

การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับ และรู้จำใบหน้า

พิชญา จตุรวัฒน์, ภาสินี พงศ์มานะวุฒิ และ มานพ พันธุ์โคกกรวด

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: 58606099@kmitl.ac.th, s4070071@kmitl.ac.th, manop@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การบันทึกเวลาเรียนโดยส่วนใหญ่มักจะใช้การเรียกชื่อเพื่อระบุตัวตนของนักเรียน ซึ่งหากมีนักเรียนจำนวนมากจะทำให้เสียเวลา รวมทั้งอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ การศึกษาและพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้าทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เริ่มจากกระบวนการสร้างฐานข้อมูลรูปภาพ และการพัฒนาระบบในลักษณะเว็บแอปพลิเคชันเพื่อนำไปใช้งาน โดยใช้ Haar-Like Feature ในการตรวจจับใบหน้า และใช้ Local Binary Patterns Histogram ในการรู้จำใบหน้า โดยเบื้องต้นมีความแม่นยำของการรู้จำใบหน้า 48% ซึ่งยังต้องปรับปรุงและพัฒนาต่อไปในอนาคต จากการทดสอบกับชั้นเรียนจริงพบว่าระบบนี้สามารถช่วยเป็นเงื่อนไขใจให้ผู้เรียนมาเข้าชั้นเรียนได้ และระบบที่มีลักษณะเป็นเว็บแอปพลิเคชันยังสามารถใช้งานได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องลงโปรแกรมเสริมอีกด้วย

คำสำคัญ – ระบบบันทึกเวลาเรียน; การตรวจจับใบหน้า; การรู้จำใบหน้า; WebRTC; ฐานข้อมูลรูปภาพ

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การระบุตัวตนเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านการศึกษาวิจัยและการพัฒนาระบบเพื่อนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันองค์กรต่างๆให้ความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการระบบรักษาความปลอดภัย เพื่อป้องกันข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลที่เป็นความลับขององค์กรมากยิ่งขึ้น องค์กรส่วนใหญ่มักจะใช้บัตรประจำตัว หรือชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านในการระบุและตรวจสอบตัวตน ซึ่งวิธีการเหล่านี้ก็ยังมีข้อบกพร่องหากบัตรประจำตัว หรือชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านสูญหาย หรือถูกผู้ที่ไม่หวังดีนำไปใช้เพื่อสวมรอยและเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการโดยไม่ต้องการให้ผู้อื่นรับรู้ เหตุการณ์เหล่านี้อาจทำให้เกิดความเสียหายร้ายแรงแก่องค์กรได้ ดังนั้นข้อมูลทางกายภาพของมนุษย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถ

นำมาใช้ในการตรวจสอบและระบุตัวบุคคลได้เป็นอย่างดี กล่าวคือใช้ลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ เช่น ลายนิ้วมือหรือม่านตา หรือใช้รูปแบบพฤติกรรมของมนุษย์ เช่น จังหวะการกดรหัสผ่าน เพื่อตรวจสอบและยืนยันตัวบุคคล

ใบหน้าก็เป็นหนึ่งในลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ที่ง่ายต่อการใช้สำหรับการตรวจสอบระบุตัวบุคคล เนื่องจากสามารถมองเห็นได้ง่าย ปลอมแปลงได้ยาก และอุปกรณ์เสริมที่จำเป็นต้องใช้ในระบบมีเพียงอย่างเดียวคือ กล้องถ่ายภาพ ดังนั้นการรู้จำใบหน้าจึงเป็นวิธีการที่มีประโยชน์และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการรักษาความปลอดภัย ระบบกล้องวงจรปิด การตรวจสอบและระบุตัวตนบุคคล นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นๆได้อย่างหลากหลาย [1] ดังนั้น งานวิจัย

นี้จึงนำเสนอแนวคิดการพัฒนาระบบบันทึกการเข้าชั้นเรียนโดยใช้การตรวจจับและรู้จำใบหน้า เพื่อช่วยให้การบันทึกเวลาเรียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยปกติแล้วการบันทึกการเข้าชั้นเรียนมักจะใช้การขานชื่อ ซึ่งการขานชื่อเป็นกิจกรรมที่อาจจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเรียนการสอนลดลง และขาดความแม่นยำในกรณีที่มียกเรียนจำนวนมาก ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับและรู้จำใบหน้าคือเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สอน และเพิ่มความถูกต้องของการบันทึกเวลาเรียน โดยมีสมมติฐานว่าระบบจะสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ รวมถึงช่วยจูงใจให้นักเรียนมาเข้าชั้นเรียนมากขึ้น

ในการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับและรู้จำใบหน้า นั้น เราจะใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม และมีอยู่ในเว็บเบราว์เซอร์รุ่นใหม่ในปัจจุบัน นั่นคือเทคโนโลยี WebRTC ซึ่งเทคโนโลยีนี้ใช้ในการสนับสนุนการสื่อสารระหว่างเว็บเบราว์เซอร์ในลักษณะเรียลไทม์ (Real-time communication) ซึ่งมักจะนำมาใช้ประโยชน์ในระบบการประชุมทางไกลแบบวิดีโอ [2] โดยจุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือความสามารถในการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับอุปกรณ์นำเข้าได้โดยตรง ซึ่งส่วนนี้เองที่จะช่วยให้ระบบบันทึกเวลาเรียนนั้น สามารถพัฒนาออกมาได้ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถนำไปใช้งานกับห้องเรียนใดก็ได้ เพียงแค่มีกล้องเว็บแคมกับคอมพิวเตอร์เท่านั้น จึงทำให้การใช้งานระบบทำได้อย่างสะดวกและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของห้องเรียน

ในส่วนต่อไปของบทความนี้จะประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ ส่วนที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะอธิบายถึงความสำคัญของฐานข้อมูลรูปภาพที่มีต่อการรู้จำใบหน้า เทคโนโลยี WebRTC อัลกอริธึมการตรวจจับและรู้จำใบหน้า รวมถึงศึกษาการประยุกต์ใช้การรู้จำใบหน้ากับระบบบันทึกเวลาเรียน ส่วน

