

การพัฒนาอุปกรณ์วัดมุมพื้นลาดเอียงด้วยการใช้แสงย่านใกล้อินฟราเรด

Development of a Slope Angle Measuring Device Using Near Infrared Light

สุชาติ แยมเม่น¹ วชิระ ลิ้มศรีประพันธ์² และ เมธานันท์ เนียมเปี่ยม^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร sucharty@nu.ac.th, methanann65@nu.ac.th*

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม wachira.l@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์วัดมุมพื้นลาดเอียง โดยการใช้ตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรด จำนวน 2 ตัว ทำมุม 60° และ 30° กับแนวตั้ง เมื่อทดสอบการวัดระยะทางจากตัวรับรู้ทางแสง จำนวน 10 ครั้ง พบว่าประสิทธิภาพการปรับค่าระยะทางด้วยการวิเคราะห์ การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการ วิเคราะห์การถดถอยเส้นตรง โพลิโนเมียลดีกรีสาม และเลขชี้กำลังโดยมีค่า ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย MSE ทั้ง 5 กรณี ต่ำที่สุด คือ 1.0654, 1.0650, 1.0657, 1.0646 และ 1.0660 สำหรับอัตราส่วนข้อมูลชุดฝึกกับชุดทดสอบ 50:50, 60:40, 40:60, 70:30 และ 30:70 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นทดสอบวัดมุมพื้นเอียงตั้งแต่มุมพื้นเอียง 0 องศา ถึง 45 องศา จำนวน 10 ครั้งต่อการวัดมุม ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย MSE เท่ากับ 0.924

คำสำคัญ: แสงย่านใกล้อินฟราเรด

Abstract

In this research, a slope angle measuring device is developed by using two near-infrared optical sensors located at 60° and 30° angles with the vertical axis. When measuring the distance obtained from the optical sensors ten times, it was found that the efficiency of distance calibration using the developed line & exponential regression analysis is the best result when compared with that obtained from the line, cubic polynomial and exponent regression analysis, and also has the lowest average values of MSE for all 5 cases; that is, 1.0654, 1.0650, 1.0657, 1.0646 and 1.0660 for the ratio of training data to testing data of 50:50, 60:40, 40:60, 70:30 and 30:70, respectively. In addition, when the developed device was tested to measure the slope angle from 0 degrees to 45 degrees with 10 times per angle measurement, the average value of MSE is 0.924.

Keywords: Near Infrared Light

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นยังคงประสบกับ อุปสรรคและความยากลำบากในการดำเนินชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเดินทางและการเคลื่อนที่ไปยังสถานที่ต่าง ๆ เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นพื้นที่ ที่มีระดับความลาดเอียงแตกต่างกันได้แม้ว่า เทคโนโลยีหลากหลายประเภทในการประมวลผลภาพจากกล้อง [1-6] แต่ การนำกล้องมาใช้งานจริงยังมีข้อจำกัดด้านต้นทุนของอุปกรณ์ และ ระยะเวลาในการประมวลผล ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับการพัฒนาอุปกรณ์ พกพาที่มีราคาประหยัดและใช้งานง่าย การใช้ไม้เท้าร่วมกับเซ็นเซอร์ [7-12] มีข้อจำกัดในการเดินทางที่ไม่เป็นอิสระ และการพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วย ในการเดินทางของผู้บกพร่องทางสายตา [13-15] มีการตรวจจับวัตถุหรือ ลักษณะของพื้นที่หลากหลายวิธี

เพื่อที่จะช่วยเหลือผู้บกพร่องทางสายตาเกี่ยวกับการรับรู้พื้นลาดเอียง ให้เกิดความปลอดภัยในการเดินหรือการเคลื่อนที่ ทางคณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้น พัฒนาอุปกรณ์วัดมุมพื้นลาดเอียงด้วยการใช้แสงย่านใกล้อินฟราเรด จำนวน 2 ตัว ที่มีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และสามารถทำงานได้ในสภาพแสง น้อยหรือที่มีมาประมวลผลหามุมพื้นลาดเอียงร่วมกับการวิเคราะห์การ ถดถอยแบบเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง

นอกจากการประเมินประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์การถดถอย เส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังที่ใช้ในการปรับค่าระยะทาง สามารถต่อยอดเป็น อุปกรณ์ช่วยเหลือการเดินทางทั้งพื้นที่ราบ ทางลาดชัน หรือบันได เพื่อความ ปลอดภัย และเพิ่มโอกาสในการดำเนินชีวิตอย่างเป็นอิสระให้กับผู้บกพร่อง ทางสายตาโดยใช้ระยะทางจากตัวรับรู้ย่านใกล้อินฟราเรดจากผล การหาค่ามุมพื้นลาดเอียง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

