....	15
รูปที่ 15 Object detection [10].....	16
รูปที่ 16 Semantic segmentation [10].....	16
รูปที่ 17 Instance segmentation [10]	17
รูปที่ 18 Edge detection [11].....	17
รูปที่ 19 Flood fill [13].....	18
รูปที่ 20 Mask R-CNN [15].....	19
รูปที่ 21 Plane R-CNN [17]	20

รูปที่ 22 Flood fill plane segmentation [18]	20
รูปที่ 23 ตัวอย่างการวัดขนาดจากกล้อง [21].....	21
รูปที่ 24 ตัวอย่างการวัดขนาดด้วย point cloud [7].....	21
รูปที่ 25 เครื่องวัดขนาดกล้องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม [24]	22
รูปที่ 26 Repeatability และ Reproducibility [28]	24
รูปที่ 27 ความแตกต่างของ Accuracy และ Precision [29]	24
รูปที่ 28 การจำลองการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า.....	29
รูปที่ 29 สัญลักษณ์โปรแกรม Visual Studio Code [39].....	32
รูปที่ 30 สัญลักษณ์ภาษา Python [40].....	33
รูปที่ 31 สัญลักษณ์ HTML, JavaScript, และ CSS (ตามลำดับ) [44].....	34
รูปที่ 32 รูปแบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์	34
รูปที่ 33 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์หน้างานจริง (ก) มุมมองจากด้านหน้า (ข) มุมมองจากด้านบน ..	35
รูปที่ 34 ตลับเมตรที่ใช้ในการวัดขนาดกล่อง	35
รูปที่ 35 การวัดระยะของกล่องทั้ง 3 จุด	36
รูปที่ 36 กล่อง 0	36
รูปที่ 37 กล่อง A.....	36
รูปที่ 38 กล่อง B.....	36
รูปที่ 39 กล่อง C.....	37
รูปที่ 40 กล่อง D.....	37
รูปที่ 41 ผลงานภาพรวมของโปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง	39
รูปที่ 42 รูปภาพกล่องที่เห็นระนาบด้านบนและระนาบด้านข้าง	40
รูปที่ 43 การเปรียบเทียบระหว่าง (ก) วิธีการตรวจจับด้วยวิธี Canny edge detection และ (ข) วิธีใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการหาระนาบด้านบน.....	41
รูปที่ 44 ตัวอย่างจำลองการแบ่งกริดที่ขนาดของกริดคือ 10 pixel	42

รูปที่ 45 กล่องที่ไม่เรียบ	43
รูปที่ 46 ตัวอย่างการทดสอบหาค่ากริดที่เหมาะสม	43
รูปที่ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกริดและระยะเวลาในการประมวลผล	44
รูปที่ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกริดและค่าความผิดพลาดในการหาความสูง ...	44
รูปที่ 49 ระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น	45
รูปที่ 50 กล่องที่นำมาทดสอบหาระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น	46
รูปที่ 51 Histogram ของระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น	46
รูปที่ 52 ตัวอย่างผลลัพธ์ของการวัดขนาดกล่อง	47
รูปที่ 53 ผังงานการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า	48
รูปที่ 54 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า (ก) หน้าต่างการรับค่าของโปรแกรม (ข) การจำลองการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า	48
รูปที่ 55 หน้าต่างภาพรวมของการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม	49
รูปที่ 56 หน้าต่างรับค่า input	50
รูปที่ 57 หน้าต่างแสดงข้อมูลในคลังสินค้า	51
รูปที่ 58 หน้าต่าง output infrared image	52
รูปที่ 59 หน้าต่าง output depth image	52
รูปที่ 60 แถบสลับหน้าต่างย่อย	53
รูปที่ 61 หน้าต่างจัดการข้อมูลคลังสินค้า	53
รูปที่ 62 ผลลัพธ์จากการกดปุ่ม Clear Inventory	54
รูปที่ 63 ผลลัพธ์จากการกดปุ่ม Delete Data	54
รูปที่ 64 ผลลัพธ์จากการกดปุ่ม Send Data to Pack	55
รูปที่ 65 หน้าต่างตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า	55
รูปที่ 66 ผลลัพธ์จากปุ่ม Clear Data to Pack	56
รูปที่ 67 หน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า	57

รูปที่ 68 หน้าต่างจำลองการจัดวางกล่องพัสดุ.....	58
รูปที่ 69 Gage Run Chart ของความกว้าง.....	61
รูปที่ 70 Gage Run Chart ของความยาว.....	61
รูปที่ 71 Gage Run Chart ของความสูง.....	62
รูปที่ 72 Two-Way ANOVA Table With Interaction ของความกว้าง.....	63
รูปที่ 73 Two-Way ANOVA Table With Interaction ของความยาว.....	63
รูปที่ 74 Two-Way ANOVA Table With Interaction ของความสูง.....	63
รูปที่ 75 Gage Evaluation ของความกว้าง.....	64
รูปที่ 76 Gage Evaluation ของความยาว.....	64
รูปที่ 77 Gage Evaluation ของความสูง.....	65
รูปที่ 78 Variance Components ของความกว้าง.....	65
รูปที่ 79 Variance Components ของความยาว.....	66
รูปที่ 80 Variance Components ของความสูง.....	66
รูปที่ 81 รายงาน Gage R&R (ANOVA) ของความกว้าง.....	67
รูปที่ 82 รายงาน Gage R&R (ANOVA) ของความยาว.....	67
รูปที่ 83 รายงาน Gage R&R (ANOVA) ของความสูง.....	68
รูปที่ 84 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง 0.....	70
รูปที่ 85 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง A.....	71
รูปที่ 86 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง B.....	71
รูปที่ 87 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง C.....	72
รูปที่ 88 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง 0.....	73
รูปที่ 89 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง A.....	73
รูปที่ 90 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง B.....	74
รูปที่ 91 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง C.....	74

รูปที่ 92 (ก) องค์การวางกล่อง 0 องค์การ (ข) องค์การวางกล่อง 90 องค์การ	75
รูปที่ 93 การเกิด Hole ในภาพ Depth	76
รูปที่ 94 ภาพจำลองการเกิด Hole.....	77
รูปที่ 95 การทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆในขอบเขตภาพ.....	78
รูปที่ 96 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆในขอบเขตภาพ	79
รูปที่ 97 ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร กล่อง 0.....	79
รูปที่ 98 ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร กล่อง A	80
รูปที่ 99 ความเที่ยงตรง กล่อง 0	80
รูปที่ 100 ความเที่ยงตรง กล่อง A.....	80
รูปที่ 101 Depth Confident ของกล้อง Intel Realsense L515	81
รูปที่ 102 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้นของกล่อง 0.....	83
รูปที่ 103 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้นของกล่อง A.....	83
รูปที่ 104 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้นของกล่อง B.....	84
รูปที่ 105 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้นของกล่อง C.....	84
รูปที่ 106 กล่องแบบสุ่มองค์การวางหลายกล่องที่เคลื่อนที่บนสายพานลำเลียง [47]	86
รูปที่ 107 เปรียบเทียบระยะเวลาประมวลผลระหว่างการวัดครั้งละหลายๆกล่องเทียบกับการวัดครั้งละ 1 กล่อง.....	86
รูปที่ 108 เปลี่ยนเทียบระยะเวลาประมวลผลระหว่างการวัดครั้งละหลายๆกล่อง การวัดครั้งละ 1 กล่องและ การใช้คนในการวัดครั้งละ 1 กล่อง	87
รูปที่ 109 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน.....	88

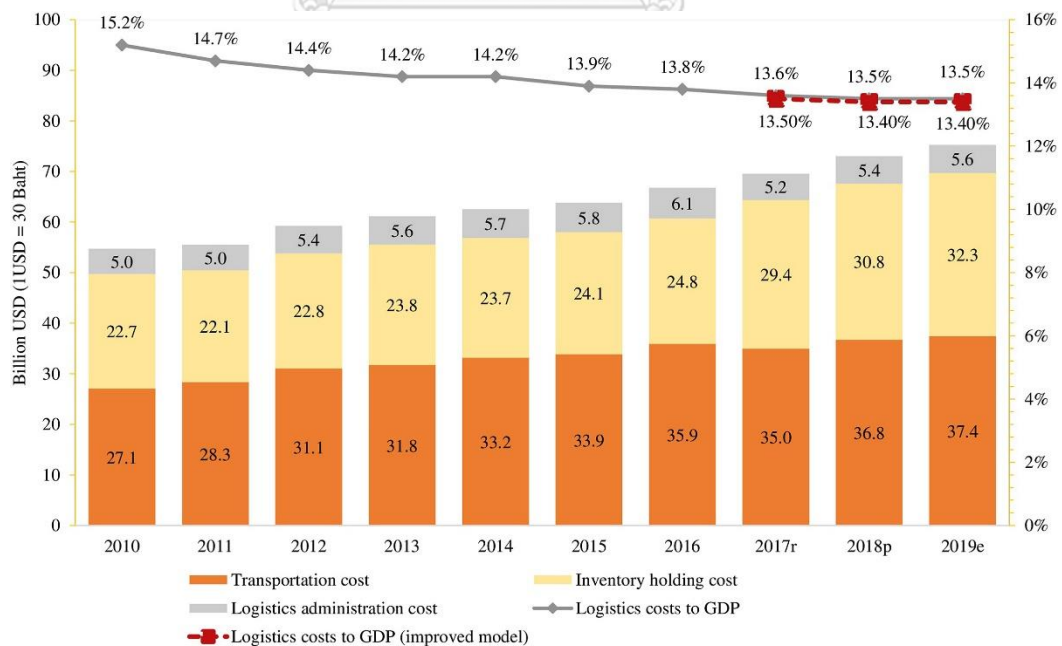
รูปที่ 110 ค่าผิดพลาดจากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน.....	89
รูปที่ 111 Interval Plot ของการทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ของกล่อง A, B, C, D.....	90
รูปที่ 112 Histogram ค่าผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับกรวัดด้วยตลับเมตร.....	92
รูปที่ 113 เครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรม.....	94
รูปที่ 114 เครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น.....	94



บทที่1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ในประเทศไทยมีมูลค่าสูงและมีการเติบโตขึ้นเป็นอย่างมาก [1] แสดงในรูปที่ 1 โดยในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์นั้นไม่ได้มีแค่เพียงการขนส่งสินค้าภายในประเทศและการขนส่งสินค้าภายนอกประเทศเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงการจัดเก็บสินค้า, การบริหารคลังสินค้า, การจัดซื้อ, การจัดเตรียมอะไหล่และชิ้นส่วนต่างๆ, การเลือกที่ตั้งโรงงานและคลังสินค้า, การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบและสินค้าคงคลังในระหว่างการผลิต, การบรรจุผลิตภัณฑ์, และการติดต่อสื่อสารด้านโลจิสติกส์ ส่งผลให้อุตสาหกรรมโลจิสติกส์นั้นมีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามได้มีเทคโนโลยีมากมายที่เข้ามามีส่วนช่วยในการพัฒนาอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ ไม่ว่าจะเป็นการช่วยให้มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ลดระยะเวลา ลดต้นทุน ยกตัวอย่างเช่น การใช้ระบบ IoT(Internet of things) มาใช้ในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์, การใช้ระบบ AI(Artificial Intelligence) ช่วยในการวางแผนเส้นทางการขนส่ง, การใช้ chat bot เข้ามาช่วยในการติดต่อสื่อสาร, การใช้เทคโนโลยี AR(Augmented Reality)ในการจำลองการขนส่งและจัดเก็บสินค้า, การใช้ Big data เข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลสินค้าต่างๆ, การใช้เทคโนโลยีรถยนต์ไร้คนขับมาช่วยในการขนส่งสินค้า, การใช้ QR code หรือ Bar code ในการตรวจสอบสินค้า, และการใช้กล้องเข้ามาช่วยในการตรวจสอบและวัดขนาดสินค้า



รูปที่ 1 กราฟแสดงการเติบโตของระบบโลจิสติกส์ในประเทศไทย[1]

Computer vision นั้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งทำให้ระบบสามารถเข้าใจและตอบสนองกับข้อมูลรูปภาพได้อย่างชาญฉลาด โดยเทคโนโลยี Computer vision นี้เป็นวิธีการเลียนแบบตาของมนุษย์ ช่วยทำให้คอมพิวเตอร์นั้นเห็นและรับรู้สิ่งต่างๆได้เพื่อนำไปประมวลผลตามสิ่งที่ผู้ใช้งานต้องการ โดย Computer vision นั้นนำมาใช้ในงานได้หลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น การตรวจจับวัตถุ การจำแนกวัตถุ การหาระยะห่างของวัตถุ การตรวจสอบวัตถุ ซึ่ง Computer vision นั้นอาจนำมาช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่ทำนายเหล่านี้และเป็นหนึ่งในวิธีที่จะช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะการตรวจสอบวัตถุและการหาระยะห่างของวัตถุนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการช่วยการจัดการสินค้าคงคลังได้ดีขึ้นสามารถช่วยแก้ปัญหาในการจัดเรียงสินค้าใส่ตู้คอนเทนเนอร์ได้

การจัดเรียงสินค้าใส่ตู้คอนเทนเนอร์นั้นมีความท้าทายเป็นอย่างมาก เพราะบางครั้งสินค้าที่นำมาใส่ในตู้คอนเทนเนอร์มีขนาดไม่เท่ากัน และขนาดของตู้คอนเทนเนอร์นั้นมีจำกัดการจัดเรียงสินค้าในตู้มีรูปแบบอาจจะทำให้พื้นที่จัดเก็บสินค้าเหลือน้อยหรืออาจจะทำให้พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เพียงพอได้ หรือแม้กระทั่งเราไม่ทราบขนาดของสินค้าที่จะนำมาจัดเก็บในตู้คอนเทนเนอร์ เราจึงต้องทำการวัดขนาดสินค้านั้นก่อนเพื่อทราบขนาดก่อนที่จะหาวิธีการจัดเรียงใส่ตู้คอนเทนเนอร์ต่อไป ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้เวลาจัดเก็บสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์นั้นไม่มีประสิทธิภาพ เสียทั้งเวลาการหาวัดหาขนาดของสิ่งของ และเสียเวลาลองผิดลองถูกในการจัดเรียงสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ ดังนั้นจึงคิดว่าควรมีเครื่องมือในการช่วยวัดขนาดของสินค้า และเครื่องมือที่นำขนาดของสินค้านั้นไปจำลองการจัดเรียงในตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อที่จะทำให้ลดระยะเวลาในการจัดเรียงสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ลง

ในการศึกษานี้ เราจะใช้ข้อมูลจากกล้อง RGB-D เพียงตัวเดียวที่ติดตั้งขนานกับพื้น โดยข้อมูลจากกล้อง RGB-D นั้นมีข้อมูล ภาพ RGB, ภาพ Infrared, และภาพ Depth โดยจะนำภาพ Depth นั้นไปประมวลผล ผ่านโปรแกรมที่เขียนโดยภาษา Python ร่วมกับการใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการหาระนาบบนสุดของกล่อง และทำการวัดขนาดของกล่อง เมื่อทำการวัดขนาดของกล่องเสร็จเรียบร้อยแล้วจะส่งขนาดของกล่องนั้นไปสู่โปรแกรมจำลองการจัดเรียงสินค้า เพื่อที่จะทำให้รู้ว่ากล่องแต่ละกล่องนั้นควรวางอยู่ในตำแหน่งใด ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้เราทั้งทราบขนาดของกล่องได้ภายในเวลาอันรวดเร็วและทราบตำแหน่งของกล่องแต่ละกล่องที่จัดเรียงในตู้คอนเทนเนอร์ได้ทันทีว่าควรวางอยู่ในตำแหน่งใดบ้าง

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 พัฒนาเทคนิคการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
- 1.2.2 พัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่วัดได้ที่ระบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า
- 1.2.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้นกับระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 วัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยใช้กล้องวัดความลึกได้
- 1.3.2 กล่องแต่ละกล่องที่ทำการวัดขนาดจะต้องไม่วางซ้อนกันและไม่เรียงชิดติดกัน
- 1.3.3 กล่องที่ทำการวัดขนาดต้องอยู่นิ่งขณะถ่ายภาพ
- 1.3.4 กล่องที่จะทำการวัดขนาดต้องมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมและไม่มีส่วนเสียหาย
- 1.3.5 กล่องที่จะทำการวัดขนาดต้องไม่ใช่กล่องที่มีสีดำสนิทหรือเป็นกล่องที่มีชิ้นส่วนสะท้อนแสง
- 1.3.6 นำขนาดของกล่องที่วัดได้ไปใช้สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าได้

1.4 ขั้นตอนการทำงาน

	ปี 2022											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
หาหัวข้อที่สนใจ												
เรียนรู้ภาษา Python												
เรียนรู้การทำงานของโปรแกรม Object detection												
เรียนรู้การทำงานของโปรแกรม Packing												
เรียนรู้การทำงานของกล้อง RGB-D												
เรียนรู้การทำงานของอัลกอริทึม Flood fill												
เขียนโปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง												
ทำการทดลอง												
พัฒนาโปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง												
เขียนเล่มวิทยานิพนธ์												
ส่งเอกสารการประชุมทางวิชาการ												
สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์												
สอบป้องกันวิทยานิพนธ์												

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ทราบขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมผ่านการใช้กล้องวัดความลึก
- 1.5.2 สามารถนำขนาดของกล่องพัสดุที่ทราบไปใช้สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าได้



บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

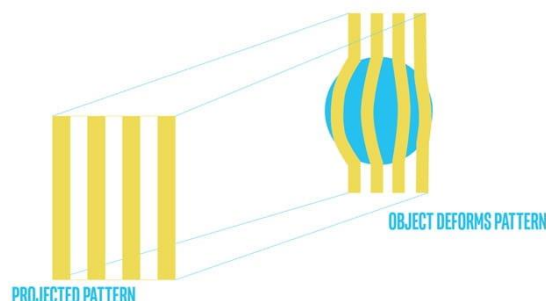
2.1 กล้อง RGB-D

กล้อง RGB-D คือกล้องที่เกิดมาจากการรวมกันของกล้อง RGB และ กล้อง Depth ใน ปัจจุบันได้มีการผลิตกล้อง RGB-D ออกมาให้ผู้ใช้งานจำนวนมากมายหลายยี่ห้อ ยกตัวอย่างเช่น Intel Realsense, Microsoft Kinect, และ OAK-D เป็นต้น ซึ่งกล้อง RGB นั้นคือกล้องปกติที่เราใช้กัน ทั่วๆไปในชีวิตประจำวัน เช่น กล้องเว็บแคม, กล้องถ่ายรูป, และกล้องโทรศัพท์ต่างๆ ซึ่งกล้องประเภท นั้นจะให้ค่า สีในแต่ละพิกเซลเป็นค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยแต่ละค่าสีนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 จะนำค่าสีต่างๆที่ได้นั้นไปประมวลผลต่อไป ไม่ว่าจะเป็นการทำ Object Detection, Semantic segmentation, Instance Segmentation, Edge detection และทำ model เพื่อใช้ กับระบบ Machine Learning ต่างๆ แต่กล้อง RGB มีข้อเสียอยู่ตรงที่ภาพที่ได้นั้นจะเป็นแบบ 2 มิติ ไม่สามารถทราบระยะห่างระหว่างตัวกล้องกับวัตถุที่จับภาพมาได้ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นกล้อง Depth ขึ้นมาเพื่อช่วยแก้ไขปัญหานี้ กล้อง Depth หรือกล้องวัดความลึก จะมีเทคโนโลยีที่ช่วยให้ตัว กล้องสามารถทราบระยะห่างระหว่างตัวกล้องกับวัตถุได้ โดยกล้อง RGB นั้นแต่ละพิกเซลจะเก็บเป็น ค่าสี แต่กล้องวัดความลึกนั้นแต่ละพิกเซลจะเก็บเป็นค่าระยะห่างระหว่างตัวกล้องและวัตถุในพิกเซล นั้นๆ โดยค่าความลึกนั้นสามารถแสดงผลออกมาได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น แสดงเป็นภาพสีว่าสีฟ้า จะอยู่ใกล้กล้อง สีแดงอยู่ไกลกล้อง เป็นต้น ซึ่งเมื่อทราบค่าความลึกแล้วนั้นทำให้ได้ภาพในแบบสาม มิติ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดได้ เช่น ใช้ในการบอกระยะโฟกัสของภาพ, ใช้ในการตัดพื้นหลังที่เราไม่ สนใจออก, และใช้ในการวัดขนาดของวัตถุ เป็นต้น โดยเทคโนโลยีของกล้องวัดความลึกนั้นมีหลาก ลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทนั้นจะมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป เช่น ความแม่นยำ, การใช้ใน ที่กลางแจ้ง โดยแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังต่อไปนี้ Structured Light and Coded Light, Stereo Depth, และ Time of flight and LiDAR [2]

2.1.1 Structured Light and Coded Light

เทคโนโลยีนี้จะพ่นแสงที่ฉายออกไป (โดยปกติคือแสงอินฟราเรด) จากตัวฉายแสงบางชนิด ไปยังฉาก แสงที่ฉายมีลวดลายที่ตายตัว ไม่ว่าจะเป็นด้วยสายตาหรือเมื่อเวลาผ่านไป หรือทั้งสองอย่าง รวมกัน เนื่องจากเราทราบรูปแบบการฉายแสง วิธีที่เซ็นเซอร์ในกล้องเห็นรูปแบบการฉายแสงในฉาก จะให้ข้อมูลความลึก ตัวอย่างเช่น หากลวดลายเป็นชุดของแถบลายที่ฉายลงบนลูกบอล แถบนั้นจะ เสียรูปและโค้งงอไปรอบๆพื้นผิวของลูกบอลในลักษณะเฉพาะ ถ้าหากลูกบอลเคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวฉาย แสง รูปแบบการฉายแสงก็จะเปลี่ยนไปเช่นกัน การใช้ความเหลื่อมล้ำระหว่างรูปแบบแสงที่ฉายตอน

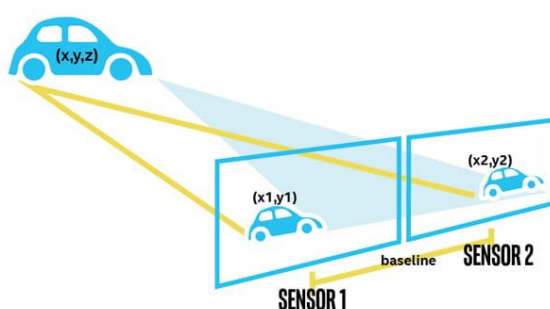
แรกกับรูปแบบแสงที่ฉายตอนเปลี่ยนไปเมื่อกระทบวัตถุจะสามารถคำนวณหาระยะห่างจากกล้องได้ในทุกๆ พิกเซล [2] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Structured light and coded light [2]

2.1.2 Stereo Depth

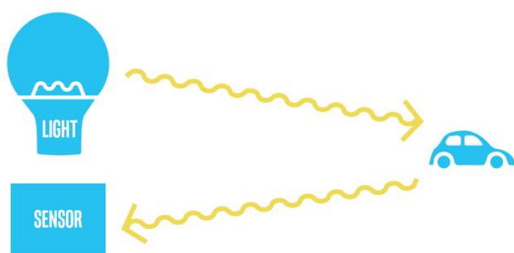
กล้องวัดความลึกแบบสเตอริโอมีเซ็นเซอร์สองตัว โดยเซ็นเซอร์ทั้งสองตัวนั้นเว้นระยะห่างจากกันเล็กน้อย กล้องวัดความลึกแบบสเตอริโอใช้ภาพสองภาพจากเซ็นเซอร์ทั้งสองตัวนี้มาทำการเปรียบเทียบกัน เนื่องจากทราบระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ทั้งสอง เมื่อนำภาพจากเซ็นเซอร์ทั้งสองมาเปรียบเทียบกันทำให้สามารถทราบข้อมูลความลึกของแต่ละพิกเซลได้ กล้องวัดความลึกแบบสเตอริโอทำงานลักษณะเดียวกันกับตาของมนุษย์ การที่มนุษย์ใช้ตาสองข้างเพื่อรับรู้ระยะห่างระหว่างตัวเรากับวัตถุ สมองของมนุษย์จะคำนวณความแตกต่างระหว่างตาทั้งสองข้าง ซึ่งวัตถุที่อยู่ใกล้จะมีการเคลื่อนที่แบบมีนัยยะสำคัญระหว่างตาข้างหนึ่งกับตาอีกข้างหนึ่ง ส่วนวัตถุที่อยู่ในระยะไกลออกไปจะดูเคลื่อนไหวน้อยมาก เนื่องจากกล้องวัดความลึกแบบสเตอริโอนั้นใช้คุณสมบัติของภาพในการวัดความลึก กล้องประเภทนี้จึงทำงานได้ดีในที่มีสภาพแสงมากหรือในที่กลางแจ้ง โดยระยะทางที่กล้องวัดได้นั้นสัมพันธ์โดยตรงกับระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ทั้งสอง ยิ่งเส้น baseline กว้างเท่าไร กล้องก็จะยิ่งมองเห็นได้ไกลขึ้นเท่านั้น [2] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Stereo depth [2]

2.1.3 Time of flight and Lidar

กล้องวัดความลึกประเภท time of flight และ lidar นี้ใช้เวลาและความเร็วของแสงเป็นตัวแปรที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าความลึก เซนเซอร์ lidar นั้นจะค้นเคยได้จาก รถยนต์ไร้คนขับ ที่ใช้เวลาและความเร็วแสงในการคำนวณหาความลึก กล้องประเภทนี้จะทำการปล่อยแสงออกมากวาดไปทั่วฉากที่จับภาพได้ จากนั้นจับเวลาที่แสงที่ปล่อยออกไปนั้นใช้เวลานานเท่าไรเมื่อแสงกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาที่เซนเซอร์ของกล้อง เวลาที่เซนเซอร์ตรวจจับได้จะสามารถนำไปคำนวณหาค่าความลึกในระยะทางที่มีนัยสำคัญได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังและความยาวของคลื่นแสงด้วย เพราะเนื่องจากวัตถุบางชิ้นหรือสีบางสีมีคุณสมบัติทำให้แสงสะท้อนได้ไม่ดีหรือมีคุณสมบัติดูดกลืนแสงทำให้แสงสะท้อนกลับไปได้ไม่ได้ โดยเทคโนโลยีนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ยกตัวอย่างเช่น การทำแผนที่ภูมิประเทศจากเฮลิคอปเตอร์ ข้อเสียหลักๆของกล้องประเภท time of flight และ lidar คืออาจไวต่อกล้องประเภทอื่นในพื้นที่เดียวกันและทำงานได้ไม่ดีในสภาพแสงกลางแจ้ง สถานการณ์ใดๆที่แสงตกกระทบเซนเซอร์กล้องอาจไม่ใช่แสงที่ปล่อยออกมาจากกล้องเอง แต่มาจากแหล่งปล่อยแสงแหล่งอื่น เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ หรือกล้องตัวอื่นๆ อาจจะทำให้คุณภาพของความลึกที่ตัวกล้องคำนวณได้มีความแม่นยำลดลง [2] ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Time of flight and Lidar [2]

การเปรียบเทียบกล้อง RGB-D

	D455	D435	D415	L515
สภาพแวดล้อม	ในร่ม และ กลางแจ้ง	ในร่ม และ กลางแจ้ง	ในร่ม และ กลางแจ้ง	ในร่ม และ กลางแจ้ง
เทคโนโลยีการวัด ความลึก	Stereo Depth	Stereo Depth	Stereo Depth	Lidar
Depth FOV (H x V)	87° x 58°	87° x 58°	65° x 40°	70° x 55°
Depth Resolution	สูงสุด 1280 x 720	สูงสุด 1280 x 720	สูงสุด 1280 x 720	สูงสุด 1024 x 768
Depth Accuracy	<2% ที่ 4 เมตร	<2% ที่ 2 เมตร	<2% ที่ 2 เมตร	~5 มม. to ~14 มม. ทุกระยะ จนถึง 9 เมตร
Depth Frame Rate	สูงสุด 90 fps	สูงสุด 90 fps	สูงสุด 90 fps	สูงสุด 30 fps
RGB Resolution and Frame Rate	1280 x 800 ที่ 30 fps	1920 x 1080 ที่ 30 fps	1920 x 1080 ที่ 30 fps	1920 x 1080 ที่ 30 fps
RGB Sensor FOV (H x V)	90° x 65°	69° x 42°	69° x 42°	70° x 43°
ระยะทางน้อย ที่สุด (Min-Z) ที่ ความละเอียด สูงสุด	~52 ซม.	~28 ซม.	~45 ซม.	~25 cm
ระยะการทำงาน	0.6 ถึง 6 เมตร	0.3 ถึง 3 เมตร	0.5 ถึง 3 เมตร	0.25 ถึง 9 เมตร
ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	124 มม. x 26 มม. x 29 มม.	90 มม. x 25 มม. x 25 มม.	99 มม. x 20 มม. x 23 มม.	61 มม. x 26 มม.

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบกล้อง RGB-D รุ่นต่างๆของ Intel Realsense [3]



รูปที่ 5 Intel Realsense D455, D435, D415 และ L515 [3]

2.1.4 กล้อง RGB-D ที่มีความแม่นยำมากที่สุด

ทางผู้วิจัยนั้นต้องการวัดขนาดของกล้อง ดังนั้นจึงต้องการกล้องที่มีความแม่นยำมากที่สุด เพื่อที่จะทำให้ขนาดของกล้องที่วัดออกมาได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยมีงานวิจัยหนึ่งได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกล้อง RGB-D ของ Intel ในรุ่น Intel Realsense D415, D455, และ L515 ในการทดลองนำฉากมาวางบนรางเลื่อนแบบตลับลูกปืนและให้กล้อง RGB-D ถ่ายภาพไปที่ฉากนั้น และขยับฉากนั้นห่างออกไปเรื่อยๆ ในระยะ 100 – 1500 มม. วัดผลโดยการดูระยะทางที่กล้องวัดได้เทียบกับความเป็นจริง ผลปรากฏว่ากล้อง Intel Realsense L515 มีความแม่นยำมากที่สุด [4] โดยมีค่าความผิดพลาดดังตารางที่ 3

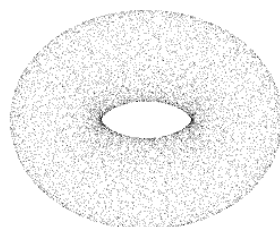
	D415	D455	L515
ค่าเฉลี่ย	0.62 มม.	-0.7 มม.	-0.4 มม.
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.57 มม.	4.25 มม.	1.88 มม.
พิสัย	29.57 มม.	34.24 มม.	17.06 มม.

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของกล้อง Intel Realsense D415, D455, และ L515 [4]

2.2 Point Cloud

Point cloud คือ ชุดของจุดข้อมูลหลายๆจุดในพื้นที่พื้นที่หนึ่ง แต่ละจุดอาจแสดงถึงรูปร่างหรือวัตถุสามมิติ ดังรูปที่ 6 โดยตำแหน่งจุดแต่ละจุดนั้นมีชุดพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y, z) โดยทั่วไปแล้ว point cloud ถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องสแกนสามมิติ และจะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลายประการ

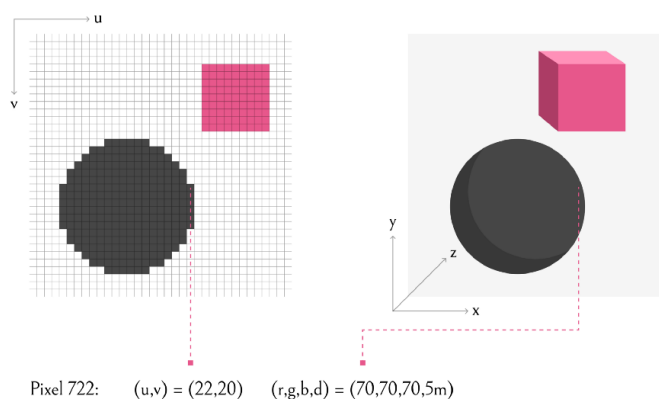
รวมถึงการสร้างแบบจำลองสามมิติ, CAD สำหรับชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้น, สำหรับมาตรวิทยาและการตรวจสอบคุณภาพ, และสำหรับการแสดงภาพ แอนิเมชัน การเรนเดอร์ และแอปพลิเคชันต่างๆ [5]



รูปที่ 6 Point cloud [5]

Point cloud นั้นได้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น โมเดล pointnet [6] เป็นการนำข้อมูล point cloud ไปฝึกฝนให้เกิดโมเดลขึ้นมา เพื่อนำโมเดลนั้นไปใช้ในการ Classification, Part segmentation, และ Semantic segmentation หรือในงานวิจัยการหาปริมาตรของมันสัมปะหลัง [7] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูล point cloud ของมันสัมปะหลังที่เก็บได้ นำมาคำนวณหาปริมาตรของมันสัมปะหลัง เป็นต้น

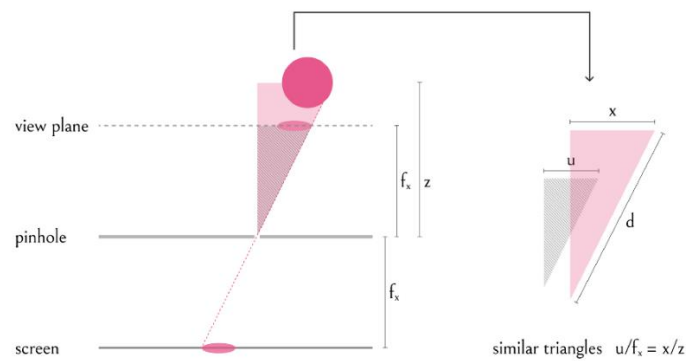
วิธีการเปลี่ยนภาพ RGBD (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ความลึก) ไปเป็นจุดในสามมิติ [8] ดังรูปที่ 7 ซึ่งภาพ RGBD นั้นสามารถรับภาพได้จากหลากหลายวิธี เช่น ระบบ Kinect ที่ใช้เทคโนโลยี time of flight ในการวัดความลึก การใช้ Lidar สำหรับรถยนต์ไร้คนขับ



รูปที่ 7 การเปลี่ยนภาพ RGB เป็น Point cloud [8]

สิ่งที่สำคัญคือต้องทราบคุณสมบัติของกล้องเพื่อที่จะทำความเข้าใจว่าแต่ละพิกเซลมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมสามมิติอย่างไร พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดคือ ความยาวโฟกัสซึ่งจะ

บอกถึงวิธีการแปลงพิกัดพิกเซลเป็นความยาว จากเรขาคณิตอย่างง่าย เราสามารถหาตำแหน่ง x จาก u และ d ของแต่ละพิกเซลได้ [8] ดังรูปที่ 8



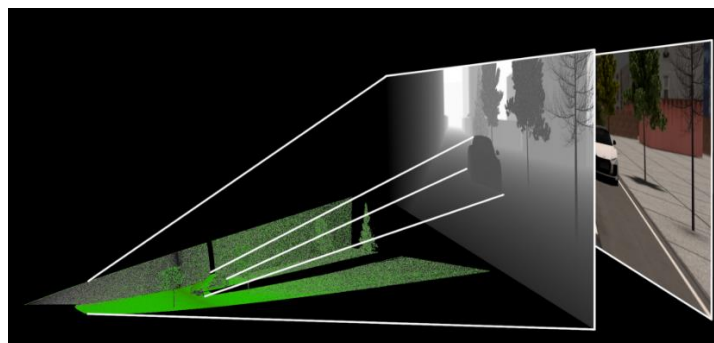
รูปที่ 8 ภาพมุมมองด้านบน แสดงระนาบ x - z [8]

โดยปกติ f_x และ f_y คือ ความยาวโฟกัสในแนวแกน x และแกน y โดยปกติจะเหมือนกัน แต่สามารถแตกต่างกันได้ เช่น การบิดเบือนของเลนส์ หรือการประมวลผลภาพภายหลัง ส่วนพารามิเตอร์อื่นที่สำคัญของกล้องได้แก่ c_x และ c_y เป็นจุดศูนย์กลางของเซ็นเซอร์กล้อง โดยเมื่อเราทราบพารามิเตอร์ทั้งหมดแล้ว จะสามารถเปลี่ยนภาพ RGBD ที่เป็นหน่วยพิกเซลเป็น point cloud ที่เป็นหน่วยเมตรได้ [8] ตามสมการดังต่อไปนี้ แลการแปลงภาพ RGBD เป็น point cloud ในรูปแบบสามมิติ แสดงดังรูปที่ 9

$$x = \left(\frac{u - c_x}{f_x} \right) * \text{ข้อมูลความลึก} \quad (1)$$

$$y = \left(\frac{v - c_y}{f_y} \right) * \text{ข้อมูลความลึก} \quad (2)$$

$$z = \text{ข้อมูลความลึก} \quad (3)$$



รูปที่ 9 Point cloud ที่ถูกแปลงมาจาก RGB-D [8]

2.3 Computer vision

Computer Vision นั้น เป็นสาขาย่อยของ AI โดยเฉพาะ หาก AI อนุญาตให้เครื่องจักรคิดเองได้ Computer Vision ก็คือสิ่งที่ทำให้เครื่องจักรมองเห็น ซึ่งในทางเทคนิคแล้ว มันทำให้เครื่องจักรสามารถจดจำ ทำความเข้าใจ และตอบสนองต่อข้อมูลภาพ เช่น รูปภาพ วิดีโอ และอินพุตภาพอื่น ๆ ซึ่งจะเน้นใช้งานกับภาพเป็นหลัก ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา Computer Vision ได้กลายเป็นตัวขับเคลื่อนหลักของ AI เทคนิคนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิต อีคอมเมิร์ซ เกษตรกรรม ยานยนต์ และยา เป็นต้น นอกจากนี้ ยังเป็นตัวขับเคลื่อนเทคโนโลยีทุกอย่างตั้งแต่การซื้อของที่ใช้ AR เพื่อให้เห็นภาพจริงและรายละเอียดสินค้า การวิเคราะห์ทางการแพทย์ และความสามารถในการขับรถยนต์อัตโนมัติ [9]

หลักการทำงานของ Computer Vision นั้นแบ่งออกเป็นหลายแบบ โดยจะมีทั้งการแบ่งส่วนของภาพ แบ่งภาพออกเป็นส่วนๆและตรวจสอบเป็นรายบุคคล, การจดจำรูปแบบ ซึ่งจะเป็นรูปภาพซ้ำๆและนำวิเคราะห์กับเคสที่เกิดขึ้น โดยวิธีนี้มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการวิเคราะห์อาการผู้ป่วย, การจำแนกวัตถุ ค้นหา และติดตามวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น ติดตามผู้ร้ายจากข้อมูลในกล้องวงจรปิด สุดท้ายการจดจำใบหน้า ซึ่งเป็นรูปแบบการตรวจจับวัตถุขั้นสูงที่สามารถตรวจจับและระบุใบหน้ามนุษย์ได้ Computer Vision นั้น จะใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการจัดเรียงข้อมูลจำนวนมหาศาลจนกว่าจะเข้าใจสิ่งที่กำลังดูอยู่ ยกตัวอย่างในการอธิบายง่าย ๆ ก็คือ หากต้องการให้คอมพิวเตอร์แยกแยะภาพถ่ายไอศกรีมกับพิซซ่าเป๊ปเปอร์โรนี เราจำเป็นต้องมีภาพถ่ายไอศกรีมและพิซซ่าจำนวนมากเพื่อให้ AI ได้ดู จากนั้น AI จะนำรูปภาพทั้งหมดไปประมวลผลหลายชั้นและหลายเลเยอร์ มันจะสร้างเป็นโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมาเพื่อแยกไอศกรีมออกจากพิซซ่าเป๊ปเปอร์โรนีทีละชั้นโดยดูจากคุณสมบัติพื้นฐานของสิ่ง ๆ นั้น เช่น เส้นขอบระหว่างส่วนที่สว่างและมีดของรูปภาพ และเลเยอร์ที่ซับซ้อนมากขึ้นจะดูรูปร่างหรือส่วนอื่นๆ [9]

สิ่งสำคัญที่ควรทราบในการทำ computer vision ได้แก่

2.3.1 Bounding Box

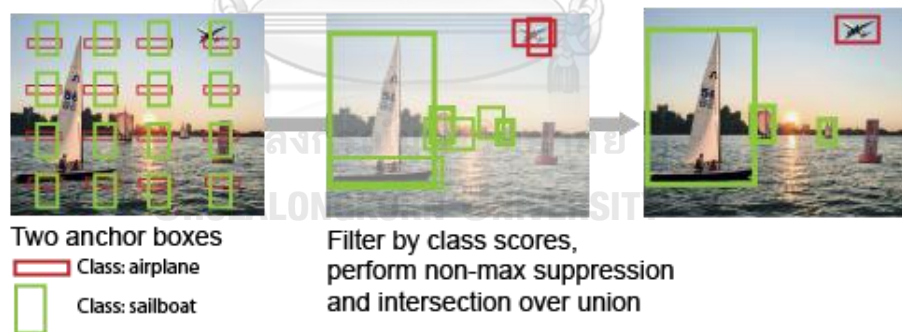
Bounding Box คือ รูปสี่เหลี่ยมที่ใช้ล้อมรอบวัตถุที่เราสนใจในภาพ โดยทั่วไปจะอธิบายได้ด้วยค่าสี่ค่าได้แก่ b_x , b_y , b_h , และ b_w โดย (b_x , b_y) คือจุดศูนย์กลางของกล่อง และ b_h , b_w คือความสูงและความกว้างของกล่องตามลำดับ [10] ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 Bounding box [10]

2.3.2 Anchor Boxes

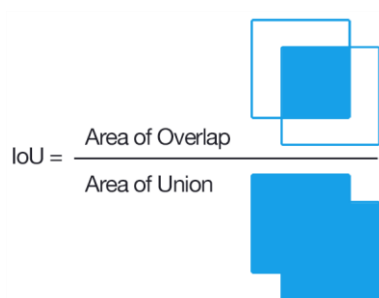
Anchor Boxes คือ ชุดของกรอบล้อมรอบที่กำหนดไว้ล่วงหน้าที่มีความสูงและความกว้างที่แน่นอน กล้องเหล่านี้ถูกกำหนดให้จับมาตราส่วนและอัตราส่วนกว้างยาวของคลาสที่เฉพาะที่คุณต้องการตรวจจับ และโดยทั่วไปจะถูกเลือกตามขนาดของออบเจกต์ในชุดข้อมูลการฝึกของคุณ [10] ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 Anchor boxes [10]

2.3.3 Intersection over union (IOU)

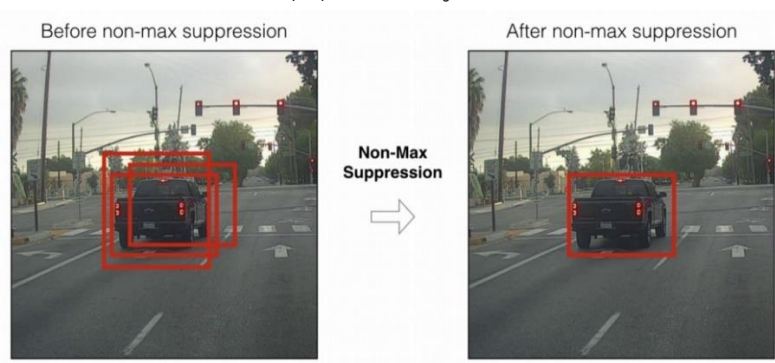
Intersection over union หรือ (IOU) คือ ตัวชี้วัดใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกล่องที่เราคาดการณ์ไว้กับความเป็นจริงว่ามีอัตราส่วนที่ถูกต้องเท่าใด [10] ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 Intersection over union [10]

2.3.4 Non-max suppression

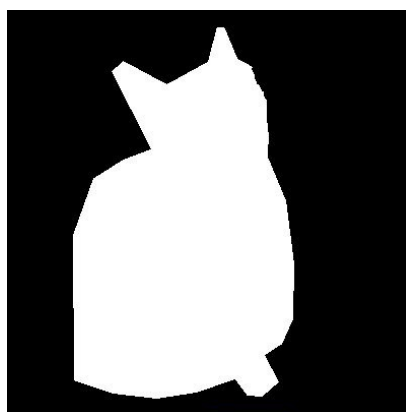
Non-max suppression คือ หากมีกล่องหลายกล่องที่ล้อมรอบวัตถุที่สนใจ เทคนิคนี้จะตัดกล่องทั้งหมดออก ยกเว้นกล่องที่มี IOU สูงสุด [10] ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 Non-max suppression [10]

2.3.5 Binary Mask

Binary Mask คือ อาร์เรย์ 2 มิติที่มีจุดข้อมูลที่แสดงถึงความกว้างและความสูงของพิกเซลเดียวกันของภาพ แต่ละพิกเซลในมาสก์ของเราจะมีป้ายกำกับว่า 1 หรือ 0 (จริงหรือเท็จ) ว่าเป็นของที่คาดคะเนหรือไม่ [10] ดังรูปที่ 14

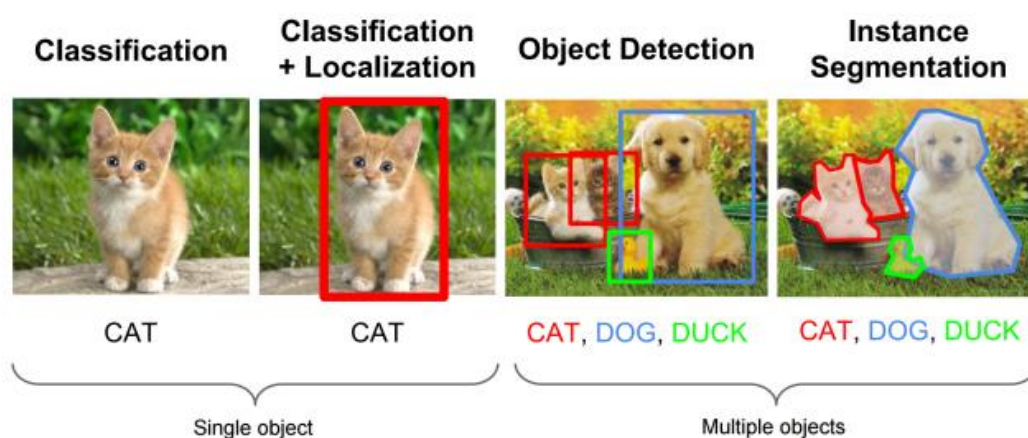


รูปที่ 14 Binary mask [10]

