

The Evaluation Emotional State of Students in the Classroom Using Artificial Intelligence Application

การประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์

Phanupon Phasuchaisakul^{1*}, Chaiwichit Chianchana², and Sageemas Na Wichian²

ภาณุภณ พสุชัยสกุล^{1*}, ชัยวิชิต เชียงชนะ², และ ศจีมาจ ณ วิเชียร²

¹Technical Education Management Department, Faculty of Technical Education,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

¹ภาควิชาบริหารอาชีวศึกษาและเทคโนโลยีศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²Technical Education Management Department, Faculty of Technical Education,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*Corresponding author: s6102061910031@kmutnb.ac.th

Received May 5, 2023 ■ Revised May 31, 2024 ■ Accepted June 3, 2024 ■ Published August 27, 2024

Abstract

This research aims to create an application to assess students' emotions in the classroom to be tested using artificial intelligence with a sample of students aged 18 years old and over attending schools of the Vocational Education Commission. This application uses the faces of volunteers in Kanchanaburi and Nonthaburi provinces to train models with images from FER2013 and the sample group to test the application in Nakhon Nayok, Phichit and Khon Kaen provinces and in Bangkok. The application uses computer vision with Haar's facial detection algorithm and convolutional neural network (CNN) to make predictions. If the AI finds an emotion, it will count the frame and count the cumulative frequency of the seven emotions. The positive emotions include natural resting emotion, happiness, and surprise, while negative emotions include sadness, fear, anger, and disgust. The training model was programmed to allow artificial intelligence to analyse the learners' faces. A webcam was connected to a portable computer while teaching in the classroom without recording video or sending data to be stored on an online server in order to protect the privacy of the volunteers. The research found that: 1) the application had an accuracy value of 0.6288 and interrater reliability value with an average accuracy of all emotional states of 0.8 and 2) the application trial found that room environments affected the face discrepancy recorded by the camera. The learners' actions affected the analysis of facial emotions, for instance some students wore masks. The assessment of the students' emotions showed that normal emotions were the most common and no students had the emotion of disgust. After analysing, it was found that positive moods accounted for 71.19% of all moods, while negative moods made up 28.81%. The AI application is able to generate a graph in real-time which can highlight if an individual student is consistently sad to prompt the teacher to help them. Moreover, teachers can use the graphs to improve teaching and learning.

Keywords: evaluation, emotion, artificial intelligence

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างแอปพลิเคชันประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์ และทดลองใช้แอปพลิเคชันกับกลุ่มตัวอย่างโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป โดยใช้ใบหน้าจากอาสาสมัคร ในจังหวัดกาญจนบุรี 23 คน และนนทบุรี 17 คน เพื่อนำใบหน้ามาสร้างและทดสอบโมเดลร่วมกับภาพจากชุดข้อมูลโอเพนซอร์ส FER2013 และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้น คือ จังหวัดนครนายก 13 คน พิจิตร 33 คน ขอนแก่น 30 คน และกรุงเทพมหานคร 20 คน มีวิธีการสร้างแอปพลิเคชันด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ค้นกับอัลกอริทึมการตรวจจับใบหน้าของ Haar และส่งให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ทำการทำนายอารมณ์และนับจำนวนความถี่สะสมของแต่ละอารมณ์ทั้ง 7 โดยอารมณ์เชิงบวก คือ กลุ่มอารมณ์ปกติ ความสุข และความประหลาดใจ ด้านอารมณ์เชิงลบ คือ ความเศร้า ความกลัว ความโกรธ และขยะแขยง นำโมเดลจากการฝึกมาเขียนโปรแกรมเพื่อให้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ใบหน้าจำนวน 7 อารมณ์ของผู้เรียนในห้อง ด้วยกล้องเว็บแคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ระหว่างการเรียนการสอนในห้อง เป็นเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง โดยไม่มีการบันทึกวิดีโอและไม่ส่งข้อมูลออกไปเก็บที่เครื่องแม่ข่ายออนไลน์บนคลาวด์ เพื่อป้องกันข้อมูลความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัคร ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ผลการวิจัยพบว่า 1) การสร้างแอปพลิเคชันมีค่า Val accuracy อยู่ที่ 0.6288 และมีค่าความเที่ยง Interrater reliability ที่มีผลความแม่นยำเฉลี่ยของทุกภาวะอารมณ์อยู่ที่ 0.8 หรือร้อยละ 80 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ 2) การทดลองแอปพลิเคชัน พบสภาพแวดล้อมของห้องที่มีรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ต่างกัน ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ใบหน้าผ่านกล้อง สิทธิส่วนบุคคลของผู้เรียน ส่งผลต่อการบันทึกภาวะอารมณ์ทางใบหน้าขณะเรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์ และการประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนมีภาวะอารมณ์ปกติสูงสุด และไม่พบนักศึกษามีภาวะอารมณ์ที่ขยะแขยง เมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่า กลุ่มอารมณ์เชิงบวกของ 4 วิทยาลัยอยู่ที่ 71.19% และกลุ่มอารมณ์เชิงลบ 28.81% ผลการวิจัยในครั้งนี้นำไปใช้เพื่อประโยชน์การเฝ้าระวังอาการภาวะซึมเศร้าของผู้เรียน และปรับปรุงหลักสูตรหรือวิธีการสอนของครูผู้สอนต่อไป

คำสำคัญ: การประเมิน, ภาวะอารมณ์, ปัญญาประดิษฐ์

■ บทนำ (Introduction)

อารมณ์มีผลกระทบต่อการเรียนรู้ทั้งการเรียนในห้องเรียนปกติและการเรียนในสภาพแวดล้อมออนไลน์ นักวิชาการและนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความหมายเกี่ยวกับภาวะทางอารมณ์กับการศึกษาไว้หลากหลาย ดังนี้ ภาวะทางอารมณ์มีผลกับการศึกษาอารมณ์ของผู้เรียนส่งผลต่อผลการเรียน มีบทความพูดถึงการเรียนการสอนออนไลน์เนื่องจากผลกระทบของโคโรนาไวรัส (Chandra, 2021) การเรียนออนไลน์มีผลต่อความเครียดทางวิชาการของนักเรียน เขาได้นำกลยุทธ์การเผชิญปัญหาโดยใช้ความฉลาดทางอารมณ์ เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบการเรียนการสอน Artino (2012) ได้ตีพิมพ์ปัญหาพิเศษเรื่องอารมณ์ในสภาพแวดล้อมการเรียนออนไลน์ที่สังเกตได้ยาก ปัญหาพิเศษนี้ได้รับว่า อารมณ์มีผลกระทบต่อการเรียนรู้ การมีส่วนร่วม และความสำเร็จในสภาพแวดล้อมออนไลน์ไม่มีความแตกต่างจากการสอนในชั้นเรียนแบบเดิม

เมื่ออารมณ์มีผลกระทบต่อการเรียนรู้ของนักเรียน ผู้วิจัยจึงหาข้อมูลเกี่ยวกับวัยรุ่นไทยพบข้อมูลของกรมสุขภาพจิต (Hfocus, 2021) ได้ประเมินสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่นไทยอายุต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 183,974 คน ผ่านแอปพลิเคชัน Mental Health Check-in ตั้งแต่ 1 มกราคม 2563-30 กันยายน 2564 พบว่า วัยรุ่นมีความเครียดสูง 28% เสี่ยงซึมเศร้า 32% เสี่ยงฆ่าตัวตาย 22% เราพบว่า เด็กวัยรุ่นมีความเครียดสูงขึ้น เข้าสังคมลดลง ดิจิตอลและเกมออนไลน์มากขึ้น ปัญหาทะเลาะเบาะแว้งและความรุนแรงในครอบครัว จนนำไปสู่ปัญหาสุขภาพจิตและการฆ่าตัวตาย ดังนั้นจะเห็นว่า อารมณ์และความเครียดมีผลกระทบต่อการเรียนรู้และภาวะซึมเศร้า ผู้วิจัยจึงหางานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์ของผู้เรียน พบว่า ในการออกแบบหลักสูตรการเรียนการสอน Hsieh and Huang (2020) นักวิจัยทำวิจัยเรื่องผลกระทบจากหลักสูตรกับการควบคุมอารมณ์และความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลของเด็กชั้น ป.5 ในงานวิจัยเขาได้ข้อสรุปว่า การพัฒนาการควบคุมอารมณ์และทักษะด้านมนุษย์สัมพันธ์เป็นงานที่สำคัญสำหรับเด็กนักเรียน การเรียนรู้และพัฒนาางานดังกล่าวในช่วงวัยประถมศึกษามีความสำคัญต่อชีวิตในภายหลังของบุคคล ความยากที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอารมณ์ในเด็กนักเรียนสามารถส่งผลกระทบต่ออย่างใหญ่หลวงและยาวนานต่อเด็ก ความเจ็บป่วยทางจิต ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความยากในการควบคุมอารมณ์ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ของสมองเกี่ยวกับการควบคุมอารมณ์ ยังพบว่า การปรับอารมณ์และบริเวณสมองที่รับรู้ นั้นคาบเกี่ยวกันในหลายพื้นที่ของสมอง และการตอบสนองทางอารมณ์และการทำงานขององค์ความรู้มีปฏิสัมพันธ์กัน ยิ่งไปกว่านั้นความยากในการควบคุมอารมณ์ยังสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับภาวะซึมเศร้าและยังขัดขวางในการทำงานของระบบสั่งการของสมอง เช่น ความจำในการทำงานและการควบคุมการยับยั้ง

ซึ่งมักนำไปสู่การใช้สารเสพติดในภายหลัง

ในสถานการณ์วิจัยด้านจิตวิทยาส่วนมากใช้เครื่องมือที่เป็นแบบสอบถาม แบบสังเกต ผู้วิจัยจึงได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการวิเคราะห์อารมณ์ พบการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการประเมินภาวะทางอารมณ์ ปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ Bouhlal et al. (2020) ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างแนวทางต่าง ๆ ที่มีอยู่ด้านหนึ่งขึ้นอยู่กับ การเปรียบเทียบ ศึกษาได้เสนอแนวทางการศึกษาที่บูรณาการ การจดจำใบหน้าและเทคนิคที่ใช้อยู่ โดยกล่าวถึงแนวทางที่ดีที่สุด ในทางกลับกันการประยุกต์ใช้ระบบการศึกษาที่นำการจดจำอารมณ์ใบหน้ามาใช้นั้นได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การจดจำใบหน้าเครื่องมือที่เชื่อถือได้ ยังคงเป็นความท้าทายสำหรับนักวิจัย เพื่อให้ได้กระบวนการก่อนการประมวลผล การแยก การคัดเลือก และการจัดประเภทคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากจำนวนข้อมูลที่มากและความแปรปรวนของข้อมูลที่ป้อนให้คอมพิวเตอร์ ไปประมวลผลทางคณิตศาสตร์

