



EE03-แบบรายงานความก้าวหน้า

นักศึกษา R ปกติ ☐ สมทบ

รายงานความก้าวหน้าโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า
หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) หมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา

(ภาษาอังกฤษ) Blind Spot Eliminator

ผู้จัดทำ

นายณราวิชญ์ นาคเล็ก รหัสนักศึกษา 164404130019 โทร. 0957051408

นายธนภัทร แก้วจุลกาญจน์ รหัสนักศึกษา 164404130013 โทร. 0937217821

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ได้ตรวจโครงงานแล้ว เห็นควร ☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ (.....)	ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ได้ตรวจโครงงานแล้ว เห็นควร ☒ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ (.....)
--	---

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อโครงการ

ในปัจจุบัน การใช้จักรยานยนต์และจักรยานกำลังเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านการเดินทาง และการใช้ชีวิตประจำวัน การขับขี่จักรยานยนต์ในเมืองใหญ่เต็มไปด้วยความท้าทาย เนื่องจากมีรถยนต์และยานพาหนะอื่น ๆ ที่มีความเร็วสูงรวมอยู่ด้วย อุบัติเหตุที่เกิดจากการมองไม่เห็นหรือจุดบอดในระหว่างการขับขี่มักทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่และผู้ใช้ถนนคนอื่น ๆ โดยเฉพาะในจุดที่มีการเปลี่ยนเลนหรือบริเวณที่มีการจราจร การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดความเสี่ยงเหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น โครงการ "Blind Spot Eliminator" จึงถูกสร้างขึ้นเพื่อตอบโจทยดังกล่าว โดยการพัฒนาหมวกกันน็อกอัจฉริยะที่ติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกซึ่งสามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ในจุดบอดของผู้ขับขี่ได้

โครงการนี้มีความสำคัญไม่เพียงแต่ในด้านการป้องกันอุบัติเหตุเท่านั้น แต่ยังช่วยสร้างความตระหนักรู้ถึงความปลอดภัยในการขับขี่ให้กับผู้ใช้รถใช้ถนนทั่วไป การติดตั้งระบบแจ้งเตือนด้วยไฟ LED และเสียงจาก Buzzer จะช่วยเตือนผู้ขับขี่เมื่อมีวัตถุอยู่ในระยะใกล้ ข้อมูลจากเซนเซอร์จะถูกประมวลผลและแสดงผลผ่านระบบที่ใช้งานง่าย ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่สามารถมีสมาธิในการขับขี่ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ ระบบยังช่วยให้ผู้ขับขี่รู้สึกมั่นใจในการเปลี่ยนเลนและเคลื่อนตัวในสภาพการจราจรที่หนาแน่น การพัฒนาหมวกกันน็อกที่มีฟังก์ชันดังกล่าวจึงเป็นการนำเทคโนโลยีมาปรับใช้ในการเสริมสร้างความปลอดภัยในการขับขี่ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในสังคมปัจจุบัน และเป็นการสร้างสรรค์นวัตกรรมที่สามารถลดอุบัติเหตุและความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขับขี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ขับขี่
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบเตือนภัยเมื่ออันตรายให้ผู้ขับขี่
- 1.2.3 เพื่อสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีในการขับขี่
- 1.2.4 เพื่อศึกษาตัวเซนเซอร์อัลตราโซนิก JSN-SR04M

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับหมวกกันน็อก 1 ชุด
- 1.3.2 แจ้งเตือนในมุมอับสายตาข้างละไม่น้อยกว่า 60 องศา
- 1.3.3 ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง
- 1.3.4 มีระบบแสดงผลพลังงานแบตเตอรี่พร้อมแจ้งเตือนเมื่อพลังงานต่ำกว่า 20%
- 1.3.5 สามารถบันทึกข้อมูลทุกครั้งเมื่อมีการแจ้งเตือนใส่SDcard

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน
- 1.4.2 เพิ่มสมรรถภาพของผู้ขับขี่
- 1.4.3 สร้างนวัตกรรมใหม่ในอุตสาหกรรม
- 1.4.4 ได้ความรู้เพิ่มขึ้นจากที่ไปศึกษาตัวเซนเซอร์อัลตราโซนิก JSN-SR04T

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 จัดหาหัวข้อโครงงาน
- 1.5.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบเตือนมุมอับ
- 1.5.3 ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา และวางแผนทางพัฒนา
- 1.5.4 ออกแบบโครงสร้างและระบบ
- 1.5.5 จัดซื้ออุปกรณ์และวัสดุอิเล็กทรอนิกส์
- 1.5.6 พัฒนาโปรแกรมควบคุมเซ็นเซอร์และกล้อง ESP32-CAM
- 1.5.7 ทดสอบระบบการตรวจจับวัตถุและการแจ้งเตือน
- 1.5.8 ประกอบอุปกรณ์เข้ากับหมวกกันน็อค
- 1.5.9 รายงานความก้าวหน้า
- 1.5.10 ปรับปรุง แก้ไขระบบ และทดลองซ้ำ
- 1.5.11 จัดทำเอกสารรายงานและเล่มปริญญานิพนธ์
- 1.5.12 นำเสนอและสอบโครงงาน

บทที่ 2

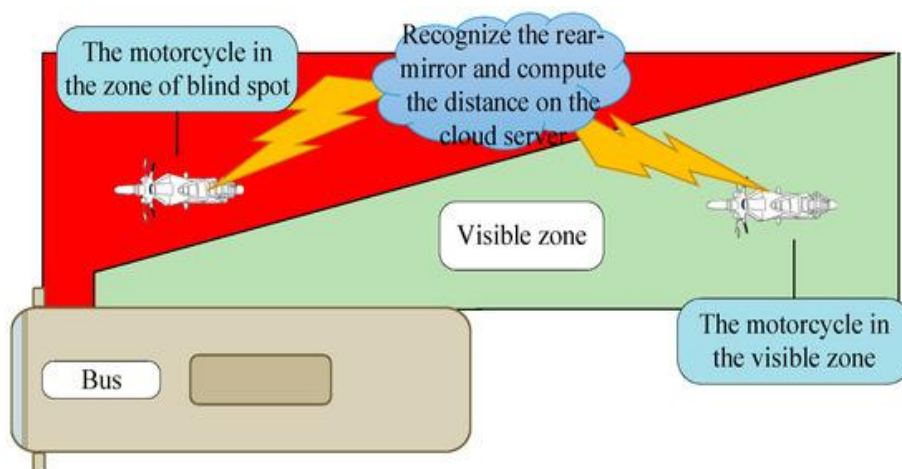
งานวิจัย และทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยและทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง

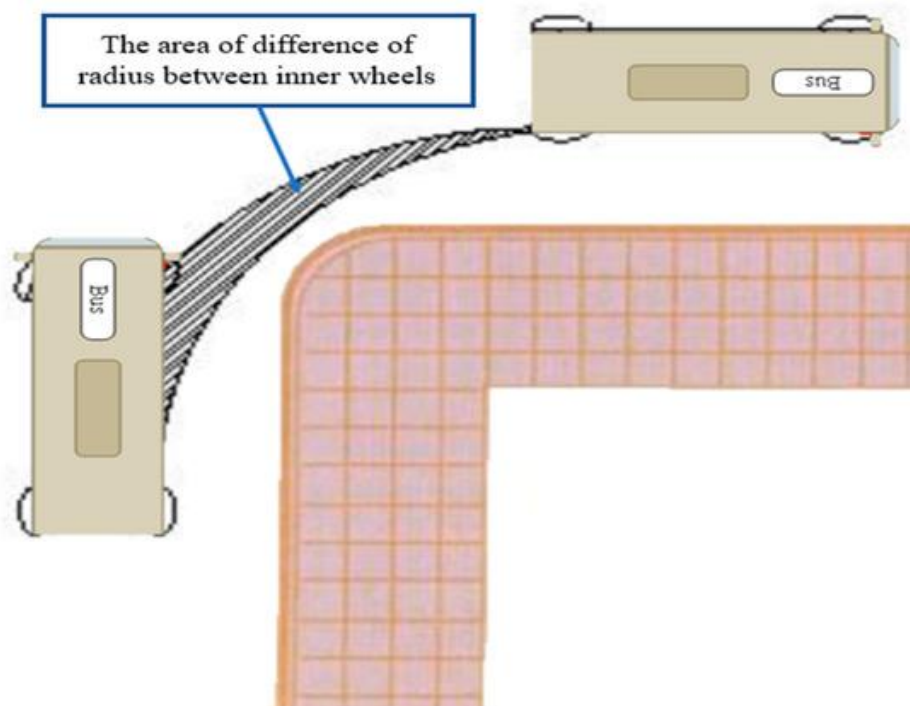
2.1.1 ศึกษาระบบเตือนจุดบอดเชิงรุก (Proactive Blind Spot Warning - PBSW)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเตือนจุดบอดมีการศึกษาและพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่อย่างต่อเนื่อง ในระบบตรวจจับจุดบอด (Blind Spot Detection - BSD) แบบดั้งเดิม มักใช้เซนเซอร์เรดาร์หรือกล้องเพื่อตรวจจับวัตถุที่อยู่ในจุดบอดของยานพาหนะ ระบบนี้สามารถช่วยแจ้งเตือนผู้ขับขี่เมื่อมีวัตถุ เช่น รถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะอื่น เข้าใกล้จุดบอดขณะเปลี่ยนเลนหรือเลี้ยว เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบ BSD ทั่วไป คือ การแจ้งเตือนนั้นเน้นไปที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะหลักเท่านั้น แต่ผู้ขับขี่จักรยานยนต์ที่เข้ามาในจุดบอดอาจไม่ได้รับการแจ้งเตือน ทำให้ยังมีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุในสถานการณ์จริง

การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลภาพมาใช้ในการเตือนจุดบอดได้รับความสนใจอย่างมาก งานวิจัยบางชิ้นได้นำกล้องเลนส์คู่ (Dual-lens) หรือกล้องแบบ fisheye มาใช้ในการสร้างภาพสเตอริโอเพื่อประเมินระยะห่างระหว่างยานพาหนะ ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางรอบด้านได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านความสามารถในการแยกแยะประเภทของสิ่งกีดขวางอย่างแม่นยำ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ งานวิจัยปัจจุบันได้นำเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ เช่น YOLOv4 มาช่วยในการจำแนกวัตถุ เช่น กระงมมองข้างของรถบัส ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการคำนวณระยะห่างระหว่างรถบัสกับจักรยานยนต์ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2 - 1 จุดบอดของรถบัส คือ โซนสีแดง และจุดที่มองเห็นได้ คือ โซนสีเขียว



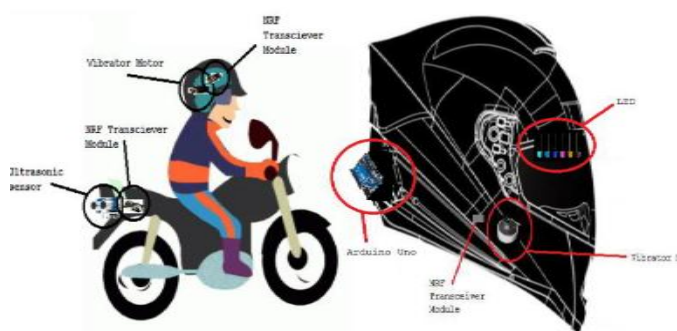
รูปที่ 2 - 2 พื้นที่ความแตกต่างของรัศมีระหว่างล้อด้านในของรถบัส

ระบบ BSD แบบทั่วไปยังมีข้อจำกัดในการต้องพึ่งพาการติดตั้งเซนเซอร์หรือระบบตรวจจับบนยานพาหนะทุกคัน จึงจะสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานทั้งหมดได้ ซึ่งเป็นความท้าทายในการทำให้ระบบนี้เป็นที่แพร่หลาย งานวิจัยในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบเตือนเชิงรุก (Proactive Warning System) ที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยการติดตั้งระบบตรวจจับบนยานพาหนะทุกคัน แต่สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนผู้ขับขี่จักรยานยนต์เมื่อเข้าใกล้จุดบอดของยานพาหนะคันอื่นได้

นอกจากนี้ งานวิจัยยังกล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีการประมวลผลขอบ (Edge Computing) ซึ่งช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้รวดเร็วและแม่นยำในพื้นที่เครือข่าย โดยไม่ต้องพึ่งพาการประมวลผลบนคลาวด์อย่างเต็มที่ ส่งผลให้ระบบมีการตอบสนองที่ดีและเหมาะกับการใช้งานในสถานการณ์จริง ระบบเตือนจุดบอดเชิงรุกที่พัฒนาขึ้นนี้จึงสามารถช่วยให้ผู้ขับขี่จักรยานยนต์ได้รับการแจ้งเตือนทันทีเมื่อเข้าสู่พื้นที่อันตราย เช่น จุดบอดหรือวงเลี้ยวด้านในของรถบัส ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุและเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนนอย่างมีนัยสำคัญ