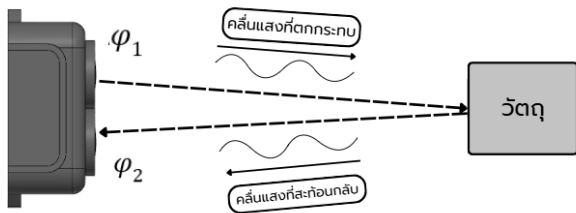
ในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อการตรวจวัดมุมพื้น ลาดเอียงนั้น มีความจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลักทฤษฎีและ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในเรื่องตัวรับรู้ทางแสงย่านอินฟราเรดเพื่อใช้ในการวัด ระยะทางระหว่างตัวรับรู้กับพื้นผิวลาดเอียง ต่อมานำระยะทางที่ได้รับผ่าน ช่องทางการสื่อสารแบบ I²C เป็นข้อมูลเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ ประมวลผลและวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังให้ได้ ผลลัพธ์มุมเอียงของพื้นที่แสงตกกระทบ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การ ถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นในการหาค่ามุม

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

เอียงของพื้นผิวที่แสงตกกระทบ ยังได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรง การวิเคราะห์การถดถอยโพลิโนเมียล และการวิเคราะห์การถดถอยเลขชี้กำลัง

2.1 ตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรด NIR

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรด NIR (Near Infrared Light) ชนิด TF-luna [16] แบบ TOF(Time of Flight) ที่เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดระยะทางแบบ LiDAR (Light Detection and Ranging) [17] ขนาดเล็ก ราคาประหยัด และเหมาะสำหรับการตรวจวัดระยะทางระหว่างตัวรับรู้ทางแสงกับวัตถุอยู่ช่วง 0.2 เมตร ถึง 8.0 เมตร โดยใช้หลักการเวลาทางการบิน TOF (Time of Flight) เพื่อหาระยะทางจากเวลาของความต่างเฟสคลื่นแสงย่านใกล้จากคลื่นแสงย่านใกล้อินฟราเรดที่ตกกระทบไปยังวัตถุและสะท้อนกับมายังตัวรับคลื่นแสงดังแสดงในรูปที่ 1



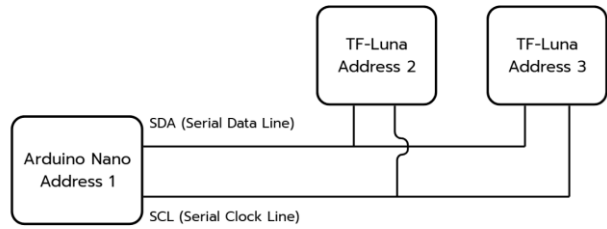
รูปที่ 1 หลักการทำงานของตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรด และสามารถคำนวณหาระยะทางสัมพันธ์ ตามความสัมพันธ์

$$d = \frac{c}{2} \cdot \frac{1}{2\pi f} \cdot \Delta\phi \quad (1)$$

โดยที่ d คือระยะทางจากตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรดถึงวัตถุในหน่วยเซนติเมตร c คือความเร็วของแสงในอากาศ 3×10^{10} เซนติเมตร/วินาที f คือความถี่ของคลื่นตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรดในหน่วยเฮิรตซ์ และ $\Delta\phi$ คือความต่างเฟสระหว่างคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับในหน่วยเรเดียน

2.2 ระบบสื่อสารแบบ I²C

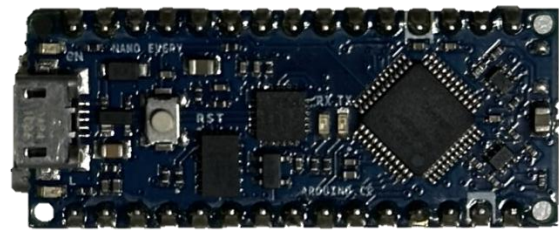
ข้อมูลระยะทางที่ได้รับจากตัวรับรู้คลื่นแสงอินฟราเรดจะถูกส่งต่อไปยังตัวประมวลผลข้อมูลหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางช่องการสื่อสารแบบ I²C หรือ Serial Communication [18] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งมีการออกแบบเพื่อให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายตัวเข้าด้วยกันตามหลักการ Master and Slave โดยใช้ Arduino Nano Every [19] ทำหน้าที่เป็น Master และตัวรับรู้คลื่นแสงอินฟราเรดทำหน้าที่เป็น Slave ผ่านสาย SDA (Serial Data Line) ที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระยะทาง และ SCL (Serial Clock Line) ที่ใช้ในการส่งสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 2 หลักการทำงานของระบบสื่อสารแบบ I²C

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino Nano Every [19] เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กที่ออกแบบมาเป็นอุปกรณ์อัจฉริยะขนาดกะทัดรัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยมีชิปประมวลผล Atmega4809 และมีขาอินพุตกับเอาต์พุต 14 ขา ประกอบด้วยขาที่เป็น Analog Input จำนวน 8 ขา นอกจากนี้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano Every ยังสามารถรับหรือส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Protocol Serial Port หรือ I²C SDA (Serial Data Line), SCL (Serial Clock Line) และ SPI (SCK, MOSI, MISO, SS) ที่แรงดัน 5V