โดยการนำ computer vision นั้นถูกนำมาใช้งานด้านต่างๆดังต่อไปนี้

2.3.6 Object detection

Object detection คือ การตรวจจับวัตถุ ระบุตำแหน่งของวัตถุและติดป้ายกำกับว่าวัตถุชนิดนั้นคืออะไรในกรอบภาพได้อย่างถูกต้อง โดยมีวิธีการอยู่ 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1.ระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยการระบุตำแหน่งของวัตถุนั้นจะสร้างกล่องล้อมรอบวัตถุที่สนใจในภาพเพื่อค้นหาตำแหน่งที่แน่นอนของวัตถุ 2.การจัดประเภทของวัตถุ เมื่อวัตถุถูกสร้างกล่องล้อมรอบแล้วนั้นจะนำวัตถุที่อยู่ในกล่องไปเข้าสู่อัลกอริทึมการแยกประเภทว่าเป็นวัตถุประเภทใดและเมื่อแยกประเภทเรียบร้อยแล้วจะติดป้ายกำกับวัตถุนั้นด้วย [10] ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 Object detection [10]

2.3.7 Semantic segmentation

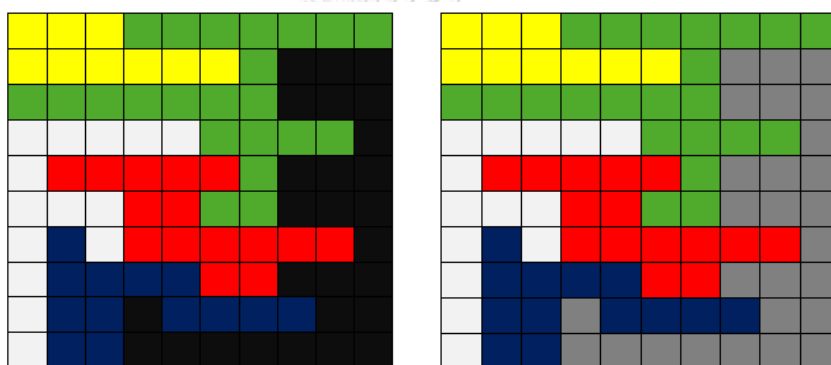
Semantic segmentation คือ การเชื่อมโยงแต่ละพิกเซลในภาพที่ทำการระบุตำแหน่งของวัตถุและติดป้ายกำกับเรียบร้อยแล้ว โดยวัตถุประเภทเดียวกันแต่อยู่คนละที่กันจะมีสีเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น พิกเซลสีหนึ่งจะถูกระบุว่าเป็นรถยนต์ อีกสีหนึ่งเป็นต้นไม้ และอีกสีหนึ่งเป็นคนเดินเท้า เป็นต้น [10] ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 Semantic segmentation [10]

2.4 อัลกอริทึม Flood fill

Flood fill เป็นอัลกอริทึมที่กำหนดและทำเครื่องหมายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันในแต่ละเซลล์ในกริด เป็นการใช้เทคนิค Depth first search ในตารางหรืออาร์เรย์หลายมิติเพื่อค้นหาเซลล์ส่วนประกอบที่ต้องการ เป็นอัลกอริทึมเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่เชื่อมต่อกับโหนดที่กำหนดในอาร์เรย์หลายมิติด้วยแอตทริบิวต์ที่ตรงกัน มันถูกใช้ในเครื่องมือ "ถังสี" ของโปรแกรมระบายสีเพื่อเติมพื้นที่เชื่อมต่อที่มีสีคล้ายกันด้วยสีที่ต่างกัน และในเกมเช่น Go และ Minesweeper เพื่อกำหนดว่าชิ้นส่วนใดจะถูกเคลียร์ ตัวแปรที่เรียกว่าการเติมขอบใช้อัลกอริทึมเดียวกัน แต่ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่ที่เชื่อมต่อกับโหนดที่กำหนดซึ่งไม่มีแอตทริบิวต์เฉพาะ [13, 14] โดยตัวอย่างการใช้ในรูปแบบสีเป็นดังรูปที่ 19 และตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบตัวเลขเป็นดังตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5



รูปที่ 19 Flood fill [13]

1	2	3	1	2
1	2	3	4	5
5	3	3	2	1
7	4	3	3	4
1	3	3	4	3

ตารางที่ 4 ข้อมูลก่อนทำการ Flood fill [13]

1	2	5	1	2
1	2	5	4	5
5	5	5	2	1
7	4	5	5	4
1	5	5	4	3

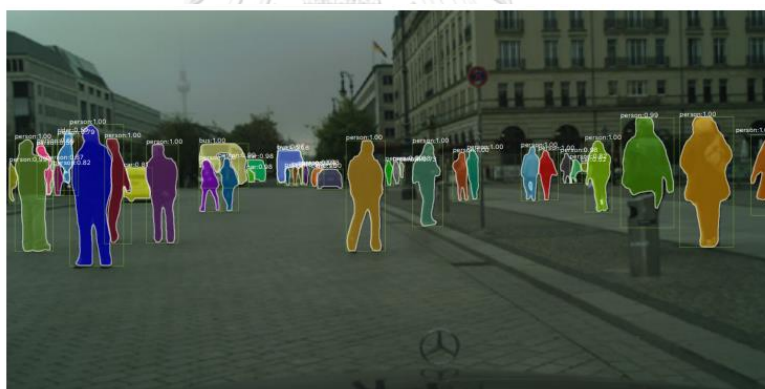
ตารางที่ 5 ข้อมูลหลังทำการ Flood fill [13]

2.5 Plane segmentation

ระนาบสามารถพบได้ทุกที่ไม่ว่าจะในสภาพแวดล้อมในร่มหรือกลางแจ้ง ระนาบที่มีพื้นผิวขนาดใหญ่เช่น ผนัง พื้น ทางเท้า และยังมีระนาบจากวัตถุอื่นๆ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ รถยนต์ ฉากกั้น และกล่องที่ประกอบด้วยผิวระนาบ การตรวจจับระนาบในรูปแบบสามมิติ จะทำการแยกระนาบแต่ละระนาบที่ไม่เกี่ยวข้องกันออกจากกันและแสดงผลโดยการใส่สีแต่ละฟีกเซลในระนาบที่ตรวจจับได้ ระนาบที่แตกต่างกันจะแสดงผลด้วยสีที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถแยกได้ชัดเจนว่าฟีกเซลนี้อยู่ในระนาบใด การตรวจจับระนาบในรูปแบบสามมิตินั้นมีความสำคัญ เช่น ช่วยให้การเข้าใจฉากหลัง การสร้างฉากขึ้นมาใหม่ และการนำทางของหุ่นยนต์ โดยมีเทคนิคการตรวจจับระนาบในรูปแบบสามมิติได้ดังต่อไปนี้

2.5.1 Plane R-CNN

Plane R-CNN คือการตรวจจับระนาบในสามมิติ โดยอาศัยอินพุตคือ ภาพ RGB โดย Plane R-CNN ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักๆคือ 1.การตรวจจับระนาบที่สร้างขึ้น พัฒนาต่อมาจาก Mask R-CNN [15] ซึ่งถูกพัฒนาต่อมาจาก Faster R-CNN [16] เป็นการทำ Instance segmentation วัตถุที่เราสนใจ ดังภาพที่ 20



รูปที่ 20 Mask R-CNN [15]

การตรวจจับระนาบในสามมิติที่พัฒนาต่อมาจาก Mask R-CNN นั้นนอกจากจะทราบระนาบแต่ละระนาบแล้วนั้น ยังสามารถประมาณค่าความลึกของฟีกเซลแต่ละฟีกเซลได้ด้วยถ้าเราทราบค่าความลึกของแต่ละฟีกเซลและทราบค่าคุณสมบัติของกล่อง ซึ่งเมื่อเราทราบความลึกเราสามารถสร้างระนาบสามมิติเพิ่มเติมจากรนาบที่ตรวจพบได้ 2.เครือข่ายการปรับแต่งการแบ่งส่วนซึ่งร่วมกันเพิ่มประสิทธิภาพมาสู่การแบ่งส่วนเพื่ออธิบายฉากให้มีความสอดคล้องกันมากยิ่งขึ้น 3.โมดูลการสูญเสียการบิดเบี้ยว ใช้ความสอดคล้องของการสร้างฉากใหม่กับอีกมุมมองหนึ่งที่สังเกตฉากแบบเดียวกันจากการฝึก และปรับปรุงพารามิเตอร์การตรวจจับระนาบให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น [17] ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 Plane R-CNN [17]

2.5.2 Flood fill plane segmentation

Flood fill plane segmentation คือการตรวจจับระนาบในสามมิติ โดยอาศัยอินพุตคือ ภาพ RGB-D โดย Flood fill plane segmentation จะนำอินพุต ภาพ RGB-D นั้นมาเปลี่ยนเป็น point cloud โดย point cloud นั้นสามารถหาจุดข้างเคียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้ในการหาระนาบได้ และให้ความสำคัญกับจุดตั้งต้นของอัลกอริทึมการขยายขอบเขตด้วยความระมัดระวัง เพื่อหลีกเลี่ยงขอบของวัตถุหรือโดยเฉพาะบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนของภาพ RGB-D เพื่อใช้เวลาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด [18] ดังรูปที่ 22



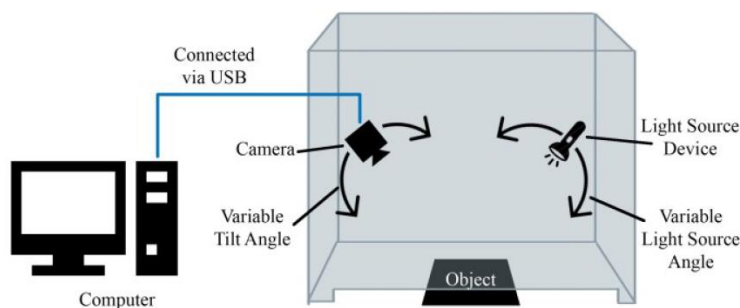
รูปที่ 22 Flood fill plane segmentation [18]

2.6 การวัดขนาดและปริมาตรของสิ่งของ

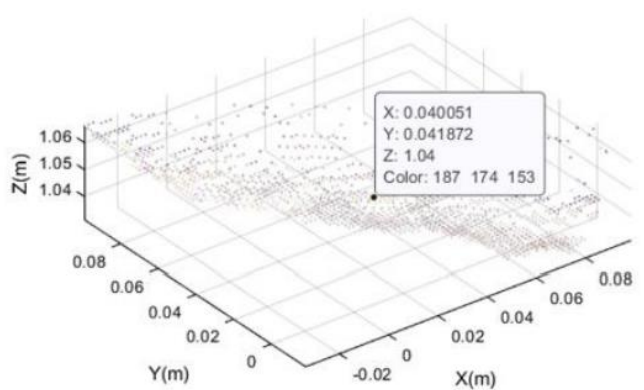
ในปัจจุบันมีการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ มากมายนอกเหนือจาก ไม้บรรทัด และ ตลับเมตร ในการวัดขนาดของสิ่งของ เช่น การใช้เลเซอร์ในการวัดขนาดสิ่งของ [19] โดยหลักการใช้เลเซอร์ในการวัดขนาดสิ่งของนั้นส่วนประกอบหลักคือตัวปล่อยเลเซอร์และกล้อง CCD ในขั้นตอนการวัด ลำแสงของตัวปล่อยเลเซอร์จะถูกฉายไปยังวัตถุ และพื้นผิววัตถุจะสร้างแถบเลเซอร์มอดูเลตขึ้นมา ในเวลาเดียวกันนั้น ภาพแถบแสงของพื้นผิววัตถุจะถูกรวบรวมโดยกล้อง CCD และนำมาคำนวณหาความสูงตามแบบจำลองเรขาคณิต การใช้ structured light ในการวัดขนาดสิ่งของ [20] โดยการใช้

structured light ในการวัดขนาดสิ่งของนั้นส่วนประกอบหลักคือโปรเจคเตอร์และกล้อง CCD โดยมีขั้นตอนดังนี้ แสงสีเทา-สีแดง-น้ำเงินจะถูกฉายโดยโปรเจคเตอร์ และฉายไปยังพื้นผิววัตถุที่ต้องการวัด ตัวกล้อง CCD จะถ่ายภาพลายเส้นที่พื้นผิววัตถุและส่งกลับไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาขนาด หรือแม้กระทั่งการใช้กล้องเว็บแคมในการวัดขนาดสิ่งของ [21] โดยการใช้กล้องเว็บแคมในการวัดขนาดสิ่งของนั้นคือหารระยะห่างระหว่างจุดสองจุดที่ได้โดยกล้องเว็บแคมและแปลงค่าจากหน่วยพิกเซลเป็นเมตรเพื่อใช้ในการวัดขนาดของสิ่งของ ดังรูปที่ 23

และยังมีอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวัดขนาดและปริมาตรของสิ่งของที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้กล้อง RGBD ในการถ่ายภาพสิ่งของที่ต้องการวัด และทำการเปลี่ยนภาพสีและภาพความลึกที่ได้จากกล้อง RGBD นั้นเป็นในรูปแบบ point cloud แล้วจึงคำนวณหาปริมาตรจาก point cloud เช่น การวัดขนาดมันฝรั่ง [7] ดังรูปที่ 24 การวัดขนาดของสิ่งของที่ใช้ในชีวิตประจำวัน [22] หรือการวัดขนาดของสารที่ใช้ในการทดลอง [23] แต่การใช้กล้อง RGBD ก็จะมีข้อจำกัดเล็กน้อย คือตัวกล้องจะไม่สามารถมองเห็นด้านหลังของวัตถุได้ ดังนั้นในบางงานวิจัยจึงต้องมีอาศัยการถ่ายรูปสิ่งของในหลายๆมุม ไม่ว่าจะจากการหมุนสิ่งของหรือหมุนกล้องในการเก็บภาพมุมอื่นๆ มาทำงานร่วมกับเทคนิค point cloud stitching เพื่อที่จะทำให้ได้ตัว point cloud ของสิ่งของที่สมบูรณ์มากขึ้น และทำให้คำนวณหาปริมาตรได้แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 23 ตัวอย่างการวัดขนาดจากกล้อง [21]



รูปที่ 24 ตัวอย่างการวัดขนาดด้วย point cloud [7]

2.7 เครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

ในการวัดขนาดของกล่องพัสดุนั้น ในระดับอุตสาหกรรมได้มีเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุมากมาย หลากหลายยี่ห้อ ยกตัวอย่างเช่น Freight Snap [24], Cargo Spectre [25], Rice Lake [26] โดยแต่ละยี่ห้อก็จะมีหลากหลายรุ่น ขึ้นอยู่กับขนาดของกล่องพัสดุที่ต้องการวัดขนาดว่ามีขนาดใหญ่มีเพียงใด เครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุนั้นจะมาพร้อมกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ร่วมกับเครื่อง ซึ่งตัวซอฟต์แวร์นั้นจะเป็นตัวแสดงผลขนาดของกล่องพัสดุที่วัดได้และจะเก็บค่าขนาดของกล่องพัสดุไว้ในฐานข้อมูลเพื่อที่จะนำข้อมูลนี้ไปใช้งานต่อได้ ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมนั้น 1.รวบรวมข้อมูลขนาดกล่องพัสดุ ในขั้นตอนนี้เครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุนั้นจะทำการถ่ายภาพวัสดุ วัดขนาด และทำการชั่งน้ำหนักกล่องพัสดุ 2.จัดเก็บและจัดการกับข้อมูล เมื่อถ่ายภาพวัดขนาด และชั่งน้ำหนักกล่องพัสดุเรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลและจัดการกับข้อมูลได้ 3.นำข้อมูลไปใช้งาน เมื่อทราบข้อมูลทั้งหมดแล้ว ผู้ใช้สามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อได้ เช่น การใช้ข้อมูลเพื่อตรวจสอบหาขนาดตู้คอนเทนเนอร์ที่จะใช้ในการบรรจุกล่องพัสดุทั้งหมด การใช้ข้อมูลเพื่อวางแผนการขนส่งสินค้า การใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการเสนอราคาจากผู้ให้บริการขนส่ง เป็นต้น โดยราคาของเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมพร้อมกับซอฟต์แวร์นั้นจะมีราคาที่สูง โดยขั้นต่ำคือ 5000 USD จาก ยี่ห้อ Freight Snap สามารถวัดขนาดของกล่องพัสดุได้สูงสุดที่ขนาด 48 นิ้ว x 24 นิ้ว x 24 นิ้ว (ยาว x กว้าง x สูง) ต่ำสุดที่ขนาด 2.4 นิ้ว x 2.4 นิ้ว x 2.4 นิ้ว (ยาว x กว้าง x สูง) มีความแม่นยำ 0.5 นิ้ว [24] รูปของเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 เครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม [24]

2.8 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นนั้น ส่วนประกอบที่สำคัญอันดับแรกคือการมีระบบการวัดที่เชื่อถือได้ ระบบการวัดนี้รวมถึงเครื่องมือวัด พนักงานที่ทำหน้าที่วัดงาน วิธีในการวัดงานและสภาพแวดล้อมในการวัด การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measuring System Analysis: MSA) สามารถทำให้เราเห็นปัญหาของระบบการวัดได้ และพิสูจน์ว่าข้อมูลที่ได้มานั้นมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ และถ้าข้อมูลนั้นเชื่อถือได้ เราจะสามารถนำข้อมูลนั้นไปหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการต่อไป [27] ความผันแปรจากการวัดนั้น กรณีที่คุณลักษณะการวัดมีค่าคงที่เสมอ ความผันแปรที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติ แต่ถ้าคุณลักษณะที่ทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะความผันแปรที่เกิดขึ้น จะไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนที่ประมาณได้มีค่าเกิดความจริง โดยความผันแปรจากการวัดนั้น สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.8.1 ความผันแปรของตำแหน่ง

ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation) หมายถึง คุณสมบัติของการเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยจากผลการวัดหลายๆ ครั้งเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความถูกต้องของการวัด (Accuracy) ซึ่งประกอบด้วย

- ไบอัส (Bias) คือ ปริมาณความเอนเอียง ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของการวัด - ค่าจริง
- ความเสถียร (Stability) คือ การเปลี่ยนแปลงไปของค่าไบอัสตลอดช่วงเวลา
- คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) คือ การเปลี่ยนแปลงไปของค่าไบอัสเมื่อเปลี่ยนค่ามาตรฐานของงานตามย่านการวัดที่กำหนด

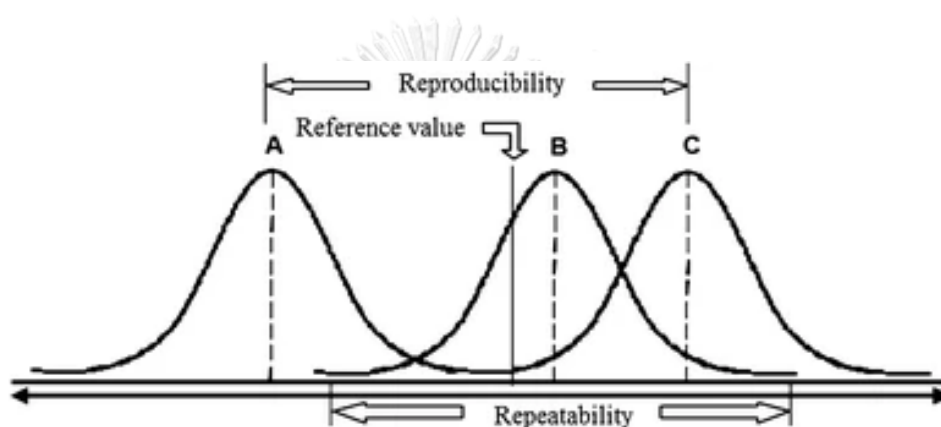
2.8.2 ความผันแปรของความกว้าง

ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) คือ อิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Discrimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการวัด (Repeatability) ตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัด ซึ่งค่าความแม่นยำจะใช้วัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความแม่นยำของการวัด (Precision) ซึ่งประกอบด้วย

- ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) คือ ความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มซึ่งเกิดจากการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำๆ ด้วยอุปกรณ์เดียวกัน ด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นมาจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ในการประเมินระบบการวัดจึงเรียกความผันแปรนี้ว่า “Equipment Variation”

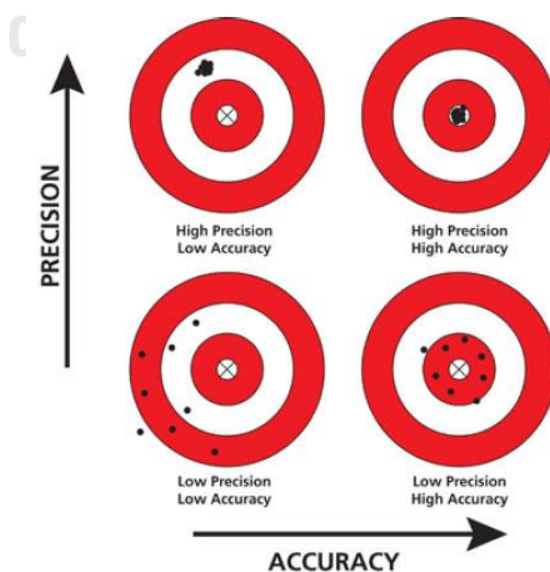
- ความสามารถในการประเมินซ้ำ (Reproducibility) คือ ความผันแปรระหว่างกลุ่ม หมายถึง ความแตกต่างในการวัดชิ้นงานเดียวกัน ด้วยอุปกรณ์เดียวกัน ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปมักจะหมายถึง ผู้ที่ทำการวัดคนละคนกัน จึงเรียกความแตกต่างนี้ว่า “Appraiser Variation”

เราเรียกการทดสอบความสามารถในการวัดซ้ำ และความสามารถในการประเมินซ้ำว่า Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R) ความแตกต่างของความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) และ ความสามารถในการประเมินซ้ำ (Reproducibility) สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 Repeatability และ Reproducibility [28]

ความแตกต่างของ ความผันแปรของตำแหน่ง (Accuracy) และ ความผันแปรของความกว้าง (Precision) สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 ความแตกต่างของ Accuracy และ Precision [29]

การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลแปรผัน

ข้อมูลแปรผัน (Variable data) คือ ข้อมูลการวัดที่ได้ค่าออกมาเป็นตัวเลขจำนวนจริง ซึ่งเป็นข้อมูลที่เรามักจะพบเจอเป็นส่วนใหญ่ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ความแปรปรวนของการวัด แทนด้วยสัญลักษณ์ $\sigma_{Measurement System}^2$ คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma_{Measurement System}^2 &= \sigma_{Repeatability}^2 + \sigma_{Reproducibility}^2 \\ &= \sigma_{Gage R\&R}^2\end{aligned}$$

และความแปรปรวนรวมของระบบทั้งหมด $\sigma_{Total Variation}^2$ คำนวณได้ดังนี้

$$\sigma_{Total Variation}^2 = \sigma_{true process variation}^2 + \sigma_{Measurement System}^2$$

โดยที่

$$\sigma_{Measurement system}^2 = \sigma_{Gage R\&R}^2$$

$\sigma_{true process variation}^2$ คือ ความแปรปรวนที่แท้จริงของกระบวนการ ซึ่งแสดงใน Minitab จะแสดงค่านี้ในชื่อของ Part-To-Part

ในการประเมินระบบการวัดนั้น หลักๆ จะพิจารณาจากค่าดังต่อไปนี้

%Contribution (of VarComp) คือ สัดส่วนความแปรปรวนแต่ละส่วนเมื่อเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมด (Total Variation) คำนวณได้จาก

$$\%contribution = \frac{\sigma_{Gage R\&R}^2}{\sigma_{Total variation}^2} \times 100$$

โดยทั่วไปเกณฑ์ในการพิจารณา %Contribution จะกำหนดไว้ดังนี้

- ต่ำกว่า 1% คือ ระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้
- 1% - 9% คือ ระบบการวัดดีพอใช้ ยอมรับได้ แต่ต้องมีแผนการในการปรับปรุง
- มากกว่า 9% คือ ระบบการวัดไม่ดี ไม่สามารถยอมรับได้

%SV (%Study Var) หรือ %R&R คือ การเปรียบเทียบความผันแปรของระบบการวัดแต่ละส่วนเทียบกับความแปรผันทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$\%SV = \frac{\sigma_{Gage\ R\&R}}{\sigma_{Total\ variation}} \times 100$$

%P/T (Precision to Tolerance) หรือ %Tolerance (SV/Toler) คือ การเปรียบเทียบความผันแปรของระบบการวัดแต่ละส่วนเทียบกับค่าความเผื่อของขนาด (Tolerance) คำนวณได้จาก

$$\%P/T = \frac{6 \times \sigma_{Gage\ R\&R}}{USL - LSL} \times 100$$

โดยทั่วไปเกณฑ์ในการพิจารณาค่า %SV และ %P/T จะกำหนดไว้ดังนี้

- ต่ำกว่า 10% คือ ระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้
- 10% - 30% คือ ระบบการวัดดีพอใช้ ยอมรับได้ แต่ต้องมีแผนการในการปรับปรุง
- มากกว่า 30% คือ ระบบการวัดไม่ดี ไม่สามารถยอมรับได้

2.9 การประมาณค่าในช่วงความเชื่อมั่น

การหาค่าเฉลี่ยของปริมาณที่วัดซ้ำๆมาเรื่อยๆจะทำให้ได้ความแม่นยำที่ดีขึ้น และจำนวนของการวัดซ้ำยิ่งมากก็ยิ่งทำให้ความแม่นยำดีขึ้น ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่เป็นค่าที่ใช้ในการประมาณค่า (ที่แท้จริง) - ต้องตระหนักว่าเราไม่มีทางทราบค่าที่แท้จริงได้ ที่วัดได้ดี อย่างไรก็ตาม เราจะมีเชื่อมั่นได้ดีขนาดไหนว่าค่าเฉลี่ยที่ใช้มีความถูกต้องเพียงไร เนื่องจากในชีวิตจริง เราไม่มีทางที่จะเก็บข้อมูลของประชากรทุกตัวได้ เราจึงมีวิธีที่จะเก็บเอาเพียงบางตัว บางส่วน บางช่วงเวลา ของประชากร เพื่อนำมาวิเคราะห์ แล้วนำผลที่ได้กลับไปประมาณหรืออธิบายถึงประชากรอีกที สมาชิกของประชากรที่เราเก็บค่ามาดังกล่าวเรียกว่าตัวอย่าง แน่นอนว่าเมื่อเราทำการสุ่มตัวอย่างย่อมให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดไปจากค่าที่แท้จริงของประชากรบ้าง เราจึงต้องคำนึงถึงระดับความเชื่อมั่นที่เราจะสามารถยอมรับความผิดพลาดดังกล่าว [30]

แนวคิดพื้นฐานของ Confidence interval คือการประเมินว่าค่าเฉลี่ยของประชากรจะมีค่าอยู่ในช่วงลิมิตเท่าไร ด้วยความมั่นใจที่เท่ากับค่าใดๆ $P(l_{lower} \leq \mu \leq l_{upper})$ เรียกว่า “Two-sided confidence interval” ในกรณีนี้ α คือ Error risk หรือค่าที่บ่งบอก ความเสี่ยง ที่เราจะพยากรณ์ค่า μ ผิดพลาด

เมื่อเราอ้างอิงทฤษฎี Sampling distribution for mean ที่มีค่าเฉลี่ยของประชากรคือ μ และค่าความแปรปรวน (หรือเรานิยามว่ามีความสัมพันธ์กับความเที่ยงตรง) เท่ากับ σ_x^2/n ดังนั้น

$$P\left(-Z_{\frac{\alpha}{2}} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}} \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha$$

ในกรณีนี้เราว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นที่รู้แน่ชัดอยู่แล้ว แต่ถ้าเราไม่ทราบค่าการกระจายตัวที่แน่ชัด เช่น ในกรณีที่จำนวนกลุ่มออกมาวัดมีจำนวนไม่มากนัก อาจจะน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง เราจึงจำเป็นต้องศึกษาผ่านการเก็บตัวอย่างและอ้างอิงการกระจายตัวของข้อมูลแบบ Student's t-distribution โดยคิดที่ Degree of freedom = n-1 ซึ่งแน่นอนว่าการวัดสมบัติของตัวอย่างก็จะเกี่ยวข้องกับความเที่ยงตรงของการวัดด้วย โดยหากความเที่ยงตรงไม่ดีก็จะทำให้ช่วงที่เราประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรอยู่ในช่วงที่กว้างมากตามไปด้วย สมการที่ใช้ในการคำนวณเป็นดังนี้

$$P\left(-t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s_x}{\sqrt{n}}} \leq t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}\right) = 1 - \alpha$$

หรือ

$$P\left(\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s_x}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s_x}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

2.10 สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation หรือ Pearson product-moment correlation) เป็นเทคนิคสถิติที่ใช้หาขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรที่มีมาตรวัดแบบช่วง (Interval scale) หรืออัตราส่วน (Ratio scale) สองตัว หรือเรียกตัวแปรประเภทนี้ว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (metrics variables) ชื่อสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ให้ชื่อตาม คาร์ล เพียร์สัน (Karl Pearson) ผู้คิดสถิตินี้ขึ้นโดยใช้ชื่อว่า Product-moment coefficient of correlation ประมาณ ค.ศ. 1900 สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในสาขาสังคมศาสตร์ทุกแขนง (Glass & Hopkins, 1984: 80) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคือ r สำหรับตัวอย่าง และ ρ สำหรับประชากร กำลังสองของ r (r^2) แทนค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนาย (coefficient of determination) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่าตัวแปรหนึ่งอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรอีกตัวหนึ่งได้ประมาณร้อยละเท่าไร สูตรในการคำนวณ r มาจาก $r = \frac{COV_{xy}}{S_x S_y}$ (Glass

& Hopkin, 1984: 85, Howell, 2007: 238) แต่สูตรที่นิยมใช้กันเป็นการคำนวณจากค่าเบี่ยงเบนของตัวแปร X และ Y มีสูตรการคำนวณ ดังนี้ (Forthofer and other, 2007: 356) [31]

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันใช้สถิติทดสอบที (t - test) ซึ่งมีสูตรว่า $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ โดยมีสมมุติฐานศูนย์ว่า $H_0: \rho = 0$ (ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน) ดังนั้น เมื่อการทดสอบมีนัยสำคัญ แปลความหมายได้ว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่างจากศูนย์) มิได้หมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก การจะแปลความหมายว่าตัวแปรทั้งสองสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดต้องนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปเทียบกับตารางการแปลความหมายซึ่งนักสถิติกำหนดเป็นช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไว้หลายแบบ ดังตัวอย่างของ Best (1977:240)

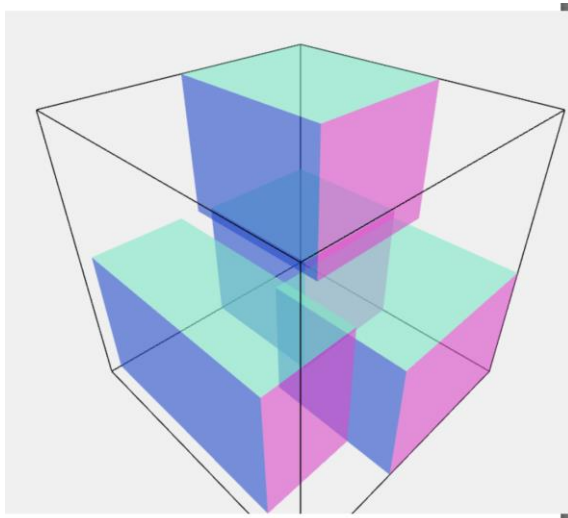
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
0.81 – 1.00	มีความสัมพันธ์กันมาก
0.51 – 0.80	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
0.21 – 0.50	มีความสัมพันธ์กันน้อยหรือต่ำ
0.01 – 0.20	มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก
0.00	ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 6 การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของ Best

2.11 การจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

การจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้านั้น เป็นปัญหาค่อนข้างมาก ต้องอาศัยความสามารถในหลายๆด้านเช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์ ด้านการวิจัย ด้านธุรกิจ เป็นต้น ซึ่งการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้านั้นสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาหลายๆอย่าง เช่น การจัดเก็บสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ การจัดเก็บสินค้าที่ชั้นวางของ ช่วยใช้งานพื้นที่จัดเก็บสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เป็นต้น โดยมีงานวิจัยหลากหลายงานที่นำเสนออัลกอริทึมต่างๆที่ช่วยในการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ยกตัวอย่างเช่น อัลกอริทึมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าที่เลียนแบบความคิดของมนุษย์ [32] อัลกอริทึมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าที่เน้นการเรียงผลิตภัณฑ์เป็นชั้นๆ [33] อัลกอริทึมการจัดวางกล่องในตู้เก็บ

สินค้าที่ใช้ต้นไม้มัดสินใจมาดัดแปลงเป็นต้นไม้มัดสินใจที่ช่วยในการบรรจุภัณฑ์ [34] รวมถึงยังมีแพลตฟอร์มโปรแกรมสำเร็จรูปที่จำหน่ายเพื่อใช้ในระบบอุตสาหกรรมจริง เช่น 3dbinpacking [35] เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีก็จะมีรูปแบบการจัดวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้าที่อาจจะแตกต่างกันออกไป โดยรูปตัวอย่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 การจำลองการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวัดขนาดของกล่องจากรูปถ่าย รูปถ่ายนั้นได้มาจากกล้อง RGB-D รุ่น Intel Realsense L515 และใช้รูปถ่ายทั้งหมด 3 รูปเพื่อเป็นอินพุตของโปรแกรมได้แก่ ภาพอินฟราเรด เพื่อใช้ในการแสดงผล ภาพความลึก และ ภาพความลึกของพื้นหลัง โดยภาพความลึกนั้นถูกตัดพื้นหลังออกด้วยภาพความลึกของพื้นหลังเพื่อใช้ในการคำนวณ สาเหตุที่ไม่ใช้ภาพ RGB ในการแสดงผลเพราะเนื่องจากภาพ RGB และ ภาพความลึกนั้น มีความละเอียดที่ไม่เท่ากัน เมื่อนำทั้งสองภาพมาจัดให้อยู่ในแนวเดียวกันนั้นจะทำให้มีพิกเซลบางส่วนแสดงผลผิดพลาด การวัดขนาดของกล่องนั้นจะทำการวัดด้วยโปรแกรมการวัดขนาดของกล่องที่ทางผู้วิจัยทำขึ้นมาเอง ผ่านโปรแกรม Visual Studio Code โดยใช้ภาษา Python ในการเขียนโปรแกรม ทำงานร่วมกับอัลกอริทึม Flood fill ในการตรวจจับระนาบด้านบนสุดของกล่องเพื่อแก้ปัญหาการที่ถ่ายภาพกล่องมาติดด้านข้างของกล่อง ทำงานร่วมกับการทำกริดที่ระนาบด้านบนเพื่อหาจุดนำค่าความสูงในแต่ละจุดนั้นมาเฉลี่ยเพื่อแก้ปัญหาที่ระนาบด้านบนกล่องมีความสูงไม่เท่ากัน และทำงานร่วมกับการหาค่าความสูงเพื่อแก้ปัญหาเมื่อวางกล่องบนพื้นขอบของกล่องไม่เสมอกับพื้น มีช่องว่างระหว่างพื้นและขอบของกล่อง จะใช้โปรแกรมในการวัดขนาดของกล่อง ซึ่งประกอบด้วย ความกว้าง ความยาว ความสูง และนำค่าที่วัดได้ส่งไปยังโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า โดยโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้านั้นนำมายุติจากโปรแกรมของ davidmchapman [36] ซึ่งถูกเขียนด้วยภาษา html และ ภาษา Javascript ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงต้องเขียนโปรแกรมในภาษา python เพิ่มเติม เพื่อเชื่อมต่อการทำงานระหว่างโปรแกรมการวัดขนาดของกล่องกับโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า และเมื่อโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าได้รับค่า ความกว้าง ความยาว ความสูง ของกล่องครบทุกกล่องเรียบร้อยแล้ว จะทำการรับค่าขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ที่จะทำการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าไป เมื่อรับค่าครบทั้งหมดทางโปรแกรมก็จะจำลองการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าออกมา

3.1 ฮาร์ดแวร์

3.1.1 กล้อง RGB-D

กล้อง RGB-D ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือกล้องรุ่น Intel Realsense L515 เพราะจากงานวิจัยของ Y. Sun et al. [23] กล้อง Intel Realsense L515 มีความแม่นยำมากที่สุดและงานวิจัยนี้เป็นการวัดขนาดของกล่องดังนั้นผู้วิจัยต้องการกล้องที่มีความแม่นยำมากที่สุด [37] โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 7 และมีค่า camera intrinsic ดังตารางที่ 8

	Intel Realsense L515
สภาพแวดล้อม	ในร่ม และ กลางแจ้ง
เทคโนโลยีการวัดความลึก	Lidar
Depth FOV (H x V)	70° x 55°
Depth Resolution	สูงสุด 1024 x 768
Depth Accuracy	~5 มม. to ~14 มม. ทุกระยะจนถึง 9 เมตร
Depth Frame Rate	สูงสุด 30 fps
RGB Resolution and Frame Rate	1920 x 1080 ที่ 30 fps
RGB Sensor FOV (H x V)	70° x 43°
ระยะทางน้อยที่สุด (Min-Z) ที่ความละเอียดสูงสุด	~25 cm
ระยะการทำงาน	0.25 ถึง 9 เมตร
ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	61 มม. x 26 มม.

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของกล้อง RGB-D [37]

f_x	ความยาวโฟกัสในแนวแกน x	739.890625
f_y	ความยาวโฟกัสในแนวแกน y	741.234375
c_x	จุดศูนย์กลางของเซ็นเซอร์กล้องในแนวแกน x	547.070312
c_y	จุดศูนย์กลางของเซ็นเซอร์กล้องในแนวแกน y	386.238281

ตารางที่ 8 Camera intrinsic

3.1.2 แล็ปท็อป

แล็ปท็อปที่ผู้วิจัยใช้ในงานวิจัยนี้คือ Lenovo รุ่น IdeaPad 5 Pro 16 ACH6 [38] โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 9

Brand	Lenovo
Model	IdeaPad 5 Pro 16ACH6
Processor	AMD Ryzen 7 5800 H
Graphics	NVIDIA GeForce GTX 1650 (4 GB GDDR6)
Main Memory	16 GB DDR4 3200 MHz Onboard memory

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของแล็ปท็อป [38]

3.2 ซอฟต์แวร์

3.2.1 Visual Studio Code

Visual Studio Code เป็นโปรแกรมแก้ไขซอร์สโค้ดที่พัฒนาโดยไมโครซอฟท์สำหรับ Windows, Linux และ macOS มีการสนับสนุนสำหรับการดีบั๊ก การควบคุม Git ในตัวและ Github การเน้นไวยากรณ์ การเติมโค้ดอัจฉริยะ [39] ซึ่งรองรับภาษาคอมพิวเตอร์ได้หลากหลายภาษา ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงใช้โปรแกรม Visual Studio Code ในการพัฒนาโปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง และโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า โดยสัญลักษณ์ของโปรแกรม Visual Studio Code แสดงดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 สัญลักษณ์โปรแกรม Visual Studio Code [39]

3.2.2 Python

Python คือ ภาษาโปรแกรมระดับสูง ใช้งานได้ทั่วไป และสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รองรับกระบวนทัศน์การเขียนโปรแกรมหลายแบบ รวมถึงแบบมีโครงสร้าง (โดยเฉพาะตามขั้นตอน) การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุและเชิงฟังก์ชัน มักถูกอธิบายว่าเป็นภาษา "รวมแบบเตอะรี" เนื่องจากมีไลบรารีมาตรฐานที่ครอบคลุม [40] ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงใช้ภาษา Python ในการเขียนโปรแกรมการวัด

ขนาดของกล่อง และ โปรแกรมส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมการวัดขนาดของกล่องและโปรแกรมการจัดวางกล่องในตัวเก็บสินค้า เพื่อส่งค่าขนาดของกล่องไปที่โปรแกรมการวัดขนาดของกล่องวัดได้ โดยสัญลักษณ์ของภาษา Python แสดงดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 สัญลักษณ์ภาษา Python [40]

3.2.3 JS, HTML, และ CSS

JS ย่อมาจาก JavaScript คือ ภาษาโปรแกรมที่เป็นเทคโนโลยีหลักในการเขียนเว็บไซต์ ควบคู่ไปกับ HTML และ CSS JavaScript เป็นภาษาคอมไพเลอร์ระดับสูงซึ่งมักจะถูกคอมไพล์ทันเวลา ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ECMAScript สนับสนุนรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่ขับเคลื่อนด้วยเหตุการณ์ การทำงาน และความจำเป็น มี Application Programming Interface (API) สำหรับการ ทำงานกับข้อความ วันที่ คำสั่งทั่วไป โครงสร้างข้อมูลมาตรฐาน และ Document Object Model (DOM) [41] โดยสัญลักษณ์ของภาษา JavaScript แสดงดังรูปที่ 31

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language เป็นภาษามาร์กอัปมาตรฐานสำหรับ เอกสารที่ออกแบบมาเพื่อให้แสดงในเว็บเบราว์เซอร์ ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆเช่น CSS และ JavaScript เว็บเบราว์เซอร์ได้รับเอกสาร HTML จากเว็บเซิร์ฟเวอร์หรือจากที่จัดเก็บในตัวเครื่องและ แสดงเอกสารเป็นเว็บเพจลติมีเดีย HTML อธิบายโครงสร้างของหน้าเว็บตามความหมายและรวมตัวชี้ นำสำหรับลักษณะที่ปรากฏของเอกสารในขั้นต้น [42] โดยสัญลักษณ์ของภาษา HTML แสดงดังรูปที่ 31

CSS ย่อมาจาก Cascading Style Sheets เป็นภาษาสไตลชีตที่ใช้สำหรับอธิบายการ นำเสนอของเอกสารที่เขียนด้วยภาษามาร์กอัป เช่น HTML CSS เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญของ เวิลด์ไวด์เว็บควบคู่ไปกับ HTML และ JavaScript CSS ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถแยกการ นำเสนอและเนื้อหา รวมทั้งรูปแบบ สี และแบบอักษรได้ [43] โดยสัญลักษณ์ของภาษา CSS แสดงดัง รูปที่ 31

ทางผู้วิจัยได้ทำการอ้างอิงโปรแกรมการจัดวางกล่องในตัวเก็บสินค้า มาจาก davidmchapman [36] ซึ่งทางผู้พัฒนาโปรแกรมนั้นได้เขียนโปรแกรมการจัดวางกล่องในตัวเก็บสินค้า

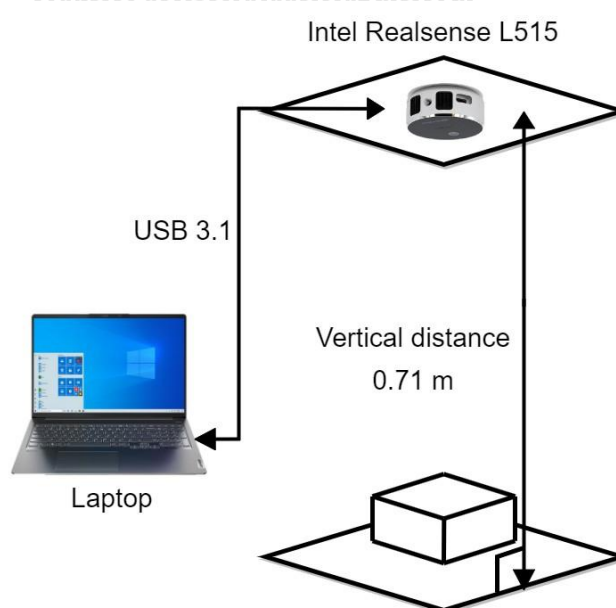
มาจากภาษา JS, HTML, และ CSS เพราะเนื่องจากทำให้โปรแกรมนี้สามารถทำงานบนเว็บไซต์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมจากทางผู้พัฒนามาพัฒนาต่อให้สามารถรับค่าขนาดของกล่องจากทางภาษา Python ได้ด้วย แทนที่จะรับค่าขนาดของกล่องจากการกำหนดค่าผ่านเว็บไซต์เพียงอย่างเดียว เพราะเนื่องจากโปรแกรมการวัดขนาดขนาดของกล่องเขียนในภาษา Python



รูปที่ 31 สัญลักษณ์ HTML, JavaScript, และ CSS (ตามลำดับ) [44]

3.3 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์

รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ ประกอบด้วย โครงอะลูมิเนียมโปรไฟล์ และ กล้อง Intel Realsense L515 ตัวกล้องนั้นวางอยู่ด้านบนโครงอะลูมิเนียมโปรไฟล์และมีมุมกล้องมองลงมาที่พื้นด้านล่าง โดยกล้องนั้นต้องขนานกับพื้นและขนานกับตัวกล้องที่ต้องการวัด ตัวกล้องเชื่อมต่อกับแล็ปท็อปด้วย USB3.0 รูปแบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 32 และรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์หน้างานจริงดังรูปที่ 33



รูปที่ 32 รูปแบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์



(ก)

(ข)

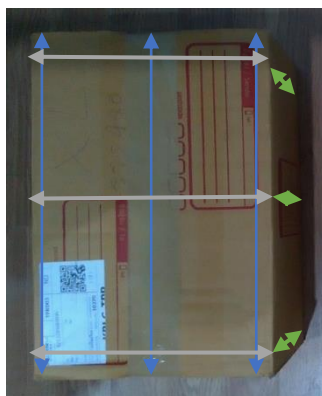
รูปที่ 33 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์หน้างานจริง (ก) มุมมองจากด้านหน้า (ข) มุมมองจากด้านบน