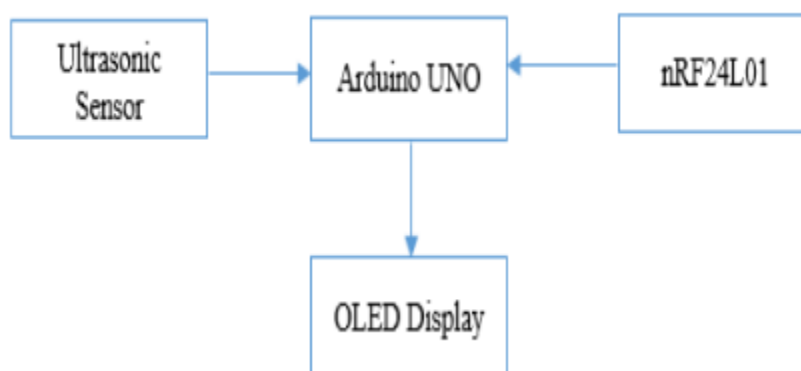
2.1.2 หลักการทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา

การพัฒนาหมวกกันน็อคอัจฉริยะที่สามารถตรวจจับ จุดบอด ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ โดยมุ่งเน้นไปที่การลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุที่เกิดจากการเปลี่ยนเลนโดยไม่สามารถมองเห็นยานพาหนะที่อยู่ใน จุดอับสายตา (Blind Spot) ได้ งานวิจัยนี้พัฒนาระบบโดยใช้ เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก ตรวจจับยานพาหนะที่อยู่ด้านหลังของผู้ขับขี่ ในระยะประมาณ 10-50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่มีความเสี่ยงสูงต่อการชนหากผู้ขับขี่ไม่ทันสังเกต ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่าน ไฟ LED, บีซเซอร์ และมอเตอร์สั่น ที่ติดตั้งภายในหมวกกันน็อค

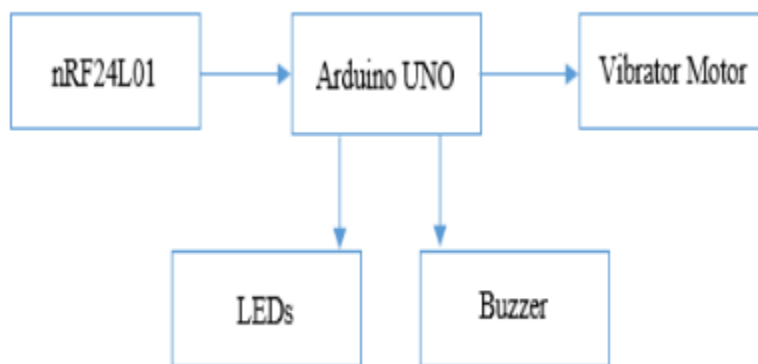


รูปที่ 2 - 3 การออกแบบระบบเฉพาะสำหรับโครงการนี้

การทำงานของระบบถูกควบคุมผ่าน Arduino UNO ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ประมวลผลสัญญาณจากเซ็นเซอร์ และเชื่อมต่อกับ โมดูลสื่อสารไร้สาย nRF24L01 เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังหมวกกันน็อค ทำให้ผู้ขับขี่สามารถรับการแจ้งเตือนได้แบบเรียลไทม์โดยไม่ต้องละสายตาจากท้องถนน นอกจากนี้ หน้าจอแสดงผล OLED Display ยังถูกนำมาใช้ในการแสดงค่าระยะทางที่ตรวจพบแบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้ขับขี่สามารถประเมินสถานการณ์ได้อย่างแม่นยำขึ้น



รูปที่ 2 - 4 แผนผังบล็อกของหน่วยส่งสัญญาณ



รูปที่ 2 - 5 แผนผังบล็อกของหน่วยรับ

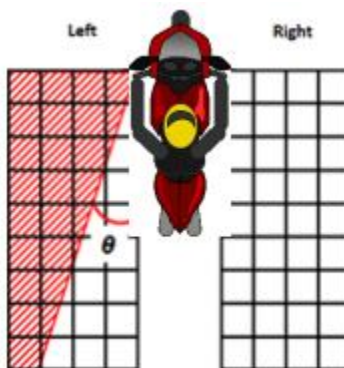
จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ พบว่า ระบบตรวจจับจุดบอดที่ติดตั้งบนหมวกกันน็อคอัจฉริยะสามารถช่วยลดอุบัติเหตุจากการเปลี่ยนเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถหันไปมองด้านหลังได้อย่างสะดวก เช่น เมื่ออยู่บนท้องถนนที่มีการจราจรหนาแน่นหรือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ยังพบว่า การแจ้งเตือนผ่านมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) มีประสิทธิภาพในการดึงความสนใจของผู้ขับขี่ได้ดีกว่าการแจ้งเตือนด้วยเสียงเพียงอย่างเดียว ซึ่งช่วยลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุที่อาจเกิดจากความตกใจหรือการเสียสมาธิ

2.1.3 การกำหนดโซนจุดบอดของรถจักรยานยนต์

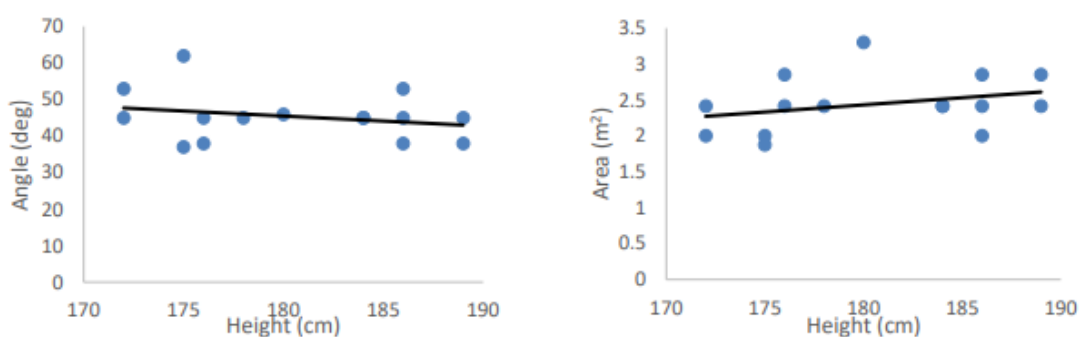
เขตจุดบอด (Blind Spot Zone - BSZ) ของรถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของอุบัติเหตุบนท้องถนน โดยเฉพาะการชนกันระหว่างรถจักรยานยนต์กับรถยนต์ หรือรถจักรยานยนต์กับยานพาหนะอื่นๆ งานวิจัยระบุว่า จุดบอดของรถจักรยานยนต์เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น

- การเปลี่ยนเลนหรือเลี้ยวโดยไม่สามารถมองเห็นยานพาหนะรอบข้างได้ชัดเจน
- การพึ่งพากระจกมองข้างเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีขอบเขตการมองเห็นที่จำกัด
- สภาพแวดล้อม เช่น ถนนที่มีแสงน้อย หรือไฟหน้ารถที่อาจบดบังการมองเห็น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ระบุขอบเขตของจุดบอดของรถจักรยานยนต์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง มุมของจุดบอด, ขนาดของพื้นที่จุดบอด และความสูงของผู้ขับขี่ โดยใช้ เทคนิคกริด (Grid-based Technique) ในการวัดมุมและขนาดของจุดบอด



รูปที่ 2 - 6 Grid-based technique for BSZ



รูปที่ 2 - 7 ผลลัพธ์สำหรับความสูงต่างๆ ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์สำหรับ มุมของ BSZ และ พื้นที่ของ BSZ

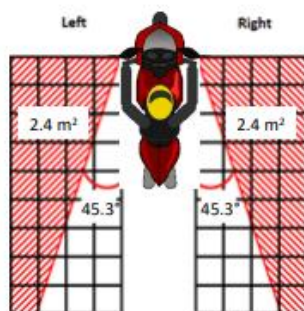
ผลการศึกษาเกี่ยวกับจุดบอดของรถจักรยานยนต์

1. มุมของจุดบอด (Blind Spot Angle) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 45.3° สำหรับด้านซ้ายและขวาของรถจักรยานยนต์

2. ขนาดของพื้นที่จุดบอดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.4 ตารางเมตร

3. มุมของจุดบอดลดลงเมื่อความสูงของผู้ขับขี่เพิ่มขึ้น

4. พื้นที่ของจุดบอดเพิ่มขึ้นตามความสูงของผู้ขับขี่



รูปที่ 2 - 8 จุดอับสายตาสำหรับรถจักรยานยนต์

โดยผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่า การออกแบบกระจกมองข้างและการใช้ระบบช่วยตรวจจับจุดบอดเป็นสิ่งสำคัญ ในการลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุ

2.1.4 กระจกมองหลังแบบโปรเกรสซีฟ สำหรับมอเตอร์ไซด์

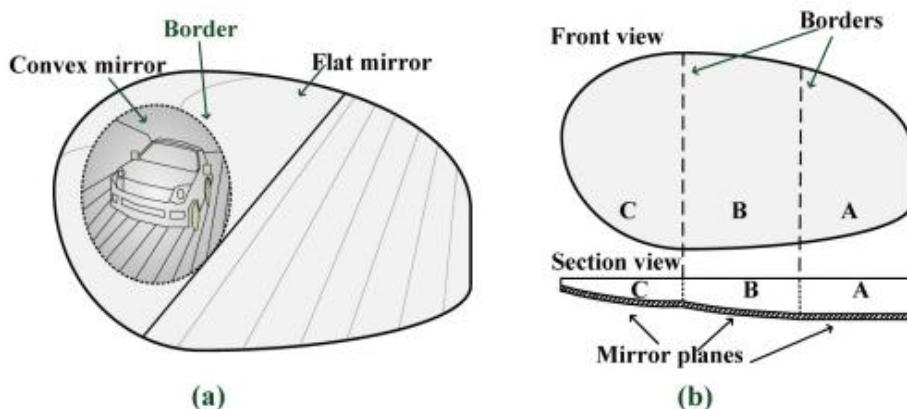
การออกแบบและการผลิตกระจกมองหลังแบบโปรเกรสซีฟสำหรับรถจักรยานยนต์ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดจุดบอด (Blind Spot) และเพิ่มขอบเขตการมองเห็นของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ งานวิจัยนี้ได้ใช้ แบบจำลองเรขาคณิตและการจำลองเชิงแสง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง โครงร่างของกระจก, ขอบเขตการมองเห็น (Field of View - FOV), และขนาดของภาพสะท้อน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการ เปรียบเทียบกระจกประเภทต่างๆ รวมถึง

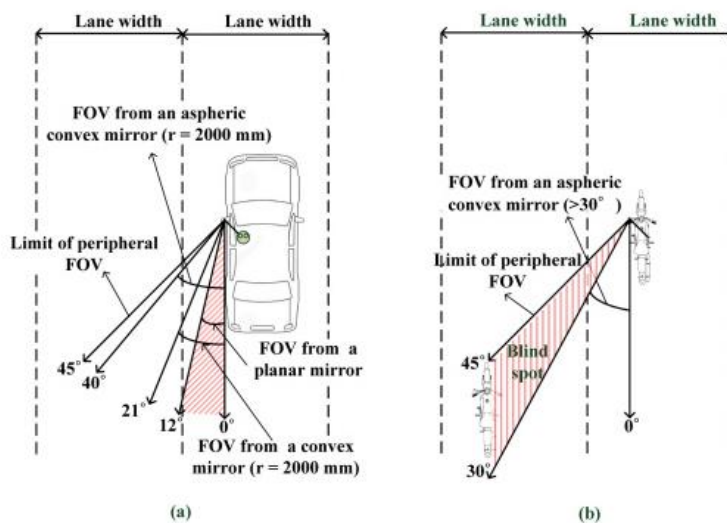
กระจกแบน (Flat Mirror) → ให้ภาพสะท้อนที่มีขนาดและระยะเท่ากับวัตถุจริง แต่มีขอบเขตการมองเห็นที่จำกัด

กระจกโค้งทรงกลม (Spherical Convex Mirror) → สามารถเพิ่มขอบเขตการมองเห็นได้ แต่มีข้อเสียคือทำให้ภาพที่สะท้อนมีขนาดเล็กลง

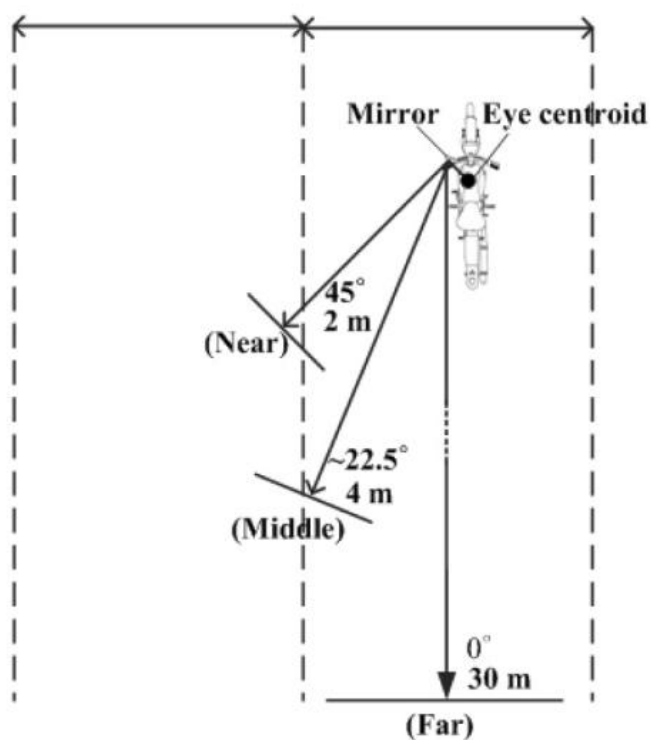
กระจกแบบโปรเกรสซีฟ (Progressive Rear-View Mirror) → สามารถลดจุดบอด ขยายขอบเขตการมองเห็น และทำให้ภาพสะท้อนมีความเสถียร



รูปที่ 2 - 9 Image jump can be observed when the eye sees across the borders between sections with different orientations and curvatures. The borders of (a) a mirror composed of a convex portion and a flat portion and (b) a multiradius mirror.