รูปที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano Every

2.4 การวิเคราะห์ถดถอย

การวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นตรง [20-21] เป็นเทคนิคพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น Independent Variable และตัวแปรตาม Dependent Variable ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าระยะทางที่ได้รับจากตัวรับรู้คลื่นแสงอินฟราเรดด้วยตัวแบบสมการเส้นตรงตามความสัมพันธ์

$$\hat{d}[n] = a_0 d[n] + a_1 \quad (2)$$

โดยที่ $\hat{d}[n]$ คือค่าตัวแปรตาม (dependent variable) $d[n]$ คือค่าตัวแปรต้น (independent variable) a_0 คือความชันของสมการเส้นตรง และ a_1 คือค่าคงที่จุดตัดบนแกนตัวแปรตาม

เมื่อลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่ได้เป็นไปตามสมการเส้นตรงแต่มีรูปแบบแนวโน้มตามฟังก์ชันพหุนามสามารถใช้การวิเคราะห์ถดถอยแบบโพลิโนเมียลดีกรี 3 ดังนี้

$$\hat{d}[n] = a_3 d^3[n] + a_2 d^2[n] + a_1 d[n] + a_0 \quad (3)$$

โดยที่ a_3, a_2, a_1 และ a_0 คือค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลดีกรี 3 ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น $d[n]$ กับตัวแปรตาม $\hat{d}[n]$ มีแนวโน้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงในอัตราเร่ง อาจใช้การวิเคราะห์ถดถอยแบบเลขชี้กำลัง [20] ตามนิยามว่า

$$\hat{d}[n] = a_1 a_0^{d[n]} \quad (4)$$

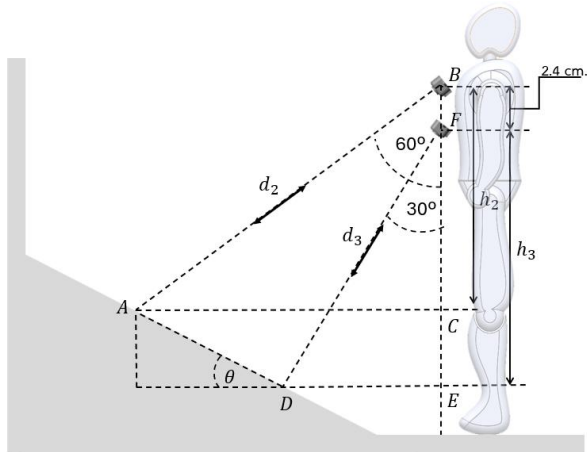
โดยที่ a_0 คือฐานของเลขชี้กำลังและ a_1 คือค่าสัมประสิทธิ์เชิงการคูณ

2.5 การหามุมของพื้นลาดเอียงด้วยตรีโกณมิติ

สมมติว่ามีตัวรับรู้ทางแสง 2 ตัวติดตั้งทำมุม 60 องศา กับ 30 องศาตามแนวแกนตั้ง ณ จุด B และจุด F ตามลำดับดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 เมื่อแสงตกกระทบบนผิวด้านลาดเอียงมุม θ ทำให้เกิดสามเหลี่ยม 2 รูป คือสามเหลี่ยม ABC กับสามเหลี่ยม DFE และโดยอาศัยตรีโกณมิติ สามารถหาค่ามุมของพื้นลาดเอียงได้ว่า

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{(d_3 \cos(30^\circ) + 2.4) - d_2 \cos(60^\circ)}{d_2 \sin(60^\circ) - d_3 \sin(30^\circ)} \right] \quad (5)$$

โดยที่ d_2 กับ d_3 เป็นระยะในหน่วยเซนติเมตรระหว่าง AB กับ FD ตามลำดับ และ $\hat{ABC}$ กับ $\hat{DFE}$ มีมุมเท่ากับ 60 องศา กับ 30 องศาตามลำดับ



รูปที่ 4 การหามุมของพื้นลาดเอียงด้วยตรีโกณมิติ

2.6 การวัดค่าความคลาดเคลื่อน

ในการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่ได้จากการคำนวณและการวัดจริงนั้น สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนได้ด้วยค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตามนิยามว่า

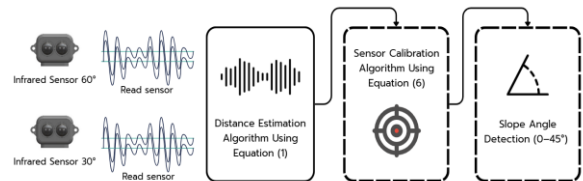
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d[n] - \hat{d}[n])^2 \quad (6)$$

โดยที่ N คือจำนวนข้อมูลความผิดพลาดทั้งหมด และผลต่างระหว่างค่าตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม $d[n] - \hat{d}[n]$ เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลที่ n และ $n \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดมุมพื้นลาดด้วยการใช้ตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรด TF-Luna ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก Arduino Nano Every และประมาณค่าข้อมูลระยะทางที่ได้รับจากตัวรับรู้ทางแสงให้มีความแม่นยำด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังพร้อมนำผลมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรง การวิเคราะห์การถดถอยโพลิโนเมียล และการวิเคราะห์การถดถอยเลขชี้กำลัง จะมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ในการออกแบบและตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรด TF-Luna [16] จำนวน 2 ตัว ตามระยะการติดตั้งที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 4 และเมื่อตัวรับรู้ทั้ง 2 ตัวได้รับคลื่นแสงสะท้อนกลับมาข้อมูลไหลผ่านการสื่อสารแบบ I2C เพื่อนำมาปรับค่าข้อมูลระยะทางมาตรฐานด้วยการประมวลผลตามการวิเคราะห์การถดถอยและคำนวณหาค่ามุมพื้นลาดเอียงตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อย่อย 2.4 เมื่อประมวลผลเสร็จไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano Every จะแสดงผลข้อมูลผ่านจอ OLED ดังแสดงแผนภาพการทำงานในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์