ที่ 3 การออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียน ส่วนที่ 4 การอภิปรายผล และส่วนที่ 5 บทสรุป

2. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับความสำคัญของฐานข้อมูลรูปภาพที่มีต่อระบบรู้จำใบหน้า เทคโนโลยี WebRTC และนำเสนอการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับและรู้จำใบหน้า ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาระบบต่อไป

2.1. ฐานข้อมูลรูปภาพ

ฐานข้อมูลรูปภาพ คือฐานข้อมูลภาพที่สร้างขึ้นจากภาพใบหน้าของผู้ใช้งานระบบรู้จำใบหน้าทุกคน ซึ่งในแต่ละระบบก็จะมีลักษณะของภาพใบหน้าในฐานข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน เช่น ในระบบรู้จำใบหน้าปกติ ที่กล้องอยู่ในระดับสายตา ภาพส่วนใหญ่ที่ใช้ก็จะเป็นภาพหน้าตรง หรือหน้าเอียง ที่ถ่ายจากกล้องในระดับสายตาเช่นกัน ในขณะที่หากเป็นระบบที่ใช้ร่วมกับกล้องวงจรปิด ที่ติดตั้งในมุมสูง ฐานข้อมูลใบหน้าอาจจะต้องมีการขยายขอบเขตของลักษณะภาพให้รวมถึงภาพมุมสูงของใบหน้าแต่ละคนด้วย ซึ่งการกำหนดลักษณะเหล่านี้ จะช่วยให้ความแม่นยำในการรู้จำใบหน้าเพิ่มขึ้นจากการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับฐานข้อมูลภาพใบหน้าพบว่ายังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่กระทบต่อคุณภาพของฐานข้อมูลนอกเหนือจากลักษณะของใบหน้า เช่น แสง คุณภาพของกล้อง ลักษณะบริเวณโดยรอบ เป็นต้น [3]

อย่างไรก็ตามการเก็บรวบรวมภาพเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและลักษณะของใบหน้าในภาพถ่าย จากการศึกษาค้นคว้าได้ทำการวิเคราะห์และสรุปข้อดีข้อเสียของวิธีการเก็บรวบรวมรูปภาพ เพื่อสร้างฐานข้อมูลใบหน้าที่แสดงในตารางที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบ

และเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ในการใช้งานในกรณีของระบบบันทึกเวลาเรียน

ตารางที่ 1. ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการเก็บรวบรวมรูปภาพ

วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
ถ่ายภาพของผู้ใช้โดยเจาะจงเวลาและสถานที่ในการถ่ายภาพ	- ใช้ได้ดีสำหรับจำนวนผู้ใช้ที่มีไม่มาก - สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรูปภาพได้ง่าย เช่น แสง, องศาของใบหน้า, และการแสดงสีหน้าของผู้ใช้	- ขาดความยืดหยุ่นสำหรับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนของผู้ใช้
ใช้รูปถ่ายของผู้ใช้ที่เคยถ่ายมาก่อนหน้า (กำหนดเป็นไฟล์ดิจิทัล)	- ใช้ได้ดีสำหรับจำนวนผู้ใช้ที่มีจำนวนมาก - ไม่ต้องกำหนดให้ผู้ใช้มาถ่ายรูปด้วยตนเอง	- ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของรูปถ่ายที่ผู้ใช้จะนำมาให้ได้โดยง่าย
ใช้ระบบสำหรับเก็บรวบรวมรูปภาพ	- ใช้ได้ดีสำหรับจำนวนผู้ใช้ที่มีจำนวนมาก - สามารถเก็บรูปถ่ายของผู้ใช้ได้พร้อมๆกันหลายรูป - สามารถจำแนกรูปภาพของผู้ใช้เป็นแต่ละบุคคลได้อัตโนมัติ - มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้ใช้	- ยากต่อการควบคุมท่าทางของผู้ใช้และบางปัจจัยที่ยังสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรูปภาพได้

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ระบบเพื่อเก็บรวบรวมรูปภาพไปสร้างเป็นฐานข้อมูลใบหน้าอ้างอิงนั้น จะใช้ระบบที่มีลักษณะเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน โดยผู้ดูแลระบบจะทำการกำหนดผู้ใช้และรหัสผ่าน เพื่อให้ผู้ใช้เข้ามาถ่ายภาพของตนเองเก็บลงในฐานข้อมูล ซึ่งการบันทึกภาพนั้นจะแยกรูปภาพของแต่ละ

คนออกจากกัน รวมถึงมีการบันทึกวันเวลาที่ถ่ายภาพดังกล่าวไว้ด้วย เพื่อให้สะดวกต่อการนำเอารูปภาพไปใช้งานต่อในกระบวนการเตรียมภาพเพื่อสร้างฐานข้อมูลใบหน้าอ้างอิงต่อไป การเก็บรูปภาพด้วยวิธีการนี้ได้ทำการพัฒนาและนำไปทดสอบกับชั้นเรียนจริงเป็นเวลาหนึ่งภาคการศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า วิธีการนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในการเก็บรวบรวมและสร้างฐานข้อมูลภาพ ทำให้สามารถเก็บภาพนักเรียนจำนวนมากพร้อมๆกัน ซึ่งช่วยประหยัดเวลาได้อีกด้วย

2.2. WebRTC

WebRTC (Web real time communication) [4] เป็นมาตรฐานที่เกิดขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยให้เกิดการสื่อสารแบบเรียลไทม์ระหว่างเว็บเบราว์เซอร์เพื่อส่งและรับข้อมูลแบบมัลติมีเดียรูปแบบ peer-to-peer (P2P) ในลักษณะเรียลไทม์ เทคโนโลยีนี้สามารถลดความซับซ้อนของการพัฒนาระบบเพื่อการสื่อสารเรียลไทม์ระหว่างเบราว์เซอร์และผู้ใช้ได้ ซึ่งในปัจจุบัน WebRTC API มีอยู่ภายในเว็บเบราว์เซอร์รุ่นใหม่เกือบทุกชนิด