นอกจากใช้ภาพหรือวิดีโอมาประเมินอารมณ์ของมนุษย์ แต่ก็มีการใช้เสียงพูด ได้แก่ งานวิจัยของ Shin et al. (2021) พัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ระบบอัจฉริยะด้วยเสียง (Voice-based intelligent systems) ด้วยการใช้ลำโพงและผู้ช่วยเสมือนที่กำลังเข้ามาแทรกแซงชีวิตมนุษย์ วีไอเอสเป็นรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับเอไอ ซึ่งแตกต่างจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ โดยใช้แนวทางวิศวกรรมของคันเซอิ (Kansei) เขาได้เสนอวิธีการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่เป็นการโต้ตอบระหว่างวีไอเอส และระบบอัจฉริยะที่เน้นผู้ใช้ที่ประกอบด้วย พารามิเตอร์การออกแบบสี่ประเภท โดยมีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 23 คน สำหรับการโต้ตอบกับวีไอเอส และวัดความพึงพอใจของผู้ใช้โดยใช้ข้อความซึ่งคะแนนแบบสอบถามที่รวบรวมผ่านคันเซอิวิเคราะห์โดยใช้ปัจจัยเชิงสำรวจจะโนว่า (ANOVA) ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างทางอารมณ์บนแกน "ความพอใจ" และ "ความน่าเชื่อถือ" ได้รับการยืนยันแล้ว ว่าในบรรดาพารามิเตอร์การออกแบบทั้งสี่ "โครงสร้างประโยคของคำตอบ" และ "จำนวนการทดลองเพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องสำหรับคำถาม" ส่งผลต่อความพึงพอใจทางอารมณ์ของผู้ใช้ ได้กลุ่มความพึงพอใจสี่กลุ่มตามระดับของพารามิเตอร์ การออกแบบการเรียนการสอนสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการประเมินความพึงพอใจทางอารมณ์แบบบูรณาการโดยใช้ตัวชี้วัดทางอารมณ์ ได้แก่ ชีวิตสัญญาณและการแสดงออกทางสีหน้า

เมื่อผู้วิจัยทำการทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติม พบว่า มีการใช้คลื่นสมองวิเคราะห์อารมณ์ คือ การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์อารมณ์ Ramsay and Ahmad (2023) มีทั้งการนำข้อความมาวิเคราะห์จากการถามตอบในห้องเรียน

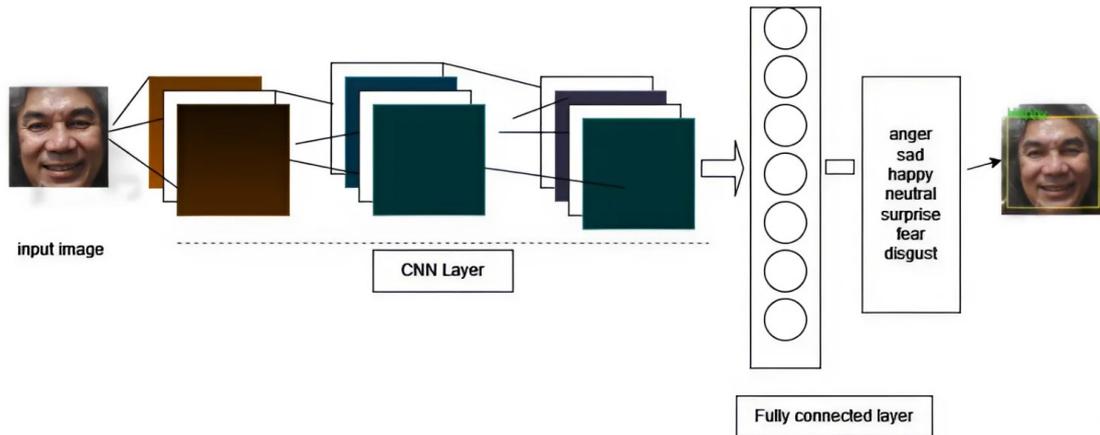
ออนไลน์ การใช้อุปกรณ์วัดอีอีจี (EEG) Reeya et al. (2021) ทำวิจัยเพื่อวัดคลื่นสมองและสมาธิวิเคราะห์ อุปกรณ์แบบนี้ต้องติดกับศีรษะอาสาสมัครจะรุกร่างกายและความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัคร งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการตรวจจับใบหน้า

ผ่านกล้องคอมพิวเตอร์โดยใช้หลักการที่เรียกว่า ปัญญาประดิษฐ์ Mohamed et al. (2021) ซึ่งได้ใช้การประมวลผลภาพร่วมกับ อัลกอริทึมตรวจจับใบหน้า Harr Cascade

Figure 1

A Picture Explaining the Proposed Model Architecture (Rasheed et al., 2022)

ภาพอธิบายสถาปัตยกรรมแบบจำลอง



ฮาร์คาสเคด (Haar Cascade) ได้รับเสนอในสิ่งพิมพ์ประจำปี 2020 เรื่อง "การจดจำการแสดงออกทางสีหน้าด้วยคอมพิวเตอร์วิชั่น" โดยอิงตามการระบุวัตถุของการเรียนรู้เชิงลึก วิธีการที่เรียกว่า ฮาร์คาสเคด โดยใช้แมชชีนเลิร์นนิง Rasheed et al. (2022) ฟังก์ชันคาสเคดได้รับการฝึกฝนโดยใช้ทั้งภาพเชิงบวกและภาพเชิงลบจำนวนมาก ขั้นตอนต่อไปคือ ใช้เพื่อค้นหารายการในภาพอื่น โซดตีที่โอเพนซีวี (OpenCV) มีอัลกอริทึมฮาร์คาสเคดที่ได้รับการฝึกล่วงหน้าที่ถูกจัดหมวดหมู่ เช่น ใบหน้าดวงตา และอื่น ๆ ตามภาพ Figure 1

การใช้งาน CNN ในอุตสาหกรรมมีงานของ Chiurco et al. (2022) ในบทความนี้ผู้เขียนได้ทดสอบและเปรียบเทียบโมเดลที่แตกต่างกัน 12 แบบ ซึ่งทั้งหมดใช้ Deep learning และ Convolutional neural networks (CNN) เพื่อจดจำอารมณ์ โดยใช้ชุดข้อมูล CK+ และ FER-2013 อัลกอริทึม DeepFace ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุด และได้รับการทดสอบเพิ่มเติมในหัวข้อจริงในบริบทการทำงานและอุตสาหกรรม

ด้านบทความของ Nixon et al. (2022) มีการนำเสนอการบำบัดด้วยปัญญาประดิษฐ์แบบใหม่สำหรับการวิเคราะห์ภาวะซึมเศร้า การวิจัยนี้เป็นประโยชน์สำหรับนักจิตวิทยาในการให้คำปรึกษาแก่ผู้ป่วย เทคนิค Face emotion ที่ใช้ในการแมชชีนเลิร์นนิงในการตรวจจับระดับภาวะซึมเศร้าในผู้ป่วยทุกราย โมเดลนี้สามารถทดสอบได้กับผู้ป่วยทุกช่วงอายุที่เผชิญกับภาวะซึมเศร้าเนื่องจากปัญหาหรือระดับชีวิตที่แตกต่างกันเพื่อฝึกอัลกอริทึมแมชชีนเลิร์นนิงที่ใช้ชุดข้อมูล

โอเพนซอร์ส FER-2013 อัลกอริทึมได้รับการฝึกอบรมและทำการทดลองกับผู้คนทุกวัยผลลัพธ์ของอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถวิเคราะห์ภาวะซึมเศร้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อได้รวบรวมเอกสารและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียน สรุปได้ว่าการควบคุมภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องเรียนมีความท้าทาย เพราะสภาวะแวดล้อมการใช้ชีวิตเฉพาะแต่ละบุคคลและสภาพแวดล้อมในชั้นเรียน หากบรรยากาศการสอนทำให้ผู้เรียนมีภาวะทางอารมณ์ในการเรียนที่มีความสุข สนุกที่จะเรียนรู้ได้ ผู้สอนสามารถควบคุมเพื่อประเมินและทำการปรับปรุงเนื้อหาบทเรียน วิธีการถ่ายทอดความรู้และกิจกรรมในครั้งถัดไป ผู้วิจัยจึงได้นำนวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ มาช่วยในการประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการเรียนการสอนต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย (Objectives)

1. เพื่อสร้างแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้อง
2. เพื่อทดลองแอปพลิเคชันประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์

นิยามศัพท์ (Definition)

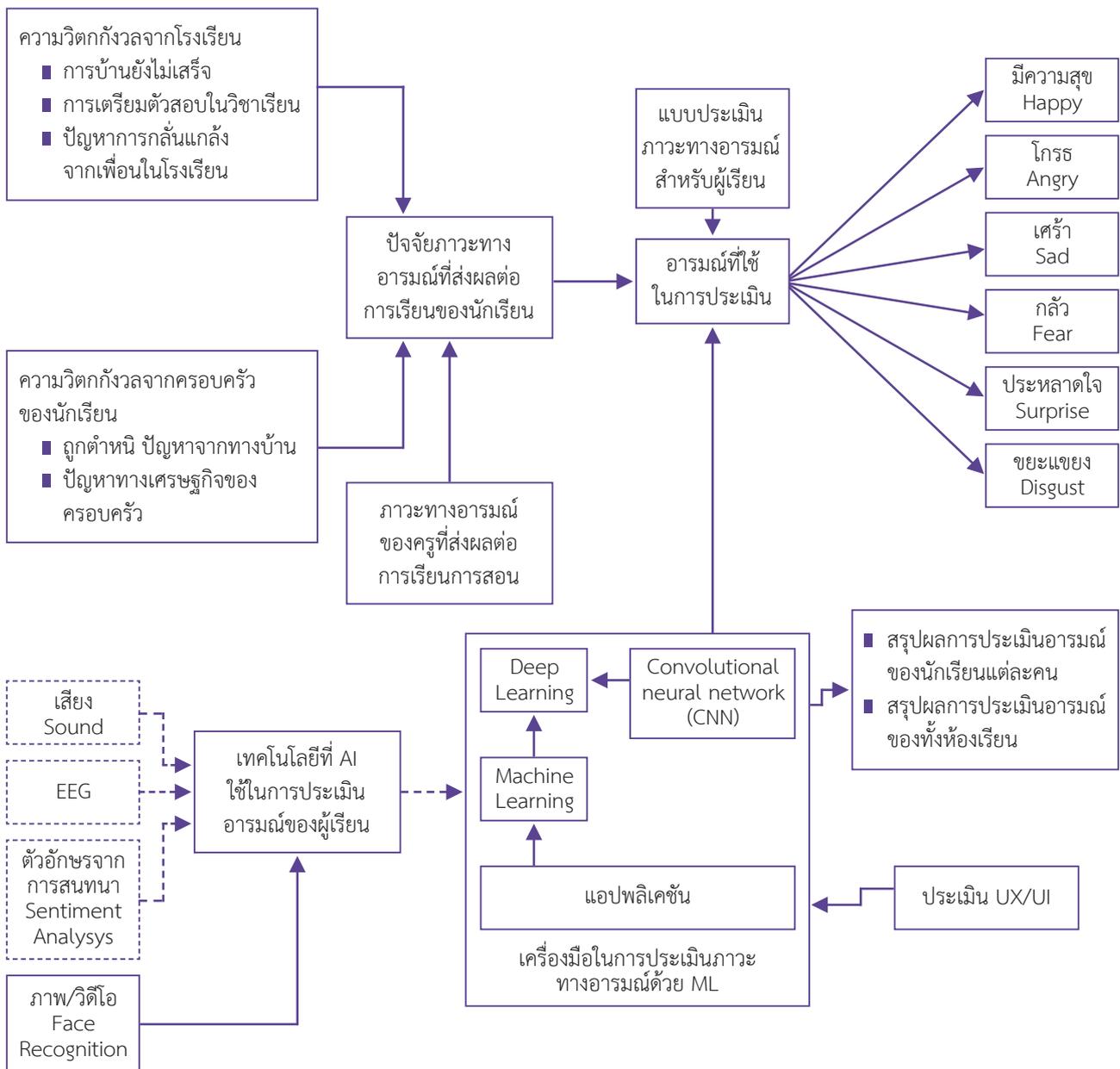
แอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ คือ โปรแกรมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ ทำงานร่วม

