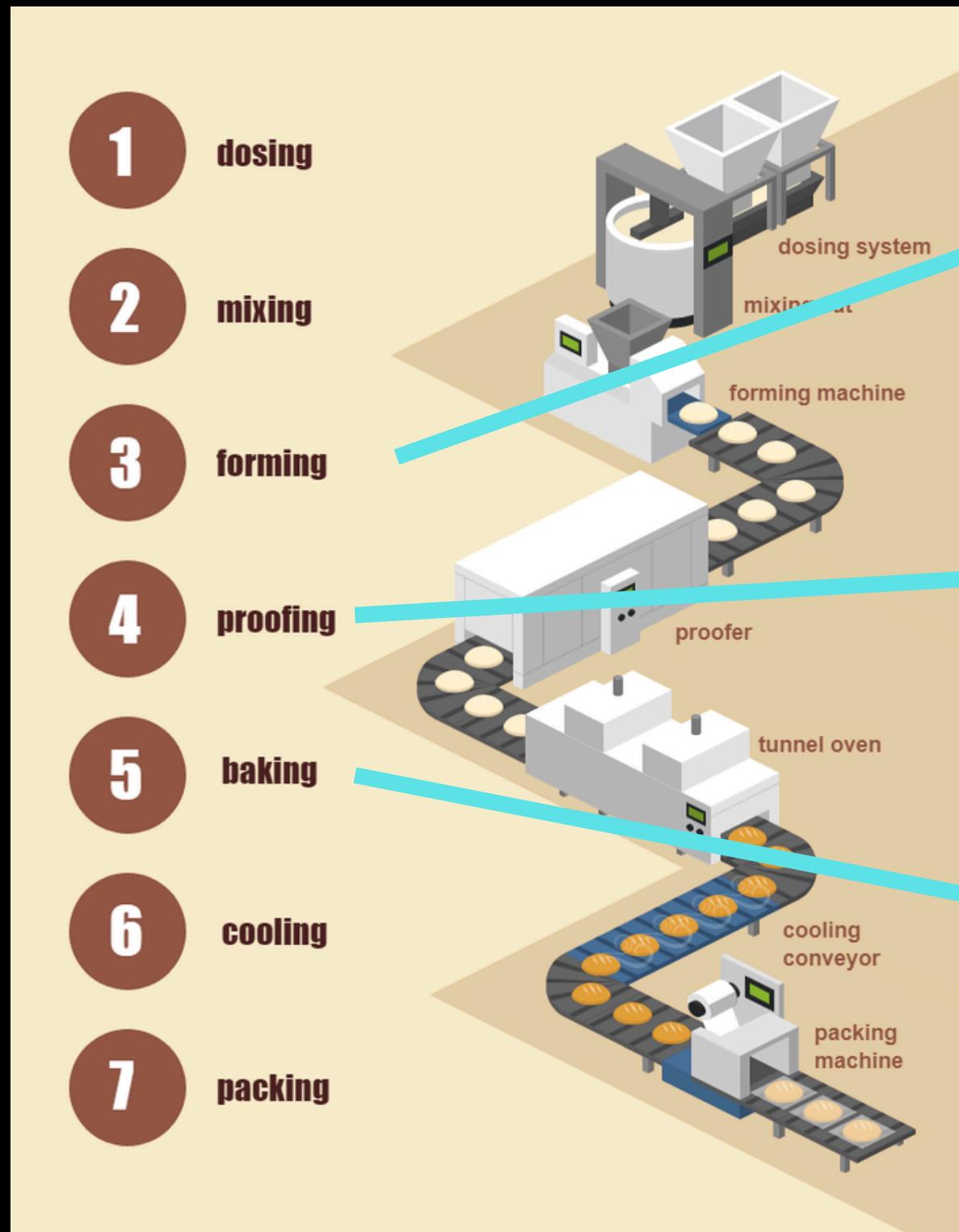


การพัฒนากระบวนการตรวจวัดคุณภาพแป้งขนมปัง^{ก่อนและหลังบ่มแบบอัตโนมัติ}



Bread making stage



การคลึง



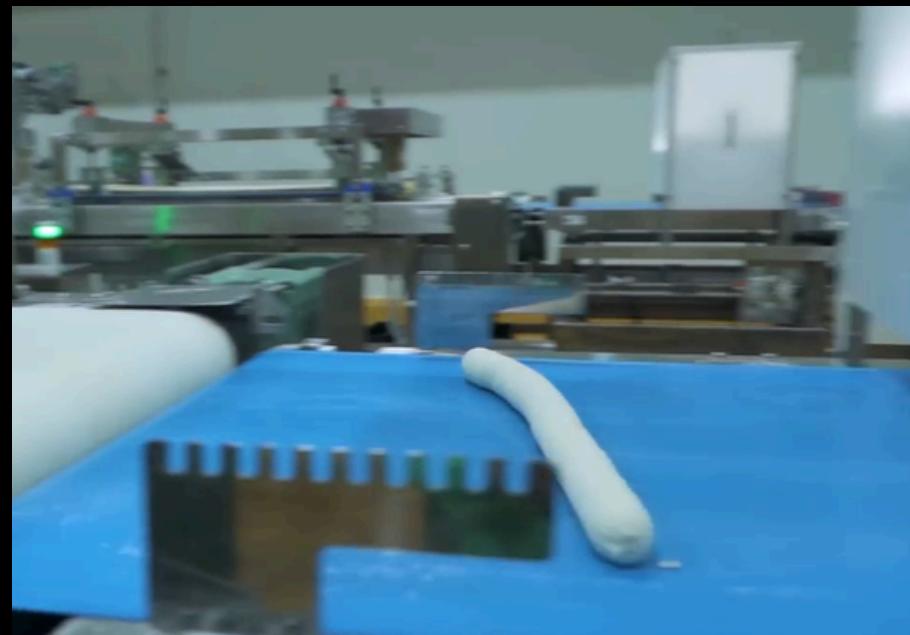
การบ่ม



การอบ

Requirement

- กำรระบบตรวจวัดขนาดของแป้งขนมปังหลังคลึง ตรวจสอดสิ่งแปลกปลอมโดยระบบกล้อง Camera Sensor / Vision System
- กำรระบบตรวจสอบคุณภาพการบ่มโดยการวัดความสูงของแป้งก่อนและหลังบ่ม
- กำรระบบจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านรูปแบบกราฟ

