

การออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิรุณชา อวนศรี¹, ปกป้อง อูปทะ¹ และเสถียร หันตา^{1*}

Design and Development of a Navigation System for the Visually Impaired Using the Internet of Things

Wirunchana Aounsri¹, Pokpong Aupata¹ and Sathien Huntat^{1*}

¹ School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: sathien.hu@up.ac.th

Received: 30 June 2025; Revised: 3 October 2025; Accepted: 21 October 2025

บทคัดย่อ

ผู้พิการทางสายตามักเผชิญปัญหาในการเดินทางในพื้นที่สาธารณะที่มีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดอันตราย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสามารถในการพึ่งพาตนเองขณะเดินทางเท้า โดยพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบเข็มขัดที่มีขนาดกะทัดรัดและสะดวกต่อการพกพา ระบบทำงานโดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบบจำลอง YOLOv11n ในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ในเส้นทาง การเดิน ระบุตำแหน่งวัตถุ และให้คำแนะนำทิศทางการหลบหลีกอย่างเหมาะสม พร้อมผสานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ซึ่งประกอบด้วย Raspberry Pi 5 ไมโครกล้อง เซนเซอร์อัลตราโซนิก และเซนเซอร์ MPU6050 สำหรับตรวจจับลักษณะของพื้นลาดชันและแจ้งเตือนผู้ใช้งานด้วยเสียง ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ การฝึกและปรับปรุงแบบจำลอง YOLO ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจริง และ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบในแต่ละฟังก์ชันของอุปกรณ์

ผลการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละฟังก์ชันพบว่า ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้ดี โดยมีค่าแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 94.0% การให้คำแนะนำทิศทางการหลบหลีกมีความถูกต้องเฉลี่ย 95.5% และการตรวจจับทางลาดชันสามารถทำได้ที่มีความแม่นยำ 89.0% การวิจัยนี้ เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถนำไปสู่การใช้งานจริงเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาได้

คำสำคัญ: ระบบนำทางผู้พิการทางสายตา, การตรวจจับวัตถุ, การตรวจจับพื้นลาดชัน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

¹ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

Visually impaired individuals often face difficulties navigating public spaces with various obstacles, which can pose safety risks. This research aims to design and develop a navigation system for visually impaired persons to enhance safety and promote independence when walking on sidewalks. A compact and portable prototype device was developed in the form of a belt. The system operates by applying the YOLOv11n object detection algorithm to identify objects in the walking path, determine their positions, and provide appropriate avoidance guidance. It also integrates Internet of Things (IoT) technology, comprising a Raspberry Pi 5, a camera module, an ultrasonic sensor, and an MPU6050 sensor to detecting ground slope, along with a voice alert system. The implementation process consists of (1) Designing and developing the device, (2) Training and optimizing the YOLO model for real-world environmental conditions, and (3) Testing the performance of each device function.

Experimental results evaluating the performance of each function show that the system achieves an average object detection accuracy of 94.0%, an average avoidance guidance accuracy of 95.5%, and a slope detection accuracy of 89.0%. This research presents a potential approach for practical applications to assist visually impaired individuals.

Keywords: Visually Impaired Navigation System, Object Detection, Slope Detection, Internet of Things

Introduction

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนานวัตกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ในการรังสรรค์สิ่งประดิษฐ์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ การแก้ไข ปัญหา และการยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้คนหลากหลายด้าน สามารถแบ่งเบาภาระให้กับมนุษย์ทุกกลุ่มบุคคลให้สามารถใช้ชีวิตได้อย่างสะดวกสบาย ซึ่งแสดงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ดีขึ้น (Saiwa, 2024) นอกจากนี้ การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ยังเข้ามามีบทบาทต่อการเสริมสร้างแนวทางสำหรับการช่วยเหลือกลุ่มบุคคลที่มีความพิการทางกายภาพที่มักมีอุปสรรคในการใช้ชีวิตให้สามารถเท่าเทียมเลกเช่นกลุ่มบุคคลทั่วไปได้ ด้วยนวัตกรรมที่มาลดข้อบกพร่องทางด้านกายภาพของผู้พิการแต่ละประเภท เช่น การใช้การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ที่เป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) อีกหนึ่งแขนงของปัญญาประดิษฐ์ นำมาประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยี ORB-SLAM2 มาร่วมกับการตรวจจับวัตถุด้วย YOLOv5 เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาที่มีความบกพร่องด้านการมองเห็นสามารถทราบตำแหน่งวัตถุต่าง ๆ ผ่านเสียง (Qiang et al., 2024) เป็นต้น

ที่ผ่านมา ผู้พิการทางสายตาต้องเผชิญกับปัญหาในการเดินทางในพื้นที่สาธารณะเป็นอย่างมาก เนื่องจากทางเดินที่ยากต่อการใช้งาน และมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ทางที่มีสิ่งของขวางทางพื้นที่ต่างระดับ (The Poona School Blind, 2024) โดยปกติผู้พิการทางสายตาก็จะมีวิธีเดินทางด้วยตัวคนเดียวจากการจำเส้นทางที่เดินเป็นประจำ ทำให้ยังพอทราบสิ่งที่อยู่รอบตัว (Warunyu et al., 2024) แต่ในกรณีที่ต้องเดินทางไปสถานที่ที่ไม่คุ้นเคย หรือมีผู้คนพลุกพล่าน ความไม่คุ้นชินที่ไม่ทราบสภาวะรอบตัวนี้ก็อาจนำมาสู่การก่อเกิดอันตรายก็เป็นได้ หรืออุปกรณ์ช่วยเหลือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างการใช้ไม้เท้านำทางและสุนัขนำทาง แม้จะช่วยให้ผู้พิการทางสายตาสามารถเดินทางได้ดีขึ้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านปัจจัยต่าง ๆ เช่น ไม้เท้าไม่มีประสิทธิภาพมากนักในบางสถานการณ์ เนื่องจากไม้เท้าไม่สามารถระบุวัตถุที่เป็นสิ่งกีดขวางได้ว่าเป็นสิ่งใดและพื้นทางเท้าบางสถานที่ยังไม่เหมาะสำหรับการใช้ไม้เท้า ทำให้บางครั้งผู้พิการทางสายตาเกิดความไม่มั่นใจในการเดินทางด้วยไม้เท้า (Zeindb et al., 2023) ขณะที่การใช้สุนัขนำทางยังไม่ได้รับการส่งเสริม

อย่างกว้างขวางในประเทศไทยมากนัก พร้อมทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูง การจะนำสุนัขมาเลี้ยงดูเพื่อใช้ในการนำทางนั้นจำเป็นที่จะต้องมีความเสี่ยงต่าง ๆ มีค่าการอบรมจากสถาบันฝึกสุนัขเฉพาะทางให้สามารถทำหน้าที่นำทางผู้พิการทางสายตาได้อย่างปลอดภัย อีกทั้งในบางสถานที่ยังจำกัดการนำสัตว์เข้าอีกด้วย (Jiraphat, 2019) ด้วยเหตุนี้ เพื่อเพิ่มทางเลือกในด้านความปลอดภัย ให้แก่ผู้พิการทางสายตา จึงอยากเสนอแนะให้มีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้ เช่นเดียวกับงานวิจัยที่มีการพัฒนาระบบตรวจสอบวัตถุในสมาร์ตโฮมสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยมุ่งเน้นการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางภายในบ้าน โดยใช้อัลกอริทึม YOLO (Sasikam et al., 2025) มาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อช่วยเสริมแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาจากการเดินทางและลดข้อจำกัดของอุปกรณ์รูปแบบเดิมให้ดียิ่งขึ้น

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา เพื่อเพิ่มความปลอดภัยขณะเดินทาง โดยใช้อุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบของเข็มขัด ประกอบด้วยโมดูลกล้องเพื่อรับภาพ เซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับวัดระยะ และเซนเซอร์ MPU6050 ที่นำมาใช้วัดมุมก้ม-เงย ที่ใช้ในการตรวจจับทางลาดชัน โดยอุปกรณ์ทั้งหมดถูกเชื่อมต่อและประมวลผลผ่านบอร์ด Raspberry Pi 5 และยังใช้แบบจำลอง YOLO ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุและมีความแม่นยำ โดยนำมาฝึกกับชุดข้อมูลที่สอดคล้องกับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงของผู้ใช้งาน เพื่อให้สามารถจำแนกวัตถุสิ่งกีดขวางที่เกี่ยวข้องได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากโมดูลกล้องและเซนเซอร์จะถูกนำมาประมวลผลร่วมกันเพื่อประเมินลักษณะของสภาพแวดล้อมเบื้องต้น ไม่ว่าจะเป็นการบอกชื่อวัตถุ ระยะห่างจากวัตถุ ทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และทางลาดชัน ระบบแจ้งเตือนเสียงผ่านหูฟังบลูทูธ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ข้อมูลหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างปลอดภัย โดยอุปกรณ์ถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบารองรับกับการใช้งานในชีวิตประจำวันของผู้พิการทางสายตาได้อย่างเหมาะสม