กับกล้องคอมพิวเตอร์ โดยทำการตรวจจับใบหน้าของมนุษย์และนำภาพไปทำนายด้วยโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน ซึ่งเป็นคณิตศาสตร์ที่ทำนายได้ 7 อารมณ์

กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

จากการศึกษา พบว่า การวิจัยในครั้งนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งทางด้านอารมณ์ ด้านการประเมิน และด้านปัญญาประดิษฐ์ เพื่อนำมาสร้างแอปพลิเคชันให้เป็นนวัตกรรมในการประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียน จึงสรุปออกมาได้ดัง Figure 2

Figure 2
Summary of Concepts, Theories, and Related Research
แผนภาพสรุปแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



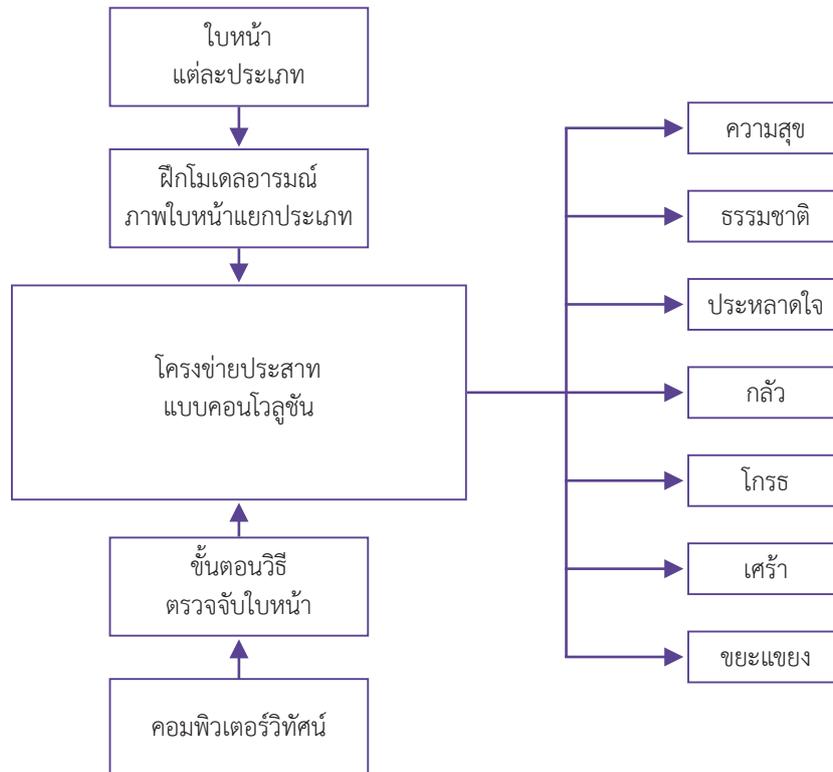
จาก Figure 2 ที่สรุปแผนภาพการสรุปแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษาถึงปัจจัยภาวะทางอารมณ์ที่ส่งผลต่อการเรียนของผู้เรียน และสำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ประเมินอารมณ์ของผู้เรียนนั้นมี 4 แนวทางที่สามารถจะนำมาใช้งานได้

เช่น เสียงพูดคุย เครื่องวัดคลื่นสมอง EEG ตัวอักษรที่ได้ตอบในระบบการเรียนการสอนออนไลน์ หรือจากกล้องวิดีโอ เป็นต้น แต่ทั้ง 4 แบบนี้ ต้องใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาทำการทายผล ผู้วิจัยจึงได้เลือกรูปแบบการประมวลผลภาพ เนื่องจาก

ไม่เป็นการรบกวนหรือละเมิดความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัครจนเกินไป จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ออกมาเป็นกรอบ

แนวคิดในการวิจัยดัง Figure 3

Figure 3
Research Conceptual Framework
กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

จาก Figure 3 การวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างแอปพลิเคชันเพื่อการประเมินภาวะทางอารมณ์ด้วยปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบของโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (CNN) ซึ่งต้องมีการนำข้อมูลภาพมาฝึกโดยมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

ชุดข้อมูลภาพ (Data Set)

ข้อมูลชุดภาพงานวิจัยในครั้งนี้ ได้นำข้อมูลภาพแบบเปิด FER-2013 ซึ่งคัดแยกรูปแบบทั้ง 7 อารมณ์ เพื่อใช้ในการฝึกโมเดล และส่วนที่สองเป็นข้อมูลภาพ 7 อารมณ์ เพื่อใช้ในการทดสอบโมเดล โดยข้อมูลในการฝึกโมเดลมีทั้งหมด 28,821 ภาพ ประกอบไปด้วย ภาพ Angry 3,993 ภาพ Disgust 436 ภาพ Fear 4,103 ภาพ Happy 7,164 ภาพ Neutral 4,982 ภาพ Sad 4,938 ภาพ Surprise 3,205 และภาพที่ใช้ในการทดสอบ (Validation) มีจำนวน 7,111 ภาพ ประกอบด้วย Angry 960 ภาพ Disgust 111 ภาพ Fear 1,018 ภาพ Happy 1,825 ภาพ Neutral 1,261 ภาพ Sad 1,139 ภาพ Surprise 797 ภาพ

การฝึกโมเดล

ในการฝึกโมเดลเป็นขั้นตอนของการเขียนโปรแกรม

เพื่อสร้างโมเดลโดยผู้วิจัยต้องกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดภาพ 48x48 พิกเซล ขนาดของฟิลเตอร์ (Number of filter) ซึ่งมีสามชั้น คือ 128 พิกเซล 256 และ 512 พิกเซล แต่ละชั้นมีขนาด 3x3 จำนวนรอบมีขนาด 100 รอบ ขนาดของเอาต์พุตในงานวิจัยนี้มีขนาด SoftMax เท่ากับ 7 จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนคอมไพล์และทดสอบความแม่นยำ (Validation accuracy) และบันทึกไฟล์โมเดลไปใช้ในแอปพลิเคชัน

การตรวจจับใบหน้า

ด้านการตรวจจับใบหน้าผู้วิจัยใช้อัลกอริทึมของ Haar cascade ซึ่งมีการแชร์โมเดลสำเร็จไว้ ผู้วิจัยจึงได้นำโมเดลนี้มาร่วมกับไลบรารีของโอเพนซีวี ซึ่งเป็นไลบรารีแบบโอเพนซอร์ส เมื่อกำลังตรวจจับใบหน้าได้จึงส่งภาพนั้นไปให้โมเดลทำนาย

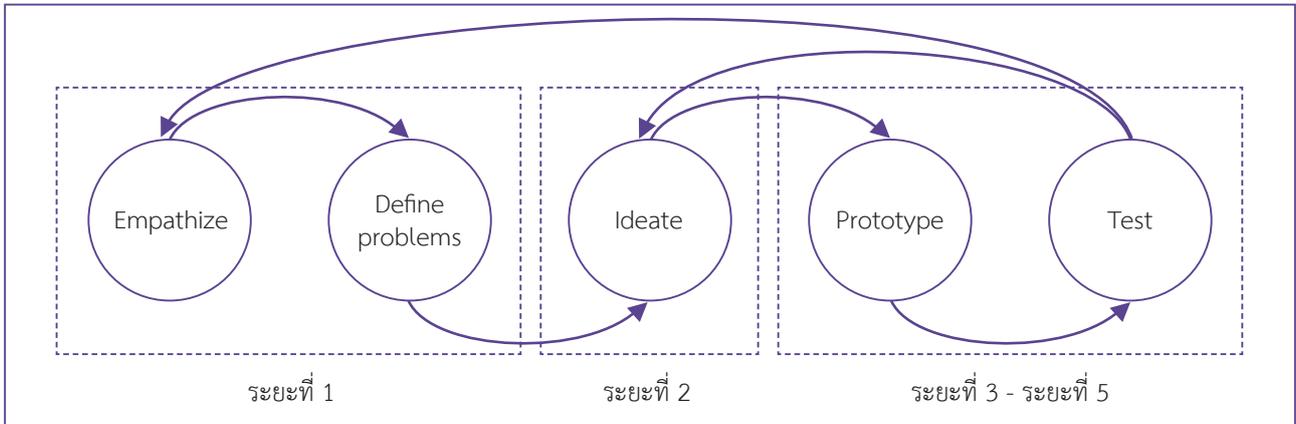
ขั้นตอนการสร้างแอปพลิเคชัน

ในการประเมินภาวะอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์ครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการวิจัยการออกแบบ Wongvanit (2021) หรือ Design research โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยที่นำรูปแบบวิจัยการออกแบบมาทำการออกแบบกระบวนการแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ดัง Figure 4