รูปที่ 2 - 10 Diagram depicting (a) the FOV of various rear-view mirrors for cars, and (b) the FOV goal of the proposed mirror for motorcycles.



รูปที่ 2 - 11 Three viewed targets, which represent far, middle, and near vision conditions.

ผลการทดลองพบว่า กระจกโปรเกรสซีฟสามารถขยายขอบเขตการมองเห็นได้มากถึง 52.4° ซึ่งมากกว่ากระจกมองหลังทั่วไปที่มีขอบเขตการมองเห็นเพียง 40° โดยมุมมองที่กว้างขึ้นนี้ช่วยลดโอกาสที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถมองเห็นยานพาหนะที่อยู่ในจุดบอดของตนเอง



รูปที่ 2 - 12 Reflective images of (a) a flat mirror and (b) a freeform reflector

2.3 อุปกรณ์ที่สำคัญ

2.3.1 ESP32 CAM

การพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและทำงานอัตโนมัติได้รับความนิยมอย่างมาก หนึ่งในอุปกรณ์ที่เป็นที่นิยมในกลุ่มนักพัฒนาคือ ESP32 CAM ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth รวมถึงกล้อง OV2640 ที่สามารถถ่ายภาพและวิดีโอได้ การใช้งาน ESP32 CAM จึงมีความหลากหลายและตอบสนองความต้องการในหลายด้าน

ส่วนประกอบหลักของ ESP32 CAM

ESP32 CAM ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่มีหน่วยประมวลผลแบบ dual-core ซึ่งช่วยให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันกล้อง OV2640 ที่มีความละเอียดสูงถึง 2MP ช่วยให้ผู้ใช้สามารถจับภาพและวิดีโอได้ในคุณภาพที่ดี นอกจากนี้ ESP32 CAM ยังมีฟังก์ชันการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth ที่ช่วยให้สามารถส่งข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อย่างสะดวกสบาย

การทำงานและฟังก์ชันการใช้งาน

ESP32 CAM สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่าย Wi-Fi เพื่อส่งข้อมูลภาพหรือวิดีโอไปยังเซิร์ฟเวอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ การควบคุมกล้องสามารถทำได้ผ่านการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถตั้งค่าความละเอียด การเปิด/ปิดแฟลช และการปรับโฟกัสได้ตามต้องการ นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ ESP32 CAM ในการสตรีมมิงวิดีโอแบบเรียลไทม์ไปยังเว็บเบราว์เซอร์หรือแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานการณ์ต่าง ๆ ได้จากระยะไกล

อีกทั้ง ESP32 CAM ยังเหมาะสำหรับการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยสามารถตั้งโปรแกรมให้กล้องจับภาพเมื่อมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น และส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่าน Wi-Fi ได้ ทำให้ ESP32 CAM เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาระบบ IoT



รูปที่ 2 - 13 บอร์ด ESP32 Cam

2.3.2 เซนเซอร์วัดระยะ AJ-SR04M

เป็นเซนเซอร์อัลตราโซนิกชนิดกั้นน้ำ ที่ใช้หลักการส่งคลื่นเสียงความถี่สูง (ประมาณ 40 kHz) ไปกระทบกับวัตถุ แล้ววัดเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมานำมาคำนวณเป็นระยะทาง โดยมีช่วงการวัดที่ครอบคลุมตั้งแต่ 25 เซนติเมตร ถึง 450 เซนติเมตร ทำให้เหมาะสำหรับงานตรวจจับสิ่งกีดขวาง เช่น ระบบแจ้งเตือนมุมอับสายตาบนหมวกกันน็อก

ในการคำนวณระยะทาง เซนเซอร์จะอาศัยความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปที่อุณหภูมิประมาณ 20°C คลื่นเสียงจะเดินทางด้วยความเร็วประมาณ 343 เมตรต่อวินาที (m/s) หรือเท่ากับ 0.0343 เซนติเมตรต่อไมโครวินาที (cm/ μ s) โดยค่าระยะทางจะคำนวณจากเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปกลับระหว่างเซนเซอร์และวัตถุ แล้วหารสองเพื่อให้ได้ระยะทางด้านเดียว

ด้วยคุณสมบัติในการกันน้ำและฝุ่นในระดับ IP65 เซนเซอร์ AJ-SR04M สามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง หรือสภาวะที่อาจมีละอองน้ำและฝุ่นรบกวน อีกทั้งยังตอบสนองได้รวดเร็ว โดยมีเวลาในการวัดระยะต่อครั้งประมาณ 20 มิลลิวินาที หรือประมาณ 50 ครั้งต่อวินาที (50 Hz)



รูปที่ 2 - 14 เซนเซอร์ Ultrasonic JSN-SR04M

2.3.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion) ขนาด 3.7V 2000 mAh

เป็นแบตเตอรี่เซลล์เดี่ยวที่ได้รับความนิยมสูงในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา และให้พลังงานได้ต่อเนื่อง เหมาะสำหรับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ESP32, Arduino, โมดูล Wi-Fi, และอุปกรณ์ IoT ต่าง ๆ

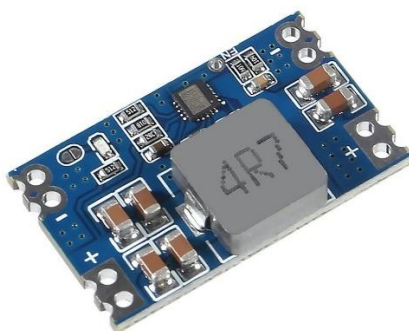
แบตเตอรี่รุ่นนี้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับโมดูลควบคุมการชาร์จ เช่น TP4056 และโมดูล Boost Converter เพื่อเพิ่มแรงดันเป็น 5V สำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 - 15 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion)

2.3.4 Mini560 DC-DC Step-Down Converter 5A

โมดูลนี้สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 5A มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย และมีขนาดกะทัดรัด เหมาะกับงานอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ต้องการความเสถียรของแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2 - 16 Boost Converter 3.7V to 5V

2.3.5 บอร์ด ESP32S

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิป ESP32 ซึ่งเป็นชิป 32 บิตแบบ Dual-Core ที่พัฒนาโดยบริษัท Espressif Systems ประเทศจีน โดยมีคุณสมบัติเด่นในการรวมเอาการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth (Classic + BLE) ไว้ภายในชิปเดียว พร้อมรองรับการประมวลผลความเร็วสูง และการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ

ด้วยความสามารถที่หลากหลายของ ESP32S จึงเหมาะสำหรับงานพัฒนาอุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Devices), ระบบ IoT (Internet of Things), ระบบควบคุมแบบฝังตัว (Embedded Systems), ระบบตรวจจับเซนเซอร์, การสื่อสารไร้สาย และระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติในอุตสาหกรรมหรืองานวิจัย



รูปที่ 2 - 17 ESP-32S

2.3.6 Voltage Sensor Module

โมดูล Voltage Sensor ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยต่อร่วมกับบอร์ดควบคุม เช่น ESP32 หรือ Arduino ผ่านขา ADC โดยภายในมีวงจรแบ่งแรงดัน ทำให้สามารถวัดแรงดันอินพุตได้ถึงประมาณ 25V และแปลงให้อยู่ในช่วงปลอดภัย (0–3.3V สำหรับ ESP32)

การต่อใช้งานคือ ขา Vin ต่อกับแหล่งแรงดัน ขา GND ต่อกราวด์ และขา Vout ต่อ ADC โดยใช้สูตร:

$$V_{out} = \frac{ADC \times 3.3}{4095} \quad \text{และ} \quad V_{bat} = V_{out} \times 5.7$$



รูปที่ 2 - 18 Voltage Sensor Module

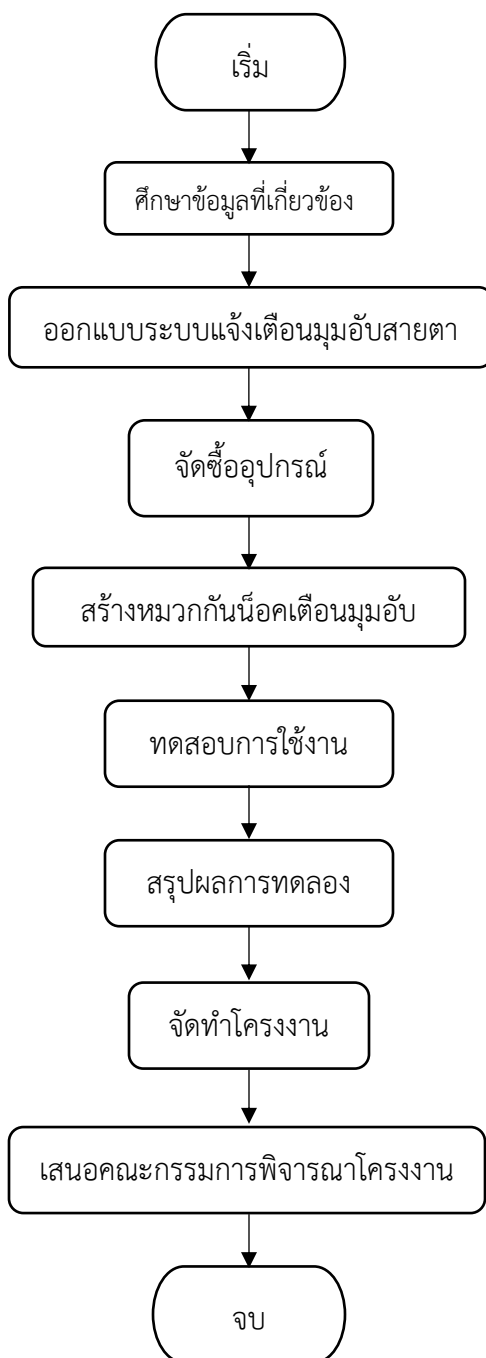
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

การออกแบบและขั้นตอนการสร้างหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา โดยนำความรู้จากทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก JSN-SR04M โดยการส่งคลื่นความถี่เสียงไปกระทบตัววัตถุแล้วสะท้อนกลับมาเพื่อประมวลผลระยะห่างของวัตถุ โดยมีตัวEsp32S เป็นตัวควบคุม Sensor เมื่อระยะตกกระทบเปลี่ยนแปลง เพื่อให้มั่นใจว่าระบบดังกล่าวจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ยังได้ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิก JSN-SR04M เพื่อให้มั่นใจว่าระบบจะสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในขอบเขตของโครงการ ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับหมวกกันน็อค 1 ชุด
2. แจ้งเตือนในมุมอับสายตาข้างละไม่น้อยกว่า 60 องศา
3. ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง
4. มีระบบแสดงผลพลังงานแบตเตอรี่พร้อมแจ้งเตือนเมื่อพลังงานต่ำกว่า 20%
5. สามารถบันทึกรูปทุกครั้งเมื่อมีการแจ้งเตือนใส่SDcard

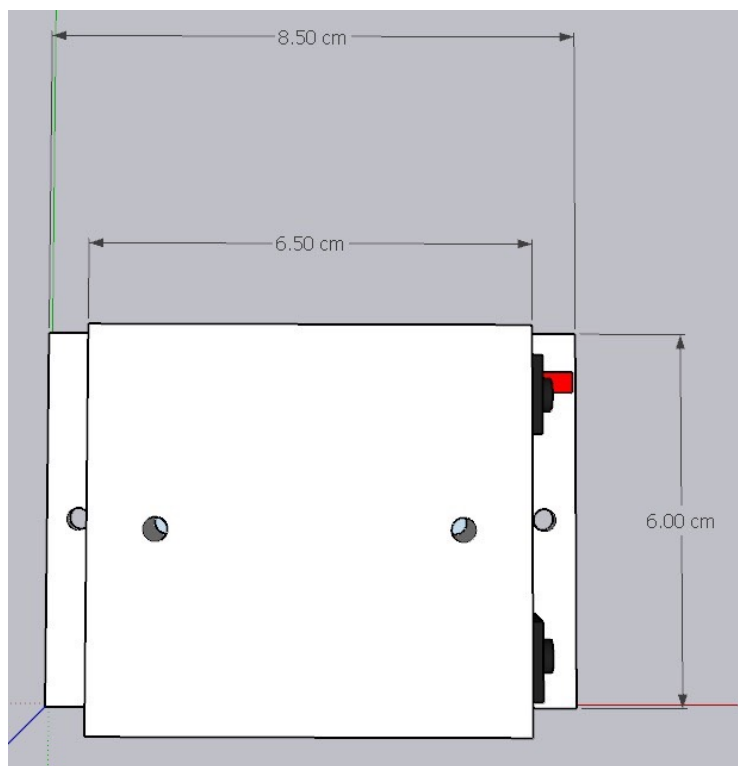
การดำเนินโครงการสามารถเขียนแผนผังขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้ 3 - 1