Objectives

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบนำทางผู้พิการทางสายตา
2. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองตรวจจับวัตถุ

Concepts Theories and Related Literature

การสำรวจและศึกษาประเด็นที่มีความสำคัญ แนวคิด หลักการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทำความเข้าใจลักษณะเฉพาะของกลุ่มผู้ใช้งาน รวมถึงเรียนรู้ถึงส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการใช้งาน เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ผู้พิการทางสายตา กลุ่มบุคคลที่มีภาวะดวงตาผิดปกติ ซึ่งอาจไม่สามารถมองเห็นได้บางส่วนหรือสูญเสียการมองเห็นทั้งหมด เช่น ตาบอด ตาบอดสี ความบกพร่องทางการเห็น โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จำแนกระดับความบกพร่องทางการมองเห็นออกมา 5 ระดับ พิจารณาจากเกณฑ์ความคมชัดทางการมองเห็นและลานสายตาของดวงตาข้างที่ดีที่สุด เมื่อไม่ได้ใช้อุปกรณ์ช่วย หากค่าสายตาต่ำกว่า 6/18 ไปจนถึง 3/60 มีลานสายตาแคบ 30 องศา ไปจนถึง 10 องศา จะถือว่าอยู่จัดอยู่ในระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น และหากมองเห็นได้น้อยกว่า 3/60 มีลานสายตาแคบกว่า 10 องศา จะจัดอยู่ในระดับที่ 3 ถึง 5 เป็นกลุ่มที่มีความผิดปกติทางการมองเห็นขั้นรุนแรงหรือตาบอด ทั้งนี้ ผู้ที่แม้จะได้รับการรักษาหรือใส่อุปกรณ์ช่วยแล้ว อย่างเช่น การสวมใส่แว่นสายตาหรืออุปกรณ์ช่วยเหลืออื่น ๆ แต่ยังมีระดับการมองเห็นต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ก็ยังถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มผู้บกพร่องทางการเห็น เช่นกัน (Yutthaphong, 2021)

การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) เป็นเทคโนโลยีอีกหนึ่งแขนงของปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่ช่วยให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถตรวจจับและระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพหรือวิดีโอได้ ระบบนี้จะอาศัยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงลึก โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถดึงข้อมูลลักษณะของภาพออกมาเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ ซึ่งในหลากหลายอุตสาหกรรม เทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุได้กลายเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยแบบจำลองที่นิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ YOLO, SSD, Faster R-CNN เป็นต้น (Jacob et al., 2024)

YOLO (You Only Look Once) อัลกอริทึมตรวจจับวัตถุที่ตลอดหลายปีที่ผ่านมา มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยวิวัฒนาการของแต่ละเวอร์ชันนั้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะต่อยอดการตรวจจับวัตถุให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น และแต่ละเวอร์ชันยังมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน เช่น YOLOv5 เป็นเวอร์ชันแรกที่มีการใช้เฟรมเวิร์ก PyTorch แทนการใช้เฟรมเวิร์ก Darknet จากเวอร์ชันก่อนหน้า ซึ่งใช้งานได้สะดวกกว่าหรือ YOLOv8 ที่ใช้ GANs กับ anchor-free detection ในการพัฒนา จะช่วยให้โมเดลเข้าใจลักษณะวัตถุได้ดีขึ้น และพัฒนามาจนมาถึง YOLOv11 ที่ได้รับการพัฒนาต่อยอดจากจุดเด่นของเวอร์ชันก่อน มีการเพิ่มความสามารถใหม่ ๆ มีจุดเด่น คือ เป็นระบบ end to end ที่เรียนรู้ได้จากข้อมูลภาพ นอกจากนี้ YOLOv11 ยังมีการแบ่งโครงสร้างการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้โครงสร้าง convolutional layers (CNN) ซึ่งมีการนำบล็อก C3k2 มาทำให้โมเดลทำงานได้ไวขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มบล็อก C2PSA เพื่อช่วยให้โมเดลสามารถโฟกัสไปยังบริเวณที่สำคัญในภาพ โดยเฉพาะวัตถุที่เล็กหรืออยู่ในตำแหน่งซับซ้อน โดยมีส่วนของ Backbone สำหรับกรองข้อมูล จากภาพอินพุต (input) ในหลายระดับความละเอียด (multi-scale) กระบวนการนี้ ประกอบด้วยการเรียงซ้อนของ convolutional layers และบล็อกเฉพาะทางต่าง ๆ เพื่อสร้างแผนที่ฟีเจอร์ (feature maps) ที่หลากหลายตามความละเอียดของข้อมูลภาพ และส่วนของ Neck มีหน้าที่เอาข้อมูลจากทุกระดับมารวมกัน เพื่อเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับส่งต่อไปยังส่วนสุดท้าย เพื่อใช้ในการทำนายผล จากนั้น ส่วนของ head ทำการแปลงข้อมูลให้เป็น ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้จริง โดยจะประมวลผลจาก feature maps ที่ส่งต่อมาจาก neck เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นกรอบวัตถุ (bounding boxes) และป้ายชื่อของวัตถุแต่ละชนิดภายในภาพ ด้วยบล็อกต่าง ๆ (Rahima et al., 2024)

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of things : IoT) เป็นการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต ผ่านการใช้เซนเซอร์ ซอฟต์แวร์ และเทคโนโลยีการสื่อสาร อุปกรณ์เหล่านี้ สามารถทำงานร่วมกันและติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เพื่อเก็บรวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลอัตโนมัติ (IBM, 2023)

เซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง มากกว่า 20 kHz เพื่อตรวจจับวัตถุหรือวัดระยะทางโดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุโดยตรง โดยทำงานในลักษณะเดียวกับระบบเสียงสะท้อนของค้างคาว ตัวเซนเซอร์ประกอบด้วย ตัวส่ง ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง และ ตัวรับ ซึ่งรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมา เมื่อทราบความเร็วของเสียงในอากาศแล้ว สามารถคำนวณระยะทางจากเวลาที่คลื่นเดินทางไป กลับได้ เซนเซอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการวัดระยะทางไกล โดยมีข้อดีคือสามารถตรวจจับวัตถุได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นโลหะ ไม้ พลาสติก หรือน้ำ ทั้งนี้ ความแม่นยำของการวัดอาจได้รับผลกระทบจาก อุณหภูมิ, ความชื้น และ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่อาจดูดซับหรือสะท้อนคลื่นเสียงได้ไม่ดี (Mubina et al., 2020)

เซนเซอร์ MPU6050 ที่เป็นโมดูลเซนเซอร์วัดความเร่ง และไจโรสโคป ที่มีหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวและการหมุนของวัตถุ เซนเซอร์วัดความเร่งสามารถวัดการเคลื่อนไหวและหมุนของวัตถุใน 3 แกน ได้แก่ X, Y และ Z มีหน้าที่วัดการเร่งเชิงเส้น รวมถึงแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุ สามารถใช้ในการคำนวณมุมเอียงของวัตถุได้ เช่น เมื่อวัตถุเอียงไปด้านหน้า เซนเซอร์จะตรวจจับแรงโน้มถ่วงที่เปลี่ยนทิศทางไปตามแกนต่าง ๆ ทำให้สามารถประเมินได้ว่าวัตถุนั้นเอียงไปในทิศทางใดและมีมุมเท่าไร และสามารถอ้างอิงแรงโน้มถ่วงเพื่อใช้คำนวณตำแหน่งเริ่มต้นหรือความเอียงได้อย่างแม่นยำ

ทำให้สามารถกรองข้อมูล สังเคราะห์ และประมวลผลค่าที่แม่นยำและเสถียยิ่งขึ้น จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานตรวจจับท่าทาง การทรงตัว ระบบนำทาง และอุปกรณ์เคลื่อนที่หลายรูปแบบ (Last Minute Engineers, 2022)