Figure 4

The Research Phase is Based on D.School

ระยะการดำเนินการวิจัยมีรากฐานจากดีดอทสคูล



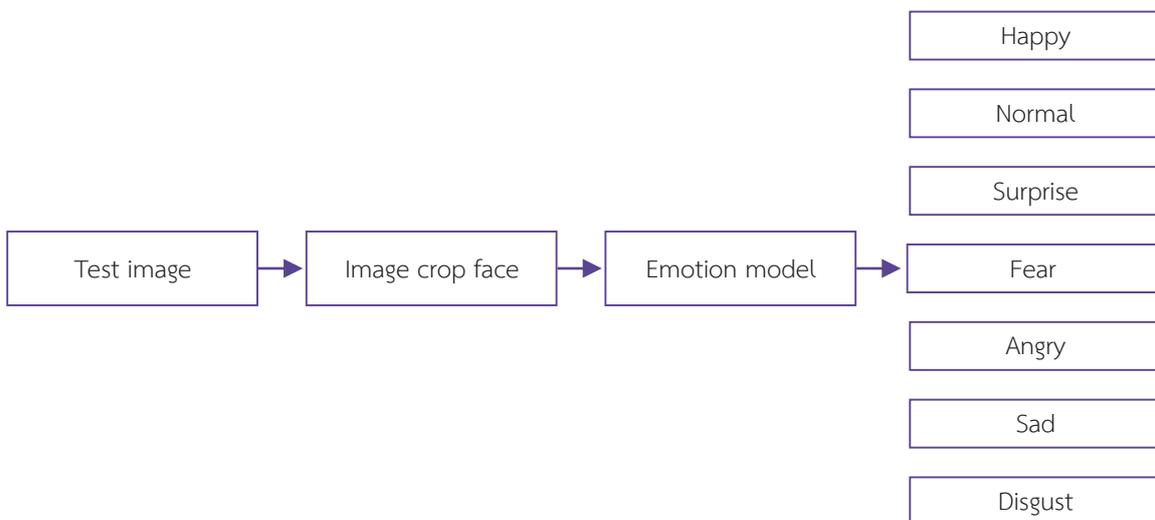
ระยะที่ 1 ผู้วิจัยได้นำ 2 กระบวนการ คือ การเข้าใจอารมณ์ความรู้สึก (Empathize) วิเคราะห์ศึกษาและทำความเข้าใจปัญหา ค้นคว้าและศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี ด้วยเทคนิคการวิจัยเชิงปริมาณและทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเก็บตัวอย่างอารมณ์และพฤติกรรมการเรียนในห้องของนักศึกษาจำนวน 1 ห้อง โดยใช้วิดีโอจากโรงเรียนในจังหวัดกาญจนบุรีและนนทบุรีด้วยการติดกล้องบันทึกวิดีโอเป็นเวลา 3 ครั้ง ครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์และตัดแยก นำไปฝึกปัญญาประดิษฐ์เพื่อประเมินอารมณ์ของใบหน้าและ

พฤติกรรมของนักศึกษาจากท่าทาง โดยผู้วิจัยจะเลือกพฤติกรรมจากวิดีโอที่บันทึกมา เลือกพฤติกรรมที่ต้องการ ตัดและทำการเก็บเป็นคลิปสั้น ๆ ส่วนใดที่ไม่เป็นธรรมชาติจะไม่นำมาใช้ เช่น การเล่นกับกล้อง เป็นต้น และในขั้นตอนสำรวจปัญหา (Define problems) ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจปัญหาและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมดำเนินการเสนอเรื่องขออนุมัติการเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ให้ผ่านก่อนทำการวิจัย

Figure 5

Model Testing

การทดสอบโมเดล

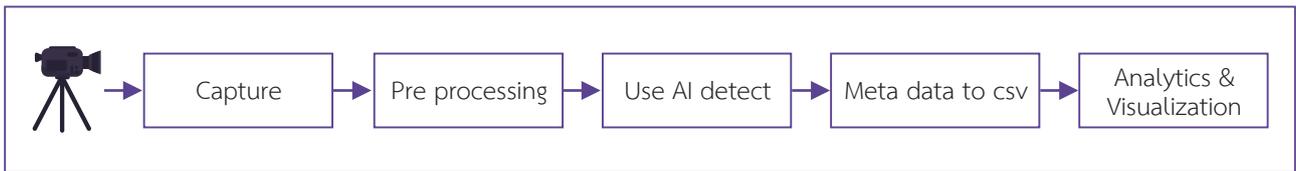


ระยะที่ 2 เป็นขั้นตอนการออกแบบ (Ideate) เป็นการหาแนววิธีการและความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีเข้ามาทำการประเมินอารมณ์ผู้เรียน ออกแบบต้นแบบนวัตกรรมการประเมินด้วยการเขียนโปรแกรมใช้โอเพนซีวี เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ทำงานร่วมกับกล้องวิดีโอ ใช้ไลบรารีของเทนเซอร์ฟลว์ (TensorFlow) ใช้ซีเอ็นเอ็นและฮาร์ดแวร์ที่ได้รับการยอมรับ

มาจำแนกใบหน้าอารมณ์ต่าง ๆ โดยประมวลผลได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ จาก Figure 5 เมื่อได้โมเดลมาแล้วจึงนำภาพในห้องเรียนมาประเภทละ 10 รูป รวมทั้งหมด 70 ภาพ มาทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของโมเดลจากภาพของผู้เรียน ทำนายถูกหรือผิดโดยผู้วิจัยสรุปออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

Figure 6

Design for use in Analyzing Student Emotions
การออกแบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อารมณ์ผู้เรียน

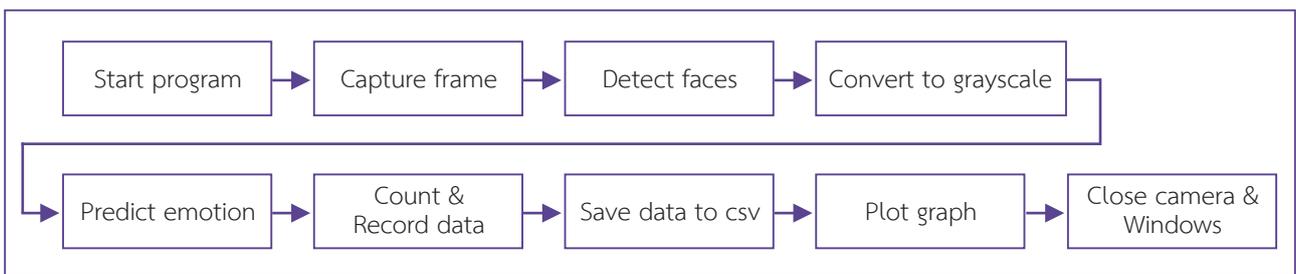


ระยะที่ 3 การสร้างต้นแบบ (Prototype) ออกแบบต้นแบบนวัตกรรมการประเมินโดยการเขียนโปรแกรม มีขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเป็นไปตามรูป Figure 6 โดยจะทำการจับภาพจากกล้องออกมา เรียกขั้นตอนนี้ว่า Capture ตามด้วยการ Pre processing ซึ่งเป็นขั้นตอนหาภาพใบหน้า จากนั้นปรับขนาด

ภาพใบหน้าให้เท่ากับที่สร้างโมเดล เมื่อ AI detect ได้เป็นข้อมูลเอาต์พุตชนิดใดให้สร้างข้อความออกมาและทำการบันทึก Data เป็นไฟล์ csv แล้วจึงทำการสร้างกราฟสรุปจำนวนเอาต์พุตที่นับอารมณ์แต่ละประเภทได้

Figure 7

Work Steps in Various Parts of the Evaluation Prototype Program
แสดงขั้นตอนการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรมต้นแบบประเมิน



ในการสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันระยะนี้ ผู้วิจัยได้นำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 1-3 คน เพื่อประเมินภาพและประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์แบบโครงข่ายคอนโวลูชันที่เก็บรวบรวมข้อมูลและสรุปผลที่ได้จากการทดลอง จากนั้นจึงนำข้อผิดพลาดรวมถึงการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ไปปรับปรุงแก้ไขแอปพลิเคชันให้สมบูรณ์พร้อมกับทดลองอีกครั้ง โดยขั้นตอนต่าง ๆ สำหรับการทำงานของแอปพลิเคชันเป็นไปตาม Figure 7

ตัวอย่างแต่ผู้เรียนต้องมีอายุ 18 ปีขึ้นไป ซึ่งในระยะนี้เป็นการนำแอปพลิเคชันมาทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันและนำข้อผิดพลาดไปปรับปรุงเพื่อการใช้งานในภาคสนามต่อไป โดยผู้วิจัยทำการบันทึกวิดีโอบรรยากาศในการเรียนจากหน้าห้องตลอดการเรียนการสอน โดยไม่มีการซูมหรือแพนกล้องใด ๆ ทำการบันทึก 1 ครั้ง ครั้งละ 1-3 ชั่วโมง โดยข้อมูลวิดีโอที่บันทึกมาทั้งหมด ถูกลบทิ้งหลังจากจบการวิจัย

ระยะที่ 4 เป็นขั้นตอนการทดสอบ (Test) โดยนำต้นแบบจากระยะที่ 3 ไปทดลองและทำการประเมินผลกับ 4 วิทยาลัยที่ต่างจังหวัดกัน วิทยาลัยละ 1 ห้องเรียน โดยไม่ต้องแยกกลุ่ม

ระยะที่ 5 เป็นระยะนำกลับมาหาสิ่งที่ต้องเพิ่มเติมหลังจากนำไปทดสอบเพื่อแก้ไขโปรแกรมต้นแบบ ดำเนินการทดสอบและนำไปทดลองใช้งานในภาคสนามต่อไป

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ นักศึกษาสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบโมเดลในจังหวัดกาญจนบุรีและนนทบุรี กลุ่มเพื่อทดลองแอปพลิเคชันในจังหวัดนครนายก พิจิตร ขอนแก่น และกรุงเทพมหานคร จำนวน 20 คนขึ้นไปต่อ 1 ห้องเรียน หรือตามจำนวนจริงในรายวิชานั้น ๆ และเรียนอยู่ห้องเดียวกัน โดยเป็นวิชาที่มีลักษณะการเรียนการสอนแบบบรรยาย คัดเลือกจากผู้บริหารสถานศึกษาและความสมัครใจของครูและนักเรียน

ขั้นตอนการวิจัย

ระยะที่ 1 ผู้วิจัยได้เข้าไปเก็บตัวอย่างอารมณ์และพฤติกรรมการเรียนรู้ในห้องของนักศึกษาอาชีวศึกษาจำนวน 1 ห้อง ในจังหวัดกาญจนบุรีและนนทบุรี ด้วยการติดกล้องบันทึกวิดีโอ คัดแยกเฉพาะภาพพฤติกรรมและอารมณ์ในชั้นเรียนที่ต้องการทำการฝึกปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน เพื่อทำการสร้างหรือฝึกให้รู้หมวดหมู่ต่าง ๆ ที่จำแนกไว้ เช่น ใบหน้า โกรธ อึ้ง แยม นิ่งเฉย เป็นต้น จากนั้นทำการทดสอบการฝึกโมเดลผ่านนิวรัลเน็ตเวิร์ค โดยขบวนการคัดแยกอารมณ์จากใบหน้าที่ป้อนมาจากอินพุตและภาพพฤติกรรมนำมากำหนดและกำกับลาเบล (Label) ให้กับคอนโวลูชัน นิวรัลเน็ตเวิร์ค รวมใช้เวลา 1 เดือน ในการปรับปรุงโปรแกรมและทดสอบโมเดลเบื้องต้น เพื่อไปทำการทดลองกับกลุ่มอาสาสมัครห้องเดิมเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากที่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์เรียบร้อยแล้ว