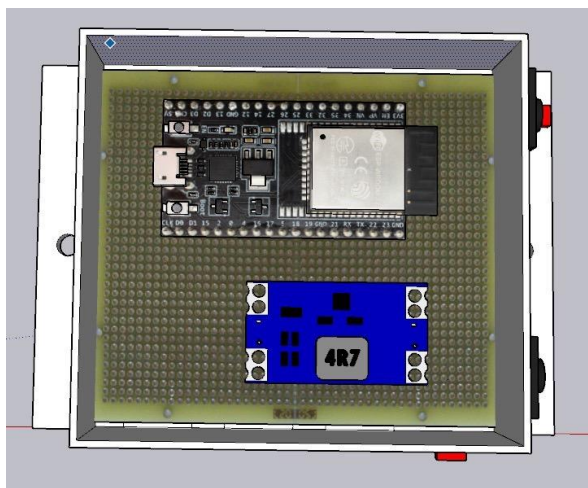
รูปที่ 3 - 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.1 ออกแบบกล่องควบคุมหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา

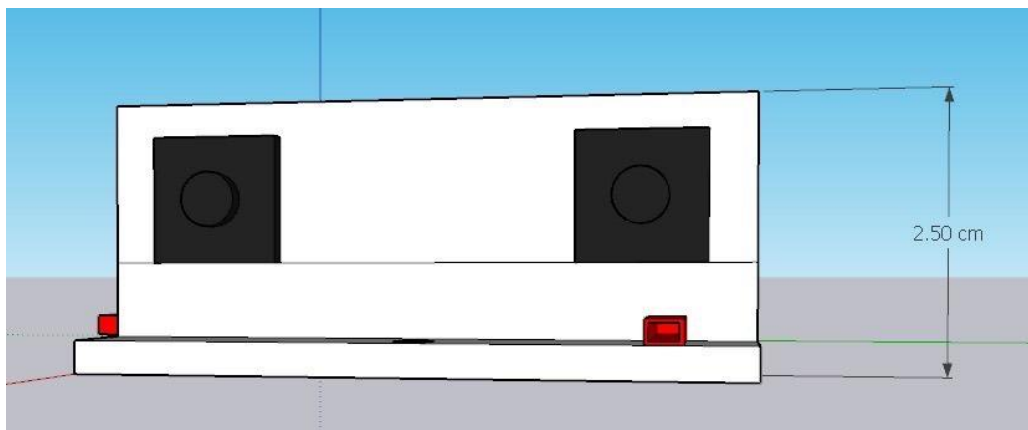
สำหรับการออกแบบโครงสร้างกล่องควบคุมของหมวกกันน็อคแจ้งเตือนมุมอับสายตา ได้ใช้โปรแกรม SketchUp Pro 2021 ในการสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อให้เห็นภาพรวมของการติดตั้งอุปกรณ์และจัดวางองค์ประกอบภายในกล่องอย่างเหมาะสมดังรูปที่ 3 – 2



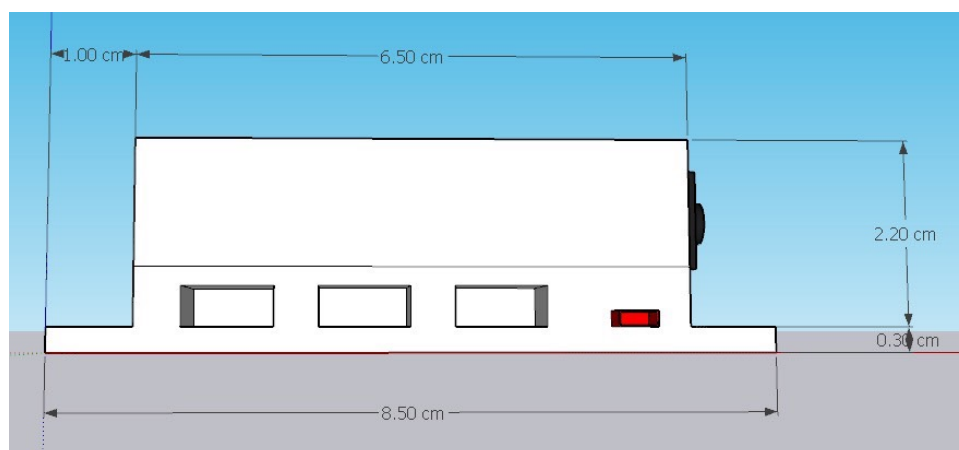
รูปที่ 3 – 2 แบบจำลองกล่องควบคุมหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา



รูปที่ 3 – 3 โครงสร้างและอุปกรณ์ภายในกล่องควบคุมหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา



รูปที่ 3 - 4 โครงสร้างและอุปกรณ์ภายในกล่องควบคุมหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา



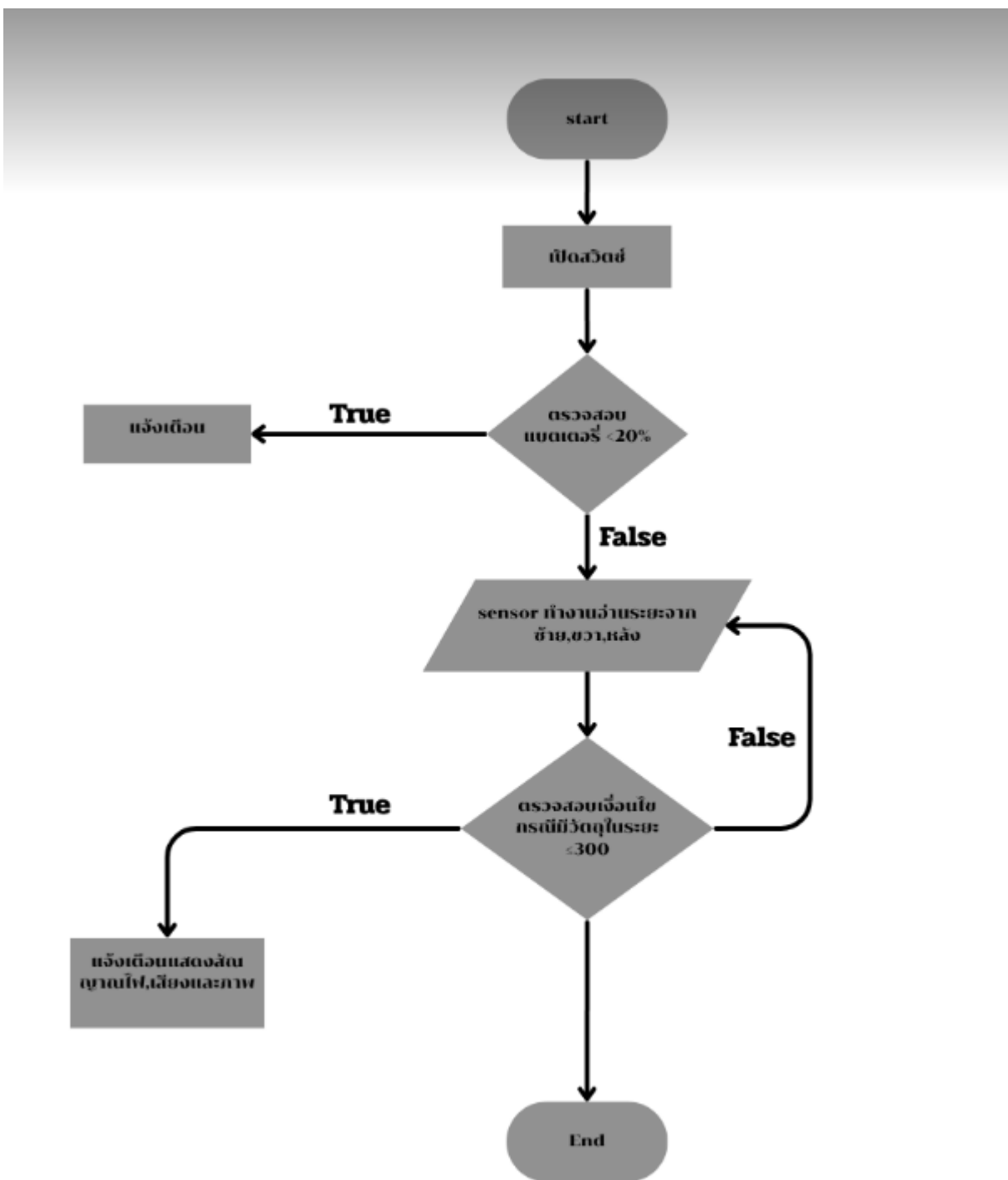
รูปที่ 3 - 5 โครงร่างกล่องควบคุมและตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ภายใน

3.1.1 อุปกรณ์ประกอบหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา

ตารางที่ 3 - 1 อุปกรณ์ประกอบโครงสร้างชิ้นงาน

ชั้นที่	ชื่ออุปกรณ์
1	บอร์ด ESP32-S (ควบคุมหลัก)
2	บอร์ด ESP32-CAM (สำหรับถ่ายภาพ)
3	Sensor อัลตราโซนิก AJ-SR04M
4	NeoPixel LED Strip
5	Buzzer 5V
6	สวิตช์ปิดเสียง (Mute Switch)
7	สวิตช์เปิด-ปิดระบบ (Power Switch)
8	กล่อง ESP32-CAM พร้อมโมดูล MicroSD Card
9	แบตเตอรี่ลิเทียม Li-ion 3.7V 2000mAh
10	โมดูลชาร์จแบตเตอรี่ TP4056 (Type-C)
11	โมดูล Boost Converter 3.7V to 5V
12	โมดูลตรวจวัดแรงดันแบตเตอรี่ (Voltage Divider)
13	NeoPixel LED แจ้งเตือนสถานะแบตเตอรี่
14	สาย USB to Type-C (สำหรับชาร์จ TP4056)

3.1.2 หลักการทำงานของโครงการ



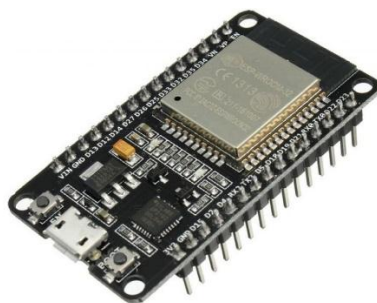
รูปที่ 3 - 6 แผนผังออกแบบการสร้างโปรแกรมการทำงานของระบบเตือนมุมอับสายตา

3.2 อุปกรณ์ที่สำคัญ

3.2.1 บอร์ด ESP32S

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิป ESP32 ซึ่งเป็นชิป 32 บิตแบบ Dual-Core ที่พัฒนาโดยบริษัท Espressif Systems ประเทศจีน โดยมีคุณสมบัติเด่นในการรวมเอาการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth (Classic + BLE) ไว้ภายในชิปเดียว พร้อมรองรับการประมวลผลความเร็วสูง และการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ

ด้วยความสามารถที่หลากหลายของ ESP32S จึงเหมาะสำหรับงานพัฒนาอุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Devices), ระบบ IoT (Internet of Things), ระบบควบคุมแบบฝังตัว (Embedded Systems), ระบบตรวจจับเซนเซอร์, การสื่อสารไร้สาย และระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติในอุตสาหกรรมหรืองานวิจัย



รูปที่ 3 – 7 บอร์ด ESP32S

3.2.2 บอร์ด ESP32-CAM

เป็นโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รวมความสามารถด้านการประมวลผล การสื่อสารไร้สาย และการประมวลผลภาพเข้าไว้ด้วยกัน โดยใช้ชิปประมวลผลหลักคือ ESP32-S (ESP32-S0WD) ที่มีซีพียูแบบดูอัลคอร์ ความเร็วสูงสุด 240 MHz พร้อมหน่วยความจำแฟลชและ PSRAM ในตัว เหมาะอย่างยิ่งสำหรับงาน IoT, ระบบตรวจจับภาพ, ระบบรักษาความปลอดภัย, หรือโปรเจกต์ Smart Device ที่ต้องการถ่ายภาพแบบไร้สาย

บอร์ดนี้มาพร้อมกับ กล้อง OV2640 ความละเอียดสูงสุด 2 ล้านพิกเซล (1600x1200 UXGA) และสามารถบันทึกภาพลงใน MicroSD Card ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดได้ทันที จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับงานบันทึกภาพจากการตรวจจับวัตถุ เช่น ในโครงการหมวกกันน็อคเตือนมุมอับสายตา