คณะผู้วิจัยมีการเก็บข้อมูลของตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรดทั้ง 2 ตัว มาปรับมาตรฐานข้อมูลด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง และทำการคำนวณหาค่ามุมของพื้นลาดตามสมการที่ (6) ตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, ..., 45 องศา แต่ละค่ามุมพื้นลาดเอียงจะดำเนินการทดลองวัด 10 ครั้ง พร้อมหาค่าความคลาดเคลื่อนตามสมการที่ (7) เปรียบเทียบผลที่ได้กับการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรง การวิเคราะห์การถดถอยโพลิโนเมียล และการวิเคราะห์การถดถอยเลขชี้กำลัง

คณะผู้วิจัยยังได้นำแนวทางการประมาณค่าระยะทางที่ได้รับจากตัวรับรู้ทางแสงทั้ง 2 ตัวด้วยการใช้ตัวแบบจำลองเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังดังความสัมพันธ์ว่า

$$\hat{d}[n] = b_1 a^{d[n]} + b_2 d[n] + b_3 \quad (7)$$

โดยที่ $\underline{d}[n]$ คือค่าระยะทางที่ประมาณได้ $d[n]$ คือค่าระยะทางที่รับจากตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรด ส่วน a, b_1, b_2, b_3 คือค่าคงที่ของตัวแบบจำลองที่นำเสนอ ในการหาค่าคงที่ทั้ง 4 ตัว มี 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น $a = 0.1$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่า $\underline{b} = [b_1, b_2, b_3]^T$ ด้วยผลรวมกำลังสองความผิดพลาดในสมการที่ (9) น้อยที่สุด

$$f(a_k, \underline{b}_k) = [\underline{d} - X(a_k)\underline{b}_k]^T [\underline{d} - X(a_k)\underline{b}_k] \quad (8)$$

โดยที่ a_k และ $\underline{b}_k$ คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ a_k และ $\underline{b}_k = [b_1, b_2, b_3]^T$ ที่เหมาะสมเมื่อวนซ้ำรอบที่ $k \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$ ตามลำดับส่วน $\underline{d}$ และ $X(a_k)$ มีนิยามดังนี้

$$\underline{d} = \begin{bmatrix} d[1] \\ d[2] \\ d[3] \\ \vdots \\ d[N] \end{bmatrix}_{N \times 1}; X(a_k) = \begin{bmatrix} a_k^{d[1]} & d[1] & 1 \\ a_k^{d[2]} & d[2] & 1 \\ a_k^{d[3]} & d[3] & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_k^{d[N]} & d[N] & 1 \end{bmatrix}_{N \times 3} \quad (9)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่า ρ ซึ่งมีนิยามว่า

$$\rho = \frac{f(a_k, \underline{b}_k) - f(a_{k+1}, \underline{b}_{k+1})}{f(a_k, \underline{b}_k)} \quad (10)$$

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าค่า $\rho \geq 10^{-6}$ แล้วให้ไปดำเนินการปรับค่าสัมประสิทธิ์ a_k ในขั้นตอนที่ 5 แต่ถ้า $\rho < 10^{-6}$ แล้วจะยุติการวนซ้ำพร้อมได้ค่าสัมประสิทธิ์ a, b_1, b_2, b_3 ที่เหมาะสม

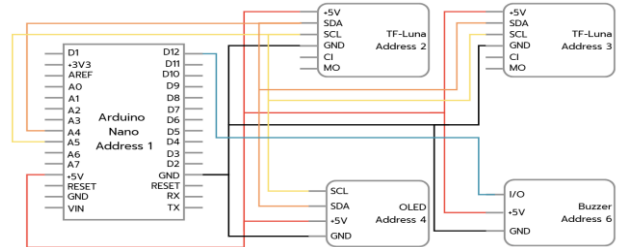
ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการปรับค่า $a_{k+1} = a_k + \Delta_{k+1}$ โดยที่ $k \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$ และ Δ_k ดังความสัมพันธ์ว่า

$$L^T(a_k, \underline{b}_k)L(a_k, \underline{b}_k)\Delta_k = L^T(a_k, \underline{b}_k)[\underline{d} - \hat{\underline{d}}(a_k, \underline{b}_k)] \quad (11)$$