ระยะที่ 2 เมื่อในการวิจัยระยะแรกต้องอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ผู้วิจัยจึงได้นำภาพต้นแบบอารมณ์ FER-2013 (n.d.) ซึ่งเป็นชุมชนขนาดใหญ่เพื่อการแบ่งปันข้อมูลเพื่องานวิจัยด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่มีข้อมูลอารมณ์จากใบหน้า โดยเลือกภาพที่มีอารมณ์ทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ อารมณ์โกรธ ขยะแขยง กลัว มีความสุข ปกติ เศร้า และประหลาดใจ ทำการคัดแยกและตรวจสอบความถูกต้องของอารมณ์แต่ละด้าน จากนั้นจึงนำไปทำการฝึกโมเดลสำหรับฮาร์ดแวร์เพื่อการตรวจจับใบหน้า วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลวิดีโอที่ได้มา นำไปตัดคลิปที่นักวิจัยสนใจมาทำพิจารณากับผู้ร่วมวิจัย โดยการวิเคราะห์และออกแบบระบบการเทรนโมเดลเพื่อความแม่นยำด้วยการเทรนใบหน้าให้แมชชีนเลิร์นนิ่งจากการแสดงออกทางอารมณ์ทางใบหน้า จำนวน 7 แบบ ด้วยภาพต้นแบบที่อนุญาตโอเพนซอร์ส นำมาคัดเลือกจำนวนภาพเข้าแอปพลิเคชันเพื่อเขียนโปรแกรมฝึกโมเดล ออกแบบสร้างแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่เป็นเครื่องมือในการวิจัยให้ตรงกับกรออกแบบ ทดลองเครื่องมือการวิจัยที่ประเมินภาวะอารมณ์สำหรับผู้เรียนในขณะที่เรียนในห้อง

ระยะที่ 3 จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลวิดีโอที่ได้มาจากระยะที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยร่วมกับครูผู้สอนเพื่อกำหนดปัญหา

พบว่า ควรทดลองกับรูปแบบการจัดการเรียนการสอนภายในห้องที่มีลักษณะอื่นเพิ่มเติม ทดลองการใช้ปัญญาประดิษฐ์ประเมินภาวะอารมณ์ของใบหน้าและพฤติกรรมของนักศึกษา และควรพัฒนาโปรแกรมเพื่อบันทึกสถิติการนับจำนวนภาวะอารมณ์ของผู้เรียนจากใบหน้าและประมวลผลออกมาเป็นกราฟได้ทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละครั้ง จากนั้นจึงออกแบบต้นแบบนวัตกรรมจากการเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากวิดีโอ นำไปประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันโดยทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 1-3 คน พบว่า โปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ สามารถประมวลผลใบหน้าที่มีภาวะอารมณ์ได้

จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างในการทำงานจำนวน 3 คน ตาม Figure 8 พบว่า ปัญญาประดิษฐ์สามารถตรวจจับใบหน้าที่ภาวะอารมณ์ได้ จำนวน 6 อารมณ์ ได้แก่ ใบหน้าปกติ 12,503 ครั้ง สุข 5,719 ครั้ง เศร้า 1,605 ครั้ง โกรธ 233 ครั้ง กลัว 103 ครั้ง ประหลาดใจ 35 ครั้ง และไม่พบภาวะอารมณ์ขยะแขยง

ระยะที่ 4 เป็นการสร้างต้นแบบนวัตกรรมจากแนวคิดการออกแบบในระยะที่ 2 และนำโมเดลมาสร้างแอปพลิเคชันเพื่อรับข้อมูลมาจากกล้องแบบเรียลไทม์ (Realtime) โดยมาทำการทดลองกับห้องเรียน 1 ห้องเรียน ในจังหวัดนนทบุรีเพื่อตรวจสอบความสามารถในการคัดแยกบุคลิก พฤติกรรม อารมณ์จากใบหน้า ขณะใช้งานทำการหาจุดบกพร่องข้อผิดพลาดของเครื่องมือ เช่น การจำแนกใบหน้า การจำแนกอารมณ์ผิดพลาด จำแนกท่าทางผิดพลาดเป็นจำนวนมาก ประมวลผลไม่ทันเวลา เครื่องคอมพิวเตอร์ค้างหรือทำงานช้า เป็นต้น จากนั้นนำไปปรับปรุงโดยเครื่องมือที่สร้างไว้จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ และนับจำนวนพฤติกรรมและอารมณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยไม่ต้องทำการแยกกลุ่มตัวอย่างของอาสาสมัคร

จากนั้นเป็นการทดลองแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้อง โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาจำนวน 4 แห่ง ในจังหวัดที่ต่างกัน ได้แก่ จังหวัดนครนายก พิจิตร ขอนแก่น และกรุงเทพมหานคร จำนวน 20 คนขึ้นไป ต่อ 1 ห้องเรียน หรือตามจำนวนจริงในรายวิชานั้น ๆ และเรียนอยู่ห้องเดียวกัน โดยเป็นวิชาที่มีลักษณะการเรียนการสอนแบบบรรยาย คัดเลือกจากผู้บริหารสถานศึกษาและความสมัครใจของครูและนักเรียน โดยอาสาสมัครต้องมีอายุ 18 ปีขึ้นไป เนื่องจากข้อจำกัดด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยการตั้งกล้องเว็บแคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาระหว่างการเรียนการสอนในห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยไม่มีการบันทึกวิดีโอในขณะที่เรียนและไม่ส่งข้อมูลออกไปเก็บที่เครื่องแม่ข่ายออนไลน์บนคลาวด์ เพื่อป้องกันข้อมูลความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัคร

ระยะที่ 5 เป็นการประยุกต์และต่อยอดในการพัฒนาเพื่อใช้ในภาคสนามต่อไปโดยการนำกราฟจากโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ที่สรุปผลภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องส่งให้ครูผู้สอนเป็นแนวทางให้ประยุกต์ใช้ และผู้วิจัยได้ข้อมูลเพื่อปรับปรุงพัฒนาโปรแกรมได้อย่างต่อเนื่อง

การสร้างและการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล ผู้วิจัยได้ทำการเทรนโมเดลเพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างชุดของใบหน้าที่ใช้ในการเทรนโมเดลกับชุดใบหน้าเพื่อทดสอบโมเดล ด้านคุณภาพของเครื่องมือวิจัยในขั้นตอนการฝึกหรือสร้างโมเดลได้ใช้เมทริกซ์

ทำการทดสอบ Validation accuracy ในแต่ละรอบเมื่อทำ Epoch ไปถึงรอบสุดท้ายคือ 100 ได้ค่า Val_accuracy 0.6288 ก่อนนำโมเดลไปใช้ผู้วิจัยได้ทดสอบด้วยภาพนักศึกษาจากจังหวัดกาญจนบุรีและนนทบุรีมาทำการทดสอบแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้ภาพใบหน้าของแต่ละภาวะอารมณ์นำเข้าทดสอบโมเดลให้ปัญญาประดิษฐ์ประเมินภาวะอารมณ์ของแต่ละภาพ จำนวน 10 ชุด และตรวจสอบด้วยการหาค่าความเที่ยง Interrater reliability เพื่อการประเมินค่าความเชื่อถือของเครื่องมือ โดยมีผลความแม่นยำเฉลี่ยของทุกภาวะอารมณ์อยู่ที่ 0.8 หรือร้อยละ 80 ดัง Table 1

Figure 8

Experiment With a Sample of 3 People
การทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง 3 คน

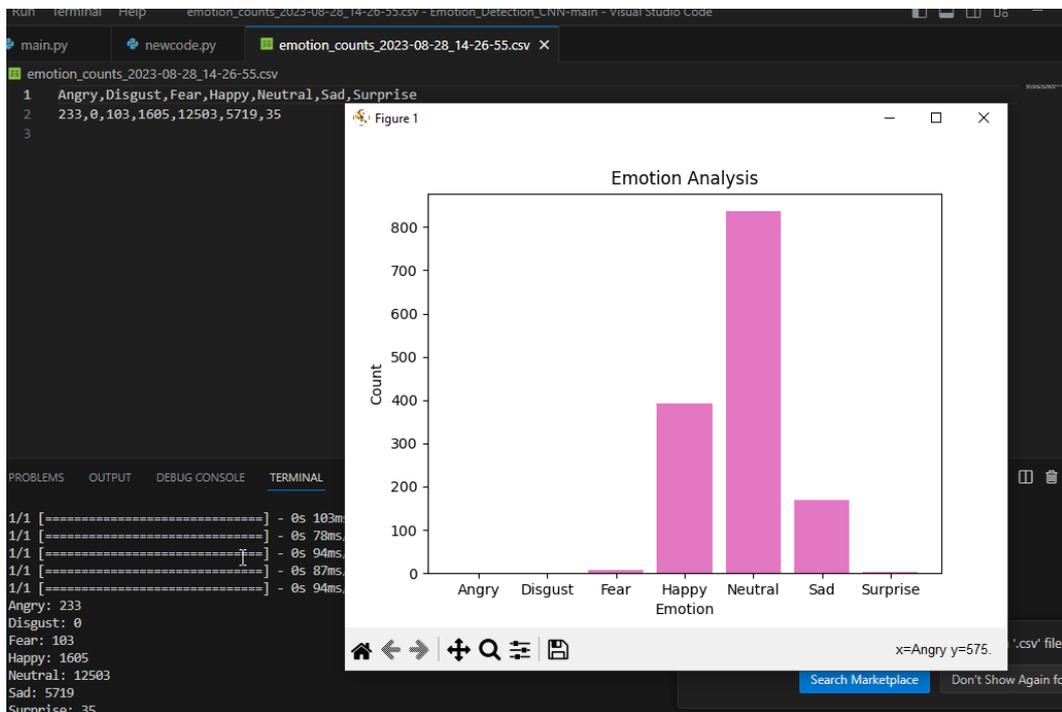


Table 1

Reliability of Artificial Intelligence Tools That Assess Emotional States of Faces
ค่าความเชื่อถือของเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ที่ประเมินภาวะอารมณ์จากใบหน้า

รายการภาวะทางอารมณ์	ภาพใบหน้า	ตรง	ไม่ตรง	ค่าความเชื่อถือ
1. อารมณ์ปกติ	10	9	1	0.90
2. อารมณ์สุข	10	9	1	0.90
3. อารมณ์เศร้า	10	8	2	0.80
4. อารมณ์โกรธ	10	7	3	0.70