ESP32-CAM ยังสามารถส่งภาพถ่ายผ่าน สัญญาณ Trigger จากภายนอก (GPIO) ซึ่งในโครงการนี้จะควบคุมด้วย ESP32-S อีกตัวที่รับค่าจากเซนเซอร์วัดระยะ แล้วส่งคำสั่งให้ ESP32-CAM ทำการบันทึกภาพเมื่อมีเหตุการณ์เข้าเงื่อนไขอันตราย



รูปที่ 3 - 8 บอร์ด ESP32-CAM

3.2.3 เซนเซอร์วัดระยะ AJ-SR04M

เป็นเซนเซอร์อัลตราโซนิกชนิดกั้นน้ำ ที่ใช้หลักการส่งคลื่นเสียงความถี่สูง (ประมาณ 40 kHz) ไปกระทบกับวัตถุ แล้ววัดเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมานำมาคำนวณเป็นระยะทาง โดยมีช่วงการวัดที่ครอบคลุมตั้งแต่ 25 เซนติเมตร ถึง 450 เซนติเมตร ทำให้เหมาะสำหรับงานตรวจจับสิ่งกีดขวาง เช่น ระบบแจ้งเตือนมุมอับสายตาบนหมวกกันน็อก

ในการคำนวณระยะทาง เซนเซอร์จะอาศัยความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปที่อุณหภูมิประมาณ 20°C คลื่นเสียงจะเดินทางด้วยความเร็วประมาณ 343 เมตรต่อวินาที (m/s) หรือเท่ากับ 0.0343 เซนติเมตรต่อไมโครวินาที (cm/ μ s) โดยค่าระยะทางจะคำนวณจากเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปกลับระหว่างเซนเซอร์และวัตถุ แล้วหารสองเพื่อให้ได้ระยะทางด้านเดียว

ด้วยคุณสมบัติในการกันน้ำและฝุ่นในระดับ IP65 เซนเซอร์ AJ-SR04M สามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง หรือสภาวะที่อาจมีละอองน้ำและฝุ่นรบกวน อีกทั้งยังตอบสนองได้รวดเร็ว โดยมีเวลาในการวัดระยะต่อครั้งประมาณ 20 มิลลิวินาที หรือประมาณ 50 ครั้งต่อวินาที (50 Hz)



รูปที่ 3 - 9 เซนเซอร์วัดระยะ AJ-SR04M

3.2.4 NeoPixel LED Strip

แถบไฟ LED แบบดิจิทัลที่สามารถควบคุมสีของแต่ละดวงได้อย่างอิสระผ่านเพียงขาสัญญาณเดียว โดย LED แต่ละดวงจะมีไอซีควบคุมในตัว (เช่น WS2812B) ที่สามารถกำหนดค่าของสี แดง (Red), เขียว (Green), และน้ำเงิน (Blue) ได้แยกจากกัน และสามารถผสมเป็นสีต่าง ๆ ได้มากกว่าหลายล้านสี

ด้วยคุณสมบัติที่สามารถแสดงผลได้อย่างแม่นยำ สีสดใส สีสันสดใส ตอบสนองรวดเร็ว และใช้งานง่าย ผ่านบอร์ดควบคุม เช่น ESP32



รูปที่ 3 – 10 NeoPixel LED Strip

3.2.5 Buzzer

แบบ Passive ซึ่งต่างจาก Active Buzzer ตรงที่ไม่มีวงจรสร้างคลื่นในตัว จำเป็นต้องควบคุมด้วย สัญญาณความถี่ (PWM) ที่ส่งออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วงความถี่เสียง: ประมาณ 500 – 5000 Hz ความดังของเสียง: ประมาณ 80 – 90 dB ที่ระยะ 10 ซม. เช่น ESP32 เพื่อทำให้เกิดเสียงแจ้งเตือนคุณสมบัติทางเทคนิคของ Buzzer (แบบ Passive)



รูปที่ 3 – 11 Buzzer

3.2.6 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion) ขนาด 3.7V 2000 mAh

เป็นแบตเตอรี่เซลล์เดี่ยวที่ได้รับความนิยมสูงในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และให้พลังงานได้ต่อเนื่อง เหมาะสำหรับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ESP32, Arduino, โมดูล Wi-Fi, และอุปกรณ์ IoT ต่าง ๆ

แบตเตอรี่รุ่นนี้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับโมดูลควบคุมการชาร์จ เช่น TP4056 และโมดูล Boost Converter เพื่อเพิ่มแรงดันเป็น 5V สำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3 -12 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion)

3.2.7 BMS 2S 7.4V 8A โมดูลป้องกันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบ 2 เซลล์

การใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบ 2 เซลล์ (2S) ซึ่งมีแรงดันรวมประมาณ 7.4 โวลต์ จำเป็นต้องมีวงจรบริหารจัดการแบตเตอรี่เพื่อความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยในโครงการนี้เลือกใช้ โมดูล BMS 2S 7.4V 8A ซึ่งเป็นวงจรบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่สามารถป้องกันอันตรายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการชาร์จและการใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โมดูล BMS (Battery Management System) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ให้เหมาะสม โดยเฉพาะในระบบที่มีการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดสมดุลระหว่างเซลล์แบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ ตัวโมดูล BMS ที่เลือกใช้นี้สามารถรองรับกระแสได้สูงสุดถึง 8 แอมป์ ซึ่งเพียงพอสำหรับโหลดของระบบทั้งหมดในโครงการ

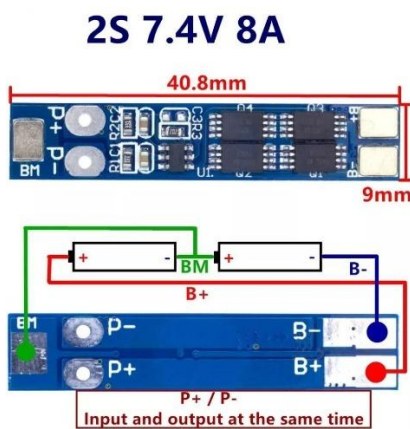
หน้าที่หลักของ BMS 2S 7.4V 8A ได้แก่:

- (1.) ป้องกันการชาร์จเกิน (Overcharge Protection): ตัดการชาร์จอัตโนมัติเมื่อแรงดันสูงเกินกำหนด
- (2.) ป้องกันการคายประจุเกิน (Overdischarge Protection): หยุดการใช้งานเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ต่ำเกินไป เพื่อป้องกันความเสียหายของเซลล์
- (3.) ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection): ตรวจจับและตัดการทำงานเมื่อมีการใช้กระแสเกินพิกัด

(4.) ป้องกันการลัดวงจร (Short-circuit Protection): หยุดการทำงานทันทีเมื่อเกิดการลัดวงจร เพื่อป้องกันความเสียหายทั้งระบบ

โมดูล BMS นี้ออกแบบมาให้ใช้งานง่าย โดยมีจุดเชื่อมต่อที่ชัดเจน ได้แก่:

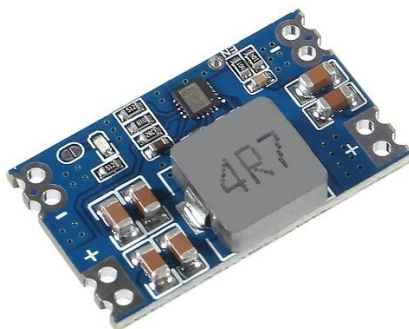
- (1.) B+ / B- สำหรับเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่โดยตรง
- (2.) P+ / P- สำหรับจ่ายไฟไปยังวงจรโหลด
- (3.) B1 สำหรับเชื่อมต่อจุดกลางระหว่างแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2



รูปที่ 3 - 13 7 BMS 2S 7.4V 8A

3.2.8 Mini560 DC-DC Step-Down Converter 5A

โมดูลนี้สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 5A มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย และมีขนาดกะทัดรัด เหมาะกับงานอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ต้องการความเสถียรของแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3 - 14 Boost Converter 3.7V to 5V

3.2.9 Voltage Sensor Module

โมดูล Voltage Sensor ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยต่อร่วมกับบอร์ดควบคุม เช่น ESP32 หรือ Arduino ผ่านขา ADC โดยภายในมีวงจรแบ่งแรงดัน ทำให้สามารถวัดแรงดันอินพุตได้ถึงประมาณ 25V และแปลงให้อยู่ในช่วงปลอดภัย (0–3.3V สำหรับ ESP32)

การต่อใช้งานคือ ขา Vin ต่อกับแหล่งแรงดัน ขา GND ต่อกราวด์ และขา Vout ต่อ ADC โดยใช้สูตร:

$$V_{out} = \frac{ADC \times 3.3}{4095} \quad \text{และ} \quad V_{bat} = V_{out} \times 5.7$$

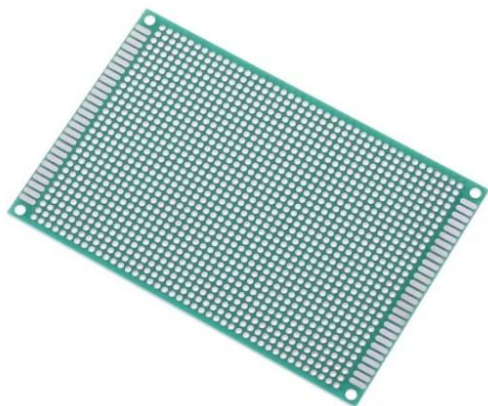


รูปที่ 3 - 15 Voltage Sensor Module

3.2.10 แผ่นวงจรบอร์ดไข่ปลา ขนาด 8×12 เซนติเมตร

แผ่นวงจรบอร์ดไข่ปลา (Prototype Board) เป็นแผงวงจรเนกประสงค์ที่มีรูเจาะเรียงกันเป็นตาราง โดยแต่ละรูมีระยะห่างมาตรฐาน 2.54 มิลลิเมตร และมีลายทองแดงแยกอิสระกันเพื่อให้สามารถต่อวงจรตามต้องการได้อย่างอิสระ

ในโครงการนี้เลือกใช้บอร์ดไข่ปลาขนาด 8×12 เซนติเมตร สำหรับประกอบชุดวงจรแปลงแรงดันเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้แรงดัน 5V เช่น บอร์ด ESP32, เซนเซอร์อัลตราโซนิก, NeoPixel, Voltage Sensor Module และโมดูลกล้อง โดยมีจุดเด่นคือใช้งานง่าย ไม่ต้องออกแบบ PCB และเหมาะสำหรับงานต้นแบบที่ต้องการความยืดหยุ่นในการปรับแก้



รูปที่ 3 - 16 แผ่นวงจรบอร์ดไข่ปลา ขนาด 8×12 เซนติเมตร

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบตรวจจับวัตถุและการแจ้งเตือน

ศึกษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์อัลตราโซนิก ระบบแสดงผลด้วย NeoPixel ระบบเสียง Buzzer และโมดูล ESP32-CAM เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบแจ้งเตือนและถ่ายภาพอัตโนมัติ

(1.) เซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor JSN-SR04M)

ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุในระยะไม่เกิน 4 เมตร เหมาะกับสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ติดตั้งกับหมวกกันน็อค



รูปที่ 3 - 17 แสดงการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเซนเซอร์อัลตราโซนิกผ่านแหล่งข้อมูลออนไลน์

(2.)ระบบแสดงผลด้วย NeoPixel (RGB LED Strip)

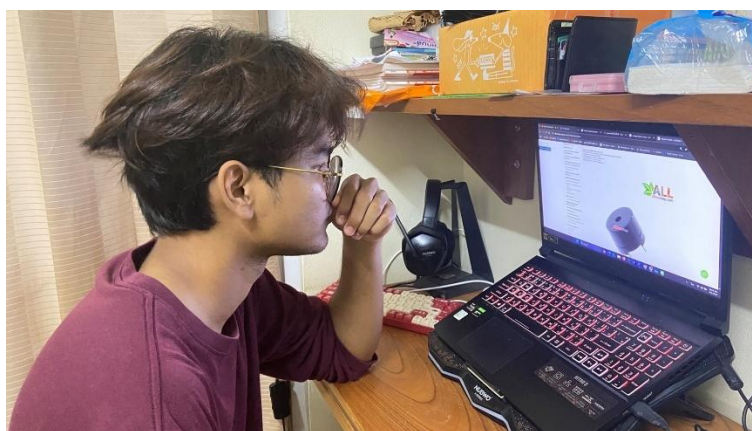
ใช้สำหรับแสดงสถานะของวัตถุที่เข้าใกล้ในรูปแบบของแสงสี เช่น สีแดง – อันตราย, สีส้ม – ระวังเตือน



รูปที่ 3 – 18 แสดงการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับNeoPixel (RGB LED Strip)ผ่านแหล่งข้อมูลออนไลน์

(3.) ระบบเสียง Buzzer (Passive Buzzer)