สถาปัตยกรรมของ WebRTC [5] มีส่วนประกอบอย่างน้อยสามส่วน หนึ่งคือผู้ให้บริการเว็บแอปพลิเคชันและอีกสองผู้ใช้งาน (Peers) โดย WebRTC จะช่วยให้ข้อมูลมัลติมีเดียส่งผ่านได้โดยตรงระหว่างเบราว์เซอร์โดยไม่จำเป็นต้องมีการแทรกแซงใดๆจากเซิร์ฟเวอร์ สำหรับความสามารถในการใช้งานเว็บ (ฝั่งผู้ใช้) ซึ่งการทำงานจะมีการผสานระหว่าง HTML และ JavaScript สามารถมีการสื่อสารระหว่างกันกับเว็บเบราว์เซอร์หรือโปรแกรมบนมือถือ ผ่าน WebRTC API ซึ่ง API นี้จะมีชุดของฟังก์ชันการทำงานหลายประเภท เช่น การจัดการการเชื่อมต่อความสามารถในการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูล การควบคุมสื่อ การจัดการ Firewall และอื่นๆอีกมากมาย ที่จะถูกดำเนินการด้วย JavaScript ฯลฯ โดย WebRTC API ช่วยให้เบราว์เซอร์และภาษาสคริปต์สามารถโต้ตอบ

กับอุปกรณ์สื่อนำเข้า (ไมโครโฟน, กล้องและลำโพง) ได้โดยตรง ทำให้การประมวลผลและส่งผ่านข้อมูลสะดวก รวดเร็วขึ้น

ข้อดีของ WebRTC [6, 7] ประการแรกคือเป็น Open source API ที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่มากที่สุดในเบราว์เซอร์ที่ให้บริการอยู่ทั้งหมด ประการที่สองคือความเป็นอิสระต่อแพลตฟอร์มเบราว์เซอร์ใดๆก็ตามที่สนับสนุน WebRTC สามารถใช้งานกับระบบปฏิบัติการใด ๆ ก็ได้ ทั้งยังสามารถสร้างการเชื่อมต่อเสียงเรียลไทม์หรือการเชื่อมต่อวิดีโอไปยังอุปกรณ์ WebRTC อื่น หรือเชื่อมต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้ ส่วนประการที่สาม WebRTC มีการเข้ารหัสข้อมูลอยู่เสมอ โดยใช้ Secure RTP Protocol (SRTP) ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการจัดการสำหรับการเข้ารหัสและการตรวจสอบของทั้งเสียงและวิดีโอ ประโยชน์และข้อดีสุดท้ายของ WebRTC ก็คือสามารถที่จะทำงานโดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติมหรือปลั๊กอินเสริมใดๆ

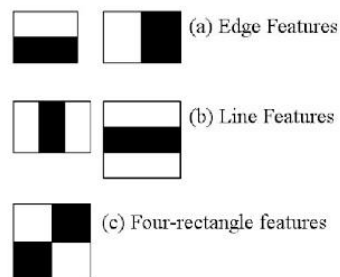
จากข้อดีข้างต้นนี้เว็บแอปพลิเคชันกับเทคโนโลยี WebRTC จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้ความสะดวกในเรื่องของการเก็บรวบรวมภาพผู้ใช้นั้นเว็บแอปพลิเคชัน และการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้า เนื่องจากสามารถช่วยให้สามารถใช้งานระบบได้กับคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ซึ่งจะช่วยให้การใช้งาน และการศึกษาวิจัยก็สามารถทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.3. อัลกอริธึมตรวจจับใบหน้า

การตรวจจับใบหน้า เป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการค้นหาใบหน้าของมนุษย์ในภาพถ่ายหรือวิดีโอซึ่งเป็นสื่อดิจิทัล อย่างไรก็ตาม มีปัจจัยมากมายที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการตรวจจับใบหน้า เช่น แสง สี การวางแนวของใบหน้าและวัตถุอื่นในภาพ [8] วิธีการตรวจจับใบหน้านั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ อย่างเช่น

การกำหนดฉากหลังเป็นสีเดียว เมื่อทำการตัดฉากหลังออกก็จะได้มาซึ่งใบหน้าทันที แต่หากเป็นภาพถ่ายทั่ว ๆ ไปที่ไม่สามารถควบคุมฉากหลังได้ ต้องเลือกใช้อัลกอริธึมตรวจจับใบหน้าเข้ามาเพื่อช่วยให้การค้นหาภาพใบหน้า อัลกอริธึมที่ถูกนำมาใช้งานมีหลายลักษณะ ทั้งการใช้ค่าสีเพื่อค้นหาใบหน้า วิธีการนี้นำเสนอโดย Jay P. Kapur โดยมีวิธีการคือจะทำการค้นหาพื้นที่ที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นสีผิวมนุษย์ก่อน โดยทำการกรองค่าสีและลักษณะของพื้นผิวในบริเวณดังกล่าว จากนั้นทำการประมวลพื้นที่นั้นในลักษณะสีเทา และใช้ค่า Thresholds ที่กำหนดร่วมกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการระบุตำแหน่งของใบหน้าจากพื้นที่ดังกล่าวอีกครั้ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดคือมีโอกาสเสี่ยงที่จะตรวจจับสิ่งที่ไม่ใช่ใบหน้าที่มีสีเดียวกัน เช่น แขน เป็นต้น [9]

วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจกันอย่างกว้างขวาง ถูกนำเสนอโดย Paul Viola และ Michael Jones ซึ่งเป็นวิธีการที่แม่นยำ และมีประสิทธิภาพในการตรวจหาวัตถุ และปรับปรุงให้ดีขึ้นเพื่อใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้า วิธีการนี้เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ Viola - Jones [10] วิธีการดังกล่าวทำการตรวจสอบวัตถุในภาพ โดยใช้พื้นฐานของ Haar-feature โดยทำการนำแนวคิดการใช้ Haar wavelet มาประยุกต์และพัฒนาคุณลักษณะดังกล่าวเป็น Haar-like feature [11]