Table 1
(continued)

รายการภาวะทางอารมณ์	ภาพใบหน้า	ตรง	ไม่ตรง	ค่าความเชื่อถือ
5. อารมณ์กลัว	10	7	3	0.70
6. อารมณ์ประหลาดใจ	10	8	2	0.80
7. ภาวะอารมณ์ขยะแขยง	10	8	2	0.80
Reliability Coefficient (%)	70	56	14	ระดับที่ยอมรับได้ 80%

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการออกแบบนวัตกรรมเพื่อประเมินภาวะอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ ปัญญาประดิษฐ์เขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอนและมีเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ฮาร์ดแวร์กล้องเว็บแคม คอมพิวเตอร์แบบพกพาและซอฟต์แวร์ประมวลผล หลังจากวิเคราะห์พฤติกรรมบนใบหน้าด้วยกล้องวิดีโอมาทำการประมวลผล จากโมเดลที่ได้รับความนิยม มาทำการสอนเครื่องจักรแมชชีนเลิร์นนิงโดยการถ่ายภาพแต่ละอารมณ์จากกล้อง เมื่อได้โมเดล จึงทำการสร้างต้นแบบนวัตกรรมประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนขณะเรียน และทำการบันทึกข้อมูลอารมณ์ของนักศึกษาแต่ละคน

เอกสารรับรองการวิจัยในคน

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการพิทักษ์สิทธิผู้ให้ข้อมูลหลัก โดยผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลภายหลังจากได้รับการอนุมัติโครงการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร รหัสโครงการวิจัย NREC 0020/2023 เลขที่ใบรับรองจริยธรรมการวิจัย COA 0023/2023

ผลการวิจัย (Results)

ในการสร้างแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้อง ผู้วิจัยได้ใช้โมเดลที่ผ่านการฝึกโดยมีค่า Val_accuracy อยู่ที่ 0.6288 และมีค่าความเที่ยง Interrater reliability ที่มีผลความแม่นยำเฉลี่ยของทุกภาวะอารมณ์อยู่ที่ 0.8 หรือร้อยละ 80 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ก่อนนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างโดยผู้วิจัยได้พัฒนาบนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์เท่านั้น และกระบวนการสร้างแอปพลิเคชันผู้วิจัยพบความสำคัญในเรื่องของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมฝึกโมเดลต้องใช้ทรัพยากรเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง

และเลือกใช้ไลบรารีที่มีลิขสิทธิ์แบบโอเพนซอร์สเพื่อการต่อยอดและพัฒนาต่อเนื่องในอนาคต

ด้านผลการทดลองแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องของวิทยาลัยทั้ง 4 แห่ง ที่อยู่จังหวัดต่างกัน ได้แก่ นครนายก พิจิตร ขอนแก่น และกรุงเทพมหานคร พบว่า

1. สภาพแวดล้อมของห้องแต่ละวิทยาลัย มีรูปแบบจัดการเรียนการสอนที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการจับใบหน้าของปัญญาประดิษฐ์ โดยจังหวัดนครนายกจัดรูปแบบห้องเป็นคลาสรูม รายวิชาสามัญ จังหวัดพิจิตรจัดรูปแบบห้องเป็นคลาสรูม ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ จังหวัดขอนแก่นจัดรูปแบบห้อง เป็นสมาร์ตคลาสรูม ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ และกรุงเทพมหานครรูปแบบห้องเป็นคลาสรูม รายวิชาสามัญ ดัง Figure 9

2. ในบางวิทยาลัยพบการตรวจจับผิดพลาดบนวัตถุที่มีลักษณะคล้ายใบหน้า อาทิ รูปถ่ายที่อยู่บน กระดาษผนังห้อง เสื้อของนักเรียน สัญลักษณ์บนเก้าอี้ หน้าจอคอมพิวเตอร์ ลักษณะการวางมือขณะเรียน แสงจากภายนอกของห้องส่องที่ใบหน้าผู้เรียน เป็นต้น ดัง Figure 10

3. สิทธิส่วนบุคคลของนักศึกษามีผลต่อการให้ปัญญาประดิษฐ์ประเมินภาวะอารมณ์ของใบหน้าและพฤติกรรมขณะเรียนในห้อง โดยพบการไม่ต้องการให้ปัญญาประดิษฐ์จับภาพใบหน้า อาทิ การหลบใบหน้าหลัง จอคอมพิวเตอร์ การก้มหน้า พุลงที่โต๊ะ การใส่แมส การหลบหน้าหลังเพื่อนให้เหลื่อมกัน ความพยายามในการก้มหน้าเสมอ เป็นต้น ตาม Table 2 แม้ นักศึกษาจะเซ็นยินยอมเข้าร่วมวิจัยและผู้วิจัยได้ชี้แจงถึงความสำคัญของงานวิจัยและข้อกำหนดเรียบร้อยแล้ว ความเป็นส่วนตัวของนักศึกษายังคงอยู่ อาทิ นักศึกษาที่เข้าทดสอบใส่แมสยังคงใส่ไว้ดังเดิมไม่ถอดออก ทำให้มีผลต่อปัญญาประดิษฐ์ที่ไม่สามารถตรวจจับภาวะอารมณ์ทางใบหน้าได้ เป็นต้น

Figure 9

Organization of Teaching and Learning Formats in Each College Room

การจัดรูปแบบการเรียนการสอนในห้องของแต่ละวิทยาลัย

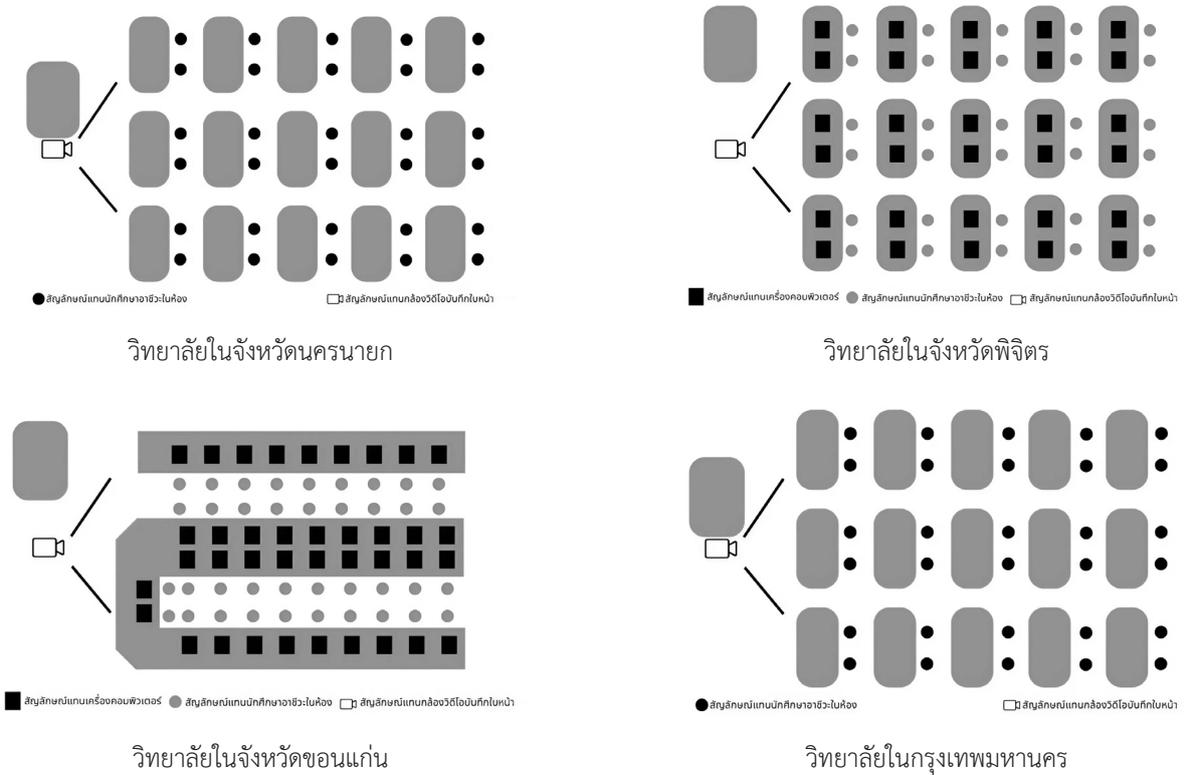


Figure 10

False Detection on Other Objects That is not a Face

การตรวจจับผิดพลาดบนวัตถุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ใบหน้า

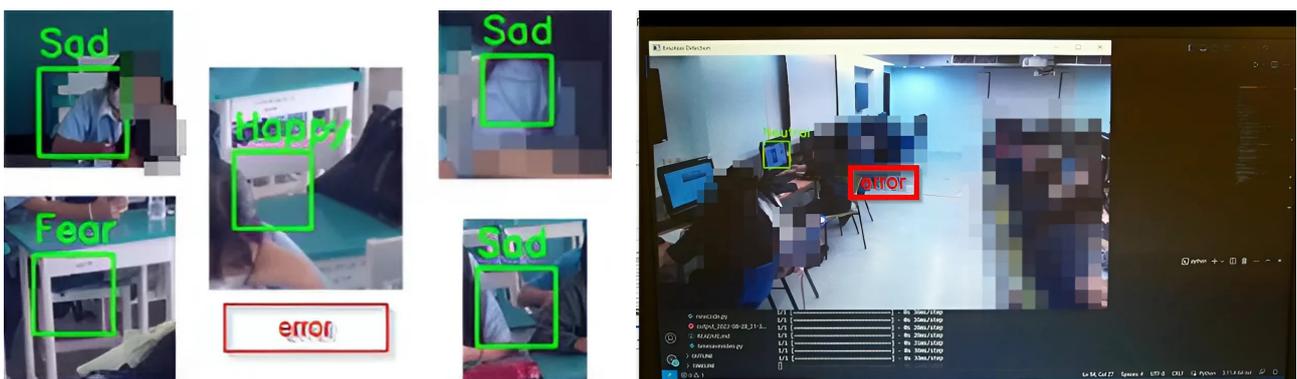


Table 2

Summarizing the Results of Discrepancies in Recording Faces Through Cameras

สรุปผลความคลาดเคลื่อนของการบันทึกใบหน้าผ่านกล้อง

ลำดับ	รายการความคลาดเคลื่อน	นครนายก	พิจิตร	ขอนแก่น	กรุงเทพฯ
1	แสงจากภายนอกห้องเรียนสะท้อนเข้าใบหน้า	-	✓	-	-
2	การจับภาพเก้าอี้เป็นใบหน้า	-	-	✓	✓
3	การจับภาพเสื้อเป็นใบหน้า	-	-	✓	✓
4	การจับที่มือนักศึกษาเป็นใบหน้า	-	-	-	✓
5	การจับใบหน้าที่จอคอมพิวเตอร์	-	-	✓	-
6	การเห็นกระดาษที่ผนัง/สติ๊กเกอร์เป็นใบหน้า	-	✓	-	✓
7	การนั่งเหลื่อมของนักศึกษามองเป็นใบหน้า	-	-	-	✓
8	การใส่แมสของนักศึกษา	✓	✓	✓	✓
9	สิทธิส่วนบุคคลของนักศึกษา	✓	✓	✓	✓
10	ทรงผมปิดหน้า	✓	✓	✓	✓
11	การก้มหน้า หันข้าง เลี่ยงการมองครูผู้สอน	✓	✓	✓	✓
12	พฤติกรรมการแสดงออกอื่น ๆ	✓	✓	✓	✓