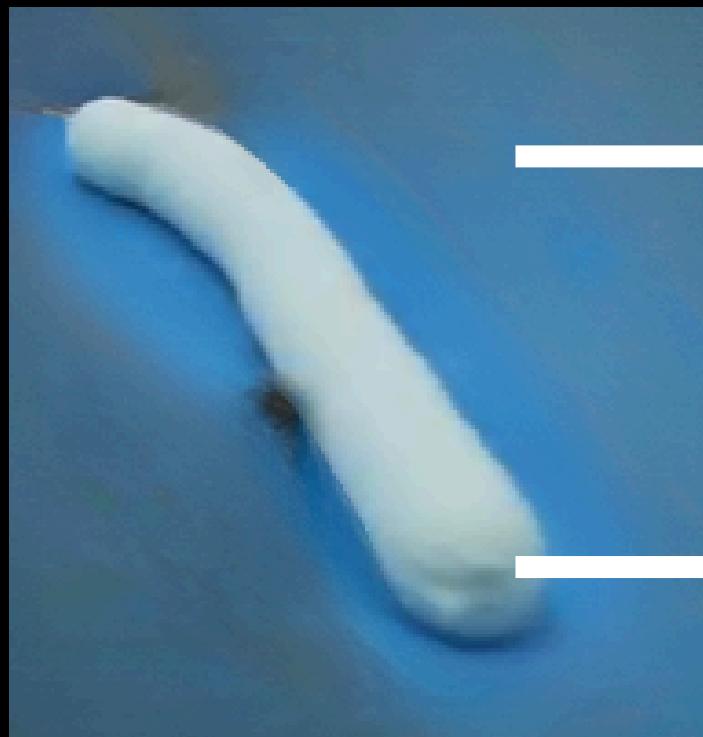


ภาพจาก youtube CPRAM

https://www.youtube.com/watch?v=fqKA3i4_U-A

Factor

หลังคลึง



วัดขนาด

หาสิ่งแปรปรวน

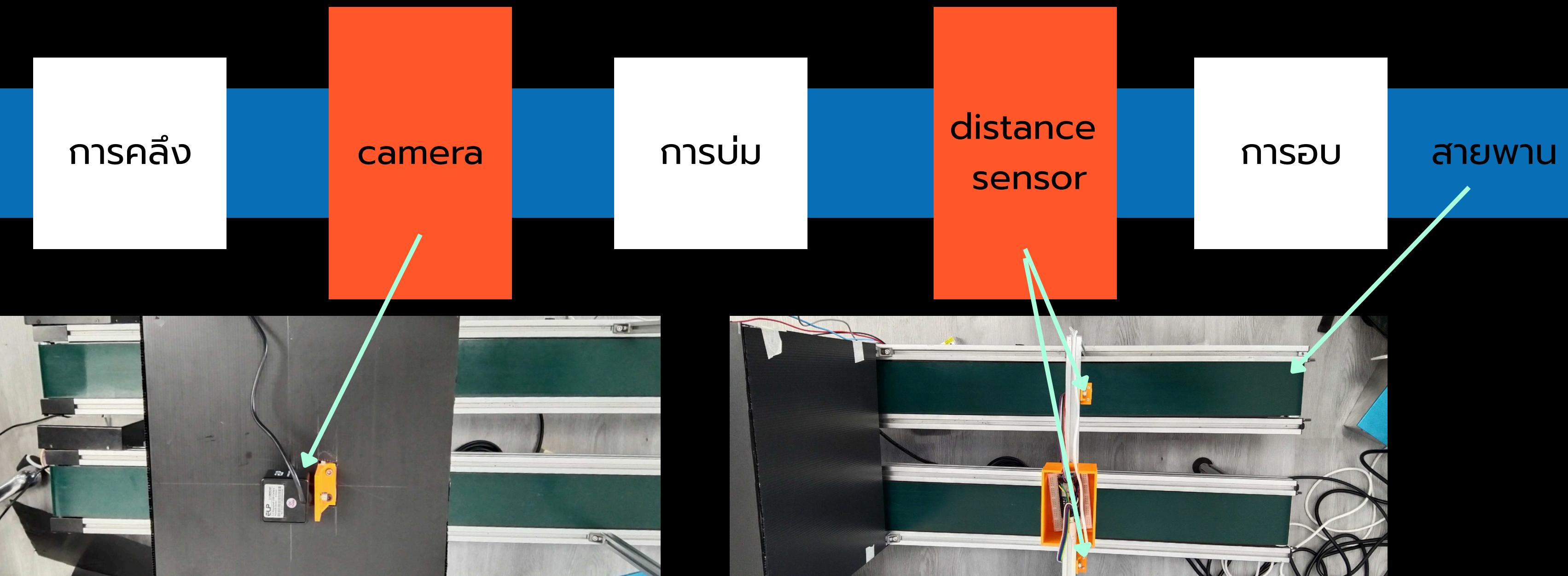
หลังบ่ม



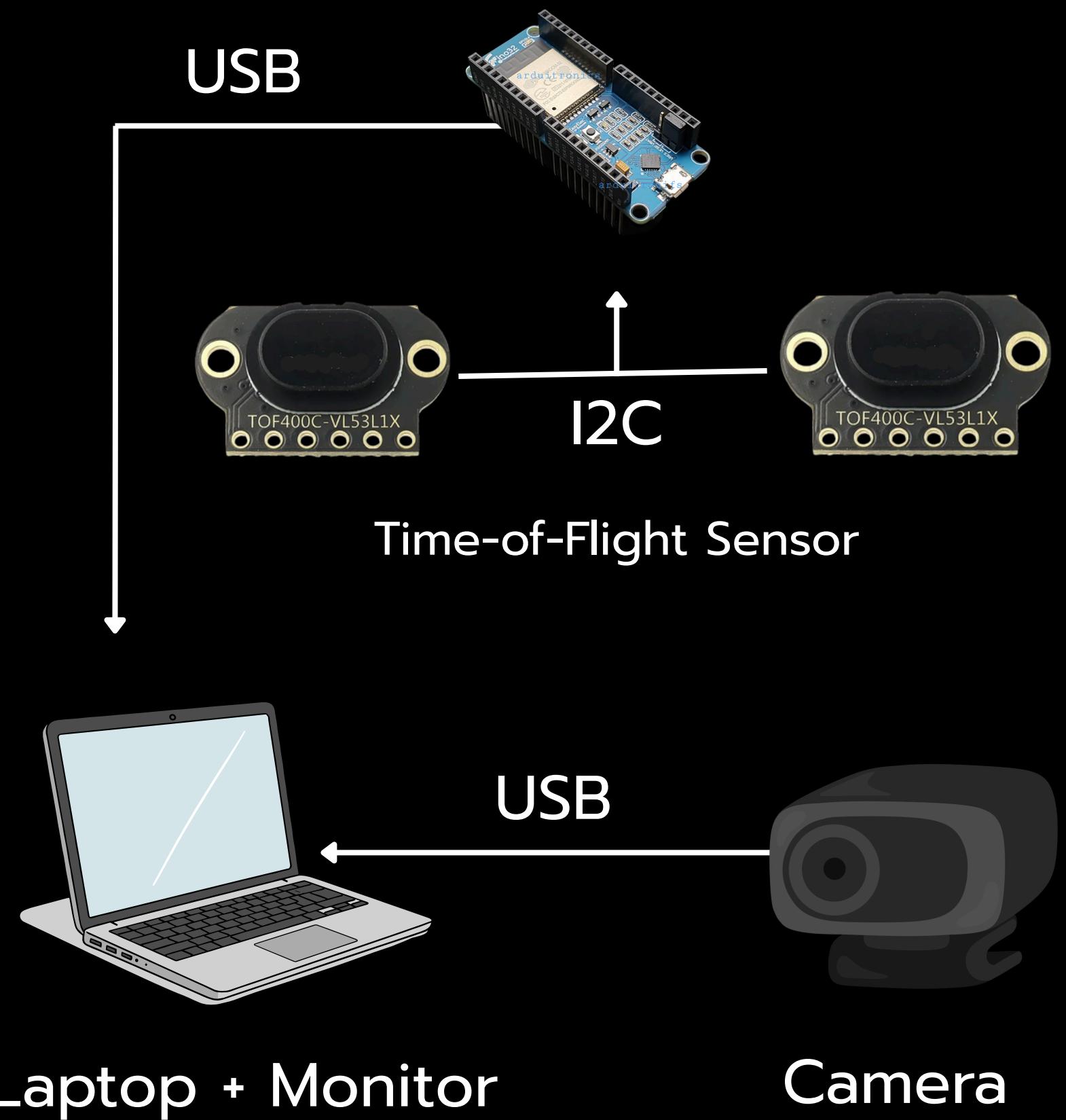
แป้งขนมปัง

ระยะจากขอบ
ของพิมพ์

Layout



Design



Power

Device	Power(Wh)
ESP32	0.24
Time-of-Flight Sensor	0.13
Laptop	60.00
Camera	0.20
Total	60.57

ค่าไฟฟ้าโดยประมาณ 0.24 บาท/ชั่วโมง
(หน่วยละ 4 บาท)

Camera



**Industrial USB Camera 5MP
MI5100 Aptina Lens 5-50mm SFV**

Sensor Categorization

ชนิดของเซนเซอร์	ข้อดี	ข้อเสีย
Ultrasonic Sensor 	<ul style="list-style-type: none"> ราคาถูกกว่า สามารถใช้ได้กับวัตถุทุกสี และใช้ได้กับวัตถุโปร่งใส ทนทานต่อฝุ่น เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นแป้ง 	<ul style="list-style-type: none"> แป้งของขนมปังจะดูดซับคลื่นเสียงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความสูง รูพรุนบนผิวขนมปังจะทำให้คลื่นเสียงกระเจิงไปในทิศทางอื่น
Light-based Time-of-Flight Sensor 	<ul style="list-style-type: none"> ความแม่นยำสูงสามารถวัดความแตกต่างของความสูงได้ในระดับมิลลิเมตร ไม่ได้รับผลกระทบจากพื้นผิวที่บุบและรูพรุนที่ดูดซับเหมือนคลื่นเสียง 	<ul style="list-style-type: none"> ราคาสูงกว่า อาจมีปัญหากับสีและพื้นผิวบางประเภท อาจถูกกรบกวนโดยแสง

Research Sensor



ที่มา :<https://ufm.co.th/tips/เคล็ดลับง่ายๆ-พักแป้งขนมปัง/>

คลื่นอัลตราโซนิกถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของขนมปัง และเมื่อลักษณะเชิงกลของขนมปังเปลี่ยนแปลงไปทำให้ค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจาก **อัลตร้าโซนิกถูกดูดซับและกระเจิงในโครงสร้างพรุน และโครงสร้างฟองอากาศในขนมปังทำให้คลื่นเสียงถูกดูดซับ**

ที่มา H.M Elmehdi, J.H Page, M.G Scanlon, Using ultrasound to investigate the cellular structure of bread crumb, Journal of Cereal Science, Volume 38, Issue 1, 2003, Pages 33-42, ISSN 0733-5210, [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00002-X) (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073352100300002X>)

Research Sensor



จากบทความของผู้ผลิตเซนเซอร์อัลตราโซนิก
วัสดุอ่อนหรือผิวไม่เรียบ มักดูดซับหรือหักเหคลื่น
ทำให้วัดระยะผิดพลาด

ที่มา [https://maxbotix.com/blogs/blog/advantages-limitations-ultrasonic-sensors?
srsltid=AfmBOopNKLFOHz3N3cEM6BI9MsTt0wWvTqunOZIpuwGSGCrl48zD99p3&utm_](https://maxbotix.com/blogs/blog/advantages-limitations-ultrasonic-sensors?srsltid=AfmBOopNKLFOHz3N3cEM6BI9MsTt0wWvTqunOZIpuwGSGCrl48zD99p3&utm_)

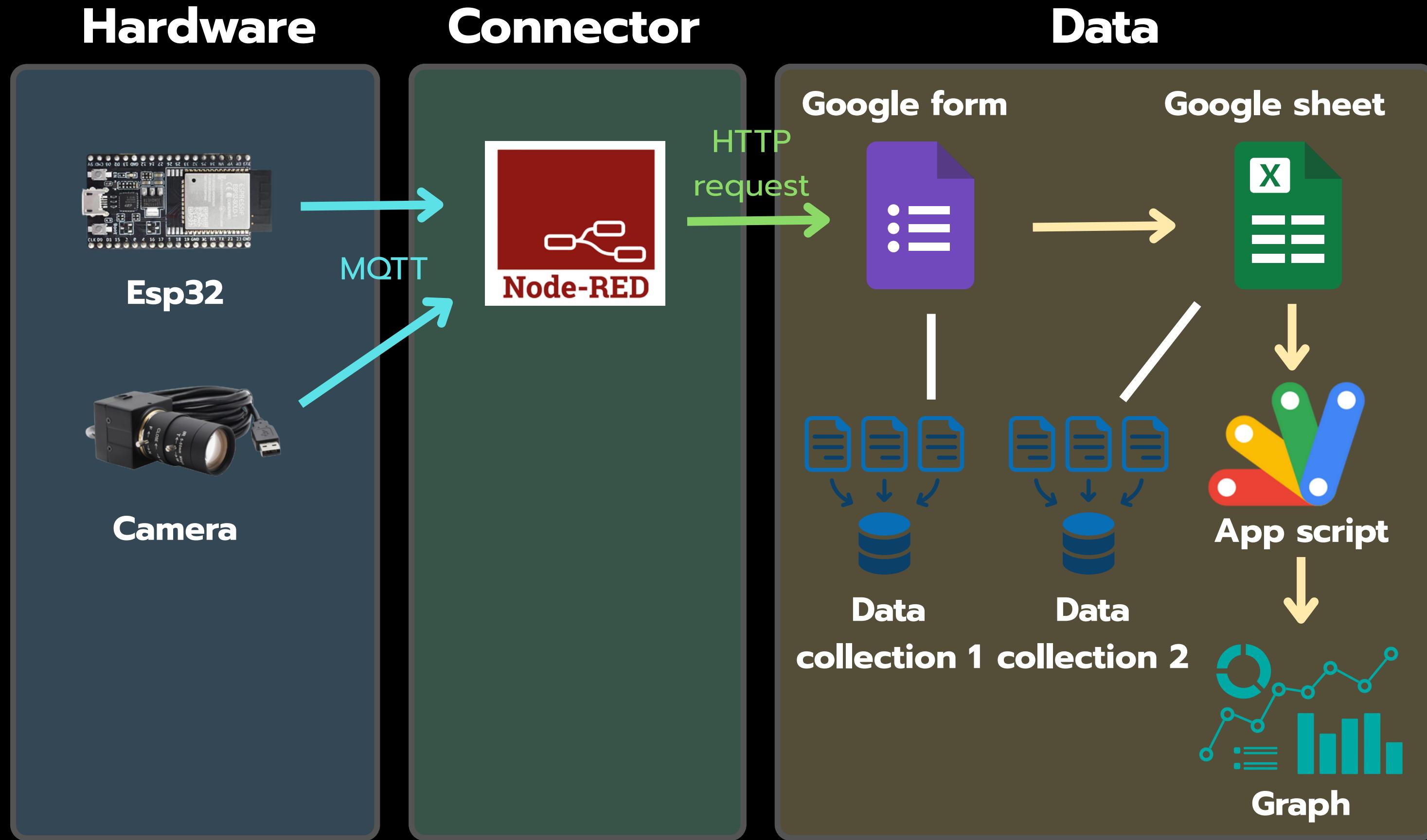
ที่มา :<https://howemagazine.com/26608-2/>