3.4 กล้องที่นำมาทดสอบ

เนื่องจากกล้องที่นำมาทดสอบเราไม่มีทางทราบค่าที่แท้จริงได้ ดังนั้นเราจึงทำการวัดค่าด้วย ตลับเมตรเพื่อเป็นค่าอ้างอิงในการหาความผิดพลาด เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการใช้โปรแกรม วัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมกับการใช้คนวัดด้วยตลับเมตรนั้นมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด โดยการวัดขนาดกล่องได้ใช้เครื่องมือในการวัดคือ ตลับเมตร แสดงดังรูปที่ 34 ในแต่ละด้านจะทำการ วัดทั้งหมด 3 จุดและนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าที่ใช้ในการอ้างอิงเมื่อต้องการเปรียบเทียบกับค่าการ วัดขนาดจากตลับเมตร การวัดระยะของกล่องทั้ง 3 จุดแสดงดังรูปที่ 35 และรูปกล่อง 0, A, B, C และ D แสดงดังรูปที่ 36, 37, 38, 39 และ 40 ตามลำดับ ขนาดของกล่องแต่ละกล่องที่วัดได้โดยตลับ เมตรแสดงดังตารางที่ 10 และขนาดกล่องพัสดุอ้างอิงโดยโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 11



รูปที่ 34 ตลับเมตรที่ใช้ในการวัดขนาดกล่อง



รูปที่ 35 การวัดระยะของกล่องทั้ง 3 จุด



รูปที่ 36 กล่อง 0



รูปที่ 37 กล่อง A



รูปที่ 38 กล่อง B



รูปที่ 39 กล่อง C



รูปที่ 40 กล่อง D

ชื่อ	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง 0 - 1	11.5	16.9	6.1
กล่อง 0 - 2	11.4	16.9	6.1
กล่อง A - 1	14.33	20	6.2
กล่อง A - 2	14.3	20	6.1
กล่อง B - 1	17	24.6	9.3
กล่อง B - 2	17.2	24.5	9.1
กล่อง C - 1	20	30	11.2
กล่อง C - 2	20	30.1	11.1
กล่อง D - 1	22	35.2	14
กล่อง D - 2	22	35.5	14

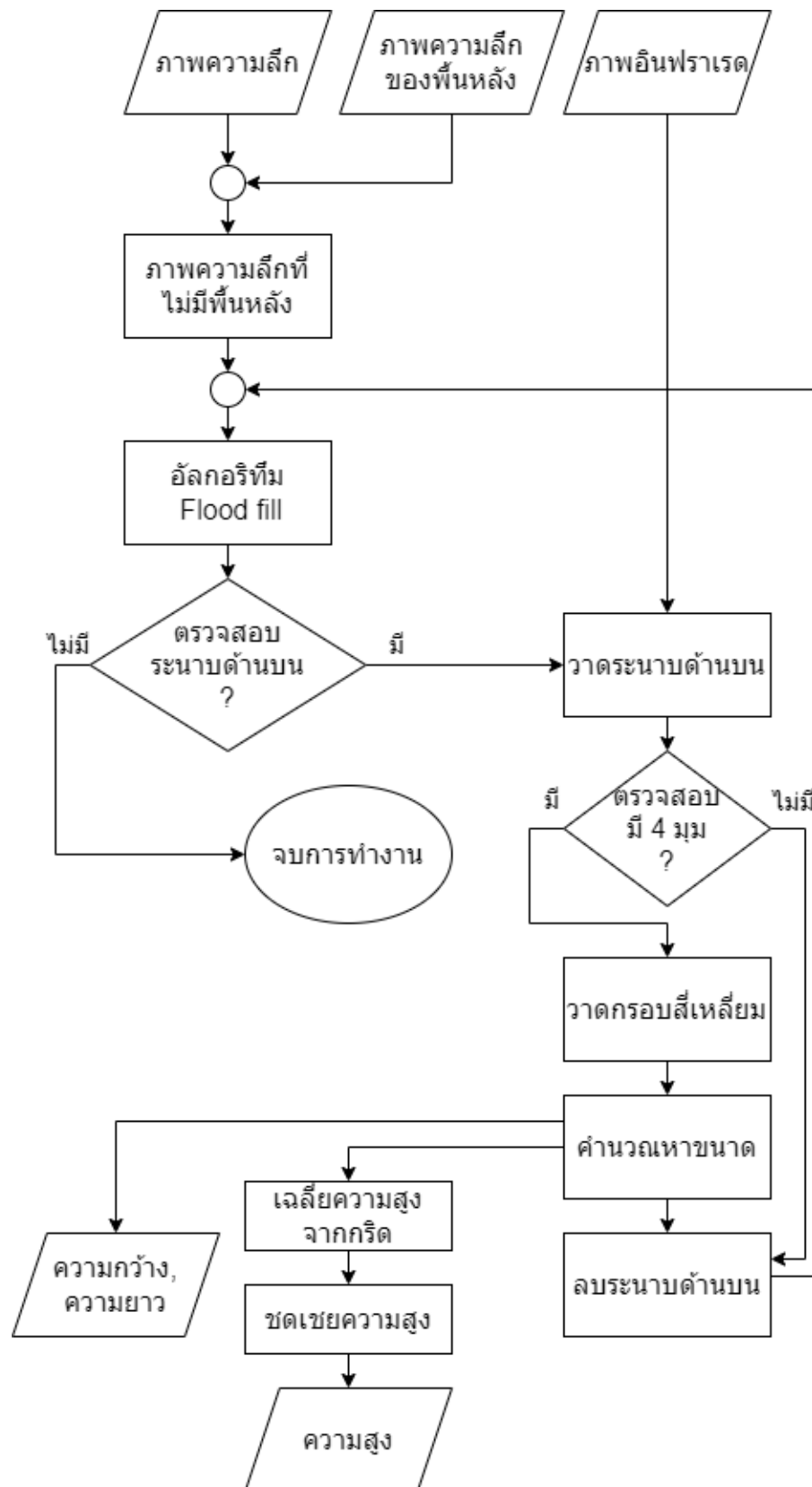
ตารางที่ 10 ค่าที่วัดได้จากตลับเมตรของกล่อง 0, A, B, C, D

ชื่อ	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง 0	11	17	6
กล่อง A	14	20	6
กล่อง B	17	25	9
กล่อง C	20	30	11
กล่อง D	22	35	14

ตารางที่ 11 ขนาดอ้างอิงจากปริมาตรของกล่อง 0, A, B, C, D [45]

3.5 ผังงานของการวัดขนาดของกล่อง

ภาพรวมการทำงานทั้งหมดจะใช้รูปถ่ายทั้งหมด 3 รูปเพื่อเป็นอินพุตของโปรแกรมได้แก่ ภาพอินฟราเรด เพื่อใช้ในการแสดงผล, ภาพความลึก เพื่อใช้ในการคำนวณ และสุดท้ายคือภาพของลึกของพื้นหลัง เพื่อใช้ช่วยในการตัดภาพพื้นหลังออกจากภาพความลึกและช่วยในการคำนวณหาค่าความสูงของกล่องที่ตรวจจับ โดยทั้ง 3 รูปนั้นจะนำเข้ามาสู่โปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง โดยเริ่มต้นจากการใช้อัลกอริทึม Flood fill เพื่อตรวจหาระนาบด้านบนของกล่อง เมื่อตรวจพบระนาบด้านบนแล้วโปรแกรมจะทำการวาดขอบของระนาบด้านบน ต่อมาจะตรวจสอบว่าระนาบที่วาดนั้นมีสี่มุมหรือไม่ เพราะเนื่องจากจะทำการวัดกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งจะมีมุมทั้งหมด 4 มุม เมื่อตรวจสอบพบว่าสี่เหลี่ยม 4 มุม จะทำการวาดกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อล้อมรอบระนาบด้านบน เนื่องจากบางครั้งระนาบด้านบนอาจจะไม่ใช่สี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยเราต้องการวัดกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบนั้นระนาบด้านบนจะต้องเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก เมื่อวาดกรอบสี่เหลี่ยมเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการคำนวณหาขนาดต่อไป โดยในการคำนวณหาขนาดนั้น จะแบ่งเป็นการคำนวณหาความกว้าง ความยาว และ ความสูง ซึ่งความกว้างและความยาวนั้นสามารถคำนวณได้เลยโดยใช้สมการจากหัวข้อ 2.2 ส่วนความสูงนั้นจะทำการเฉลี่ยความสูงของกล่องก่อนจากการทำกริด และมีการชดเชยความสูงความกล่อง เนื่องจากบางครั้งขอบกล่องไม่เสมอกับพื้น แล้วจึงคำนวณหาความสูงโดยใช้สมการจากหัวข้อ 2.2 เมื่อคำนวณหาขนาดเรียบร้อยแล้วจะทำการลบระนาบด้านบนออก และจึงใช้อัลกอริทึม Flood fill อีกครั้ง เพื่อตรวจจับระนาบด้านบน ทำไปเรื่อยๆจนกระทั่งไม่สามารถตรวจจับระนาบด้านบนได้แล้ว โปรแกรมจึงจบการทำงาน ดังแผนงานในรูปที่ 41



รูปที่ 41 ผังงานภาพรวมของโปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง

3.6 การตรวจนับระนาบด้านบน

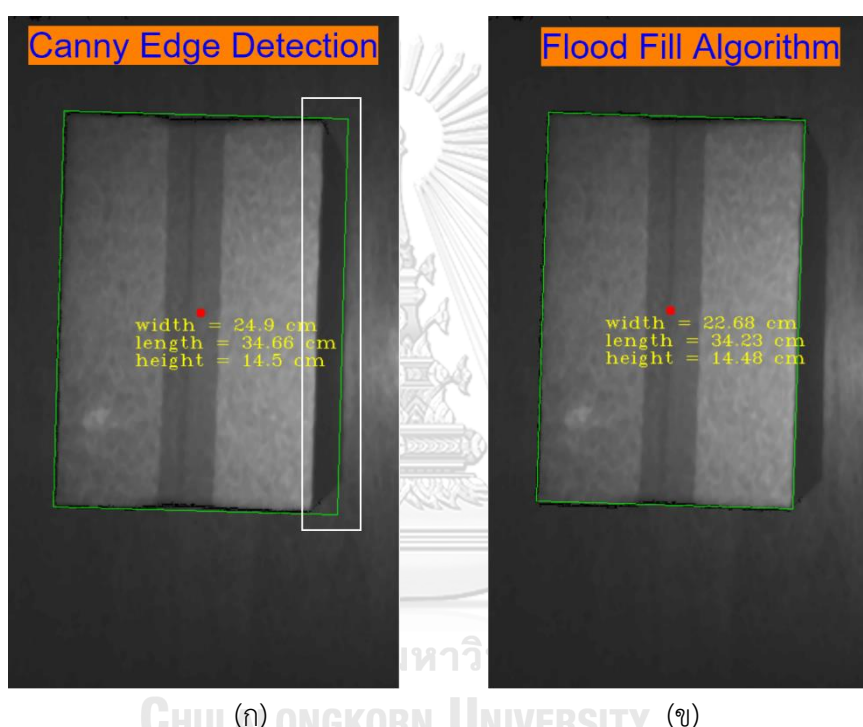
การตรวจนับระนาบด้านบนนั้น ในงานวิจัยนี้จะทำการใช้อัลกอริทึม Flood fill กับภาพความลึกเพื่อตรวจนับระนาบด้านบนของกล่อง สาเหตุที่ต้องใช้ภาพความลึกนั้น เพราะถ้าใช้ร่วมกับภาพ RGB นั้นจะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากภาพ RGB นั้นจะมีสีอื่นรบกวนเช่นสีพื้นหลังอาจจะคล้ายกับกล่อง หรือด้านบนกล่องอาจจะมีลวดลายทำให้การทำงานผิดพลาดได้ และสาเหตุที่ต้องใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการตรวจนับระนาบด้านบนนั้น เนื่องจากโดยส่วนมากการตรวจนับจะใช้ อัลกอริทึมชื่อ Canny edge detection [46] แต่อัลกอริทึมนี้เมื่อใช้งานร่วมกับภาพ RGB จะทำงานได้ไม่ดี เนื่องจากมีสีอื่นรบกวนเช่นสีพื้นหลังอาจจะคล้ายกับกล่อง หรือด้านบนกล่องอาจจะมีลวดลายทำให้การจับขอบของสิ่งของผิดพลาดได้ และถ้านำมาใช้งานกับภาพความลึกนั้นก็จะได้เช่นกัน เพราะบางครั้งตอนที่ถ่ายภาพอินพุตที่จะนำมาใช้งาน ถึงแม้กล่องจะขนานกับพื้นแต่อาจจะเกิดเหตุการณ์ที่ตัวกล่องนั้น เห็นด้านมากกว่า 1 ด้าน เช่นเห็นระนาบด้านบนและระนาบด้านข้างพร้อมกัน ดังรูปที่ 42 ดังนั้น จึงต้องมีการตรวจนับเฉพาะด้านบนของกล่องโดยใช้อัลกอริทึม Flood fill เข้ามาช่วย



รูปที่ 42 รูปภาพกล่องที่เห็นระนาบด้านบนและระนาบด้านข้าง

โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการตรวจนับด้วยวิธี Canny edge detection และ วิธีใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการหาระนาบด้านบน โดยกล่องที่ใช้ทดสอบเป็นกล่องขนาด D ดังรูปที่ 43 การใช้วิธีตรวจนับด้วย Canny edge detection จะมีการตรวจนับผิดพลาดบ้างบางครั้ง เพราะเนื่องจากถ้าภาพที่นำมาเป็นอินพุตนั้นเห็นทั้งด้านบนและด้านข้างของตัวกล่อง วิธี Canny

edge detection นั้นจะตรวจจับทั้งด้านบนและด้านล่างของกล่องด้วย จะทำให้ค่าความกว้างและความยาวของกล่องที่ตรวจจับได้นั้นผิดพลาดไป จะส่งผลให้ขนาดของกล่องที่วัดได้ผิดพลาดไปด้วย ซึ่งแตกต่างกับวิธีใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการหาระนาบด้านบน ซึ่งจะตรวจจับเฉพาะด้านบนเท่านั้น ทำให้ค่าความยาวและความยาวของกล่องที่ตรวจจับได้นั้นมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า และส่งผลให้ขนาดของกล่องนั้นใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า โดยตารางเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความกว้าง ความยาวและความสูง ระหว่างวิธี Canny edge detection และ วิธีใช้ Flood fill อัลกอริทึมในการหาระนาบด้านบนนั้น แสดงในตารางที่ 12



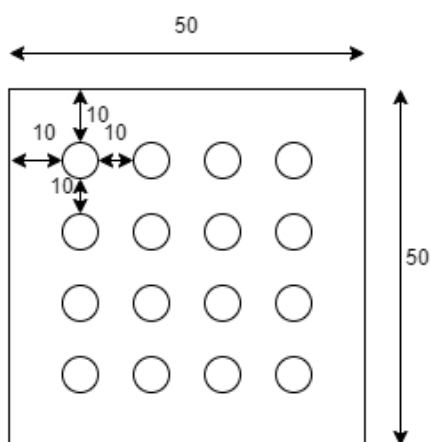
รูปที่ 43 การเปรียบเทียบระหว่าง (ก) วิธีการตรวจจับด้วยวิธี Canny edge detection และ (ข) วิธีใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการหาระนาบด้านบน

	ความกว้าง	ความยาว	ความสูง	ปริมาตร
Canny edge detection	9.62 %	1.15 %	1.46 %	4.08 %
Flood fill algorithm	0.15 %	0.13 %	1.56 %	0.62 %

ตารางที่ 12 ความผิดพลาดของการตรวจจับกล่องระหว่าง วิธี Canny edge detection และ Flood fill algorithm

3.7 การวัดความสูงจากกล่องที่ไม่เรียบ

ในขั้นตอนการวัดความสูงนั้น เราไม่สามารถวัดความสูงจากจุดๆเดียวได้ เนื่องจากกล่องบางกล่องนั้นมีผิวที่ไม่เรียบเสมอกัน เช่น บางกล่องอาจจะบรรจุสินค้าภายในกล่องเยอะทำให้กล่องตรงกลางนูนออกมา ซึ่งเมื่อเราไปวัดความสูงที่จุดกึ่งกลางทำให้ความสูงที่ได้นั้นมีค่ามากเกินไปความเป็นจริง ดังนั้นเราจึงต้องมีการเฉลี่ยความสูงของกล่องที่วัดได้ออกมา โดยจะทำการแบ่งเป็นกริด เพื่อให้จุดความสูงที่เราเก็บค่าได้นั้นกระจายๆออกไปจะได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น โดยแบบตัวอย่างจำลองการแบ่งกริดที่ขนาดของกริดคือ 10 pixel เป็นไปดังรูปที่ 44



รูปที่ 44 ตัวอย่างจำลองการแบ่งกริดที่ขนาดของกริดคือ 10 pixel

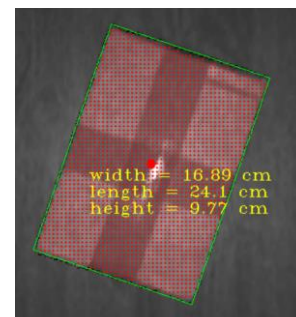
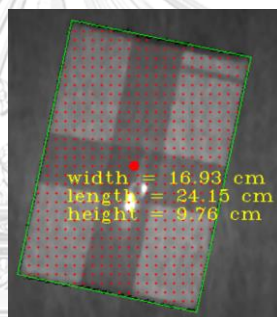
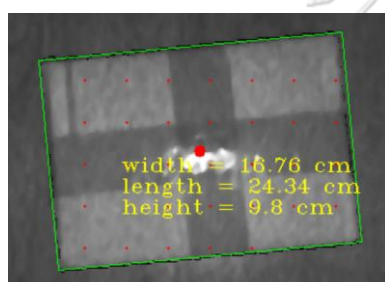
แต่เนื่องจากการวัดความสูงโดยการหาค่าเฉลี่ยจากการแบ่งกริดนั้น จะมีข้อแลกเปลี่ยนคือ เมื่อแบ่งกริดให้ขนาดของกริดนั้นกว้าง จุดที่เก็บค่าได้นั้นน้อยลง ความหนาแน่นน้อยลง ทำให้ความแม่นยำในการหาค่าความสูงน้อยลง แต่ระยะเวลาในการประมวลผลจะเร็วขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อแบ่งกริดให้ขนาดของกริดนั้นแคบ จุดที่เก็บค่าได้นั้นมากขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ความแม่นยำในการหาค่าความสูงมากขึ้น แต่แลกมากับระยะเวลาในการประมวลผลที่มากขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบว่าควรเก็บค่าจากขนาดของกริดเท่าไรจึงจะเหมาะสม โดยทำการทดลองจากการใช้กล่องที่บรรจุสินค้าเต็มกล่องทำให้กล่องบวมตรงกลาง โดยการวัดความสูงของกล่องที่บวมตรงกลางนั้น จะวัดทั้งหมด 3 จุดและนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในจุดตรงกลางที่วัดนั้นจะมีความสูงมากที่สุด วัดขนาดด้วยตลับเมตรทั้ง 3 จุดและหาค่าเฉลี่ยแล้วกล่องนี้มีความสูง 9.66 เซนติเมตร ดังรูปที่ 45 เพื่อนำขนาดของกล่องที่มาจากการวัดด้วยตลับเมตรนั้นไปเปรียบเทียบกับขนาดของกล่องที่วัดด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเพื่อหาค่าผิดพลาดในการวัดขนาดกล่อง และจับเวลาระยะเวลาประมวลผล ซึ่งในขั้นตอนการจับเวลาระยะเวลาประมวลผลนั้นจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่อ่านค่าจากภาพอินฟราเรดและภาพความลึกเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ไม่รวมระยะเวลาประมวลผลในการถ่ายภาพอินฟราเรด

และภาพความลึก) จนถึงขั้นตอนที่แสดงผลของความกว้าง ความยาวและความสูงออกมา เพื่อนำ
ระยะเวลาการประมวลผลในขั้นตอนการหาขนาดของกล่องพัสดุที่ขนาดของกริดต่างๆมาเปรียบเทียบ
กัน โดยทำการถ่ายรูปกล่องทั้งหมด 10 รูป ในแต่ละรูปนั้นกล่องจะถูกจัดวางอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่าง
กัน ดังตัวอย่างรูปที่ 46



รูปที่ 45 กล่องที่ไม่เรียบ

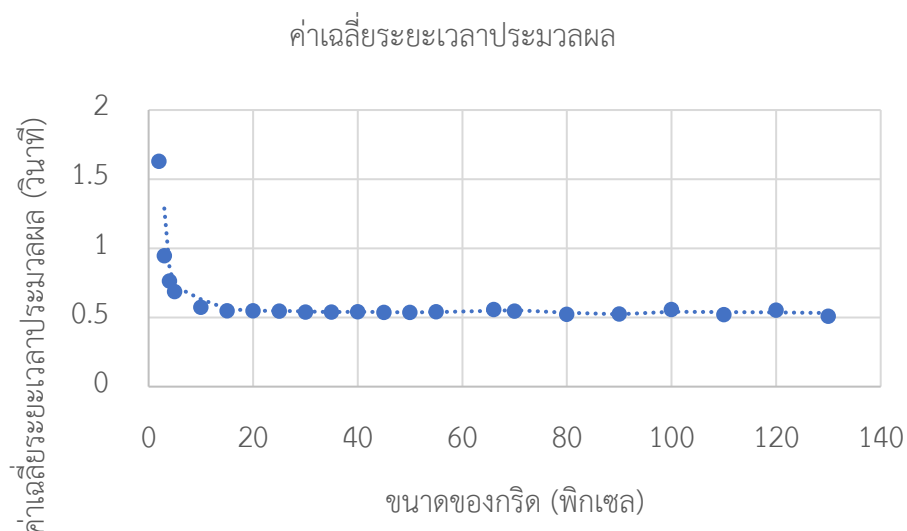


รูปที่ 46 ตัวอย่างการทดสอบหาค่ากริดที่เหมาะสม

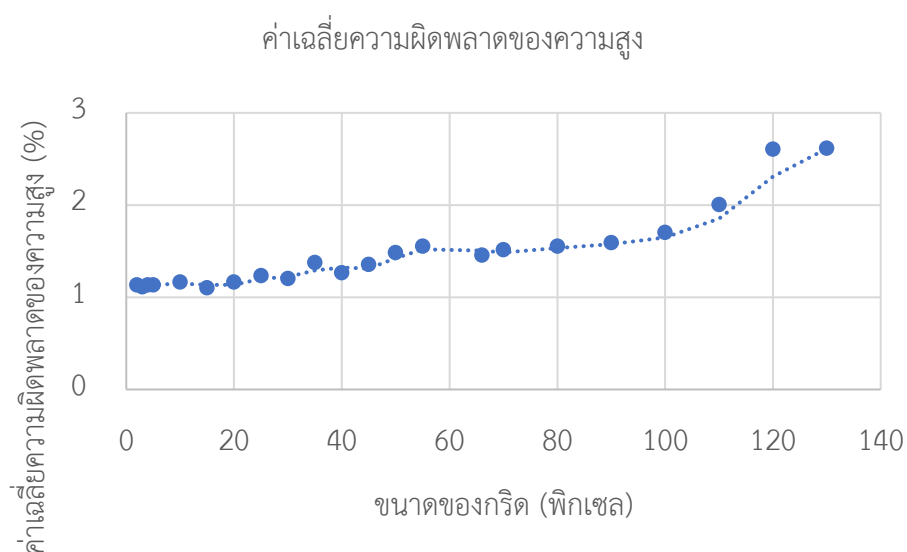
เพื่อทดสอบหาค่าความผิดพลาดในการหาค่าความสูงและระยะเวลาในการประมวลผล
ทดสอบโดยใช้วัดความสูงจากจุดกึ่งกลางของกล่องเพียงจุดเดียวแสดงดังตารางที่ 13 และทดสอบ
กับขนาดของกริดตั้งแต่ 2 pixel จนถึง 130 pixel โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกริดและ
ค่าความผิดพลาดในการหาค่าความสูงเป็นไปดังรูปที่ 47 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกริด
และระยะเวลาในการประมวลผลเป็นไปดังรูปที่ 48

	ค่าเฉลี่ยระยะเวลาประมวลผล	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของความสูง
จุดกึ่งกลางกล่อง	0.56 วินาที	3.45 %

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาประมวลผลและค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของความสูง
จากการวัดที่จุดกึ่งกลางของกล่องเพียงจุดเดียว



รูปที่ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกริดและระยะเวลาในการประมวลผล

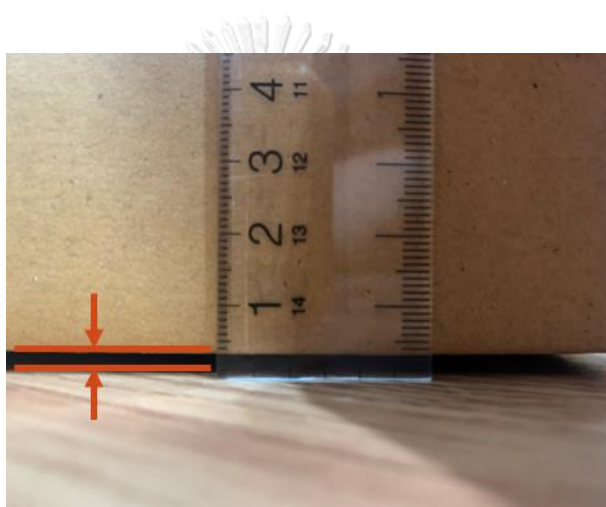


รูปที่ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกริดและค่าความผิดพลาดในการหาความสูง

จากรูปที่ 47 ขนาดของกริดที่ 2 พิกเซลจนถึง 15 พิกเซลนั้นจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง พอหลังจาก 15 พิกเซลเป็นต้นไปนั้นไม่ว่าขนาดของกริดจะเป็นเท่าใดระยะเวลาในการประมวลผลจะใกล้เคียงเดิม และจากรูปที่ 48 ขนาดของกริดที่ 2 พิกเซลนั้นจะมีความผิดพลาดน้อยที่สุดและจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงขนาดของกริดที่ 130 พิกเซล ดังนั้นจากผลการทดลองนี้ทางผู้วิจัยจึงใช้ค่าขนาดของกริดเป็น 15 พิกเซล มาใช้ในโปรแกรมวัดขนาดของกล่อง เพราะเนื่องจากขนาดของกริด 15 พิกเซลนั้นเป็นขนาดที่มีความแม่นยำมากที่สุดโดยที่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลยังไม่เปลี่ยนแปลง

3.8 ระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น

ระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้นก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความสูงกล่องบางกล่องเมื่อวางบนพื้นแล้วระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้นที่วางนั้นไม่เป็นศูนย์ ช่องว่างตรงนี้อาจมีสาเหตุมาจากการบรรจุสิ่งของลงในกล่องมากเกินไปทำให้ตรงกลางนูนออกมา ซึ่งการนูนออกมานั้นจะนูนออกมาทั้งด้านบนและด้านล่างของกล่อง ซึ่งในแต่ละด้านไม่จำเป็นต้องนูนเท่ากันเสมอไป การนูนทางด้านล่างนั้นเราไม่สามารถมองเห็นจากกล่องได้ เพราะเนื่องจากเราตั้งกล่องไว้ด้านบนและขนานกับตัวกล่อง โดยระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้นนี้ส่งผลให้การวัดความสูงผิดพลาดมากขึ้น ตัวอย่างรูประยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น ดังรูปที่ 49



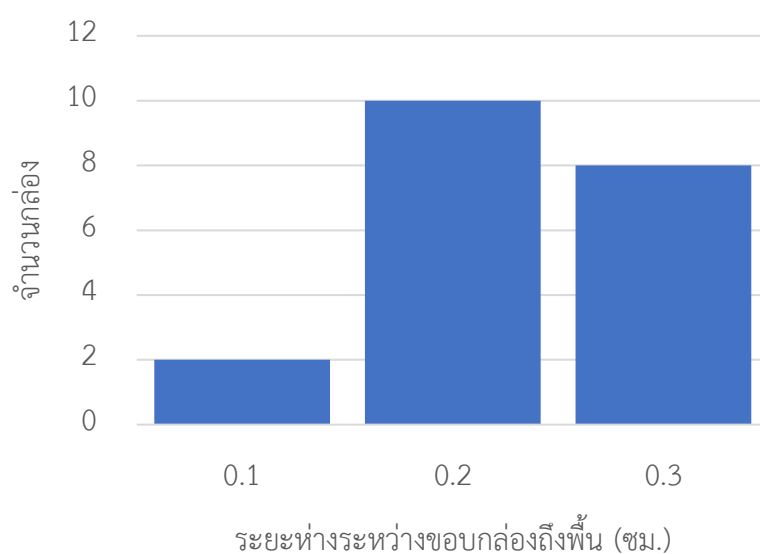
รูปที่ 49 ระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น

ผู้วิจัยจึงทำการทดลองนำกล่องมาทั้งหมด 20 ใบ ที่มีขนาดแตกต่างกันมาทดสอบ และวัดขนาดระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้นของแต่ละกล่องนั้นมีค่าเท่าใด โดยรูปกล่องที่นำมาทดลองทั้งหมด ดังรูปที่ 50 และกราฟ histogram แสดงจำนวนกล่องที่ระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 51



รูปที่ 50 กล่องที่นำมาทดสอบหาระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น

Histogram ของระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น

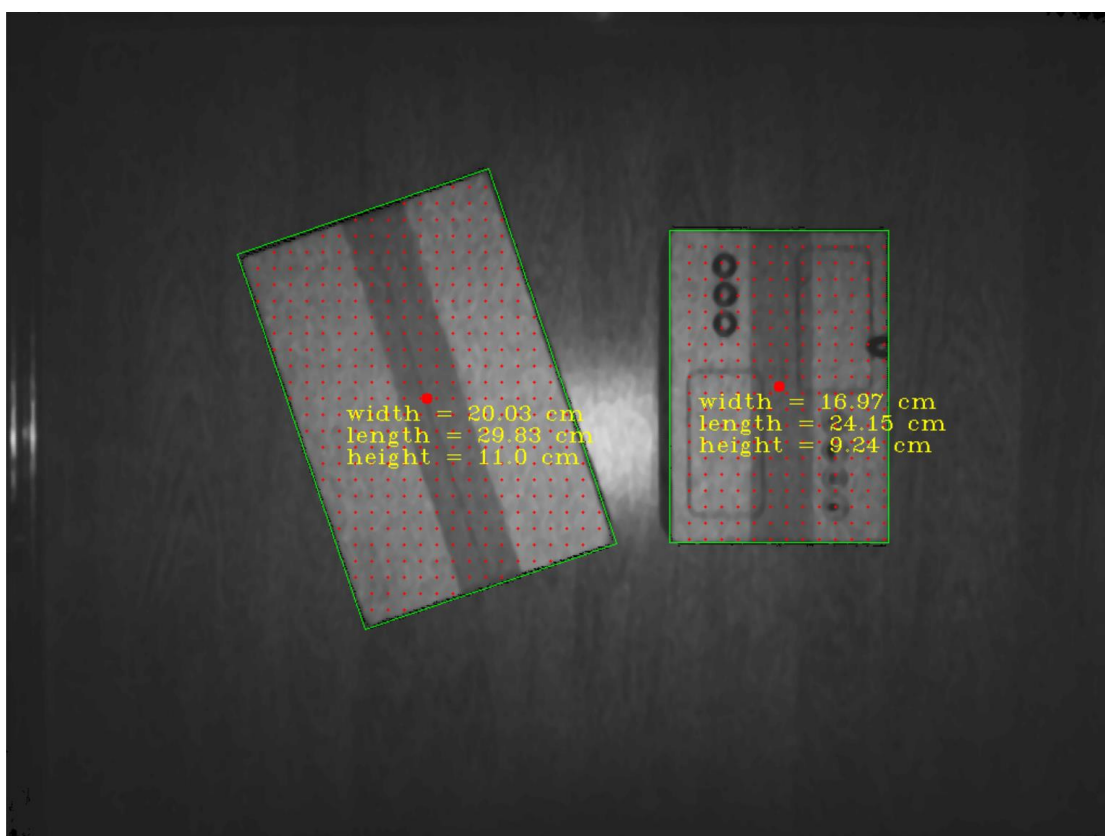


รูปที่ 51 Histogram ของระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้น

จากกราฟด้านบนจะสังเกตได้ว่ากล่องที่นำมาทดสอบทั้งหมด 20 กล่องนั้น มีระยะห่างระหว่างขอบกล่องถึงพื้นมากที่สุดอยู่ที่ 0.2 เซนติเมตร ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงใช้ระยะ 0.2 เซนติเมตรนี้เป็นระยะขดเคยความสูงในโปรแกรมการวัดขนาดของกล่อง

3.9 ผลลัพธ์ของการวัดขนาดกล่อง

การวัดขนาดของกล่องนั้น ได้ใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการตรวจนับระนาบด้านบน ใช้ขนาดของกริดเป็น 15 พิกเซล ในการเก็บค่าความสูงและนำค่าความสูงที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และใช้ระยะขดเขย 0.2 เซนติเมตร เพราะเนื่องจากกล่องที่นำมาทดลองมีระยะห่างระหว่างของกล่องถึงพื้น 0.2 เซนติเมตร นั้นมีมากที่สุด ตัวอย่างผลลัพธ์ของการวัดขนาดกล่องนั้น ดังรูปที่ 52

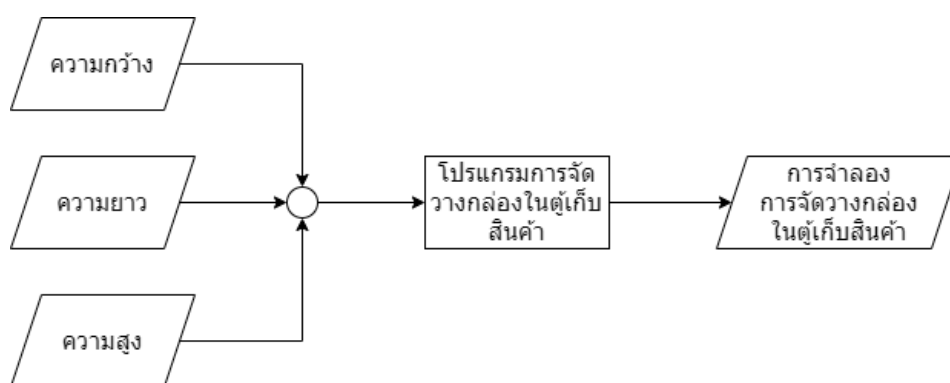


รูปที่ 52 ตัวอย่างผลลัพธ์ของการวัดขนาดกล่อง

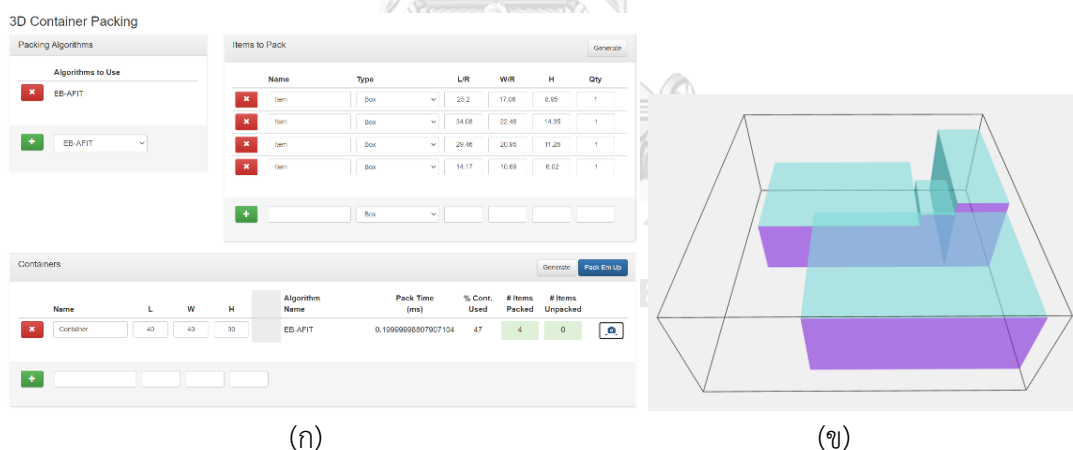
3.10 แอปพลิเคชันการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

การจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ทางผู้วิจัยได้ทำการอ้างอิงโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า มาจาก davidmchapman [36] โดยทำการปรับเปลี่ยนโปรแกรมให้สามารถรับค่าขนาดของกล่องจากทางโปรแกรมวัดขนาดของกล่องที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นได้ โดยหลักการทำงานของโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าที่ทำการปรับปรุงแล้วนั้น จะรับค่าขนาดของกล่อง ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความสูง จากโปรแกรมวัดขนาดของกล่องที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น โดยจะรับขนาดของกล่องมาทุกกล่องที่โปรแกรมตรวจนับได้และส่งค่าขนาดกล่องทั้งหมดไปยังส่วนออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ต่อมาผู้ใช้งานต้องเลือกวิธีการจัดวางสินค้าซึ่งมีตัวเลือกเดียวคือ EB-AFIT และกำหนด

ขนาดคอนเทนเนอร์ที่จะจัดวางกล่องทั้งหมดที่วัดขนาดมาได้นั้นลงไป สามารถกำหนดคอนเทนเนอร์มากกว่า 1 คอนเทนเนอร์ที่จะบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อกำหนดค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม Pack Em Up โปรแกรมจะคำนวณให้ว่าสามารถบรรจุกล่องทั้งหมดลงในคอนเทนเนอร์ได้หรือไม่ สามารถใส่ได้หรือไม่ได้จำนวนกี่กล่อง กล่องไหนควรไปบรรจุอยู่ตำแหน่งใดในตู้คอนเทนเนอร์และจำลองออกมาในรูปแบบสามมิติ ดังผังงานของโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าแสดงในรูปที่ 53 รูปตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ดังรูปที่ 54



รูปที่ 53 ผังงานการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า



(ก)

(ข)

รูปที่ 54 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

(ก) หน้าต่างการรับค่าของโปรแกรม (ข) การจำลองการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

3.11 หน้าต่างส่วนที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน

หน้าต่างส่วนที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการสร้างหน้าต่างแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ

- 1.หน้าต่างการวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม
- 2.หน้าต่างการจัดการข้อมูลในคลังสินค้า
- 3.หน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

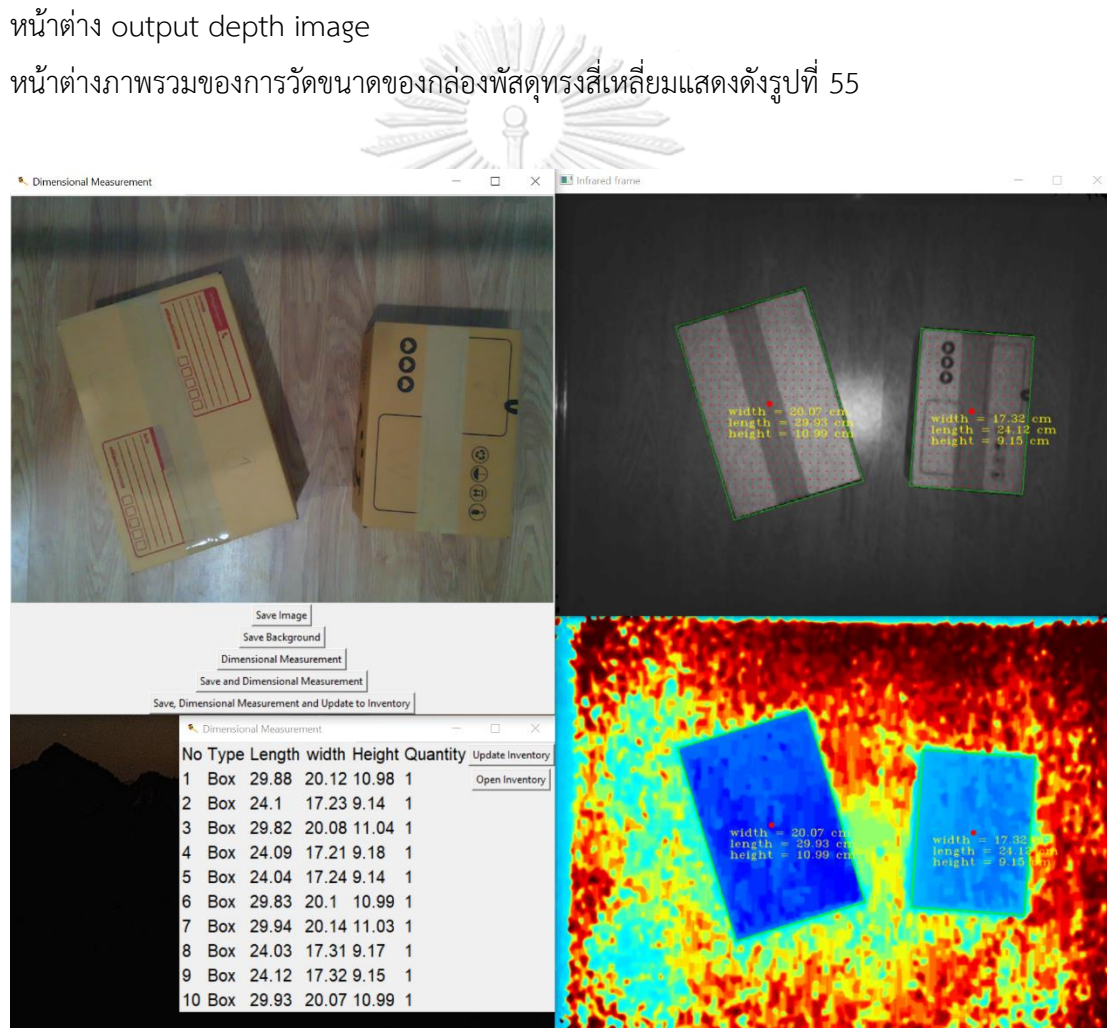
3.11.1 หน้าต่างการวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

ในหน้าต่างวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนั้นได้สร้างขึ้นมาจากภาษา Python โดย Library หลักในการสร้างคือ Tkinter ที่หน้าต่างนี้จะประกอบด้วยหน้าต่างย่อยๆอีก 4 หน้าต่าง ได้แก่

- 1.หน้าต่างรับค่า input
- 2.หน้าต่างแสดงข้อมูลในคลังสินค้า
- 3.หน้าต่าง output infrared image
- 4.หน้าต่าง output depth image

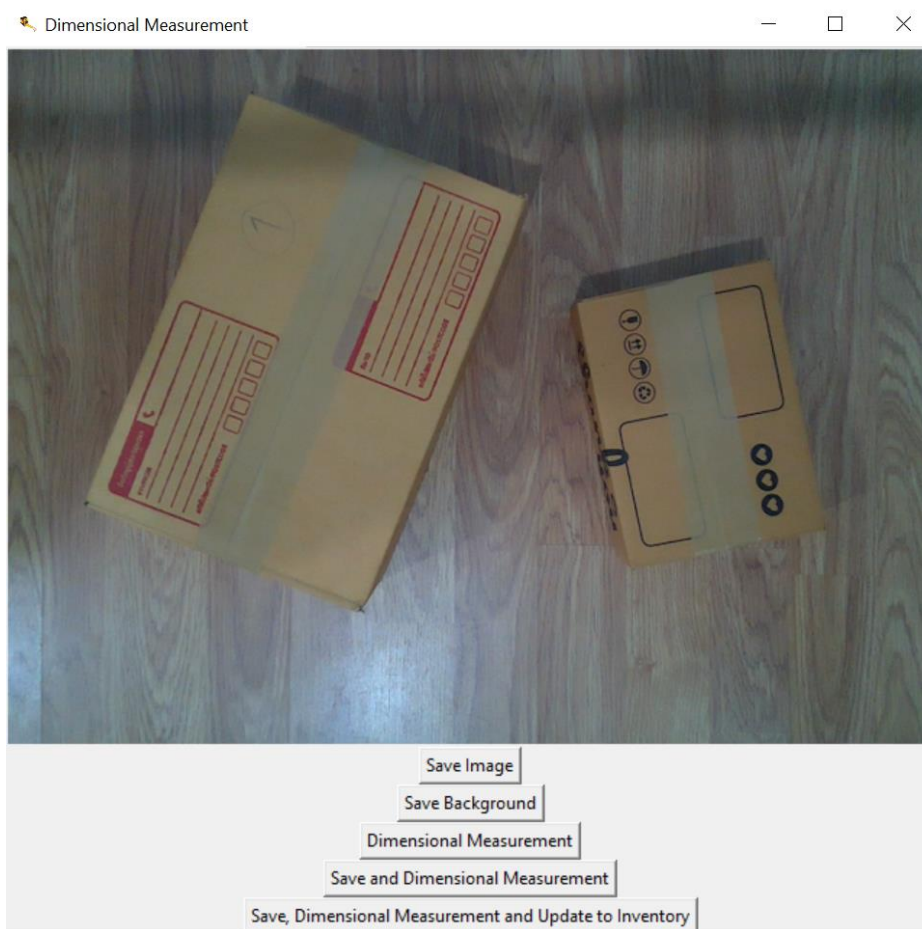
หน้าต่าง output depth image

หน้าต่างภาพรวมของการวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 55



รูปที่ 55 หน้าต่างภาพรวมของการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

หน้าต่างรับค่า input แสดงดังรูปที่ 56



รูปที่ 56 หน้าต่างรับค่า input

ที่หน้าต่างรับค่า input มีหน้าที่รับค่า input จากกล้องวัดความลึก โดยมีภาพ RGB แสดงว่าขณะนี้ตัวกล้องจับภาพได้อยู่ และจะมีปุ่มในการทำงานดังต่อไปนี้

ปุ่ม Save Image คือปุ่มบันทึกภาพ input infrared image และ depth image

ปุ่ม Save Background คือปุ่มบันทึกภาพ depth image ของพื้นหลัง (ต้องนำวัตถุออกจากภาพทั้งหมด)