โดยที่ $\hat{\underline{d}}(a_k, \underline{b}_k)$ และ $L(a_k, \underline{b}_k)$ คือเวกเตอร์ประมาณการค่าของ $\underline{d}$ ตามความสัมพันธ์ที่ 7 และเมตริกซ์ค่าสัมประสิทธิ์ a, b_1 และข้อมูล $d[N]$ ตามลำดับ

สำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบการส่งข้อมูลระหว่างตัวรับรู้ทางแสงทั้ง 2 ตัวไปยังตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะใช้การสื่อสารแบบ I²C เป็นรูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม หรือ Serial Communication เชื่อมต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก Arduino Nano Every ผ่านช่องสัญญาณอนุกรมที่รองรับการเชื่อมต่อสาย SDA (Serial Data Line) ที่ Pin A4 และเชื่อมต่อสาย SCL (Serial Clock Line) ที่ Pin A5 ร่วมกับตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรด 2 ตัว และจอแสดงผล

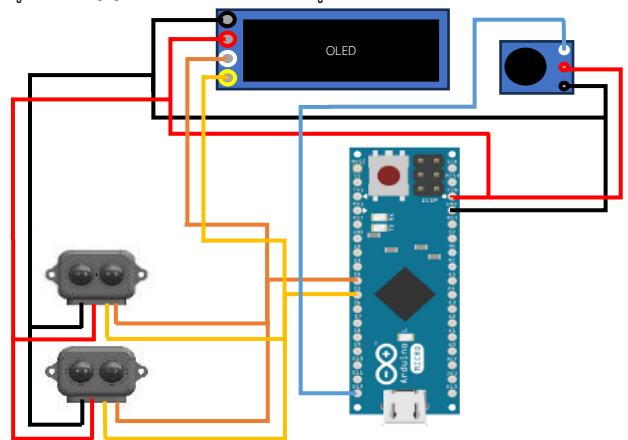
OLED ขนาดเล็ก จากนั้นตั้งค่าตัวอุปกรณ์ให้ Arduino Nano Every เป็น Master และตั้งค่าอุปกรณ์ตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรด 2 ตัว และจอแสดงผล OLED เป็น Slave ที่มี Address ไม่ซ้ำกันจะสามารถรับส่งข้อมูลโดยไม่ชนกัน และมีการแสดงผลในรูปแบบเสียงเตือนเชื่อมต่อดิจิทัล Pin D12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดมุมด้วยตัวรับรู้ย่านใกล้แสงอินฟราเรดดังกล่าวมีแผนภาพดังแสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์

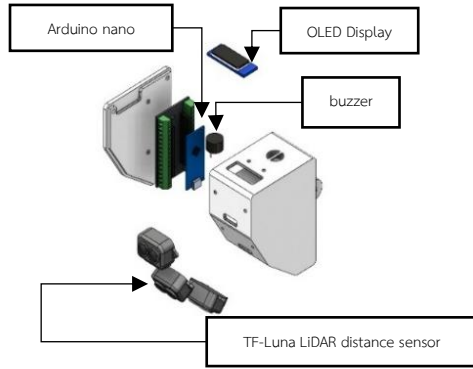
4. ผลการทดลอง

ผลการออกแบบและการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดมุมพื้นลาดการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อส่ง/รับข้อมูลระหว่างตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรดทั้ง 2 ตัวไปยังตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวิเคราะห์หามุมของพื้นลาดเอียง และจอแสดงผล OLED ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม I²C และมีการแสดงผลในรูปแบบเสียงแจ้งเตือนด้วยโมดูลเสียงเป็นรูปแบบสัญญาณดิจิทัล ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7

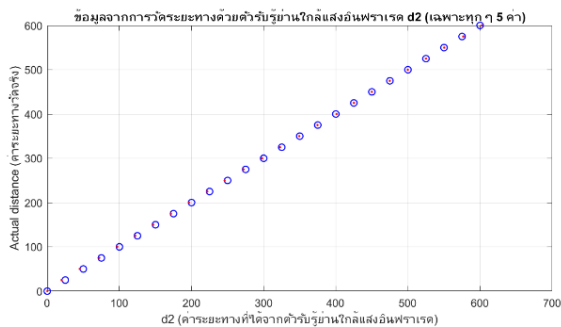


รูปที่ 7 ผลการเชื่อมต่ออุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรม I²C

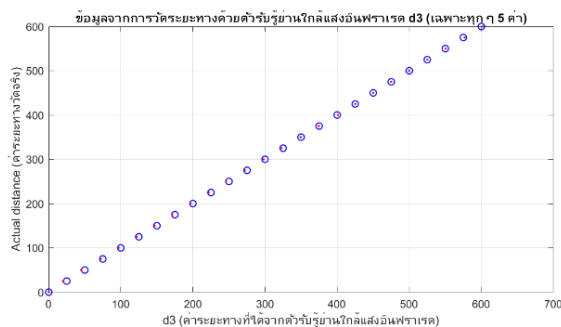
เมื่อได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดมุมพื้นลาดด้วยการใช้ตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรด TF-Luna ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก Arduino Nano Every และประมาณค่าข้อมูลระยะทางที่ได้รับจากตัวรับรู้ทางแสงพร้อมกับประมวลผลและวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังเพื่อให้หามุมของพื้นลาดเอียงตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3 จะได้ผลลัพธ์อุปกรณ์ต้นแบบดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 8