Selected Sensor

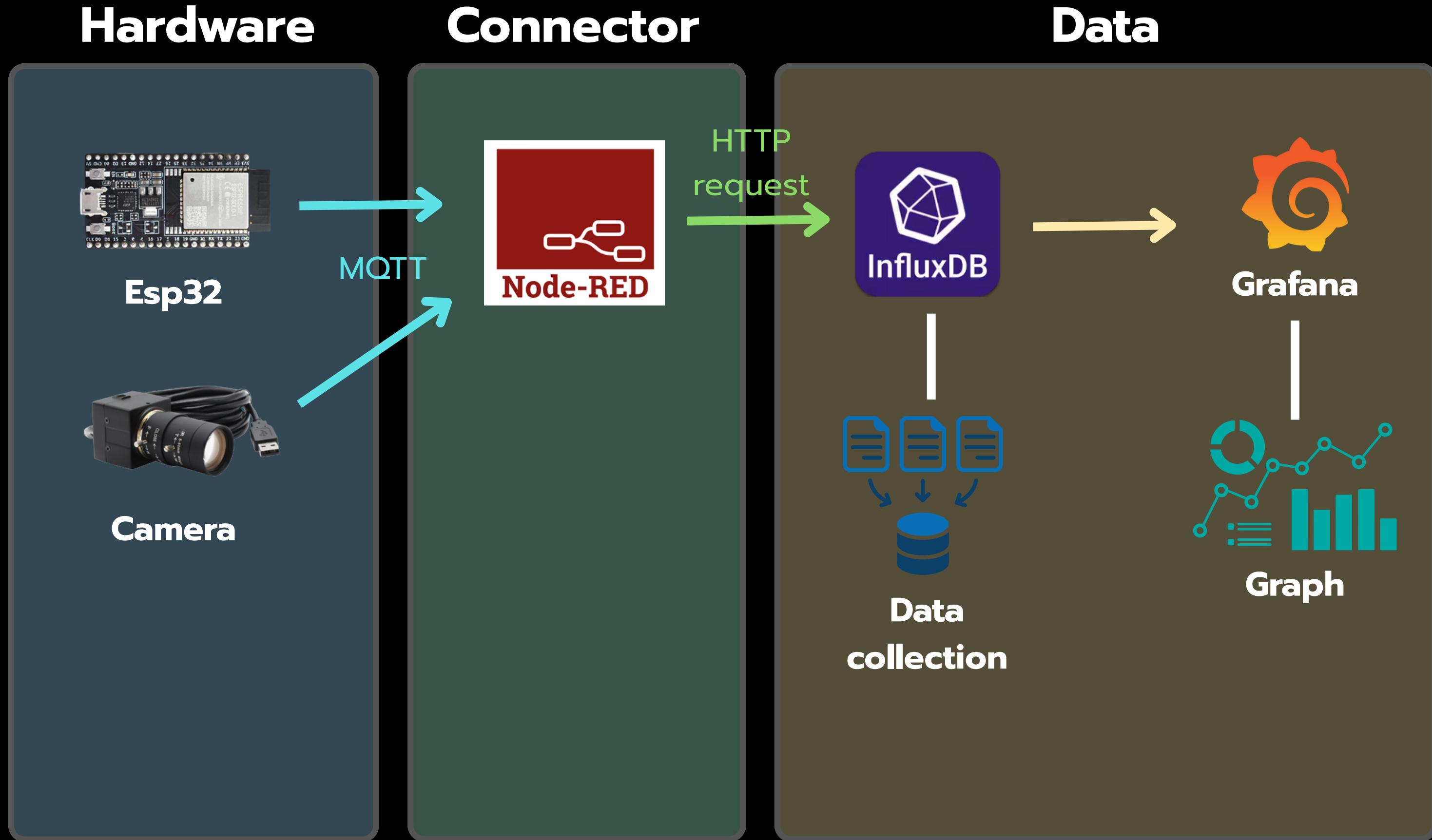


Light-based Time-of-Flight Sensor

Plan Software version 1

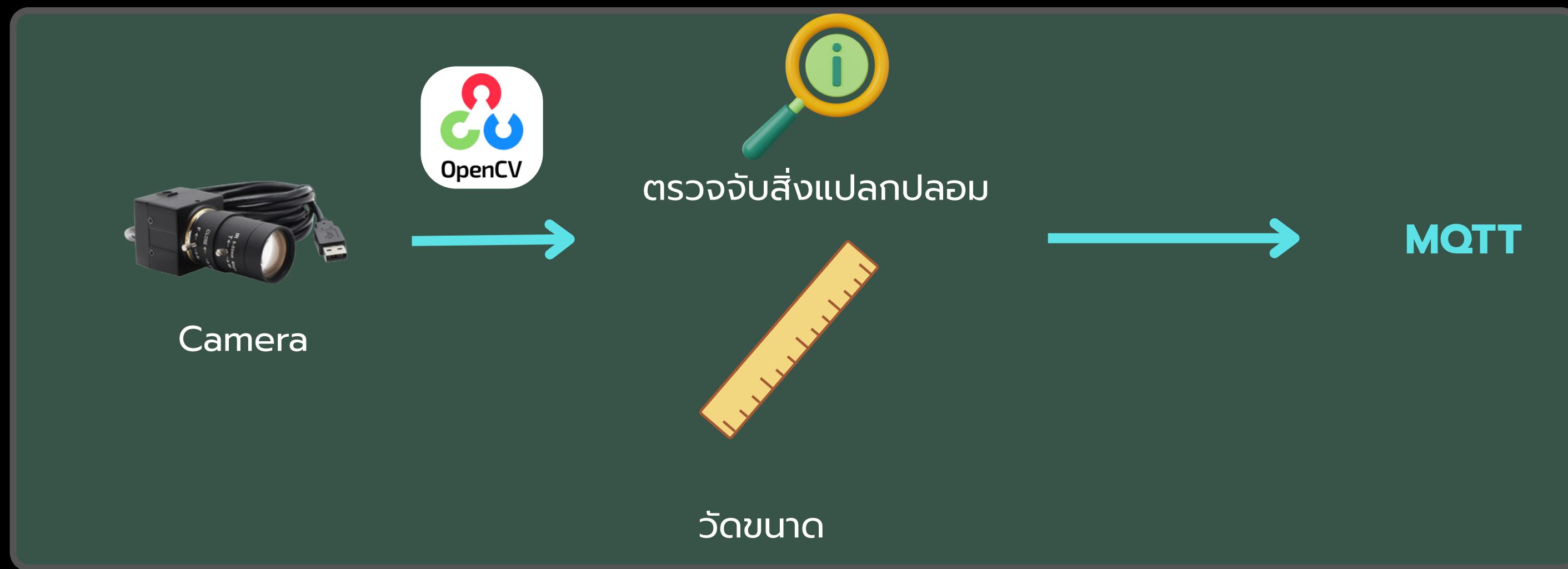


Plan Software version 2



Process

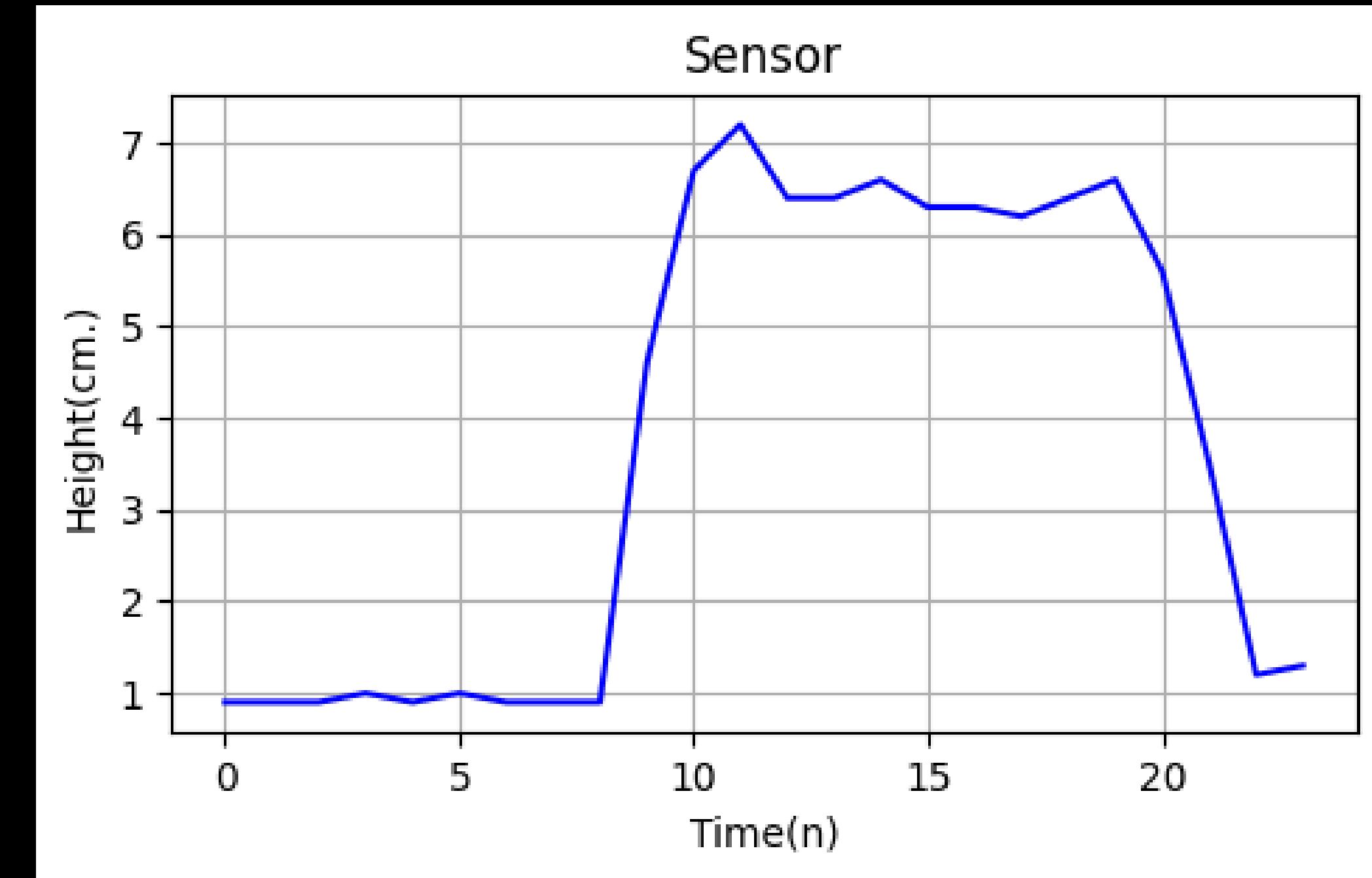
Hardware



Process



Data From Sensor



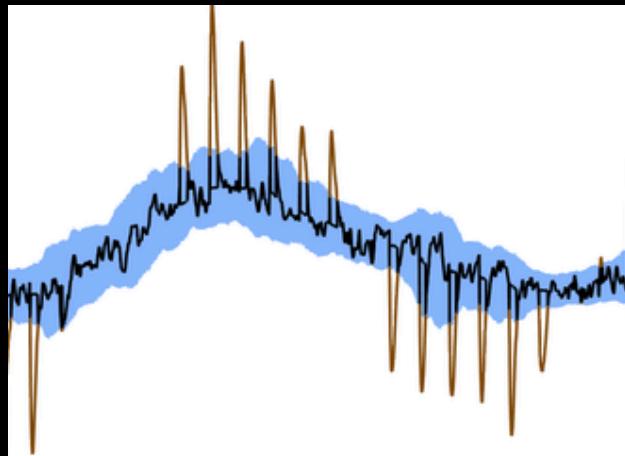
Process



Techniques

Filter

Hampel Filter



ที่มา :
<https://www.researchgate.net/publication/334204040/figure/fig14/AS:776967888580616@1562254988728/Hampel-filter-replacing-outliers-with-running-median.ppm>