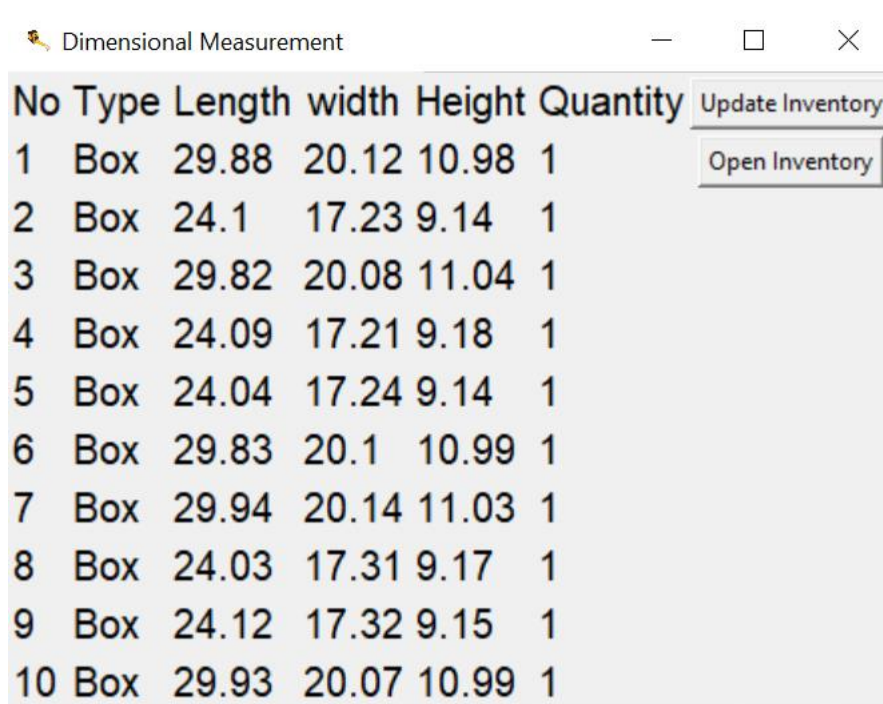
ปุ่ม Dimensional measurement คือปุ่มวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม (อ่านค่าจากภาพที่เคยบันทึกก่อนหน้านี้)

ปุ่ม Save and Dimensional Measurement คือปุ่มบันทึกภาพ input infrared image และ depth image และวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

ปุ่ม Save, Dimensional Measurement and Update to Inventory คือปุ่มบันทึกภาพ input

infrared image, depth image และวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม พร้อมทั้งอัปเดตข้อมูลขนาดกล่องพัสดุที่วัดได้ไปยังคลังสินค้า

หน้าต่างแสดงข้อมูลในคลังสินค้า แสดงดังรูปที่ 57



No	Type	Length	width	Height	Quantity
1	Box	29.88	20.12	10.98	1
2	Box	24.1	17.23	9.14	1
3	Box	29.82	20.08	11.04	1
4	Box	24.09	17.21	9.18	1
5	Box	24.04	17.24	9.14	1
6	Box	29.83	20.1	10.99	1
7	Box	29.94	20.14	11.03	1
8	Box	24.03	17.31	9.17	1
9	Box	24.12	17.32	9.15	1
10	Box	29.93	20.07	10.99	1

รูปที่ 57 หน้าต่างแสดงข้อมูลในคลังสินค้า

ที่หน้าแสดงข้อมูลในคลังสินค้า มีหน้าที่แสดงข้อมูลในคลังสินค้าเราว่ามีสินค้าชิ้นไหนที่เราได้ทำการวัดขนาดไปแล้วอยู่บ้าง แต่จะไม่สามารถจัดการคลังสินค้าได้ โดยจะมีข้อมูลของสินค้าแสดงอยู่ และมีปุ่มในการทำงานดังต่อไปนี้

ปุ่ม Update Inventory คือปุ่มที่ใช้อัปเดตคลังสินค้าว่าปัจจุบันมีกล่องขนาดเท่าใดบ้าง (ใช้เมื่ออัปเดตคลังสินค้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งอาจจะมาก่อนการอัปเดตครั้งก่อนหรือมาจากแหล่งอื่น)

ปุ่ม Open Inventory คือปุ่มที่ใช้เปิดหน้าต่างการจัดการข้อมูลในคลังสินค้า

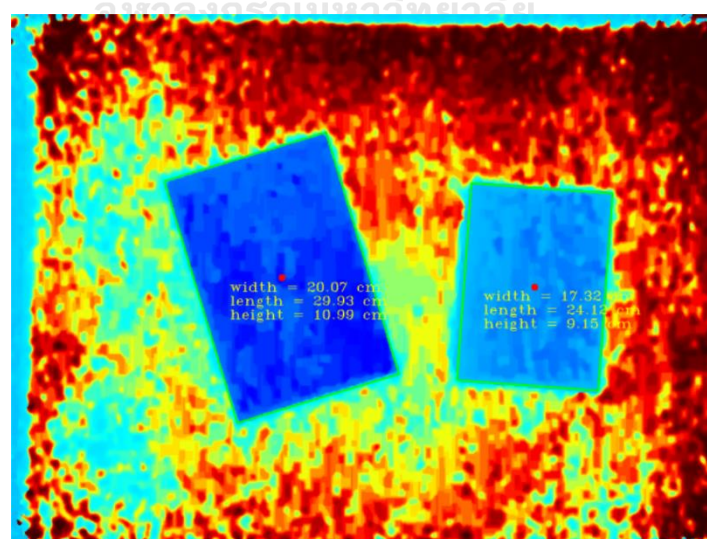
หน้าต่าง output infrared image แสดงดังรูปที่ 58



รูปที่ 58 หน้าต่าง output infrared image

หน้าต่าง output infrared image มีหน้าที่แสดงข้อมูลความกว้าง ความยาว ความสูง ของกล่องพัสดุ ทรงสี่เหลี่ยมต่างๆที่วัดได้ผ่านโปรแกรมการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม โดยจะแสดงบน infrared image

หน้าต่าง output depth image แสดงดังรูปที่ 59

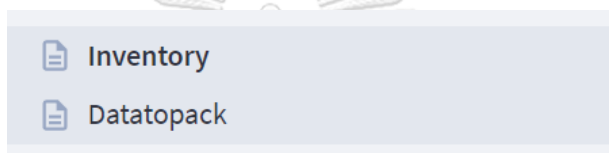


รูปที่ 59 หน้าต่าง output depth image

หน้าต่าง output depth image มีหน้าที่แสดงข้อมูลความกว้าง ความยาว ความสูง ของกล่องพัสดุ ทรงสี่เหลี่ยมต่างๆที่วัดได้ผ่านโปรแกรมการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม โดยจะแสดงบน depth image

3.11.2 หน้าต่างการจัดการข้อมูลในคลังสินค้า

ในหน้าต่างการจัดการข้อมูลในคลังสินค้านั้นได้สร้างขึ้นมาจากภาษา Python โดย Library หลักในการสร้างคือ Streamlit ที่หน้าต่างนี้จะประกอบด้วยหน้าต่างย่อยๆอีก 2 หน้าต่าง ได้แก่ 1.หน้าต่างจัดการข้อมูลคลังสินค้า 2.หน้าต่างตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า โดยสามารถสลับหน้าต่างย่อยทั้งสองหน้าได้ที่แถบด้านซ้ายแสดงดังรูปที่ 60



รูปที่ 60 แถบสลับหน้าต่างย่อย

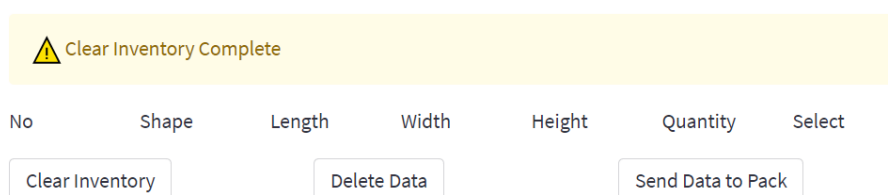
หน้าต่างจัดการข้อมูลคลังสินค้าแสดงดังรูปที่ 61

No	Shape	Length	Width	Height	Quantity	Select
1	Box	29.88	20.12	10.98	1	<input type="checkbox"/> Box1
2	Box	24.1	17.23	9.14	1	<input type="checkbox"/> Box2
3	Box	29.82	20.08	11.04	1	<input type="checkbox"/> Box3
4	Box	24.09	17.21	9.18	1	<input type="checkbox"/> Box4
5	Box	24.04	17.24	9.14	1	<input type="checkbox"/> Box5
6	Box	29.83	20.1	10.99	1	<input type="checkbox"/> Box6
7	Box	29.94	20.14	11.03	1	<input type="checkbox"/> Box7
8	Box	24.03	17.31	9.17	1	<input type="checkbox"/> Box8
9	Box	24.12	17.32	9.15	1	<input type="checkbox"/> Box9
10	Box	29.93	20.07	10.99	1	<input type="checkbox"/> Box10

รูปที่ 61 หน้าต่างจัดการข้อมูลคลังสินค้า

ที่หน้าต่างจัดการข้อมูลคลังสินค้า มีหน้าที่แสดงข้อมูลคลังสินค้า ว่ามีกล่องขนาดเท่าใดบ้างในคลังสินค้า และยังสามารถจัดการคลังสินค้าได้ด้วยการล้างข้อมูลคลังสินค้า หรือลบกล่องบางกล่องออกจากคลังสินค้าในกรณีที่บางกล่องถูกขนย้ายออกจากคลังสินค้าไปแล้ว และยังสามารถเลือกกล่องที่ต้องการนำไปจัดวางในตู้เก็บสินค้าได้ โดยการเลือกกล่องที่ต้องการลบออกและกล่องที่ต้องการนำไปจัดวางในตู้เก็บสินค้าสามารถเลือกได้จากช่อง Select และมีปุ่มในการทำงานดังต่อไปนี้


ปุ่ม Clear Inventory คือปุ่มที่ใช้ล้างค่าที่บันทึกไว้ในคลังสินค้า ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 62



The screenshot shows a yellow notification bar at the top with a warning icon and the text 'Clear Inventory Complete'. Below it is a table with columns: No, Shape, Length, Width, Height, Quantity, and Select. At the bottom of the table are three buttons: 'Clear Inventory', 'Delete Data', and 'Send Data to Pack'.

รูปที่ 62 ผลลัพธ์จากการกดปุ่ม Clear Inventory

ปุ่ม Delete Data คือปุ่มที่ใช้ลบกล่องที่เราเลือกจากช่อง Select ออกจากคลังสินค้า ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 63



The screenshot shows a blue notification bar at the top with an information icon and the text 'Delete Data Complete'. Below it is a table with columns: No, Shape, Length, Width, Height, Quantity, and Select. The table contains 8 rows of data, each with a checkbox in the 'Select' column. At the bottom of the table are three buttons: 'Clear Inventory', 'Delete Data', and 'Send Data to Pack'.

No	Shape	Length	Width	Height	Quantity	Select
1	Box	29.88	20.12	10.98	1	<input type="checkbox"/> Box1
2	Box	24.1	17.23	9.14	1	<input type="checkbox"/> Box2
3	Box	29.82	20.08	11.04	1	<input type="checkbox"/> Box3
4	Box	24.09	17.21	9.18	1	<input type="checkbox"/> Box4
5	Box	24.04	17.24	9.14	1	<input type="checkbox"/> Box5
6	Box	29.83	20.1	10.99	1	<input type="checkbox"/> Box6
7	Box	29.94	20.14	11.03	1	<input type="checkbox"/> Box7
8	Box	24.03	17.31	9.17	1	<input type="checkbox"/> Box8

รูปที่ 63 ผลลัพธ์จากการกดปุ่ม Delete Data

ปุ่ม Send Data to Pack ปุ่มที่เลือกกล่องที่เราเลือกจากช่อง Select ไปยังการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 64

✓ Data to Pack Complete

No	Shape	Length	Width	Height	Quantity	Select
1	Box	29.88	20.12	10.98	1	<input checked="" type="checkbox"/> Box1
2	Box	24.1	17.23	9.14	1	<input checked="" type="checkbox"/> Box2
3	Box	29.82	20.08	11.04	1	<input checked="" type="checkbox"/> Box3
4	Box	24.09	17.21	9.18	1	<input checked="" type="checkbox"/> Box4
5	Box	24.04	17.24	9.14	1	<input checked="" type="checkbox"/> Box5
6	Box	29.83	20.1	10.99	1	<input type="checkbox"/> Box6
7	Box	29.94	20.14	11.03	1	<input type="checkbox"/> Box7
8	Box	24.03	17.31	9.17	1	<input checked="" type="checkbox"/> Box8

Clear Inventory

Delete Data

Send Data to Pack

รูปที่ 64 ผลลัพธ์จากการกดปุ่ม Send Data to Pack

หน้าต่างตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าแสดงดังรูปที่ 65

No	Shape	Length	Width	Height	Quantity
1	Box	29.88	20.12	10.98	1
2	Box	24.1	17.23	9.14	1
3	Box	29.82	20.08	11.04	1
4	Box	24.09	17.21	9.18	1
5	Box	24.04	17.24	9.14	1
6	Box	24.03	17.31	9.17	1

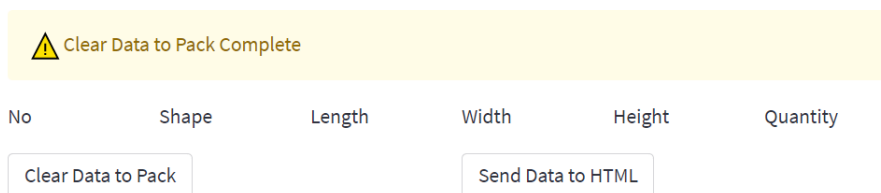
Clear Data to Pack

Send Data to HTML

รูปที่ 65 หน้าต่างตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

ที่หน้าต่างตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าจะแสดงถึงข้อมูลขนาดของกล่องที่เราต้องการไปจัดวางในตู้เก็บสินค้า และมีปุ่มในการทำงานดังต่อไปนี้

ปุ่ม Clear Data to Pack คือปุ่มใช้สำหรับล้างข้อมูลของกล่องที่เราต้องการไปจัดวางในตู้เก็บสินค้า ผลลัพธ์เมื่อกดปุ่ม Clear Data to Pack แสดงดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 ผลลัพธ์จากปุ่ม Clear Data to Pack

ปุ่ม Send Data to HTML คือปุ่มใช้ส่งข้อมูลกล่องที่ต้องการจัดวางในตู้เก็บสินค้าไปยังโปรแกรมจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

3.11.3 หน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

ในหน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้านั้นได้สร้างขึ้นมาจากภาษา HTML, CSS, Java Script โดยผู้เขียนคือ davidnchapman ซึ่งทางผู้วิจัยได้พัฒนาในส่วนส่งข้อมูลจากภาษา Python ไปยังภาษา HTML โดย Library หลักในการส่งข้อมูลคือ Flask ที่หน้าต่างนี้จะประกอบด้วยหน้าต่างย่อยๆอีก 2 หน้าต่าง ได้แก่ 1.หน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า 2.หน้าต่างจำลองการจัดวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้า

หน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าแสดงดังรูปที่ 67

3D Container Packing

Packing Algorithms

Algorithms to Use

×

EB-AFIT

+

EB-AFIT

Items to Pack

Generate

Name	Type	L/R	W/R	H	Qty	
×	Item	Box	29.88	20.12	10.98	1
×	Item	Box	24.1	17.23	9.14	1
×	Item	Box	29.82	20.08	11.04	1
×	Item	Box	24.09	17.21	9.18	1
×	Item	Box	24.04	17.24	9.14	1
×	Item	Box	24.03	17.31	9.17	1

+

Box

Containers

Generate

Pack Em Up

Name	L	W	H	Algorithm Name	Pack Time (ms)	% Cont. Used	# Items Packed	# Items Unpacked	
×	Container	40	40	40	EB-AFIT	0.3999999761581421	44	6	0

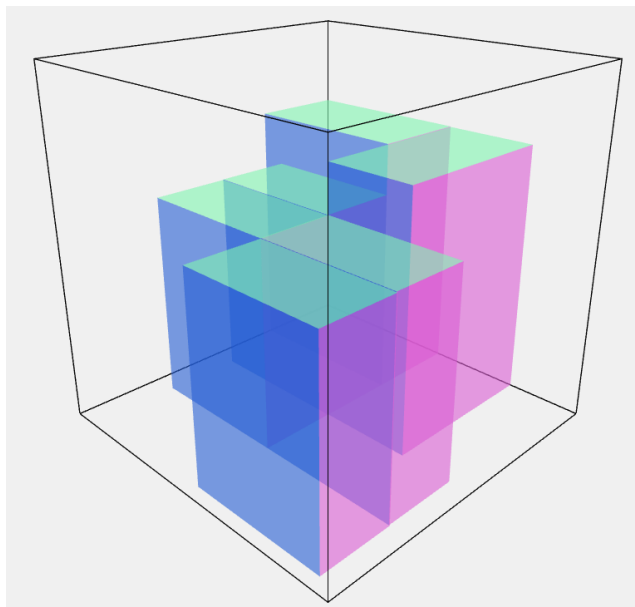
+

รูปที่ 67 หน้าต่างการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

ที่หน้าต่าการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าจะมีส่วนประกอบหน้าต่าย่อยๆอีก 3 ส่วนได้แก่

- 1.Packing Algorithm ส่วนนี้จะทำการเลือกอัลกอริทึมที่จะนำมาคำนวณการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า
- 2.Item to Pack ส่วนนี้จะแสดงข้อมูลสินค้าที่เราต่าต้องการจัดวางในตู้เก็บสินค้า โดยจะมีปุ่ม Generate ซึ่งปุ่มนี้จะมืหน้าที่ในการนำข้อมูลจากหน้าต่าตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้มาแสดงในหน้าต่าการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า
- 3.Containers ส่วนนี้จะต่าทำการกรอกข้อมูลขนาดของตู้เก็บสินค้าที่เราจะใช้ในการจัดวางกล่องเข้าไป โดยสามารถกรอกข้อมูลขนาดของตู้เก็บสินค้าหลายตู้ได้ โดยจะมีปุ่ม Generate ซึ่งปุ่มนี้จะทำการกรอกข้อมูลตู้เก็บสินค้าขนาด 20 ฟุตขึ้นมาอัตโนมัติและปุ่ม Pack Em Up ซึ่งปุ่มนี้เมื่อเรานำข้อมูลจากหน้าต่าตรวจสอบข้อมูลที่จะนำไปจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้มาแสดงในหน้าต่าการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการจัดวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้า โดยจะแสดงออกมาว่าใช้เวลาในการประมวลผลเท่าไร ใช้พื้นที่ในตู้เก็บสินค้าไปกี่เปอร์เซ็นต์ สามารถจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าได้กี่กล่อง เหลือกล่องที่มืไม่ได้จัดวางในตู้เก็บสินค้กี่กล่อง และมีปุ่มรูปกล้องถ่ายรูป คือปุ่มที่จะเปิดหน้าต่าจำลองการจัดวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้า

หน้าต่างจำลองการจัดวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้าแสดงดังรูปที่ 68



รูปที่ 68 หน้าต่างจำลองการจัดวางกล่องพัสดุ

ที่หน้าต่างจำลองการจัดวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้านี้จะแสดงภาพจำลองการวางกล่องพัสดุในตู้เก็บสินค้าว่ากล่องขนาดเท่าใดควรวางในตำแหน่งใดบ้างเพื่อที่จะทำให้การใช้พื้นที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

- 1.วางกล่องที่ต้องการวัดโดยให้กล่องอยู่ในกรอบภาพที่แสดงในหน้าต่างโปรแกรม
- 2.กดปุ่ม save measure and update เพื่อทำการวัดขนาดและอัปเดตขนาดไปยังคลังสินค้า
- 3.Output จากการวัดขนาดจะแสดงออกมาบน Infrared Image และ Depth Image
- 4.กดปุ่ม Open Inventory เพื่อเปิดหน้าต่างการจัดการข้อมูลในคลังสินค้า
- 5.ทำการเลือกกล่องที่ต้องการจัดวางในคอลัม Select
- 6.กดปุ่ม Send Data to Pack เพื่อส่งข้อมูลกล่องที่เลือกไปยังการจัดวางกล่อง
- 7.กดเลือกแถบ Data to pack เพื่อตรวจสอบว่ากล่องที่ต้องการจัดวางถูกต้องหรือไม่
- 8.กดปุ่ม Send Data to HTML เพื่อส่งข้อมูลกล่องที่ต้องการจัดวางไปยังโปรแกรม 3D Bin Packing
- 9.กดปุ่ม Generate เพื่อนำข้อมูลกล่องที่ต้องการจัดวางมาแสดงผล
- 10.กรอกข้อมูลขนาดตู้เก็บสินค้าที่ต้องการนำกล่องไปจัดวาง
- 11.กดปุ่ม Pack Em Up เพื่อให้โปรแกรมทำการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า
- 12.กดสัญลักษณ์รูปกล่องเพื่อแสดงการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

บทนี้จะแสดงการทดลอง ผลการทดลอง รวมถึงอภิปรายผลเพื่อที่จะนำไปสู่บทสรุปของงานวิจัยนี้ กล้องที่ทำมาทดลองนั้นเป็นกล้องในหัวข้อ 3.4 ทั้ง 5 ประเภทได้แก่ กล้อง 0, A, B, C และ D อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดขนาดอ้างอิงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดได้แก่ ตลับเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 7 การทดลองได้แก่

1.การทดลอง Gage R-R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม เพื่อตรวจสอบหาความน่าเชื่อถือในโปรแกรมการวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึก

2.การทดลองหาค่าผิดพลาดการวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม เพื่อตรวจสอบหาว่าการหมุนของกล้องพัสดุนั้นส่งผลต่อค่าผิดพลาดหรือไม่

3.การทดลองหาค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงในการวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมจากขอบเขตภาพ เพื่อตรวจสอบหาว่าการวางกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมตำแหน่งที่แตกต่างกันในขอบเขตภาพนั้นส่งผลต่อความเที่ยงตรงในการวัดหรือไม่

4.การทดลองจับเวลาระยะเวลาในการประมวลผล เพื่อตรวจสอบหาระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมและเปรียบเทียบระหว่างการวัดขนาดทีละกล้อง ทีละหลายๆกล้อง และใช้คนในการวัดขนาดกล้อง มีระยะเวลาในการวัดขนาดแตกต่างกันเท่าไร

5.การทดลองวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น เพื่อตรวจสอบว่าความสูงระหว่างกล้องถึงพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลกระทบต่อการวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมหรือไม่

6.การทดลองวัดขนาดของกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล้องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบหาค่าผิดพลาดเมื่ออ้างอิงกับสถานการณ์ที่นำไปใช้จริงแทนที่การใช้คนในการวัดขนาดกล้อง

7.การทดลองเปรียบเทียบความผิดพลาดในการวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมกับโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software เพื่อตรวจสอบหาค่าผิดพลาดจากโปรแกรมวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมว่าแตกต่างกันหรือไม่

8.เปรียบเทียบระบบที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นกับเครื่องวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม เพื่อตรวจสอบว่าระบบการวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้นมีความแตกต่างกับเครื่องวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมอย่างไร

4.1 การทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

การทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม ทำการทดลอง โดยการหาค่า Gage R-R ของการวัดขนาดกล่องด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เพื่อตรวจสอบหาความน่าเชื่อถือในโปรแกรมการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึก โดยในการทดลองนี้ใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม จะแบ่งออกเป็นความกว้าง ความยาว และความสูง ออกแบบการทดลองดังนี้

4.1.1 Gage R&R Study Worksheet

Number of Parts = 10

คือ กล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ทำมาทดลอง ได้แก่กล่อง 0 กล่อง A กล่อง B กล่อง C และกล่อง D โดยกล่องแต่ละประเภทนำมาทดลองอย่างละ 2 กล่อง รวมทั้งหมด 10 กล่อง

Number of operators = 3

คือ การวางกล่องที่ตำแหน่งมุมต่างๆ ได้แก่ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา รวมทั้งหมด 3 มุม

Number of Replicates = 5

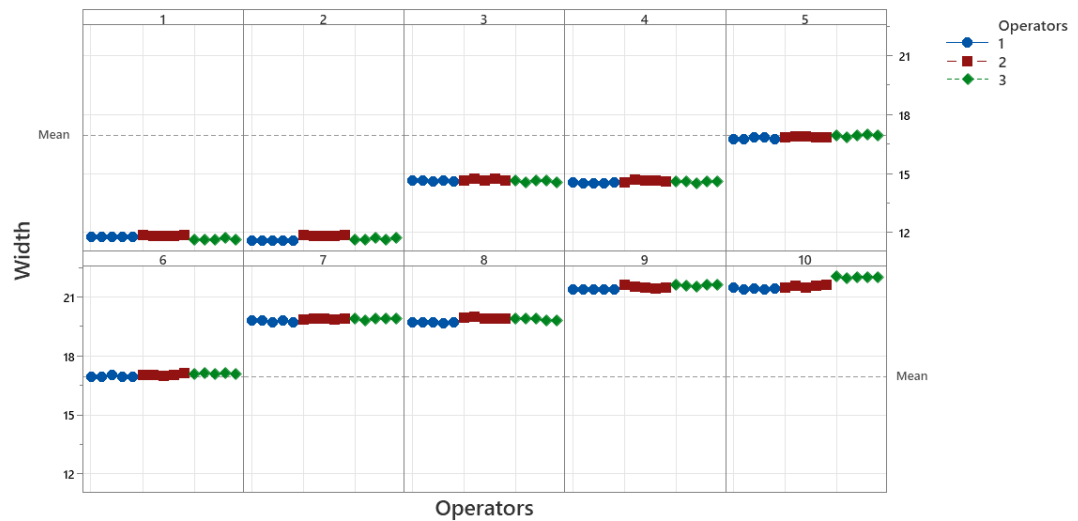
คือ การวัดซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง

นำค่าทั้งหมดที่วัดได้จำนวน 450 ข้อมูลมาสร้างกราฟ Gage Run Chart ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อตรวจสอบข้อมูลคร่าวๆว่ามี Repeatability Reproducibility เป็นอย่างไร และมีข้อมูลไหนที่ผิดปกติหรือแปลกไปจากประเภทเดียวกันหรือไม่ Gage Run Chart ของความกว้าง แสดงดังรูปที่ 69 Gage Run Chart ของความยาว แสดงดังรูปที่ 70 Gage Run Chart ของความสูง แสดงดังรูปที่ 71

Gage Run Chart of Width by Parts, Operators

Gage name: Computer Vision
Date of study: 11/11/2022

Reported by: Napol Ladplee
Tolerance:
Misc:

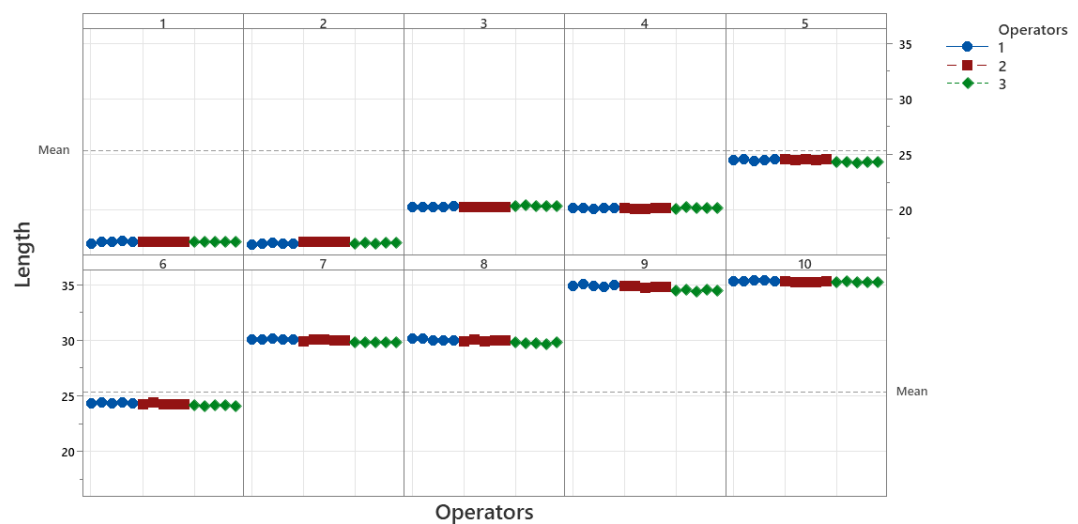


รูปที่ 69 Gage Run Chart ของความกว้าง

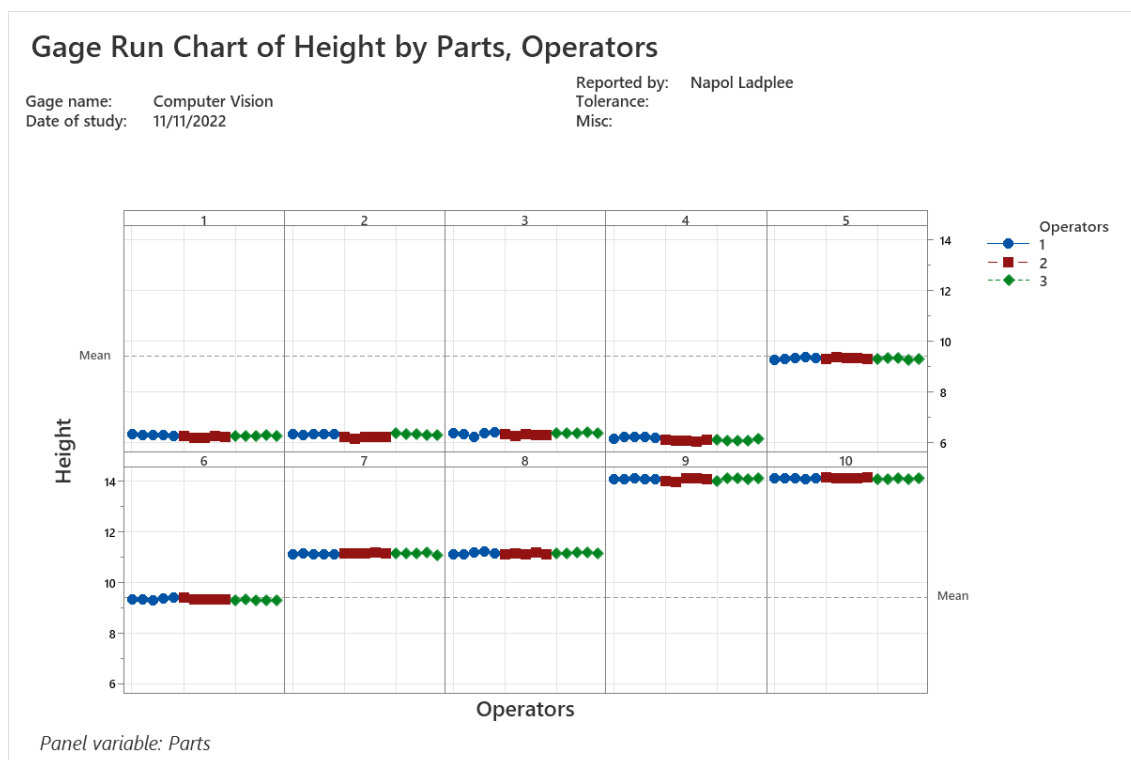
Gage Run Chart of Length by Parts, Operators

Gage name: Computer Vision
Date of study: 11/11/2022

Reported by: Napol Ladplee
Tolerance:
Misc:



รูปที่ 70 Gage Run Chart ของความยาว



รูปที่ 71 Gage Run Chart ของความสูง

Gage Run Chart จะแสดงการเปรียบเทียบค่าการวัดขนาดกล่องพัสดุทั้ง 10 กล่อง โดยการวางกล่องที่มุมต่างๆทั้งหมด 3 มุม เพื่อตรวจสอบว่ามีข้อมูลในภาพรวมมีสิ่งใดผิดปกติหรือไม่ ก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วย Gage R&R Study ในขั้นตอนต่อไป จาก Gage Run Chart ในรูปที่ 69 รูปที่ 70 และรูปที่ 71 ความแตกต่างของความสามารถในการวัดซ้ำ(Repeatability) จะพิจารณาในแต่ละชิ้นงานว่าการวางกล่องที่องศาแต่ละองศาวัดซ้ำ 5 ครั้ง จะสังเกตได้ว่าให้ค่าไม่แตกต่างกัน และความสามารถในการประเมินซ้ำ(Reproducibility) จะพิจารณาการวางกล่องที่องศาแต่ละองศา จะสังเกตได้ว่าวัดค่าได้ไม่แตกต่างกัน จึงสรุปว่าเมื่อใช้ Gage Run Chart พิจารณาข้อมูลในภาพรวมไม่พบข้อมูลที่ผิดปกติในการทดลองครั้งนี้ จึงนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการทำ Gage R&R Study ต่อไป

เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Gage R&R Study (Cross) จะให้ผลลัพธ์ออกมาดังต่อไปนี้ Two-Way ANOVA Table With Interaction, Gage Evaluation, Variance Components และ Gage R&R (ANOVA) Report

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	1872.29	208.032	3114.95	0.000
Degree	2	0.52	0.262	3.92	0.039
Parts * Degree	18	1.20	0.067	41.47	0.000
Repeatability	120	0.19	0.002		
Total	149	1874.21			

α to remove interaction term = 0.05

รูปที่ 72 Two-Way ANOVA Table With Interaction ของความกว้าง

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	6300.26	700.029	18083.2	0.000
Degree	2	0.68	0.339	8.8	0.002
Parts * Degree	18	0.70	0.039	15.0	0.000
Repeatability	120	0.31	0.003		
Total	149	6301.95			

α to remove interaction term = 0.05

รูปที่ 73 Two-Way ANOVA Table With Interaction ของความยาว

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	1345.84	149.538	23751.0	0.000
Degree	2	0.02	0.011	1.8	0.200
Parts * Degree	18	0.11	0.006	5.6	0.000
Repeatability	120	0.13	0.001		
Total	149	1346.11			

α to remove interaction term = 0.05

รูปที่ 74 Two-Way ANOVA Table With Interaction ของความสูง

จากรูปที่ 72 รูปที่ 73 และรูปที่ 74 แสดงผลลัพธ์ Two-Way ANOVA With Interaction ของความกว้าง ความยาว และความสูง จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับองค์ที่วางกล่อง (Parts*Degree)

ค่า P-Value ของ Parts ของความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 0.000 0.000 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ(0.05) แสดงว่าชิ้นงานแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกัน

ค่า P-Value ของ Degree ของความกว้าง ความยาว เท่ากับ 0.039 0.002 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ(0.05) แสดงว่าองค์ประกอบที่วางกล่องแต่ละองค์ประกอบนั้นส่งผลให้การวัดขนาดแตกต่างกัน ส่วน

ค่า P-Value ของ Degree ของความสูง เท่ากับ 0.200 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ แสดงว่าองค์ประกอบที่วางกล่องแต่ละองค์ประกอบนั้นไม่ส่งผลให้การวัดขนาดแตกต่างกัน

ค่า P-Value ของ Parts*Degree ของความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 0.000 0.000 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ(0.05) แสดงว่ามีผลของอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับพนักงาน

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.13617	0.8170	3.65
Repeatability	0.04013	0.2408	1.08
Reproducibility	0.13012	0.7807	3.49
Degree	0.06242	0.3745	1.68
Degree*Parts	0.11417	0.6850	3.06
Part-To-Part	3.72349	22.3409	99.93
Total Variation	3.72598	22.3559	100.00



Number of Distinct Categories = 38

รูปที่ 75 Gage Evaluation ของความกว้าง

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.12579	0.7547	1.84
Repeatability	0.05089	0.3053	0.74
Reproducibility	0.11503	0.6902	1.68
Degree	0.07751	0.4651	1.13
Degree*Parts	0.08500	0.5100	1.24
Part-To-Part	6.83125	40.9875	99.98
Total Variation	6.83241	40.9945	100.00

Number of Distinct Categories = 75

รูปที่ 76 Gage Evaluation ของความยาว

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.04749	0.2849	1.50
Repeatability	0.03353	0.2012	1.06
Reproducibility	0.03362	0.2017	1.06
Degree	0.00981	0.0589	0.31
Degree*Parts	0.03216	0.1930	1.02
Part-To-Part	3.15734	18.9440	99.99
Total Variation	3.15769	18.9462	100.00

Number of Distinct Categories = 93

รูปที่ 77 Gage Evaluation ของความสูง

ค่า %Study Var (%SV) คือ การเปรียบเทียบความผันแปรของระบบการวัดแต่ละส่วนเทียบกับความแปรผันทั้งหมด

จาก Gage Evaluation ของความกว้าง รูปที่ 75 ที่คอลัมน์ %Study Var (%SV) แถว Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 3.65 หมายความว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้

จาก Gage Evaluation ของความยาว รูปที่ 76 ที่คอลัมน์ %Study Var (%SV) แถว Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 1.84 หมายความว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้

จาก Gage Evaluation ของความสูง รูปที่ 77 ที่คอลัมน์ %Study Var (%SV) แถว Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 1.50 หมายความว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0185	0.13
Repeatability	0.0016	0.01
Reproducibility	0.0169	0.12
Degree	0.0039	0.03
Degree*Parts	0.0130	0.09
Part-To-Part	13.8644	99.87
Total Variation	13.8829	100.00

รูปที่ 78 Variance Components ของความกว้าง

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0158	0.03
Repeatability	0.0026	0.01
Reproducibility	0.0132	0.03
Degree	0.0060	0.01
Degree*Parts	0.0072	0.02
Part-To-Part	46.6660	99.97
Total Variation	46.6818	100.00

รูปที่ 79 Variance Components ของความยาว

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.00225	0.02
Repeatability	0.00112	0.01
Reproducibility	0.00113	0.01
Degree	0.00010	0.00
Degree*Parts	0.00103	0.01
Part-To-Part	9.96877	99.98
Total Variation	9.97102	100.00

รูปที่ 80 Variance Components ของความสูง

%Contribution (of VarComp) คือ สัดส่วนความแปรปรวนแต่ละส่วนเมื่อเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมด (Total Variation)

จาก Variance Components ของความกว้างรูปที่ 78 ที่คอลัมน์ %Contribution (of VarComp) แถว Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.13 หมายความว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้

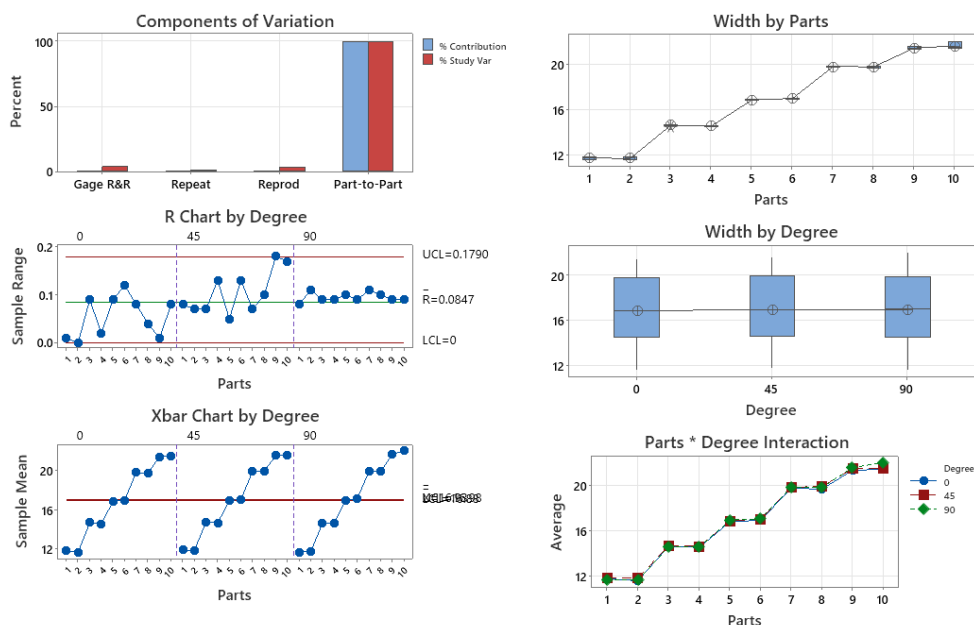
จาก Variance Components ของความยาวรูปที่ 79 ที่คอลัมน์ %Contribution (of VarComp) แถว Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.03 หมายความว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้

จาก Variance Components ของความสูงรูปที่ 80 ที่คอลัมน์ %Contribution (of VarComp) แถว Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.02 หมายความว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้

Gage R&R (ANOVA) Report for Width

Gage name: Computer Vision
Date of study: 11/11/2020

Reported by: Napol Ladplee
Tolerance:
Misc:

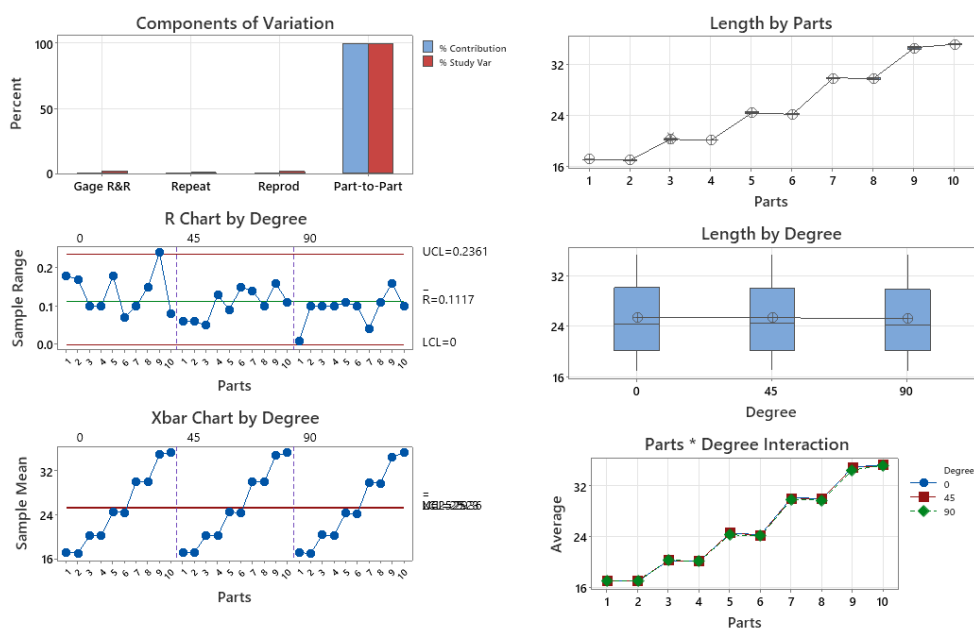


รูปที่ 81 รายงาน Gage R&R (ANOVA) ของความกว้าง

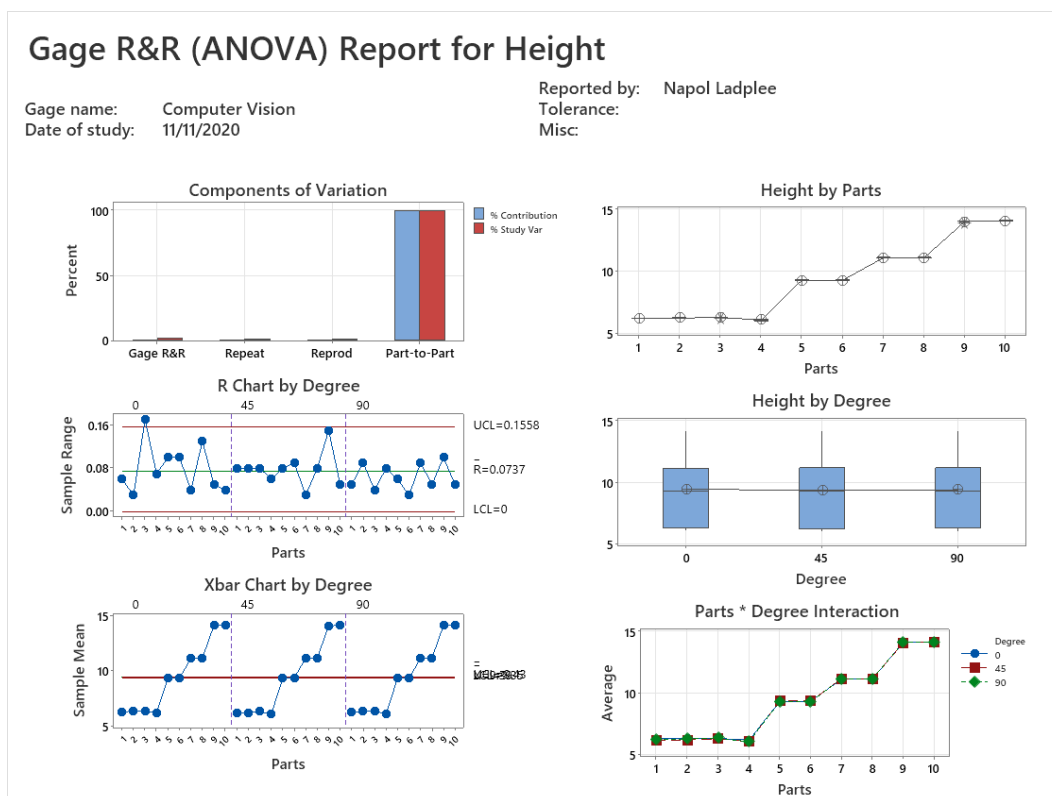
Gage R&R (ANOVA) Report for Length

Gage name: Computer Vision
Date of study: 11/11/2020

Reported by: Napol Ladplee
Tolerance:
Misc:



รูปที่ 82 รายงาน Gage R&R (ANOVA) ของความยาว



รูปที่ 83 รายงาน Gage R&R (ANOVA) ของความสูง

4.1.2 Gage R&R (ANOVA) Report

Components of Variance กราฟแท่งแสดงค่าความแปรปรวนในแต่ละส่วน แท่ง Gage R&R แสดงค่า %SV และ %P/T ของระบบการวัดกราฟ Part-to-Part ควรมีความสูงมากกว่าแท่งอื่นๆ

R Chart By Degree แสดงความสามารถในการจำแนกความแตกต่างของชิ้นงาน และความผันแปรขององศาการวางกล่องแต่ละองศา จุดทุกจุดควรอยู่ภายใต้เส้นควบคุม

Xbar Chart by Degree แสดงค่าเฉลี่ยในการวัดแต่ละชิ้นงานของแต่ละองศาการวางกล่องแต่ละองศา โดยจุดบนกราฟควรอยู่นอกเส้นควบคุมมากกว่า 50% จึงจะแสดงว่าระบบการวัดสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างชิ้นงานได้

Width/Length/Height by Parts แสดงค่าที่องศาการวางกล่องในชิ้นงานเดียวกัน แต่ละจุดควรซ้อนทับกันหรืออยู่ใกล้กันมากที่สุด จึงจะแสดงว่าองศาการวางกล่องทั้ง 3 องศา วัดขนาดชิ้นงานเดียวกันและได้ค่าใกล้เคียงกันที่สุด