ในงานวิจัยนี้ เซนเซอร์ MPU6050 ถูกประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจหาทางลาดชัน โดยผู้วิจัยเลือกใช้เฉพาะข้อมูลความเร่ง (Accelerometer) จากเซนเซอร์ดังกล่าว เนื่องจากมีความเพียงพอต่อวัตถุประสงค์ของการทำงาน ผลลัพธ์จากการคำนวณจะอยู่ในหน่วยเรเดียน และจะนำมาแปลงเป็นองศา เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ลักษณะความลาดชันในทางปฏิบัติซึ่งการประมวลผลมาจาก MEMS Accelerometer (Sergiusz, 2014) สำหรับคำนวณมุมก้ม-เงย (Pitch) ดังสมการที่ 1

$$\alpha = \arctan \left(\frac{g_x}{\sqrt{g_y^2 + g_z^2}} \right) \quad (1)$$

โดยที่

α = มุมก้ม-เงย

g_x = ค่าความเร่งในแกน X

g_y = ค่าความเร่งในแกน Y

g_z = ค่าความเร่งในแกน Z

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการศึกษาเรื่องของการตรวจจับวัตถุด้วย YOLO จากงานพัฒนาระบบตรวจจับและอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับการประมวลผลภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการตรวจจับป้ายทะเบียน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv5n, YOLOv5s และ YOLOv5m โดยแบบจำลอง YOLOv5s ถูกเลือกใช้เนื่องจากมีจำนวนพารามิเตอร์น้อยกว่าถึง 2.8 เท่า แต่ให้ผลลัพธ์ค่า mAP เกือบเคียงแบบจำลองที่แม่นยำที่สุด และสามารถตรวจจับป้ายทะเบียนจากภาพได้แม่นยำถึง 98.38% ส่วนของการอ่านตัวอักษรจากภาพป้ายทะเบียน โดยใช้ Tesseract OCR พร้อมกระบวนการแปลงภาพให้เหมาะสม เช่น การแปลงเป็นภาพขาวดำ การทำ threshold และ contour detection ผลลัพธ์การอ่านตัวอักษรทั้งหมดมีความถูกต้องเฉลี่ย 78.34% และความถูกต้องเฉลี่ยในการอ่านชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนเท่ากับ 79.35% (Dulyanut et al., 2023) และเพื่อศึกษาการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งยังได้ศึกษาวิจัยที่พัฒนาไม้เท้าอเนกประสงค์สำหรับช่วยเหลือและติดตามผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เป็นการพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะโดยประยุกต์เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อช่วยเหลือผู้สูงอายุและผู้พิการทางการมองเห็น ซึ่งมักประสบปัญหาเรื่องการทรงตัว โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย NodeMCU เป็นตัวควบคุมการทำงาน รับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ การล้ม และตรวจสอบแกนไม้เท้า จากนั้นจะส่งข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ไปยังผู้ดูแล โดยผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มส่งพิกัดตำแหน่งได้ และหากเกิดการล้มระบบจะส่งเสียงเตือนและแจ้งตำแหน่งผู้ใช้งานให้ผู้ดูแลทราบแบบเรียลไทม์ ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำในระยะ 10-120 ซม. และมีการแจ้งเตือนเสียงในระดับที่ได้ยินชัดเจนแม้มีสิ่งกีดขวาง (Atibodee et al., 2024) และงานวิจัยที่พัฒนาระบบนำทางสำหรับผู้พิการทางการมองเห็น โดยใช้แผนที่นำทางเชิงความหมายร่วมกับการประมวลผลภาพจากกล้อง และอัลกอริทึม ORB-SLAM2 ร่วมกับ YOLOv5 สำหรับตรวจจับวัตถุ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแผนที่ที่มีข้อมูลเชิงลึก (semantic map) โดยอาศัยการแปลงภาพเป็นแผนที่แบบ grid พร้อมแสดงตำแหน่งสิ่งสำคัญ เช่น ประตู หรือถังดับเพลิง จากนั้นใช้ระบบอินเทอร์เฟซแบบสั่งการด้วยเสียง (Voice User Interface) ซึ่งสามารถระบุประเภทวัตถุที่ตรวจพบ พร้อมแจ้งทิศทางและระยะทางให้ผู้ใช้งานในรูปแบบเสียงได้อย่างแม่นยำ ระบบสามารถระบุพิกัดของวัตถุ

ในพื้นที่ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.154 เมตร และมีระบบรู้จำเสียงพูดเพื่อให้ผู้ใช้สามารถระบุวัตถุที่ต้องการค้นหาได้อย่างสะดวก (Qiang et al., 2024)

Methodology

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบเข็มขัด สำหรับช่วยเสริมการเดินทางของผู้พิการทางสายตา โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงจากการเดินชนสิ่งกีดขวาง และเพิ่มความปลอดภัยสำหรับการเดินทางในชีวิตประจำวัน อุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก และออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงของผู้ใช้ ทั้งนี้ระบบยังอยู่ในระดับต้นแบบที่เน้นการศึกษาความเป็นไปได้และประเมินประสิทธิภาพภายใต้สถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเป็นหลัก รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบในครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การทำงานของระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยโมดูลกล้อง เช่น เซอร์อัลตราโซนิก และเซ็นเซอร์ MPU6050 โดยใช้แบบจำลอง YOLOv11 ในการวิเคราะห์ภาพเพื่อระบุสิ่งกีดขวาง พร้อมประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดระยะทางและความลาดชันของเส้นทาง ทั้งหมดดำเนินการประมวลผลบนบอร์ด Raspberry Pi 5 โดยพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา Python

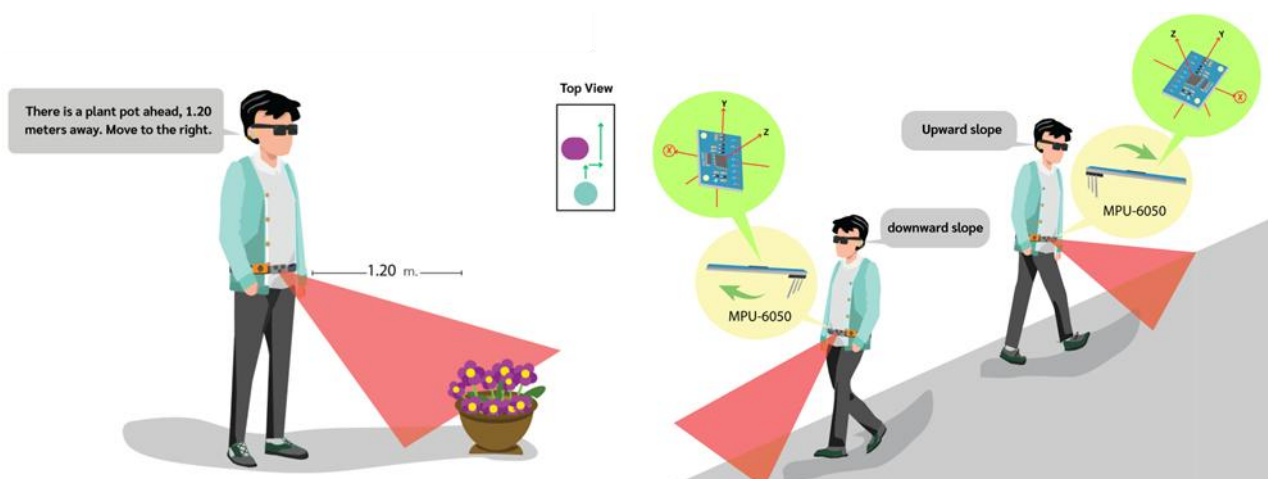


Figure 1 Example of Object Detection and Slope Detection

กระบวนการทำงานของระบบจะเป็นดัง Figure 1 กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นระบบ เซอร์อัลตราโซนิกจะวัดระยะทางจากพื้นราบ เพื่อใช้เป็นค่าช่วงระยะทางราบปกติสำหรับเปรียบเทียบกับค่าระยะที่ได้ระหว่างการใช้งานจริงที่จะนำไปใช้ในส่วนของการตรวจจับทางลาดชัน โมดูลกล้องจะรับภาพด้านหน้าผู้ใช้งานส่งเข้าสู่แบบจำลอง YOLO ที่ผ่านการฝึกไว้แล้วเพื่อตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมของผู้ใช้ โดยระบบจะคัดกรองเฉพาะผลการตรวจจับที่มีความมั่นใจสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ เพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับที่คลาดเคลื่อน ขณะเดียวกัน เซอร์อัลตราโซนิกจะวัดระยะทางระหว่างผู้ใช้งานกับวัตถุ ซึ่งค่าระยะที่ได้จะถูกนำมาใช้ประกอบกับข้อมูลการตรวจจับวัตถุเพื่อบอกระยะทางจากวัตถุ และสำหรับวัตถุที่ตรวจพบ ระบบจะใช้พิกัดของกรอบวัตถุที่ได้จากแบบจำลองคำนวณตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน X (x_center) แล้วเปรียบเทียบกับค่าความกว้างของภาพ ($frame_width$) เพื่อแบ่งพื้นที่ของภาพออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนซ้าย (x_center น้อยกว่าหนึ่งในสามของความกว้างภาพ) ส่วนขวา (x_center มากกว่าสองในสามของภาพ) และส่วนกลาง (อยู่ระหว่างสองค่าดังกล่าว) ระบบจะใช้ตำแหน่งสัมพัทธ์นี้ เพื่อให้คำแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เช่น หากวัตถุอยู่ทางซ้ายระบบจะแนะนำให้หลบไปทางขวา หากวัตถุอยู่ทางขวา ระบบจะแนะนำให้หลบไปทางซ้าย และหากวัตถุอยู่ตรงกลาง ระบบจะแนะนำให้หลบไป