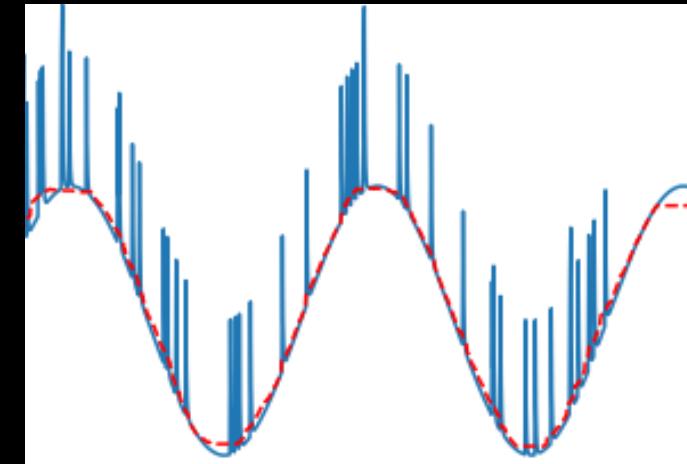
ข้อดี

- ตัดข้อมูลตรงจุด
- คงรูปข้อมูลได้ดี
- ยืดหยุ่น

ข้อเสีย

- ต้องคำนวณเยอะ
- ถ้าปรับค่า t ไม่ดีอาจผิดพลาด

Median Filter



ที่มา :
<https://learn.flucoma.org/learn/me/dian-filters/median-filter.png>

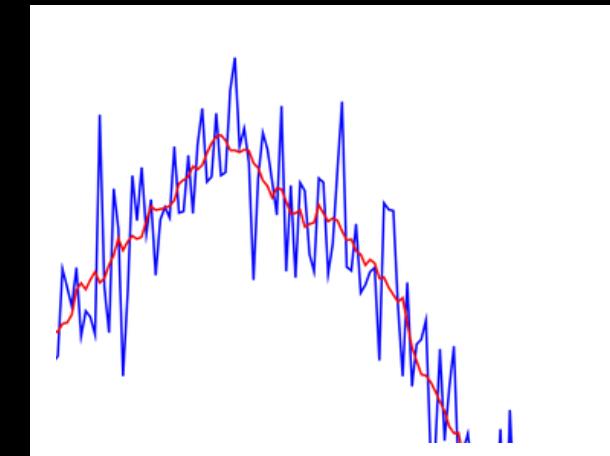
ข้อดี

- ตัด impulse noise ได้ดี
- ง่าย

ข้อเสีย

- คงรูปข้อมูลไม่ดี

Moving Average



ที่มา :
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6d/Lissage_sinus_bruite_moyenne_glissante.svg/1200px-Lissage_sinus_bruite_moyenne_glisante.svg.png

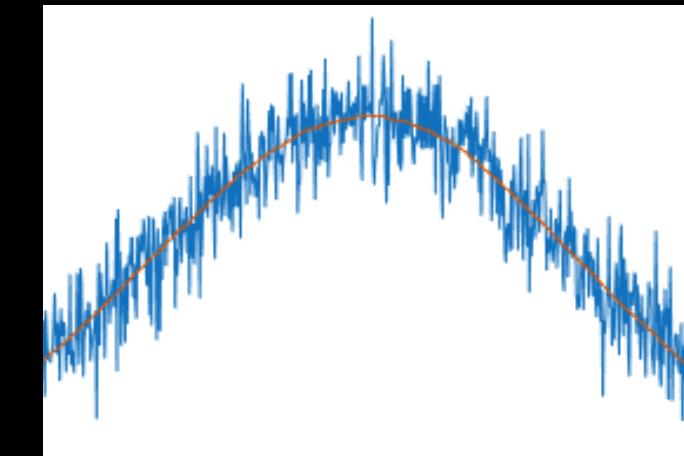
ข้อดี

- เบาและง่ายที่สุด
- ลด white noise ได้ดี

ข้อเสีย

- ไม่เหมาะสมกับไสป์ก

Savitzky-Golay Filter



ที่มา :
https://www.mathworks.com/help/examples/signal/win64/DesignAndAnalysisOfSavitzkyGolayFiltersExample_01.png

ข้อดี

- คงรูปข้อมูลได้ดี
- เหมาะสมสำหรับอ่าค่าสูงสุดรูปโคลั่ง

ข้อเสีย

- ไม่ได้ตัดข้อมูลที่ผิดพลาด

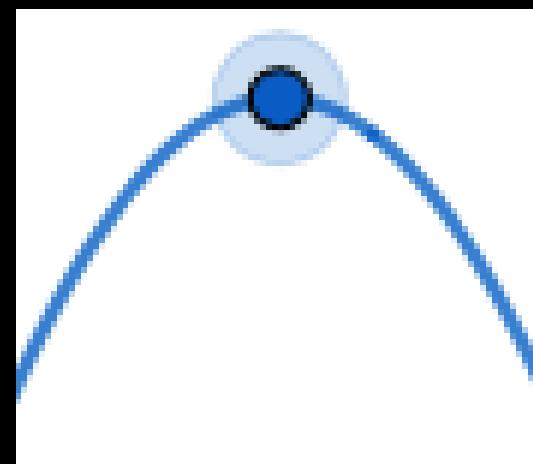
Process



Techniques

Max

Measure



กี่มา :
https://study.com/cimages/multimages/16/screen_shot_2021-10-13_at_11.50.31_am8174590609693439852.png

ข้อดี

- ง่าย
- ถ้าข้อมูลเดียว แม่นยำ

ข้อเสีย

- ถ้าข้อมูลไม่เดียว ไม่แม่นยำ

Average

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

กี่มา :
https://qualityamerica.com/images/ebx_-83353061.jpg

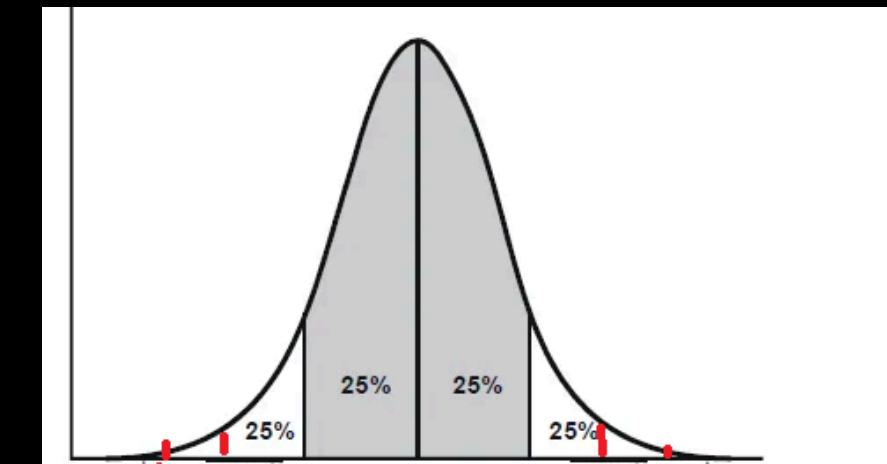
ข้อดี

- ง่าย
- แปรปรวนน้อย

ข้อเสีย

- ไม่ใช้ความสูงที่แท้จริง

Quantile 95



กี่มา :
<https://i.sstatic.net/AXEzg.png>

ข้อดี

- เป็นความสูงที่แท้จริง
- แปรปรวนน้อย

ข้อเสีย

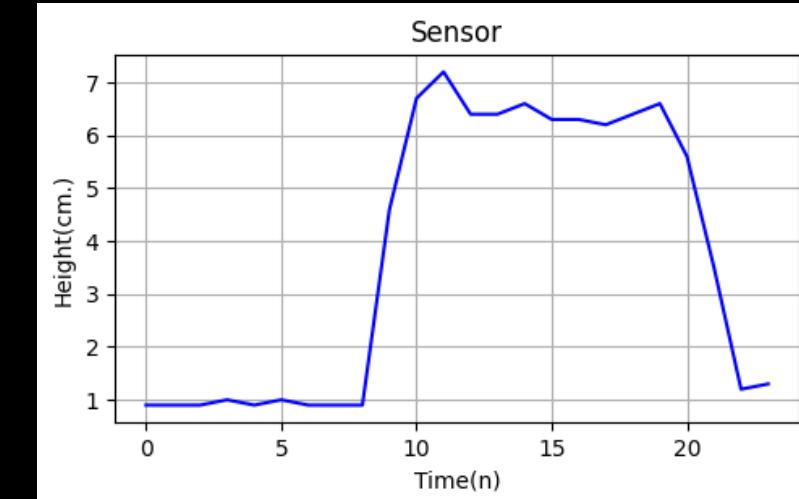
- ต้องมีข้อมูลพอสมควร

Process



Test Algorithm

Test Algorithm				
Filter	Measure	Inaccurate (%)	C.V. (%)	Big O Notation
Hampel+SG	P95	9.46%	1.85%	$O(N \log N)$
	Max	7.71%	2.19%	$O(N)$
	Avg	41.69%	12.78%	$O(N)$
Median+SG	P95	8.00%	2.23%	$O(N \log N)$
	Max	6.12%	1.71%	$O(N)$
	Avg	41.64%	12.75%	$O(N)$
MA+SG	P95	9.27%	1.21%	$O(N \log N)$
	Max	7.62%	1.20%	$O(N)$
	Avg	41.15%	12.86%	$O(N)$
Hampel	P95	9.51%	2.14%	$O(N \log N)$
	Max	7.75%	2.41%	$O(N)$
	Avg	41.69%	12.84%	$O(N)$
Median	P95	7.44%	2.31%	$O(N \log N)$
	Max	7.30%	2.28%	$O(N)$
	Avg	41.65%	12.81%	$O(N)$
MA	P95	9.33%	1.28%	$O(N \log N)$
	Max	7.95%	1.23%	$O(N)$
	Avg	41.19%	12.86%	$O(N)$