Width/Length/Height by Degree บ็อกซ์พล็อตแสดงความผันแปรของการวัดองศาการวางกล่องแต่ละองศา ซึ่งบ็อกซ์พล็อตขององศาการวางกล่องแต่ละองศานั้นไม่ควรแตกต่างกัน

Part*Degree Interaction แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับองศาการวางกล่อง โดยเส้นที่กราฟควรซ้อนทับกันหรืออยู่ใกล้กันมากที่สุด หากเส้นกราฟมีการตัดกันแสดงว่ามีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับองศาการวางกล่อง

จาก Gage R&R (ANOVA) Report ของความกว้าง รูปที่ 81 Components of Variance แห่ง Gage R&R มีค่าน้อยกว่า และกราฟ Part-to-Part มีความสูงมากกว่าแท่งอื่นๆ แสดงว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้ R Chart by Degree ที่องศาการวางกล่อง 45 องศา ชิ้นงานชิ้นที่ 9 ค่าขนาดที่วัดได้ยังมีความต่อเนื่องไม่ดี เพราะออกนอกเส้นควบคุม Xbar Chart by Degree จุดบนกราฟอยู่นอกเส้นควบคุมมากกว่า 50% แสดงว่าระบบการวัดสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างชิ้นงานได้ Width by Parts จุดแต่ละจุดอยู่ใกล้กัน แสดงว่าองศาการวางกล่องทั้ง 3 องศา วัดชิ้นงานเดียวกัน และได้ค่าใกล้เคียงกันที่สุด Width by Degree บ็อกซ์พล็อตขององศาการวางกล่องแต่ละองศา นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย Part*Degree Interaction กราฟมีการตัดกันเกิดขึ้น แสดงว่ามีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและองศาการวางกล่องส่งผลต่อการวัดขนาดความกว้างของกล่อง

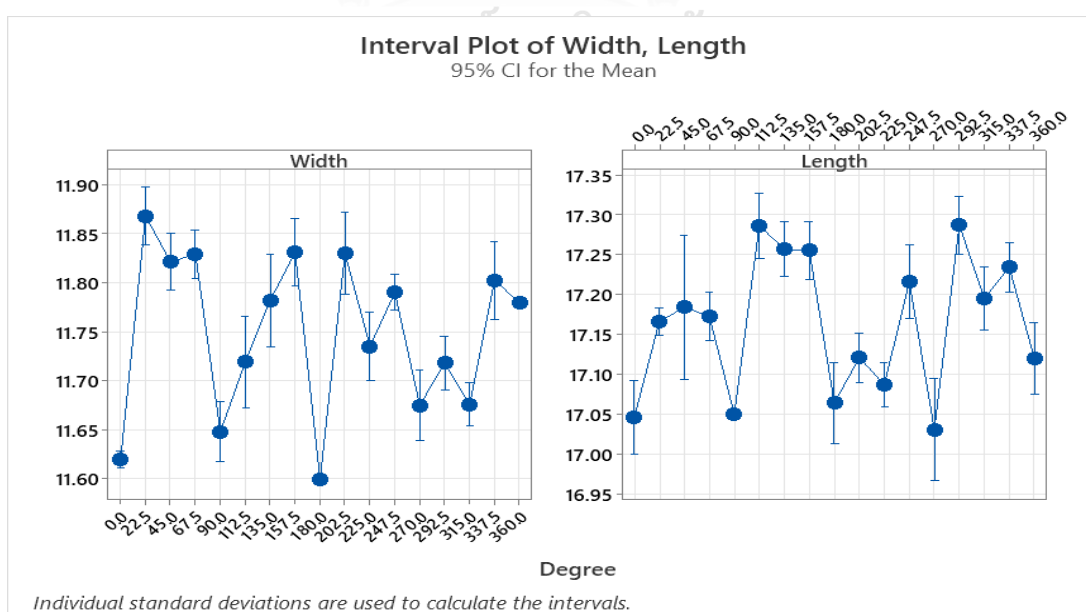
จาก Gage R&R (ANOVA) Report ของความยาว รูปที่ 82 Components of Variance แห่ง Gage R&R มีค่าน้อยกว่า และกราฟ Part-to-Part มีความสูงมากกว่าแท่งอื่นๆ แสดงว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้ R Chart by Degree ที่องศาการวางกล่อง 0 องศา ชิ้นงานชิ้นที่ 9 ค่าขนาดที่วัดได้ยังมีความต่อเนื่องไม่ดี เพราะออกนอกเส้นควบคุม Xbar Chart by Degree จุดบนกราฟอยู่นอกเส้นควบคุมมากกว่า 50% แสดงว่าระบบการวัดสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างชิ้นงานได้ Length by Parts จุดแต่ละจุดอยู่ใกล้กัน แสดงว่าองศาการวางกล่องทั้ง 3 องศา วัดชิ้นงานเดียวกัน และได้ค่าใกล้เคียงกันที่สุด Length by Degree บ็อกซ์พล็อตขององศาการวางกล่องแต่ละองศา นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย Part*Degree Interaction กราฟมีการตัดกันเกิดขึ้น แสดงว่ามีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและองศาการวางกล่องส่งผลต่อการวัดขนาดความยาวของกล่อง

จาก Gage R&R (ANOVA) Report ของความสูง รูปที่ 83 Components of Variance แห่ง Gage R&R มีค่าน้อยกว่า และกราฟ Part-to-Part มีความสูงมากกว่าแท่งอื่นๆ แสดงว่าระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้ R Chart by Degree ที่องศาการวางกล่อง 0 องศา ชิ้นงานชิ้นที่ 3 ค่าขนาดที่วัดได้ยังมีความต่อเนื่องไม่ดี เพราะออกนอกเส้นควบคุม Xbar Chart by Degree จุดบนกราฟอยู่นอกเส้นควบคุมมากกว่า 50% แสดงว่าระบบการวัดสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างชิ้นงานได้ Height by Parts จุดแต่ละจุดอยู่ใกล้กัน แสดงว่าองศาการวางกล่องทั้ง 3 องศา วัดชิ้นงานเดียวกัน และได้ค่าใกล้เคียงกันที่สุด Height by Degree บ็อกซ์พล็อตขององศาการวางกล่องแต่ละองศา นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย Part*Degree Interaction กราฟอยู่ใกล้กัน แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและองศาการวางกล่องส่งผลต่อการวัดขนาดความสูงของกล่อง

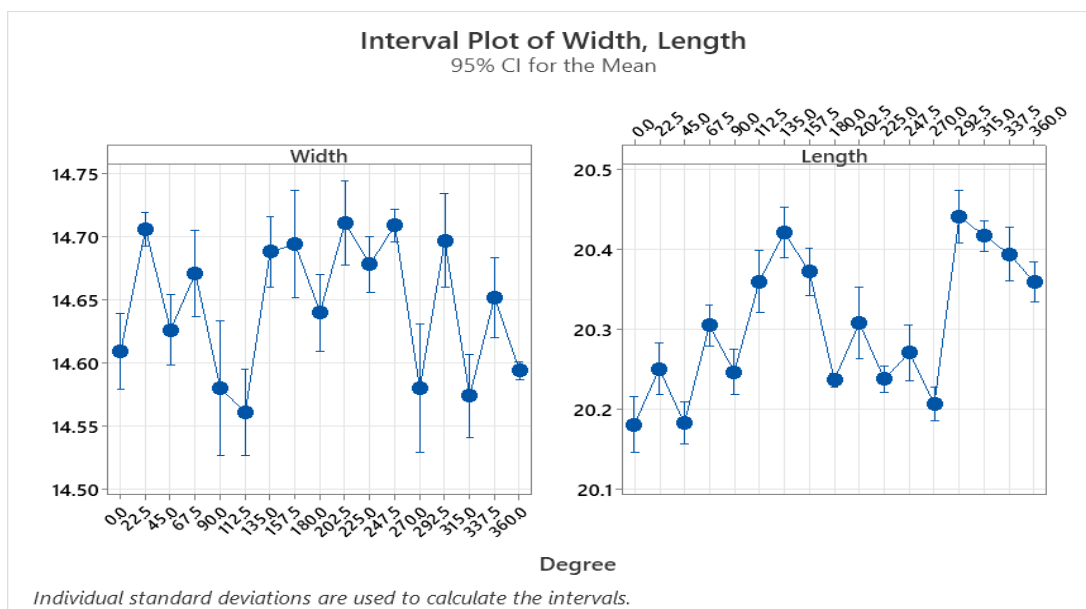
จากการทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม สรุปได้ว่าการใช้โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนั้นมีระบบการวัดดีเยี่ยม ยอมรับได้ แต่ใน Gage R&R (ANOVA) Report ในหัวข้อ Part*Degree Interaction ของความกว้างและความยาวนั้น มีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและองศาการวางกล่องส่งผลต่อการวัดขนาดความกว้างและความยาวของกล่อง

4.2 การทดลองการวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

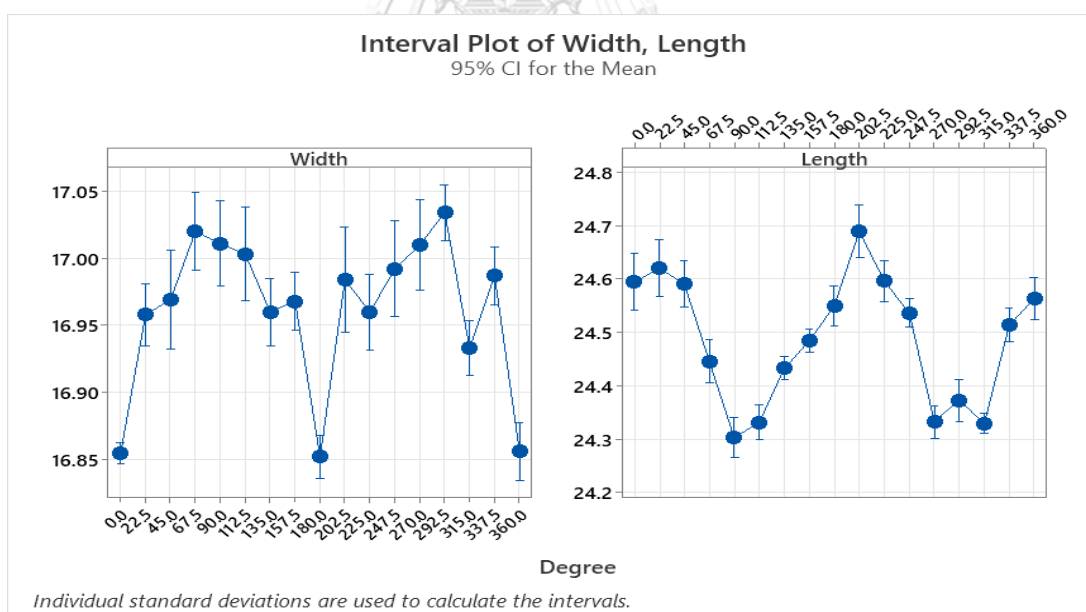
จากการทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม นั้นแสดงให้เห็นถึงการมีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างองศาการวางกล่องส่งผลต่อการวัดความกว้างและความยาว โดยจุดที่เห็นได้ชัดคือเกิดขึ้นที่กล่อง B, C, D ดังนั้นจึงเกิดการทดลองการวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมขึ้น ทำการทดลองโดยการวางกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมไว้กึ่งกลางของกล่อง หมุนกล่องไปที่ละ 22.5 องศา และวัดขนาดกล่อง โดยแต่ละ 22.5 องศา จะทำการวัดขนาดทั้งหมด 10 ครั้ง และนำค่าขนาดกล่องทั้ง 10 ครั้งมาทำ Interval Plot ในความมั่นใจที่ 95% ทดลองกับกล่อง 0, A, B และ C โดย Interval Plot ความกว้างและความยาวในองศาการวางกล่องของกล่อง 0 แสดงดังรูปที่ 84 Interval Plot ความกว้างและความยาวในองศาการวางกล่องของกล่อง A แสดงดังรูปที่ 85 Interval Plot ความกว้างและความยาวในองศาการวางกล่องของกล่อง B แสดงดังรูปที่ 86 และ Interval Plot ความกว้างและความยาวในองศาการวางกล่องของกล่อง C แสดงดังรูปที่ 87



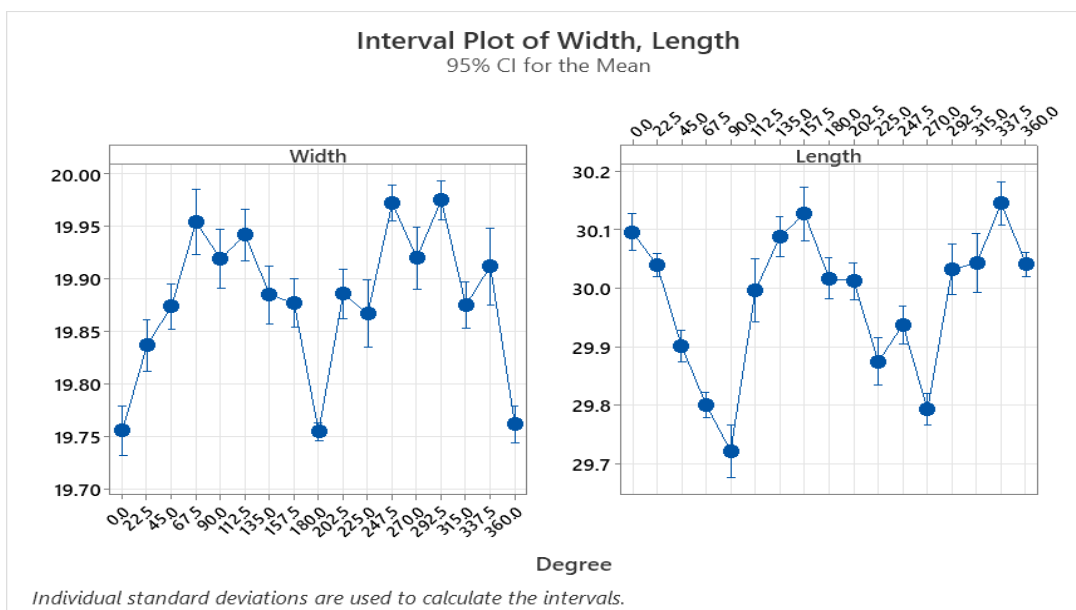
รูปที่ 84 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง 0



รูปที่ 85 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง A

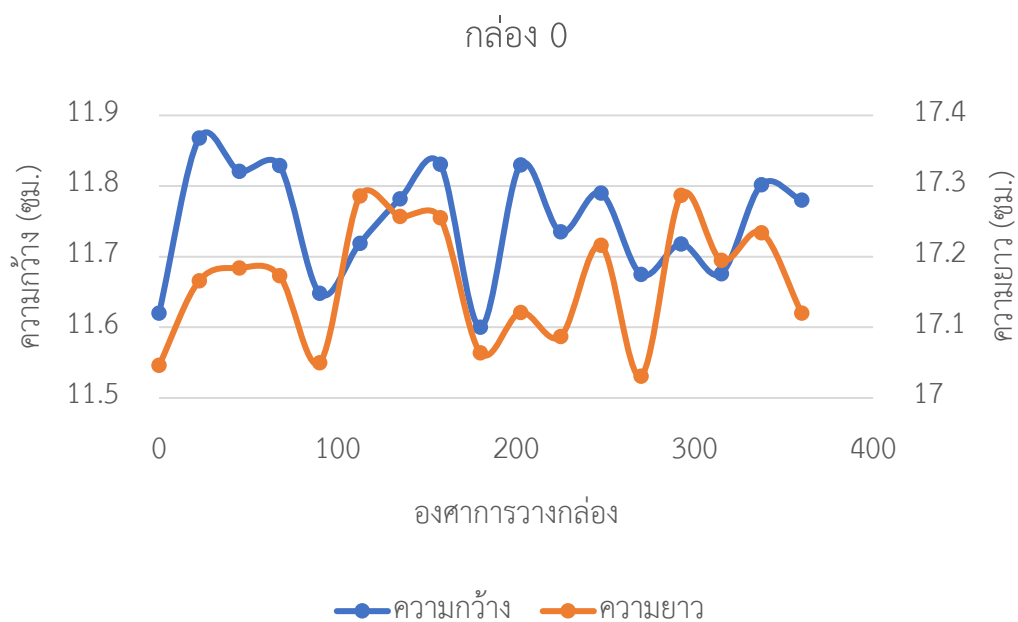


รูปที่ 86 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง B

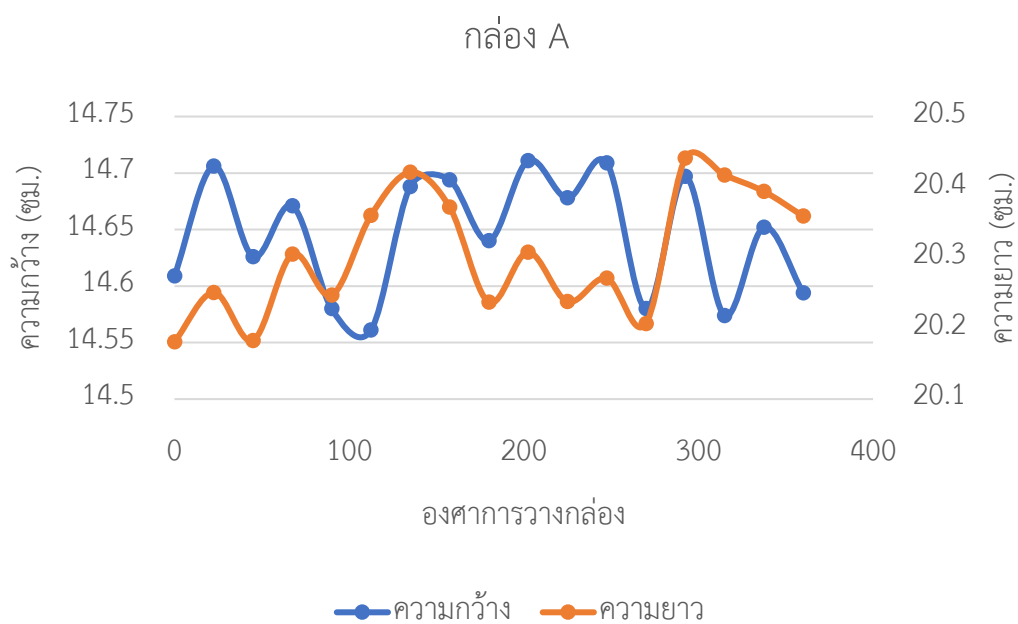


รูปที่ 87 Interval Plot ความกว้างและความยาวในการหมุนของกล่อง C

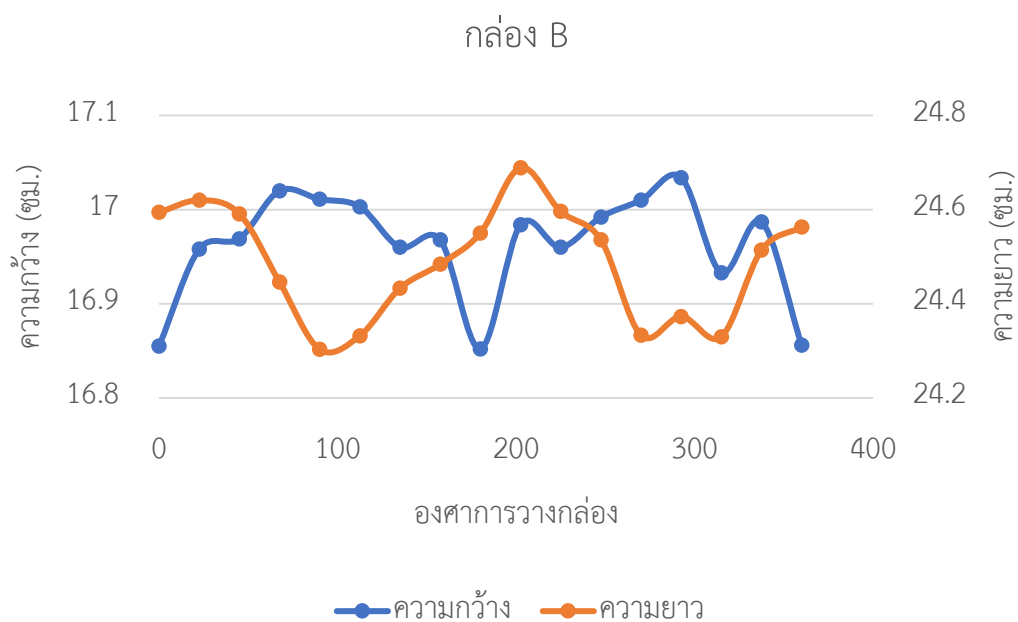
จากกราฟรูปที่ 84 และ รูปที่ 85 จะสังเกตเห็นได้ว่ากล่อง 0 และกล่อง A นั้น กราฟของค่าความกว้างและความยาวไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่จากกราฟรูปที่ 86 และ รูปที่ 87 จะสังเกตเห็นว่ากล่อง B และกล่อง C กราฟของค่าความกว้างและความยาวแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ ที่มุม 0, 180, 360 องศา นั้น ความกว้างจะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ความยาวจะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ส่วนที่มุม 90, 270 องศา ความยาวจะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ความกว้างจะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย จึงนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของความกว้าง และความยาวของกล่องทั้ง 4 ขนาด กล่อง 0, A, B, D มาพล็อตในกราฟเดียวกันและทำการหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน โดยกราฟค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวกล่อง 0 แสดงดังรูปที่ 88 กราฟค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวกล่อง A แสดงดังรูปที่ 89 กราฟค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวกล่อง B แสดงดังรูปที่ 90 กราฟค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวกล่อง C แสดงดังรูปที่ 91 และตารางค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาวในการทดลองวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม แสดงดังรูปที่ 14



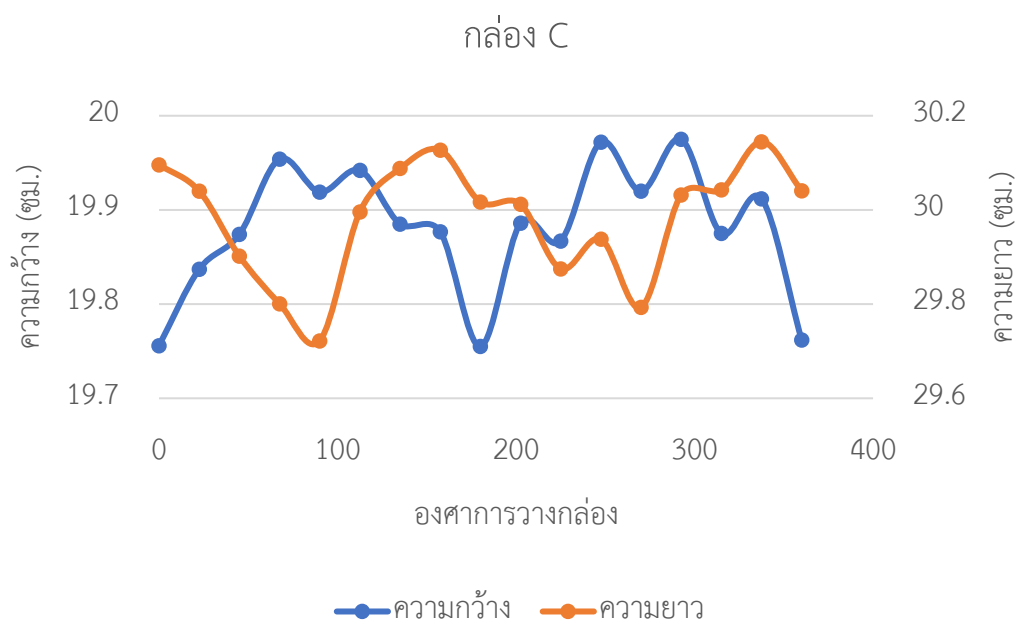
รูปที่ 88 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง 0



รูปที่ 89 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง A



รูปที่ 90 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง B

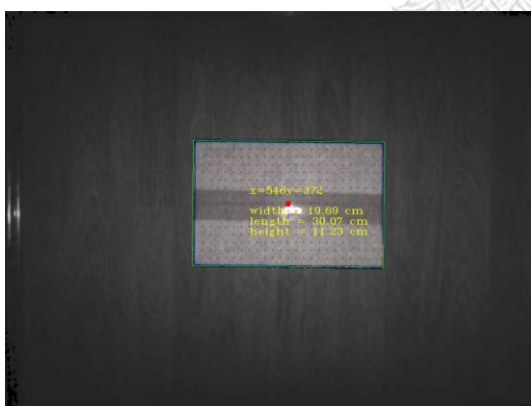


รูปที่ 91 กราฟค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของกล่อง C

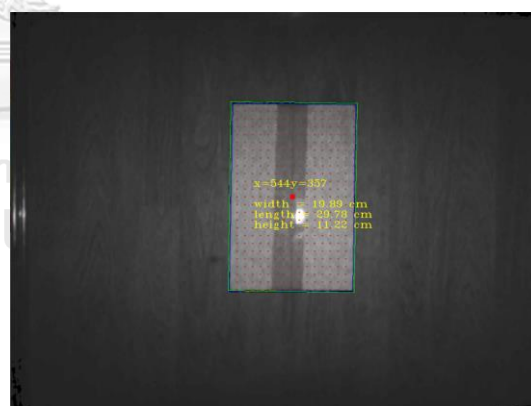
ชื่อกล่อง	ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	ระดับความสัมพันธ์
กล่อง 0	0.50	มีความสัมพันธ์กันน้อย
กล่อง A	0.14	มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก
กล่อง B	-0.44	มีความสัมพันธ์กันน้อย ในทิศทางตรงกันข้าม
กล่อง C	-0.37	มีความสัมพันธ์กันน้อย ในทิศทางตรงกันข้าม

ตารางที่ 14 ตารางค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาวในการทดลองวัดขนาดจากองศาการวางที่เปลี่ยนไปของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

จากตารางที่ 14 ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของกล่อง 0 และ A มีค่าเป็นบวกและมีความสัมพันธ์กันน้อย ซึ่งหมายถึง ค่าความกว้างและความยาวนั้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของกล่อง B และ C มีค่าเป็นลบและมีความสัมพันธ์กันน้อย ซึ่งหมายถึง ค่าความกว้างและความยาวนั้นสวนทางกันอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อความกว้างเพิ่มขึ้น ความยาวจะลดลง และเมื่อความกว้างลดลง ความยาวจะเพิ่มขึ้น ในลักษณะตรงกันข้ามกัน



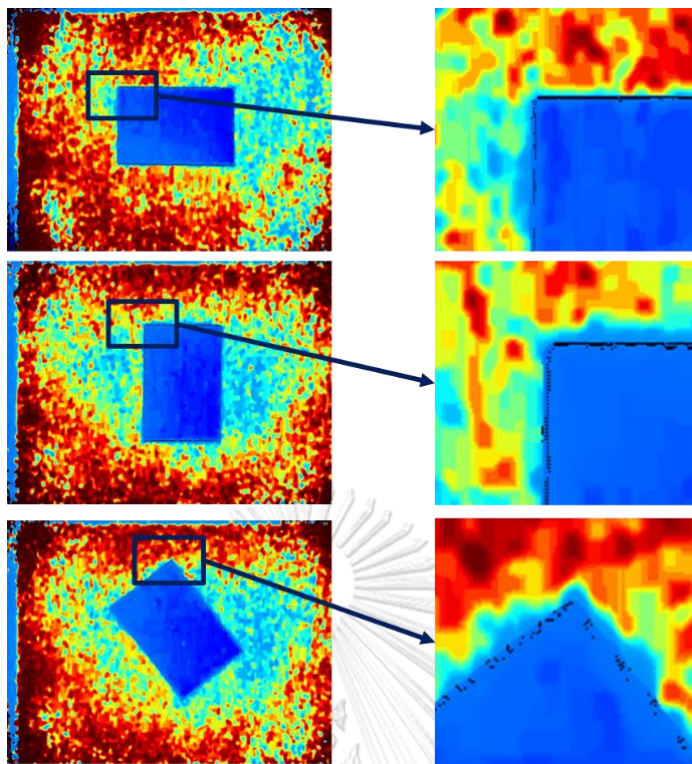
(ก)



(ข)

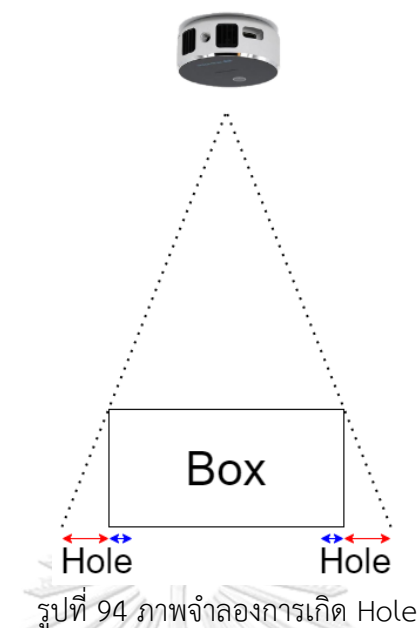
รูปที่ 92 (ก) องศาการวางกล่อง 0 องศา (ข) องศาการวางกล่อง 90 องศา

จากรูปที่ 92 สังเกตได้ว่าที่มุม 0, 180, 360 องศา นั้นด้านกว้างขนานกับแกน Y ด้านยาวขนานกับแกน X ส่วนที่มุม 90, 270 องศา ดังนั้นด้านกว้างขนานกับแกน X ด้านยาวขนานกับแกน Y จึงสรุปได้ว่า ด้านที่ขนานกับแกน X นั้นจะวัดขนาดได้มากกว่าค่าเฉลี่ย และ ด้านที่ขนานกับแกน Y นั้นจะวัดขนาดได้น้อยกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งสาเหตุมาจาก Hole ในรูปตัวอย่างรูปที่ 93



รูปที่ 93 การเกิด Hole ในภาพ Depth

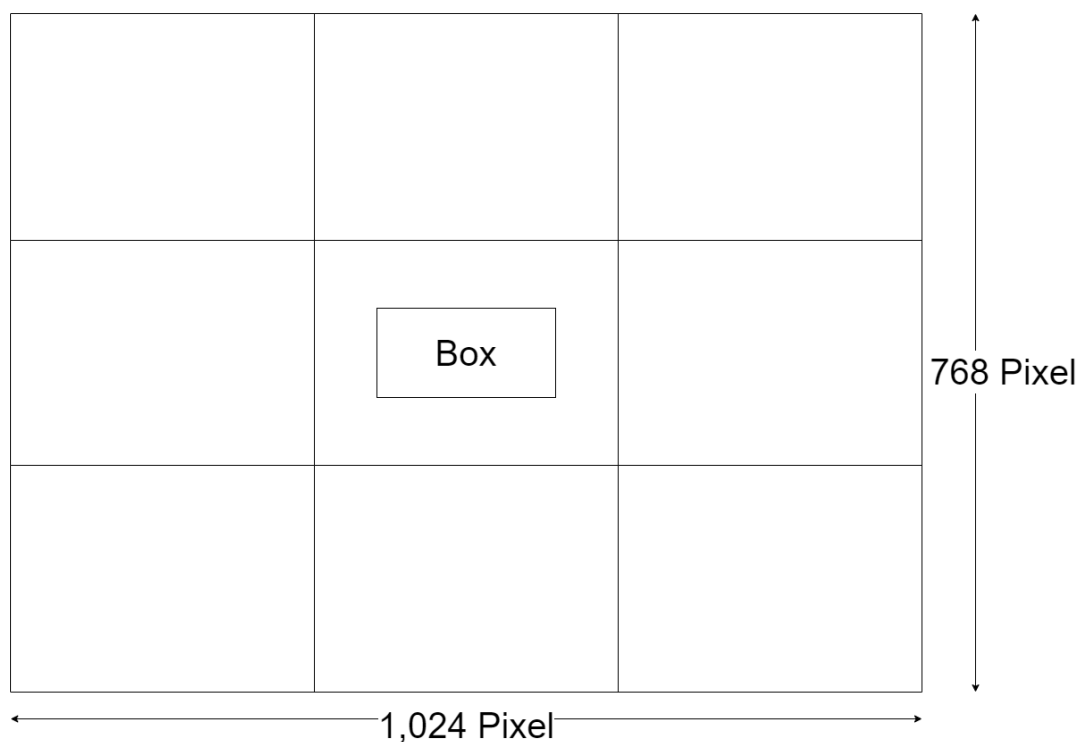
จากรูปที่ 93 จะสังเกตเห็นว่า Hole ในแนวนอนแกน X จะเกิดมากกว่าในแนวนอนแกน Y ส่งผลให้ด้านที่ขนานกับแกน X นั้นจะวัดขนาดได้มากกว่าค่าเฉลี่ย และ ด้านที่ขนานกับแกน Y นั้นจะวัดขนาดได้น้อยกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งสาเหตุในการเกิด Hole นั้นเกิดมาจากระนาบด้านบนของกล่องนั้นอยู่ใกล้กล่องจนเกิดไป ทำให้กล่องนั้นไม่สามารถมองเห็นพิทเชลขอบๆของกล่องได้ชัดเจน ดังรูปที่ 94 โดยการเกิด Hole ระยะเส้นสีน้ำเงินคือการเกิด Hole ที่เข้าไปภายในกล่องทำให้เมื่อวัดขนาดกล่องแล้วกล่องที่วัดได้จะมีขนาดน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น สาเหตุมาจากที่ขอบกล่องนั้นทำมุม 90 องศากับพื้น ซึ่งการทำงานของกล่องนั้นจะใช้การปล่อยแสงออกไปและจับเวลาที่แสงสะท้อนกลับมาหากกล่องแต่เนื่องจากตรงส่วนนั้นเป็นขอบของกล่องอาจจะทำให้การสะท้อนแสงกลับเข้ามาในกล่องนั้นทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงเกิด Hole เกิดขึ้น และการเกิด Hole ระยะเส้นสีแดงคือการเกิด Hole ในมุมอับที่กล่องมองไม่เห็น ทำให้แสงส่งไปไม่ถึง ตัวกล่องถึงไม่ทราบค่าจึงทำให้เกิด Hole ขึ้น



ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Hole ที่รูปแบบการติดตั้งในปัจจุบัน(กล้องสูงจากพื้น 71 ซม.) ควรวัดกล่องพัสดุที่มีความสูงไม่เกิน 9 ซม. เพื่อให้โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทำงานได้อย่างแม่นยำมากที่สุด

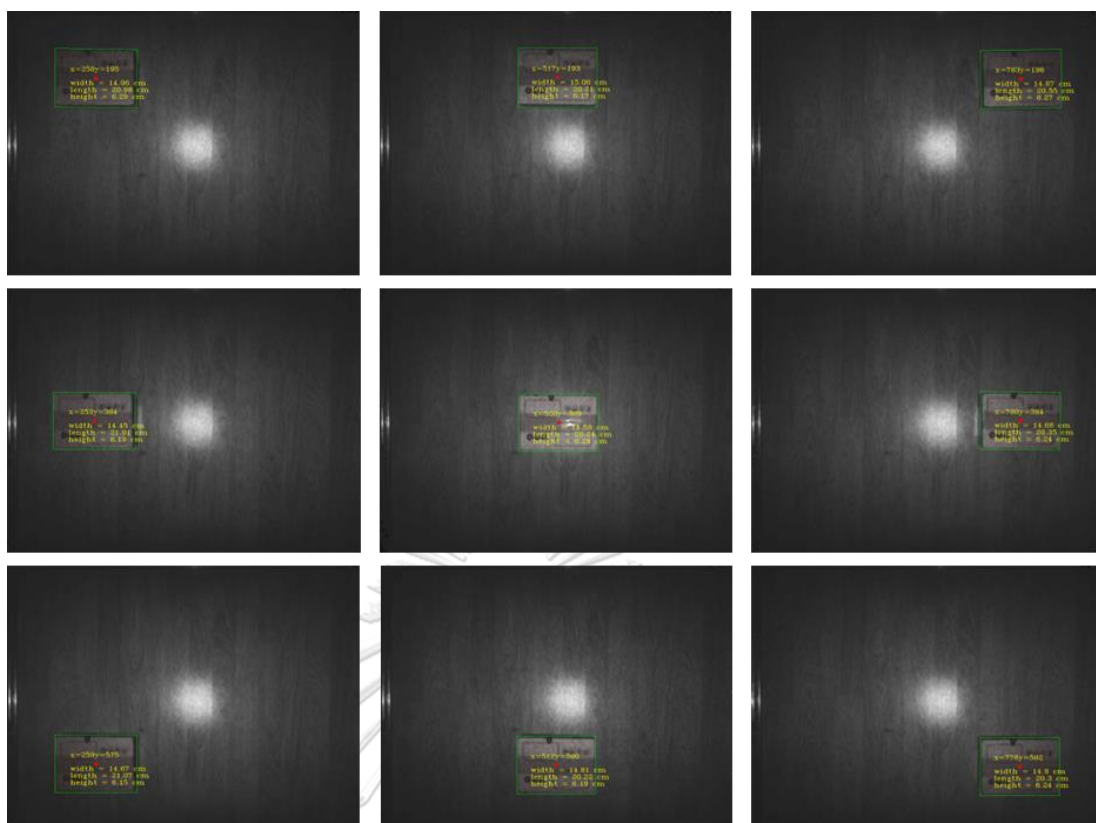
4.3 การทดลองหาค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆในขอบเขตภาพ

การทดลองหาค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆในขอบเขตภาพ ทำการทดลองโดยวางกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมไว้ที่ตำแหน่งต่างๆภายในขอบเขตภาพ เพื่อตรวจสอบว่าการวางกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมตำแหน่งที่แตกต่างกันในขอบเขตภาพนั้นส่งผลต่อค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงในการวัดหรือไม่ โดยจะแบ่งขอบเขตภาพออกเป็น 9 ช่อง และจะวางกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่จะทำการวัดไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังภาพที่ 95 ในแต่ละตำแหน่งจะทำการวัดขนาดกล่องด้วยโปรแกรมจำนวน 10 ครั้ง ซึ่งค่าผิดพลาดนั้นจะนำค่าที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ยและนำค่าเฉลี่ยนั้นไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดด้วยตลับเมตร ส่วนความเที่ยงตรงนั้น คำนวณจาก $Precision = \sigma$



รูปที่ 95 การทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆในขอบเขตภาพ

โดยจะวางกล่องที่จะทำการวัดขนาดไว้ที่ตำแหน่ง ซ้ายบน ซ้ายกลาง ซ้ายล่าง กึ่งกลางบน กึ่งกลาง กึ่งกลางล่าง ขวาบน ขวากลาง ขวาล่าง ตัวอย่างภาพ Output จากการวางกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมไว้ที่ตำแหน่งต่างๆภายในขอบเขตภาพ แสดงดังภาพที่ 96 ทำการทดลองกับกล่อง 0 และกล่อง A เพราะเนื่องจากกล่องทั้งสองขนาดนี้ไม่ได้รับผลกระทบจาก Hole ของกล่องที่ส่งผลให้เกิดการวัดขนาดที่ผิดพลาด โดยตารางแสดงค่าผิดพลาดของกล่อง 0 แสดงดังรูปที่ 97 ตารางแสดงค่าผิดพลาดของกล่อง A แสดงดังรูปที่ 98 ตารางแสดงความเที่ยงตรงของกล่อง 0 แสดงดังรูปที่ 99 ตารางแสดงความเที่ยงตรงของกล่อง A แสดงดังรูปที่ 100



รูปที่ 96 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆในขอบเขตภาพ

ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร กล้อง 0 (%)								
ความกว้าง			ความยาว			ความสูง		
5.122	4.174	5.174	6.757	1.225	3.284	1.164	1.082	0.738
2.600	1.061	2.478	6.266	0.994	3.107	3.098	1.672	0.279
4.035	3.443	3.539	7.805	1.456	2.562	2.197	1.197	0.541

รูปที่ 97 ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร กล้อง 0

ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร กล้อง A (%)								
ความกว้าง			ความยาว			ความสูง		
3.573	3.957	4.969	4.835	1.360	2.660	1.435	1.226	1.274
2.380	1.731	2.498	4.440	1.415	2.310	0.548	1.258	1.419
3.447	2.526	3.168	5.625	1.415	2.080	0.484	1.032	1.790

รูปที่ 98 ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร กล้อง A

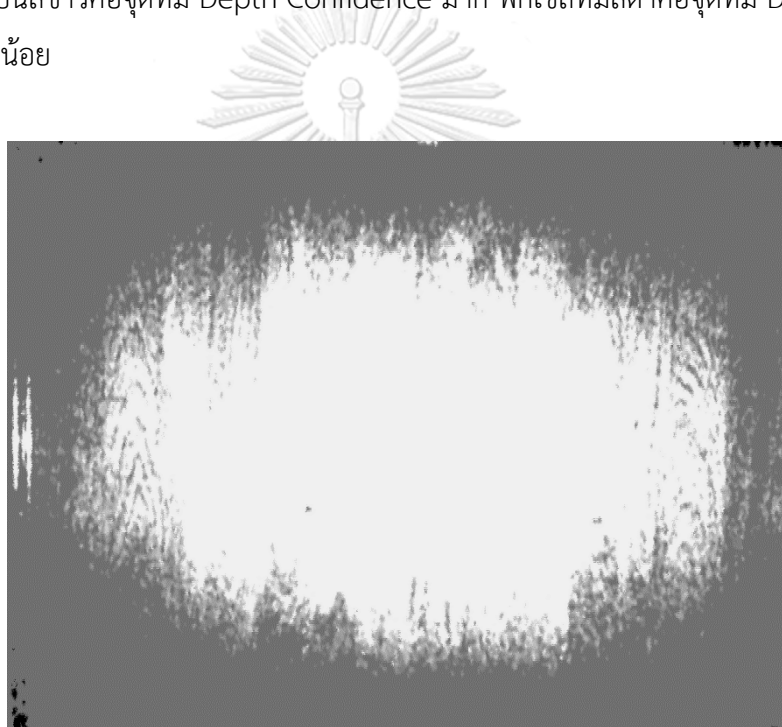
ความเที่ยงตรง กล้อง 0 (σ)								
ความกว้าง			ความยาว			ความสูง		
0.130	3.174	0.063	0.084	0.056	0.145	0.074	0.032	0.039
0.046	0.014	0.040	0.139	0.040	0.085	0.096	0.017	0.026
0.078	0.048	0.051	0.123	0.077	0.096	0.054	0.025	0.020

รูปที่ 99 ความเที่ยงตรง กล้อง 0

ความเที่ยงตรง กล้อง A (σ)								
ความกว้าง			ความยาว			ความสูง		
0.074	0.069	0.112	0.123	0.072	0.078	0.143	0.028	0.103
0.048	0.008	0.032	0.129	0.057	0.090	0.045	0.026	0.055
0.136	0.064	0.044	0.126	0.092	0.108	0.058	0.028	0.049

รูปที่ 100 ความเที่ยงตรง กล้อง A

จากค่าผิดพลาดของกล้อง 0 รูปที่ 97 และค่าผิดพลาดของกล้อง A รูปที่ 98 จะสังเกตได้ว่า ค่าผิดพลาดของความกว้าง และความยาวนั้น การวางกล้องตรงกลางขอบเขตภาพจะทำให้วัดขนาด กล้องได้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุด ส่วนความสูงนั้นการวางตรงกลางขอบเขตภาพจะมีค่าผิดพลาดกลางๆ เพราะเนื่องจากความสูงนั้นจะมีผลกระทบของระยะขอบกล้องถึงพื้นด้วย บางกล้องอาจจะมีระยะ ขอบกล้องถึงพื้นไม่เท่ากันทำให้โปรแกรมอาจจะวัดความสูงของกล้องผิดพลาดไปเล็กน้อยได้ จาก ความเที่ยงตรงของกล้อง 0 รูปที่ 99 และความเที่ยงตรงของกล้อง A รูปที่ 100 ความเที่ยงตรงของ การวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม ความกว้าง ความยาว และความสูงที่จุดกึ่งกลางความเที่ยงตรงดี ที่สุด ซึ่งจะสอดคล้องกับ Depth Confidence จากกล้อง Intel Realsense L515 แสดงดังรูปที่ 101 โดยพิกเซลที่เป็นสีขาวคือจุดที่มี Depth Confidence มาก พิกเซลที่มีสีดำคือจุดที่มี Depth Confidence น้อย