รูปที่ 1. ลักษณะรูปแบบที่พิจารณาในหน้าต่างค้นหา

หลักการการทำงานของวิธีการนี้จะเป็นลักษณะ weak classifier cascades ซึ่งจะพิจารณารูปภาพโดยสร้างกรอบสี่เหลี่ยมเป็นพื้นที่ที่สนใจ โดยจะเคลื่อนย้ายกรอบการค้นหาไปในพื้นที่ต่างๆของภาพ โดยมีลักษณะของรูปแบบที่จะใช้พิจารณาทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อตรวจสอบภาพ จากนั้นจะทำการสรุปความเข้มของแต่ละพิกเซลจากแต่ละส่วนของภาพและคำนวณผลรวมเพื่อทำการระบุว่ามีบริเวณใดคือใบหน้า โดยจะใช้ Haar-like features ในการตรวจสอบความเข้มของสีและกำหนดค่าน้ำหนัก สำหรับผลการคำนวณระหว่างผลที่ได้ความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จะได้รับการจัดหมวดหมู่เพื่อระบุว่าส่วนใดในภาพคือใบหน้าต่อไป

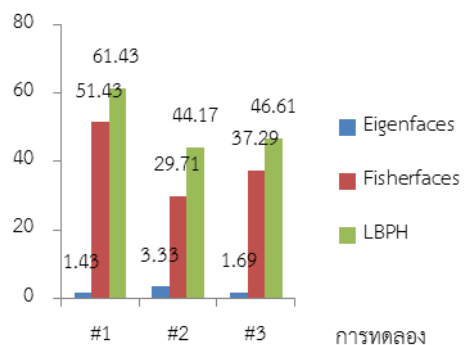
อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ได้ตัดสินใจเลือกใช้ Haar-like features ในขั้นตอนในการตรวจจับใบหน้า เนื่องจากวิธีการนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะมีอัตราความถูกต้องที่สามารถเชื่อถือได้ อีกทั้งวิธีการนี้ยังได้เปรียบในเรื่องของความเร็วในการประมวลผล นอกจากนี้ยังง่ายต่อการพัฒนาในระดับเบื้องต้นร่วมกับการรู้จำใบหน้าโดยใช้ส่วนขยายของ OpenCV (Open source Computer Vision) [12]

2.4. อัลกอริธึมรู้จำใบหน้า

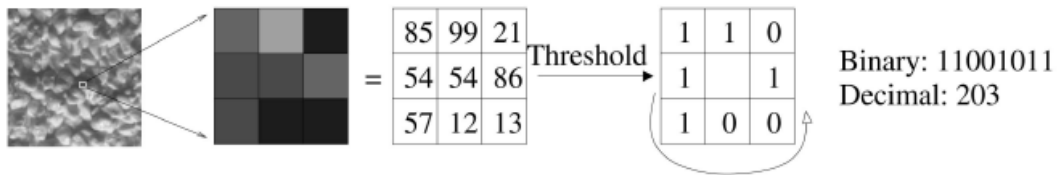
การรู้จำใบหน้าเป็นเทคโนโลยีในด้าน Computer vision ที่เป็นที่นิยมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เทคโนโลยีนี้เป็นการใช้เทคนิคในการระบุหรือตรวจสอบบุคคลทั้งจากภาพดิจิทัล วิดีโอ หรือแบบเรียลไทม์ผ่านกล้องสำหรับถ่ายภาพ อัลกอริธึมสำหรับการรู้จำใบหน้าในภาพถ่ายมีสองประเภทหลักๆ คือ Feature-based และ Holistic วิธีการลักษณะ Feature-based จะใช้องค์ประกอบลักษณะของใบหน้าที่โดดเด่นในการระบุตัวบุคคลโดยใช้ ตำแหน่งของตา จมูก ปาก หรือโครงหน้า มาคำนวณความสัมพันธ์กันของแต่ละจุดต่าง ๆ และ

สร้างเป็นเวกเตอร์เพื่อแทนใบหน้าคนนั้นๆ ส่วนการรู้จำใบหน้าแบบ Holistic จะใช้องค์ประกอบทั้งภาพ มากกว่าการเลือกใช้เฉพาะจุดในแบบแรก โดยใช้วิธีการทางสถิติที่จะทำการสกัดภาพไปเป็นค่าที่เป็นค่าที่เป็นตัวเลข และเปรียบเทียบค่าที่มีในแผ่นแบบ (Template) เพื่อกำจัดการแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนของการเตรียมภาพ [1]

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการรู้จำใบหน้าทั้งหมด 3 อัลกอริธึม นั่นคือ Eigenfaces Fisherfaces และ Local Binary Patterns Histogram (LBPH) จากการศึกษาพบว่า Eigenfaces เป็นอัลกอริธึมที่มีข้อจำกัดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแสงมีผลต่อความแม่นยำ ส่วน Fisherfaces ที่ปรับปรุงมาจาก Eigenfaces นั้นมีความแม่นยำที่สูงขึ้นแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของแสงในภาพ อย่างไรก็ตามสำหรับวิธีการรู้จำใบหน้าที่น่าสนใจในระบบนี้คือ LBPH ทั้งนี้เพราะ LBPH เป็นอัลกอริธึมที่มีความแม่นยำสูงสุดจากผลการทดสอบในเบื้องต้น โดยใช้ภาพ 3 ชุดสำหรับทดสอบ ดังแสดงผลในรูปที่ 2 อีกทั้งยังเป็นอัลกอริธึมที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของแสงน้อยอีกด้วย



รูปที่ 2. ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการรู้จำใบหน้า 3 อัลกอริธึม ในการทดสอบ 3 ครั้ง