30 sampling

Median + Savitzky-Golay + Max

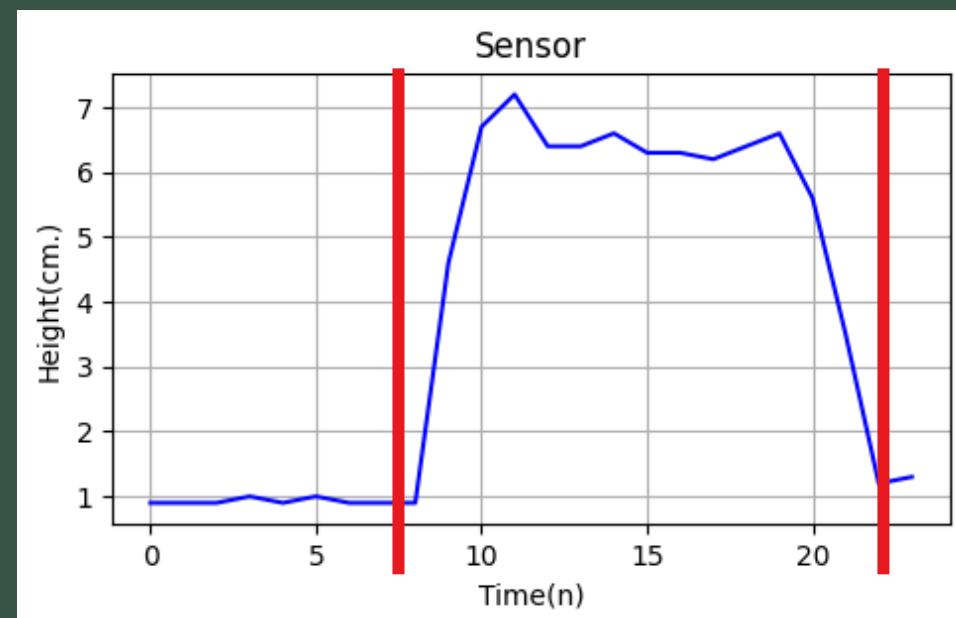
อันดับที่ 1

อันดับที่ 2

อันดับที่ 3

Process

Summary



Raw Data

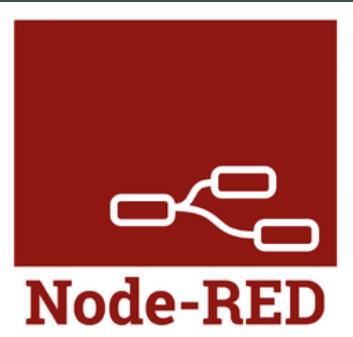


**Median
Savitzky-Golay
Max**

Algorithm

**high: 1.25
distance: 8.78
status: 0**

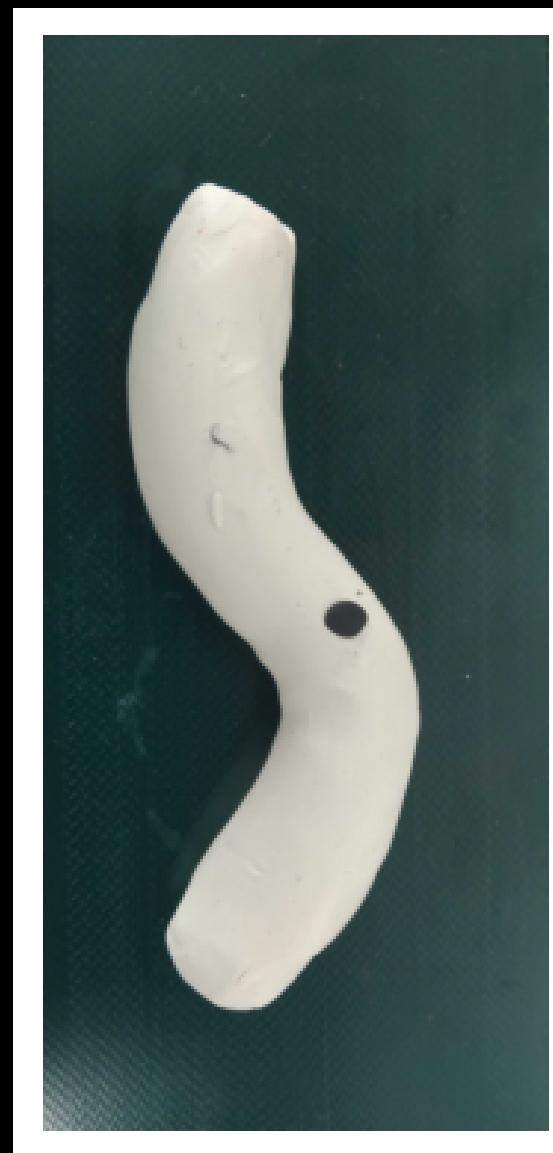
Json



Process



OpenCV



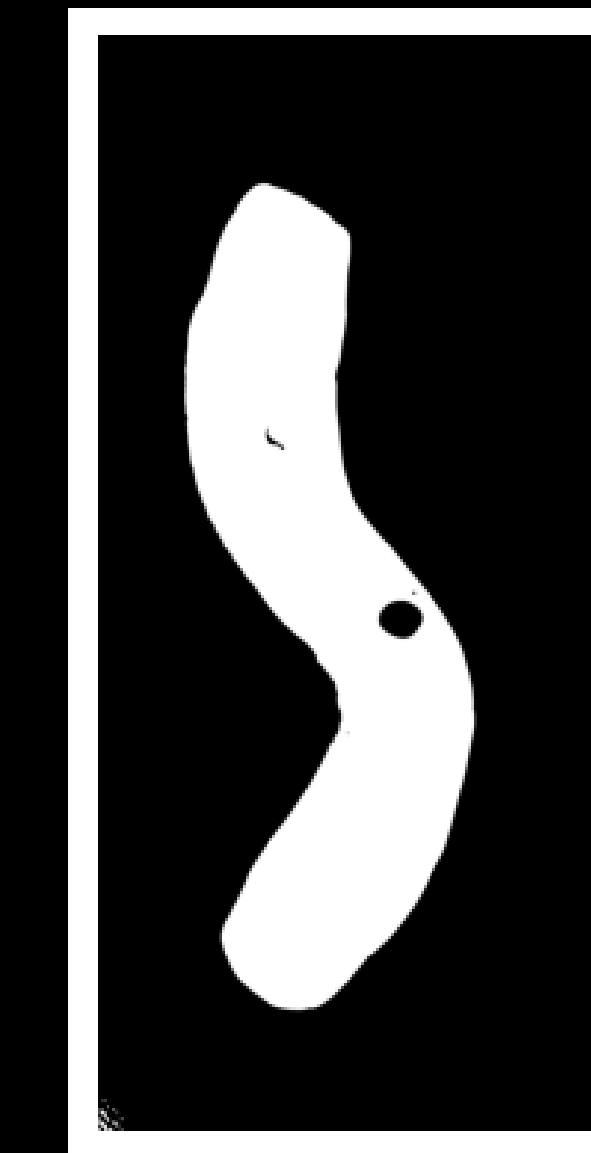
Image



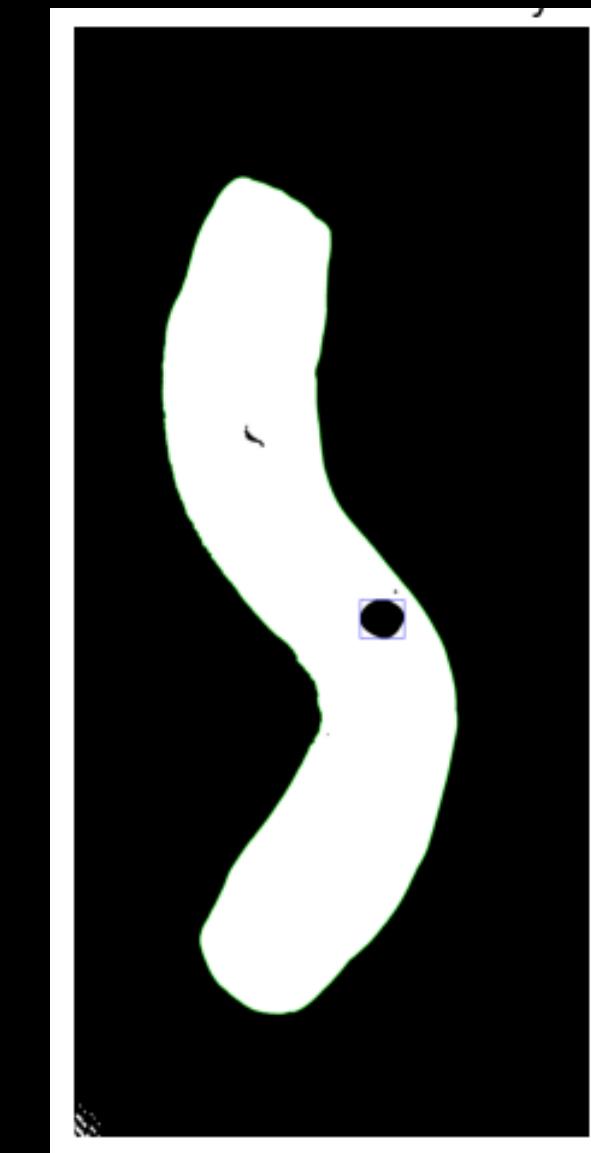
GaussianBlur



HSV



Mask
Morphological

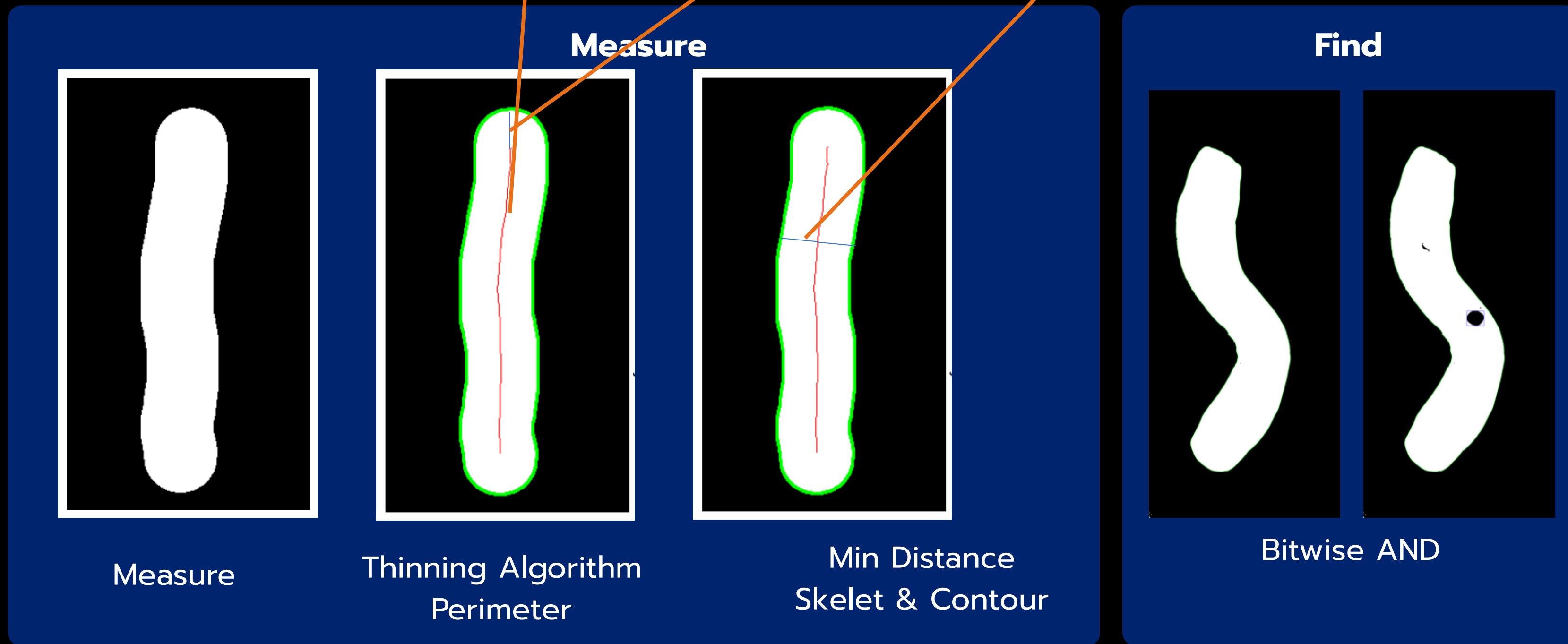


Contour
Measure
Find

Process



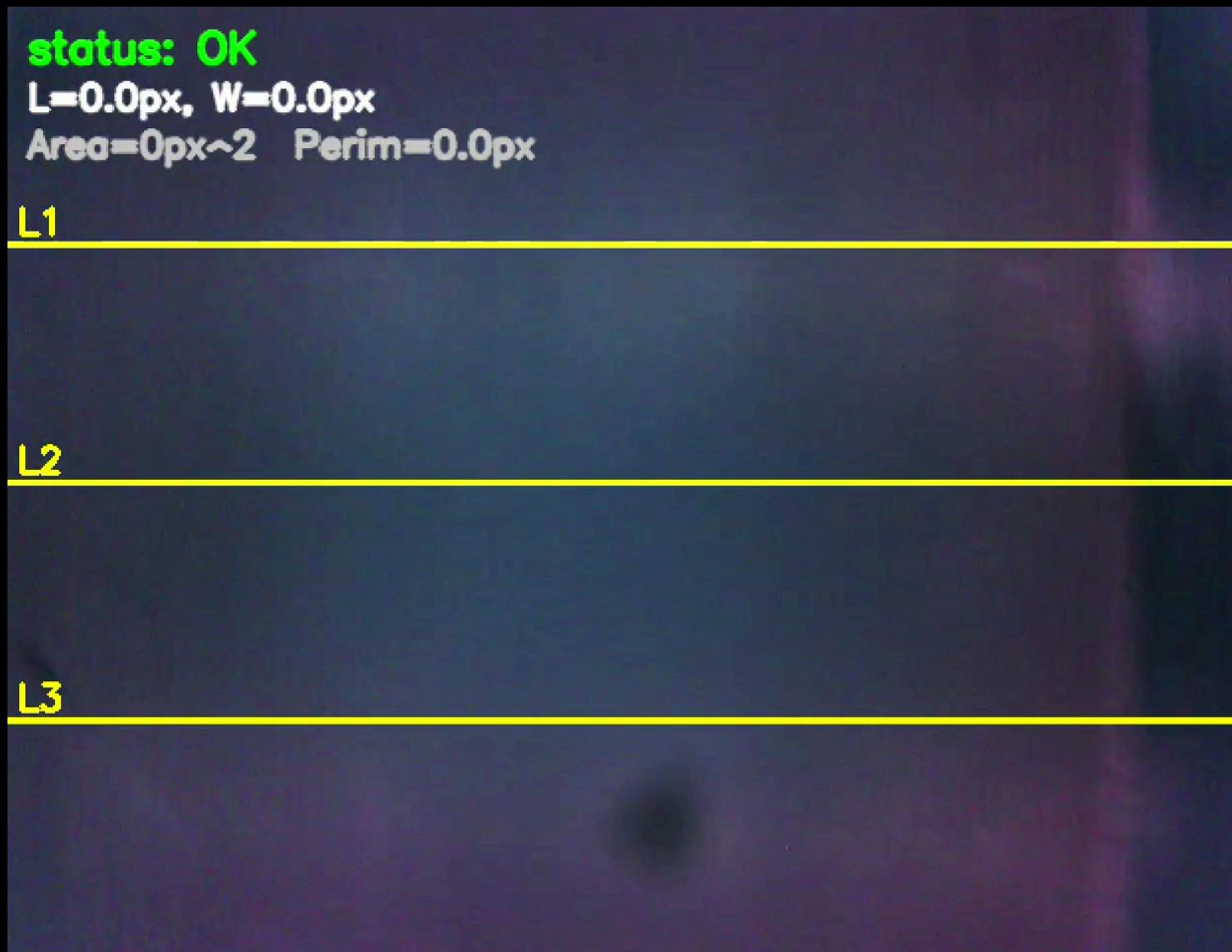
OpenCV



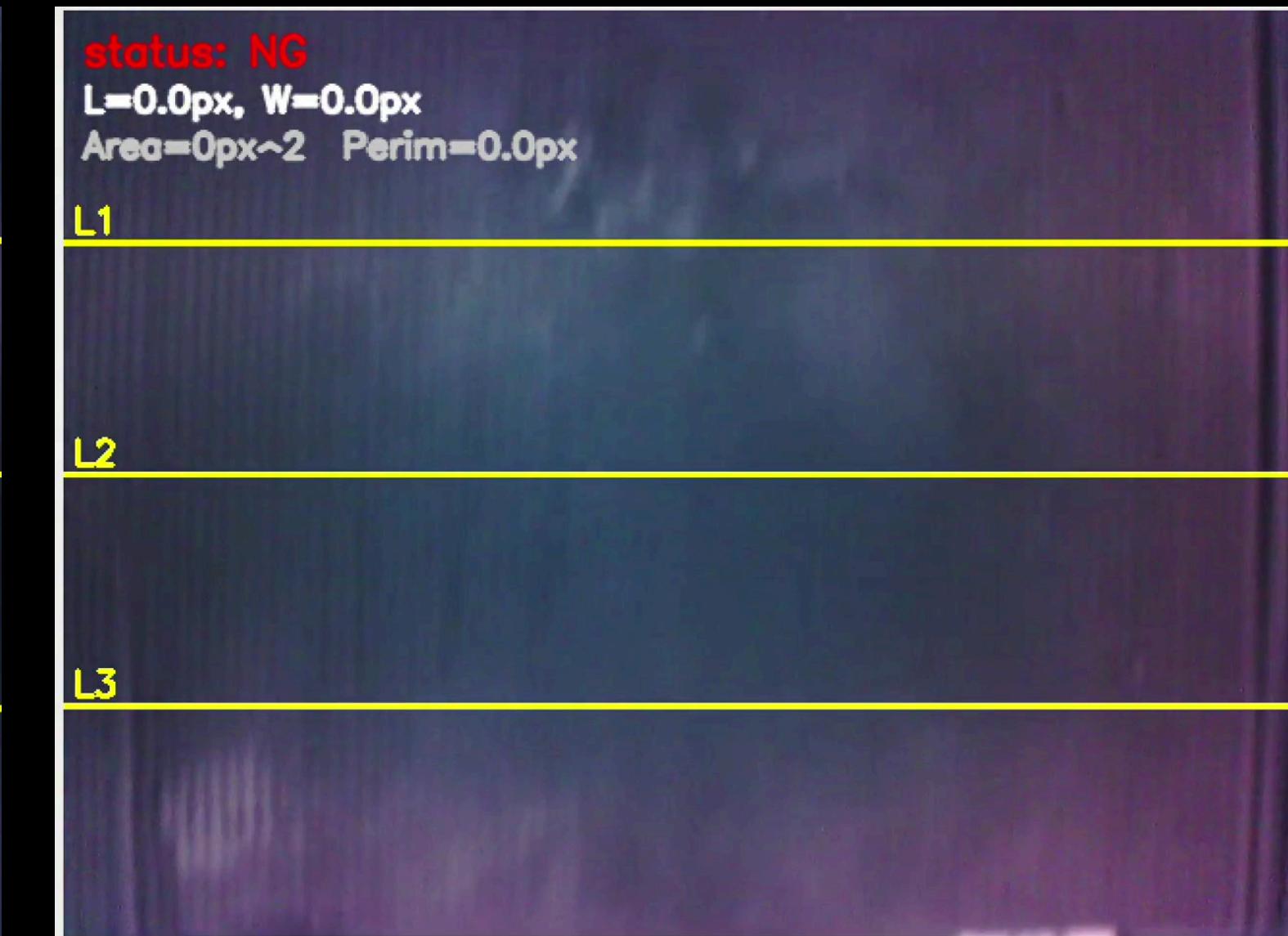
Process



OpenCV



แป้งที่**ไม่มี**สิ่งแปลงปлом

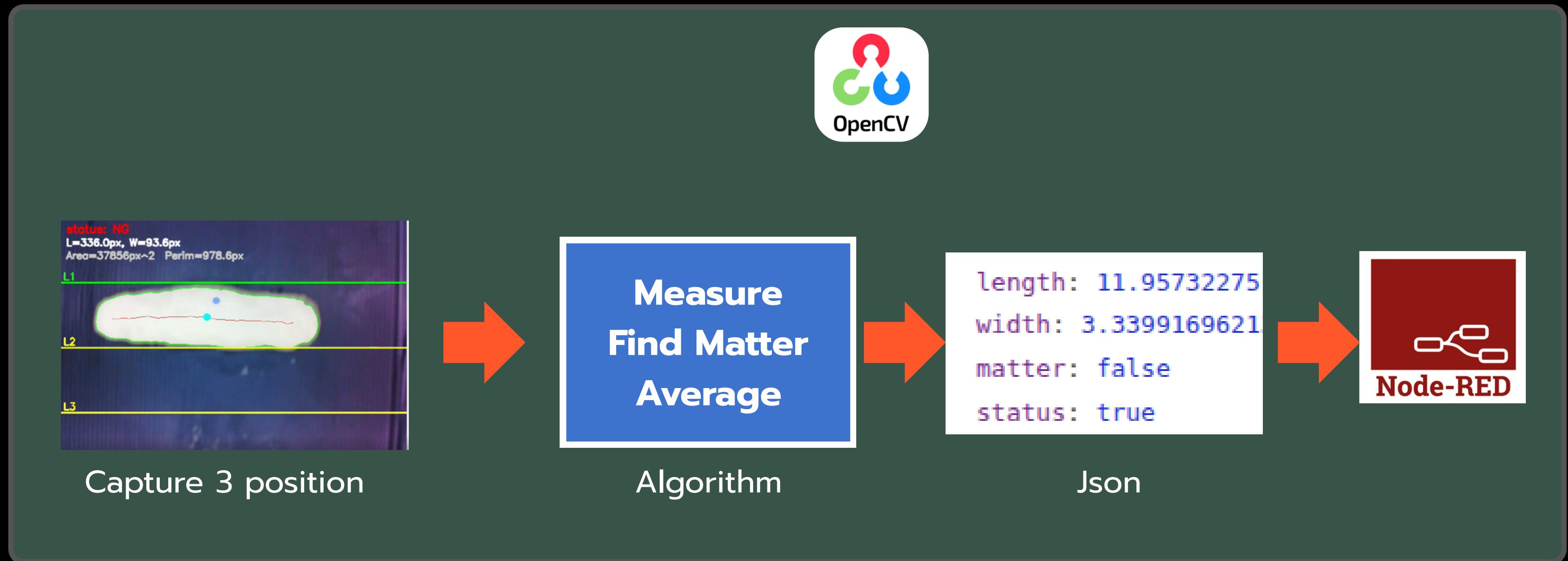


แป้งที่**มี**สิ่งแปลงปлом

Process

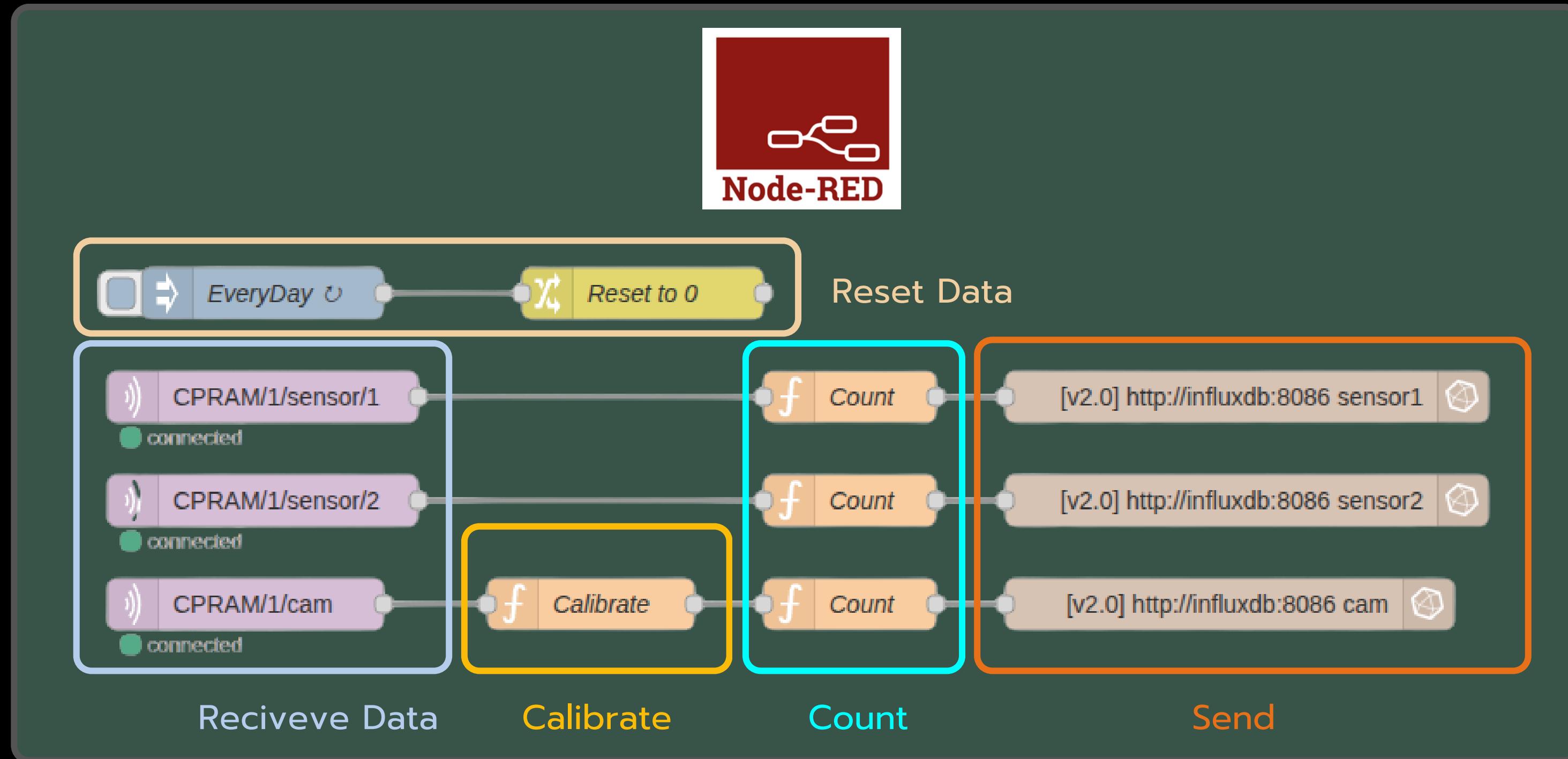


Summary



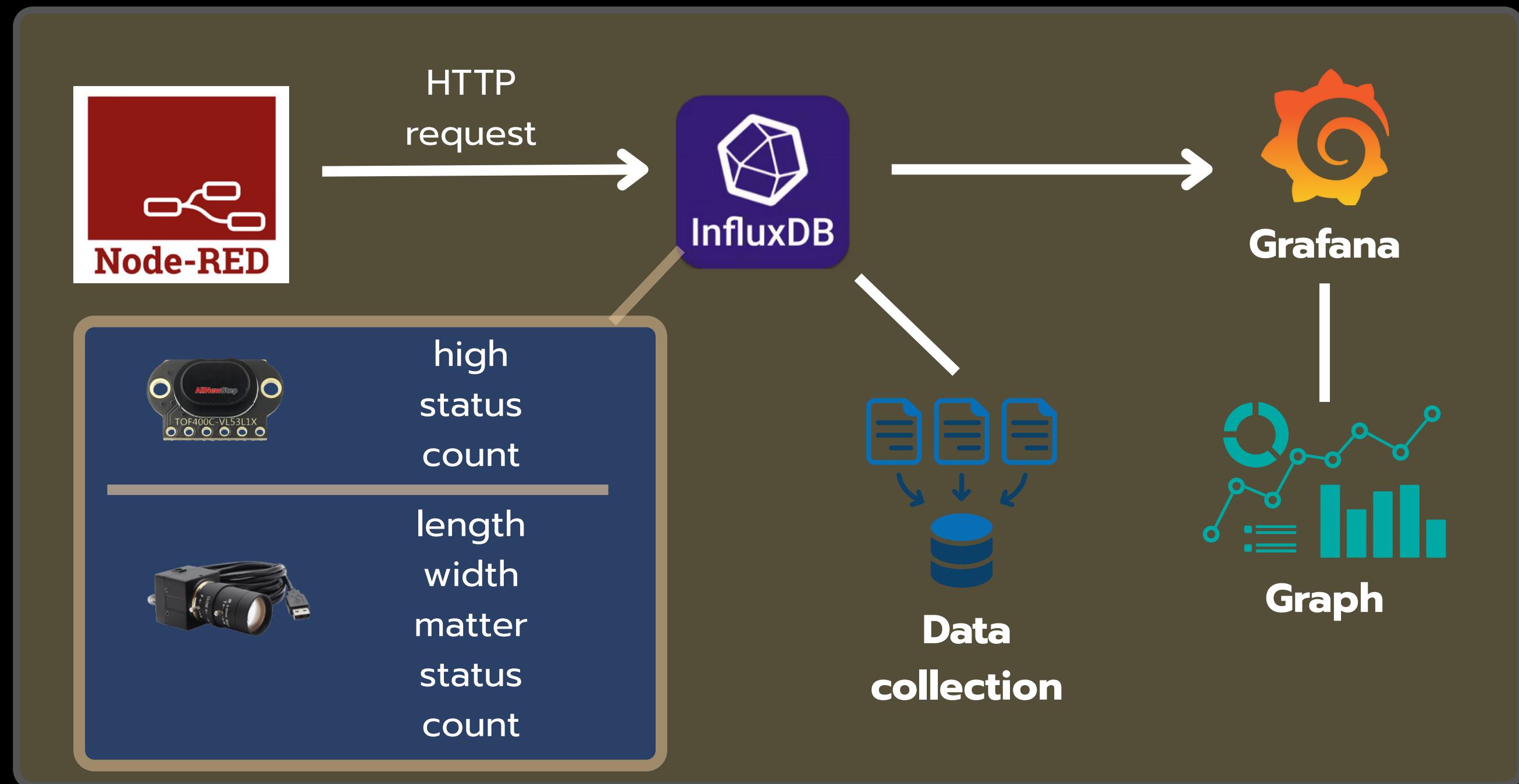
Process

Connector



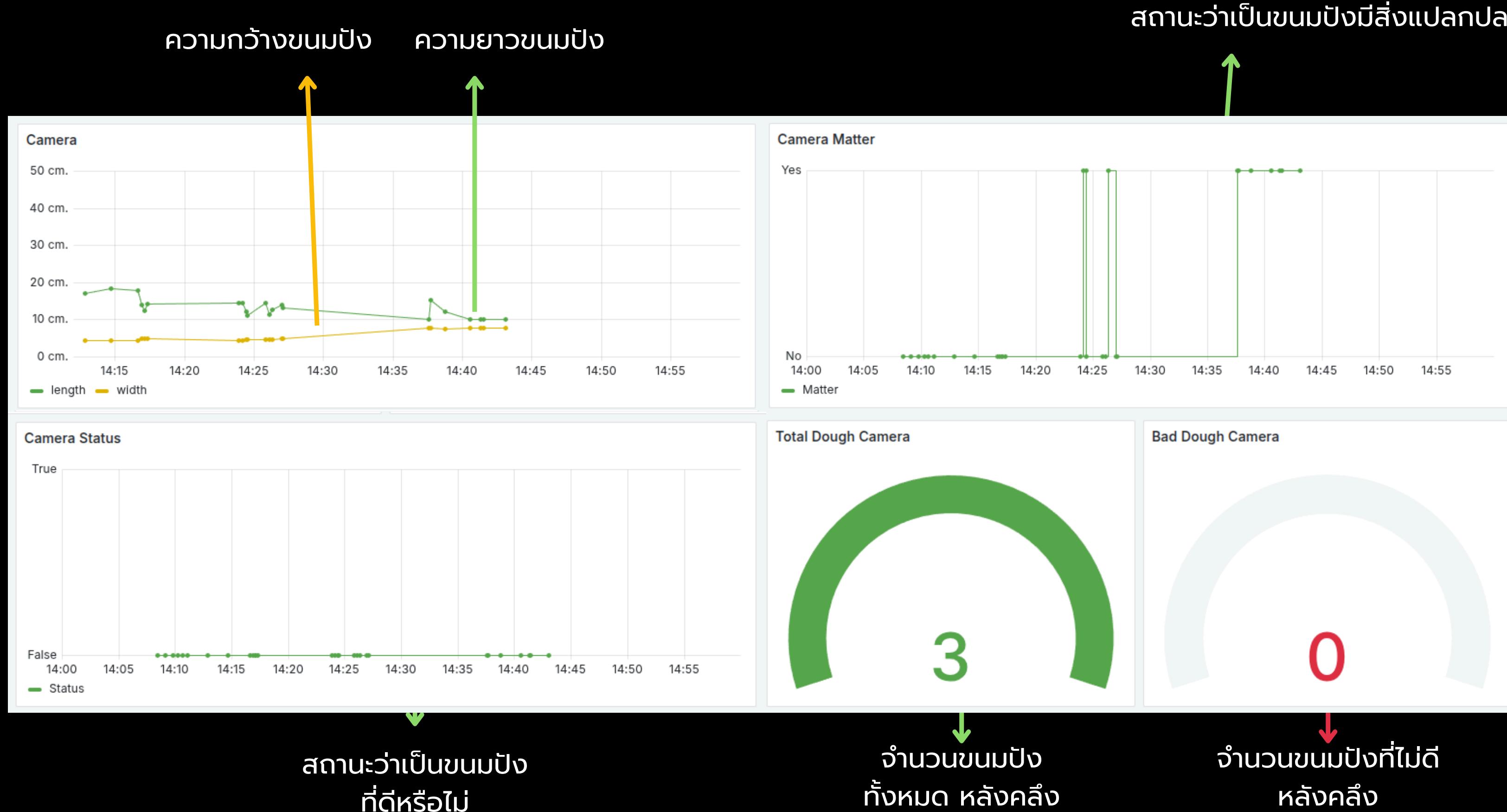
Process

Data



Result

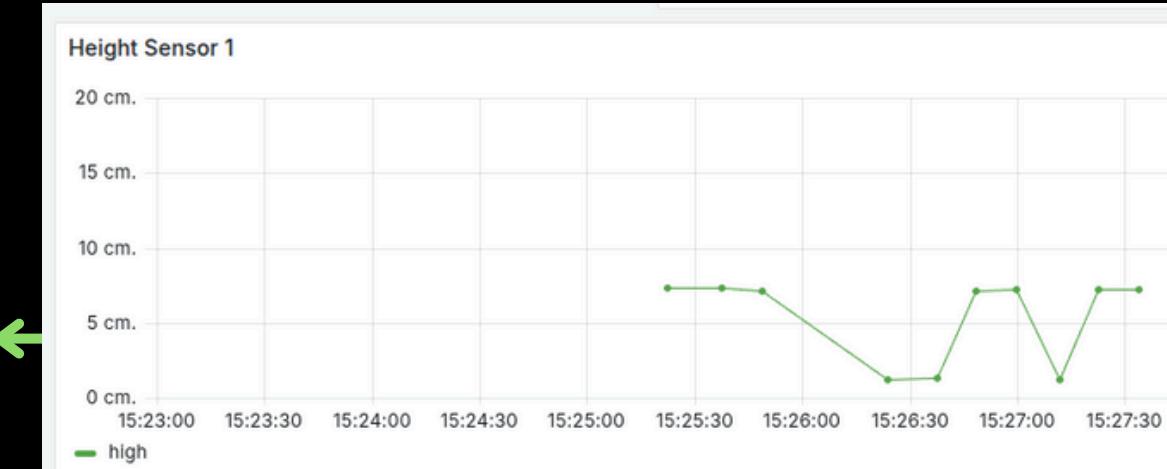
หลังคลึง