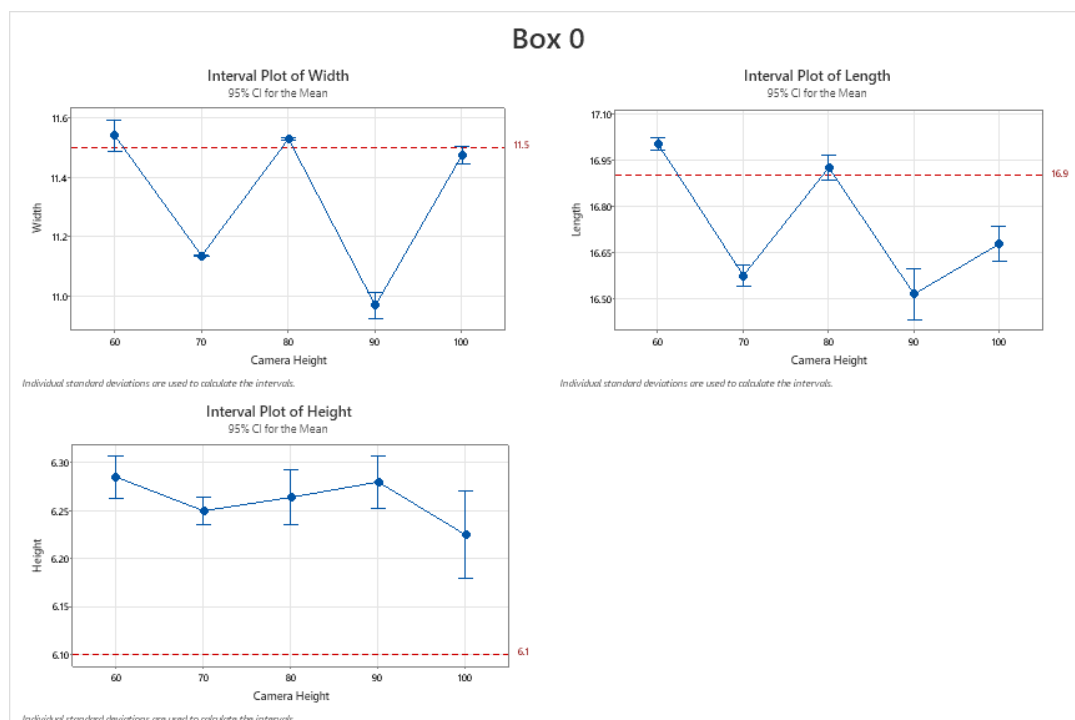


รูปที่ 101 Depth Confident ของกล้อง Intel Realsense L515

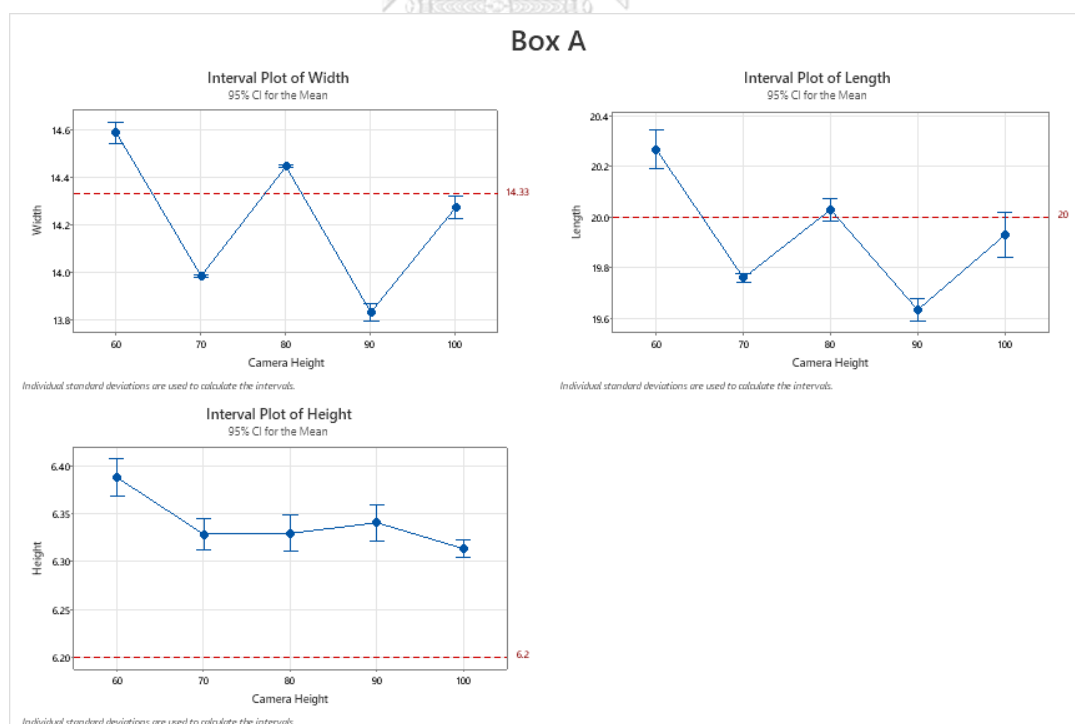
จึงสรุปได้ว่าการวัดขนาดกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนั้น ควรวางกล้องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ ต้องการวัดขนาดที่จุดกึ่งกลางของกล้อง ส่งผลให้มีความเที่ยงตรงในการวัดดีที่สุด เพราะเนื่องจากมี Depth Confident ที่สูง

4.4 การทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้น

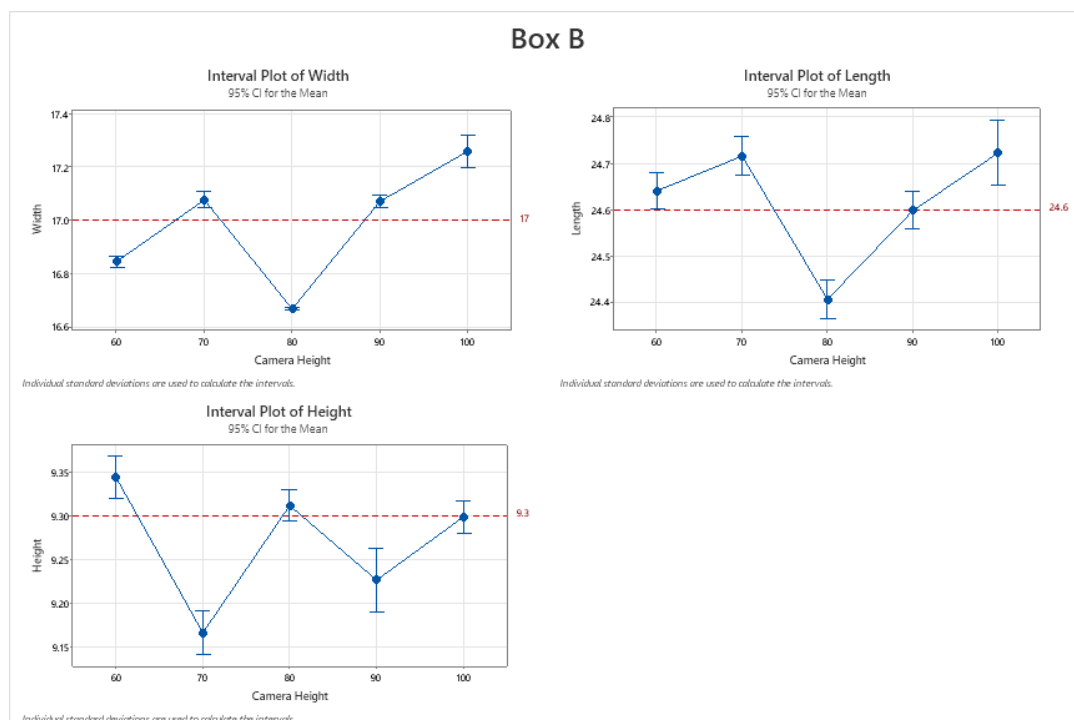
การทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้น ทำการทดลองโดยวางกล่องไว้ที่กึ่งกลางของกล่อง และทดลองปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นและวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมในความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งการปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นนั้นจะส่งผลต่อมุมมองภาพถึงความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นมากจะให้มุมมองภาพที่กว้าง แต่ถ้าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นน้อยจะให้มุมมองภาพที่แคบ และส่งผลต่อความละเอียดในการวัดขนาด เพราะถ้าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นมากจะทำให้ค่าพิกเซลต่อเซนติเมตรน้อยทำให้วัดขนาดได้ความละเอียดน้อย แต่ถ้าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นน้อยทำให้พิกเซลต่อเซนติเมตรมากทำให้วัดขนาดได้ความละเอียดมาก โดยจะทดลองปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นตั้งแต่ 60 ซม. จนถึง 100 ซม. และจะทำการทดลองกับกล่อง 0 และกล่อง A และนำขนาดที่วัดได้นั้นมาพลอต Interval Plot ที่ความมั่นใจ 95% โดยมีเส้นประสีแดงนั้นแสดงถึงขนาดที่วัดได้จากตลับเมตรเพื่อที่จะได้สะดวกต่อการเปรียบเทียบ และคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาว ภาพ Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นของกล่อง 0 แสดงดังรูปที่ 102 ภาพ Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นของกล่อง A แสดงดังรูปที่ 103 ภาพ Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นของกล่อง B แสดงดังรูปที่ 104 ภาพ Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นของกล่อง C แสดงดังรูปที่ 105 และค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาวในการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นแสดงดังตารางที่ 15



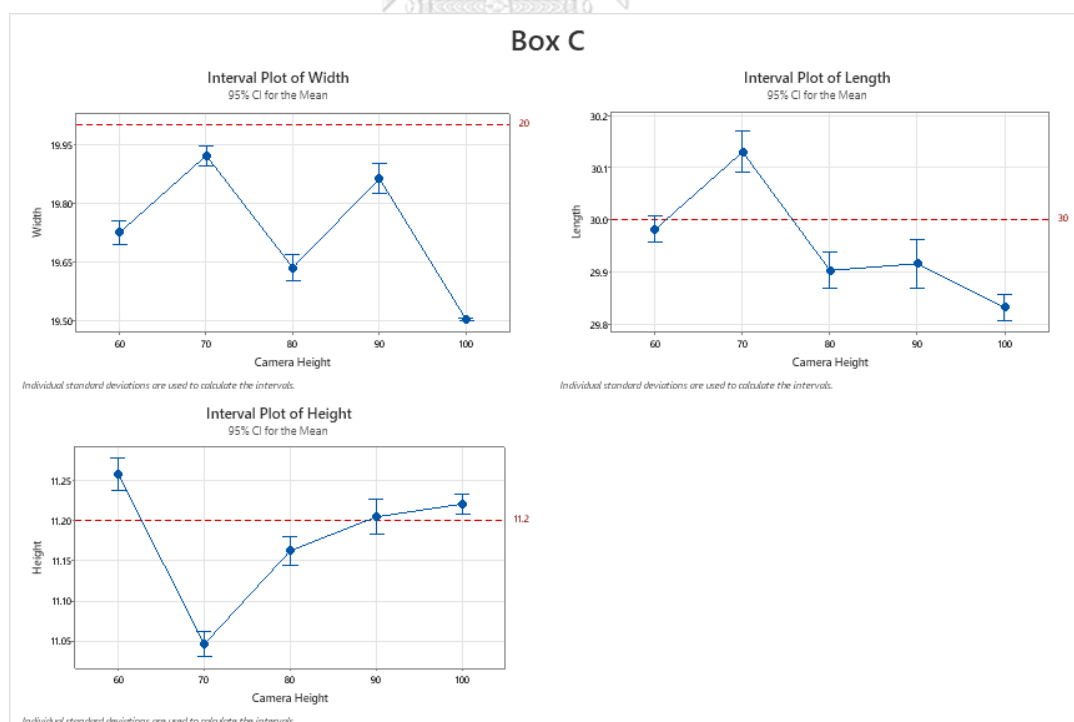
รูปที่ 102 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น
ของกล่อง 0



รูปที่ 103 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น
ของกล่อง A



รูปที่ 104 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น
ของกล้อง B



รูปที่ 105 Interval Plot ความกว้าง ความยาว และความสูงจากการปรับความสูงระหว่างกล้องถึงพื้น
ของกล้อง C

ชื่อกล่อง	ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	ระดับความสัมพันธ์
กล่อง 0	0.93	มีความสัมพันธ์กันมาก
กล่อง A	0.98	มีความสัมพันธ์กันมาก
กล่อง B	0.84	มีความสัมพันธ์กันมาก
กล่อง C	0.80	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

ตารางที่ 15 ตารางค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความกว้างและความยาวในการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้น

จากรูปที่ 102 103 104 และ 105 จะสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยความกว้าง ความยาว และความสูงในความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นในความสูงต่าง ๆ นั้น มีการแตกต่างกันเล็กน้อย อาจมีสาเหตุมาจากมุมกล่องที่เปลี่ยนไปตามความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นที่เปลี่ยนไป และเมื่อนำความกว้างและความยาวมาหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันดังตารางที่ 15 พบว่ามีความกว้างและความยาวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นมากหรือความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นน้อย แบบไหนจึงจะทำให้ขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่วัดได้นั้นมีความแม่นยำมากที่สุด

4.5 การทดลองจับเวลาระยะเวลาในการประมวลผล

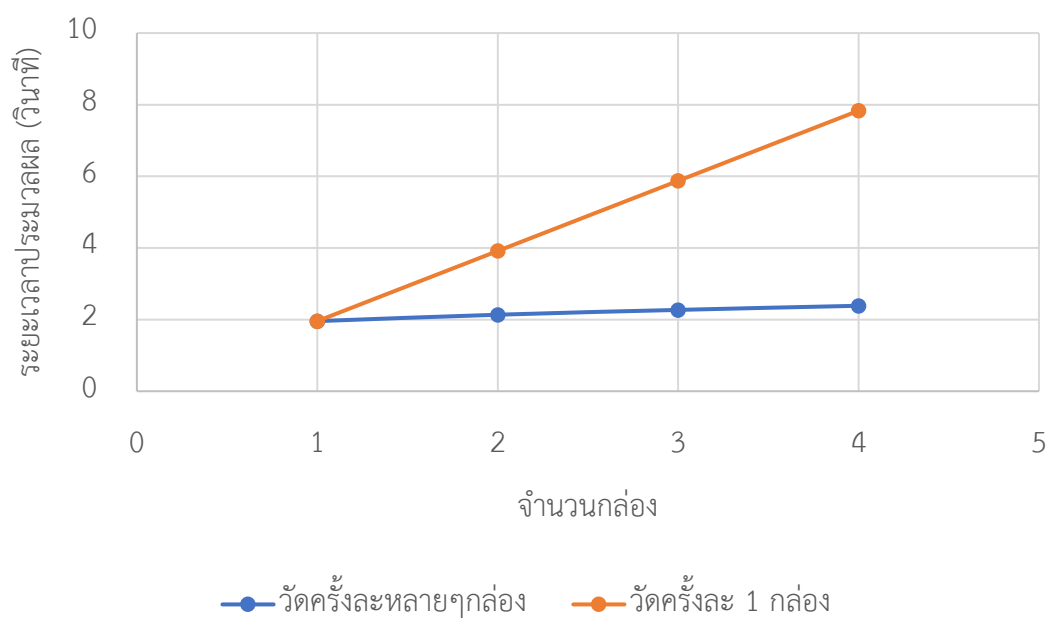
การทดลองจับเวลาระยะเวลาในการประมวลผลด้วยโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น ทำการทดลองโดยจับเวลาตั้งแต่ขั้นตอนการถ่ายภาพ input infrared image และ depth image เข้ามา จนถึงแสดงค่าความกว้าง ความยาว ความสูงของทุกกล่อง โดยจะเปรียบเทียบระหว่างการวัดขนาดกล่องทีละกล่อง กับวัดขนาดกล่องทีละหลายๆกล่อง ว่ามีระยะเวลาในการประมวลผลแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเนื่องจากมีบางสถานการณ์ที่ต้องวัดขนาดกล่องหลายๆกล่อง เช่น งานวิจัยอาร์เรย์เซ็นเซอร์น้ำหนักรับการชั่งน้ำหนักพัสดุขณะเคลื่อนไหว [47] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อชั่งน้ำหนักของกล่องพัสดุที่มาแบบสุ่มองศาการวางบนสายพาน โดยสถานการณ์กล่องแบบสุ่มองศาการวางหลายกล่องที่เคลื่อนที่บนสายพาน แสดงดังรูปที่ 106 ซึ่งจะสามารถนำไปปรับใช้ได้ โดยการทดลองนี้จะทดลองกับกล่องขนาด C นำมาวัดขนาดกล่องด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเพื่อทำการจับเวลาในการประมวลผล ทำการทดลองกับกล่อง C จำนวนตั้งแต่ 1 กล่อง จนถึง 4 กล่อง กราฟแสดงเปรียบเทียบระยะเวลาในการประมวลผลการวัดขนาดกล่องทีละกล่อง กับวัดขนาดทีละหลายๆกล่อง แสดงดังรูปที่ 107



รูปที่ 106 กล่องแบบส่องศากการวางหลายกล่องที่เคลื่อนที่บนสายพานลำเลียง [47]

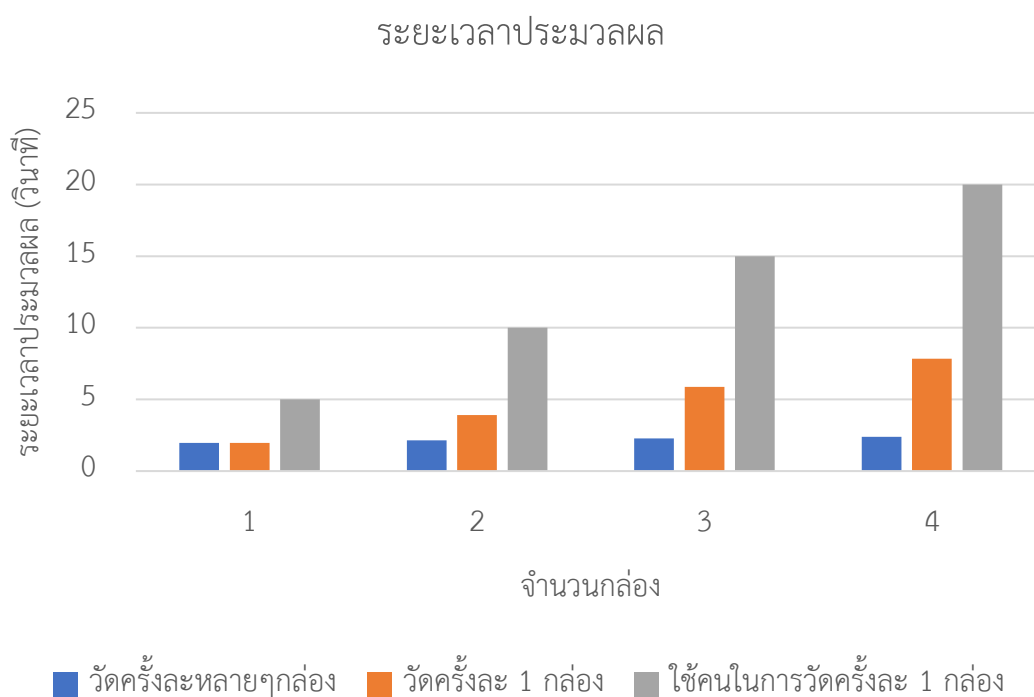


ระยะเวลาประมวลผล



รูปที่ 107 เปรียบเทียบระยะเวลาประมวลผลระหว่างการวัดครั้งละหลายๆกล่องเทียบกับการวัดครั้งละ 1 กล่อง

จากกราฟรูปที่ 107 สังเกตได้ว่าการวัดขนาดกล่องทีละ 4 กล่องนั้นใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวัดขนาดกล่องทีละกล่องถึง 3.3 เท่า จึงสรุปได้ว่าการวัดขนาดกล่องทีละหลายๆกล่องใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวัดขนาดกล่องทีละกล่อง โดยยิ่งจำนวนกล่องที่วัดเยอะจะยิ่งส่งผลให้ใช้ระยะเวลาน้อยลง แต่ก็ขึ้นอยู่กับขอบเขตภาพด้วยว่าสามารถบันทึกภาพกล่องได้เยอะเพียงใดและเปรียบเทียบระยะเวลาในการประมวลผลการวัดขนาดกล่องทีละกล่อง วัดขนาดกล่องทีละหลายๆกล่อง ด้วยโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น และใช้คนในการวัดขนาดกล่องทีละกล่องด้วยตลับเมตร กราฟแสดงดังรูปที่ 108

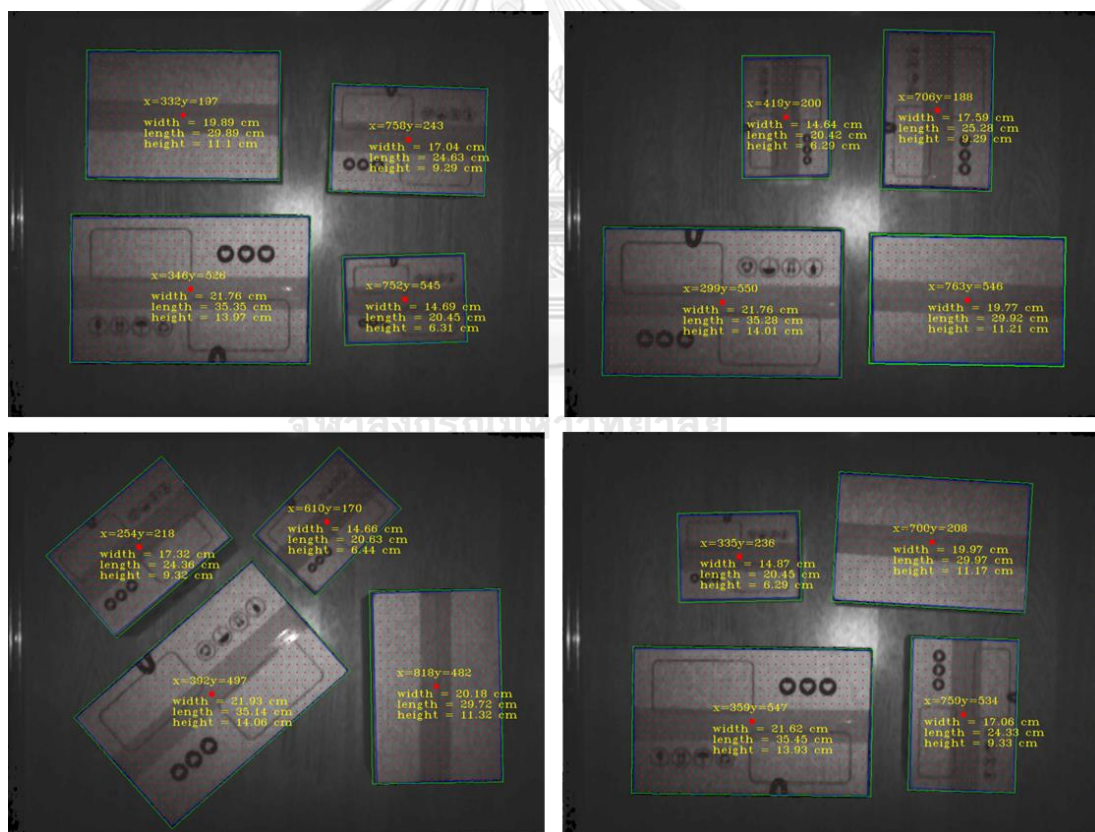


รูปที่ 108 เปรียบเทียบระยะเวลาประมวลผลระหว่างการวัดครั้งละหลายๆกล่อง การวัดครั้งละ 1 กล่องและการใช้คนในการวัดครั้งละ 1 กล่อง

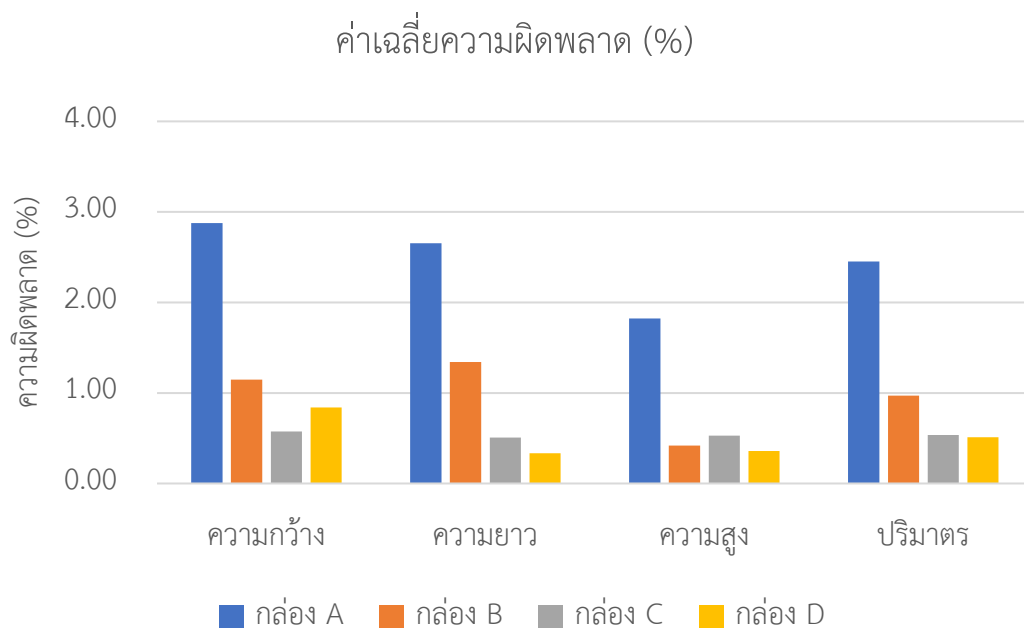
จากกราฟรูปที่ 108 สังเกตได้ว่าการวัดขนาดกล่องทีละ 4 กล่องนั้นใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยกว่าใช้คนในการวัดขนาดกล่องทีละกล่องด้วยตลับเมตรถึง 8.38 เท่า จึงสรุปได้ว่าการใช้โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นใช้ระยะเวลาในการวัดขนาดกล่องน้อยกว่าการใช้คนวัดขนาดกล่องทีละกล่องด้วยตลับเมตร สามารถใช้โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นแทนการใช้คนในการวัดขนาดกล่องทีละกล่องด้วยตลับเมตรได้เป็นอย่างดี

4.6 การทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

การทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เพื่อจำลองการใช้งานจริง อาจจะมีการวัดขนาดกล่องพัสดุหลายๆกล่องพร้อมกัน และกล่องแต่ละกล่องนั้น อาจจะไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันในทุกครั้งของการวัด ทดลองโดยการนำกล่อง A, B, C, D มาวัดขนาดกล่องทั้งหมด 10 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งนั้นกล่องแต่ละกล่องจะถูกจัดเรียงให้อยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เพื่อจำลองสถานการณ์การใช้งานจริง เพื่อที่จะได้นำไปเปรียบเทียบกับการใช้คอมพิวเตอร์วัดขนาดกล่อง รูปตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 109 กราฟแสดงค่าผิดพลาดจากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตลับเมตรแสดงดังรูปที่ 110 และระยะเวลาในการประมวลผลของแต่ละครั้งแสดงดังตารางที่ 16 รูป Interval Plot ของขนาดกล่อง A, B, C, D ที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 111 และตาราง Interval Estimation ของการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 17



รูปที่ 109 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

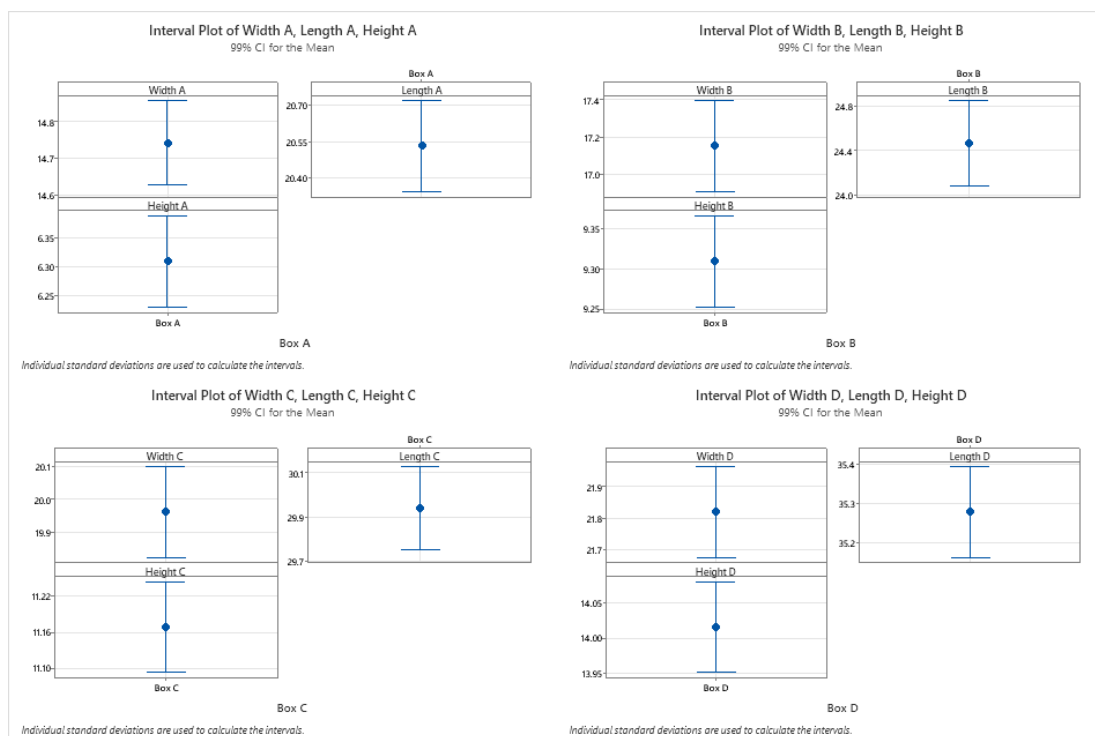


รูปที่ 110 ค่าผิดพลาดจากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ระยะเวลา ประมวลผล (วินาที)	2.401	2.391	2.388	2.444	2.332	2.374	2.411	2.308	2.366	2.384

ตารางที่ 16 ระยะเวลาประมวลผลจากการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

จากผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดด้วยตลับเมตรในรูปที่ 110 นั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.12 % และในความผิดพลาดมากที่สุดของแต่ละด้านในแต่ละกล่องนั้นไม่เกิน 3% ความผิดพลาดในกลุ่ม A มีค่าสูงที่สุดเพราะเนื่องจากกล่อง A เป็นกล่องที่มีขนาดเล็กทำการการวาดกรอบล้อมรอบระนาบด้านบนนั้นอาจจะใหญ่กว่าที่เป็นจริง และความผิดพลาดของกลุ่ม A เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในหน่วยเซนติเมตรที่ลงน้อยส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ที่เยอะกว่าได้ เมื่อเทียบกับกล่องขนาดอื่นที่ใหญ่กว่า และที่กล่อง D มีความผิดพลาดเยอะ สาเหตุมาจาก Hole อ้างอิงจากการทดลองที่ 4.2 เพราะเนื่องจากกล่อง D เป็นกล่องที่มีความสูง ทำให้ Hole มีผลกระทบต่อกรวัดขนาดมากที่สุด และจากตารางที่ 16 นั้นมีระยะเวลาในการประมวลผลเฉลี่ยอยู่ที่ 2.38 วินาที



รูปที่ 111 Interval Plot ของการทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ของกล่อง A, B, C, D

	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง A	14.742 ± 0.115	20.531 ± 0.187	6.309 ± 0.078
กล่อง B	17.149 ± 0.244	24.462 ± 0.383	9.309 ± 0.056
กล่อง C	19.961 ± 0.096	29.94 ± 0.189	11.169 ± 0.075
กล่อง D	21.89 ± 0.144	35.278 ± 0.166	14.016 ± 0.064

ตารางที่ 17 Interval Estimation ของการทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ของกล่อง A, B, C, D

จากรูปที่ 111 เมื่อนำมาพล็อตกราฟ Interval Plot ที่ช่วงความมั่นใจ 99% นั้น จะสังเกตได้จากตารางที่ 17 ว่าค่าที่ยอมรับได้นั้น ไม่มีค่าใดที่เกิน ± 0.5 ซม.

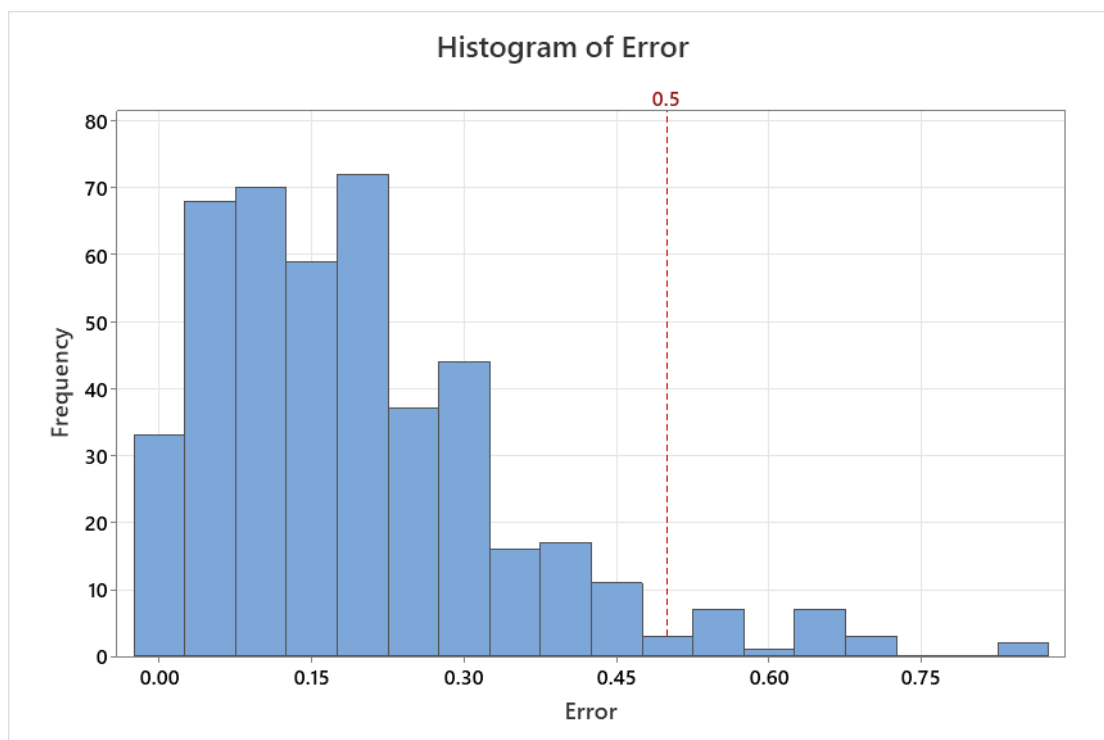
ดังนั้นการนำโปรแกรมวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมมาใช้วัดขนาดกล่องแทนการใช้คนนั้นการวัดสามารถทำได้ ถ้าการวัดขนาดนั้นสามารถมีค่าผิดพลาดได้สูงสุดอยู่ที่ 3%

4.7 การทดลองเปรียบเทียบความผิดพลาดในการวัดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมกับโปรแกรม Intel Realsense Dimension Weight Software

การทดลองเปรียบเทียบความผิดพลาดในการวัดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมกับโปรแกรม Intel Realsense Dimension Weight Software ทดลองโดยนำขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมทั้ง 5 ขนาด กล่อง 0, A, B, C, D ขนาดละ 2 กล่อง โดยวางกล่องที่ทำการวางกล่องที่ต้องการวัดขนาดไว้ที่กึ่งกลางของกล่อง และองค์การวางกล่องทั้งหมด 3 องค์า ได้แก่ 0 องค์า 45 องค์า และ 90 องค์า ซึ่งแต่ละองค์การวางกล่องนั้นจะทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง (ข้อมูลเดียวกับ Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม) มาวัดขนาดกล่องด้วยโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น และนำขนาดที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบกับขนาดที่วัดด้วยตลับเมตรเพื่อตรวจสอบว่ามีค่าผิดพลาดมากน้อยเพียงไร โดยการทดลองนั้นจะทดสอบแบบเดียวกับโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software [48] ตารางแสดงความแม่นยำในการวัดขนาดของโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software แสดงดังตารางที่ 18 ซึ่งในระบบของผู้วิจัยนั้นจะเข้าเงื่อนไขที่ตัวกล่องห่างจากพื้น 1.5 เมตร โปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software นั้นมีค่าผิดพลาดอยู่ที่ 0.5 ซม. โดยเราจะเปรียบเทียบโปรแกรมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นว่าค่าผิดพลาดในการวัดจากโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดด้วยตลับเมตรนั้นจะน้อยกว่า 0.5 ซม. หรือไม่ Histogram ของค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร ที่แสดงดังรูปที่ 112 และค่าผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดด้วยตลับเมตรของกล่อง 0, A, B, C, D แสดงดังตารางที่ 19

ค่าผิดพลาด (ซม.)	ขนาดกล่องเล็กที่สุด (ซม.)	ขนาดกล่องใหญ่ที่สุด (ซม.)	ระยะห่างระหว่างกล่องและพื้น (เมตร)
0.5	5 x 5 x 5	90 x 80 x 50	1.5
1	10 x 10 x 10	100 x 120 x 100	2.5
5	30 x 30 x 30	150 x 200 x 200	4

ตารางที่ 18 ความแม่นยำในการวัดขนาดของโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software



รูปที่ 112 Histogram ค่าผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดด้วยตลับเมตร

กล่อง	ค่าผิดพลาด ≤ 0.5 ซม.	ค่าผิดพลาด > 0.5 ซม.
กล่อง 0	90	0
กล่อง A	90	0
กล่อง B	90	0
กล่อง C	90	0
กล่อง D	69	21

ตารางที่ 19 ค่าผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดด้วยตลับเมตรของกล่อง 0, A, B, C, D

จากกราฟ Histogram ในรูปที่ 112 สังเกตได้ว่ามีข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดด้วยตลับเมตรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ซม. อยู่ 429 ข้อมูล และมีค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดด้วยตลับเมตรมากกว่า 0.5 ซม. อยู่ 21 ข้อมูล และจากตารางที่ 19 จะสังเกตได้ว่าค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตรการวัดด้วยมากกว่า 0.5 ซม. ทั้งหมดมาจากกล่อง D

กล่อง	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง 0 – 1	11.636 \pm 0.069	17.048 \pm 0.033	6.232 \pm 0.035
กล่อง 0 – 2	11.648 \pm 0.084	16.962 \pm 0.063	6.29 \pm 0.045
กล่อง A – 1	14.576 \pm 0.046	20.31 \pm 0.035	6.336 \pm 0.034
กล่อง A – 2	14.552 \pm 0.039	20.132 \pm 0.034	6.06 \pm 0.052
กล่อง B – 1	16.94 \pm 0.055	24.28 \pm 0.103	9.294 \pm 0.025
กล่อง B – 2	17.076 \pm 0.057	24.098 \pm 0.075	9.276 \pm 0.027
กล่อง C – 1	19.874 \pm 0.050	29.78 \pm 0.093	11.122 \pm 0.024
กล่อง C – 2	19.84 \pm 0.081	29.708 \pm 0.110	11.138 \pm 0.028
กล่อง D - 1	21.592 \pm 0.084	34.458 \pm 0.158	14.066 \pm 0.037
กล่อง D - 2	22.002 \pm 0.208	35.224 \pm 0.041	14.074 \pm 0.016

ตารางที่ 20 Interval Estimation ของการวัดขนาดกล่อง 0, A, B, C, D

จากตารางที่ 20 เมื่อคำนวณค่าที่วัดได้นั้นมาพลอต Interval Estimation ที่ความมั่นใจ 99% Interval Estimation ของการวัดขนาดกล่อง 0, A, B, C, D ทั้งหมดมีค่า \pm น้อยกว่า 0.5 ซม.

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมของโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software และ โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นนั้น ค่าผิดพลาดมากกว่า 0.5 ซม. คิดเป็น 4.67%

4.8 เปรียบเทียบระบบที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นกับเครื่องวัดขนาดกล่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

เปรียบเทียบระบบที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นกับเครื่องวัดขนาดกล่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม เครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมที่นำมาอ้างอิงถึงได้แก่ Cargo Spectre, Freight Snap, Rice Lake Weighting System ภาพของเครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 113 และราคาของเครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมแต่ละยี่ห้อแสดงดังตารางที่ 21 เครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นได้แก่ Intel Realsense LiDAR Depth Camera และ โครงอะลูมิเนียมโปรไฟล์ ภาพของเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นแสดงดังรูปที่ 114 และราคาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการจัดทำเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นแสดงดังตารางที่ 22



รูปที่ 113 เครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรม

ชื่อ	ราคา
Cargo Spectre	6,000 USD
Freight Snap	5,000 USD
Rice Lake Weighting System	7,245 USD

ตารางที่ 21 ราคาของเครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรม



รูปที่ 114 เครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น

ชื่อ	ราคา
Intel Realsense L515	589 USD
Aluminum profile	50 USD
รวม	639 USD

ตารางที่ 22 ราคาของเครื่องวัดขนาดที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น

เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเทียบกับเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นแสดงดังตารางที่ 23

	เครื่องวัดขนาดกล่อง ระดับอุตสาหกรรม	เครื่องวัดขนาดกล่องที่ ผู้วิจัยจัดทำขึ้น
สามารถชั่งน้ำหนักกล่องพัสดุ	<input checked="" type="checkbox"/>	
สามารถวัดขนาดกล่องพัสดุได้ครั้งละ หลายๆกล่องพร้อมกัน		<input checked="" type="checkbox"/>
ระยะเวลาประมวลผลน้อยกว่า 2 วินาที	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเทียบกับเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องวัดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมกับอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยใช้ในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม โดยเครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมและเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นมีระยะเวลาประมวลผลน้อยกว่า 2 วินาทีและมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร แต่เครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมนั้นนั้นสามารถชั่งน้ำหนักกล่องพัสดุได้ แต่เครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นสามารถวัดขนาดกล่องพัสดุได้ครั้งละหลายๆกล่องพร้อมกัน ซึ่งทั้งเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุระดับอุตสาหกรรมและเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าต้องการข้อดีในด้านใด

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการอภิปรายผลจากการทดลองในบทที่ 4 ทำให้ได้ผลสรุปของงานวิจัย ซึ่งจะนำมากล่าวในบทนี้ รวมถึงบทนี้เป็นการรวบรวมสาระสำคัญต่างๆ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและข้อจำกัดในการใช้งาน รวมถึงแนวทางในการพัฒนาต่อ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยในงานที่เกี่ยวข้องกับการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกเพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

สามารถพัฒนาโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมขึ้นมาได้ โดยใช้ภาษา Python ในการพัฒนาเป็นหลัก และเชื่อมต่อกับระบบการจัดการคลังสินค้าที่พัฒนาขึ้น เพื่อนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรมออกแบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้อัลกอริทึม Flood fill ในการตรวจจับระนาบด้านบนเพื่อวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงเป็นไปได้อย่างดี เชื่อมต่อกับระบบการจัดการสินค้าคงคลัง เพื่อจัดการสินค้าเข้ามา และจัดการสินค้าที่ต้องการส่งออก และใช้อัลกอริทึม EB-AFIT ในการออกแบบการจัดวางกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมในตู้เก็บสินค้า

5.2 สรุปผลพัฒนาเทคนิคการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมด้วยกล้องวัดความลึกในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้น สามารถใช้ในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมได้เป็นอย่างดี การทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนี้มีระบบการวัดที่เที่ยม ยอมรับได้ สามารถใช้ในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมได้ แต่จะมีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานและองศาการวางกล่อง ดังนั้นจึงมีการทำการทดลองหาค่าผิดพลาดการวัดขนาดจากการหมุนตำแหน่งของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม ได้ผลสรุปว่าในรูปแบบการติดตั้งปัจจุบัน(ระยะห่างระหว่างกล่องถึงพื้นคือ 0.71 ซม.) เมื่อนำกล่องที่มีความสูงมากกว่า 9 ซม. จะมีการเกิด Hole ที่บริเวณขอบกล่องส่งผลให้เกิดการวัดขนาดผิดพลาดได้ ต่อมาได้ทำการทดลองหาค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมจากขอบเขตภาพ ได้ผลสรุปว่าค่าผิดพลาดของความกว้าง และความยาวนั้น การวางกล่องตรงกลางขอบเขตภาพจะทำให้วัดขนาดกล่องได้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุด ส่วนความสูงนั้นการวางตรงกลางขอบเขตภาพจะมีค่าผิดพลาดกลางๆ เพราะเนื่องจากความสูงนั้นจะมีผลกระทบของระยะขอบกล่องถึงพื้นอาจจะทำให้การวัดขนาดความสูงผิดพลาดได้ ความเที่ยงตรงของการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม ความกว้าง ความยาว และความ

สูงที่สุดถึงกลางความเที่ยงตรงดีที่สุด ทำการทดลองปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นนั้นการปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นนั้นจะส่งผลต่อมุมมองภาพถึงความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นมากจะให้มุมมองภาพที่กว้าง แต่ถ้าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นน้อยจะให้มุมมองภาพที่แคบ และส่งผลต่อความละเอียดในการวัดขนาดเพราะถ้าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นมากจะทำให้ค่าพิกเซลต่อเซนติเมตรน้อยทำให้วัดขนาดได้ความละเอียดน้อย แต่ถ้าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นน้อยทำให้พิกเซลต่อเซนติเมตรมากทำให้วัดขนาดได้ความละเอียดมาก แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นมากหรือความสูงระหว่างกล่องถึงพื้นน้อย แบบไหนจึงจะทำให้ขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่วัดได้นั้นมีความแม่นยำมากที่สุด ในการหาระยะเวลาในการประมวลผลจึงทำการทดลองจับเวลาระยะเวลาในการประมวลผล ได้ผลสรุปว่าการวัดครั้งละหลายๆกล่องนั้นเร็วกว่าการวัดทีละกล่อง โดยการวัดทีละ 4 กล่องด้วยโปรแกรมการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนี้รวดเร็วกว่าการวัดทีละกล่อง 4 ครั้งถึง 3.3 เท่า และการวัดทีละ 4 กล่องด้วยโปรแกรมการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมนี้รวดเร็วกว่าการใช้คนวัดขนาดกล่องทีละกล่องถึง 8.38 เท่า และทำการทดลองวัดขนาดของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4 กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เพื่อจำลองการใช้ในสถานการณ์จริง ผลสรุปมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.12% ระยะเวลาประมวลผลเฉลี่ยอยู่ที่ 2.38 วินาที โดยมีค่าผิดพลาดมากที่สุดน้อยกว่า 3% ซึ่งสามารถนำไปใช้แทนคนในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมได้

5.3 สรุปผลการพัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่วัดได้ที่ระบบการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า

เนื่องจากโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้าที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการทดลองนั้น แต่เดิมเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยภาษา HTML, CSS และ JavaScript การทำงานของโปรแกรมนั้นต้องมีการเลือกอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า ต้องกรอกขนาดของกล่องพัสดุแต่ละกล่องที่ต้องการจัดวางในตู้เก็บสินค้า และต้องกรอกขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการเก็บสินค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความไม่สะดวกตรงการกรอกขนาดของกล่องพัสดุแต่ละกล่องที่ต้องการจัดวางในตู้เก็บสินค้า โดยกล่องแต่ละกล่องแต่เดิมนั้นต้องอาศัยการใช้คนในการวัดขนาดกล่องพัสดุและต้องกรอกขนาดกล่องพัสดุด้วยตนเองเข้าไปยังโปรแกรม ทางผู้วิจัยจึงพัฒนาเป็นการวัดขนาดกล่องด้วยโปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น และพร้อมส่งข้อมูลขนาดกล่องพัสดุไปยังโปรแกรมการจัดวางกล่องในตู้เก็บสินค้า โดยใช้ภาษา Python ร่วมกับ Library Flask ในการส่งข้อมูลจากภาษา Python ไปยังภาษา HTML เพื่อให้ขนาดกล่องพัสดุที่ทำการวัดส่งไปแบบอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกขึ้นและไม่ต้องเสียเวลาในการวัดขนาดกล่องและกรอกข้อมูลด้วยตนเอง