การตั้งกล้องจากด้านหน้าชั้นเรียนเป็นความตั้งใจของผู้วิจัยเพื่อให้เห็นหน้าผู้เรียนได้มากที่สุด แต่ด้วยสภาพแวดล้อมของห้องแต่ละวิทยาลัยมีรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่แตกต่างกัน และไม่สามารถตั้งกล้องที่หน้าห้องได้เพราะมีจอโปรเจกเตอร์ที่ใช้ในการเรียนการสอน เว้นแต่รายวิชาสามัญเท่านั้นที่สามารถตั้งกล้องหน้าชั้นเรียนได้ โดยผลการประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์จาก 4 วิทยาลัย มีภาวะอารมณ์ของผลคะแนนรวมเป็นอันดับสูงสุด คือ ภาวะปกติ รองลงมาคือ ความสุข ความเศร้า ความ

ประหลาดใจ ความกลัว และความโกรธ ตามลำดับ โดยไม่พบภาวะอารมณ์ขยี้ขย้าง

เมื่อนำมาวิเคราะห์ตาม Figure 11 พบว่า กลุ่มอารมณ์เชิงบวก ได้แก่ อารมณ์ปกติ ความสุข และความประหลาดใจ มีผลรวมมากกว่ากลุ่มอารมณ์เชิงลบที่ประกอบด้วย ความเศร้า ความกลัว ความโกรธ และขยี้ขย้าง และเมื่อนำมาวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่า กลุ่มอารมณ์เชิงบวกอยู่ที่ 71.19 % และกลุ่มอารมณ์เชิงลบ 28.81% ดัง Table 3

Table 3

Summary of Results Comparing Positive and Negative Emotions

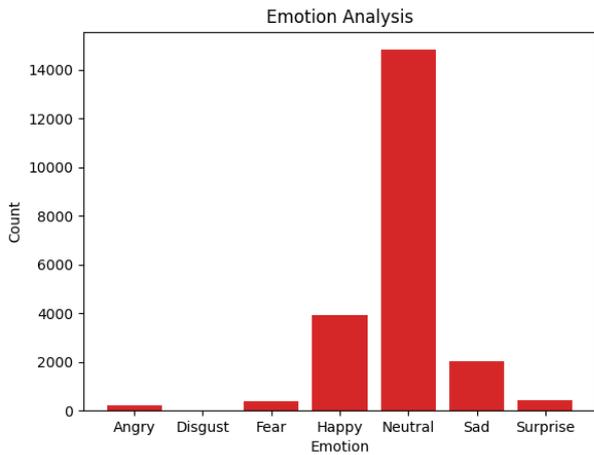
สรุปผลรวมเปรียบเทียบระหว่างอารมณ์เชิงบวกและอารมณ์เชิงลบ

จังหวัด	นครนายก		พิจิตร		ขอนแก่น		กรุงเทพฯ		รวม	
	บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ
จำนวน	1,359	201	11,554	5,701	3,891	1,649	6,415	1,844	23,919	9,395
เปอร์เซ็นต์	87.11	12.88	66.96	33.03	70.23	29.76	77.67	22.32	71.19	28.81

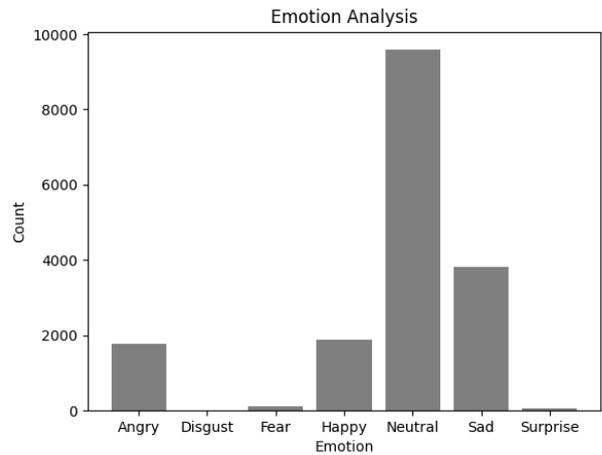
Figure 11

Assessing the Emotional State of Learners in the Room With Artificial Intelligence

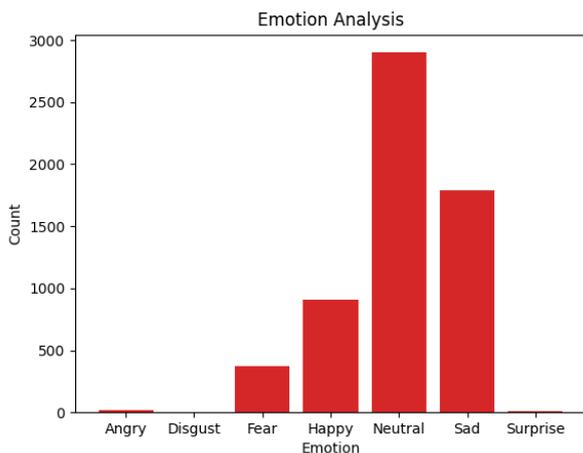
การประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์



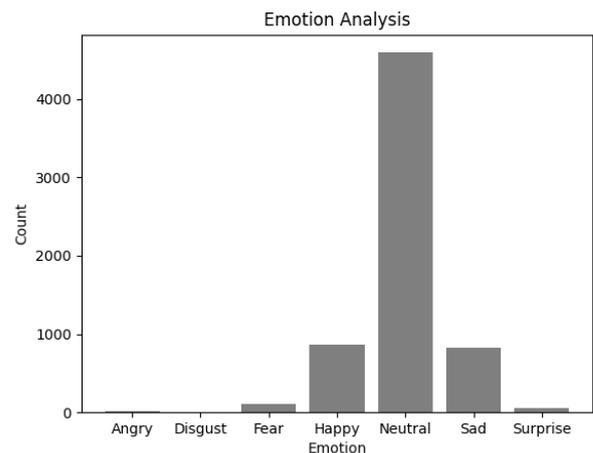
ผลการประเมินภาวะทางอารมณ์ในจังหวัดนครนายก



ผลการประเมินภาวะทางอารมณ์ในจังหวัดพิจิตร



ผลการประเมินภาวะทางอารมณ์ในจังหวัดขอนแก่น



ผลการประเมินภาวะทางอารมณ์ในกรุงเทพมหานคร

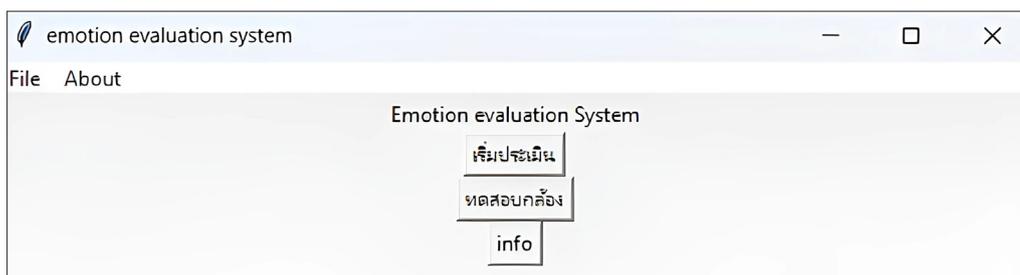
เมื่อการทดลองสิ้นสุดลงผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงแอปพลิเคชัน โดยการเพิ่มฟังก์ชันพรีวิวเพื่อการปรับจูนกล้อง มุมกล้อง ปรับแสงในห้อง หรือสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดปัญหา

ก่อนใช้งาน ใช้การสั่งโปรแกรมด้วย โหมดเรียกใช้จากคำสั่ง สร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ เป็นหน้าต่างแอปพลิเคชันเพื่อให้เรียกใช้งานได้ง่ายและเรียนรู้วิธีการใช้งาน

Figure 12

Application Window

หน้าต่างแอปพลิเคชันเพื่อให้เรียกใช้งาน



ตาม Figure 12 ผู้วิจัยได้พัฒนาให้มีฟังก์ชันในการบันทึกเวลาลงไปในวิดีโอ และบันทึกเก็บลงในโปรแกรมเป็นรูปแบบไฟล์ซีเอสวี เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ช่วงเวลาที่น่าสนใจของภาวะอารมณ์ในแต่ละเฟรม เพื่อบันทึกเป็นสถิติการนับจำนวนภาวะอารมณ์ของผู้เรียนจากใบหน้า ณ เวลานั้น เพื่อเป็นส่วนช่วยให้ครูประเมินการเรียนการสอน ทบทวนบทเรียนในห้อง หากผู้เรียนมีภาวะอารมณ์เหมือนกันในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งไฟล์ซีเอสวี

สามารถเปิดเป็นตารางได้ด้วยโปรแกรมเอ็กเซล (Excel) โดยข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย Frame หมายถึง เฟรมที่เท่าไรของการบันทึก ช่องต่อมาเป็น Timestamp ซึ่งเป็นการบันทึกวันเวลา ส่วนช่องถัดไปเป็นช่องรายการของอารมณ์ ช่วงเวลาของแต่ละเฟรมหากตรวจพบอารมณ์อะไรก็จะทำการนับจำนวนและนับสะสมไปในเฟรมถัดไปจนถึงเฟรมสุดท้ายของการบันทึก จะได้จำนวนอารมณ์ทั้งหมดในแต่ละอารมณ์ที่ท้ายของตาราง

Figure 13

File Records the Cumulative Number of Emotional Frequencies in Each Frame

ไฟล์บันทึกจำนวนความถี่สะสมของอารมณ์ในแต่ละเฟรม

Frame	Timestamp	Angry	Disgust	Fear	Happy	Neutral	Sad	Surprise
1	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
2	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
3	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
4	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
5	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
6	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
7	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
8	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
9	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	0	0
10	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	1	0
11	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	1	0
12	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	1	0
13	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	1	0
14	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	1	0
15	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
16	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
17	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
18	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
19	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
20	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
21	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
22	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0
23	29/11/2023 9:00	0	0	0	0	0	2	0