ทางซ้ายหรือขวา เมื่อระบบตรวจพบวัตถุและประเมินตำแหน่งได้แล้ว จะสร้างข้อความแจ้งเตือน ซึ่งประกอบด้วยชื่อวัตถุที่ตรวจพบ ระยะห่างจากวัตถุ และทิศทางการหลีกเลี่ยง จากนั้นข้อความดังกล่าว จะถูกแปลงเป็นเสียงโดยใช้เทคโนโลยีแปลงข้อความเสียง (Text-to-Speech) ส่งผ่านหูฟังบลูทูธให้ผู้ใช้งานสามารถรับฟังได้ในขณะเดินทาง

สำหรับการตรวจจับทางลาดชัน จะถูกออกแบบเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานให้ทราบถึงลักษณะทางลาดชันของทางเดิน โดยการใช้การประมวลผลร่วมกันระหว่างเซนเซอร์ MPU6050 และเซนเซอร์อัลตราโซนิก เพื่อเพิ่มความแม่นยำ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เพียงเฉพาะค่าความเร่ง (Accelerometer) ที่ได้จากแกน X, Y และ Z ของเซนเซอร์ MPU6050 ในการคำนวณมุมก้ม-เงย (Pitch) ของผู้ใช้งาน ตามสมการที่ 1 และแปลงค่าเป็นองศาตามมุมก้ม-เงยเพื่อนำมาใช้งาน แต่ไม่ได้นำ Gyroscope มาใช้งาน เนื่องจากเพียงพอต่อความต้องการของระบบและช่วยลดภาระการประมวลผล จึงเหมาะสมกับระบบที่ต้องการประมวลผลแบบตามเวลาจริง (real time) อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จาก Accelerometer เพียงอย่างเดียว มีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากแรงสั่นสะเทือน ดังนั้น เพื่อลดข้อผิดพลาดดังกล่าว จึงนำค่ามุมก้ม-เงยที่วัดได้ 5 ค่าในแต่ละรอบ มาหาค่ามัธยฐานก่อนนำไปใช้ เพื่อลดค่าพุ่งการกระแทกและนำค่าระยะจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก มาประมวลผลร่วมกัน โดยใช้เงื่อนไข ดังนี้ กรณีของทางลาดขึ้น จะใช้เงื่อนไขแบบ AND กล่าวคือ จะต้องพบค่ามุมก้มต่ำกว่าค่าที่กำหนด และ ค่าระยะลดลงต่ำกว่าค่าช่วงระยะทางราบปกติ จึงจะถือว่าเป็นทางลาดขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และลดความคลาดเคลื่อนจากการเข้าใกล้วัตถุในทางกลับกัน กรณีของทางลาดลง จะใช้เงื่อนไขแบบ OR กล่าวคือ จะพบว่า ค่ามุมเงยสูงกว่าค่าที่กำหนด หรือ ค่าระยะเพิ่มขึ้นกว่าค่าช่วงระยะทางราบปกติอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ต้องเข้าเงื่อนไขนี้ 3 ครั้งระบบจึงจะถือว่าเป็นทางลาดลง เพื่อลดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด ทั้งนี้เงื่อนไขดังกล่าว เหมาะสมกับลักษณะความเสี่ยงที่แตกต่างกัน อีกทั้ง เพิ่มความปลอดภัย เนื่องจากทางลาดลงมีโอกาที่พื้นจะหายไปกะทันหัน และทางลาดลงมีความเสี่ยงต่อการเสียหลักและการล้มสูงกว่า เมื่อจำแนกประเภทของทางลาดชันได้แล้ว ระบบจะแจ้งเตือนเสียงผ่านหูฟังบลูทูธผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างเหมาะสม

ระบบแจ้งเตือนด้วยเสียงในงานวิจัยนี้ ใช้ไลบรารี Google Text-to-Speech (gTTS) ซึ่งรองรับการแปลงข้อความเป็นไฟล์เสียงในรูปแบบ MP3 ได้ (Pierre, 2024) ระบบจะนำข้อความแจ้งเตือนที่ได้จากการตรวจจับวัตถุหรือทางลาดชันมาแปลงเป็นเสียงพูด และส่งผ่านหูฟังบลูทูธ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ข้อมูลขณะเดินทางได้ ระบบกำหนดช่วงเวลาหน่วงระหว่างการแจ้งเตือนแต่ละครั้ง ไม่น้อยกว่า 7 วินาที เพื่อให้มีเวลาเพียงพอในการแจ้งเตือน ผู้ใช้สามารถรับรู้และตอบสนองต่อข้อมูลอย่างเหมาะสม โดยแยกข้อความของการแจ้งเตือนวัตถุและทางลาดชันออกจากกัน เพื่อไม่ให้เกิดการแจ้งเตือนเสียงซ้อนรบกวนผู้ใช้งาน โดยการแจ้งเตือนของระบบจะมี 3 กรณีดังต่อไปนี้

1. หากตรวจพบทั้งวัตถุและทางลาด ระบบจะแจ้งเตือนชื่อวัตถุ ระยะห่างจากวัตถุ ทิศทางหลบหลีก และทางลาดตามลำดับ
2. หากตรวจพบเฉพาะทางลาด ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะข้อความเกี่ยวกับทางลาด
3. หากตรวจพบเฉพาะวัตถุ ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะชื่อวัตถุ ระยะห่างจากวัตถุ และทิศทางหลบหลีก

ส่วนที่ 2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์

กระบวนการพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบเริ่มต้นจากการเลือกองค์ประกอบหลักที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของผู้พิการทางสายตา โดยพิจารณาจากขนาด น้ำหนัก ความสามารถในการประมวลผล จากนั้น จึงเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบทางกายภาพ การติดตั้งอุปกรณ์ และการเชื่อมต่อวงจร ผู้วิจัยได้ทำการเลือก Raspberry Pi 5 เป็นศูนย์กลางการควบคุมระบบ โดยคำนึงถึงความสามารถในการประมวลผลข้อมูลจากโมดูลกล้องและเซนเซอร์ต่าง ๆ พร้อมกัน อุปกรณ์ดังกล่าว สามารถเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องผ่านพอร์ต CSI และรองรับการใช้งานเซนเซอร์หลายชนิดผ่านพอร์ต GPIO หรือ I2C ได้แก่ เซนเซอร์อัลตราโซนิก และเซนเซอร์ MPU6050 จากนั้นเพื่อความกะทัดรัด สะดวกสบายในการสวมใส่และความคล่องตัว จึงออกแบบการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันในรูปแบบเข็มขัด

ในส่วนของเซนเซอร์ที่ติดกับเข็มขัด เพื่อลดผลกระทบจากการขยับตัวต่อค่าของเซนเซอร์อัลตราโซนิก อุปกรณ์จะถูกติดตั้งบนเข็มขัด โดยยึดตรึงแน่นกับเข็มขัด เพื่อเสริมความแข็งแรง และบุโพนด้านใน เพื่อลดการบิดงอไปตามสรีระร่างกาย ในด้านการประมวลผลสัญญาณ ระบบใช้ค่าที่วัดได้ 5 ค่า ในแต่ละรอบ มาหาค่ามัธยฐานก่อนนำไปใช้ เพื่อลดค่าพุ่งการกระแทก และหาช่วงระยะทางรอบปกติที่ได้จากการวัดช่วงเริ่มต้น พร้อมกำหนดช่วงค่าที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ± 0.40 เมตร ถ้าวัดได้ 1.20 เมตร จะได้ค่าช่วงระยะปกติที่ 0.80 – 2.00 เมตร เพื่อป้องกันค่าระยะเปลี่ยนไปมาเล็กน้อยจากการขยับตัว ทั้งนี้ ค่าระยะที่อยู่ในช่วงดังกล่าว จะไม่นำไปใช้กระตุ้นเหตุการณ์ใด ๆ และจะพิจารณาเฉพาะค่าที่อยู่นอกช่วงนี้เพื่อนำไปใช้ในตรรกะการตรวจหาทางลาดชัน

ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์เริ่มจากติดตั้งโมดูลกล้องไว้บริเวณด้านหน้าของเข็มขัดในระดับเอว โดยมีการเอียงกล้องลงให้มุมมองภาพตรงกับเส้นทางการเดิน เช่นเดียวกันกับเซนเซอร์อัลตราโซนิกถูกจัดวางให้เอียงลงเพื่อตรวจวัดระยะพื้นเบื้องหน้า ส่วนเซนเซอร์ MPU6050 ติดตั้งในแนวแกน x ซ้ำไปด้านหน้าแนบลำตัวเพื่อให้สะท้อนค่ามุมก้ม-เงยของผู้ใช้งานได้แม่นยำ ขณะที่ Raspberry Pi 5 และแบตเตอรี่สำรองติดตั้งไว้ด้านหลังของเข็มขัดเพื่อถ่วงน้ำหนักให้สมดุล การเชื่อมต่อสายสัญญาณต่าง ๆ ได้รับการจัดระเบียบให้ไม่รบกวนการเคลื่อนไหวไว้ด้านหลังเข็มขัดและยึดไว้ให้ติดกับเข็มขัด เพื่อความมั่นคงขณะใช้งานจริง รายละเอียดการประกอบอุปกรณ์แสดงไว้ใน Figure 2

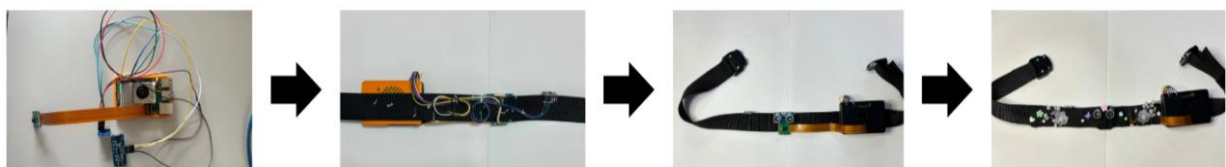


Figure 2 Equipment Assembly Procedure

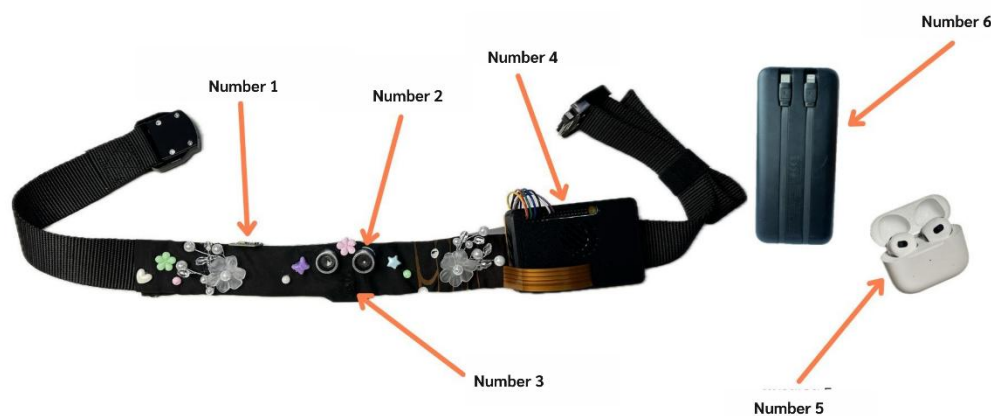


Figure 3 Components of the Belt-Based Device for Visually Impaired Individuals

อุปกรณ์ต้นแบบในรูปแบบของเข็มขัดจาก Figure 3 ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา โดยคำนึงถึงความสะดวกสบายในการสวมใส่ ความคล่องตัว และสามารถปรับความยาวสายเข็มขัดให้เข้ากับผู้ใช้งานแต่ละคน ตัวอุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา และรองรับการตรวจจับวัตถุ พื้นลาดชัน รวมถึงการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ภายในอุปกรณ์ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลหลักคือ Raspberry Pi 5 (หมายเลข 4) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและ

ประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา Python ร่วมกับไลบรารีที่เหมาะสม อุปกรณ์ประกอบด้วย เซนเซอร์ MPU6050 (หมายเลข 1) สำหรับตรวจวัดความเร่งและคำนวณค่ามุมก้ม-เงย เพื่อตรวจจับทางลาดชัน เซนเซอร์อัลตราโซนิก (หมายเลข 2) สำหรับวัดระยะห่างจากวัตถุด้านหน้า โดยให้เซนเซอร์เรียงลงตามความเหมาะสม และ โมดูลกล้อง (หมายเลข 3) สำหรับจับภาพเพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวาง เมื่อพบสิ่งกีดขวางหรือทางลาดชัน ระบบจะแจ้งเตือนด้วยเสียงผ่านหูฟังบลูทูธ (หมายเลข 5) เพื่อให้ผู้ใช้งานรับรู้โดยไม่ต้องอาศัยการมองเห็น ทั้งนี้ อุปกรณ์ใช้แบตเตอรี่สำรอง (หมายเลข 6) เป็นแหล่งพลังงานสำหรับ Raspberry Pi และเซนเซอร์ต่าง ๆ หลังจากการออกแบบเสร็จสิ้นได้มีการทดสอบใช้งานเพื่อค้นหาจุดบกพร่องและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

ส่วนที่ 3 การฝึกแบบจำลอง YOLO สำหรับการตรวจจับวัตถุ

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง YOLOv11n เป็นแบบจำลองพื้นฐานสำหรับการฝึก ในที่นี้ ผู้วิจัยได้เลือกวัตถุตามสภาพแวดล้อมของผู้วิจัย โดยแบ่งออกเป็น กลุ่มคลาสหลัก ซึ่งเป็นวัตถุที่พบได้บ่อยภายนอกอาคาร จำนวน 10 คลาส ได้แก่ ที่กั้น, กรวย, ก้อนหิน, คน, เส้า, ม้านั่ง, ถังขยะ, ป้าย, บันได, ต้นไม้ และกลุ่มคลาสเสริม อีก 6 คลาส ได้แก่ ขวด, กล้อง, พุ่มไม้, แก้ว, กระถางต้นไม้, โต๊ะ ซึ่งเป็นวัตถุที่แม้จะพบไม่บ่อยนักบนทางเดิน แต่มีความเป็นไปได้ที่จะปรากฏในสภาพแวดล้อมจริง หรือสามารถใช้เป็นวัตถุจำลองในการทดสอบระบบได้ขณะเดียวกันก็ยังช่วยคงความยืดหยุ่นในการตรวจจับวัตถุอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานได้ในบางสถานการณ์ ทั้งนี้ การเลือกวัตถุต้องพิจารณาจากความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงของผู้ใช้งาน เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้และตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ

1. การจัดเตรียมชุดข้อมูล ผู้วิจัยได้รวบรวมภาพวัตถุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่พบได้จากสภาพแวดล้อมของผู้วิจัย โดยถ่ายภาพวัตถุเอง และภาพบางส่วนจากอินเทอร์เน็ต นำภาพทั้งหมดเข้าไปจัดการบนโปรแกรม Roboflow (roboflow, n.d) ซึ่งสามารถใช้ทำ Annotate หรือการ Label กำกับว่าในกรอบนั้นคือวัตถุใด และสามารถเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลโดยการทำ Augmentation ได้อีกด้วย เมื่อเสร็จสิ้นจึงได้ชุดข้อมูลรวม 952 ภาพ แบ่งเป็นชุดฝึก (train set) 846 ภาพ, ชุดตรวจสอบ (Validation set) 76 ภาพ, และชุดทดสอบ (test set) 30 ภาพ