ใช้แจ้งเตือนเมื่อมีวัตถุเข้าใกล้ในระยะอันตราย โดยความถี่ของเสียงจะเปลี่ยนตามระยะ

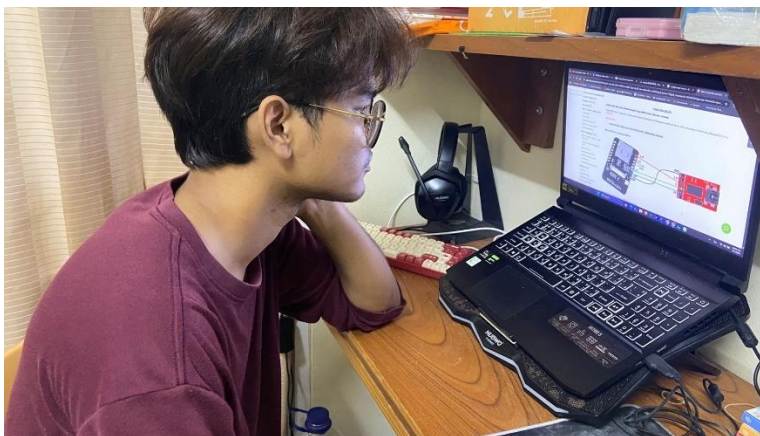


รูปที่ 3 – 19 แสดงการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับBuzzer (Passive Buzzer)ผ่านแหล่งข้อมูลออนไลน์

(4.) โมดูล ESP32-CAM

ทำหน้าที่ถ่ายภาพอัตโนมัติเมื่อระบบตรวจจับพบวัตถุในระยะอันตราย และจัดเก็บภาพลง SD

Card



รูปที่ 3 – 20 แสดงการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโมดูล ESP32-CAM ผ่านแหล่งข้อมูลออนไลน์

3.3.2 ออกแบบระบบและการติดตั้งอุปกรณ์บนหมวกกันน็อก

วางแผนการติดตั้งเซนเซอร์ทั้ง 3 จุด (ซ้าย ขวา และหลัง) ให้สามารถครอบคลุมมุมอับสายตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้มุมละประมาณ 60 องศา พร้อมวางแผนตำแหน่งติดตั้งกล้องและแบตเตอรี่

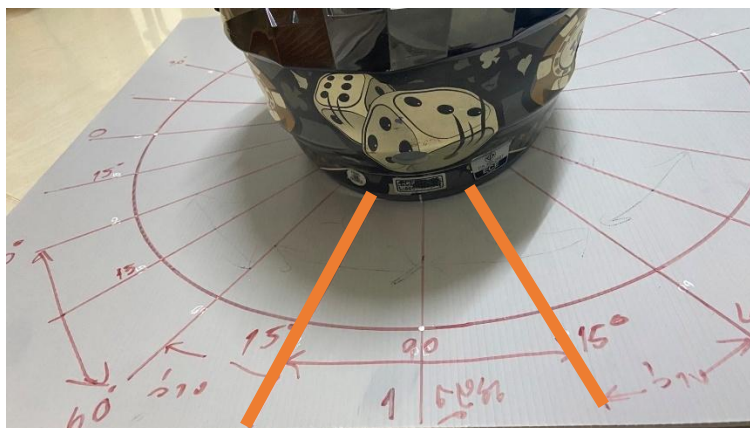
(1.) ครอบคลุมมุมตรวจจับข้างละ 60 องศา เพื่อให้รวมกันเป็นพื้นที่ตรวจจับอย่างน้อย 120

องศา

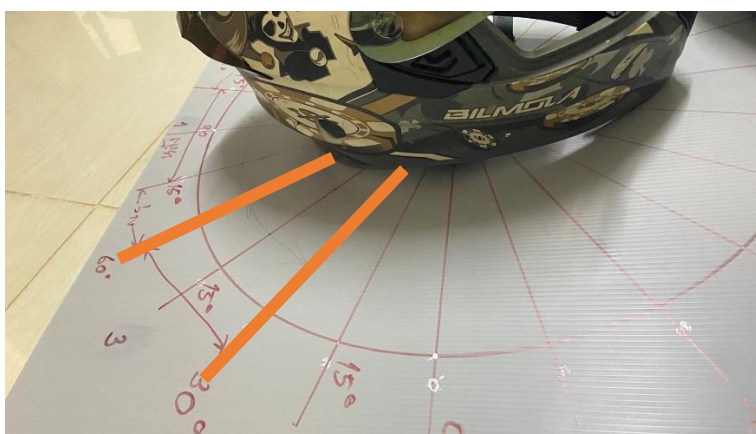


รูปที่ 3 – 21 แสดงขั้นตอนการกำหนดองศาตรวจจับของเซนเซอร์

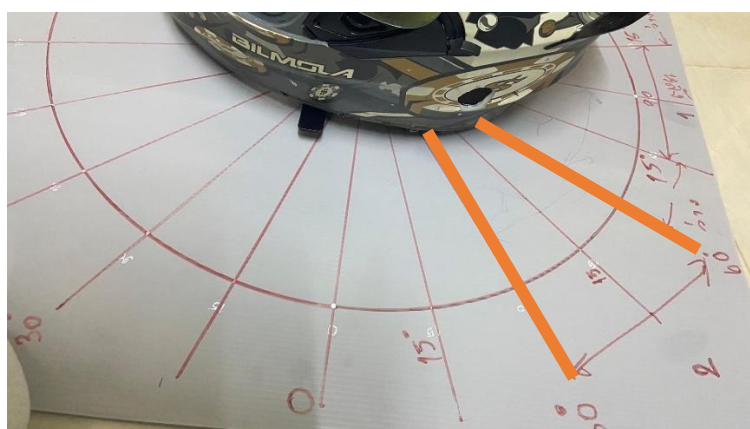
(2.) การวางหมวกกันน็อคบนแผ่นวัดองศาเพื่อประเมินขอบเขตการตรวจจับของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 3 - 22 แสดงการวางตำแหน่งหมวกกันน็อคบนแผ่นองศาสำหรับประเมินมุมการตรวจจับ



รูปที่ 3 - 23 แสดงการวางตำแหน่งหมวกกันน็อคบนแผ่นองศาสำหรับประเมินมุมการตรวจจับ



รูปที่ 3 - 24 แสดงการวางตำแหน่งหมวกกันน็อคบนแผ่นองศาสำหรับประเมินมุมการตรวจจับ

(3.) เซนเซอร์อัลตราโซนิก 3 ตัว ติดตั้งบริเวณซ้าย ขวา และด้านหลังของหมวก



รูปที่ 3 - 25 แสดงด้านซ้ายของหมวกกันน็อค สำหรับติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้านซ้าย



รูปที่ 3 - 26 แสดงด้านขวาของหมวกกันน็อค สำหรับติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้านขวา



รูปที่ 3 - 27 แสดงด้านหลังของหมวกกันน็อค สำหรับติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้านหลัง

(4.) เจาะตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ลงบนหมวกกันน็อก

ดำเนินการเจาะหมวกตามจุดที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อเตรียมติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกอย่าง
แม่นยำ โดยคำนึงถึงองศาการตรวจจับและความแข็งแรงของโครงสร้างหมวก



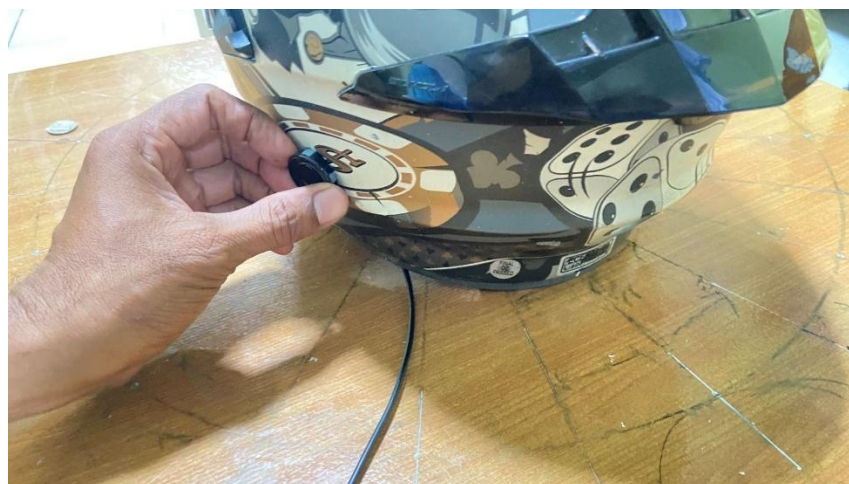
รูปที่ 3 - 28 แสดงขั้นตอนการเจาะหมวกเพื่อเตรียมติดตั้งเซนเซอร์



รูปที่ 3 - 29 แสดงขั้นตอนการเจาะหมวกเพื่อเตรียมติดตั้งเซนเซอร์

(5.) ติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกบนหมวกกันน็อค

หลังจากเจาะตำแหน่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านหลัง โดยเว้นระยะเยื้องไปทางด้านหลังเล็กน้อยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับ



รูปที่ 3 - 30 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิก



รูปที่ 3 - 31 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิก



รูปที่ 3 - 32 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิก

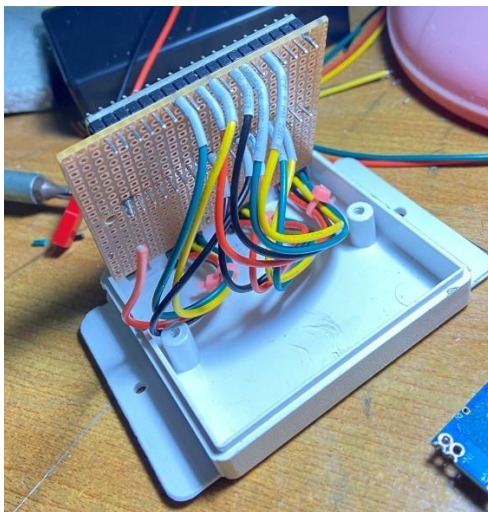
3.3.3 หลังจากทำการเจาะหมวกและติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกครบทั้ง 3 จุด (ซ้าย ขวา และด้านหลัง) ขั้นตอนถัดไปคือการเชื่อมต่อเซนเซอร์ทั้งหมดเข้ากับระบบควบคุมหลัก

(1.) เตรียมกล่องวงจรควบคุม



รูปที่ 3 - 33 แสดงกล่องควบคุมที่จัดเตรียมสายไฟสำหรับเชื่อมต่อกับเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ

(2.) ทำการออกแบบและบัดกรีแผงวงจรลงบนแผ่นปริ้นต์เบรดบอร์ด



รูปที่ 3 - 34 บัดกรีแผงวงจรลงบนปริ้นต์เบรดบอร์ดเพื่อควบคุมระบบ

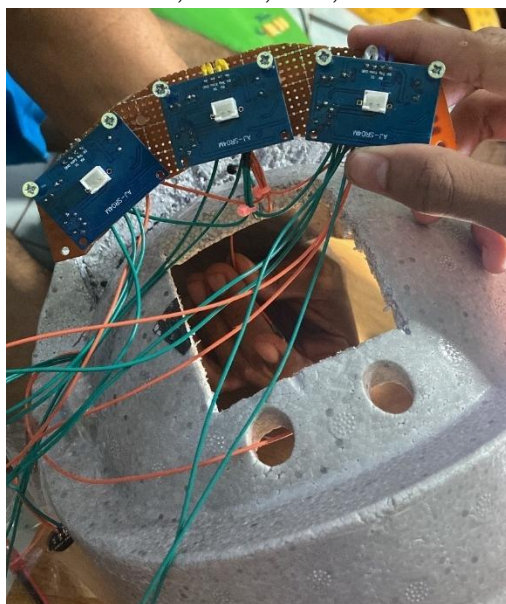
(3.) ติดตั้งบอร์ด ESP32-S, โมดูล Mini 560, สวิตช์เปิดปิดระบบ, สวิตช์เปิดปิดลำโพง และขั้วต่อ

เซนเซอร์



รูปที่ 3 - 35 ติดตั้งบอร์ด ESP32-S พร้อมโมดูล Mini 560 และสวิตช์ควบคุมระบบ

(4.) ตรวจสอบตำแหน่งขา TRIG, ECHO, VCC, GND ให้ตรงกับโค้ดที่ใช้ใน ESP32



รูปที่ 3 - 36 ต่อสายเซนเซอร์เข้าระบบควบคุม

(5.) เชื่อมต่อสายไฟจากเซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้ง 3 ตำแหน่งเข้าสู่กล่องควบคุม โดยผ่านช่องร้อยสายด้านล่างของกล่อง