5.4 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้นกับระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน

การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้นกับระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้น จะทำการเปรียบเทียบ 2 อย่าง คือ ด้านความแม่นยำ และสมรรถนะของระบบ ในด้านความแม่นยำนั้นได้เปรียบเทียบกับโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software โดยในโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software นั้นถ้ากล่องมีความสูงถึงพื้นมากที่สุด 1.5 เมตร จะมีค่าผิดพลาด 0.5 ซม. และเมื่อนำค่าผิดพลาด 0.5 ซม. นี้มาเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้นได้ผลปรากฏว่า ข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดด้วยตลับเมตรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ซม. อยู่ 429 ข้อมูล และมีค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดด้วยตลับเมตรมากกว่า 0.5 ซม. อยู่ 21 ข้อมูล ค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตรการวัดด้วยมากกว่า 0.5 ซม. ทั้งหมดมาจากกล่อง D และเมื่อทำ Interval Estimation ของการวัดขนาดกล่อง 0, A, B, C, D ทั้งหมดมีค่า \pm น้อยกว่า 0.5 ซม. ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมของโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software และ โปรแกรมวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นนั้น ค่าผิดพลาดมากกว่า 0.5 ซม. คิดเป็น 4.67% และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมและเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น เครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมและเครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นมีระยะเวลาประมวลผลน้อยกว่า 2 วินาทีและความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร แต่เครื่องวัดขนาดกล่องระดับอุตสาหกรรมนั้นนั้นไม่สามารถชั่งน้ำหนักกล่องพัสดุได้ แต่เครื่องวัดขนาดกล่องที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นสามารถวัดขนาดกล่องพัสดุได้ครั้งละหลายๆกล่องพร้อมกัน

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและข้อจำกัดในการใช้งาน

5.5.1 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการใช้งาน ได้แก่

- แนะนำให้วางกล่องที่ต้องการวัดไว้ที่กลางกล่องเพราะจะส่งผลต่อความแม่นยำในความกว้าง และความยาว และส่งผลต่อความเที่ยงตรงในการวัด
- ไม่ควรนำกล่องที่ต้องการวัดมาวางติดกันมากจนเกินไปจะทำให้ Flood fill ทำงานผิดพลาดได้

5.5.2 ข้อจำกัดในการใช้งาน

ข้อจำกัดในการใช้งาน ได้แก่

- ห้ามนำกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่มีความสูงเท่ากันมาวางติดกัน เพราะอัลกอริทึม Flood fill จะคิดว่าเป็นระนาบเดียวกัน ส่งผลให้การวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมเกิดความผิดพลาดได้
- ห้ามนำกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่มีความสูงแตกต่างกันมาวางติดกัน เพราะอัลกอริทึม Flood fill จะตรวจจับระนาบด้านบนได้เฉพาะกล่องใบที่สูงกว่า ส่วนกล่องใบที่ต่ำกว่านั้นระนาบด้านบนจะไม่ถูกตรวจพบ ส่งผลทำให้ไม่เกิดการวัดขนาดในกล่องใบที่ต่ำกว่า
- ห้ามนำกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมมาซ้อนกัน เพราะ Flood fill จะตรวจจับระนาบด้านบนได้เฉพาะกล่องใบบนสุด กล่องใบล่างนั้นระนาบด้านบนจะไม่ถูกตรวจพบ แต่ถึงแม้จะตรวจจับระนาบด้านบนของกล่องใบบนสุดได้ ในขั้นตอนการวัดขนาดของกล่อง ขนาดนั้นจะถูกคำนวณผิดพลาดเนื่องมาจากค่าความลึกของระนาบด้านบนนั้นผิดพลาด
- ห้ามนำกล่องที่เสียหายมาทำการวัดขนาด เพราะอัลกอริทึม Flood fill นั้นจะทำงานได้ไม่ดี และเมื่อตรวจจับระนาบด้านบนได้แล้วนั้นกล่องที่เสียหายอัลกอริทึม Flood fill จะตรวจจับระนาบด้านบนได้มุมที่ไม่ใช่ 4 มุม จึงจะส่งผลให้ไม่เกิดการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมขึ้น
- ห้ามนำกล่องพัสดุที่ติดชิ้นส่วนสะท้อนแสงมาวัดขนาด เพราะชิ้นส่วนสะท้อนแสงนั้นจะสะท้อนแสงที่ออกมาจากกล้องวัดความลึก ทำให้ตัวกล้องวัดความลึกนั้นทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่า input depth image นั้นไม่ถูกต้อง เมื่อค่า input depth image ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้อัลกอริทึม Flood fill ทำงานไม่ถูกต้อง ทำให้ไม่เจอระนาบด้านบนของกล่อง
- จากการติดตั้งกล้องในปัจจุบัน (สูงจากพื้น 71 ซม.) ห้ามนำกล่องที่สูงกว่า 30 ซม. มาทำการวัดขนาด เพราะเนื่องจากใกล้ตัวกล้องเกินไป ส่งผลให้ตัวกล้องวัดความลึกนั้นทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่า input depth image นั้นไม่ถูกต้อง เมื่อค่า input depth image ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้อัลกอริทึม Flood fill ทำงานไม่ถูกต้อง ทำให้ไม่เจอระนาบด้านบนของกล่อง
- จากการติดตั้งกล้องในปัจจุบัน (สูงจากพื้น 71 ซม.) ห้ามนำกล่องที่สูงกว่า 55 ซม. มาทำการวัดขนาด เพราะเนื่องจากใกล้ตัวกล้องเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ตัวกล้องวัดความลึกนั้นไม่สามารถทำงานได้ ส่งผลให้ input depth image ไม่มีค่าที่ส่งมา

5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อ

แนวทางในการพัฒนาต่อนั้นสามารถพัฒนาต่อได้ในหลากหลายทางเช่น

- การแก้ไขอัลกอริทึมในการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมให้มีความแม่นยำมากขึ้น การใช้อัลกอริทึมอื่นเพื่อที่จะตรวจจับระนาบด้านบนของกล่องให้ตรวจจับระนาบด้านบนของกล่องแม่นยำมากขึ้น
- การทำให้ค่า Depth ที่ได้จากกล่องวัดความลึกนั้นมีค่าที่เสถียรมากขึ้นจะส่งผลให้การวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมที่มีความแม่นยำมากขึ้น
- การพัฒนาส่วนที่เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นให้ดียิ่งขึ้นเพื่อให้ใช้งานง่ายขึ้น
- การติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มเติม เพื่อที่จะสามารถนำเครื่องวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมไปใช้งานได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับแล็ปท็อป
- การติดตั้งหน้าจอดิจิทัลแยกเพิ่มเติมเพื่อแสดงผลข้อมูลการวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

บรรณานุกรม

- [1] R. Banomyong, D. B. Grant, P. Varadejsatitwong, and P. Julagasigorn, "Developing and validating a national logistics cost in Thailand," *Transport Policy*, vol. 124, pp. 5-19, 2022.
- [2] "Beginner's guide to depth (Updated)."
<https://www.intelrealsense.com/beginners-guide-to-depth/> (accessed 2022).
- [3] "Compare cameras." <https://www.intelrealsense.com/compare-depth-cameras/> (accessed 2022).
- [4] M. Servi *et al.*, "Metrological Characterization and Comparison of D415, D455, L515 RealSense Devices in the Close Range," *Sensors*, vol. 21, no. 22, p. 7770, 2021.
- [5] "Point cloud." https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud (accessed 2022).
- [6] C. R. Qi, H. Su, K. Mo, and L. J. Guibas, "Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 652-660.
- [7] C. Banchajarurat, K. Saengprachatanarug, N. Damrongplasit, and C. Ratanasumawong, "Volume estimation of cassava using consumer-grade RGB-D camera," in *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 187: EDP Sciences, p. 02002.
- [8] "From depth map to point cloud." <https://medium.com/yodayoda/from-depth-map-to-point-cloud-7473721d3f> (accessed 2022).
- [9] "รู้จัก Computer Vision เทคโนโลยีที่ทำให้ AI มองเห็น."
<https://www.techhub.in.th/computer-vision-technology-for-ai/> (accessed 2022).
- [10] "Object Detection and Instance Segmentation: A detailed overview."
<https://medium.com/swlh/object-detection-and-instance-segmentation-a-detailed-overview-94ca109274f2> (accessed 2022).
- [11] "Edge Detection in Computer Vision."
<https://medium.datadriveninvestor.com/edge-detection-in-computer-vision-6c2c25100bca> (accessed 2022).
- [12] "Comparing Edge Detection Methods."

- <https://medium.com/@nikatsanka/comparing-edge-detection-methods-638a2919476e> (accessed 2022).
- [13] "Flood Fill Algorithm." <https://vaibhavsethia07.medium.com/flood-fill-algorithm-1424de9863da> (accessed 2022).
- [14] "Flood fill." https://en.wikipedia.org/wiki/Flood_fill (accessed 2022).
- [15] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, and R. Girshick, "Mask r-cnn," in *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, 2017, pp. 2961-2969.
- [16] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks," *Advances in neural information processing systems*, vol. 28, 2015.
- [17] C. Liu, K. Kim, J. Gu, Y. Furukawa, and J. Kautz, "Planercnn: 3d plane detection and reconstruction from a single image," in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2019, pp. 4450-4459.
- [18] A. Roychoudhury, M. Missura, and M. Bennewitz, "Plane segmentation in organized point clouds using flood fill," in *2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2021: IEEE, pp. 13532-13538.
- [19] Y. Zhao, Y. Zhou, R. Gu, Z. Wang, and Y. Cheng, "Uncertainty Analysis of Dimension Calibration for Line Laser Scanning Measurement System," in *2021 IEEE 15th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, 2021: IEEE, pp. 370-376.
- [20] S. Yu, J. Zhang, B. Ren, Y. Wang, H. Wu, and X. Yu, "Three dimension measurement method and its simulation by red-blue color coded structured light," in *2012 Second International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*, 2012: IEEE, pp. 1439-1442.
- [21] G. Y. Prakoso, A. H. Saputro, W. Handayani, I. Santoso, and C. Imawan, "Automatic tilting correction system for inhibition zones dimension measurement using low-cost camera," in *2016 International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM)*, 2016: IEEE, pp. 75-78.
- [22] B. Dellen and I. A. Rojas Jofre, "Volume measurement with a consumer depth

- camera based on structured infrared light," in *Proceedings of the 16th Catalan Conference on Artificial Intelligence, poster session*, 2013, pp. 1-10.
- [23] Y. Sun *et al.*, "Methodology of Volume Measurement by Depth Imaging Technology," in *2021 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, 2021: IEEE, pp. 1-5.
- [24] "Parcel Dimensioning Solutions." <https://www.freightsnap.com/fs-parcel-product/> (accessed 2022).
- [25] "CARGO SPECTRE PARCEL DIMENSIONERS." <https://www.cargospectre.com/parcel-dimensioner/> (accessed 2022).
- [26] "iDimension® Plus Static Dimensioning System." Rice Lake. <https://www.ricelake.com/products/idimension-plus-static-dimensioning-system/> (accessed 2022).
- [27] ดร. เฉลิมชาติ ชีระวิริยะ, การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติด้วยโปรแกรม *Minitab*. 2021.
- [28] G. Barbosa, G. Peres, and J. Hermosilla, "R&R (repeatability and reproducibility) gage study applied on gaps' measurements of aircraft assemblies made by a laser technology device," *Production Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 477-489, 2014.
- [29] T. Hessing. "Gage Repeatability and Reproducibility (R&R)." <https://sixsigmastudyguide.com/repeatability-and-reproducibility-rr/> (accessed 2022).
- [30] ASG, "Experimental Measurements: Precision, Error and Truth," ed: JSTOR, 1968.
- [31] ดร. สุภมาส อังศ์โชติ, "เทคนิควิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร," vol. 2022, ed.
- [32] E. Baltacioglu, J. T. Moore, and R. R. Hill Jr, "The distributor's three-dimensional pallet-packing problem: a human intelligence-based heuristic approach," *International Journal of Operational Research*, vol. 1, no. 3, pp. 249-266, 2006.
- [33] S. Elhedhli, F. Gzara, and B. Yildiz, "Three-dimensional bin packing and mixed-case palletization," *INFORMS Journal on Optimization*, vol. 1, no. 4, pp. 323-352, 2019.
- [34] H. Zhao, Y. Yu, and K. Xu, "Learning Efficient Online 3D Bin Packing on Packing Configuration Trees," in *International Conference on Learning Representations*, 2021.

- [35] "Optimize Your Packing Process." <https://www.3dbinpacking.com/en/> (accessed 2022).
- [36] "packman." <https://github.com/wild-ig/packman> (accessed 2022).
- [37] "Intel Realsense LiDAR Camera L515." Intel RealSense. <https://www.intelrealsense.com/lidar-camera-l515/> (accessed 2022).
- [38] "Notebook Lenovo IdeaPad 5 Pro 16ACH6-82L50098TA." <https://notebookspec.com/notebook/11161-lenovo-ideapad-5-pro-16ach6-82l50098ta.html> (accessed 2022).
- [39] "วิชาวาสตฺสูติโอโศคฺค." <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B9%82%E0%B8%AD%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B9%89%E0%B8%94> (accessed 2022).
- [40] "Python (programming language)." [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)) (accessed 2022).
- [41] "JavaScript." <https://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript> (accessed 2022).
- [42] "HTML." <https://en.wikipedia.org/wiki/HTML> (accessed 2022).
- [43] "CSS." <https://en.wikipedia.org/wiki/CSS> (accessed 2022).
- [44] "Html Css Js Icons, HD Png Download." https://www.pngitem.com/middle/iTRioR_html-css-js-icons-hd-png-download/ (accessed 2022).
- [45] OfficeMate. "ตารางเทียบขนาดกล่องไปรษณีย์ไทยไซส์มาตรฐาน." <https://www.ofm.co.th/blog/parcel-box-sizes/> (accessed 2022).
- [46] Z. Xu, X. Baojie, and W. Guoxin, "Canny edge detection based on Open CV," in *2017 13th IEEE international conference on electronic measurement & instruments (ICEMI)*, 2017: IEEE, pp. 53-56.
- [47] A. Sayeed, S. Jeon, and T. Pribytkov, "In-motion weight sensor array for dynamic weighing of nonsingulated objects," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 5, pp. 2075-2083, 2019.
- [48] "Dimensional Weight Software (DWS) Datasheet." Intel RealSense. <https://dev.intelrealsense.com/docs/dimensional-weight-software-dws> (accessed 2022).

2022).



ภาคผนวก

ตารางการวัดขนาดกล่องด้วยตลับเมตร

ชื่อกล่อง	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง 0 – 1	11.5	16.9	6.1
กล่อง 0 – 1	11.5	16.9	6.1
กล่อง 0 – 1	11.5	16.9	6.1
เฉลี่ย กล่อง 0 – 1	11.5	16.9	6.1
กล่อง 0 – 2	11.4	16.9	6.1
กล่อง 0 – 2	11.4	16.9	6.1
กล่อง 0 – 2	11.4	16.9	6.1
เฉลี่ย กล่อง 0 – 2	11.4	16.9	6.1
กล่อง A – 1	14.3	20	6.2
กล่อง A – 1	14.3	20	6.2
กล่อง A – 1	14.4	20	6.2
เฉลี่ย กล่อง A – 1	14.33333	20	6.2
กล่อง A – 2	14.3	20	6.1
กล่อง A – 2	14.3	20	6.1
กล่อง A – 2	14.3	20	6.1
เฉลี่ย กล่อง A – 2	14.3	20	6.1
กล่อง B – 1	17	24.6	9.3
กล่อง B – 1	17	24.6	9.3
กล่อง B – 1	17	24.6	9.3
เฉลี่ย กล่อง B – 1	17	24.6	9.3
กล่อง B – 2	17.2	24.5	9.1
กล่อง B – 2	17.2	24.5	9.1
กล่อง B – 2	17.2	24.5	9.1
เฉลี่ย กล่อง B – 2	17.2	24.5	9.1
กล่อง C – 1	20	30	11.2

กล่อง C – 1	20	30	11.2
กล่อง C – 1	20	30	11.2
เฉลี่ย กล่อง C – 1	20	30	11.2
กล่อง C – 2	20	30.1	11.1
กล่อง C – 2	20	30.1	11.1
กล่อง C – 2	20	30.1	11.1
เฉลี่ย กล่อง C – 2	20	30.1	11.1
กล่อง D – 1	22	35.2	14
กล่อง D – 1	22	35.2	14
กล่อง D – 1	22	35.2	14
เฉลี่ย กล่อง D – 1	22	35.2	14
กล่อง D – 2	22	35.5	14
กล่อง D – 2	22	35.5	14
กล่อง D – 2	22	35.5	14
เฉลี่ย กล่อง D – 2	22	35.5	14

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลอง Gage R&R ของระบบโปรแกรมวัด
ขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

องศาการวาง กล่อง	ชื่อกล่อง	ความกว้าง	ความยาว	ความสูง
0	กล่อง 0 – 1	11.77	16.98	6.31
0	กล่อง 0 – 1	11.77	17.08	6.28
0	กล่อง 0 – 1	11.77	17.08	6.26
0	กล่อง 0 – 1	11.77	17.16	6.29
0	กล่อง 0 – 1	11.78	17.08	6.25
0	กล่อง 0 – 2	11.59	16.89	6.3
0	กล่อง 0 – 2	11.59	16.98	6.28
0	กล่อง 0 – 2	11.59	17.06	6.31
0	กล่อง 0 – 2	11.59	16.98	6.3

0	กล่อง 0 – 2	11.59	16.98	6.31
0	กล่อง A – 1	14.65	20.21	6.34
0	กล่อง A – 1	14.65	20.21	6.31
0	กล่อง A – 1	14.61	20.27	6.2
0	กล่อง A – 1	14.66	20.23	6.36
0	กล่อง A – 1	14.57	20.31	6.37
0	กล่อง A – 2	14.53	20.2	6.14
0	กล่อง A – 2	14.52	20.18	6.21
0	กล่อง A – 2	14.52	20.1	6.19
0	กล่อง A – 2	14.52	20.18	6.21
0	กล่อง A – 2	14.54	20.13	6.18
0	กล่อง B – 1	16.77	24.53	9.25
0	กล่อง B – 1	16.76	24.6	9.28
0	กล่อง B – 1	16.84	24.42	9.31
0	กล่อง B – 1	16.83	24.49	9.35
0	กล่อง B – 1	16.75	24.59	9.32
0	กล่อง B – 2	16.93	24.26	9.29
0	กล่อง B – 2	16.92	24.33	9.32
0	กล่อง B – 2	17.02	24.27	9.27
0	กล่อง B – 2	16.91	24.33	9.33
0	กล่อง B – 2	16.9	24.31	9.37
0	กล่อง C – 1	19.79	30.02	11.08
0	กล่อง C – 1	19.78	30.01	11.11
0	กล่อง C – 1	19.71	30.11	11.08
0	กล่อง C – 1	19.79	30.02	11.09
0	กล่อง C – 1	19.71	30.03	11.07
0	กล่อง C – 2	19.7	30.1	11.07
0	กล่อง C – 2	19.69	30.08	11.09
0	กล่อง C – 2	19.67	29.97	11.16
0	กล่อง C – 2	19.66	29.95	11.2

0	กล่อง C – 2	19.68	29.98	11.13
0	กล่อง D – 1	21.36	34.82	14.03
0	กล่อง D – 1	21.36	35.04	14.05
0	กล่อง D – 1	21.35	34.87	14.08
0	กล่อง D – 1	21.35	34.8	14.06
0	กล่อง D – 1	21.35	34.96	14.05
0	กล่อง D – 2	21.44	35.28	14.08
0	กล่อง D – 2	21.36	35.28	14.07
0	กล่อง D – 2	21.43	35.34	14.09
0	กล่อง D – 2	21.37	35.35	14.05
0	กล่อง D – 2	21.43	35.27	14.09
45	กล่อง 0 – 1	11.86	17.14	6.23
45	กล่อง 0 – 1	11.82	17.11	6.15
45	กล่อง 0 – 1	11.82	17.09	6.15
45	กล่อง 0 – 1	11.8	17.08	6.23
45	กล่อง 0 – 1	11.88	17.1	6.19
45	กล่อง 0 – 2	11.87	17.08	6.22
45	กล่อง 0 – 2	11.81	17.1	6.14
45	กล่อง 0 – 2	11.8	17.11	6.19
45	กล่อง 0 – 2	11.8	17.14	6.19
45	กล่อง 0 – 2	11.85	17.14	6.21
45	กล่อง A – 1	14.66	20.27	6.33
45	กล่อง A – 1	14.73	20.22	6.25
45	กล่อง A – 1	14.66	20.27	6.32
45	กล่อง A – 1	14.72	20.27	6.29
45	กล่อง A – 1	14.66	20.27	6.29
45	กล่อง A – 2	14.55	20.17	6.09
45	กล่อง A – 2	14.68	20.06	6.04
45	กล่อง A – 2	14.62	20.12	6.06
45	กล่อง A – 2	14.63	20.19	6.03

45	กล่อง A – 2	14.61	20.17	6.09
45	กล่อง B – 1	16.86	24.57	9.3
45	กล่อง B – 1	16.9	24.49	9.36
45	กล่อง B – 1	16.9	24.55	9.34
45	กล่อง B – 1	16.85	24.5	9.32
45	กล่อง B – 1	16.87	24.58	9.28
45	กล่อง B – 2	17.01	24.18	9.38
45	กล่อง B – 2	17.03	24.33	9.29
45	กล่อง B – 2	16.96	24.2	9.32
45	กล่อง B – 2	17.03	24.21	9.3
45	กล่อง B – 2	17.09	24.2	9.31
45	กล่อง C – 1	19.81	29.9	11.14
45	กล่อง C – 1	19.87	30.04	11.14
45	กล่อง C – 1	19.88	30.04	11.12
45	กล่อง C – 1	19.83	29.92	11.15
45	กล่อง C – 1	19.88	29.92	11.13
45	กล่อง C – 2	19.93	29.89	11.1
45	กล่อง C – 2	19.97	29.99	11.13
45	กล่อง C – 2	19.87	29.9	11.09
45	กล่อง C – 2	19.9	29.92	11.17
45	กล่อง C – 2	19.87	29.95	11.1
45	กล่อง D – 1	21.59	34.82	13.97
45	กล่อง D – 1	21.49	34.87	13.92
45	กล่อง D – 1	21.46	34.71	14.07
45	กล่อง D – 1	21.41	34.77	14.07
45	กล่อง D – 1	21.47	34.72	14.06
45	กล่อง D – 2	21.44	35.29	14.11
45	กล่อง D – 2	21.56	35.18	14.1
45	กล่อง D – 2	21.46	35.21	14.07
45	กล่อง D – 2	21.57	35.2	14.08

45	กล่อง D – 2	21.61	35.23	14.12
90	กล่อง 0 – 1	11.62	17.05	6.22
90	กล่อง 0 – 1	11.62	17.05	6.21
90	กล่อง 0 – 1	11.62	17.05	6.23
90	กล่อง 0 – 1	11.7	17.04	6.26
90	กล่อง 0 – 1	11.62	17.05	6.24
90	กล่อง 0 – 2	11.6	16.93	6.34
90	กล่อง 0 – 2	11.61	17.03	6.3
90	กล่อง 0 – 2	11.7	16.94	6.31
90	กล่อง 0 – 2	11.62	16.95	6.25
90	กล่อง 0 – 2	11.71	16.96	6.25
90	กล่อง A – 1	14.61	20.29	6.32
90	กล่อง A – 1	14.53	20.39	6.33
90	กล่อง A – 1	14.61	20.29	6.34
90	กล่อง A – 1	14.61	20.29	6.36
90	กล่อง A – 1	14.52	20.29	6.33
90	กล่อง A – 2	14.56	20.09	6.08
90	กล่อง A – 2	14.58	20.19	6.03
90	กล่อง A – 2	14.49	20.11	6.03
90	กล่อง A – 2	14.57	20.1	6.05
90	กล่อง A – 2	14.56	20.17	6.11
90	กล่อง B – 1	16.95	24.29	9.3
90	กล่อง B – 1	16.87	24.29	9.32
90	กล่อง B – 1	16.95	24.2	9.32
90	กล่อง B – 1	16.97	24.31	9.26
90	กล่อง B – 1	16.96	24.31	9.27
90	กล่อง B – 2	17.04	24.13	9.28
90	กล่อง B – 2	17.12	24.04	9.29
90	กล่อง B – 2	17.05	24.14	9.26
90	กล่อง B – 2	17.13	24.14	9.27

90	กล่อง B – 2	17.04	24.04	9.28
90	กล่อง C – 1	19.89	29.77	11.13
90	กล่อง C – 1	19.8	29.77	11.14
90	กล่อง C – 1	19.89	29.78	11.13
90	กล่อง C – 1	19.88	29.77	11.15
90	กล่อง C – 1	19.91	29.81	11.06
90	กล่อง C – 2	19.87	29.75	11.14
90	กล่อง C – 2	19.88	29.69	11.12
90	กล่อง C – 2	19.87	29.67	11.16
90	กล่อง C – 2	19.78	29.66	11.16
90	กล่อง C – 2	19.8	29.77	11.11
90	กล่อง D – 1	21.62	34.44	14
90	กล่อง D – 1	21.55	34.5	14.08
90	กล่อง D – 1	21.54	34.35	14.08
90	กล่อง D – 1	21.63	34.51	14.07
90	กล่อง D – 1	21.62	34.49	14.1
90	กล่อง D – 2	22.03	35.22	14.05
90	กล่อง D – 2	21.94	35.29	14.07
90	กล่อง D – 2	22.01	35.2	14.09
90	กล่อง D – 2	22.02	35.22	14.06
90	กล่อง D – 2	22.01	35.19	14.1

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลองวัดขนาดจากองศาการวางที่
เปลี่ยนไปของกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม

องศาการวาง กล่อง	ชื่อกล่อง	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
0	กล่อง 0	11.64	17.01	6.16
0	กล่อง 0	11.61	17.18	6.2
0	กล่อง 0	11.62	16.99	6.25
0	กล่อง 0	11.61	17.09	6.21
0	กล่อง 0	11.61	17.1	6.18
0	กล่อง 0	11.63	17	6.23
0	กล่อง 0	11.63	17.09	6.22
0	กล่อง 0	11.61	17	6.22
0	กล่อง 0	11.63	17	6.21
0	กล่อง 0	11.61	17	6.22
22.5	กล่อง 0	11.83	17.17	6.16
22.5	กล่อง 0	11.91	17.22	6.18
22.5	กล่อง 0	11.92	17.18	6.14
22.5	กล่อง 0	11.84	17.18	6.11
22.5	กล่อง 0	11.91	17.14	6.17
22.5	กล่อง 0	11.83	17.15	6.14
22.5	กล่อง 0	11.83	17.16	6.19
22.5	กล่อง 0	11.86	17.17	6.15
22.5	กล่อง 0	11.92	17.15	6.13
22.5	กล่อง 0	11.83	17.14	6.17
45	กล่อง 0	11.84	17.16	6.09
45	กล่อง 0	11.81	17.13	6.19
45	กล่อง 0	11.83	17.07	6.18
45	กล่อง 0	11.78	17.15	6.15
45	กล่อง 0	11.83	17.15	6.15

45	กล้อง 0	11.78	17.15	6.15
45	กล้อง 0	11.9	17.16	6.16
45	กล้อง 0	11.84	17.5	6.1
45	กล้อง 0	11.76	17.08	6.15
45	กล้อง 0	11.84	17.29	6.08
67.5	กล้อง 0	11.82	17.18	6.12
67.5	กล้อง 0	11.82	17.18	6.12
67.5	กล้อง 0	11.81	17.19	6.18
67.5	กล้อง 0	11.82	17.2	6.17
67.5	กล้อง 0	11.79	17.2	6.16
67.5	กล้อง 0	11.81	17.19	6.21
67.5	กล้อง 0	11.84	17.19	6.18
67.5	กล้อง 0	11.81	17.08	6.18
67.5	กล้อง 0	11.86	17.11	6.08
67.5	กล้อง 0	11.91	17.21	6.11
90	กล้อง 0	11.71	17.05	6.23
90	กล้อง 0	11.62	17.04	6.24
90	กล้อง 0	11.62	17.05	6.23
90	กล้อง 0	11.62	17.05	6.23
90	กล้อง 0	11.71	17.05	6.21
90	กล้อง 0	11.62	17.05	6.23
90	กล้อง 0	11.71	17.05	6.21
90	กล้อง 0	11.63	17.06	6.17
90	กล้อง 0	11.62	17.05	6.22
90	กล้อง 0	11.62	17.05	6.22
112.5	กล้อง 0	11.83	17.33	6.11
112.5	กล้อง 0	11.62	17.28	6.17
112.5	กล้อง 0	11.69	17.15	6.21
112.5	กล้อง 0	11.62	17.27	6.2
112.5	กล้อง 0	11.7	17.27	6.18

112.5	กล้อง 0	11.74	17.28	6.15
112.5	กล้อง 0	11.74	17.32	6.16
112.5	กล้อง 0	11.74	17.35	6.18
112.5	กล้อง 0	11.73	17.34	6.21
112.5	กล้อง 0	11.78	17.27	6.14
135	กล้อง 0	11.7	17.23	6.16
135	กล้อง 0	11.75	17.28	6.1
135	กล้อง 0	11.86	17.24	6.13
135	กล้อง 0	11.71	17.25	6.11
135	กล้อง 0	11.74	17.19	6.15
135	กล้อง 0	11.73	17.26	6.18
135	กล้อง 0	11.88	17.34	6.05
135	กล้อง 0	11.78	17.2	6.13
135	กล้อง 0	11.85	17.26	6.21
135	กล้อง 0	11.82	17.32	6.13
157.5	กล้อง 0	11.81	17.33	6.06
157.5	กล้อง 0	11.89	17.31	6.06
157.5	กล้อง 0	11.8	17.22	6.07
157.5	กล้อง 0	11.81	17.23	6.12
157.5	กล้อง 0	11.88	17.23	6.12
157.5	กล้อง 0	11.77	17.2	6.15
157.5	กล้อง 0	11.89	17.31	6.07
157.5	กล้อง 0	11.78	17.21	6.1
157.5	กล้อง 0	11.8	17.21	6.11
157.5	กล้อง 0	11.88	17.3	6.1
180	กล้อง 0	11.6	17.08	6.25
180	กล้อง 0	11.6	17.08	6.23
180	กล้อง 0	11.6	16.99	6.25
180	กล้อง 0	11.6	17.09	6.22
180	กล้อง 0	11.6	16.91	6.23

180	กล้อง 0	11.59	17.07	6.29
180	กล้อง 0	11.6	17.08	6.24
180	กล้อง 0	11.6	17.08	6.26
180	กล้อง 0	11.6	17.08	6.24
180	กล้อง 0	11.61	17.18	6.21
202.5	กล้อง 0	11.78	17.12	6.11
202.5	กล้อง 0	11.83	17.17	6.05
202.5	กล้อง 0	11.72	17.1	6.19
202.5	กล้อง 0	11.89	17.15	6.14
202.5	กล้อง 0	11.78	17.12	6.09
202.5	กล้อง 0	11.82	17.12	6.08
202.5	กล้อง 0	11.83	17.05	6.07
202.5	กล้อง 0	11.9	17.08	6.1
202.5	กล้อง 0	11.86	17.2	6.09
202.5	กล้อง 0	11.89	17.1	6.16
225	กล้อง 0	11.7	17.08	6.13
225	กล้อง 0	11.69	17.14	6.14
225	กล้อง 0	11.82	17.03	6.12
225	กล้อง 0	11.77	17.09	6.1
225	กล้อง 0	11.77	17.03	6.11
225	กล้อง 0	11.76	17.08	6.14
225	กล้อง 0	11.69	17.08	6.15
225	กล้อง 0	11.68	17.12	6.19
225	กล้อง 0	11.7	17.08	6.13
225	กล้อง 0	11.77	17.14	6.11
247.5	กล้อง 0	11.8	17.29	6.14
247.5	กล้อง 0	11.72	17.23	6.14
247.5	กล้อง 0	11.8	17.2	6.16
247.5	กล้อง 0	11.8	17.14	6.14
247.5	กล้อง 0	11.79	17.27	6.19

247.5	กล้อง 0	11.78	17.23	6.12
247.5	กล้อง 0	11.81	17.22	6.09
247.5	กล้อง 0	11.8	17.14	6.14
247.5	กล้อง 0	11.8	17.13	6.17
247.5	กล้อง 0	11.8	17.31	6.14
270	กล้อง 0	11.73	17.07	6.17
270	กล้อง 0	11.72	17.15	6.23
270	กล้อง 0	11.62	17.05	6.22
270	กล้อง 0	11.71	16.88	6.19
270	กล้อง 0	11.62	17.05	6.23
270	กล้อง 0	11.71	17.13	6.24
270	กล้อง 0	11.62	17.04	6.25
270	กล้อง 0	11.7	17.03	6.29
270	กล้อง 0	11.71	16.88	6.2
270	กล้อง 0	11.61	17.03	6.27
292.5	กล้อง 0	11.68	17.31	6.15
292.5	กล้อง 0	11.73	17.2	6.17
292.5	กล้อง 0	11.67	17.22	6.19
292.5	กล้อง 0	11.74	17.26	6.15
292.5	กล้อง 0	11.65	17.31	6.18
292.5	กล้อง 0	11.76	17.31	6.16
292.5	กล้อง 0	11.73	17.34	6.17
292.5	กล้อง 0	11.73	17.33	6.18
292.5	กล้อง 0	11.76	17.25	6.18
292.5	กล้อง 0	11.73	17.34	6.17
315	กล้อง 0	11.66	17.27	6.14
315	กล้อง 0	11.66	17.2	6.16
315	กล้อง 0	11.66	17.14	6.15
315	กล้อง 0	11.71	17.26	6.18
315	กล้อง 0	11.66	17.21	6.13

315	กล่อง 0	11.65	17.19	6.22
315	กล่อง 0	11.66	17.2	6.15
315	กล่อง 0	11.72	17.08	6.17
315	กล่อง 0	11.73	17.21	6.12
315	กล่อง 0	11.65	17.19	6.19
337.5	กล่อง 0	11.82	17.27	6.22
337.5	กล่อง 0	11.82	17.3	6.21
337.5	กล่อง 0	11.82	17.28	6.18
337.5	กล่อง 0	11.76	17.21	6.23
337.5	กล่อง 0	11.86	17.23	6.16
337.5	กล่อง 0	11.85	17.19	6.2
337.5	กล่อง 0	11.82	17.19	6.21
337.5	กล่อง 0	11.67	17.2	6.14
337.5	กล่อง 0	11.83	17.28	6.16
337.5	กล่อง 0	11.77	17.19	6.19
360	กล่อง 0	11.78	17.17	6.27
360	กล่อง 0	11.77	17.16	6.3
360	กล่อง 0	11.78	17.08	6.27
360	กล่อง 0	11.78	17.08	6.26
360	กล่อง 0	11.78	17.08	6.26
360	กล่อง 0	11.78	17.09	6.26
360	กล่อง 0	11.78	17.08	6.26
360	กล่อง 0	11.78	17.27	6.23
360	กล่อง 0	11.78	17.08	6.26
360	กล่อง 0	11.79	17.11	6.18
0	กล่อง A	14.65	20.12	6.35
0	กล่อง A	14.68	20.22	6.22
0	กล่อง A	14.65	20.13	6.36
0	กล่อง A	14.6	20.18	6.19
0	กล่อง A	14.57	20.14	6.32

0	กล่อง A	14.57	20.22	6.32
0	กล่อง A	14.57	20.22	6.34
0	กล่อง A	14.64	20.12	6.39
0	กล่อง A	14.58	20.23	6.3
0	กล่อง A	14.58	20.23	6.29
22.5	กล่อง A	14.74	20.2	6.27
22.5	กล่อง A	14.73	20.24	6.29
22.5	กล่อง A	14.69	20.28	6.32
22.5	กล่อง A	14.7	20.21	6.28
22.5	กล่อง A	14.72	20.22	6.34
22.5	กล่อง A	14.69	20.23	6.31
22.5	กล่อง A	14.69	20.26	6.34
22.5	กล่อง A	14.69	20.35	6.31
22.5	กล่อง A	14.7	20.29	6.28
22.5	กล่อง A	14.71	20.23	6.31
45	กล่อง A	14.57	20.17	6.3
45	กล่อง A	14.57	20.18	6.3
45	กล่อง A	14.63	20.23	6.29
45	กล่อง A	14.63	20.17	6.28
45	กล่อง A	14.68	20.15	6.34
45	กล่อง A	14.61	20.14	6.37
45	กล่อง A	14.62	20.23	6.34
45	กล่อง A	14.63	20.16	6.3
45	กล่อง A	14.63	20.24	6.27
45	กล่อง A	14.69	20.16	6.3
67.5	กล่อง A	14.65	20.34	6.23
67.5	กล่อง A	14.74	20.26	6.29
67.5	กล่อง A	14.73	20.26	6.27
67.5	กล่อง A	14.72	20.35	6.29
67.5	กล่อง A	14.64	20.33	6.28

67.5	กล่อง A	14.64	20.32	6.29
67.5	กล่อง A	14.62	20.3	6.35
67.5	กล่อง A	14.63	20.32	6.31
67.5	กล่อง A	14.71	20.25	6.32
67.5	กล่อง A	14.63	20.32	6.31
90	กล่อง A	14.7	20.21	6.26
90	กล่อง A	14.51	20.28	6.31
90	กล่อง A	14.52	20.3	6.27
90	กล่อง A	14.52	20.21	6.26
90	กล่อง A	14.69	20.21	6.29
90	กล่อง A	14.61	20.21	6.26
90	กล่อง A	14.51	20.27	6.35
90	กล่อง A	14.6	20.28	6.32
90	กล่อง A	14.52	20.29	6.29
90	กล่อง A	14.62	20.21	6.25
112.5	กล่อง A	14.56	20.48	6.27
112.5	กล่อง A	14.62	20.41	6.27
112.5	กล่อง A	14.5	20.29	6.27
112.5	กล่อง A	14.51	20.3	6.24
112.5	กล่อง A	14.56	20.35	6.3
112.5	กล่อง A	14.5	20.36	6.27
112.5	กล่อง A	14.55	20.34	6.32
112.5	กล่อง A	14.57	20.36	6.26
112.5	กล่อง A	14.62	20.37	6.22
112.5	กล่อง A	14.62	20.34	6.29
135	กล่อง A	14.72	20.41	6.26
135	กล่อง A	14.62	20.46	6.34
135	กล่อง A	14.7	20.42	6.33
135	กล่อง A	14.72	20.36	6.27
135	กล่อง A	14.66	20.47	6.31

135	กล่อง A	14.71	20.42	6.31
135	กล่อง A	14.67	20.38	6.32
135	กล่อง A	14.75	20.39	6.3
135	กล่อง A	14.67	20.4	6.28
135	กล่อง A	14.66	20.5	6.31
157.5	กล่อง A	14.7	20.36	6.27
157.5	กล่อง A	14.78	20.36	6.3
157.5	กล่อง A	14.68	20.44	6.29
157.5	กล่อง A	14.6	20.41	6.33
157.5	กล่อง A	14.71	20.36	6.23
157.5	กล่อง A	14.71	20.36	6.26
157.5	กล่อง A	14.7	20.43	6.3
157.5	กล่อง A	14.6	20.32	6.33
157.5	กล่อง A	14.69	20.33	6.35
157.5	กล่อง A	14.77	20.35	6.28
180	กล่อง A	14.68	20.26	6.25
180	กล่อง A	14.67	20.24	6.29
180	กล่อง A	14.65	20.22	6.37
180	กล่อง A	14.58	20.23	6.32
180	กล่อง A	14.66	20.23	6.34
180	กล่อง A	14.66	20.23	6.34
180	กล่อง A	14.59	20.25	6.27
180	กล่อง A	14.67	20.24	6.31
180	กล่อง A	14.57	20.23	6.35
180	กล่อง A	14.67	20.24	6.29
202.5	กล่อง A	14.68	20.32	6.29
202.5	กล่อง A	14.79	20.28	6.26
202.5	กล่อง A	14.71	20.32	6.27
202.5	กล่อง A	14.63	20.24	6.29
202.5	กล่อง A	14.75	20.35	6.29

202.5	กล่อง A	14.68	20.4	6.28
202.5	กล่อง A	14.71	20.28	6.28
202.5	กล่อง A	14.68	20.4	6.28
202.5	กล่อง A	14.76	20.28	6.27
202.5	กล่อง A	14.72	20.21	6.25
225	กล่อง A	14.64	20.25	6.29
225	กล่อง A	14.71	20.26	6.26
225	กล่อง A	14.7	20.24	6.33
225	กล่อง A	14.7	20.23	6.35
225	กล่อง A	14.64	20.25	6.3
225	กล่อง A	14.71	20.18	6.3
225	กล่อง A	14.7	20.24	6.32
225	กล่อง A	14.69	20.23	6.34
225	กล่อง A	14.64	20.25	6.3
225	กล่อง A	14.65	20.25	6.29
247.5	กล่อง A	14.71	20.18	6.32
247.5	กล่อง A	14.71	20.32	6.32
247.5	กล่อง A	14.7	20.28	6.36
247.5	กล่อง A	14.74	20.22	6.3
247.5	กล่อง A	14.69	20.34	6.28
247.5	กล่อง A	14.72	20.26	6.26
247.5	กล่อง A	14.7	20.26	6.34
247.5	กล่อง A	14.73	20.26	6.33
247.5	กล่อง A	14.71	20.27	6.31
247.5	กล่อง A	14.68	20.32	6.32
270	กล่อง A	14.53	20.22	6.25
270	กล่อง A	14.69	20.2	6.31
270	กล่อง A	14.62	20.21	6.25
270	กล่อง A	14.52	20.2	6.31
270	กล่อง A	14.51	20.19	6.34

270	กล่อง A	14.61	20.2	6.3
270	กล่อง A	14.59	20.17	6.38
270	กล่อง A	14.69	20.2	6.31
270	กล่อง A	14.52	20.2	6.3
270	กล่อง A	14.52	20.28	6.31
292.5	กล่อง A	14.74	20.42	6.25
292.5	กล่อง A	14.73	20.41	6.26
292.5	กล่อง A	14.73	20.46	6.27
292.5	กล่อง A	14.66	20.43	6.21
292.5	กล่อง A	14.65	20.44	6.26
292.5	กล่อง A	14.7	20.38	6.26
292.5	กล่อง A	14.65	20.5	6.25
292.5	กล่อง A	14.7	20.5	6.26
292.5	กล่อง A	14.79	20.38	6.26
292.5	กล่อง A	14.62	20.49	6.28
315	กล่อง A	14.5	20.41	6.27
315	กล่อง A	14.56	20.41	6.26
315	กล่อง A	14.55	20.4	6.31
315	กล่อง A	14.61	20.46	6.32
315	กล่อง A	14.56	20.47	6.28
315	กล่อง A	14.55	20.4	6.3
315	กล่อง A	14.61	20.4	6.31
315	กล่อง A	14.56	20.41	6.29
315	กล่อง A	14.67	20.39	6.31
315	กล่อง A	14.57	20.42	6.26
337.5	กล่อง A	14.65	20.32	6.34
337.5	กล่อง A	14.69	20.41	6.31
337.5	กล่อง A	14.69	20.41	6.3
337.5	กล่อง A	14.6	20.4	6.35
337.5	กล่อง A	14.64	20.39	6.35

337.5	กล่อง A	14.61	20.48	6.32
337.5	กล่อง A	14.61	20.37	6.31
337.5	กล่อง A	14.74	20.38	6.27
337.5	กล่อง A	14.66	20.34	6.27
337.5	กล่อง A	14.63	20.44	6.2
360	กล่อง A	14.6	20.36	6.23
360	กล่อง A	14.58	20.32	6.35
360	กล่อง A	14.59	20.34	6.29
360	กล่อง A	14.59	20.42	6.31
360	กล่อง A	14.61	20.36	6.21
360	กล่อง A	14.6	20.35	6.26
360	กล่อง A	14.6	20.35	6.24
360	กล่อง A	14.58	20.32	6.35
360	กล่อง A	14.6	20.35	6.26
360	กล่อง A	14.59	20.42	6.3
0	กล่อง B	16.85	24.52	9.31
0	กล่อง B	16.85	24.52	9.31
0	กล่อง B	16.88	24.56	9.22
0	กล่อง B	16.85	24.61	9.28
0	กล่อง B	16.84	24.58	9.33
0	กล่อง B	16.86	24.7	9.24
0	กล่อง B	16.85	24.53	9.27
0	กล่อง B	16.86	24.54	9.23
0	กล่อง B	16.86	24.7	9.25
0	กล่อง B	16.85	24.68	9.29
22.5	กล่อง B	16.95	24.49	9.3
22.5	กล่อง B	16.95	24.68	9.3
22.5	กล่อง B	16.93	24.69	9.26
22.5	กล่อง B	16.96	24.69	9.26
22.5	กล่อง B	17.04	24.61	9.26

22.5	กล่อง B	16.96	24.62	9.25
22.5	กล่อง B	16.93	24.61	9.27
22.5	กล่อง B	16.96	24.69	9.25
22.5	กล่อง B	16.97	24.62	9.23
22.5	กล่อง B	16.93	24.5	9.26
45	กล่อง B	17.01	24.56	9.28
45	กล่อง B	17.06	24.66	9.31
45	กล่อง B	16.95	24.49	9.29
45	กล่อง B	16.94	24.6	9.3
45	กล่อง B	16.95	24.68	9.27
45	กล่อง B	17.01	24.61	9.3
45	กล่อง B	17	24.61	9.28
45	กล่อง B	16.96	24.63	9.25
45	กล่อง B	16.88	24.54	9.32
45	กล่อง B	16.93	24.53	9.34
67.5	กล่อง B	16.99	24.5	9.33
67.5	กล่อง B	17	24.52	9.28
67.5	กล่อง B	17.07	24.42	9.28
67.5	กล่อง B	17.01	24.45	9.26
67.5	กล่อง B	17.09	24.44	9.25
67.5	กล่อง B	17	24.35	9.3
67.5	กล่อง B	17.07	24.41	9.32
67.5	กล่อง B	16.99	24.42	9.33
67.5	กล่อง B	17	24.53	9.3
67.5	กล่อง B	16.98	24.42	9.29
90	กล่อง B	16.96	24.38	9.3
90	กล่อง B	17.05	24.23	9.27
90	กล่อง B	16.96	24.38	9.29
90	กล่อง B	17.04	24.29	9.31
90	กล่อง B	17.05	24.31	9.27