รูปที่ 8 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดมุมพื้นลาดเอียงที่พัฒนาขึ้น
ต่อมาได้รับผลการวัดค่าระยะทางจากตัวรับรู้แสงอินฟราเรดทั้งสอง
คือ d_2 กับ d_3 ในหน่วยเซนติเมตร ตามรูปที่ 4 ที่ได้จากการเก็บ
ผลทดสอบเทียบมาตรฐานโดยวัดในแนวระดับได้ค่าระยะทางของตัวรับรู้
ทางแสงทั้งสองจำนวน 121 ครั้ง ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อย่อยที่ 2.4
โดยแต่ละครั้งมีระยะตั้งแต่ 0 เซนติเมตร ถึง 600 เซนติเมตร ดังแสดง
ตัวอย่างผลการปรับข้อมูลระยะทางมาตรฐานที่ได้รับจากตัวรับรู้ทางแสง
 d_2 และตัวรับรู้ทางแสง d_3 ดังรูปที่ 9(ก) และรูปที่ 9(ข) ตามลำดับ



(ก) ข้อมูลระยะทางของตัวรับรู้แสงอินฟราเรด d_2 ก่อนการกรองข้อมูล



(ข) ข้อมูลระยะทางของตัวรับรู้แสงอินฟราเรด d_3 ก่อนการกรองข้อมูล

รูปที่ 9 ผลการปรับข้อมูลระยะทาง d_2 และ d_3 จากตัวรับรู้ทางแสง
จากนั้น ได้นำผลระยะทางที่ได้รับจากตัวรับรู้ทางแสง d_2 และ d_3
มาวิเคราะห์การถดถอยตามสมการที่ (2), (3), (4), (7) และหาค่าความ
คลาดเคลื่อนตามสมการที่ (6) โดยการใช้วิธี Cross-Validation แบบ
Rolling Window เป็นการใช้ชุดข้อมูลทั้งหมด 10 ชุด จะแบ่งออกเป็นชุด
ข้อมูลฝึก (Training set) กับชุดข้อมูลทดสอบ (Testing set) ด้วย
อัตราส่วน 5 กรณี คือ 50:50, 60:40, 40:60, 70:30 และ 30:70 ได้ผลลัพธ์
ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ MSE ของแต่ละตัว
แบบจำลอง

ตัวแบบจำลอง	MSE	
	$\bar{X}$	S.D.
กรณี 50:50		
การถดถอยเส้นตรง	1.2891	1.1355
การถดถอยโพลิโนเมียลดีกรีสาม	1.1817	1.0871
การถดถอยเลขชี้กำลัง	90.7773	9.3506
การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง	1.0654	1.0322
กรณี 60:40		
การถดถอยเส้นตรง	1.2888	1.1356
การถดถอยโพลิโนเมียลดีกรีสาม	1.1815	1.0872
การถดถอยเลขชี้กำลัง	80.4389	8.7986
การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง	1.0650	1.0321
กรณี 40:60		
การถดถอยเส้นตรง	1.2892	1.1355
การถดถอยโพลิโนเมียลดีกรีสาม	1.1821	1.0873
การถดถอยเลขชี้กำลัง	81.1860	8.9213
การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง	1.0657	1.0323
กรณี 70:30		
การถดถอยเส้นตรง	1.2886	1.1357
การถดถอยโพลิโนเมียลดีกรีสาม	1.1816	1.0874
การถดถอยเลขชี้กำลัง	73.1215	8.4584
การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง	1.0646	1.0320
กรณี 30:70		
การถดถอยเส้นตรง	1.2895	1.1356
การถดถอยโพลิโนเมียลดีกรีสาม	1.1831	1.0876
การถดถอยเลขชี้กำลัง	81.2067	8.8166
การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลัง	1.0660	1.0324

ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ MSE ของแต่ละตัว
แบบจำลอง จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้
กำลังมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยค่าความคลาดเคลื่อน MSE เฉลี่ยเท่ากับ
1.0654, 1.0650, 1.0657, 1.0646 และ 1.0660 สำหรับกรณีอัตราส่วน
ชุดข้อมูลฝึกกับชุดข้อมูลทดสอบ 50:50, 60:40, 40:60, 70:30 และ 30:70
ตามลำดับและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุดของทุกกรณีเมื่อเทียบกับ
ตัวแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรง การวิเคราะห์การถดถอย
โพลิโนเมียล และการวิเคราะห์การถดถอยเลขชี้กำลัง

ต่อมานำผลค่าระยะทางมาตรฐาน d_2 กับ d_3 ในหน่วยเซนติเมตรที่
ได้รับจากตัวรับรู้ทางแสงทั้งสองตัวที่ติดตั้งทำมุม 60 องศาและ 30 องศา
ตามแนวแกนตั้ง ณ จุด B ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 มาคำนวณหาค่ามุมพื้นเอียง
ตามความสัมพันธ์ที่ (5) จำนวน 10 ครั้ง และหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ MSE แต่ละมุมพื้นเอียงเริ่มต้นที่ 0 ถึง 45 องศาโดยเพิ่มทีละ 5 องศาจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ MSE แต่ละมุมพื้นเอียงที่ได้รับจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