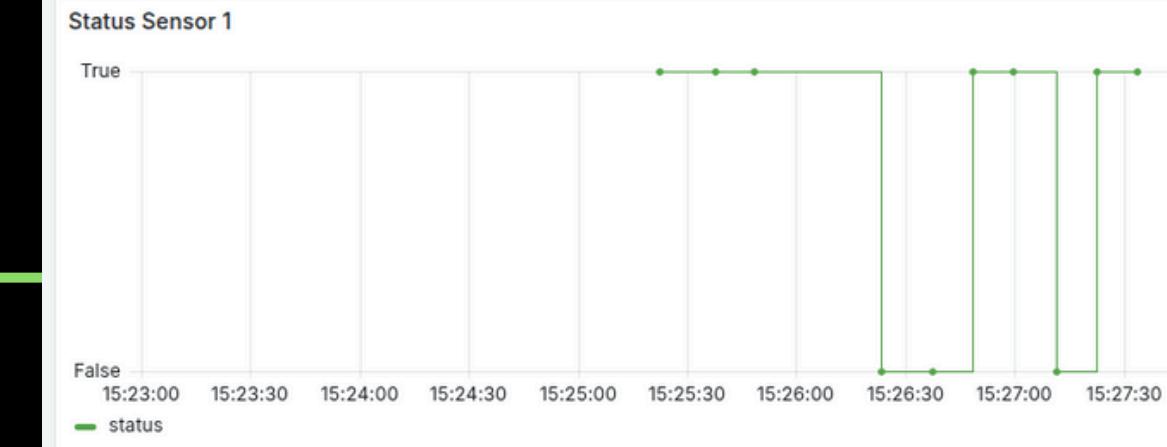
Result

หลังบ่ม

ความสูงขนมปัง ราง 1



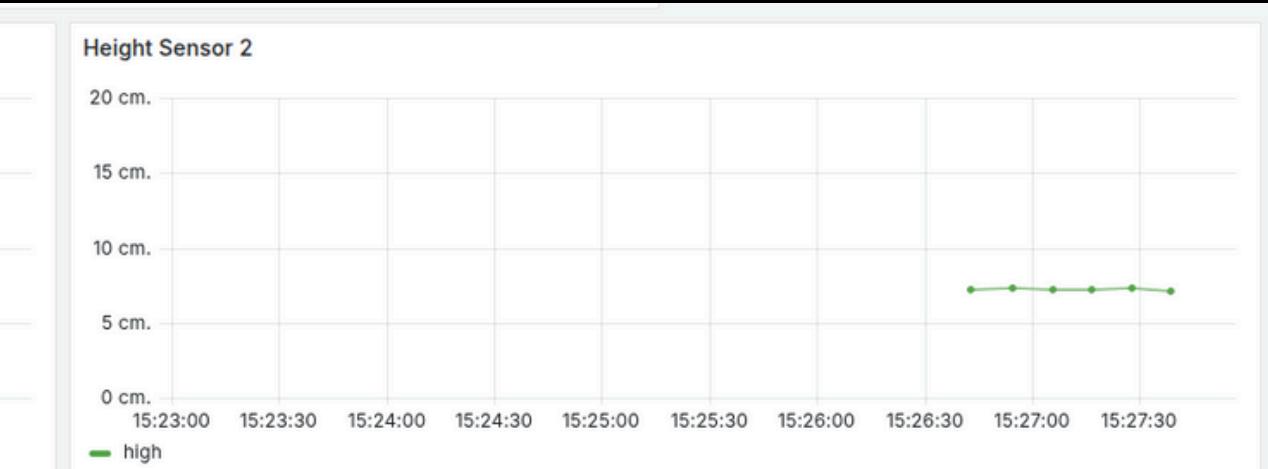
สถานะเป็นขนมปัง
ที่ดีหรือไม่ดี ราง 1



จำนวนขนมปัง
กั้งหมด ราง 1



จำนวนขนมปังที่ไม่ดี
ราง 1



→ ความสูงขนมปัง ราง 2

→ สถานะเป็นขนมปัง
ที่ดีหรือไม่ดี ราง 2

จำนวนขนมปัง
กั้งหมด ราง 2

จำนวนขนมปังที่ไม่ดี
ราง 2

Evaluation

Confusion Matrix (ประสิทธิภาพของการตรวจสอบสิ่งแปรกปลอมในแป้งหลังคลึง)

		Actual
Predicted	No Matter	Matter
	No Matter	Matter
No Matter	51	12
Matter	9	48

sampling = 120 ครั้ง

Precision = 0.85

ความแม่นยำของการเตือนเมื่อเจอสิ่งแปรกปลอมอยู่ที่ 85%
เนื่องจากเป็นค่าที่ลดลงจากจำนวนครั้งที่ไมเดลทำนายแป้งดีว่า[†]
เป็นแป้งเสียซึ่งเกิดขึ้น 9 ครั้งจาก 60 ครั้ง

Recall = 0.81

ความแม่นยำในการตรวจจับสิ่งแปรกปลอมอยู่ที่ 81%
เนื่องจากเป็นค่าที่จะลดลงจากจำนวนครั้งที่ไมเดลทำนาย
แป้งเสียว่าเป็นแป้งดีซึ่งเกิดขึ้น 12 ครั้งจาก 60 ครั้ง

ดังนั้นโมเดลตัวนี้จะมีโอกาสปล่อยแป้งเสียให้ผ่านเข้า
ระบบการผลิตถึง 19% ซึ่งสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้

Solutions