2. การฝึกแบบจำลอง ผู้วิจัยใช้ภาษา Python รันโค้ดผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ร่วมกับการใช้ GPU บนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล โดยผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการฝึกและชุดคำสั่งจาก Ultralytics YOLO GitHub <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (Ultralytics, n.d) ในขั้นตอนการฝึกแบบจำลอง ได้ตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น ขนาดของภาพ (imgsz) เท่ากับ 320x320 พิกเซล เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากรของอุปกรณ์ Raspberry Pi 5 ซึ่งต้องประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์หลายชนิดพร้อมกัน จึงเลือกใช้ภาพขนาดเล็กลงเพื่อลดภาระในการประมวลผลและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ นอกจากนี้ แบบจำลองถูกฝึกด้วยจำนวนรอบการฝึก (Epochs) เท่ากับ 200 รอบ เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ข้อมูลได้อย่างเพียงพอ และมีความแม่นยำที่เหมาะสม พร้อมกันนี้ ยังได้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองบนชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation set) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะปรากฏในรูปของกราฟและตัวชี้วัดต่าง ๆ

3. การทดสอบ ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่ได้จากการฝึกมาทดสอบใช้ โดยไฟล์แบบจำลองที่ได้มานั้นจะมีชื่อว่า best.pt เป็นรูปแบบไฟล์ของ PyTorch มาใช้งาน โดยเขียนโปรแกรมภาษา python ทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้ดีเพียงใดกับภาพที่ไม่เห็นมาก่อน นอกจากนี้ ยังมีการทดสอบเพิ่มเติมด้วยการใช้โมดูลกล้องตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ฝึกแล้วในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ความแตกต่างของแสง และมุมกล้อง การทดสอบทั้งสองรูปแบบนี้ จะช่วยยืนยันว่าแบบจำลองจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ ซึ่งเป็นผลการทดสอบจากกล้องจริง ดังตัวอย่าง Figure 4



Figure 4 Example of Object Detection Testing

ในส่วนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบในสองส่วนหลัก ได้แก่ การประเมินผลจากการฝึกแบบจำลองการตรวจจับวัตถุ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ค่าตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้ในงานด้านการเรียนรู้ของเครื่องและการตรวจจับวัตถุ ได้แก่ ค่า mAP (mean Average Precision) ค่า F1-score รวมถึงค่าตัวชี้วัดอื่น ๆ เช่น Precision, Recall ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้สะท้อนถึงความสามารถของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุได้ และการทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบ ผู้วิจัยได้ทดลองเพื่อประเมินความสามารถของระบบในการทำงานแบบบูรณาการ โดยประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจจับวัตถุจากกล้องจริง การแนะนำทิศทางหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการตรวจจับทางลาดชัน โดยในแต่ละประเภทของการทดสอบจะมีการคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละแต่ละองค์ประกอบ

Results

ภายหลังการฝึกแบบจำลอง YOLO กับชุดข้อมูลที่จัดเตรียมไว้ ระบบได้รายงานผลการประเมินในรูปของกราฟพร้อมค่าตัวชี้วัดมาตรฐาน ได้แก่ Precision, Recall, F1-score และ Mean Average Precision (mAP) ซึ่งใช้สะท้อนความสามารถของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุประเภทต่าง ๆ จากผลรวมของทุกคลาส พบว่าแบบจำลองมีค่า mAP@0.5 เท่ากับ 0.830 ซึ่งแสดงถึงระดับความแม่นยำและความสม่ำเสมอในการตรวจจับวัตถุ โดยผลการประเมินจะแสดงผ่านกราฟ 2 ประเภทใน Figure 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กราฟ Precision-Recall Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Precision และ Recall ทั้งในระดับคลาสและภาพรวม โดยเส้นรวมที่มีผลออกมาเป็นเส้นสีน้ำเงิน แสดงถึงแบบจำลองที่สามารถรักษาระดับ precision ได้ในระดับสูง แม้ recall จะเพิ่มขึ้น คลาสที่มีค่า precision สูง ได้แก่ box, bottle, chair และ sign ขณะที่บางคลาส เช่น plant pot และ bush มีค่า precision ค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากความหลากหลายของลักษณะวัตถุในคลาสดังกล่าว

2. กราฟ F1-Confidence Curve แสดงค่า F1-score ที่ระดับ confidence ต่าง ๆ โดยพบว่าค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.81 เมื่อค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.559 ซึ่งเป็นจุดสมดุลที่เหมาะสมระหว่าง precision และ recall และสามารถใช้เป็น threshold สำหรับระบบต้นแบบจริงได้

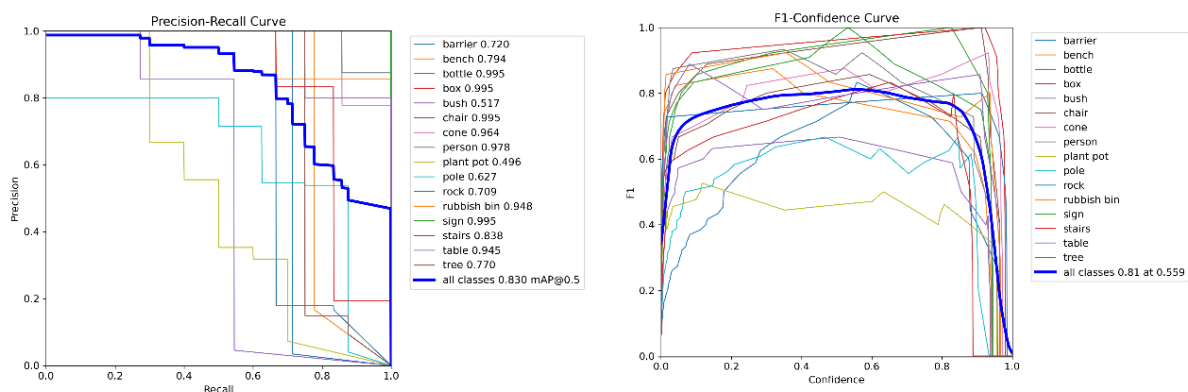


Figure 5 Precision-Recall Curve and F1-Confidence Curve

ในการทดสอบระบบต้นแบบ ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นไปทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนในสถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง เพื่อประเมินความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้น ว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ตรวจสอบปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ ของอุปกรณ์ ทั้งในด้านการตรวจจับวัตถุ การวิเคราะห์ตำแหน่ง ไปจนถึงการแจ้งเตือนเสียงและการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม เพื่อโดยการทดสอบจะประกอบไปด้วย

1. การทดสอบความแม่นยำของการตรวจจับวัตถุ โดยใช้กล้องในการตรวจจับวัตถุ 16 ประเภทในสภาพแวดล้อมจริง จำนวนวัตถุประเภทละ 50 ครั้ง เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองสามารถตรวจจับวัตถุที่ผ่านการฝึกฝนได้อย่างถูกต้องหรือไม่ จากนั้นนำจำนวนครั้งที่ตรวจจับได้อย่างถูกต้องมาเปรียบเทียบกับจำนวนการทดสอบทั้งหมด เพื่อคำนวณค่าความแม่นยำเฉลี่ย จากผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 94.0% รายละเอียดผลการทดสอบของแต่ละวัตถุ แสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Accuracy Test Results of Object Detection with the Trained Model

Detected Objects	Object Test Results 50 times		Accuracy %
	Correct	Incorrect	
1. Barrier	47	3	94.0%
2. Bench	46	4	92.0%
3. Bottle	50	0	100.0%
4. Box	46	4	92.0%
5. Bush	46	4	92.0%
6. Chair	48	2	96.0%
7. Cone	50	0	100.0%
8. Person	45	5	90.0%
9. Plant Pot	50	0	100.0%
10. Pole	46	4	92.0%
11. Rock	44	6	88.0%
12. rubbish bin	48	2	96.0%

Detected Objects	Object Test Results 50 times		Accuracy %
	Correct	Incorrect	
13. Sign	47	3	94.0%
14. Stairs	48	2	96.0%
15. Table	46	4	92.0%
16. Tree	45	5	90.0%
Average			94.0%

และการทดสอบนี้ ดำเนินการในสภาพแวดล้อมจริง ภายใต้การควบคุมตัวแปรที่เหมาะสม โดยเลือกพื้นที่เป็นทางเดินที่มีการสัญจรของผู้คนไม่หนาแน่น วัตถุที่ใช้ทดสอบมีลักษณะชัดเจน ไม่ซับซ้อน และมีขนาดเหมาะสมกับเฟรมกล้อง กล่าวคือ ไม่เล็กจนเกินไปและไม่ครอบคลุมพื้นที่ภาพมาก การทดสอบครอบคลุมช่วงเวลากลางวันไปจนถึงช่วงเย็นที่ยังมีแสงเพียงพอต่อการทำงานของกล้อง