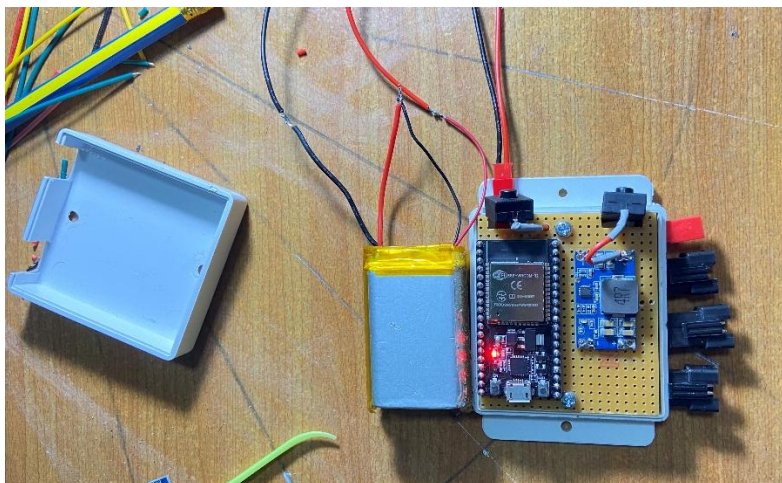
รูปที่ 3 - 37 เดินสายเซนเซอร์จากหมวกเข้าสู่กล่องควบคุม

3.3.3 ทดสอบการจ่ายไฟและการทำงานเบื้องต้น

เชื่อมต่อแบตเตอรี่ลิเทียม 7.4V เข้ากับโมดูล Mini 560 เพื่อแปลงแรงดันเป็น 5V สำหรับจ่ายให้กับบอร์ด ESP32-S

(1.) เชื่อมต่อสายไฟและตรวจสอบแรงดันที่จ่ายให้กับระบบ

ทำการต่อสายจากแบตเตอรี่ลิเทียมผ่านโมดูลแปลงแรงดัน Mini 560 และจ่ายไฟเข้าสู่บอร์ด ESP32-S โดยสังเกตสถานะไฟ LED บนบอร์ดเพื่อยืนยันว่าระบบเริ่มทำงานตามปกติ



รูปที่ 3 - 38 แสดงสถานการณ์ทำงานของระบบหลังเชื่อมต่อไฟเรียบร้อยแล้ว

(2.) ทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ทดสอบอุปกรณ์จริงโดยจำลองสถานการณ์มีรถเข้าด้านหลัง เพื่อดูการทำงานของระบบแจ้งเตือนและกล้อง



รูปที่ 3 - 39 แสดงการทดสอบระบบในสถานการณ์จริงเมื่อมีวัตถุเข้าใกล้จากด้านซ้าย



รูปที่ 3 - 40 แสดงการทดสอบระบบในสถานการณ์จริงเมื่อมีวัตถุเข้าใกล้จากด้านขวา



รูปที่ 3 - 41 แสดงการทดสอบระบบในสถานการณ์จริงเมื่อมีวัตถุเข้าใกล้จากด้านหลัง

(3.) ภาพบันทึกจากระบบกล้อง ESP32-CAM



รูปที่ 3 - 42 ภาพจากกล้อง ESP32-CAM เมื่อมีวัตถุเข้าสู่ระยะ 300 ซม.



รูปที่ 3 - 43 ภาพจากกล้อง ESP32-CAM เมื่อมีวัตถุเข้าสู่ระยะ 300 ซม.

3.3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ ESP32-S และ ESP32-CAM

พัฒนาโปรแกรมตรวจจับระยะด้วยเซนเซอร์ ควบคุมไฟแจ้งเตือน NeoPixel และ Buzzer เมื่อเข้าสู่ระยะอันตราย พร้อมส่งสัญญาณ Trigger ไปยัง ESP32-CAM เพื่อถ่ายภาพและบันทึกลงใน MicroSD Card

(1.) เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ ESP32-S

ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการตรวจจับวัตถุด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิก พร้อมควบคุมไฟแจ้งเตือน NeoPixel และ Buzzer เมื่อเข้าสู่ระยะอันตราย และส่งสัญญาณ Trigger ไปยัง ESP32-CAM เพื่อถ่ายภาพและบันทึกลงใน MicroSD Card

```
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

// พินเซนเซอร์ SR04M
#define TRIG_LEFT 12
#define ECHO_LEFT 13
#define TRIG_RIGHT 2
#define ECHO_RIGHT 15
#define TRIG_BACK 32
#define ECHO_BACK 26

// พิน NeoPixel
#define LED_PIN_LEFT 14
#define LED_PIN_RIGHT 16
#define LED_PIN_BACK 18
#define NUM_PIXELS 1

// พิน Buzzer และกลอง
#define BUZZER_PIN 4
#define CAM_TRIGGER_PIN 25

// พินแบตเตอรี่
#define VOLTAGE_SENSOR_PIN 34
#define LED_BATTERY_NEOPIXEL_PIN 17

// ดดุมเจดส์ NeoPixel
Adafruit_NeoPixel strip_left(NUM_PIXELS, LED_PIN_LEFT, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel strip_right(NUM_PIXELS, LED_PIN_RIGHT, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel strip_back(NUM_PIXELS, LED_PIN_BACK, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel batteryPixel(1, LED_BATTERY_NEOPIXEL_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
```

รูปที่ 3 – 44 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมกำหนดการใช้งานของ ESP32-S

(2.) เขียนโปรแกรมควบคุมกล้อง ESP32-CAM

กำหนดการใช้งานและเขียนโค้ดรับสัญญาณ Trigger จากบอร์ด ESP32-S เพื่อสั่งให้กล้องถ่ายภาพและบันทึกลงใน MicroSD Card

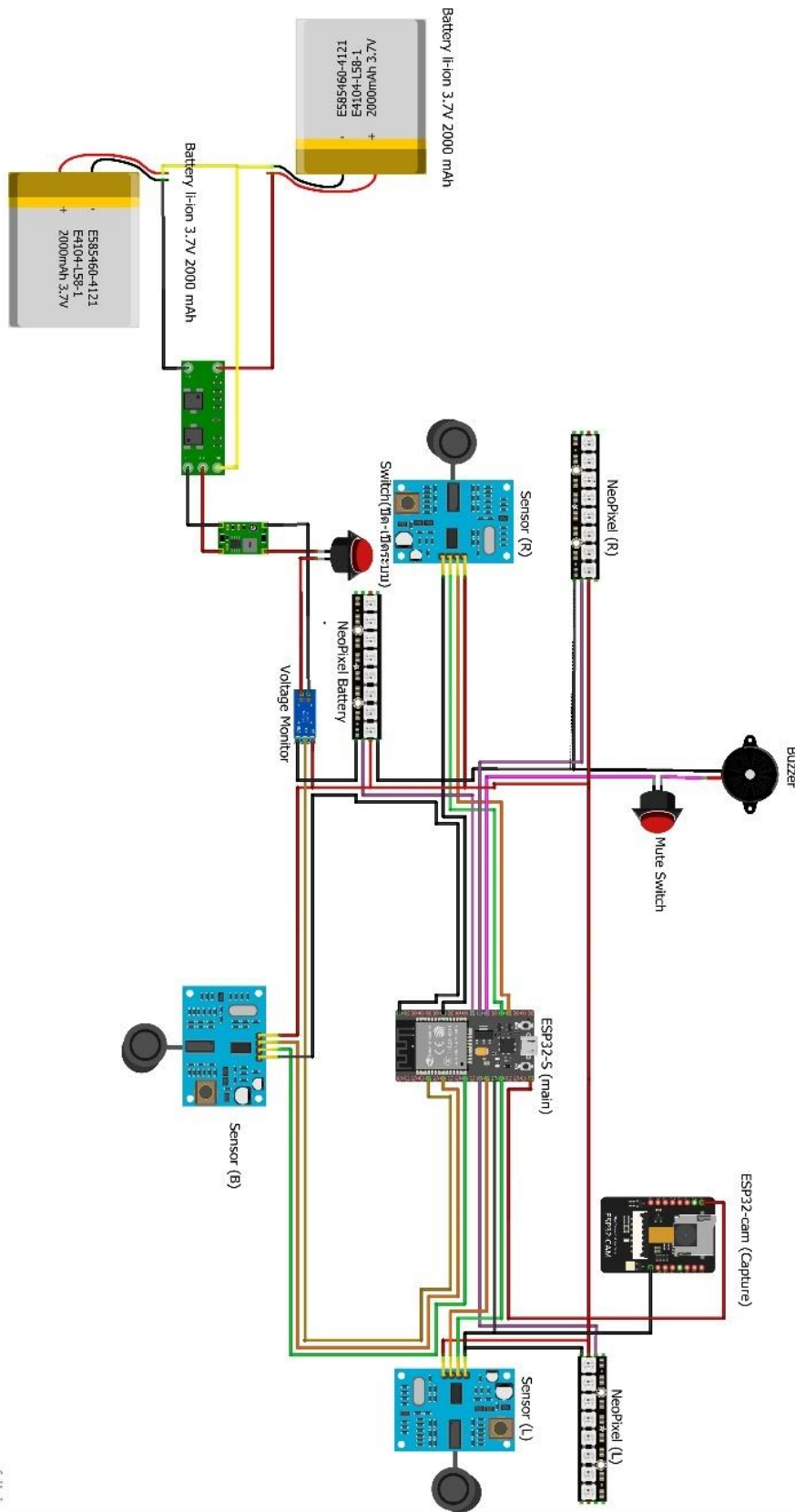
```
#include "esp_camera.h"
#include "FS.h"
#include "SD_MMC.h"

#define TRIGGER_INPUT_PIN 14 // รับ trigger จาก ESP32

// Pin config สำหรับ AI Thinker ESP32-CAM
#define PWDN_GPIO_NUM 32
#define RESET_GPIO_NUM -1
#define XCLK_GPIO_NUM 0
#define SIOD_GPIO_NUM 26
#define SIOC_GPIO_NUM 27
#define Y9_GPIO_NUM 35
#define Y8_GPIO_NUM 34
#define Y7_GPIO_NUM 39
#define Y6_GPIO_NUM 36
#define Y5_GPIO_NUM 21
#define Y4_GPIO_NUM 19
#define Y3_GPIO_NUM 18
#define Y2_GPIO_NUM 5
#define VSYNC_GPIO_NUM 25
#define HREF_GPIO_NUM 23
#define PCLK_GPIO_NUM 22
```

รูปที่ 3 – 45 ตัวอย่างกำหนดการใช้งานของ ESP32-CAM สำหรับรับสัญญาณและควบคุมกล้อง

(2.) วงจรแสดงการต่อใช้งานอุปกรณ์จริง



รูปที่ 3 - 47 วงจรแสดงการต่อใช้งานอุปกรณ์จริง

(3.) ประกอบวงจรเพื่อใช้งานจริง



รูปที่ 3 - 48 การประกอบวงจรเพื่อใช้งานจริง

บทที่ 4

การทดสอบการใช้งานของหมวกกันน็อกแจ้งเตือนอุบัติเหตุ

การทดสอบการทำงานของระบบหมวกกันน็อกแจ้งเตือนอุบัติเหตุ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแม่นยำของเซนเซอร์อัลตราโซนิก ความถูกต้องของระบบแจ้งเตือนด้วยแสงและเสียง ความสามารถในการทำงานของกล้อง ESP32-CAM ตลอดจนประสิทธิภาพในการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุได้ครอบคลุมหมวกกันน็อกอย่างมีประสิทธิภาพ

การทดสอบดำเนินการภายใต้สถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงบนท้องถนน โดยออกแบบให้มีการวัดค่าระยะ การแจ้งเตือน และการบันทึกภาพในระยะและตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนด เพื่อประเมินผลการทำงานของระบบโดยรวม

4.1 วิธีการทดสอบ

4.1.1 ติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้ง 3 จุด (ซ้าย ขวา และหลัง) เข้ากับหมวกกันน็อก

ในการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิก จะมีทั้งหมด 3 ตำแหน่งบนหมวกกันน็อก ได้แก่ ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านหลัง เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุในจุดอันตรายได้ครอบคลุมทุกทิศทางของผู้ขับขี่ โดยเซนเซอร์จะยึดติดกับพื้นผิวหมวกด้วยเทปกาวยางสองหน้าและสายรัด เพื่อความมั่นคงและไม่หลุดขณะใช้งานจริง



รูปที่ 4-1 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกด้านซ้ายและขวามุมหมวกกันน็อก เพื่อใช้ตรวจจับวัตถุในมุมอันตรายทั้งสองด้าน



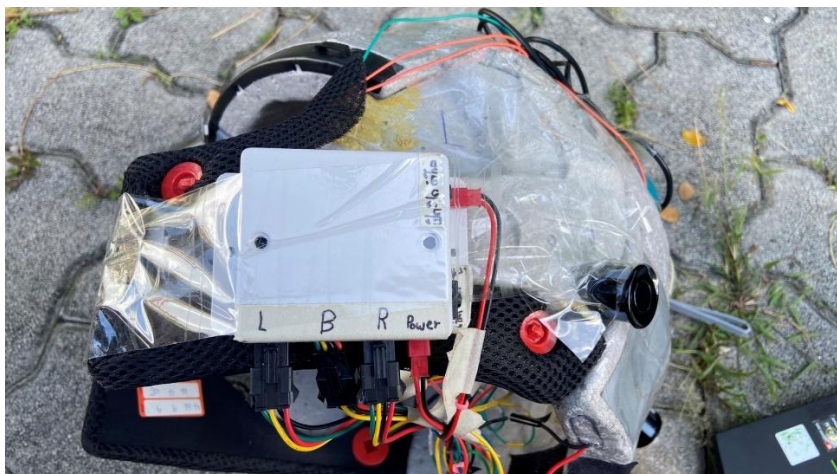
รูปที่ 4-2 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกด้านหลังของหมวกกันน็อก สำหรับตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนเข้ามาทางด้านหลังของผู้ขับขี่

4.1.2 เชื่อมต่อวงจรควบคุมและระบบจ่ายไฟให้กับ ESP32-S และอุปกรณ์ทั้งหมด

ทำการเชื่อมต่อวงจรควบคุมที่บรรจุภายในกล่องพลาสติกเข้ากับระบบจ่ายไฟ โดยใช้สายไฟเชื่อมต่อจากแบตเตอรี่ลิเธียม 7.4V ผ่านโมดูล Mini 560 เพื่อลดแรงดันลงเป็น 5V สำหรับจ่ายไฟให้กับบอร์ด ESP32-S และอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบ เช่น เซนเซอร์อัลตราโซนิก NeoPixel และ Buzzer ให้สามารถเริ่มทำงานได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานภายนอก



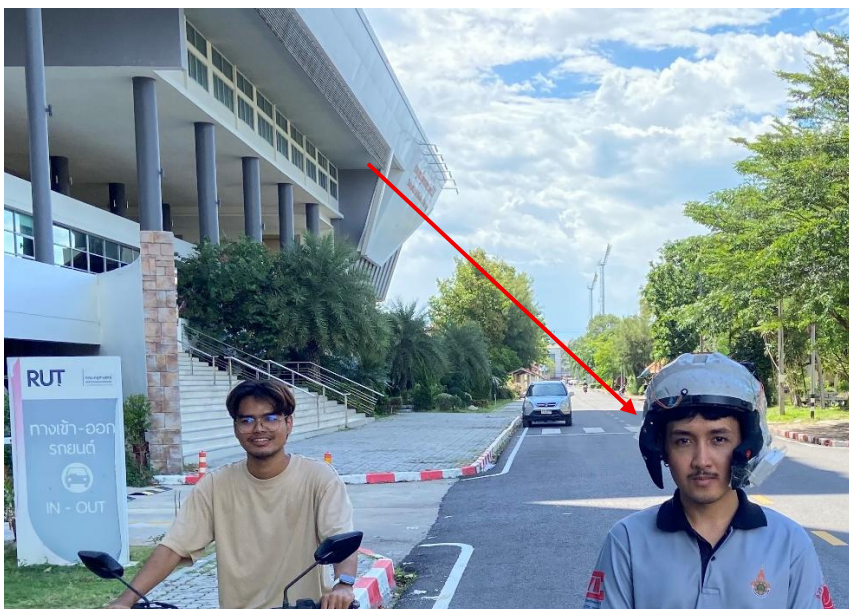
รูปที่ 4-3 แสดงขั้นตอนการเสียบสายไฟเข้ากับกล่องควบคุมระบบ เพื่อเริ่มต้นการจ่ายไฟให้กับ ESP32-S และอุปกรณ์ทั้งหมด



รูปที่ 4-4 แสดงกล่องควบคุมที่เชื่อมต่อสายไฟและอุปกรณ์เรียบร้อย พร้อมสำหรับใช้งานภาคสนาม

4.1.3 ทดสอบการทำงานของระบบ โดยใช้วัตถุเข้าใกล้ในแต่ละมุมเพื่อดูการตอบสนองของ เซนเซอร์

ทำการทดสอบโดยให้ผู้ขับขี่สวมหมวกกันน็อกที่ติดตั้งระบบเซนเซอร์อัลตราโซนิกและอุปกรณ์แจ้งเตือน จากนั้นให้เพื่อนขับรถจักรยานยนต์เข้ามาใกล้ในแต่ละมุม (ซ้าย ขวา และหลัง) เพื่อทดสอบว่าเซนเซอร์สามารถตรวจจับวัตถุในมุมอับได้หรือไม่ โดยสังเกตการตอบสนองจาก NeoPixel และเสียงของ Buzzer ว่าทำงานตามที่ตั้งค่าไว้หรือไม่



ภาพที่ 4-5 แสดงการขับเข้าใกล้ในมุมด้านซ้ายของหมวก เพื่อทดสอบเซนเซอร์ฝั่งซ้าย



ภาพที่ 4-6 แสดงการขับเข้าใกล้ในมุมด้านขวาของหมวก เพื่อทดสอบเซนเซอร์ฝั่งขวา



ภาพที่ 4-7 แสดงการขับเข้าใกล้ด้านหลังของหมวกในแนวตรง เพื่อทดสอบเซนเซอร์ด้านหลัง

4.1.4 ทดสอบการทำงานของกล้อง ESP32-CAM ในการบันทึกภาพขณะเกิดการแจ้งเตือน

ในการทดสอบการทำงานของกล้อง ESP32-CAM ได้ทำการจำลองสถานการณ์ที่มีวัตถุหรือบุคคลเข้าสู่ระยะตรวจจับของเซนเซอร์ เมื่อเกิดการแจ้งเตือน กล้องจะทำการบันทึกภาพโดยอัตโนมัติ และจัดเก็บไฟล์ภาพลงใน MicroSD Card ที่ติดตั้งไว้ในโมดูล ESP32-CAM เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบย้อนหลังหรือวิเคราะห์เหตุการณ์ในภายหลัง



รูปที่ 4-8 แสดงภาพขณะมียานพาหนะเข้ามาในระยะตรวจจับ กล้อง ESP32-CAM ทำการบันทึกภาพโดยอัตโนมัติทันทีเมื่อเกิดการแจ้งเตือน



รูปที่ 4-9 แสดงภาพของยานพาหนะที่อยู่ในระยะตรวจจับ กล้องสามารถบันทึกภาพผู้ขับขี่และยานพาหนะได้อย่างชัดเจน

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ทดลองระยะการตรวจจับของตัว Sensor เทียบกับระยะจริง โดยจะมีการจำลองการติดตั้งตัวSensorด้านซ้ายและทำการวัดระยะSensorที่แสดงบนMonitorเทียบกับตัวตลับเมตร ค่าที่ได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ทดสอบค่าระยะจาก Sensor ด้านซ้ายเทียบกับระยะจริง

ครั้งที่	ระยะจริง (cm)	ค่าที่วัดได้ (cm)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1	80	77.30	3.38
2	150	147.01	2.00
3	180	177.60	1.33
4	250	247.50	1.00
5	300	296.70	1.00

จากตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ด้านซ้ายสามารถวัดระยะได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 3.38 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (≤ 5 %)

4.2.2 ทดลองระยะการตรวจจับของตัว Sensor เทียบกับระยะจริง โดยจะมีการจำลองการติดตั้งตัวSensorด้านขวาและทำการวัดระยะSensorที่แสดงบนMonitorเทียบกับตัวตลับเมตร ค่าที่ได้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ทดสอบค่าระยะจาก Sensor ด้านขวาเทียบกับระยะจริง

ครั้งที่	ระยะจริง (cm)	ค่าที่วัดได้ (cm)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1	80	79.60	0.50
2	150	147.00	2.00
3	180	178.00	1.11
4	250	249.00	0.40
5	300	298.18	0.61

จากตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ด้านขวาสามารถวัดระยะได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 2 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (≤ 5 %)

4.2.3 ทดลองระยะการตรวจจับของตัว Sensor เทียบกับระยะจริง โดยจะมีการจำลองการติดตั้งตัวSensorด้านหลังและทำการวัดระยะSensorที่แสดงบนMonitorเทียบกับตัวตลับเมตร ค่าที่ได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ทดสอบค่าระยะจาก Sensor ด้านหลังเทียบกับระยะจริง

ครั้งที่	ระยะจริง (cm)	ค่าที่วัดได้ (cm)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1	80	79.74	0.38
2	150	146.77	2.20
3	180	176.80	1.78
4	250	247.00	1.20
5	300	296.45	1.18

ตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ด้านหลังสามารถวัดระยะได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 2.20 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ($\leq 5\%$)

4.2.4 การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการทำงานของระบบแจ้งเตือนเมื่อมีวัตถุเข้าสู่ระยะตรวจจับที่กำหนด โดยใช้อุปกรณ์ในการแจ้งเตือน ได้แก่ Buzzer และ NeoPixel

ทำการทดสอบโดยจำลองสถานการณ์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุและสังเกตการทำงานของระบบตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนด้วยเสียงและNeoPixel

ครั้งที่	สถานการณ์จำลอง	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง	ผ่าน/ไม่ผ่าน
1	วัตถุเข้าใกล้ด้านซ้าย ≤ 300 cm	มีเสียง Buzzer + ไฟ NeoPixel สีส้ม	ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผ่าน
2	วัตถุเข้าใกล้ด้านขวา ≤ 300 cm	มีเสียง Buzzer + ไฟ NeoPixel สีส้ม	ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผ่าน
3	วัตถุอยู่ในระยะ ≤ 300 cm ด้านหลัง	มีเสียง Buzzer + ไฟ NeoPixel สีส้ม	ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผ่าน
4	วัตถุอยู่ที่ระยะ 500 cm (นอกช่วง)	ไม่มีแสง ไม่มีเสียง	ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผ่าน
5	ไม่มีวัตถุในระยะตรวจจับ	ไม่มีแสง ไม่มีเสียง	ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผ่าน

จากตารางที่ 4-4 จะสรุปผลการทดลองได้ว่าระบบแจ้งเตือนด้วยแสง NeoPixel และเสียง Buzzer สามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่คาดหวังในทุกสถานการณ์ที่จำลองไว้ แสดงผลได้สอดคล้องกับระยะของวัตถุที่ตรวจจับ จึงสรุปได้ว่าระบบผ่านการทดสอบทั้งหมด

4.2.5 การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของกล้อง ESP32-CAM ในการทำงานร่วมกับบอร์ด ESP32-S โดยระบบจะทำการถ่ายภาพอัตโนมัติเมื่อมีวัตถุเข้ามาในระยะ ≤ 300 เซนติเมตร ตามเงื่อนไขที่กำหนด

ทำการทดสอบในสถานการณ์ต่าง ๆ โดยสังเกตว่ากล้องสามารถถ่ายภาพและบันทึกลงใน MicroSD Card ได้สำเร็จหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบระบบกล้อง ESP32-CAM

ครั้งที่	สถานการณ์	Trigger จาก ESP32-S	กล้องถ่ายภาพได้สำเร็จหรือไม่	ผ่าน/ไม่ผ่าน
1	วัตถุเข้าใกล้ด้านซ้าย ≤ 300 ซม.	✓	✓	ผ่าน
2	วัตถุเข้าใกล้ด้านขวา ≤ 300 ซม.	✓	✓	ผ่าน
3	วัตถุเข้าใกล้ด้านหลัง ≤ 300 ซม.	✓	✓	ผ่าน
4	วัตถุอยู่ห่างเกิน 300 ซม.	X	X	ผ่าน
5	ไม่มีวัตถุในระยะตรวจจับ	X	X	ผ่าน

จากตารางที่ 4-5 จะสรุปผลการทดลองได้ว่า ระบบกล้อง ESP32-CAM สามารถทำงานร่วมกับ ESP32-S ได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถถ่ายภาพได้เมื่อได้รับ Trigger จากสถานการณ์ที่เข้าข่ายอันตราย และไม่มีการถ่ายภาพในสถานการณ์ที่ไม่เหมาะสม สรุปว่าระบบทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ทั้งหมด

4.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดสอบระบบแจ้งเตือนและระบบถ่ายภาพที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่า เซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้ง 3 ตำแหน่ง (ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านหลัง) สามารถตรวจวัดระยะได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 3.38% ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แสดงถึงความเสถียรและความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับ

ระบบแจ้งเตือนด้วย NeoPixel และ Buzzer แสดงผลได้ถูกต้องตามระยะของวัตถุ โดยเมื่อวัตถุเข้าใกล้ในระยะ ≤ 300 ซม. จะมีการแสดงไฟสีส้มร่วมกับเสียง Buzzer ทำให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ถึงอันตรายที่ใกล้เข้ามาได้อย่างชัดเจนและทันเวลา

ในส่วนของการถ่ายภาพ พบว่า ESP32-CAM สามารถทำงานร่วมกับบอร์ด ESP32-S ได้อย่างแม่นยำ โดยทำการถ่ายภาพเฉพาะเมื่อได้รับสัญญาณ Trigger ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เท่านั้น ช่วยลดการทำงานที่ไม่จำเป็น และส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

ผลการทดสอบการติดตั้งเซนเซอร์ยังพบว่า การติดตั้งใน มุมองศา 60° ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการครอบคลุมพื้นที่มุมอับสายตาทั้งด้านข้างและด้านหลังของผู้สวมใส่ โดยสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างครบถ้วนโดยไม่มีจุดบอดหรือการซ้อนทับของสัญญาณ