1. ปรับปรุงการตัด Noise

ปัญหา : algorithm กี่ลบ noise ทำให้ข้อมูลที่สำคัญของภาพหายไป

แนวทางการแก้ไข : ลดความแรงของ Filter หรือลดค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมความเบลอ หรือ เปลี่ยนประเภทของ Filter ที่ใช้งาน

2. แก้ปัญหา Frame Rate ต่ำ

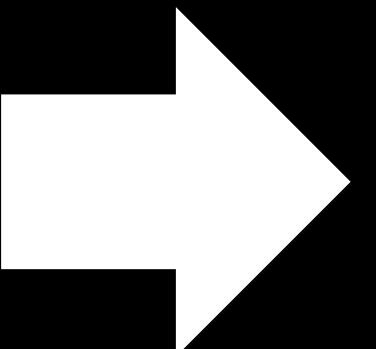
ปัญหา : FPS ต่ำ ขณะบนปังกีเคลื่อนที่บนสายพานทำให้กล้องจับภาพของเสียงนั้นไม่ทันหรือเกิด Motion Blur

แนวทางการแก้ไข : เพิ่มประสิทธิภาพโค้ด แยก Thread การทำงานแยกส่วนประมวลผล และส่วนรับข้อมูล

Evaluation (ประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้าด)

Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}|$$

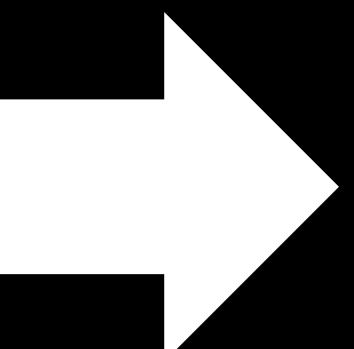


**บอกขนาดความคลาดเคลื่อน
ของระบบ**

ที่มา : <https://bdi.or.th/big-data-101/mape-evaluation/>

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{V(t) - P(t)}{V(t)} * 100 \right|$$



**เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน
ของระบบเมื่อเทียบกับค่าจริง**

ที่มา : <https://bdi.or.th/big-data-101/mape-evaluation/>

Evaluation (ประสิทธิภาพในการตรวจวัดขนาด)

ระบบตรวจวัดขนาดของแป้งขนมปังหลังคลึง

- วัดความกว้างและความยาวของแป้งขนมปัง เพื่อนำมาเป็นค่าอ้างอิง
- นำแป้งผ่านระบบและเก็บข้อมูล 120 ครั้ง

MAE = 0.5 cm.

MAPE = 6.11%

Evaluation (ประสิทธิภาพในการตรวจวัดขนาด)

ระบบตรวจสอบคุณภาพการบ่มโดยการวัดความสูงของแป้ง

- วัดความสูงจริงของแป้งเกียบกับขอบ จำนวน 5 จุด บนตัวอย่าง
- คำนวณค่าเฉลี่ย ของค่าระยะจริงที่วัดได้ เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐาน (ค่าจริงอ้างอิง)
- นำแป้งผ่านระบบตรวจสอบ จำนวน 5 ครั้ง เพื่อวัดค่าที่ระบบตรวจจับได้
- ปรับความเร็วของสายพานลำเลียง ตั้งแต่ 50 – 100

MAE = 0.311 cm.

MAPE = 12.6%

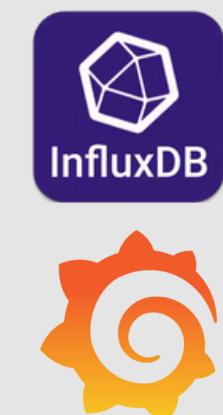
Summary

การตรวจวัดสิ่งแปลกปลอมหลังคลึง
มีโอกาสปล่อยแป้งเสียให้ผ่านเข้าระบบการผลิตถึง
19%

การตรวจวัดขนาดหลังคลึง
มีความคลาดเคลื่อนในการวัดเฉลี่ย **0.5 cm.**
หรือ **6.11%** เกียบกับค่าจริง

การตรวจวัดความสูงหลังปั๊ม
มีความคลาดเคลื่อนในการวัดเฉลี่ย **0.311 cm.**
หรือ **12.6%** เกียบกับค่าจริง

ระบบจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล



THANK
YOU!