90	กล่อง B	17.04	24.3	9.29
90	กล่อง B	17.04	24.22	9.28
90	กล่อง B	16.96	24.31	9.27
90	กล่อง B	17.05	24.31	9.27
90	กล่อง B	16.96	24.3	9.29
112.5	กล่อง B	16.94	24.32	9.28
112.5	กล่อง B	16.93	24.37	9.33
112.5	กล่อง B	17.06	24.29	9.28
112.5	กล่อง B	17.03	24.33	9.25
112.5	กล่อง B	17.01	24.31	9.3
112.5	กล่อง B	16.94	24.39	9.28
112.5	กล่อง B	17.02	24.25	9.27
112.5	กล่อง B	17.02	24.33	9.26
112.5	กล่อง B	17.02	24.4	9.26
112.5	กล่อง B	17.06	24.33	9.26
135	กล่อง B	17.03	24.44	9.26
135	กล่อง B	16.96	24.42	9.24
135	กล่อง B	16.95	24.41	9.27
135	กล่อง B	16.95	24.41	9.29
135	กล่อง B	16.99	24.5	9.24
135	กล่อง B	16.96	24.43	9.23
135	กล่อง B	16.89	24.47	9.25
135	กล่อง B	16.96	24.42	9.26
135	กล่อง B	16.96	24.42	9.26
135	กล่อง B	16.95	24.41	9.28
157.5	กล่อง B	16.99	24.48	9.25
157.5	กล่อง B	16.98	24.48	9.29
157.5	กล่อง B	16.98	24.49	9.27
157.5	กล่อง B	16.98	24.56	9.29
157.5	กล่อง B	16.95	24.44	9.31

157.5	กล่อง B	16.89	24.47	9.3
157.5	กล่อง B	16.99	24.49	9.26
157.5	กล่อง B	16.97	24.49	9.25
157.5	กล่อง B	16.98	24.47	9.27
157.5	กล่อง B	16.97	24.47	9.31
180	กล่อง B	16.85	24.52	9.28
180	กล่อง B	16.91	24.57	9.36
180	กล่อง B	16.84	24.59	9.31
180	กล่อง B	16.85	24.52	9.28
180	กล่อง B	16.85	24.43	9.3
180	กล่อง B	16.86	24.53	9.25
180	กล่อง B	16.85	24.6	9.28
180	กล่อง B	16.83	24.57	9.36
180	กล่อง B	16.84	24.59	9.31
180	กล่อง B	16.84	24.58	9.33
202.5	กล่อง B	16.95	24.72	9.23
202.5	กล่อง B	16.94	24.74	9.27
202.5	กล่อง B	16.93	24.7	9.3
202.5	กล่อง B	16.91	24.69	9.24
202.5	กล่อง B	17.02	24.64	9.26
202.5	กล่อง B	17.05	24.67	9.26
202.5	กล่อง B	16.95	24.75	9.25
202.5	กล่อง B	16.99	24.8	9.23
202.5	กล่อง B	17.05	24.59	9.26
202.5	กล่อง B	17.05	24.59	9.27
225	กล่อง B	16.96	24.63	9.34
225	กล่อง B	16.9	24.58	9.3
225	กล่อง B	16.95	24.57	9.33
225	กล่อง B	16.9	24.59	9.3
225	กล่อง B	16.98	24.67	9.25

225	กล่อง B	16.97	24.66	9.26
225	กล่อง B	17.02	24.52	9.31
225	กล่อง B	17.01	24.51	9.34
225	กล่อง B	16.95	24.64	9.33
225	กล่อง B	16.96	24.59	9.29
247.5	กล่อง B	16.98	24.53	9.33
247.5	กล่อง B	17	24.52	9.27
247.5	กล่อง B	16.98	24.46	9.33
247.5	กล่อง B	17.02	24.53	9.32
247.5	กล่อง B	16.9	24.56	9.36
247.5	กล่อง B	17.06	24.53	9.32
247.5	กล่อง B	17.03	24.55	9.29
247.5	กล่อง B	16.92	24.59	9.28
247.5	กล่อง B	17	24.51	9.28
247.5	กล่อง B	17.03	24.58	9.29
270	กล่อง B	16.95	24.29	9.31
270	กล่อง B	17.05	24.39	9.26
270	กล่อง B	17.05	24.31	9.26
270	กล่อง B	17.04	24.3	9.29
270	กล่อง B	17.03	24.37	9.32
270	กล่อง B	16.94	24.36	9.35
270	กล่อง B	17.03	24.29	9.32
270	กล่อง B	16.94	24.28	9.34
270	กล่อง B	17.04	24.38	9.3
270	กล่อง B	17.03	24.36	9.34
292.5	กล่อง B	17.02	24.39	9.25
292.5	กล่อง B	17.02	24.36	9.26
292.5	กล่อง B	17.01	24.42	9.28
292.5	กล่อง B	17.02	24.44	9.25
292.5	กล่อง B	17.02	24.36	9.26

292.5	กล่อง B	17.02	24.35	9.26
292.5	กล่อง B	17.05	24.46	9.29
292.5	กล่อง B	17.09	24.35	9.27
292.5	กล่อง B	17.01	24.31	9.28
292.5	กล่อง B	17.08	24.29	9.32
315	กล่อง B	16.96	24.31	9.31
315	กล่อง B	16.91	24.38	9.28
315	กล่อง B	16.96	24.32	9.29
315	กล่อง B	16.91	24.33	9.26
315	กล่อง B	16.9	24.32	9.3
315	กล่อง B	16.96	24.32	9.29
315	กล่อง B	16.91	24.32	9.29
315	กล่อง B	16.9	24.38	9.29
315	กล่อง B	16.96	24.31	9.32
315	กล่อง B	16.96	24.31	9.31
337.5	กล่อง B	16.97	24.46	9.33
337.5	กล่อง B	16.95	24.48	9.28
337.5	กล่อง B	16.97	24.53	9.34
337.5	กล่อง B	16.95	24.55	9.28
337.5	กล่อง B	17.01	24.57	9.31
337.5	กล่อง B	17.02	24.58	9.37
337.5	กล่อง B	17	24.47	9.36
337.5	กล่อง B	16.97	24.49	9.24
337.5	กล่อง B	16.99	24.48	9.28
337.5	กล่อง B	17.04	24.53	9.29
360	กล่อง B	16.85	24.6	9.3
360	กล่อง B	16.84	24.51	9.33
360	กล่อง B	16.85	24.52	9.3
360	กล่อง B	16.85	24.61	9.3
360	กล่อง B	16.84	24.6	9.33

360	กล้อง B	16.85	24.52	9.31
360	กล้อง B	16.85	24.61	9.3
360	กล้อง B	16.85	24.61	9.31
360	กล้อง B	16.84	24.59	9.34
360	กล้อง B	16.94	24.46	9.26
0	กล้อง C	19.78	30.18	11.22
0	กล้อง C	19.69	30.08	11.24
0	กล้อง C	19.78	30.09	11.23
0	กล้อง C	19.7	30.09	11.22
0	กล้อง C	19.77	30.07	11.27
0	กล้อง C	19.76	30.06	11.28
0	กล้อง C	19.78	30.17	11.24
0	กล้อง C	19.77	30.08	11.25
0	กล้อง C	19.77	30.08	11.24
0	กล้อง C	19.76	30.06	11.28
22.5	กล้อง C	19.82	30.03	11.24
22.5	กล้อง C	19.85	30.04	11.23
22.5	กล้อง C	19.8	30.03	11.31
22.5	กล้อง C	19.83	30.04	11.23
22.5	กล้อง C	19.83	30.02	11.28
22.5	กล้อง C	19.89	30.02	11.27
22.5	กล้อง C	19.9	30.06	11.23
22.5	กล้อง C	19.8	30.01	11.3
22.5	กล้อง C	19.82	30.11	11.25
22.5	กล้อง C	19.83	30.04	11.28
45	กล้อง C	19.88	29.99	11.27
45	กล้อง C	19.82	29.88	11.26
45	กล้อง C	19.86	29.92	11.29
45	กล้อง C	19.92	29.87	11.26
45	กล้อง C	19.86	29.91	11.29

45	กล่อง C	19.88	29.88	11.24
45	กล่อง C	19.86	29.91	11.3
45	กล่อง C	19.88	29.88	11.24
45	กล่อง C	19.86	29.92	11.29
45	กล่อง C	19.92	29.86	11.28
67.5	กล่อง C	19.91	29.82	11.29
67.5	กล่อง C	19.92	29.84	11.25
67.5	กล่อง C	20	29.77	11.23
67.5	กล่อง C	19.98	29.82	11.28
67.5	กล่อง C	19.89	29.77	11.23
67.5	กล่อง C	20	29.8	11.25
67.5	กล่อง C	19.99	29.75	11.27
67.5	กล่อง C	19.91	29.82	11.29
67.5	กล่อง C	19.99	29.83	11.27
67.5	กล่อง C	19.95	29.79	11.28
90	กล่อง C	19.94	29.74	11.29
90	กล่อง C	19.95	29.74	11.29
90	กล่อง C	19.93	29.72	11.32
90	กล่อง C	19.87	29.75	11.27
90	กล่อง C	19.86	29.73	11.31
90	กล่อง C	19.95	29.58	11.27
90	กล่อง C	19.86	29.82	11.29
90	กล่อง C	19.94	29.73	11.3
90	กล่อง C	19.94	29.74	11.29
90	กล่อง C	19.95	29.67	11.27
112.5	กล่อง C	19.87	30.02	11.3
112.5	กล่อง C	19.94	29.95	11.29
112.5	กล่อง C	19.94	29.91	11.3
112.5	กล่อง C	19.92	30.05	11.24
112.5	กล่อง C	19.93	29.86	11.32

112.5	กล่อง C	19.99	29.97	11.26
112.5	กล่อง C	19.99	30.01	11.25
112.5	กล่อง C	19.95	30.12	11.25
112.5	กล่อง C	19.94	30.03	11.29
112.5	กล่อง C	19.95	30.04	11.25
135	กล่อง C	19.94	30.04	11.33
135	กล่อง C	19.84	30.15	11.29
135	กล่อง C	19.9	30.03	11.26
135	กล่อง C	19.84	30.09	11.31
135	กล่อง C	19.9	30.03	11.26
135	กล่อง C	19.91	30.15	11.29
135	กล่อง C	19.92	30.09	11.27
135	กล่อง C	19.84	30.07	11.31
135	กล่อง C	19.85	30.08	11.35
135	กล่อง C	19.91	30.15	11.29
157.5	กล่อง C	19.89	30.09	11.31
157.5	กล่อง C	19.88	30.17	11.28
157.5	กล่อง C	19.82	30.13	11.25
157.5	กล่อง C	19.87	30.15	11.32
157.5	กล่อง C	19.91	30.03	11.28
157.5	กล่อง C	19.89	30.2	11.26
157.5	กล่อง C	19.82	30.01	11.32
157.5	กล่อง C	19.89	30.18	11.26
157.5	กล่อง C	19.9	30.17	11.31
157.5	กล่อง C	19.9	30.14	11.23
180	กล่อง C	19.75	30.05	11.29
180	กล่อง C	19.75	29.96	11.31
180	กล่อง C	19.74	29.95	11.33
180	กล่อง C	19.77	30.07	11.25
180	กล่อง C	19.77	29.99	11.24

180	กล่อง C	19.77	30.07	11.24
180	กล่อง C	19.76	30.05	11.28
180	กล่อง C	19.74	29.95	11.32
180	กล่อง C	19.75	30.04	11.31
180	กล่อง C	19.75	30.04	11.32
202.5	กล่อง C	19.87	30.01	11.28
202.5	กล่อง C	19.88	30	11.25
202.5	กล่อง C	19.97	30.06	11.28
202.5	กล่อง C	19.86	29.95	11.29
202.5	กล่อง C	19.86	29.95	11.3
202.5	กล่อง C	19.87	29.99	11.27
202.5	กล่อง C	19.87	29.99	11.26
202.5	กล่อง C	19.9	30.06	11.28
202.5	กล่อง C	19.9	30.07	11.27
202.5	กล่อง C	19.88	30.04	11.32
225	กล่อง C	19.81	29.93	11.28
225	กล่อง C	19.81	29.81	11.3
225	กล่อง C	19.86	29.8	11.32
225	กล่อง C	19.85	29.91	11.34
225	กล่อง C	19.86	29.81	11.31
225	กล่อง C	19.91	29.85	11.34
225	กล่อง C	19.83	29.96	11.23
225	กล่อง C	19.88	29.87	11.28
225	กล่อง C	19.93	29.88	11.29
225	กล่อง C	19.93	29.93	11.29
247.5	กล่อง C	19.99	29.97	11.3
247.5	กล่อง C	19.97	29.91	11.35
247.5	กล่อง C	19.96	29.94	11.29
247.5	กล่อง C	19.99	29.97	11.3
247.5	กล่อง C	20	29.91	11.27

247.5	กล่อง C	19.96	29.93	11.3
247.5	กล่อง C	19.98	29.84	11.33
247.5	กล่อง C	19.99	30	11.31
247.5	กล่อง C	19.96	29.94	11.28
247.5	กล่อง C	19.92	29.97	11.3
270	กล่อง C	19.86	29.82	11.32
270	กล่อง C	19.93	29.81	11.34
270	กล่อง C	19.96	29.81	11.33
270	กล่อง C	19.94	29.74	11.31
270	กล่อง C	19.94	29.74	11.32
270	กล่อง C	19.87	29.83	11.29
270	กล่อง C	19.97	29.83	11.28
270	กล่อง C	19.94	29.81	11.33
270	กล่อง C	19.93	29.8	11.34
270	กล่อง C	19.86	29.74	11.32
292.5	กล่อง C	19.97	30.09	11.28
292.5	กล่อง C	20	29.97	11.32
292.5	กล่อง C	19.94	30.02	11.28
292.5	กล่อง C	19.94	30.01	11.3
292.5	กล่อง C	20	29.93	11.33
292.5	กล่อง C	20	30.1	11.33
292.5	กล่อง C	19.97	30.09	11.28
292.5	กล่อง C	20.01	30.01	11.3
292.5	กล่อง C	19.96	30	11.31
292.5	กล่อง C	19.96	30.1	11.33
315	กล่อง C	19.84	30.02	11.3
315	กล่อง C	19.85	30.02	11.29
315	กล่อง C	19.91	30.15	11.26
315	กล่อง C	19.84	30.13	11.31
315	กล่อง C	19.85	29.91	11.28

315	กล่อง C	19.9	30.03	11.29
315	กล่อง C	19.91	30.04	11.26
315	กล่อง C	19.9	30.08	11.3
315	กล่อง C	19.85	29.98	11.26
315	กล่อง C	19.9	30.07	11.3
337.5	กล่อง C	19.87	30.12	11.3
337.5	กล่อง C	19.89	30.21	11.33
337.5	กล่อง C	19.9	30.04	11.32
337.5	กล่อง C	19.88	30.16	11.28
337.5	กล่อง C	19.88	30.17	11.35
337.5	กล่อง C	20.02	30.17	11.25
337.5	กล่อง C	19.9	30.2	11.3
337.5	กล่อง C	19.99	30.09	11.27
337.5	กล่อง C	19.91	30.16	11.27
337.5	กล่อง C	19.88	30.13	11.29
360	กล่อง C	19.75	30.07	11.29
360	กล่อง C	19.76	30.06	11.28
360	กล่อง C	19.83	30.04	11.31
360	กล่อง C	19.75	30.04	11.32
360	กล่อง C	19.75	30.06	11.32
360	กล่อง C	19.76	30.06	11.28
360	กล่อง C	19.76	29.99	11.27
360	กล่อง C	19.75	30.04	11.32
360	กล่อง C	19.75	30.06	11.32
360	กล่อง C	19.76	29.99	11.28

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลองหาค่าผิดพลาดและความเที่ยงตรงใน
การวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมจากขอบเขตภาพ

ตำแหน่งการวาง กล่อง	ชื่อกล่อง	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.01	18.13	6.1
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.03	18.16	5.98
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.03	17.99	5.96
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.09	17.94	6.15
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.02	17.98	6.01
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.37	18.06	6.02
ซ้ายบน	กล่อง 0	12	18.03	6.14
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.2	17.98	6
ซ้ายบน	กล่อง 0	12.2	17.98	5.99
ซ้ายบน	กล่อง 0	11.94	18.17	5.94
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.76	17.9	5.96
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.87	17.92	5.88
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.74	17.77	6.11
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.86	18.01	5.89
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.76	17.99	5.96
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.78	18.1	5.9
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.85	17.81	5.95
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.78	18.01	5.89
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.8	18.23	5.74
ซ้ายกลาง	กล่อง 0	11.79	17.85	5.83
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	11.88	18.03	5.94
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	11.87	18.11	5.98
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	12.06	18.3	5.94
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	12.05	18.19	6
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	12.04	18.1	6.02

ซ้ายล่าง	กล่อง 0	11.97	18.3	5.92
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	11.88	18.39	5.93
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	11.97	18.29	5.95
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	12.03	18.35	6.08
ซ้ายล่าง	กล่อง 0	11.89	18.13	5.9
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	12.07	17.12	6.18
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	1.99	17.13	6.14
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	11.98	17.12	6.17
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	12.17	17.14	6.13
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	11.89	17.03	6.19
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	12	17.14	6.12
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	11.98	17.12	6.18
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	11.98	17.2	6.22
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	11.98	17.03	6.19
กึ่งกลางบน	กล่อง 0	12.16	17.04	6.14
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.61	17.09	6.21
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.61	17.09	6.21
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.64	17.02	6.2
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.61	17.09	6.22
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.63	17.01	6.19
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.62	17.1	6.2
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.63	17.09	6.19
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.6	17.09	6.23
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.63	17	6.2
กึ่งกลาง	กล่อง 0	11.64	17.1	6.17
กึ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.91	17.14	6.16
กึ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.91	17.05	6.12
กึ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.99	17.05	6.16
กึ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.9	17.13	6.21
กึ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.91	17.23	6.17

กิ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.82	17.14	6.17
กิ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.9	17.14	6.18
กิ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.82	17.14	6.18
กิ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.9	17.31	6.2
กิ่งกลางล่าง	กล่อง 0	11.9	17.13	6.18
ขวามือ	กล่อง 0	12	17.6	6.11
ขวามือ	กล่อง 0	12.18	17.32	6.12
ขวามือ	กล่อง 0	12.1	17.34	6.08
ขวามือ	กล่อง 0	12	17.5	6.13
ขวามือ	กล่อง 0	12.16	17.57	6.2
ขวามือ	กล่อง 0	12.08	17.31	6.17
ขวามือ	กล่อง 0	12.08	17.58	6.19
ขวามือ	กล่อง 0	12.09	17.33	6.12
ขวามือ	กล่อง 0	12.17	17.32	6.16
ขวามือ	กล่อง 0	12.09	17.68	6.17
ขวากลาง	กล่อง 0	11.71	17.47	6.13
ขวากลาง	กล่อง 0	11.81	17.36	6.09
ขวากลาง	กล่อง 0	11.81	17.39	6.09
ขวากลาง	กล่อง 0	11.8	17.47	6.14
ขวากลาง	กล่อง 0	11.8	17.46	6.15
ขวากลาง	กล่อง 0	11.81	17.31	6.07
ขวากลาง	กล่อง 0	11.8	17.47	6.13
ขวากลาง	กล่อง 0	11.8	17.29	6.13
ขวากลาง	กล่อง 0	11.8	17.56	6.11
ขวากลาง	กล่อง 0	11.71	17.47	6.13
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.91	17.24	6.16
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.82	17.33	6.14
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.92	17.42	6.12
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.92	17.34	6.11
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.92	17.25	6.11

ขวาล่าง	กล่อง 0	11.83	17.33	6.14
ขวาล่าง	กล่อง 0	12	17.42	6.15
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.92	17.24	6.13
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.91	17.24	6.16
ขวาล่าง	กล่อง 0	11.92	17.52	6.11
ซ้ายบน	กล่อง A	14.81	21.02	6.15
ซ้ายบน	กล่อง A	14.84	20.97	6.06
ซ้ายบน	กล่อง A	14.82	20.95	6.12
ซ้ายบน	กล่อง A	14.8	20.91	6.22
ซ้ายบน	กล่อง A	15	21.07	5.73
ซ้ายบน	กล่อง A	14.73	21.04	6.12
ซ้ายบน	กล่อง A	14.89	21.01	6.22
ซ้ายบน	กล่อง A	14.81	20.66	6.18
ซ้ายบน	กล่อง A	14.81	21.1	6.18
ซ้ายบน	กล่อง A	14.91	20.94	6.13
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.72	20.84	6.17
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.71	20.73	6.24
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.74	20.95	6.11
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.64	21.02	6.16
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.65	21.04	6.11
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.63	21.01	6.19
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.73	20.86	6.13
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.64	20.94	6.14
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.63	20.84	6.19
ซ้ายกลาง	กล่อง A	14.62	20.65	6.22
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.76	20.99	6.12
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.76	21.17	6.12
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.74	21.04	6.25
ซ้ายล่าง	กล่อง A	15.19	21.41	6.19
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.74	21.13	6.23

ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.77	21.08	6.11
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.83	21.14	6.22
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.86	21	6.08
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.84	21.23	6.19
ซ้ายล่าง	กล่อง A	14.75	21.06	6.19
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.96	20.28	6.31
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.8	20.2	6.29
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.88	20.29	6.31
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.97	20.21	6.27
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.9	20.23	6.27
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.82	20.32	6.22
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.89	20.21	6.28
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.97	20.21	6.25
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.81	20.39	6.26
กึ่งกลางบน	กล่อง A	14.97	20.38	6.3
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.59	20.16	6.28
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.57	20.22	6.26
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.58	20.33	6.3
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.58	20.28	6.31
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.58	20.33	6.31
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.58	20.33	6.29
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.57	20.31	6.26
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.57	20.31	6.23
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.57	20.31	6.26
กึ่งกลาง	กล่อง A	14.59	20.25	6.28
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.61	20.11	6.23
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.62	20.29	6.24
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.7	20.28	6.29
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.71	20.38	6.24
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.69	20.36	6.31

กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.7	20.28	6.27
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.79	20.19	6.26
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.62	20.38	6.25
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.69	20.36	6.3
กึ่งกลางล่าง	กล่อง A	14.79	20.2	6.25
ขวาบน	กล่อง A	14.97	20.56	6.27
ขวาบน	กล่อง A	15.05	20.54	6.33
ขวาบน	กล่อง A	15.14	20.64	6.32
ขวาบน	กล่อง A	15.2	20.37	6.02
ขวาบน	กล่อง A	15.22	20.54	6.35
ขวาบน	กล่อง A	14.88	20.55	6.29
ขวาบน	กล่อง A	14.99	20.5	6.2
ขวาบน	กล่อง A	14.96	20.63	6.34
ขวาบน	กล่อง A	15.04	20.53	6.37
ขวาบน	กล่อง A	14.97	20.46	6.3
ขวากลาง	กล่อง A	14.7	20.45	6.2
ขวากลาง	กล่อง A	14.77	20.51	6.28
ขวากลาง	กล่อง A	14.67	20.41	6.34
ขวากลาง	กล่อง A	14.67	20.33	6.32
ขวากลาง	กล่อง A	14.66	20.49	6.37
ขวากลาง	กล่อง A	14.67	20.42	6.31
ขวากลาง	กล่อง A	14.68	20.34	6.29
ขวากลาง	กล่อง A	14.69	20.62	6.25
ขวากลาง	กล่อง A	14.67	20.51	6.31
ขวากลาง	กล่อง A	14.7	20.54	6.21
ขวาล่าง	กล่อง A	14.78	20.35	6.34
ขวาล่าง	กล่อง A	14.81	20.58	6.18
ขวาล่าง	กล่อง A	14.78	20.36	6.32
ขวาล่าง	กล่อง A	14.78	20.36	6.34
ขวาล่าง	กล่อง A	14.78	20.62	6.33

ขวาล่าง	กล่อง A	14.69	20.45	6.34
ขวาล่าง	กล่อง A	14.78	20.44	6.33
ขวาล่าง	กล่อง A	14.79	20.28	6.29
ขวาล่าง	กล่อง A	14.87	20.36	6.31
ขวาล่าง	กล่อง A	14.78	20.36	6.33

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลองการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมโดยปรับความสูงระหว่างกล่องถึงพื้น

ความสูงระหว่าง กล่องถึงพื้น	ชื่อกล่อง	ความกว้าง	ความยาว	ความสูง
60	กล่อง 0	11.61	17.02	6.29
60	กล่อง 0	11.62	16.96	6.26
60	กล่อง 0	11.6	17.01	6.31
60	กล่อง 0	11.6	17	6.35
60	กล่อง 0	11.48	16.96	6.25
60	กล่อง 0	11.47	17.02	6.29
60	กล่อง 0	11.47	17.02	6.3
60	กล่อง 0	14.47	16.96	6.26
60	กล่อง 0	11.47	17.02	6.27
60	กล่อง 0	11.61	17.03	6.26
70	กล่อง 0	11.13	16.65	6.27
70	กล่อง 0	11.14	16.57	6.24
70	กล่อง 0	11.14	16.48	6.23
70	กล่อง 0	11.14	16.56	6.25
70	กล่อง 0	11.14	16.58	6.21
70	กล่อง 0	11.14	16.57	6.24
70	กล่อง 0	11.13	16.56	6.26
70	กล่อง 0	11.14	16.65	6.26
70	กล่อง 0	11.13	16.56	6.28

70	กล้อง 0	11.14	16.56	6.25
80	กล้อง 0	11.52	16.83	6.3
80	กล้อง 0	11.54	16.94	6.22
80	กล้อง 0	11.52	16.92	6.31
80	กล้อง 0	11.52	16.92	6.32
80	กล้อง 0	11.53	16.94	6.25
80	กล้อง 0	11.54	16.95	6.2
80	กล้อง 0	11.53	17.03	6.27
80	กล้อง 0	11.53	16.83	6.28
80	กล้อง 0	11.53	16.94	6.25
80	กล้อง 0	11.53	16.94	6.23
90	กล้อง 0	10.92	16.63	6.25
90	กล้อง 0	11.03	16.29	6.27
90	กล้อง 0	10.91	16.51	6.3
90	กล้อง 0	10.92	16.41	6.22
90	กล้อง 0	10.91	16.51	6.28
90	กล้อง 0	11.03	16.63	6.29
90	กล้อง 0	11.03	16.52	6.26
90	กล้อง 0	11.03	16.41	6.26
90	กล้อง 0	10.9	16.61	6.36
90	กล้อง 0	11.02	16.62	6.3
100	กล้อง 0	11.48	16.63	6.28
100	กล้อง 0	11.48	16.75	6.27
100	กล้อง 0	11.36	16.77	6.24
100	กล้อง 0	11.48	16.63	6.26
100	กล้อง 0	11.51	16.67	6.08
100	กล้อง 0	11.49	16.76	6.23
100	กล้อง 0	11.48	16.76	6.26
100	กล้อง 0	11.48	16.63	6.27
100	กล้อง 0	11.49	16.64	6.19

100	กล่อง 0	11.5	16.53	6.16
60	กล่อง A	14.56	20.32	6.41
60	กล่อง A	14.56	20.25	6.4
60	กล่อง A	14.57	20.33	6.37
60	กล่อง A	14.57	20.33	6.36
60	กล่อง A	14.56	20.25	6.38
60	กล่อง A	14.7	20.04	6.39
60	กล่อง A	14.55	20.38	6.43
60	กล่อง A	14.71	20.12	6.35
60	กล่อง A	14.55	20.31	6.42
60	กล่อง A	14.57	20.33	6.36
70	กล่อง A	13.98	19.75	6.34
70	กล่อง A	13.99	19.75	6.33
70	กล่อง A	13.98	19.74	6.37
70	กล่อง A	13.99	19.76	6.31
70	กล่อง A	13.99	19.75	6.32
70	กล่อง A	13.98	19.74	6.35
70	กล่อง A	13.99	19.76	6.31
70	กล่อง A	13.99	19.76	6.31
70	กล่อง A	13.98	19.83	6.34
70	กล่อง A	13.99	19.76	6.3
80	กล่อง A	14.45	20.05	6.31
80	กล่อง A	14.45	20.06	6.3
80	กล่อง A	14.44	19.95	6.35
80	กล่อง A	14.45	20.05	6.33
80	กล่อง A	14.45	20.05	6.32
80	กล่อง A	14.44	20.04	6.37
80	กล่อง A	14.44	20.04	6.36
80	กล่อง A	14.46	19.96	6.29
80	กล่อง A	14.45	20.14	6.34

80	กล่อง A	14.45	19.95	6.32
90	กล่อง A	13.91	19.51	6.34
90	กล่อง A	13.8	19.62	6.35
90	กล่อง A	13.81	19.63	6.3
90	กล่อง A	13.9	19.61	6.4
90	กล่อง A	13.8	19.73	6.34
90	กล่อง A	13.8	19.74	6.32
90	กล่อง A	13.8	19.63	6.32
90	กล่อง A	13.91	19.62	6.35
90	กล่อง A	13.8	19.63	6.33
90	กล่อง A	13.8	19.62	6.35
100	กล่อง A	14.35	19.75	6.32
100	กล่อง A	14.22	20	6.33
100	กล่อง A	14.35	19.88	6.32
100	กล่อง A	14.23	19.88	6.31
100	กล่อง A	14.35	19.88	6.31
100	กล่อง A	14.22	20	6.32
100	กล่อง A	14.23	20.01	6.31
100	กล่อง A	14.23	20.01	6.28
100	กล่อง A	14.35	19.75	6.32
100	กล่อง A	14.22	20.13	6.31
60	กล่อง B	16.81	24.66	9.34
60	กล่อง B	16.87	24.71	9.36
60	กล่อง B	16.81	24.59	9.34
60	กล่อง B	16.82	24.68	9.29
60	กล่อง B	16.87	24.72	9.35
60	กล่อง B	16.81	24.59	9.33
60	กล่อง B	16.85	24.63	9.4
60	กล่อง B	16.88	24.67	9.32
60	กล่อง B	16.88	24.6	9.31

60	กล่อง B	16.86	24.56	9.39
70	กล่อง B	17.05	24.73	9.18
70	กล่อง B	17.06	24.75	9.15
70	กล่อง B	17.05	24.74	9.17
70	กล่อง B	17.05	24.65	9.2
70	กล่อง B	17.14	24.83	9.14
70	กล่อง B	17.15	24.69	9.09
70	กล่อง B	17.06	24.75	9.15
70	กล่อง B	17.04	24.64	9.2
70	กล่อง B	17.05	24.65	9.19
70	กล่อง B	17.13	24.73	9.19
80	กล่อง B	16.67	24.39	9.31
80	กล่อง B	16.67	24.39	9.3
80	กล่อง B	16.67	24.48	9.31
80	กล่อง B	16.68	24.4	9.27
80	กล่อง B	16.66	24.38	9.32
80	กล่อง B	16.66	24.47	9.34
80	กล่อง B	16.66	24.37	9.36
80	กล่อง B	16.67	24.3	9.31
80	กล่อง B	16.67	24.49	9.3
80	กล่อง B	16.67	24.39	9.29
90	กล่อง B	17.08	24.65	9.24
90	กล่อง B	17.08	24.64	9.26
90	กล่อง B	17.09	24.55	9.21
90	กล่อง B	17.09	24.56	9.18
90	กล่อง B	16.98	24.55	9.21
90	กล่อง B	17.09	24.66	9.19
90	กล่อง B	17.08	24.65	9.23
90	กล่อง B	17.1	24.56	9.16
90	กล่อง B	17.08	24.65	9.24

90	กล่อง B	17.06	24.51	9.34
100	กล่อง B	17.28	24.69	9.31
100	กล่อง B	17.15	24.93	9.28
100	กล่อง B	17.39	24.8	9.31
100	กล่อง B	17.28	24.69	9.28
100	กล่อง B	17.27	24.57	9.29
100	กล่อง B	17.27	24.68	9.31
100	กล่อง B	17.16	24.7	9.25
100	กล่อง B	17.15	24.68	9.3
100	กล่อง B	17.27	24.68	9.3
100	กล่อง B	17.39	24.81	9.35
60	กล่อง C	19.69	30	11.26
60	กล่อง C	19.68	29.98	11.28
60	กล่อง C	19.8	29.97	11.31
60	กล่อง C	19.7	30.02	11.23
60	กล่อง C	19.75	29.94	11.26
60	กล่อง C	19.75	30	11.26
60	กล่อง C	19.7	29.96	11.22
60	กล่อง C	19.76	30.02	11.23
60	กล่อง C	19.76	30.01	11.24
60	กล่อง C	19.68	29.92	11.28
70	กล่อง C	19.88	30.23	11.02
70	กล่อง C	19.87	30.14	11.03
70	กล่อง C	19.87	30.13	11.06
70	กล่อง C	19.94	30.19	11.08
70	กล่อง C	19.94	30.12	11.03
70	กล่อง C	19.94	30.04	11.08
70	กล่อง C	19.95	30.13	11.04
70	กล่อง C	19.95	30.06	11.03
70	กล่อง C	19.95	30.13	11.04

70	กล่อง C	19.95	30.13	11.05
80	กล่อง C	19.6	29.86	11.17
80	กล่อง C	19.68	29.95	11.19
80	กล่อง C	19.68	29.85	11.2
80	กล่อง C	19.7	29.88	11.13
80	กล่อง C	19.6	29.95	11.17
80	กล่อง C	19.61	29.97	11.14
80	กล่อง C	19.6	29.87	11.16
80	กล่อง C	19.7	29.88	11.13
80	กล่อง C	19.6	29.86	11.18
80	กล่อง C	19.6	29.96	11.15
90	กล่อง C	19.81	29.93	11.17
90	กล่อง C	19.91	29.81	11.21
90	กล่อง C	19.81	29.83	11.16
90	กล่อง C	19.79	30.01	11.23
90	กล่อง C	19.91	29.92	11.2
90	กล่อง C	19.91	29.92	11.19
90	กล่อง C	19.81	29.93	11.17
90	กล่อง C	19.9	29.9	11.23
90	กล่อง C	19.9	30.01	11.24
90	กล่อง C	19.9	29.9	11.24
100	กล่อง C	19.5	29.84	11.23
100	กล่อง C	19.5	29.84	11.23
100	กล่อง C	19.5	29.84	11.23
100	กล่อง C	19.51	29.85	11.2
100	กล่อง C	19.51	29.85	11.21
100	กล่อง C	19.5	29.83	11.25
100	กล่อง C	19.51	29.73	11.21
100	กล่อง C	19.5	29.84	11.23
100	กล่อง C	19.51	29.85	11.19

100	กล่อง C	19.51	29.85	11.22
-----	---------	-------	-------	-------

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลองจับเวลาระยะเวลาในการประมวลผล

จำนวนกล่อง	วัดครั้งละหลายๆกล่อง (วินาที)	วัดครั้งละ 1 กล่อง (วินาที)	วัดครั้งละ 1 กล่องโดย คน (วินาที)
1	1.958037	1.958037	5
2	2.135833	3.916074	10
3	2.271009	5.874111	15
4	2.386235	7.832148	20

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลองวัดขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยม 4
กล่องในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

ชื่อกล่อง	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง A	14.69	20.45	6.31
กล่อง B	17.04	24.63	9.29
กล่อง C	19.89	29.89	11.1
กล่อง D	21.76	35.35	13.97
กล่อง A	14.76	20.41	6.36
กล่อง B	17.14	23.99	9.33
กล่อง C	19.9	29.91	11.06
กล่อง D	21.63	35.38	13.93
กล่อง A	14.87	20.45	6.29
กล่อง B	17.06	24.33	9.33
กล่อง C	19.97	29.97	11.17
กล่อง D	21.62	35.45	13.93
กล่อง A	14.65	20.95	6.18
กล่อง B	16.82	24.85	9.2
กล่อง C	19.85	29.99	11.21

กล่อง D	21.72	35.35	14.03
กล่อง A	14.64	20.42	6.29
กล่อง B	17.59	25.28	9.29
กล่อง C	19.77	29.92	11.21
กล่อง D	21.76	35.28	14.01
กล่อง A	14.73	20.68	6.26
กล่อง B	17.07	24.17	9.3
กล่อง C	19.96	29.69	11.2
กล่อง D	22.02	35.11	14.14
กล่อง A	14.86	20.44	6.33
กล่อง B	17.46	24.41	9.27
กล่อง C	19.94	29.85	11.11
กล่อง D	21.89	35.15	14.03
กล่อง A	14.66	20.63	6.44
กล่อง B	17.32	24.36	9.32
กล่อง C	20.18	29.72	11.32
กล่อง D	21.93	35.14	14.06
กล่อง A	14.94	20.33	6.39
กล่อง B	17.04	24.22	9.41
กล่อง C	20.2	30.16	11.14
กล่อง D	21.9	35.28	14.03
กล่อง A	14.62	20.55	6.24
กล่อง B	16.95	24.38	9.35
กล่อง C	19.95	30.3	11.17
กล่อง D	21.96	35.29	14.03

ตารางข้อมูลการวัดขนาดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการทดลองเปรียบเทียบความผิดพลาดในการวัด
ขนาดกล่องพัสดุทรงสี่เหลี่ยมกับโปรแกรม Intel Realsense Dimensional Weight Software

ชื่อกล่อง	ความผิดพลาดเมื่อเทียบกับตลับเมตร		
	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
กล่อง 0 – 1	0.27	0.08	0.21
กล่อง 0 – 1	0.27	0.18	0.18
กล่อง 0 – 1	0.27	0.18	0.16
กล่อง 0 – 1	0.27	0.26	0.19
กล่อง 0 – 1	0.28	0.18	0.15
กล่อง 0 – 1	0.36	0.24	0.13
กล่อง 0 – 1	0.32	0.21	0.05
กล่อง 0 – 1	0.32	0.19	0.05
กล่อง 0 – 1	0.3	0.18	0.13
กล่อง 0 – 1	0.38	0.2	0.09
กล่อง 0 – 1	0.12	0.15	0.12
กล่อง 0 – 1	0.12	0.15	0.11
กล่อง 0 – 1	0.12	0.15	0.13
กล่อง 0 – 1	0.2	0.14	0.16
กล่อง 0 – 1	0.12	0.15	0.14
กล่อง 0 – 2	0.19	0.01	0.2
กล่อง 0 – 2	0.19	0.08	0.18
กล่อง 0 – 2	0.19	0.16	0.21
กล่อง 0 – 2	0.19	0.08	0.2
กล่อง 0 – 2	0.19	0.08	0.21
กล่อง 0 – 2	0.47	0.18	0.12
กล่อง 0 – 2	0.41	0.2	0.04
กล่อง 0 – 2	0.4	0.21	0.09
กล่อง 0 – 2	0.4	0.24	0.09
กล่อง 0 – 2	0.45	0.24	0.11

กล่อง 0 – 2	0.2	0.03	0.24
กล่อง 0 – 2	0.21	0.13	0.2
กล่อง 0 – 2	0.3	0.04	0.21
กล่อง 0 – 2	0.22	0.05	0.15
กล่อง 0 – 2	0.31	0.06	0.15
กล่อง A – 1	0.316667	0.21	0.14
กล่อง A – 1	0.316667	0.21	0.11
กล่อง A – 1	0.276667	0.27	0
กล่อง A – 1	0.326667	0.23	0.16
กล่อง A – 1	0.236667	0.31	0.17
กล่อง A – 1	0.326667	0.27	0.13
กล่อง A – 1	0.396667	0.22	0.05
กล่อง A – 1	0.326667	0.27	0.12
กล่อง A – 1	0.386667	0.27	0.09
กล่อง A – 1	0.326667	0.27	0.09
กล่อง A – 1	0.276667	0.29	0.12
กล่อง A – 1	0.196667	0.39	0.13
กล่อง A – 1	0.276667	0.29	0.14
กล่อง A – 1	0.276667	0.29	0.16
กล่อง A – 1	0.186667	0.29	0.13
กล่อง A – 2	0.23	0.2	0.04
กล่อง A – 2	0.22	0.18	0.11
กล่อง A – 2	0.22	0.1	0.09
กล่อง A – 2	0.22	0.18	0.11
กล่อง A – 2	0.24	0.13	0.08
กล่อง A – 2	0.25	0.17	0.01
กล่อง A – 2	0.38	0.06	0.06
กล่อง A – 2	0.32	0.12	0.04
กล่อง A – 2	0.33	0.19	0.07
กล่อง A – 2	0.31	0.17	0.01

กล่อง A – 2	0.26	0.09	0.02
กล่อง A – 2	0.28	0.19	0.07
กล่อง A – 2	0.19	0.11	0.07
กล่อง A – 2	0.27	0.1	0.05
กล่อง A – 2	0.26	0.17	0.01
กล่อง B – 1	0.23	0.07	0.05
กล่อง B – 1	0.24	0	0.02
กล่อง B – 1	0.16	0.18	0.01
กล่อง B – 1	0.17	0.11	0.05
กล่อง B – 1	0.25	0.01	0.02
กล่อง B – 1	0.14	0.03	0
กล่อง B – 1	0.1	0.11	0.06
กล่อง B – 1	0.1	0.05	0.04
กล่อง B – 1	0.15	0.1	0.02
กล่อง B – 1	0.13	0.02	0.02
กล่อง B – 1	0.05	0.31	0
กล่อง B – 1	0.13	0.31	0.02
กล่อง B – 1	0.05	0.4	0.02
กล่อง B – 1	0.03	0.29	0.04
กล่อง B – 1	0.04	0.29	0.03
กล่อง B – 2	0.27	0.24	0.19
กล่อง B – 2	0.28	0.17	0.22
กล่อง B – 2	0.18	0.23	0.17
กล่อง B – 2	0.29	0.17	0.23
กล่อง B – 2	0.3	0.19	0.27
กล่อง B – 2	0.19	0.32	0.28
กล่อง B – 2	0.17	0.17	0.19
กล่อง B – 2	0.24	0.3	0.22
กล่อง B – 2	0.17	0.29	0.2
กล่อง B – 2	0.11	0.3	0.21

กล่อง B – 2	0.16	0.37	0.18
กล่อง B – 2	0.08	0.46	0.19
กล่อง B – 2	0.15	0.36	0.16
กล่อง B – 2	0.07	0.36	0.17
กล่อง B – 2	0.16	0.46	0.18
กล่อง C – 1	0.21	0.02	0.12
กล่อง C – 1	0.22	0.01	0.09
กล่อง C – 1	0.29	0.11	0.12
กล่อง C – 1	0.21	0.02	0.11
กล่อง C – 1	0.29	0.03	0.13
กล่อง C – 1	0.19	0.1	0.06
กล่อง C – 1	0.13	0.04	0.06
กล่อง C – 1	0.12	0.04	0.08
กล่อง C – 1	0.17	0.08	0.05
กล่อง C – 1	0.12	0.08	0.07
กล่อง C – 1	0.11	0.23	0.07
กล่อง C – 1	0.2	0.23	0.06
กล่อง C – 1	0.11	0.22	0.07
กล่อง C – 1	0.12	0.23	0.05
กล่อง C – 1	0.09	0.19	0.14
กล่อง C – 2	0.3	0	0.03
กล่อง C – 2	0.31	0.02	0.01
กล่อง C – 2	0.33	0.13	0.06
กล่อง C – 2	0.34	0.15	0.1
กล่อง C – 2	0.32	0.12	0.03
กล่อง C – 2	0.07	0.21	0
กล่อง C – 2	0.03	0.11	0.03
กล่อง C – 2	0.13	0.2	0.01
กล่อง C – 2	0.1	0.18	0.07
กล่อง C – 2	0.13	0.15	0

กล่อง C – 2	0.13	0.35	0.04
กล่อง C – 2	0.12	0.41	0.02
กล่อง C – 2	0.13	0.43	0.06
กล่อง C – 2	0.22	0.44	0.06
กล่อง C – 2	0.2	0.33	0.01
กล่อง D – 1	0.64	0.38	0.03
กล่อง D – 1	0.64	0.16	0.05
กล่อง D – 1	0.65	0.33	0.08
กล่อง D – 1	0.65	0.4	0.06
กล่อง D – 1	0.65	0.24	0.05
กล่อง D – 1	0.41	0.38	0.03
กล่อง D – 1	0.51	0.33	0.08
กล่อง D – 1	0.54	0.49	0.07
กล่อง D – 1	0.59	0.43	0.07
กล่อง D – 1	0.53	0.48	0.06
กล่อง D – 1	0.38	0.76	0
กล่อง D – 1	0.45	0.7	0.08
กล่อง D – 1	0.46	0.85	0.08
กล่อง D – 1	0.37	0.69	0.07
กล่อง D – 1	0.38	0.71	0.1
กล่อง D – 2	0.56	0.22	0.08
กล่อง D – 2	0.64	0.22	0.07
กล่อง D – 2	0.57	0.16	0.09
กล่อง D – 2	0.63	0.15	0.05
กล่อง D – 2	0.57	0.23	0.09
กล่อง D – 2	0.56	0.21	0.11
กล่อง D – 2	0.44	0.32	0.1
กล่อง D – 2	0.54	0.29	0.07
กล่อง D – 2	0.43	0.3	0.08
กล่อง D – 2	0.39	0.27	0.12

กล่อง D – 2	0.03	0.28	0.05
กล่อง D – 2	0.06	0.21	0.07
กล่อง D – 2	0.01	0.3	0.09
กล่อง D – 2	0.02	0.28	0.06
กล่อง D – 2	0.01	0.31	0.1



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณพล ลัดพลี
วัน เดือน ปี เกิด	01 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กำลังศึกษาต่อที่ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	9/49 หมู่บ้าน พรไพรีน ธรธारा ซอย โรงงานหลอดไฟ 10 ถนน สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ
ผลงานตีพิมพ์	N. Ladplee, A. Pimpin, W. Srituravanich, and N. Damrongplasit, "Volumetric Measurement of Rectangular Parcel Box Using LiDAR Depth Camera for Dimensioning and 3D Bin Packing Applications," presented at the 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia), 2022.