ครั้งที่		มุมพื้นเอียงในหน่วยองศา									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1		0.1	4.5	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
2		0.1	4.5	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
3		0.1	4.5	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
4		0.1	5.1	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
5		0.1	5.1	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
6		0.1	5.1	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
7		0.1	5.1	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
8		0.1	5.1	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
9		0.1	4.5	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
10		0.1	4.5	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
ค่าเฉลี่ย		0.1	4.8	9.8	15.9	21.8	26.4	30.4	35.2	40.6	46.6
MSE	$\bar{X}$	0.0	0.1	0.0	0.9	3.2	2.0	0.1	0.0	0.3	2.6
	S.D.	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ผลลัพธ์การวัดค่ามุมพื้นเอียงเฉลี่ยจากอุปกรณ์ที่พัฒนาของแต่ละมุมพื้นเอียงเริ่มต้นที่ 0 ถึง 45 องศาโดยเพิ่มทีละ 5 องศาเท่ากับ 0.1, 4.8, 9.8, 15.9, 21.8, 26.4, 30.4, 35.2, 40.6 และ 46.6 มีค่าความคลาดเคลื่อน MSE เฉลี่ยเท่ากับ 0.0, 0.1, 0.0, 0.9, 3.2, 2.0, 0.1, 0.0, 0.3 และ 2.6 ตามลำดับและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำมากแสดงถึงข้อมูลมีความเสถียรมากในการหามุมพื้นเอียงของอุปกรณ์ที่พัฒนา

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อการวัดมุมพื้นลาดเอียงด้วยการใช้ตัวรับรู้ทางแสงย่านใกล้อินฟราเรดจำนวน 2 ตัว ทดสอบเทียบมาตรฐานค่าระยะทางของตัวรับรู้ทางแสงทั้งสองจำนวน 121 ครั้ง ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อย่อยที่ 2.4 โดยแต่ละครั้งมีระยะตั้งแต่ 0 เซนติเมตร ถึง 600 เซนติเมตรด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรงร่วมกับเลขชี้กำลังตามความสัมพันธ์ที่ (7) มีผลลัพธ์ค่าความคลาดที่ต่ำกว่าตัวแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรง การวิเคราะห์การถดถอยโพลิโนเมียล และการวิเคราะห์การถดถอยเลขชี้กำลัง ผู้วิจัยจึงนำค่าระยะทางมาตรฐาน d_2 กับ d_3 ในหน่วยเซนติเมตร และประมวลผลระยะทางนี้ด้วยเทคนิคทางตรีโกณมิติตามความสัมพันธ์ที่ (5) สำหรับการหาค่ามุมพื้นลาดเอียงตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศาทดสอบจำนวน 10 ครั้งบนตัวประมวลผลข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano Every ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน MSE เฉลี่ยเท่ากับ 0.924 และมีค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐานที่ต่ำมากแสดงถึงข้อมูลมีความเสถียรมากในการหามุมพื้นเอียงของอุปกรณ์ที่พัฒนาเพื่อนำทฤษฎีวัดมุมพื้นเอียงดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการช่วยลดยุติเหตุของผู้บกพร่องทางสายตา สามารถต่อยอดเป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือการเดินทางในลักษณะพื้นที่ราบ ทางลาดชัน หรือบันได เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และเพิ่มโอกาสในการดำเนินชีวิตอย่างเป็นอิสระให้กับผู้บกพร่องทางสายตาโดยใช้ระยะทางจากตัวรับรู้ย่านใกล้อินฟราเรดจากผลการหาค่ามุมพื้นลาดเอียง

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Kim, "VIVR: Presence of Immersive Interaction for Visual Impairment Virtual Reality," IEEE Access, vol. 8, pp.196151–196159, Oct. 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034363.
- [2] T. A. Heya, S. E. Arefin, A. Chakrabarty, and M. Alam, "Image Processing Based Indoor Localization System for Assisting Visually Impaired People," pp. 1–7, Mar. 2018, doi: 10.1109/UPINLBS.2018.8559936.
- [3] G. Garcia and A. Nahapetian, "Wearable computing for image-based indoor navigation of the visually impaired," p. 17, Oct. 2015, doi: 10.1145/2811780.2811959.
- [4] A. Parab, R. Nagare, O. Kolambekar, and P. Patil, "Electronic Orientation Aid for Visually Impaired using Graphics Processing Unit (GPU)," vol. 32, p. 03054, Jan. 2020, doi: 10.1051/ITMCONF/20203203054.
- [5] G. Balakrishnan, G. Sainarayanan, R. Nagarajan, and S. Yaacob, "A Stereo Image Processing System for Visually Impaired," World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, vol. 2, no. 8, pp. 2794–2803, Aug. 2008, doi: 10.5281/ZENODO.1075125.
- [6] T. A. Heya, S. E. Arefin, A. Chakrabarty, and M. Alam, "Image Processing Based Indoor Localization System for Assisting Visually Impaired People," pp. 1–7, Mar. 2018, doi: 10.1109/UPINLBS.2018.8559936.
- [7] M. Karthik, R. M. Kareem, V. M. Nisha, and S. A. Sajidha, "Smart Walking Stick for Visually Impaired People," pp. 361–381, Oct. 2023, doi: 10.1002/9781394213726.ch15.
- [8] S. Mohite, A. M. Patel, M. Patel, and V. Gaikwad, "Smart Walking Stick for Visually Impaired People," Social Science Research Network, Oct. 2018, doi: 10.2139/SSRN.3274784.
- [9] J. W. Lee, "A navigation function visually impaired smart stick system," Dec. 30, 2015