รูปที่ 3. LBPH Operators

LBPH นั้นมีหลักการทำงานโดยการแบ่งภาพออกเป็น ส่วนๆ ขนาด 3x3 พิกเซล และคำนวณค่าไบนารีความยาว 8 บิต จากค่าสีเทาของแต่ละพิกเซล โดยใช้ค่าสีเทาของ พิกเซลตรงกลางเป็นค่า threshold หากค่าสีเทาของ พิกเซลนั้นน้อยกว่าค่าสูงกว่าพิกเซลตรงกลาง จะแทนบิตนั้น ด้วยค่า 1 ถ้าน้อยกว่า จะแทนค่าบิตนั้นด้วย 0 ดังแสดงใน รูปที่ 3 แล้วนำค่าไบนารีที่ได้จากทุกๆส่วนมากทำการ สร้างเป็นเวกเตอร์เพื่อแทนใบหน้านั้นต่อไป จากการใช้ ค่าไบนารีนี้เองที่ทำให้อัลกอริธึมนี้มีจุดเด่นอยู่ที่สามารถ ทนต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของแสงในภาพได้ดี เพราะ ไม่ว่าภาพจะมีมืดหรือสว่างเท่าใด หากจุดกำเนิดแสงเป็นจุด เดียวกัน ก็จะสามารถสร้างเวกเตอร์ที่มีลักษณะเหมือนกัน ได้นั่นเอง [13]

สมการที่ใช้แทน LBP operator นั้น กำหนดดัง สมการที่ 1

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

โดยกำหนดให้ (x_c, y_c) คือ ตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ตรง กลาง โดยมีค่า i_c เป็นค่าความเข้มสีของพิกเซลดังกล่าว และ i_p แทนค่าความเข้มสีของพิกเซลโดยรอบโดยมี พิกเซล s เป็นตัวกำหนดค่าไบนารีที่ได้ดังแสดงใน สมการ ที่ 2

$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

ในงานวิจัยนี้ โมดูลการรู้จำใบหน้าถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ ภาษา Python โดยใช้ Facerecognizer ซึ่งเป็นโมดูล

สำหรับการรู้จำใบหน้าใน OpenCV ซึ่งถูกพัฒนาโดย Philipp Wagner ทำให้การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียน โดยการตรวจจับใบหน้าสามารถทำได้อย่างสะดวกรวดเร็ว อีกทั้งพัฒนาร่วมกับการตรวจจับใบหน้าได้ง่าย เพื่อเป็น ประโยชน์ในการศึกษาในเบื้องต้น

2.5. การประยุกต์ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อบันทึกเวลาเรียน

จากปัญหาของการบันทึกเวลาเรียน ในกรณีที่นักเรียน จำนวนมากนั้น ทำให้ต้องแบ่งเวลาช่วงการเรียนการสอน มาใช้สำหรับงานอื่น ซึ่งเป็นภาระแก่ผู้สอน อีกทั้งนักเรียน ก็ไม่ได้ใช้เวลาในคาบเรียนอย่างเต็มที่ [14] ดังนั้น จึงมี หลายงานวิจัยที่นำเสนอการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Muhammad Fuzail และ คณะ ที่ได้นำเสนอการออกแบบระบบบันทึกเวลาเรียน โดยใช้กล้องถ่ายภาพโดยรวมของทั้งห้อง และสแกนหา ใบหน้า แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าว ยังมีปัญหาใน ประเด็นของความแม่นยำ และการระบุตัวตนนักเรียนที่ ชัดเจน [15]

อีกงานวิจัยหนึ่งซึ่งนำเสนอโดย Nirmalya Kar และ คณะ ซึ่งได้ทดสอบโดยเน้นการจับภาพบุคคลที่ผ่าน บริเวณทางเข้าออกห้องโดยอัตโนมัติ กระบวนการรู้จำ ใบหน้า พัฒนาโดยใช้อัลกอริธึม PCA ซึ่งผลลัพธ์ของการ ทดลองในโดยใช้ภาพหน้าเข้าเป็นภาพสีนั้นดีกว่าแบบขาว ดำ อย่างไรก็ตามทางผู้พัฒนามีความมุ่งหวังที่จะเพิ่ม

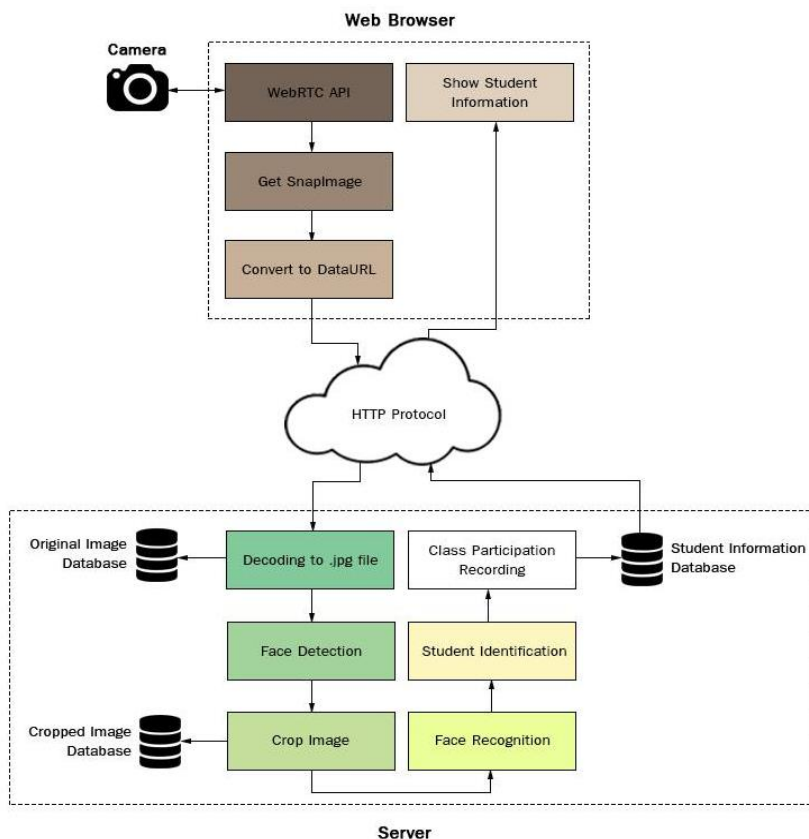
ประสิทธิภาพของระบบ โดยอาศัยการปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบกับผู้ใช้ให้มากขึ้น [16]

3. การออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียน

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงการออกแบบระบบบันทึกเวลาเรียน โดยการใช้การตรวจจับและรู้จำใบหน้า โดยระบบนี้ถูกออกแบบให้อยู่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันซึ่งประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ นั่นคือฝั่งผู้ใช้งานและฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ดังรูปที่ 4

ฝั่งผู้ใช้ ประกอบด้วยสององค์ประกอบก็คือ กล้องสำหรับถ่ายภาพและเว็บเบราว์เซอร์ กล้องถ่ายภาพเป็นสิ่งที่

ที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบนี้ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเข้าสู่รูปภาพ ในที่นี้จะใช้กล้องเว็บแคมเป็นอุปกรณ์หลักในการนำเข้าสู่รูปภาพ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย และมักจะมีติดตั้งมากับเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว หรือหากไม่มี ก็สามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้สะดวก ทำให้เหมาะสมแก่การซื้อมาเป็นจำนวนมากเพื่อใช้งานในสถานศึกษา ในส่วนของเว็บเบราว์เซอร์นั้น หัวใจสำคัญคือการใช้งาน WebRTC API ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่ในเบราว์เซอร์รุ่นใหม่ส่วนใหญ่ในขณะนี้ ซึ่งสองฟังก์ชันหลักของ WebRTC API ที่นำมาใช้ก็คือ getUserMedia() และ toDataURL() ฟังก์ชัน getUserMedia() เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการร้องขอการเข้าถึงไปยังอุปกรณ์สื่อนำเข้า (กล้องเว็บแคม) โดยตรง และใช้ toDataURL() ซึ่ง



รูปที่ 4. โครงสร้างของระบบบันทึกเวลาเรียน

เป็นฟังก์ชันสำหรับการแปลงภาพลงในรูปแบบของ base64 DataURL เพื่อส่งข้อมูลภาพผ่านโปรโตคอล HTTP ไปยังฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ดังโครงสร้างของระบบซึ่งแสดง

องค์ประกอบหลักในฝั่งเซิร์ฟเวอร์ก็คือฐานข้อมูล MySQL ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลผู้ใช้และข้อมูลภาพที่ถูกเก็บรวบรวมจากระบบในเบื้องต้นและภาพใหม่ที่เข้ามาเมื่อมีการใช้ระบบ ขั้นตอนการบันทึกภาพที่ส่งผ่านโปรโตคอล HTTP มานั้น เราใช้งานฟังก์ชัน `base64_decode()` ใน PHP สำหรับการถอดรหัส DataURL เพื่อให้กลับมาเป็นภาพในรูปแบบไฟล์ JPG นอกจากนี้เรายังมีโมดูลของการตรวจจับใบหน้าสำหรับภาพก่อนการประมวลผลและโมดูลของการรู้จำใบหน้าสำหรับระบุตัวตนนักเรียน

ระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับและรู้จำใบหน้าถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ภาษา HTML5 และ JavaScript ในการพัฒนาส่วนใช้งานเว็บบนฝั่งผู้ใช้ และใช้ภาษา PHP กับฐานข้อมูล MySQL โดยในส่วนของโมดูลตรวจจับและรู้จำใบหน้านั้นใช้ภาษา Python เป็นหลัก

ความละเอียดของภาพที่ใช้อยู่ในระดับ VGA (640 x 480 พิกเซล) ซึ่งถูกเลือกมาใช้เป็นขนาดของภาพที่จะนำมาสร้างฐานข้อมูล และภาพนำเข้าเพื่อทดสอบ เนื่องจากการทดสอบพบว่า เป็นความละเอียดที่มีรายละเอียดของใบหน้าที่ดีเพียงพอ หากใช้ภาพที่มีขนาดเล็กกว่านี้ แม้จะเป็นการประหยัดพื้นที่และหน่วยความจำรวมไปถึงลดการใช้แบนวิธเครือข่ายสำหรับการถ่ายโอนไฟล์และใช้เวลาดำเนินการน้อยลงอีกด้วย แต่อาจเกิดปัญหาในกรณีที่ภาพสามารถเห็นคุณลักษณะของใบหน้าได้ไม่เพียงพอสำหรับการใช้ในกระบวนการการรู้จำใบหน้า โดยภาพทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลแยกสำหรับผู้ใช้แต่ละคนและจะบันทึกเวลาและวันที่ จากนั้นภาพจะถูกประเมินและตรวจสอบคุณภาพต่อไปโดยใช้เกณฑ์เหล่านี้ ได้แก่; ขนาดของใบหน้าในภาพ, ใบหน้าตรง, สามารถเห็น

ได้ชัดโดยไม่มียะไรมาบังหรือปิดตา, ภาพคมชัด, ความสว่างของภาพ, แสงและตำแหน่งของใบหน้า และการทดสอบการตรวจหาใบหน้าโดยใช้ Haar cascade

4. อภิปรายผล

ผลลัพธ์ของการดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การเก็บรวบรวมภาพเพื่อสร้างฐานข้อมูลรูปภาพ และผลลัพธ์ของการใช้ระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับและรู้จำใบหน้า

การเก็บรวบรวมภาพโดยใช้ระบบรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันนั้น ทำให้เราสามารถเก็บรวบรวมภาพใบหน้าของผู้ใช้ทั้งหมด 148 คน โดยแต่ละคนที่มีจำนวนประมาณ 8-11 ภาพ ความละเอียดระดับ VGA สำหรับการประเมินภาพและเตรียมภาพเพื่อนำไปสร้างฐานข้อมูลนั้นพบว่า การตรวจหาใบหน้าโดยใช้ Haar-like features นั้นมีความแม่นยำถึงร้อยละ 76.2 ของภาพทั้งหมด ดังสรุปในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ตารางสรุปผลการตรวจจับใบหน้าด้วยอัลกอริธึม Haar-Like features

	จำนวนภาพ	ร้อยละ (%)
ภาพทั้งหมดที่รวบรวม	1,628	100
ภาพที่ตรวจจับใบหน้าได้	1,249	76.72
ภาพที่ใช้งานไม่ได้	379	23.28

โดยใบหน้าส่วนใหญ่ที่ตรวจจับใบหน้าได้จะมีลักษณะเป็นหน้าตรง ไม่มีสิ่งบดบังดวงตาอย่างเช่นมือหรือผมหน้าม้า เป็นต้น ดังตัวอย่างรูปที่ 5 ก. ภาพที่ตรวจจับใบหน้าไม่ได้จะมีลักษณะเป็นภาพที่มีแว่นตา ผม หรือมีมาบังบางส่วนของใบหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณดวงตา



(ก)

(ข)

รูปที่ 5. ภาพตัวอย่างแสดงผลการตรวจจับใบหน้า



รูปที่ 6. ภาพตัวอย่างจากฐานข้อมูลรูปภาพ



รูปที่ 7. ภาพตัวอย่างชุดรูปภาพสำหรับทดสอบ

และใบหน้ามีมุมเอียง ดังตัวอย่างรูปที่ 5 ข. เมื่อผ่านกระบวนการตรวจจับใบหน้าแล้ว ภาพจะถูกทำการครอบตัด โดยใช้ค่า offset ที่ 0.2 และการปรับขนาดเป็น 100x100 พิกเซล จะได้ภาพใบหน้าที่มีลักษณะ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 ซึ่งภาพเหล่านี้ถูกนำเอาไปใช้เพื่อสร้างโมเดลในการรู้จำใบหน้าสำหรับขั้นตอนต่อไปได้

การทดสอบประสิทธิภาพการรู้จำใบหน้า เพื่อบันทึกเวลาเรียนโดยใช้อัลกอริธึม LBPH ใน OpenCV จำนวน 8 ครั้งด้วยชุดภาพของนักเรียนที่แตกต่างกัน ซึ่งเก็บรวบรวมมาจากการเข้าชั้นเรียนในแต่ละสัปดาห์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 7 ทำให้ได้ภาพที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงแสงเงาและสภาพแวดล้อมที่ต่างกันด้วย ผลปรากฏว่าระบบ

สามารถทำงานดี แต่ค่าเฉลี่ยของอัตราการเรียนรู้ที่ร้อยละ 48.18 จากการทดสอบ 8 ครั้ง ดังสรุปในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ตารางสรุปผลความแม่นยำของการรู้จำใบหน้าด้วยอัลกอริธึม LBPH

ครั้งที่	ภาพทั้งหมด	รู้จำถูกต้อง	ร้อยละ (%)
1	70	43	61.43
2	120	54	45
3	118	56	47.46
4	118	50	42.37
5	115	55	47.82
6	121	45	37.19
7	112	50	44.64
8	42	25	59.52
ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (%)			48.18

ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ความแม่นยำของระบบยังคงอยู่ในระดับต่ำเกินไปสำหรับการนำไปใช้ในห้องเรียนจริง ในลักษณะระบบอัตโนมัติโดยไม่มีผู้ดูแลระบบคอยควบคุม ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์สาเหตุได้จากหลายปัจจัย ปัจจัยแรกคือ ฐานข้อมูลที่ใช้อย่างบุคคล มีจำนวนภาพในฐานข้อมูลที่น้อยเกินไป และไม่ครอบคลุมในทุกการแสดงสีหน้า ปัจจัยที่สองคือสภาพแวดล้อมขณะใช้งานระบบที่ไม่ได้รับการควบคุม โดยเฉพาะในเรื่องของแสง เนื่องจากระบบถูกทดสอบโดยใช้เวลาเรียนต่าง ๆ กันในแต่ละสัปดาห์ แม้ว่าอัลกอริธึม LBPH จะมีข้อดีในเรื่องของการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสงได้ดี แต่กรณีที่แสงเข้ามาในตำแหน่งที่ต่าง ๆ กัน ก็ยังมีผลต่อความแม่นยำของการรู้จำใบหน้า จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบการสร้างฐานข้อมูลภาพ และประสิทธิภาพของอัลกอริธึม เพื่อให้การนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไปในอนาคต

ปัจจัยสุดท้ายคือลักษณะการพัฒนาระบบที่เลือกใช้ เนื่องจากเป็นเพียงการพัฒนาระบบเบื้องต้น จึงเลือกใช้ Facerecognizer สำเร็จรูป ที่แม้จะถูกทดสอบแล้วว่ามี ความแม่นยำดี และมีการทำงานของอัลกอริธึมที่เชื่อถือได้ แต่วิธีการดังกล่าวนี้ทำให้ไม่สามารถแก้ไขตัวแปร หรือปรับเปลี่ยน parameters ได้ตามที่ต้องการ จึงไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นการพัฒนาอัลกอริธึมอย่างมีประสิทธิภาพ สูงสุด

แม้ว่าความแม่นยำของการรู้จำใบหน้าในระบบนี้ จะยังไม่ดีเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดสอบ ระบบเพื่อเก็บรวบรวมภาพ และการบันทึกเวลาเรียนด้วย การตรวจจับและรู้จำใบหน้าเป็นเวลาหนึ่งภาคการศึกษานั้น พบว่าการใช้ระบบช่วยจูงใจให้นักเรียนมาเข้าร่วมชั้น เรียนมากขึ้นจริง โดยผลสรุปนี้ได้มาจากการสังเกต พฤติกรรมของนักเรียนระหว่างทำการทดสอบระบบ เนื่องจากระบบดังกล่าวมีการเปิดใช้งานช่วง 15 นาทีแรก ของคาบเรียนเท่านั้น ดังนั้น ในการทดสอบใช้งานระบบนี้ พบว่านักเรียนกว่าร้อยละ 95 ของห้องมาเข้าเรียนตรง เวลา ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่านอกจากจะช่วยป้องกัน ความผิดพลาดในการบันทึกเวลาเรียน หรือการเช็คชื่อ แทนกันแล้ว หากมีการกำหนดเวลาเปิดปิดระบบให้ สอดคล้องกับลักษณะการสอนในแต่ละรายวิชา ก็จะช่วย จูงใจให้นักเรียนมาร่วมชั้นเรียนมากขึ้นได้

5. บทสรุป

การพัฒนาระบบบันทึกการเข้าเรียนโดยใช้การตรวจจับ และรู้จำใบหน้าในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ผสมผสานกับ เทคโนโลยี WebRTC สำหรับการบันทึกการเข้าร่วมชั้น เรียนของนักเรียนโดยการจับภาพของพวกเขาและเก็บไว้ใน โฟลเดอร์ที่แยกต่างหากสำหรับนักเรียนแต่ละคน วิธีการนี้จะช่วยให้การสรุปรวข้อมูลภาพของนักศึกษาได้ ง่ายขึ้น ในส่วนของขั้นตอนที่สองคือการพัฒนาระบบการ

บันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้า ใช้ Haar-like features เป็นขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้าและใช้ อัลกอริธึม LBPH เป็นโมดูลสำหรับการรู้จำใบหน้า ซึ่ง ระบบที่ได้พัฒนามาสามารถทำงานได้ดีในการสรุปรว ข้อมูลภาพของนักเรียน อนึ่งความถูกต้องของการตรวจจับ และรู้จำใบหน้าที่ยังคงมีระดับไม่สูงมากนัก เนื่องจากเป็น เพียงการศึกษาเบื้องต้นเท่านั้น แม้จะไม่บรรลุ วัตถุประสงค์ในการช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้สอน อย่างไรก็ดี วิธีการนี้สามารถจูงใจนักเรียนได้ โดยการเปิด ปิดระบบเป็นเวลานานสามารถช่วยกระตุ้นให้นักเรียนมา เข้าเรียนได้เป็นอย่างดี ในขั้นตอนหลักของการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับและรู้จำใบหน้า

จากผลการทดสอบงานวิจัยนี้ สามารถนำไป ปรับปรุงและต่อยอดได้หลายวิธีการ เช่น การปรับ กระบวนการสรุปรวข้อมูลรูปภาพ เพื่อให้ได้รูปภาพที่มี จำนวนมากขึ้น และมีความหลากหลายครอบคลุม รวมถึง ศึกษาและปรับเปลี่ยนวิธีการในการประมวลผลภาพ เบื้องต้น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะอัลกอริธึม และ ปรับเปลี่ยนลักษณะการพัฒนาโมดูลรู้จำใบหน้า ให้ สามารถทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น และสุดท้าย คือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบรู้จำใบหน้า เพื่อควบคุม และลดผลกระทบเมื่อนำระบบไปใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Jafri and H.R. Arabnia, "A survey of face recognition techniques," Journal of Information Processing Systems, vol. 5, No. 2, pp. 41-68, 2009.
- [2] A. Zeidan, A. Lehmann, and U. Trick, "WebRTC enabled multimedia conferencing and collaboration solution," World

- Telecommunications Congress, pp. 1-6, 2014.
- [3] H. Wang, B. Kang and D. Kim, "PFW: A Face Database in the Wild for Studying Face Identification and Verification in Uncontrolled Environment," 2013 2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition, Naha, 2013, pp. 356-360.
- [4] S. Loreto and S. Romano, "Real-Time Communications in the Web: Issues, Achievements, and Ongoing Standardization Efforts", IEEE Internet Computing, Vol. 16, pp. 68-73, 2012.
- [5] C. Jennings, T. Hardie and M. Westerlund, "Real-time communications for the web", IEEE Communications Magazine, vol.51, no.4, pp.20-26, 2013
- [6] G. Audin, "9 Advantages of WebRTC", Mar.2014;<http://www.networkcomputing.com/unified-communications/9-advantages-of-webrtc/a/d-id/1113301>.
- [7] P. Edholm, "The Benefits of WebRTC", Dec.2012;<http://www.webrtcworld.com/topics/from-the-experts/articles/319037-benefits-webrtc.htm>
- [8] Lewis, M.B. and Ellis, H.D. (2003). "How we detect a face: A survey of the psychological evidence". International Journal of Imaging Systems and Technology, 13, 3-7. DOI: 10.1002/ima.10040.
- [9] Jay P. Kapur, "Face Detection in Color Images," [Online]. Available: <http://web.archive.org/web/20090723024922/http://geocities.com/jaykapur/face.html>
- [10] Viola, Paul, and Michael J. Jones. "Robust real-time face detection." International journal of computer vision 57, no. 2 (2004): 137-154.
- [11] OpenCV Document, "Face Detection using Haar Cascades", from OpenCV 3.1.0-dev documentation. [Online]. Available: http://docs.opencv.org/trunk/d7/d8b/tutorial_py_face_detection.html.
- [12] OpenCV Official website [Online], Available: <http://www.opencv.org>, 2015.
- [13] Ahonen T., Hadid A., Pietikainen M., "Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on , vol.28, no.12, pp. 2037-2041, 2006.
- [14] Jha, Abhishek. "Class Room Attendance System Using Facial Recognition System." IJMSTM, ISSN (2007): 2319-8125.
- [15] Fuzail, Muhammad, et al. "Face Detection system for Attendance of Class' Students." International Journal Of Multidisciplinary Sciences And Engineering 5.4 (2014).
- [16] Kar, Nirmalya, et al. "Study of implementing automated attendance system using face recognition technique." International Journal of computer and communication engineering 1, no. 2 (2012): 100.