

## 1. Title + Author Information

เนื้อหาที่ต้องมี:

- ชื่อเรื่อง (Title)
  - ชื่อผู้เขียน
  - สังกัด/ที่อยู่หน่วยงาน
  - Corresponding Author
- 

## 2. Abstract (150–250 words)

ต้องสรุป:

- ปัญหา (Problem)
  - วิธีการ (Methods) เช่น YOLO + CNN + Regression
  - ระบบที่พัฒนา (Proposed system)
  - ผลลัพธ์สำคัญ (Key results)
  - ข้อดีของระบบ (Impact)
- 

## 3. Index Terms (Keywords)

ตัวอย่างที่ควรมี:

- Water Meter Reading
  - Analog Gauge
  - YOLO Detection
  - CNN Digit Recognition
  - Pointer Regression
  - Computer Vision
  - OCR
-

## 4. Introduction

ควรรออธิบาย:

- ความสำคัญของการอ่านมิเตอร์น้ำ
- ปัญหาในการอ่านแบบ manual
- ข้อจำกัดของงานก่อนหน้า
- เหตุผลที่ต้องใช้ YOLO + CNN + Regression
- Contributions ของงาน (4–5 ข้อ)

ตัวอย่าง Contributions:

1. พัฒนาระบบตรวจจับช่องตัวเลขและหน้าปัดด้วย YOLO
2. เสนอ CNN สำหรับรู้จำตัวเลขเฉพาะแบบของมิเตอร์น้ำ
3. เสนอโมเดล Regression สำหรับประมาณมุมเข็มชี้
4. สร้าง dataset ภาพมิเตอร์จริง
5. สร้างระบบใช้งานผ่านมือถือพร้อม backend

## 5. Related Work

แบ่งเป็นหมวดย่อยได้ เช่น:

- งาน OCR และ Digit Recognition (CNN, CRNN, MNIST-based)
- งาน Detection ด้วย YOLO/Deep Learning
- งานอ่านมิเตอร์หรือ gauge reading
- ข้อจำกัดของงานก่อนหน้า (เช่น อ่านเฉพาะตัวเลข, ไม่รองรับ pointer)
- ช่องว่างที่งานนี้แก้ไข (gap)

## 6. Methodology

### 6.1 System Overview

- Workflow ของระบบทั้งหมด

- ภาพ Block Diagram / Pipeline

## 6.2 Dataset Collection & Annotation

- จำนวนภาพ
- ประเภทของมิเตอร์
- วิธี Annotation (Digit window, Dial, Pointer)
- การทำ Preprocessing
- Augmentation

## 6.3 YOLO Detection for Digit Window & Dial

ต้องบอก:

- YOLO รุ่นที่ใช้ (เช่น YOLOv8)
- Classes ที่ตรวจจับ
- Training config (resolution, epochs, loss, optimizer)
- ตัวอย่าง bounding box

## 6.4 Digit Segmentation & Preprocessing

- การครอบตัวเลข
- การ threshold
- การแยกตัวเลขแต่ละหลัก

## 6.5 CNN Digit Recognition

ควรมี:

- โครงสร้าง CNN
- จำนวนชั้น (layers)
- Activation function
- Batch size, optimizer, learning rate

## 6.6 Pointer Angle Estimation

อธิบาย:

- การหาศูนย์กลาง (Center) ของมิเตอร์
- การหาปลายเข็ม (Pointer Tip)

- การคำนวณมุมด้วย atan2
- โมเดล Regression ที่ใช้

## 6.7 Mobile/Web System

- ใช้ WebView
  - API Django
  - Publishing flow (capture → detect → read → store)
- 

# 7. Experimental Setup

ต้องระบุ:

- Hardware (GPU/CPU)
  - Software (PyTorch, OpenCV, Django)
  - Train/Test Split
  - Metrics: mAP, Accuracy, MAE, F1-score
  - วิธีประเมิน end-to-end system
- 

# 8. Results

ควรมีอย่างน้อย 4 ส่วน:

## 8.1 YOLO Detection Results

- ค่า mAP
- Precision / Recall
- ตัวอย่างภาพ Detection

## 8.2 Digit Recognition Results

- Accuracy เฉลี่ย
- Confusion Matrix
- ตัวอย่างภาพ Predict ถูก/ผิด

### 8.3 Pointer Angle Regression Results

- ค่าคลาดเคลื่อน (MAE)
- กราฟเปรียบเทียบค่าจริง/ค่าทำนาย
- ตัวอย่าง pointer detection

### 8.4 End-to-End Meter Reading

- ความแม่นยำของทั้งระบบ
- เวลาเฉลี่ยต่อภาพ
- ตัวอย่างการอ่านจริง

---

## 9. Discussion

ควรพูดถึง:

- จุดแข็งของระบบ
- จุดที่ยังผิดพลาด (เช่น glare, blur, dirt)
- สิ่งที่ระบบทำได้ดีในโลกจริง
- ความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง

---

## 10. Conclusion

เนื้อหาที่ควรมี:

- สรุปความสำเร็จของระบบ
- ข้อความแนะนำ
- แผนพัฒนาต่อ เช่น
  - เพิ่มชุดข้อมูล
  - ใช้ Transformer-based OCR
  - Edge inference บนมือถือ

## 11. Acknowledgment (ถ้ามี)

เช่น:

- อาจารย์ที่ปรึกษา
- หน่วยงานที่ให้ภาพหรืออุปกรณ์

---

## 12. References

- รูปแบบ IEEE (เลข [1], [2], ...)
- งาน YOLO, CNN, OCR
- งานเกี่ยวกับมิเตอร์น้ำหรือ analog gauge

# โครงเปเปอร์ IEEE

## 1. Introduction

- ปัญหาของการอ่านมิเตอร์น้ำ
- ข้อจำกัดของงานเดิม
- Motivation ของระบบที่คุณพัฒนา
- Contribution ของระบบคุณ (3-5 bullet)

## 2. Related Work

- งานอ่านมิเตอร์น้ำ
- งาน Vision + YOLO
- CNN Digit Recognition
- Transition Model ของ pointer
- งาน OCR อื่น ๆ

## 3. Methodology

- Architecture ของระบบ (ตาม pipeline ในไฟล์ของคุณ)
- YOLO Detection (กรอบตัวเลข + pointer)
- Digit Recognition ด้วย CNN
- Angle Regression Model
- Transition Model
- Preprocessing
- รูปภาพประกอบจากไฟล์เดิม

## 4. Experimental Setup

- Dataset (จำนวนภาพ, วิธีเก็บ, labeling)
- Train/Test Split
- Evaluation Metric
- Environment

## 5. Results

- ตารางผล YOLO
- ตารางผล CNN
- ตาราง pointer regression

- เปรียบเทียบแบบมีภาพประกอบ
- Discussion

## 6. Conclusion

- สรุปผล
- ข้อจำกัด
- งานที่จะพัฒนาต่อ

## References

- นำรายการในไฟล์ของคุณมาจัดตาม IEEE style



งานของ Nguyen et al. (2025) มีข้อจำกัดหลายอย่าง ซึ่งงานวิจัยของเราพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

[Ref] B. N. Van et al., “Water Meter Reading Based on Text Recognition Techniques and Deep Learning,” *IEEE Access*, 2025.

---

ข้อจำกัดของ Nguyen et al. (2025)

ข้อจำกัด 1: อ่านไม่ได้เมื่อภาพเบลอ, มีฝุ่น, มีคราบน้ำ, หรือแสงไม่ดี

ในหน้า *Conclusion* เขียนว่า

“challenges remain when handling blurry, dusty, or poorly captured images”

ข้อจำกัด 2: ใช้ OCR บนตัวเลขยาว → ล้มเหลวใน half-digit transition

ดู Table 2 / Table 3 บนหน้า 11 จะเห็นว่า OCR หลายตัวอ่านผิดในกรณี:

- มุมเอียง
- ครึ่งตัวเลข (เช่นการเปลี่ยนจาก 0 → 1)
- ตัวเลขแดง-ดำปะปน

ข้อจำกัด 3: ไม่รองรับมิเตอร์แบบ Pointer Dial เลย

งานนี้อ่าน เฉพาะตัวเลข ไม่มีการอ่านเข็ม ทำให้ไม่รองรับมิเตอร์แบบหน้าปัดหมุน (pointer)

ซึ่งในหน้า 3-4 ของงานมีแค่ตัวเลขในกรอบ ไม่พูดถึง pointer ตรงไหนเลย

ข้อจำกัด 4: Detection → OCR แบบสองขั้นตอน ทำให้อาจ fail เมื่อ detection ผิดแม้เพียงเล็กน้อย

ดู Figure 2 – Architecture หน้า 5

เขาใช้ flow = YOLOv8 → แล้ว OCR เลย

ถ้า YOLO crop ไม่ดี OCR จะพัง

ข้อจำกัด 5: ยังไม่มีระบบใช้งานภาคสนาม (Mobile App / Real Deployment)

งานนี้ไม่มี mobile app interaction แบบ real-time

เรามี WebView + Django Backend ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญ

งานเรา แก้ปัญหา และข้อจำกัดนั้นได้ยังไงบ้าง

การแก้ไขข้อจำกัด 1: ภาพเบลอ/มีฝุ่น/สภาพแสงแปรปรวน

งานเรามี preprocessing แบบเฉพาะ เช่น

- adaptive threshold
- denoise
- custom crop pipeline

และ YOLO ของ giklu ถูกเทรนด้วย dataset ที่มีภาพจริงจากมิเตอร์ที่ใช้ทั่วไป

การแก้ไขข้อจำกัด 2: Half-digit transition

มี Digit segmentation แยกหลัก ทำให้รับมือได้ดีกว่า OCR sequence ของงานเดิม

การแก้ไขข้อจำกัด 3: รองรับ pointer dial

- pointer tip detection
- angle regression
- meter value synthesis (digit + dial)

ซึ่งงานในไฟล์ *ไม่มีฟังก์ชันนี้เลย* → จุดเด่นชัดที่สุดของงานเรา

การแก้ไขข้อจำกัด 4: ลดปัญหา YOLO crop ผิด

- multi-stage crop
- additional digit-centering preprocessing
- เงื่อนไขตรวจสอบตัวเลขผิดปกติ (sanity check)

การแก้ไขข้อจำกัด 5: ใช้งานจริง (deployment)

- Mobile WebView app
- Django backend
- User login / household record
- ส่งผลการอ่านแบบ real-time

ซึ่งงานนี้ไม่มีส่วน “deployment” เลย

## (1) Abstract (150–250 คำ)

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบอ่านค่ามิเตอร์น้ำอนาล็อกอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อแก้ไขข้อจำกัดที่พบในวิธีการเดิมซึ่งมักประสบปัญหาในการประมวลผลภาพที่เบลอ มีฝุ่น คราบน้ำ หรือสภาพแสงไม่เพียงพอ อีกทั้งยังกำหนดตำแหน่งตัวเลขได้ไม่แม่นยำ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดต่อเนื่องในขั้นตอนรู้จำตัวเลข โดยเฉพาะกรณีตัวเลขเปลี่ยนผ่าน (half-digit transition) นอกจากนี้ วิธีการเดิมส่วนใหญ่ยังไม่รองรับมิเตอร์แบบเข็มชี้ และไม่สามารถใช้งานได้ในภาคสนาม

ระบบที่พัฒนาขึ้นผสมผสานเทคนิคการตรวจจับด้วย YOLO ร่วมกับโมเดลรู้จำตัวเลขแบบ CNN ที่ประมวลผลแบบแยกตัวเลขรายหลัก เพิ่มความแม่นยำในการอ่านค่าตัวเลขจากภาพจริง พร้อมทั้งพัฒนาโมเดล Regression สำหรับประมาณมุมของเข็มชี้ ทำให้รองรับมิเตอร์อนาล็อกที่ใช้ทั้งตัวเลขและเข็มในระบบเดียว นอกจากนี้ยังเสริมประสิทธิภาพด้วย preprocessing เฉพาะทาง ได้แก่ adaptive thresholding, การลดสัญญาณรบกวน และ multi-stage cropping เพื่อรองรับสภาพภาพถ่ายที่หลากหลาย และผสานเข้ากับแอปพลิเคชันมือถือแบบ WebView เพื่อใช้งานภาคสนามร่วมกับ Django backend แบบเรียลไทม์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับช่องตัวเลข รู้จำตัวเลข และประเมินมุมเข็มได้อย่างถูกต้องแม่นยำในสภาพแวดล้อมจริง ลดข้อผิดพลาดในการอ่านค่าของมนุษย์ และมีศักยภาพสูงต่อการประยุกต์ใช้ในงานจัดเก็บค่าน้ำขององค์กรหรือหน่วยงานสาธารณสุข

## (2) Related Work

งานวิจัยด้านการอ่านค่ามิเตอร์น้ำและมิเตอร์อนาล็อกสามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มหลัก ได้แก่ (1) งานประมวลผลภาพแบบดั้งเดิม (Traditional Image Processing), (2) งานที่ใช้ Deep Learning ในการตรวจจับและรู้จำตัวเลข, และ (3) งานประมาณการค่ามุมของเข็มมาตรวัด (Analog Gauge Reading)

### 2.1 Traditional Image Processing for Meter Reading

แนวทางดั้งเดิมมักใช้วิธีการประมวลผลภาพ เช่น edge detection, thresholding, contour extraction และ morphological operations เพื่อแยกบริเวณตัวเลขหรือเข็มของมิเตอร์ แม้ว่าวิธีการเหล่านี้จะทำงานได้ดีภายใต้สภาพแสงที่เหมาะสม แต่มีข้อจำกัดรุนแรงเมื่อภาพเบลอ มีฝุ่น ละอองน้ำ เกสสะท้อน หรือการบิดเบี้ยวจากเลนส์ ทำให้ไม่สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมภาคสนามได้อย่างเชื่อถือได้

## 2.2 Deep Learning-Based Detection and Digit Recognition

งานสมัยใหม่มักนำโมเดลตรวจจับวัตถุ เช่น YOLO, Faster R-CNN หรือ SSD มาใช้ในการระบุตำแหน่งช่องตัวเลข จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ครอบจากโมเดลตรวจจับเข้าสู่ OCR หรือ CNN เพื่อรู้จำตัวเลขแบบต่อเนื่อง (sequence-based recognition) อย่างไรก็ตาม การรู้จำตัวเลขแบบยาว (whole sequence OCR) มักให้ผลลัพธ์ไม่ดีในกรณีตัวเลขแค่บางส่วนกำลังเปลี่ยน (half-digit transition) หรือเมื่อช่องตัวเลขมีตำแหน่งเอียงหรือไม่สมมาตร อีกทั้งการทำงานแบบสองขั้นตอนนี้ไวต่อความผิดพลาดมาก หากขั้นตอนตรวจจับผิดเพียงเล็กน้อย OCR จะอ่านผิดทั้งหมดทันที

## 2.3 Analog Gauge and Pointer Reading

งานในกลุ่มนี้มุ่งเน้นการตรวจจับหน้าปัดและประเมินมุมของเข็ม โดยมักใช้เทคนิค edge detection, Hough Circle Transform และเรขาคณิตพื้นฐานร่วมกับการถ่ายภาพที่มีความชัดเจนสูง อย่างไรก็ตาม งานเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่ถูกประยุกต์ใช้อย่างสมบูรณ์ในระบบมิเตอร์น้ำทั่วไปที่มีทั้งหน้าต่างตัวเลขและเข็มในมิเตอร์เดียว

### (3). Research Gap

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบช่องว่างที่สำคัญดังนี้

#### ช่องว่างที่ 1: ความไวต่อคุณภาพภาพถ่ายของวิธีเดิม

วิธีตรวจจับ-รู้จำแบบเดิมล้มเหลวง่ายเมื่อภาพมีปัญหา เช่น เบลอ แสงน้อย ฝุ่นสะสม หรือเงาสะทอน ซึ่งพบได้ทั่วไปในมิเตอร์น้ำภาคสนาม

#### ช่องว่างที่ 2: การรู้จำตัวเลขแบบ sequence OCR ไม่รองรับ half-digit transition

ตัวเลขบนมิเตอร์น้ำจะค่อย ๆ เปลี่ยน ทำให้ตัวเลขบางหลักปรากฏครึ่งหนึ่ง การอ่านแบบ OCR ต่อเนื่องมักอ่านผิด ทำให้ค่ามิเตอร์ผิดทั้งชุด

#### ช่องว่างที่ 3: การไม่รองรับมิเตอร์แบบเข็มชี้ (Pointer Dial)

งานจำนวนมากเน้นเฉพาะการอ่านตัวเลข แต่มิเตอร์น้ำจำนวนมากยังใช้หน้าปัดเข็ม ระบบจึงต้องรองรับทั้งสองแบบหากจะใช้งานจริง

#### ช่องว่างที่ 4: ความผิดพลาดจากการครอบของโมเดลตรวจจับ

ในระบบที่พึ่งพา OCR แบบ sequence หาก YOLO ครอบไม่แม่นยำ OCR จะผิดทั้งหมด ระบบที่แข็งแกร่งต้องมี multi-stage crop และ sanity check เพื่อแก้ปัญหานี้

#### ช่องว่างที่ 5: การขาดระบบที่ใช้งานได้จริงภาคสนาม

งานจำนวนมากยังไม่มีระบบ mobile หรือ backend สำหรับทดสอบใช้งานจริงภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา แสง และสภาพแวดล้อมจริงของเจ้าหน้าที่ตรวจมิเตอร์

\*\*\*\*\*งานวิจัยนี้จึงเสนอระบบที่มีคุณลักษณะดังนี้

1. YOLO-based multi-stage detection รองรับภาพจริงที่มีแสงไม่เสถียร ฝุ่น และความเบลอ
2. Digit-wise CNN recognition ช่วยขจัดปัญหา half-digit transition
3. Pointer regression model รองรับมิเตอร์แบบเข็มพร้อมตัวเลข
4. Preprocessing เฉพาะทาง เช่น adaptive threshold, denoise, crop alignment
5. Field-ready deployment ผ่าน Mobile WebView และ Django backend ให้ความสามารถใช้งานจริงแบบเรียลไทม์