- [10] N. Banat James and A. Harsola, "Embedded Navigation Assisting Cane for the Blind," International Conference & Workshop on Emerging Trends in Technology, pp. 5–7, May 2015, [Online].
- [11] Z. M. Yusof, M. Billah, K. Kadir, M. A. S. B. Rohim Rohim, H. Nasir, M. Izani, and A. A. Razak, "Design and Analysis of a Smart Blind Stick for Visual Impairment," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 11, no. 3, pp. 848–856, Sep. 2018.
- [12] V. Malele and P. A. Owolawi, "Smart Walk: A Smart Stick for the Visually Impaired," vol. 2022, pp. 131–136, Dec. 2022, doi: 10.59200/iconic.2022.014.
- [13] B.-S. Lin, C.-C. Lee, and P.-Y. Chiang, "Simple Smartphone-Based Guiding System for Visually Impaired People," Sensors, vol. 17, no. 6, p. 1371, Jun. 2017, doi: 10.3390/S17061371.
- [14] R. Nagarajan, G. Sainarayanan, S. Yaacob, and R. R. Porte, "Fuzzy-rule-based object identification methodology for NAVI system," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2005, no. 14, pp. 2260–2267, Jan. 2005, doi: 10.1155/ASP.2005.2260.
- [15] C.-M. Yang, J.-Y. Jung, and J.-J. Kim, "Development of Obstacle Detection Shoes for Visually Impaired People," Sensors and Materials, vol. 32, no. 6, p. 2227, Jun. 2020, doi: 10.18494/SAM.2020.2866.
- [16] Seeed Studio, TF-Luna Instruction Manual, Seeed Studio, 2021.[Online].Available:https://files.seeedstudio.com/wiki/TF_Luna/res/TF_Luna%20Instruction%20Manual.pdf. [Accessed: Jul. 10, 2025].
- [17] J Ma, S L Zhuo, L Qiu, Y Z Gao, Y F Wu, M Zhong, R Bai, M Sun, and P Y Chiang, A review of ToF-based LiDAR[J]. J. Semicond., 2024, 45(10), 101201 doi: 10.1088/1674-4926/24040015
- [18] Mehto, P. K., Mishra, P., & Lal, S. (2014). Design and Implementation for Interfacing Two Integrated Device Using I2C Bus. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 2(3), 3423–3426.
- [19] Arduino, "Nano Every," Arduino Official Store. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano-every>. [Accessed: Jul. 13, 2025].

- [20] J. Pearce, "Regression, Linear and Nonlinear," Elsevier, 2009, pp. 302–308. doi: 10.1016/B978-008044910-4.00507-1.
- [21] J. M. Hahne et al., "Linear and Nonlinear Regression Techniques for Simultaneous and Proportional Myoelectric Control," in IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 22, no. 2, pp. 269–279



สุชาติ แยมแมน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยม) จากมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท และปริญญา เอกจากมหาวิทยาลัยแวนเดอร์บิลต์ เมืองแนชวิลล์ รัฐเทนเนสซี สหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2541 และ พ.ศ. 2544 ตามลำดับ ความสนใจด้าน การวิจัยในปัจจุบันครอบคลุมหลากหลายสาขา ได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง การประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณดิจิทัล ระบบควบคุมอัตโนมัติ วิศวกรรมชีวการแพทย์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ พลังงานหมุนเวียน การ จัดการอนุรักษ์พลังงาน หุ่นยนต์ การระบุและสร้างแบบจำลองระบบ ดร.สุ ชาติ แยมแมน ดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ และผู้อำนวยการหน่วยวิจัย ด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์และนวัตกรรมเพื่อความเสมอภาคทางสังคม (BEISE) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และยังเป็นสมาชิก วิชาชีพในระดับนานาชาติและระดับประเทศ อาทิ สมาชิกอาวุโสของ IEEE สมาชิกของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) สมาชิกของสภาวิศวกร



วชิระ ลิ้มศรีประพันธ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญา ตรี ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิทยาศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2548 ตามลำดับ และ ระดับ ปริญญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปี พ.ศ. 2566 ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูล สงคราม



เมธานันท์ เนียมเปี่ยม สำเร็จการศึกษาระดับ ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม เมื่อปี พ.ศ. 2565 ปัจจุบันกำลังศึกษา ต่อระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร