

ประสิทธิภาพระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าโดยใช้เทคนิคแอลบีพี

The efficiency of a class attendance monitoring system with face recognition by using LBP technique

สุวัฒน์ บรรลือ¹ และ ขนิษฐา อินทะแสง²
Suwat Banlue¹ and Khanittha Inthasaeng²

Received : 17 ส.ค. 2562

Revised : 27 ก.ย. 2562

Accepted : 4 ต.ค. 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า และ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา คอมพิวเตอร์และการรู้เท่าทันในยุคดิจิทัล ในภาคเรียนที่ 2/2561 จำนวน 98 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ ระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า สถิติการวิเคราะห์ข้อมูลใช้การหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และไคส์สแคว

ผลการวิจัยพบว่า 1) โปรแกรมเว็บแอปพลิเคชันพัฒนาด้วย PHP และ OpenCV ระบบฐานข้อมูลใช้ MySQL โปรแกรมประกอบด้วย 2 โปรแกรมย่อย คือ โปรแกรมสร้างฐานข้อมูลภาพใบหน้าของนักศึกษา และโปรแกรมตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า 2) ประสิทธิภาพการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าที่เหมาะสม คือ 0.30 ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.00 3) ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.06 (ระดับมาก) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.16

คำสำคัญ : ประมวลผลภาพ, การตรวจจับใบหน้า, การรู้จำใบหน้า

Abstract

The purposes of this research were 1) to design and develop a class attendance monitoring system with face recognition, 2) to study the efficiency of this developed class attendance monitoring system, and 3) to explore the users' satisfaction of this developed class attendance monitoring system. The samples were 98 students who were enrolled in the "Computer and Digital Literacy" class in the semester 2/2018 at Ubon Ratchathani Rajabhat University. The research instruments were the developed class attendance monitoring system with face recognition and a user satisfaction assessment form. Statistics for data analysis included mean, standard deviation, and Chi-square.

The results of the research were as follows: 1) The web application program was developed with PHP and OpenCV. The database system was MySQL. The developed program was consisted of

¹ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อีเมล: suwat@ubru.ac.th

² คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

¹ Faculty of Computer Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Email: suwat@ubru.ac.th

² Faculty of Computer Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University

2 sub-programs. One program was to construct a student face image database and the other was to monitor class attendance through face images. 2) The appropriate efficiency of the developed class attendance monitoring system with face recognition was 0.30, which showed the best efficiency of 0.00. 3) The users' satisfaction of the developed class attendance monitoring system was at 4.06 (high level) (S.D. = 0.16).

Keywords : Image processing, face detection, face recognition

บทนำ

สถาบันการศึกษาเป็นหน่วยงานที่มีบุคลากรและนักศึกษาอยู่เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในระดับอุดมศึกษา การระบุตัวบุคคลจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อนำมายืนยันการมีตัวตนจริงของนักศึกษาในสถาบันการศึกษานั้น ๆ โดยระบบระบุตัวบุคคลที่มีการนำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นบัตรบุคลากรหรือบัตรนักศึกษาที่ประกอบด้วย ชื่อ-นามสกุล, รหัสบัตร, รหัสบาร์โค้ด (วิวัฒน์ ทวีทรัพย์, 2555 :1) การระบุตัวบุคคลโดยใช้บัตรแบบนี้ได้ถูกนำมาใช้ในงานต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษาในสถาบัน เช่น การเข้าชั้นเรียน การติดต่อการลงทะเบียนเรียน การเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษา การเข้าห้องสอบ การยืมหรือคืนหนังสือห้องสมุด เป็นต้น แม้ว่าบัตรนักศึกษาจะสามารถใช้ระบุตัวตนของนักศึกษาได้ แต่ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องในทางปฏิบัติอาจเกิดความผิดพลาดได้และไม่ยืดหยุ่นเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียน หรือเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก การตรวจสอบจากอาจารย์หรือผู้ควบคุมอาจทำได้ไม่ทั่วถึง และอาจไม่สามารถจดจำนักศึกษาได้หมดทุกคนทำให้เกิดปัญหาในการตรวจสอบ เช่น การลืมนักศึกษา การแอบอ้างใช้บัตรของเพื่อนนักศึกษาที่ไม่ได้เข้าชั้นเรียนหรือเข้าร่วมกิจกรรมมาใช้ เพื่อให้มีการตรวจเช็คเข้าเรียนหรือเข้าร่วมกิจกรรม ทำให้อาจารย์หรือผู้ควบคุมเกิดความสับสนในการตรวจสอบการเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาในแต่ละคน ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจทำให้เสียเวลาในการทำกิจกรรมนั้น ๆ หรือสร้างความรู้สึกไม่ดีให้กับผู้เข้าร่วมกิจกรรม

การเรียนการสอนในแต่ละคาบเรียนนั้นผู้สอนมีการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา ซึ่งเป็นกิจกรรมหนึ่งในชั้นเรียน เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการเรียนและเพื่อตรวจสอบนับเวลาเรียนของนักศึกษา ตามข้อบังคับการจัดการศึกษาของสถาบัน การตรวจสอบการเข้าเรียนแบบเดิมนั้น ผู้สอนประจำรายวิชาจะเรียกชื่อนักศึกษาแต่ละคน และให้นักศึกษาตอบรับ วิธีการดังกล่าวนี้ทำให้เสียเวลาการสอนไป การตรวจสอบการเข้าเรียนในกรณีที่ในห้องมีนักศึกษามากหรือทำให้ นักศึกษามีความรู้สึกที่ไม่ดีต่อการเรียนวิชานั้น และในบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนได้ เช่น ผู้สอนลืมนักศึกษาเรียกชื่อนักศึกษาไม่ได้ยินเมื่อถูกเรียกชื่อ การเรียกชื่อข้าม เป็นต้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีการถ่ายภาพนิ่งหรือวิดีโอพัฒนาไปอย่างมาก การถ่ายภาพเป็นเรื่องง่ายสำหรับทุกคนกล้องถ่ายภาพสามารถหาได้ง่ายและมีมาพร้อมกับโทรศัพท์มือถือเกือบทุกรุ่นทุกยี่ห้อ หรือมีอุปกรณ์ถ่ายภาพราคาถูกแต่ประสิทธิภาพสูง ในท้องตลาด ดังนั้นถ้าใช้ภาพถ่ายหรือวิดีโอที่บันทึกไว้ในระหว่างการทำกิจกรรมนั้น ๆ หรือในระหว่างการเรียนการสอนในชั้นเรียน มาตรวจสอบและบันทึกผลการร่วมกิจกรรม หรือการเช็คชื่อเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาในระบบฐานข้อมูลทะเบียนการเรียนของสถาบันได้ทันที จะช่วยลดความซ้ำซ้อนการทำงานของบุคลากรที่ดูแลกิจกรรมนั้น ๆ และทำให้การทำกิจกรรมไม่ถูกขัดจังหวะ โดยการเช็คชื่อแบบเดิม ผู้ร่วมกิจกรรมมีความรู้สึกต่อการร่วมกิจกรรม และเป็นการพัฒนาให้นักศึกษามีสำนึกจิตอาสา ต่องานสาธารณะมากขึ้น ใบหน้าเป็นหนึ่งในลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ที่ง่ายต่อการใช้สำหรับการตรวจสอบระบุตัวบุคคล เนื่องจากสามารถมองเห็นได้ง่าย ปลอมแปลงได้ยาก และอุปกรณ์เสริมที่จำเป็นต้องใช้ในระบบมีเพียงอย่างเดียวคือกล้องถ่ายภาพ ดังนั้นการรู้จำใบหน้าจึงเป็นวิธีการที่มีประโยชน์และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการรักษาความปลอดภัย ระบบกล้องวงจรปิด การตรวจสอบและระบุตัวบุคคล นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่น ๆ ได้อย่างหลากหลาย (Jafri & Arabnia, 2009 : 41-68)

เทคนิคการรู้จำใบหน้า (Face recognition) เป็นเทคนิคส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) มีประสิทธิภาพในการจดจำใบหน้าของบุคคล โดยทำการจดจำลักษณะใบหน้าของบุคคลโดยนำข้อมูลรูปภาพมาทำการหาคุณลักษณะ (Feature) บนใบหน้าแล้วบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล จากนั้นทำการระบุตัวตนโดยการคำนวณเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลใบหน้าปัจจุบันกับข้อมูลใบหน้าของบุคคลที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคการรู้จำใบหน้าไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับการยืนยันตัวตนอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น งานตรวจสอบการเข้าทำงานของพนักงาน (Roshan, 2013 : 41) งานตรวจสอบหาบุคคลต้องสงสัย และงานรักษาความปลอดภัย (Liying & Yue, 2008 : 44-47) เป็นต้น ข้อดีของการยืนยันตัวตนด้วยเทคนิคการรู้จำใบหน้าเมื่อเปรียบเทียบกับกรยืนยันตัวตนด้วยวิธีการสแกนลายนิ้วมือ (Taxila, 2009 : 164) การยืนยันตัวตนด้วย RFID (Arulogun, 2013 : 1-9) หรือการสแกน QR code (Masalha & Nael, 2014 : 76) คือ การใช้เวลาสำหรับยืนยันตัวตนที่รวดเร็วไม่เป็นการกีดกันผู้ทำการยืนยันตัวตนและสามารถทำการยืนยันตัวตนได้หลายคนในเวลาเดียวกัน จากข้อดีดังกล่าวจึงมีการนำเอาเทคนิคการรู้จำใบหน้า LBP มาประยุกต์ใช้ในระบบตรวจสอบนักศึกษาเข้าชั้นเรียนด้วยเช่นกัน

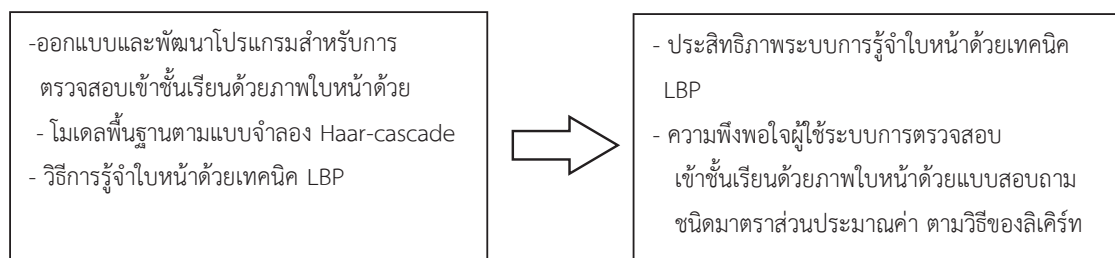
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวคิดการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าด้วยเทคนิค LBP เพื่อช่วยให้การบันทึกการเข้าชั้นเรียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น วัตถุประสงค์หลักของระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า คือเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สอนหรือผู้ควบคุมกิจกรรม และเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการบันทึกการเข้าร่วมกิจกรรมในชั้นเรียนมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพระบบการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า

กรอบแนวคิด

ในการวิจัย ประสิทธิภาพระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าโดยใช้เทคนิคแอลบีพี มีกรอบแนวคิดหลักการทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิจัย คือวิธีการตรวจสอบภาพใบหน้าด้วยโมเดลพื้นฐานตามแบบจำลอง Haar-cascade (Viola & Jones, 2001: 1-9) และวิธีการรู้จำใบหน้าด้วยเทคนิค LBP (Ahonen, Haddid & Pietikainen, 2006) เพื่อสร้างระบบการค้นคืนภาพใบหน้าโดยใช้เทคนิคแอลบีพี ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ได้ตัวแปรตาม คือ 1) ประสิทธิภาพระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าโดยใช้เทคนิคแอลบีพี และ 2) ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบด้วยแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามวิธีของลิเคิร์ต (Likert, 1967 : 90-95) ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา 9042113 คอมพิวเตอร์ และการรู้เท่าทันในยุคดิจิทัล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 98 คน ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง กลุ่มตัวอย่างทุกคนมีทักษะพื้นฐานการใช้อินเทอร์เน็ต อีเมลรูปภาพและการใช้กล้องถ่ายรูปบนโทรศัพท์มือถือเป็นอย่างดี

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าโดยเทคนิค LBP พัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยเป็นโปรแกรมแบบเว็บแอปพลิเคชัน พัฒนาด้วยโปรแกรมภาษา PHP โมดูลจัดการภาพแบบรหัสเปิด OpenCV และระบบฐานข้อมูล MySQL โปรแกรมมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้ จัดการข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลภาพใบหน้านักศึกษา ข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา และข้อมูลการเข้าชั้นเรียน สร้างฐานข้อมูลภาพใบหน้านักศึกษา ประมวลผลการรู้จำภาพใบหน้านักศึกษา และการค้นคืนภาพใบหน้านักศึกษา

2.2 แบบประเมินผลความพึงพอใจของนักศึกษาต่อระบบการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า โดยการใช้แบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน คือส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถามเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Checklist) ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามวิธีของ ลิเคิร์ท (Likert, 1967 : 90-95) ประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 6 ข้อ ส่วนที่ 3 ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเป็นแบบคำถามปลายเปิด (Open ended question) ให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม 5 ระดับ ดังนี้

- 5 คะแนน หมายถึง ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบ มากที่สุด
- 4 คะแนน หมายถึง ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบ มาก
- 3 คะแนน หมายถึง ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบ ปานกลาง
- 2 คะแนน หมายถึง ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบ น้อย
- 1 คะแนน หมายถึง ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบ น้อยที่สุด

3. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้นำวิธีการตรวจสอบภาพใบหน้าด้วยโมเดลพื้นฐานตามแบบจำลอง Haar-cascade (Viola & Jones, 2001: 1-9) และวิธีการรู้จำใบหน้าด้วยเทคนิค LBP (Ahonen, Haddid & Pietikainen, 2006) เพื่อสร้างระบบการค้นคืนภาพใบหน้าที่สามารถใช้งานได้อย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ มีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

3.1 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกกิจกรรมในชั้นเรียน ประกอบด้วย ข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลภาพใบหน้า ข้อมูลกิจกรรมในชั้นเรียน และข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมชั้นเรียนของนักศึกษา

3.2 การเตรียมฐานข้อมูลภาพใบหน้านักศึกษา ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ให้นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา คอมพิวเตอร์และการรู้เท่าทันในยุคดิจิทัล ในภาคเรียนที่ 2/2561 จำนวน 98 คน ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1) ให้นักศึกษาแต่ละคนทำการถ่ายภาพใบหน้าของตัวเองด้วยกล้องบนโทรศัพท์มือถือ โดยภาพใบหน้านักศึกษาแต่ละคนนั้นมีจำนวนอย่างน้อย 5 ภาพ ประกอบด้วย ภาพหน้าตรง ภาพหน้าด้านซ้าย ภาพหน้าด้านขวา ภาพก้มหน้า และภาพหน้าเงา ซึ่งเป็นการถ่ายภาพในเวลาใกล้เคียงกันโดยใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน มีขนาดความละเอียดของภาพที่เท่ากัน โดยแต่ละภาพมีป้ายชื่อกำกับ (Label) เป็นรหัสประจำตัว

2) ให้นักศึกษาแต่ละคนอัปโหลดภาพใบหน้าเข้าสู่ระบบ เพื่อใช้สำหรับเป็นฐานข้อมูลภาพใบหน้านักศึกษา โดยใช้โปรแกรมภาษา PHP ไลบรารี OpenCV และ โมเดล HAAR-Cascades สำหรับการหาภาพใบหน้า (Face Detection)

3) เมื่อได้ภาพใบหน้าของนักเรียนทุกคนแล้วนำภาพใบหน้าทุกไฟล์มาทำการสอน (Training) โดยใช้เทคนิค LBP สำหรับการเรียนรู้ใบหน้าและสร้างป้ายชื่อ ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ

- (1) ไฟล์โมเดลภาพใบหน้าของนักศึกษาทุกคนจำนวน 1 ไฟล์ (HAAR-Cascades XML)
- (2) ไฟล์ภาพใบหน้าของนักศึกษาทุกคนบันทึกไว้ในไฟล์เตอร์ภาพใบหน้าของนักศึกษาแต่ละคน และ
- (3) ไฟล์รูปภาพต้นฉบับของนักศึกษาทุกคนบันทึกไว้ในไฟล์เตอร์ภาพต้นฉบับของนักศึกษาแต่ละคน

3.3 การค้นคืนภาพใบหน้า ทำการออกแบบโปรแกรมเว็บแอปพลิเคชัน เพื่ออัปโหลดภาพนักศึกษาเข้าไปในระบบเพื่อตรวจสอบการเข้าชั้นในแต่ละครั้ง มีขั้นตอนดังนี้

1) ผู้สอนหรือนักศึกษาย้ายภาพในชั้นเรียนที่เห็นใบหน้านักศึกษาที่เข้าเรียน ซึ่งอาจจะเป็นภาพคนเดียวหรือหลายคนในภาพเดียวกัน

2) อัปโหลดภาพที่ได้เข้าสู่ระบบ

3) โปรแกรมค้นหาภาพใบหน้าโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP ไลบรารี OpenCV และโมเดล HAAR-Cascades

4) นำภาพใบหน้าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพใบหน้าในฐานข้อมูล (HAAR-Cascades XML)

ด้วยเทคนิค LBP ถ้าพบข้อมูลจะได้ป้ายกำกับชื่อ (Label) เป็นรหัสนักศึกษาแล้วนำรหัสศึกษามาตรวจสอบกับทะเบียนการเรียนและบันทึกผลการเข้าชั้นเรียน

3.4 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการวัดค่าความมั่นใจ (Confidence) หรือค่าประสิทธิภาพจากการตรวจสอบภาพใบหน้าที่ถูกต้องของภาพที่นำเข้าไปตรวจสอบกับภาพใบหน้าในฐานข้อมูลโดยใช้เทคนิค LBP ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องในระดับใดตามค่าประสิทธิภาพที่แสดงออกจากการค้นคืน โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือ 0.00 หมายถึงเป็นภาพที่ค้นพบในฐานข้อมูลแล้วได้ค่าความเหมือนกับภาพที่นำเข้าไปค้นคืนมากที่สุด ในการวิจัยครั้งนี้พิจารณาค่าประสิทธิภาพระหว่าง 1.00 ถึง 0.00 โดยมีค่าลดลงทีละ 0.05

เทคนิค LBP แบ่งการทำงานเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการประมวลผลก่อนและขั้นตอนทดสอบ สำหรับขั้นตอนการประมวลผลก่อน เริ่มจากการแปลงชุดภาพข้อมูลสำหรับการรู้จำแต่ละฟิกเซลเป็นค่า LBP ด้วยสมการที่ (1)

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} 2^p f(i_p - i_c) \quad (1)$$

เมื่อ (XC,YC) แทนตำแหน่งฟิกเซลที่สนใจ มีค่าเท่ากับ ic,ip แทนค่าในฟิกเซลรอบข้างฟิกเซลที่สนใจ (XP,YP) มีจำนวนทั้งหมด P จุด โดยหาตำแหน่งของฟิกเซลรอบข้างที่มีรัศมีเท่ากับ R ได้ด้วยสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} x_p &= x_c + R \cos \frac{2\pi p}{P} \\ y_p &= y_c - R \sin \frac{2\pi p}{P} \end{aligned} \quad (2)$$

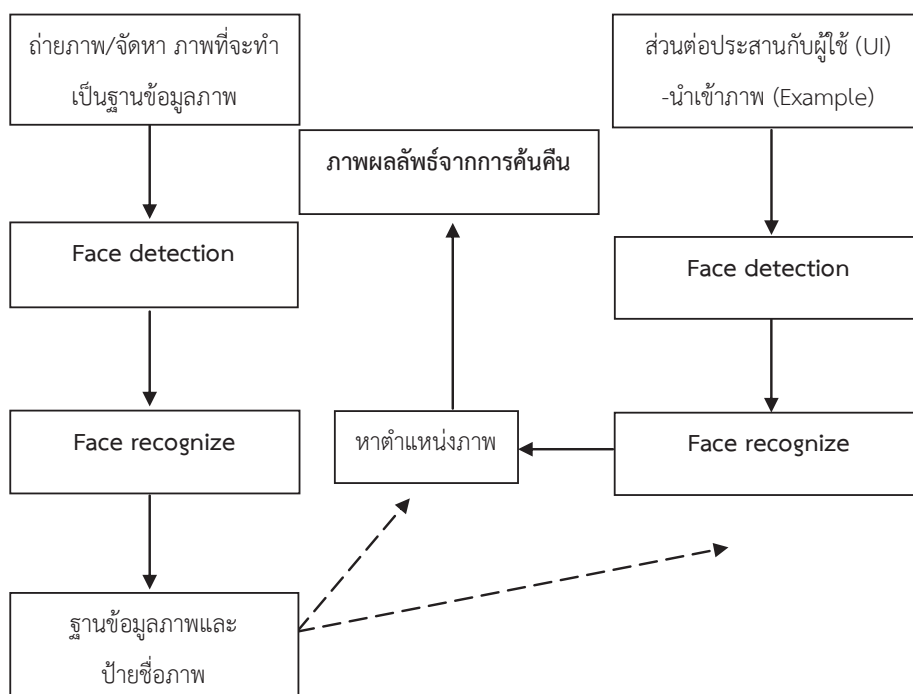
และ $f(x)$ แทนฟังก์ชันดังแสดงในสมการที่ (3)

$$f(x) \begin{cases} 0, & x \geq 0 \\ 1, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

จากนั้นทำการแบ่งรูปภาพเป็นส่วน ๆ โดยแต่ละส่วนมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ขนาดเท่ากันแล้วจึงคำนวณค่าฮิสโตแกรมของแต่ละพื้นที่ที่แบ่งไว้ สำหรับขั้นตอนการทดสอบในเทคนิค LBP กระทำโดยนำภาพที่จะทดสอบมาคำนวณค่า LBP แล้วแบ่งรูปภาพเป็นส่วน ๆ พร้อมคำนวณค่าฮิสโตแกรมของแต่ละพื้นที่ที่แบ่งไว้ จากนั้นคำนวณหาไคสแคว (Chi-square) ระหว่างภาพค้นหา (Un-know data) กับภาพในฐานข้อมูล (Training data) แล้วแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าประสิทธิภาพของการค้นคืนภาพ

สรุปผล

1. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกกิจกรรมในชั้นเรียน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การสร้างฐานข้อมูลภาพ และโปรแกรมส่วนของผู้ใช้ระบบ ดังแสดงในภาพประกอบ 1



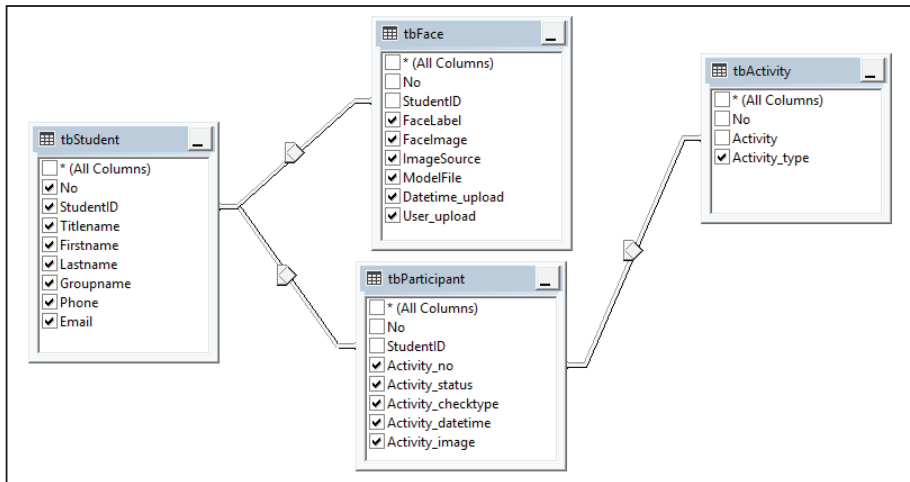
ภาพประกอบ 1 โปรแกรมสำหรับบันทึกกิจกรรมในชั้นเรียนและรูปแบบการค้นคืนภาพ

จากภาพประกอบ 1 โปรแกรมส่วนงานสร้างฐานข้อมูล ทำหน้าที่ในการสร้างฐานข้อมูลด้วยวิธีพื้นฐานของการจำลองรูปแบบ Haar-cascade ร่วมกับ LBP ซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้ป้ายชื่อกำกับภาพใบหน้าของนักศึกษาในฐานข้อมูลในรูปแบบไฟล์โมเดลภาพใบหน้านักศึกษาแต่ละคน และไฟล์โมเดลภาพใบหน้าของนักศึกษาทุกคน และเมื่อต้องการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา จะทำการนำภาพเข้าระบบและใช้วิธีพื้นฐานของการจำลองรูปแบบ Haar-cascade ร่วมกับ LBP เพื่อหาภาพใบหน้าแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า ในฐานข้อมูลจะได้ตำแหน่งที่ต้องการค้นหาแล้วแสดงผลออกมาทางจอภาพเป็นภาพในฐานข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการค้นหา

2. ฐานข้อมูลภาพใบหน้าและการค้นคืนภาพใบหน้า ได้ฐานข้อมูลใบหน้านักศึกษา ที่บันทึกไว้ในระบบและไฟล์โมเดลสำหรับการค้นคืนภาพ โปรแกรมสำหรับบันทึกภาพในฐานข้อมูลและโปรแกรมสำหรับการค้นหาภาพใบหน้า พัฒนาขึ้น

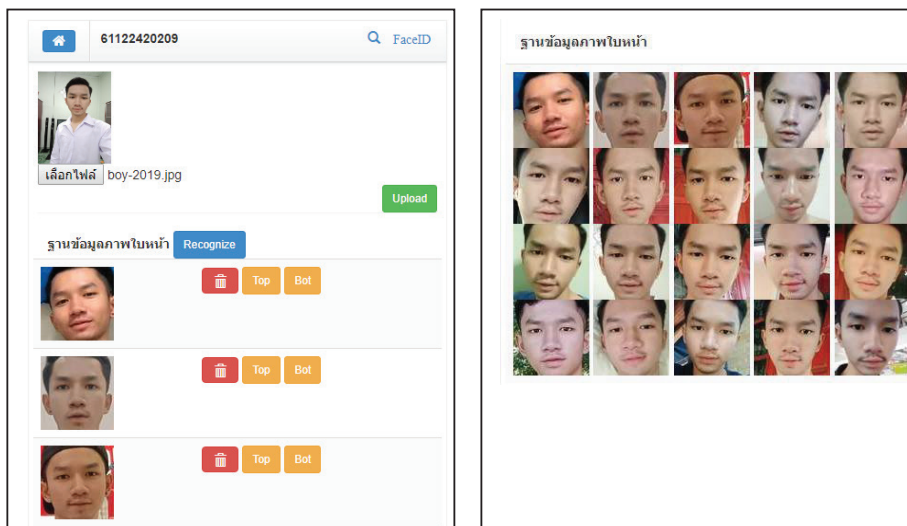
ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคือ วิธีการพื้นฐาน HARR ใช้สำหรับการตรวจสอบภาพใบหน้า (Face Detection) LBP ใช้สำหรับการรู้จำภาพใบหน้า OpenCV และ PHP เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาโปรแกรม เพื่อบันทึกภาพใบหน้าลงในฐานข้อมูลและการค้นหาภาพใบหน้าในฐานข้อมูล ดังแสดงในภาพประกอบ 2 ภาพประกอบ 3 และภาพประกอบ 4 ตามลำดับ

2.1 ฐานข้อมูล ใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูล MySQL เป็นเครื่องมือในการสร้างฐานข้อมูล ได้ตารางฐานข้อมูลดังแสดงในภาพประกอบ 2

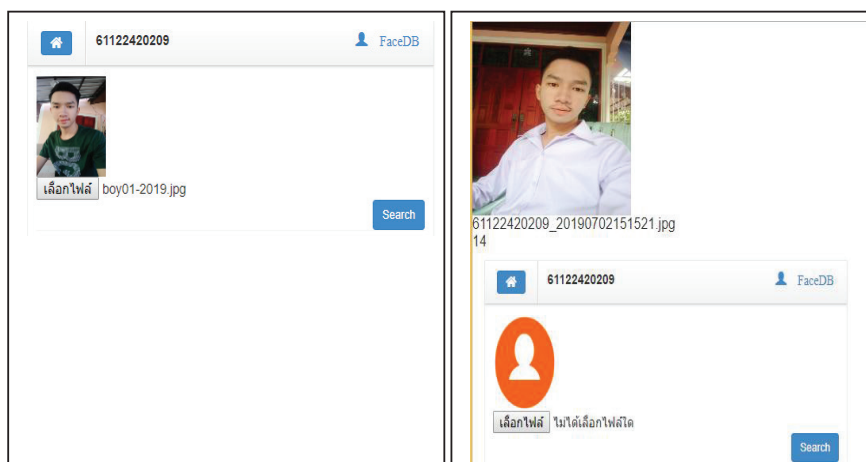


ภาพประกอบ 2 แสดงตารางข้อมูลและความสัมพันธ์ของข้อมูล

2.2 โปรแกรมสำหรับอัปโหลดภาพนักศึกษาเพื่อบันทึกในฐานข้อมูลและการค้นคืนภาพใบหน้า พัฒนาขึ้นในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3 และ ภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 3 แสดงการบันทึกข้อมูลภาพใบหน้า



ภาพประกอบ 4 แสดงการค้นคืนภาพ

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการใช้ภาพใบหน้านักศึกษาเพื่อค้นคืนภาพใบหน้า
 ในฐานะข้อมูลแล้วแสดงผลค้นคืนออกมา เพื่อเป็นการทดสอบระบบที่ผู้วิจัยได้ให้นักศึกษา กลุ่มตัวอย่างจำนวน 98 คน ทำการบันทึก
 ภาพใบหน้าในการเข้าชั้นเรียน เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบตรวจสอบใบหน้ากับฐานข้อมูลและการประมวลผล
 การเข้าชั้นเรียน พบว่าระบบสามารถตรวจสอบใบหน้าได้อย่างถูกต้องและให้ผลลัพธ์ของการสรุปผลการเข้าชั้นเรียนได้
 อย่างถูกต้อง ซึ่งในการค้นคืนภาพแต่ละครั้งของการทดสอบมีค่าผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องคือ ค่าประสิทธิภาพ หรือค่าความมั่นใจ
 (Confidence) จำนวนภาพที่ค้นคืนได้ จำนวนภาพที่ถูกต้องหรือภาพเป้าหมาย และจำนวนภาพคนอื่นหรือภาพไม่ถูกต้อง
 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมสำหรับการค้นคืนคือ 0.30 ซึ่งค่าประสิทธิภาพ
 ดีที่สุดคือ 0.00 ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ผลประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ค่าประสิทธิภาพ	ภาพที่ค้นคืนได้	ภาพเป้าหมาย	ภาพคนอื่น
0.00	1	1	0
0.05	1	1	0
0.10	1	1	0
0.15	1	1	0
0.20	1	1	0
0.25	1	1	0
0.30*	1	1	0
0.35	2	2	0
0.40	2	2	0
0.45	3	2	1
0.50	4	2	2

ตาราง 1 (ต่อ)

ค่าประสิทธิภาพ	ภาพที่ค้นคืนได้	ภาพเป้าหมาย	ภาพคนอื่น
0.55	5	2	3
0.60	5	2	3
0.65	6	2	4
0.70	6	3	3
0.75	7	2	5
0.80	7	3	4
0.85	8	2	6
0.90	8	1	7
0.95	9	2	7
1.00	9	2	7

จากข้อมูลตาราง 1 เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วยเทคนิค LBP จากค่า 1.00 ถึง 0.00 ลดลงทีละ 0.05 พบว่า เมื่อค่าประสิทธิภาพที่ 0.45 ผลการค้นคืนได้ภาพจากฐานข้อมูลทีใกล้เคียงกับภาพที่นำเข้าไปค้นหาจำนวน 3 ภาพ แบ่งเป็นภาพของนักศึกษาที่ค้นคืนจำนวน 2 ภาพ และภาพของนักศึกษาคนอื่นจำนวน 1 ภาพ ซึ่งยังไม่มีความถูกต้อง เมื่อค่าประสิทธิภาพที่ 0.40 และ 0.35 ผลการค้นคืนได้ภาพจากฐานข้อมูลทีใกล้เคียงกับภาพที่นำเข้าไปค้นหาจำนวน 2 ภาพ เป็นภาพของนักศึกษาที่ค้นคืนทั้ง 2 ภาพ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง เมื่อค่าประสิทธิภาพที่ 0.30 ผลการค้นคืนได้ภาพจากฐานข้อมูลทีใกล้เคียงกับภาพที่นำเข้าไปค้นหาจำนวน 1 ภาพ และเป็นภาพของนักศึกษาที่ต้องการค้นคืน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง และเมื่อค่าประสิทธิภาพที่ 0.25 0.20 0.15 0.10 0.05 และ 0.00 ผลการค้นคืนได้ภาพจากฐานข้อมูลทีใกล้เคียงกับภาพที่นำเข้าไปค้นหาจำนวน 1 ภาพและเป็นภาพของนักศึกษาที่ต้องการค้นคืน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง จึงสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมสำหรับการค้นคืนภาพใบหน้าด้วยเทคนิค LBP คือ 0.30 ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพที่มีค่ามากที่สุดที่ได้ผลการค้นคืนที่ถูกต้องและได้ผลลัพธ์ออกมาภาพเดียว ดังนั้นเมื่อทำการค้นคืนภาพใบหน้าแล้วผลการค้นคืนภาพใบหน้าได้ค่าประสิทธิภาพระหว่าง 0.00 - 0.30 แสดงว่าค้นพบภาพใบหน้านักศึกษาที่ต้องการในฐานข้อมูล

4. ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ การประเมินระบบจะให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 98 คน ตอบแบบสอบถามที่มีการกำหนดระดับของความพึงพอใจในหัวข้อการประเมินเป็น 1 (น้อยที่สุด) ถึง 5 (มากที่สุด) ผลการประเมินแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ผลการความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย \bar{X}	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1.ความดึงดูดใจของผู้ใช้	4.23	0.54	มาก
2. ความง่าย (User Friendly) ของการใช้งานของระบบ	4.05	0.23	มาก
3. ความถูกต้องของระบบ	3.96	0.62	มาก
4. ความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลในระบบ	4.15	0.57	มาก

ตาราง 2 (ต่อ)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย \bar{X}	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
5. ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	3.92	0.47	มาก
6. การนำระบบมาใช้ประโยชน์	4.03	0.71	มาก
รวม	4.06	0.16	มาก

ผลความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจสอบการร่วมกิจกรรมด้วยภาพใบหน้า โดยภาพรวมมีระดับความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.06 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.16 เรียงลำดับจากมากไปน้อยในสามลำดับแรกพบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบตรวจสอบการร่วมกิจกรรมด้วยภาพใบหน้า เรื่อง ความดึงดูดใจของผู้ใช้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 (ระดับมาก) รองลงมาคือ ความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลในระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 (ระดับมาก) และลำดับสุดท้ายคือ เรื่องความง่าย (User Friendly) ของการใช้งานของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 (ระดับมาก)

อภิปรายผล

1. การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้า จำเป็นที่จะต้องออกแบบและพัฒนาให้สอดคล้องกับระบบฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัยที่มีใช้กันอยู่แล้ว คือ ระบบทะเบียนการเรียนนักศึกษาของมหาวิทยาลัย ประกอบด้วยข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลการลงทะเบียนเรียน ข้อมูลการเข้าชั้นเรียน ซึ่งสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ได้ทันทีโดยไม่ต้องนำเข้าสู่ข้อมูลใหม่ แต่เพื่อให้สามารถรองรับระบบการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าได้ จะต้องออกแบบฐานข้อมูลให้สามารถจัดเก็บภาพใบหน้านักศึกษาได้ทั้งที่เป็นภาพใบหน้าในรูปแบบไฟล์ (System file) และรูปแบบฐานข้อมูล (Image type) รวมทั้งการจัดเก็บไฟล์โมเดลภาพใบหน้านักศึกษาทุกคนไว้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในด้านอื่น ๆ อีกต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับหลักการออกแบบระบบฐานข้อมูลในสถานศึกษา ในส่วนของการออกแบบส่วนสำหรับผู้ใช้งานนั้นเป็นแบบ เว็บแอปพลิเคชันทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากมีความสามารถในการใช้เว็บแอปพลิเคชันอื่น ๆ อยู่แล้ว และเมื่อทำการปรับโปรแกรมก็สามารถปรับปรุงได้ทันทีที่จุดเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phankokkrud and Jaturawat (2015 : 162-166) กล่าวถึงการทดสอบประสิทธิภาพ ของการส่งสัญญาณข้อมูลสำหรับการตรวจจับและระบุตัวตน โดยใช้ Haar cascades ในการตรวจจับใบหน้า ซึ่งได้ทดลองไว้ว่าสามารถตรวจจับใบหน้าในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยได้จากข้อมูลในงานวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบว่า Haar cascade สามารถตรวจจับใบหน้าได้แม้กระทั่งในสถานที่ ที่มีแสงน้อย และเหมาะที่นำมาประยุกต์ใช้ ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวได้พัฒนาระบบที่ใช้ในการยืนยันตัวตน ผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชันซึ่งสะดวกและสามารถนำไปใช้ในห้องเรียนต่าง ๆ ได้ง่าย เพียงแต่ระบบที่พัฒนาจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายตลอดเวลา เพื่อยืนยันตัวตนจึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานภายในห้องเรียนที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่ครอบคลุม และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน จากการทดลองพบว่า LBPH recognition ให้ค่าความแม่นยำที่มากที่สุด โดยในงานวิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในมุมมองที่เกี่ยวข้องกับจำนวนรูปภาพ และการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการรู้จำและระบุตัวตนเพิ่มเติม

2. ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ การใช้วิธีการและเทคนิคการตรวจสอบภาพใบหน้านักศึกษาโดยใช้ HAAR และ LBP ร่วมกับ OpenCV และ PHP นั้นเป็นการผสมผสานเทคโนโลยีการตรวจสอบภาพใบหน้า การรู้จำภาพใบหน้า ไบโอมเมตริกคอมพิวเตอร์วิชั่นแบบรหัสเปิดและโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ PHP ที่เป็นแบบรหัสเปิด ทำให้การประมวลผลภาพผ่านระบบเว็บสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น ผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการทำงานนั้นได้ค่าคะแนนประสิทธิภาพที่เหมาะสม 0.30

โดยมีค่าประสิทธิภาพระหว่าง 0.00–0.30 ที่ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้จริงด้วยเทคนิคและวิธีการที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากการประมวลผลภาพใบหน้านั้นอาจมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เฉพาะสำหรับการประมวลผลภาพ รวมทั้งอาจติดตั้งเครื่องมือสำหรับการประมวลผลภาพที่ห้องเรียนแต่ละห้องที่จัดการเรียนการสอนด้วย แต่ด้วยวิธีการแบบนี้ทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้ต่อไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ เกรียงศักดิ์ ตรีประพิน ภัคภัทร นาอุดม และ โฟชนยนต์ คงไชย (2561 : 92) การพัฒนาระบบตรวจสอบนักศึกษาเข้าเรียนด้วยวิธีการรู้จำใบหน้าที่มีความถูกต้องสูง และมีระบบกลไกที่ทำให้นักศึกษาสามารถตรวจสอบได้ง่าย โดยพบว่า LBPH recognition มีความถูกต้องในการระบุตัวตนสูงถึง 94.21 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาวิธีการแสดงผลการตรวจสอบแบบเรียลไทม์บนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้นักศึกษาสามารถตรวจสอบและแจ้งแก้ไขในกรณีที่มีผลการตรวจสอบผิดพลาด

3. ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบการตรวจสอบเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าอยู่ในระดับดีมากนั้น คงเนื่องมาจากการจัดการศึกษาในระดับอุดมศึกษาเป็นระบบการจัดการศึกษาทางเลือก ให้ผู้เรียนมีความอยากเรียนด้วยความตั้งใจของผู้เรียน มิใช่เป็นการบังคับให้มาเรียน ควรให้นักศึกษาเข้าเรียนด้วยความสมัครใจ การตรวจสอบรายชื่อเข้าชั้นเรียนหรือเข้าร่วมกิจกรรมแบบอ่านรายชื่อทีละคนเสมือนเป็นการบังคับให้ร่วมทำกิจกรรมนั้น ๆ ซึ่งต่างจากการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนหรือเข้าร่วมกิจกรรมแบบใช้ภาพนำมาตรวจสอบภายหลังนั้น ทำให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความรู้สึกที่ดีต่อกิจกรรมนั้น ๆ และรวมทั้งไม่เสียเวลาในการเรียกรายชื่อทีละคน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฏฐณ บินโหรน (2556 : 59) การพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกเวลาปฏิบัติงานโดยใช้โทรศัพท์มือถือ ใช้เทคนิคในการพัฒนาประกอบด้วย การใช้จีพีเอสในการระบุสถานที่ในการบันทึกเวลา โดยอาศัยความสามารถของเว็บบริการทางภูมิศาสตร์กูเกิล การตรวจสอบบุคคลโดยใช้ภาพใบหน้า โดยอาศัยความสามารถของเว็บบริการตรวจสอบใบหน้าไอคิวเอนจินส์และคูอาบา พบว่าความพึงพอใจด้านการใช้งานอยู่ในระดับดีมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวม คือ 4.53 โดยประเด็นข้อคำถามที่มีระดับคะแนนสูงสุดคือระบบใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อน มีระดับคะแนน 4.80

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

การวิจัยในครั้งนี้เป็นดำเนินการวิจัยในชั้นเรียนใช้ในการตรวจสอบรายชื่อนักศึกษาเข้าชั้นเรียน ในการเตรียมการนำไปใช้งานจริง ควรพิจารณาในประเด็นต่อไปนี้

1.1 การจัดเตรียมฐานข้อมูลภาพใบหน้าให้นักศึกษาควรให้นักศึกษาใช้กล้องถ่ายรูปถ่ายภาพใบหน้านักศึกษาในชั้นเรียนปกติที่เรียนจริงเพื่อให้ภาพที่บันทึกในฐานข้อมูลมีความใกล้เคียงกับภาพที่จะนำไปตรวจสอบในภายหลังมากที่สุด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อทำการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียน

1.2 การตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนโดยผู้สอนให้ผู้สอนถ่ายภาพที่มีนักศึกษาหลายคนในภาพเดียวกันในชั้นเรียนเพื่อลดเวลาการอัปโหลดภาพนักศึกษาทีละคน หรือทำการติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายภาพนักศึกษาที่เดินเข้าชั้นเรียนอัตโนมัติแล้วอัปโหลดภาพเข้าระบบตรวจสอบเข้าชั้นเรียน

1.3 การตรวจสอบภาพใบหน้านักศึกษาแต่ละคนโดยการให้อัปโหลดภาพนักศึกษาเพื่อนำไปตรวจสอบที่เซิร์ฟเวอร์ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างใช้เวลานานในการประมวลผล ดังนั้นเพื่อลดเวลาการประมวลผลควรให้มีระบบคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่สามารถประมวลผลภาพใบหน้าได้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การทำวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาในประเด็นการใช้ภาพวิดีโอจากระบบกล้องวงจรปิดของสถาบันการศึกษาแทนภาพถ่ายที่ต้องอัปโหลดเข้าไปในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบรายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ ในสถาบันการศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ ตรีประพิณ ภัคภัทร นาอุตม และไพชยนต์ คงไชย. (2561). การพัฒนาระบบตรวจสอบนักศึกษาเข้าเรียนด้วยวิธีการรู้จำใบหน้า (Attendance monitoring system with face recognition technologies). *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(2), 92.
- ณัฏฐณ บินโอรน. (2556). การพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกเวลาปฏิบัติงานโดยใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟน. วิทยานิพนธ์ วิทยาการสารสนเทศมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิวัฒน์ ทวีทรัพย์. (2555). การพัฒนาระบบบันทึกการเข้าร่วมกิจกรรม. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Ahonen, T., Hadid, A. and Pietikäinen M. (2006). Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 28(12), 2037-2041.
- Arulogun, O.T., et al. (2013). RFID-based Students Attendance Management System. *Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(2), 1-9.
- Jafri, R. and Arabnia, H.R. (2009). A survey of face recognition techniques. *Journal of Information Processing Systems*, 5(2), 41-68.
- Likert, R. (1967). The Method of Constructing and Attitude Scale. In Reading in fishbein, M (Ed.), *Attitude Theory and Measurement*. New York: wiley & Son.
- Liyang, L. and Yue, H. (2008). The Study of Entrance Guard & Check on Work Attendance System Based on Face Recognition. In *Computer Science and Information Technology, 2008. ICCSIT'08. International Conference*. 44-47.
- Masalha, F. and Nael H. (2014). A Students Attendance System Using QR Code. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 5(3), 76.
- Phankokkrud, M. and Jaturawat P. (2015). An Evaluation of Technical Study and Performance for Real-Time Face Detection Using Web Real-Time Communication. In *International Conference on Computer, Communication and Control Technology, 2015. (I4CT 2015) International Conference*. 162-166.
- Roshan, J. G., et al. (2013). Smart Attendance using Real Time Face Recognition (SMART-FR). Department of Electronic and Computer Engineering, Sri Lanka Institute of Information Technology (SLIIT), Malabe, Sri Lanka.
- Taxila, P. (2009). Development of Academic Attendance Monitoring System using Fingerprint Identification. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 9(5), 164.
- Viola, P. and Jones, M. (2001). "Rapid object detection using a Boosted cascade of simple features, *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (1), 1-9.