จากการสังเกตพบว่า ในช่วงกลางวัน ระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ส่วนในช่วงเย็นยังสามารถตรวจจับได้ หากมีแสงเพียงพอ แต่ความแม่นยำและความต่อเนื่องในการตรวจจับอาจลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับช่วงกลางวัน ซึ่งเป็นผลจากปริมาณแสงที่ลดลงและสภาพแวดล้อมที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ

2. การทดสอบความแม่นยำของการแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ผู้วิจัยได้จัดสถานการณ์จำลองโดยวางวัตถุไว้ด้านหน้าของผู้ทดลอง ในตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ ซ้าย กลาง และขวา โดยสังเกตว่าระบบแจ้งเตือนทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ถูกต้องหรือไม่ ตัวอย่างเช่น วัตถุอยู่ทางซ้ายระบบจะแจ้งเตือนให้หลบไปทางขวา วัตถุอยู่ทางขวา ระบบจะแจ้งเตือนให้หลบไปทางซ้าย และวัตถุอยู่ตรงกลางระบบจะแจ้งเตือนหลบไปทางซ้ายหรือขวา ในแต่ละสถานการณ์ได้ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 30 ครั้ง จากผลการทดสอบพบว่า กรณีวัตถุอยู่ทางซ้ายแนะนำได้ถูกต้อง 29 ครั้ง กรณีวัตถุอยู่ตรงกลางแนะนำได้ถูกต้อง 28 ครั้ง และกรณีวัตถุอยู่ตรงขวาแนะนำได้ถูกต้อง 29 ครั้ง โดยรวม ระบบสามารถให้คำแนะนำได้ถูกต้องใน 86 จาก 90 ครั้ง คิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ย 95.5% แสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถให้คำแนะนำได้อย่างถูกต้องภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ชัดเจนและไม่มีปัจจัยรบกวน เช่น วัตถุที่มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพ หรือท่าทางของผู้ใช้งานที่ส่งผลต่อมุมมอง

3. การทดสอบความแม่นยำในการตรวจจับทางลาดชัน ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเดินในพื้นที่ที่มีลักษณะทางลาดชันแตกต่างกันในพื้นที่จริง ได้แก่ ทางลาดขึ้นและทางลาดลง เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการตรวจจับลักษณะพื้นผิวและแจ้งเตือนเสียงได้ถูกต้อง โดยในแต่ละลักษณะได้ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 50 ครั้ง จากผลการทดสอบพบว่า กรณีทางลาดลงแนะนำได้ถูกต้อง 46 ครั้ง กรณีทางลาดขึ้นแนะนำได้ถูกต้อง 43 ครั้ง โดยมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 92.0% และ 86.0% ตามลำดับ ค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 89.0% ซึ่งค่าความแม่นยำที่ได้อยู่ในระดับที่พอใช้ได้ โดยเฉพาะในการแจ้งเตือนผู้ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงอย่างทางลาดชัน

สำหรับการทดสอบการแจ้งเตือนเสียงผ่านหูฟังบลูทูธ ระบบสามารถแปลงข้อความเป็นเสียงและเล่นเสียงได้อย่างถูกต้องตามข้อมูลที่ตรวจจับได้ในระหว่างการทดสอบทั้ง 3 ฟังก์ชัน กล่าวคือ ระบบสามารถทำงานร่วมกันระหว่างฟังก์ชันตรวจจับวัตถุ การแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการตรวจจับทางลาดชัน พร้อมแจ้งเตือนเสียงได้ดี แม้ว่าการทดสอบทั้งหมดในครั้งนี้อยู่ในระดับของการทดสอบระบบ โดยผู้วิจัยผ่านสถานการณ์จำลองที่กำหนดขึ้นเอง เพื่อประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของระบบ ยังไม่มีการทดลองกับกลุ่มผู้ใช้งานจริงหรือผู้พิการทางสายตาโดยตรง จึงยังไม่สามารถสะท้อนผลการใช้งานในสถานการณ์จริงได้โดยสมบูรณ์ ทั้งนี้ ผลการทดลองที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น

สำหรับการปรับปรุงระบบ และเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาในอนาคต อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้เลือกสถานที่ทดสอบในลักษณะที่ใกล้เคียงกับทางเดินเท้าจริงในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถสะท้อนประสิทธิภาพของระบบได้อย่างเหมาะสม

Conclusion and Discussion

ผลการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาระบบต้นแบบเพื่อช่วยนำทางผู้พิการทางสายตา โดยระบบต้นแบบมีความสามารถในการนำทางเฉพาะหน้า สามารถตรวจจับวัตถุ แนะนำทิศทางหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และบอกลักษณะของทางลาดชันได้ อันเกิดจากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLOv11n ในการวิเคราะห์ภาพจากกล้องร่วมกับข้อมูลจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก และเซนเซอร์ MPU6050 ที่ติดตั้งบน Raspberry Pi 5 จากการประเมินแบบจำลอง YOLO ที่ฝึกด้วยชุดข้อมูลที่กำหนดเอง พบว่าค่า mAP@0.5 เท่ากับ 0.830 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุของแบบจำลอง แม้จะใช้ภาพที่มีขนาดเล็กลงเพื่อลดภาระการประมวลผลบน raspberry pi 5

การทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบ โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ในสถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง พบว่าการทดสอบตรวจจับวัตถุด้วยกล้องจริง มีความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 94.0% จาก Table 1 จะเห็นว่ากลุ่มวัตถุที่มีความแม่นยำสูง เช่น ขวดน้ำ กรวย นั้นจะมีลักษณะรูปร่าง สี และขอบเขตที่ชัดเจน แตกต่างจากพื้นหลังอย่างเด่นชัด ทำให้แบบจำลองสามารถจำแนกได้ง่าย แม้ในสภาพแสงที่ต่างกัน แต่ในส่วนของกลุ่มวัตถุที่มีความแม่นยำต่ำ เช่น ก้อนหิน มักจะเป็นวัตถุที่มีขนาดและรูปร่าง หลากหลายหรือมีลักษณะกลมกลืนกับพื้น อาจเกิดการสับสนกับฉากหลัง โดยเฉพาะเมื่ออยู่ระยะไกล ทั้งนี้ ความแม่นยำยังขึ้นอยู่กับการฝึกข้อมูลฝึก ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าความแม่นยำยังขึ้นอยู่กับความหลากหลายและคุณภาพของชุดข้อมูลฝึก ดังนั้น หากเพิ่มตัวอย่างภาพในสภาพแวดล้อมและมุมมองที่หลากหลายมากขึ้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการตรวจจับวัตถุได้ดียิ่งขึ้น สะท้อนถึงศักยภาพของระบบในการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงที่มีความแตกต่างของแสงและมุมมอง ในส่วนของการทดสอบการแนะนำทิศทางการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง จากการทดลองอย่างละ 30 ครั้ง มีความแม่นยำเฉลี่ยรวม 95.5% แบ่งเป็นความถูกต้องด้านขวา 29 ครั้ง ด้านซ้าย 29 ครั้ง และตรงกลาง 28 ครั้ง สะท้อนถึงความสามารถในการให้คำแนะนำการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะตำแหน่งวัตถุมีความชัดเจนในภาพที่ได้จากกล้องสามารถทราบได้ว่าวัตถุวางอยู่ในทิศทางไหน สภาพแสงและมุมมองในสถานการณ์จำลองถูกควบคุมอย่างเหมาะสม ทั้งนี้การเคลื่อนไหวของผู้ใช้ระหว่างตรวจจับ อาจทำให้กรอบวัตถุเลื่อนไปอยู่ในอีกส่วนหนึ่งของภาพทำให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนได้ ในส่วนของการตรวจจับทางลาดชัน จากการทดลองอย่างละ 50 ครั้ง มีความแม่นยำเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 89.0% แบ่งเป็นทางลาดลง 92.0% และทางลาดขึ้น 86.0% สะท้อนถึงความสามารถของการตรวจจับทางลาดชันได้อย่างถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการสังเกต ทางลาดขึ้น อาจผิดพลาดในการตรวจจับบางครั้ง เนื่องจากความชันบางรูปแบบ เช่น ชันน้อยหรือค่อย ๆ สูงขึ้น ทำให้ค่าจากเซนเซอร์ไม่มากพอที่จะเข้าเงื่อนไข และสาเหตุที่ทางลาดลงตรวจหาได้แม่นยำกว่า เพราะว่าในเงื่อนไขเพียงเซนเซอร์ใดเซนเซอร์หนึ่งเข้าเกณฑ์ก็ถือว่าพบ อีกทั้งลักษณะทางลาดลงมักมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะจากอัลตราโซนิกเด่นชัด ทำให้ตรวจจับง่ายและไว สาเหตุที่ต้องการความไวเพราะว่าทางลาดลงมีความเสี่ยงสูงกว่า พื้นด้านหน้าอาจหายไปทันที ไม่เหมือนทางลาดขึ้นที่ผู้ใช้ยังสามารถรับรู้ได้บ้างจากการสัมผัสของเท้า ในส่วนการแจ้งเตือนเสียงก็สามารถแสดงเสียงตามข้อมูลตามที่ได้ตรวจจับได้อย่างถูกต้อง