จาก Figure 13 เป็นเพียงตัวอย่างของการบันทึกข้อมูลบางส่วนเท่านั้นที่เห็นตัวเลขของการบันทึก เช่น เฟรมที่ 10 เวลา 9.00 น. พบใบหน้าปกติ 1 ที่ เฟรมที่ 15 เวลา 9.00 น. พบใบหน้าปกติ 2 ที่ เป็นต้น เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่บันทึกได้จริงมีจำนวนมากจึงไม่สามารถนำมาแสดงได้ทั้งหมด

สรุปและอภิปรายผล (Conclusion and Discussion)

การสร้างแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้อง มีลักษณะการเก็บข้อมูลโดยการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ใบหน้าจำนวน 7 อารมณ์ของผู้เรียนในห้อง ด้วยกล้องเว็บแคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ระหว่างการเรียนการสอนในห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเครื่องมือออกแบบมาให้ไม่มีการบันทึก

วิดีโอในขณะที่ใช้งาน และไม่ส่งข้อมูลออกไปเก็บที่เครื่องแม่ข่ายออนไลน์บนคลาวด์ เพื่อป้องกันข้อมูลความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัคร โดยมีกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป ในจังหวัดกาญจนบุรีและนนทบุรี เพื่อนำใบหน้ามาสร้างและทดสอบโมเดลร่วมกับภาพจากชุดข้อมูลโอเพนซอร์ส FER-2013 และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้น คือ จังหวัดนครนายก พิจิตร ขอนแก่น และกรุงเทพมหานคร

การทดลองประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์ของกลุ่มตัวอย่าง คือ วิทยาลัยอาชีวศึกษาจำนวน 4 แห่ง ในจังหวัดที่ต่างกัน มีภาวะอารมณ์ปกติสูงสุดและไม่พบภาวะอารมณ์ที่ขยี้แฉง เมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่ากลุ่มอารมณ์เชิงบวก ได้แก่ อารมณ์ปกติ ความสุข และความ

ประหลาดใจ มีผลรวมมากกว่ากลุ่มอารมณ์เชิงลบที่ประกอบด้วย ความเศร้า ความกลัว ความโกรธ และขยี้แฉง ซึ่งในการแยกอารมณ์เชิงบวกและอารมณ์เชิงลบ สอดคล้องกับแนวคิดจากหนังสือของ Plutchik (2001) ที่ว่า อารมณ์เชิงลบจะกระตุ้นให้เกิดแนวโน้มการกระทำบางอย่าง เช่น การใช้ความรุนแรงด้วยความโกรธ การแสดงปฏิกิริยาที่น่ารังเกียจออกมาและเกิดความกลัวเป็นเวลานาน ในทางกลับกันอารมณ์เชิงบวก เช่น ความอยากรู้อยากเห็น ความรัก และความเห็นอกเห็นใจ กระตุ้นให้เกิดความคิดและการกระทำเพื่อแสวงหาข้อมูลในวงกว้างมีมนุษย์สัมพันธ์กับผู้อื่นและสร้างทรัพยากรมนุษย์ (Fredrickson, 1998)

สรุปผลการสร้างแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้อง พบว่า การสร้างแอปพลิเคชันมีค่า Val accuracy อยู่ที่ 0.6288 และมีค่าความเที่ยง Interrater reliability ที่มีผลความแม่นยำเฉลี่ยของทุกภาวะอารมณ์อยู่ที่ 0.8 หรือร้อยละ 80 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และผู้วิจัยพบความสำคัญในเรื่องของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมฝึกโมเดลที่ต้องใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพสูงด้านการทดลองแอปพลิเคชันประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียนในห้องด้วยปัญญาประดิษฐ์ พบว่า สภาพแวดล้อมในห้องของแต่ละวิทยาลัยที่มีการจัดรูปแบบแตกต่างกัน ส่งผลต่อการความคลาดเคลื่อนของการบันทึกใบหน้าผ่านกล้อง แม้การตั้งกล้องจากด้านหน้าชั้นเรียนเป็นความตั้งใจของผู้วิจัยเพื่อให้เห็นใบหน้ามากที่สุดแต่ก็ไม่สามารถทำได้ เพราะมีจอโปรเจกเตอร์ที่ใช้ในการเรียนการสอน เว้นแต่รายวิชาสามัญเท่านั้น ในบางวิทยาลัยพบการตรวจจับความผิดพลาดบนวัตถุที่มีลักษณะคล้ายใบหน้า และสิทธิส่วนบุคคลของผู้เรียนที่ไม่ต้องการให้ปัญญาประดิษฐ์จับภาพใบหน้า แม้จะเห็นยินยอมเข้าร่วมวิจัยแล้วก็ตาม โดยผลการประเมินจาก 4 วิทยาลัยเมื่อแบ่งตามกลุ่มอารมณ์เชิงบวกอยู่ที่ 71.19% และกลุ่มอารมณ์เชิงลบ 28.81%

■ ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ครูผู้สอนสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้นำไปใช้ในการปรับปรุงการเรียนการสอนของตนเอง รวมถึงการพบความผิดปกติเฉพาะบุคคลเพื่อหาแนวทางแก้ไขต่อไป โดยข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ ดังนี้

1. การจัดการเรียนการสอนของสถานศึกษาแต่ละแห่งจะส่งผลกระทบต่อประเมินภาวะทางอารมณ์ของผู้เรียน ดังนั้น ในรายวิชาที่ต่างกันการจัดรูปแบบในห้องที่ต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน
2. การวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบปิดหรือออฟไลน์ที่ต้องติดตั้งที่เครื่องคอมพิวเตอร์ครูผู้สอนเท่านั้น เมื่อคอมพิวเตอร์ใช้งานโปรแกรม

จะประมวลผลทันทีและประเมินผลลัพธ์ออกมาหลังจากกดปุ่มจบการบันทึก

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อการประเมินภาวะอารมณ์ของนักศึกษาผ่านกล้อง มีการใช้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสุขภาพจิตและประสบการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียนเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ยังมีข้อกังวลหลายด้าน ดังนี้

1. ด้านจริยธรรม แม้ว่าเราจะแจ้งให้ทราบและนักศึกษาเห็นยินยอมเรียบร้อยแล้วก็ตาม เมื่ออาสาสมัครกำลังถูกติดตามอยู่จึงนำไปสู่การละเมิดความเป็นส่วนตัว ข้อนี้จึงกลายเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง
2. ด้านความเป็นส่วนตัว เมื่อมีการใช้กล้องทำให้อาสาสมัครเกิดความกังวลและรู้สึกไม่สบายใจที่ถูกติดตาม ส่งผลต่อการเรียนรู้ขณะเรียนหรือความทุกข์ทางจิตใจ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องชี้แจงให้ครบถ้วนชัดเจนเพื่อการสร้างสมดุลและเคารพความเป็นส่วนตัว มีมาตรการรักษาความปลอดภัยในความปลอดภัยของข้อมูล
3. ด้านเทคนิคในการพัฒนานวัตกรรมรูปแบบใหม่เป็นความท้าทาย ผู้วิจัยจึงต้องมีการปรับปรุงอัลกอริทึมอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาต่อยอดในสถานการณ์ที่แตกต่างให้เป็นต้นแบบการประเมินแนวใหม่ต่อไป

■ เอกสารอ้างอิง (References)

Artino, A. R. (2012). Emotions in online learning environments: Introduction to the special issue. *The Internet and Higher Education*, 15(3), 137-140. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2012.04.001>

Bouhlal, M., Aarika, K., AitAbdelouahid, R., Elfilali, S., & Benlahmar, E. (2020). Emotions recognition as innovative tool for improving students' performance and learning approaches. *Procedia Computer Science*, 175, 597-602. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2020.07.086>

Chandra, Y. (2021). Online education during COVID-19: perception of academic stress and emotional intelligence coping strategies among college students. *Asian Education and Development Studies*, 10(2), 229-238. <https://doi.org/10.1108/AEDS-05-2020-0097>

Chirurgo, A., Frangella, J., Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., Solina, V., Mirabelli, G., & Citraro, C. (2022). Real-time detection of worker's emotions for advanced human-robot interaction during collaborative tasks in smart factories. *Procedia Computer Science*, 200, 1875-1884. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.01.388>

FER-2013. (2020). Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/msambare/fer2013>

Fredrickson, B. L. (1998). What good are positive emotions? *Review of General Psychology*, 2, 300-319. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.300>

Hfocus. (2021, October 8). *Pramāṇ sukhhaphāp chit dek læ wairun thai yok wā 1.8 sǎen rāi phop khriat sūng yong surmsao tit chō tit kēm 'ō nalai mākhun!!* [Assessing the mental health of more than 180,000 Thai children and teenagers, found high stress and increased risk of depression. More addicted to the screen and online games!]. Hfocus. <https://www.hfocus.org/content/2021/10/23307>

Hsieh, Y. H., & Huang, F. Y. (2020). The effects of a mindfulness curriculum on the emotional regulation and interpersonal relationships of fifth-grade children. *Bulletin of Educational Psychology*, 52(1), 25-49. [https://doi.org/10.6251/BEP.202009_52\(1\).0002](https://doi.org/10.6251/BEP.202009_52(1).0002)

Mohamed, A. A., Bilal, K. H., & Elmutasim, I. E. (2021). *Face recognition by artificial neural network using MATLAB*. 2021 IEEE 6th International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA). <https://ieeexplore.ieee.org/document/9666434>

- Nixon, D., Mallappa, V. V., Petli, V., HosgurMath, S., & Kiran K, S. (2022). *A novel AI therapy for depression counseling using face emotion techniques*. Global Transitions Proceedings. <https://doi.org/10.1016/J.GLTP.2022.03.008>
- Plutchik, R. (2001). The nature of emotions: Human emotions have deep evolutionary roots, a fact that may explain their complexity and provide tools for clinical practice. *American Scientist*, 89, 344-350. https://www.academia.edu/43620307/The_Nature_of_Emotions_Plutchik_2001_
- Ramsay, A., & Ahmad, T. (Ed.). (2023). *Machine learning for emotion analysis in python*. Packt Publishing.
- Rasheed, L., Khadam, U., Majeed, S., Ramzan, S., Bashir, S., & Iqbal, M. (2022). *Face recognition emotions detection using haar cascade classifier and convolutional neural network*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2048290/v1>
- Reeja, S. R., Cherian, R., Waghmare, K., & Jothimani. (2021). EEG signal-based human emotion detection using an artificial neural network. *Handbook of Decision Support Systems for Neurological Disorders* (pp. 107-124). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822271-3.00007-4>
- Shin, J. G., Choi, G. Y., Hwang, H. J., & Kim, S. H. (2021). Evaluation of emotional satisfaction using questionnaires in voice-based human-ai interaction. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), Article 1920. <https://doi.org/10.3390/app11041920>
- Wongvanit, S. (2021). *Design research in education* (2nd ed., Vol. 1200). CU Press.