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ช่วยนำทางอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตาโดยใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับเซนเซอร์อัลตราโซนิก เซนเซอร์ตรวจจับความชื้น และกล้องที่ติดตั้งบน Raspberry Pi เพื่อให้คำแนะนำในการเดินทางด้วยเสียง ระบบสามารถตรวจจับวัตถุต่าง ๆ ได้ทั้งในและนอกอาคาร โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย 91.70% นอกจากนี้ระบบฮาร์ดแวร์ ยังมีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบนำทางด้วยเสียงแบบเรียลไทม์ โดยใช้ GPS และคำสั่งเสียง (Gabriel et al., 2025) ขณะที่ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้ YOLOv11n และให้ความแม่นยำสูงถึง 94% ในการตรวจจับวัตถุ และเช่นเดียวกับ ในงานพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และปัญญาประดิษฐ์ ในการตรวจจับทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางระบบสามารถจำแนกภาพ 11 ประเภทที่แตกต่างกันได้ดี โดยมีค่า Accuracy อยู่ที่ 97.96% สำหรับการตรวจจับทางต่างระดับ และ 96.08% .ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (Wadeenat, 2025) ซึ่งสอดคล้องกับระบบต้นแบบในงานวิจัยนี้ ที่สามารถตรวจจับวัตถุและแนะนำทิศทางได้อย่างแม่นยำเช่นกัน นอกจากนี้ ยังพบว่าผลการวิจัยของ พัฒนาระบบตรวจจับวัตถุภายในสมาร์ตโฮมสำหรับผู้พิการทางสายตา ที่ใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับ Raspberry Pi4 และ Ultrasonic Sensor ก็แสดงถึงการช่วยให้ผู้พิการสามารถรับรู้สิ่งกีดขวางในระยะปลอดภัย โดยแบบจำลองที่ฝึกด้วยข้อมูลภายในบ้านสามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำถึง 96.2% (Sasikam et al., 2025) ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับระบบต้นแบบของงานวิจัยนี้ ที่เน้นการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง การใช้ YOLO ที่ฝึกจากข้อมูล ช่วยเพิ่มความแม่นยำและตอบสนองต่อสถานการณ์ได้รวดเร็ว แม้ว่าการวิจัยจะเน้นที่บริบทการใช้งานต่างกัน ในบางส่วน แต่ก็ล้วนแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม YOLO สามารถสร้างระบบนำทางและการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้งานได้ให้กับกลุ่มผู้พิการทางสายตา

โดยภาพรวมกลไกการทำงานจะสามารถทำงานได้อย่างดี แต่จากการทดสอบก็ยังพบข้อจำกัดบางประการที่ควรนำไปพิจารณาเพื่อการพัฒนาในอนาคต การใช้งานอุปกรณ์จากได้รับผลกระทบจากพฤติกรรมของผู้ใช้ เช่น การโน้มตัวเอง การก้าวเดินแรงๆ อาจส่งผลให้ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อน ทำให้แสดงผลลัพธ์ได้ผิดพลาด ทั้งการรับภาพของกล้องที่บางครั้งวัตถุอาจไม่เข้าเฟรมกล้องได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กเกินไป หรือไกลเกินไป ซึ่งพบเป็นส่วนน้อยของวัตถุที่ทำการทดสอบ นอกจากนี้ ในกรณีอุปกรณ์ผ่านการใช้งานเป็นเวลานาน เครื่องจะเกิดความร้อนอาจทำให้มีอาการหน่วง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานลดน้อยลง และสำหรับการการแจ้งเตือนเสียงจำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อการแปลงข้อความเป็นเสียงผ่าน gTTS และเพื่อให้ระบบต้นแบบนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้พิการทางสายตาได้ดียิ่งขึ้น จึงอยากเสนอแนะให้มีการปรับปรุงเสถียรภาพด้วยเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายอย่างการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเข้มชัดให้มีการคลาดเคลื่อนที่น้อยลง การลดภาระการทำงานของอุปกรณ์เพื่อเพิ่มระยะเวลาการทำงาน และการทำให้อุปกรณ์สามารถใช้งานโดยที่ไม่พึ่งพาอินเทอร์เน็ต สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังว่าผลงานชิ้นนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคตเพื่อเสริมสร้างนวัตกรรมที่ช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตให้กับผู้พิการทางสายตา

References

- Durette, P. N. (2024). *Google Text-to-Speech*. From <https://pypi.org/project/gTTS/>
- IBM. (2023). *What is the Internet of Things (IoT)?*. From <https://www.ibm.com/think/topics/internet-of-things/>
- Imsuwan, Y. (2021). *What is the definition of blindness?*. From https://tmc.or.th/pdf/tmc_knowledge-108.pdf (in Thai)
- Khanam, R., & Hussain, M. (2024). *Yolov11: An overview of the key architectural enhancements*. arXiv preprint arXiv, 2410. 17725.

- Kongchaimongkhon, W., Udomcharoenchaikit, P., & Areekit, P. (2024). Daily Life's Experience of Visually Impaired Persons. *Ratchaphruek Journal*, 22(1), 144–155. (in Thai)
- LastMinuteEngineers. (2022). *Interface MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor*. From <https://lastminuteengineers.com/mpu6050-accel-gyro-arduino-tutorial>
- Łuczak, S. (2014). Guidelines for tilt measurements realized by MEMS accelerometers. *International journal of precision engineering and manufacturing*, 15(3), 489–496.
- Mahawan, A., Srijiranon, K., & Teerachtragoon, N. (2022). Walk A Go: Multi-purpose walking stick to assist and track users via LINE application. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, 4(2), 10–18. (in Thai)
- Murel, J., & Kavlakoglu, E. (2024). *What is object detection?*. From <https://www.ibm.com/think/topics/object-detection>
- Nanthaseth, J. (2019). Legal Problems of Visually-impaired Persons and Guide Gods in Thailand. *Ubon Ratchathani Rajabhat Law Journal*, 7(1), 1–15. (in Thai)
- Nitmai, D., Phosam, S., & Tangchoopong, T. (2023). Vehicle License Plate Detection and Recognition for Parking Management System. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, 5(2), 72–86. (in Thai)
- Okolo, G. I., Althobaiti, T., & Ramzan, N. (2025). Smart Assistive Navigation System for Visually. *Journal of Disability Research*, 4(1), 1–10.
- Rasouli Kahaki, Z., Karimi, M., Taherian, M., & Simi, R. (2023). Development and validation of a white cane. *BMC Psychology*, 11(253), 1–11.
- Rattanaprathum, S., Kaena, P., & Hunta, S. (2025). Object Detection in Smart Home System for Visually Impaired Person. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 6(2), 37–52. (in Thai)
- roboflow. (n.d.). *Computer vision tools for developers and enterprises*. From <https://roboflow.com/>
- Saiwa Inc. (2024). *How Will AI Help Disabled People*. From <https://saiwa.ai/blog/ai-and-disability/>
- The Poona School and Home for the Blind. (2024). *Common Problems Faced by Visually Impaired Individuals and How to Address Them*. From <https://www.puneblindschool.org/blogs/common-problems-faced-by-visually-impaired-individuals>
- Toa, M., & Whitehead, A. (2020). *Application Note Ultrasonic Sensing Basics*. From <https://url.in.th/PJLAD>
- Ultralytics. (n.d.). *YOLO11*. From <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Wang, Q., Shikanai, Y., Mima, K., & Tobita, K. (2024). Semantic Mapping and Voice User Interface Based on ORB-SLAM and YOLO for Navigating Visually Impaired Person. *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering*, 12(1), 1–15.
- Wannasawaskul, W. (2025). Smart Cane with Internet of Things and Artificial Intelligence Technology for Obstacle Detection. *Industrial Technology Journal*, 10(1), 213–224. (in Thai)