การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้า

พิชญา จตุรวัฒน์, ภาสินี พงศ์มานะวุฒิ และ มานพ พันธ์โคกกรวด

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: s4070059@kmitl.ac.th, s4070071@kmitl.ac.th, manop@.it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การบันทึกเวลาเรียนโดยส่วนใหญ่มักจะใช้การเรียกชื่อเพื่อระบุตัวตนของนักเรียน ซึ่งหากมีนักเรียนจำนวนมากจะทำให้เสียเวลา รวมทั้งอาจมีการตกหล่นและขาดความแม่นยำในการบันทึกเวลาเรียน ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาและพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้าเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เริ่มจากกระบวนการสร้างฐานข้อมูลรูปภาพ และการพัฒนาระบบเพื่อนำไปใช้งาน เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในห้องเรียนจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดสอบพบว่าระบบนี้สามารถช่วยให้การบันทึกเวลาเรียนสะดวกมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นเงื่อนไขจูงใจให้ผู้เรียนมาเข้าชั้นเรียนได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นระบบที่มีลักษณะเป็นเว็บแอพพลิเคชั่นยังสามารถใช้งานได้โดยไม่จำเป็นต้องลงโปรแกรมเสริม เพียงแค่มีคอมพิวเตอร์กับกล้องเว็บแคมสำหรับถ่ายภาพเท่านั้น

คำสำคัญ – ระบบบันทึกเวลาเรียน; การตรวจจับใบหน้า; การรู้จำใบหน้า; WebRTC; ฐานข้อมูลรูปภาพ

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การระบุตัวตนเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านการศึกษาวิจัยและการพัฒนาระบบเพื่อนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันองค์กรต่างๆให้ความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการระบบรักษาความปลอดภัย เพื่อป้องกันข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลที่เป็นความลับขององค์กรมากยิ่งขึ้น องค์กรส่วนใหญ่มักจะใช้บัตรประจำตัว หรือชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านในการระบุและตรวจสอบตัวบุคคล ซึ่งวิธีการเหล่านี้ก็ยังมีข้อบกพร่อง หากบัตรประจำตัว หรือชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านหาย หรือถูกผู้ที่ไม่ใช้เจ้าของนำไปใช้เพื่อสวมรอยและเข้าถึงข้อมูลที่องค์กรไม่ต้องการให้ผู้อื่นรับรู้ อันจะทำให้เกิดความเสียหายร้ายแรงแก่องค์กรได้ ดังนั้นข้อมูลทางกายภาพของมนุษย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบและระบุตัวบุคคลได้เป็นอย่างดี กล่าวคือใช้ลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ลายนิ้วมือ หรือม่านตา หรือใช้พฤติกรรมของมนุษย์เพื่อตรวจสอบและยืนยันตัวบุคคล

ใบหน้านั้นก็เป็นหนึ่งในลักษณะทางกายภาพที่ง่ายต่อการใช้สำหรับการตรวจสอบระบุตัวบุคคล เนื่องจากสามารถมองเห็นได้ง่าย ปลอมแปลงได้ยาก และอุปกรณ์เสริมที่จำเป็นต้องใช้ในระบบมีเพียงอย่างเดียวคือกล้องถ่ายภาพนั่นเอง ดังนั้นการรู้จำใบหน้าจึงเป็นวิธีการที่มีประโยชน์และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการรักษาความปลอดภัย ระบบกล้องวงจรปิด การตรวจสอบและระบุตัวตนบุคคล นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นๆได้อย่างหลากหลาย [1] ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีความคิดที่จะพัฒนาระบบบันทึกการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนโดยใช้การตรวจจับใบหน้าขึ้นมา เพื่อช่วยให้การบันทึกการเข้าชั้นเรียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยปกติแล้วการบันทึกการเข้าชั้นเรียนมักจะใช้การขานชื่อ ซึ่งการขานชื่อเป็นกิจกรรมที่อาจจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเรียนการสอนลดลงไป ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของ

ระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้าที่พัฒนาขึ้นจึงมีเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการบันทึกการเข้าร่วมชั้นเรียนของนักเรียน โดยนำการตรวจจับใบหน้ามาประยุกต์ใช้ในระบบนี้ จะทำการตรวจสอบและระบุตัวบุคคลที่ได้ง่ายขึ้นโดยใช้เอกลักษณ์ของใบหน้าของบุคคลนั่นเอง

ในการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้านั้น เราจะใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม และมีอยู่ในเว็บเบราว์เซอร์รุ่นใหม่ในปัจจุบัน นั่นคือเทคโนโลยี WebRTC ซึ่งเทคโนโลยีนี้ใช้ในการสนับสนุนการสื่อสารระหว่างเว็บเบราว์เซอร์ในลักษณะเรียลไทม์ (Real-time communication) เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในระบบการประชุมทางไกลแบบวิดีโอ [2] โดยจุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือการที่สามารถสร้างการเชื่อมต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับอุปกรณ์นำเข้า (กล้องเว็บแคมหรือไมโครโฟน) ได้โดยตรง โดยที่ไม่จำเป็นต้องลงโปรแกรมเสริมอื่น ซึ่งส่วนนี้เองที่จะช่วยให้ระบบบันทึกเวลาเรียนนั้น สามารถพัฒนาออกมาได้ในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่นที่สามารถนำไปใช้งานกับห้องเรียนใดก็ได้เพียงแค่มีกล้องเว็บแคมกับคอมพิวเตอร์เท่านั้น จึงทำให้การใช้งานระบบทำได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในส่วนต่อไปของบทความนี้จะประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งจะอธิบายถึงนิยามของปัญหา เทคโนโลยี WebRTC อัลกอริธึมการตรวจจับและรู้จำใบหน้า การออกแบบระบบและการสร้างฐานข้อมูลภาพใบหน้า ส่วนที่ 3 การพัฒนา และการประเมินระบบ ส่วนที่ 4 ผลลัพธ์ของการนำระบบไปใช้งานจริง และส่วนที่ 5 บทสรุป

2. ที่มาและความสำคัญ

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับนิยามปัญหาตั้งแต่การบันทึกเวลาเรียนด้วยวิธีการเดิม ตลอดจนปัญหาในการสร้างฐานข้อมูลรูปภาพใบหน้าใหม่ในกรณีที่นำการรู้จำใบหน้ามาประยุกต์ใช้ จากนั้นจะเป็นการอธิบายขั้นตอนการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนที่ออกแบบโดยการผสมผสานเทคโนโลยี WebRTC เข้ามาในระบบเพื่อให้สามารถใช้งานผ่านเว็บแอพพลิเคชั่นได้ รวมทั้งการอัลกอริธึมสำหรับการตรวจจับและรู้จำใบหน้าที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบบันทึกเวลาเรียน

2.1. นิยามปัญหา

ปัจจุบันในสถานศึกษาทั้งระดับโรงเรียนและมหาวิทยาลัยใช้การขานชื่อเพื่อการบันทึกเวลาเรียน เหตุที่ต้องมีการบันทึกเวลาเรียนนั้น ก็เพื่อเป็นการจูงใจให้นักเรียนมาเข้าชั้นเรียนมากขึ้น ทั้งนี้เพราะชั้นเรียนเป็นสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้ที่ผู้เรียนและผู้สอนสามารถมีปฏิสัมพันธ์กันได้มากที่สุด ทั้งการถามตอบ หรือการอภิปรายความเห็นร่วมกัน ซึ่งวิธีการนี้จะใช้เวลามากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับจำนวนของนักเรียนด้วย กรณีที่มีนักเรียนน้อยวิธีนี้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกรวดเร็ว แต่หากมีนักเรียนจำนวนมากก็ยิ่งใช้เวลาในการบันทึกและระบุตัวนักเรียนที่เข้าชั้นเรียนมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่การขานชื่อมักจะใช้เวลาช่วง 15-20 นาทีแรกก่อนที่จะเริ่มทำการเรียนการสอน แน่นอนว่าบางครั้งการบันทึกนี้อาจจะใช้เวลาเกินไปในส่วนของเวลาเรียน ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าหากเปลี่ยนไปใช้ในการทำกิจกรรมอื่นๆ ระหว่างครูกับนักเรียน เช่น การอภิปรายความเห็นร่วมกัน หรือ การถาม-ตอบปัญหา เป็นต้น และแม้ว่าเราจะเปลี่ยนจากการขานชื่อทีละคน เป็นการสแกนบัตร หรือการลงลายมือชื่อ แต่นั่นก็ไม่ช่วยให้นักเรียนมีแรงจูงใจในการมาเข้าชั้นเรียนเท่ากับการขานชื่อ เนื่องจากการสแกนบัตรหรือการลงลายมือชื่อมีช่องโหว่ให้นักเรียนสามารถลงลายมือชื่อแทนกันได้นั่นเอง ดังนั้นการบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้า จึง

น่าจะเป็นวิธีการที่มีประโยชน์ในการจูงใจนักเรียนให้มาเข้าชั้นเรียน รวมถึงวิธีการนี้ยังไม่จำเป็นต้องใช้คนในการบันทึกเวลาเรียนอีกด้วย เนื่องจากระบบสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ จึงเป็นการลดภาระของบุคลากรหรือผู้สอนได้อีกด้วย

การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้านั้นสิ่งสำคัญที่สุด มีสองประการคือการสร้างฐานข้อมูลใบหน้าอ้างอิง และการเลือกอัลกอริธึมในการตรวจจับและรู้จำใบหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างฐานข้อมูลใบหน้านั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยที่คุณภาพของฐานข้อมูลใบหน้า ยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของการรู้จำใบหน้าอีกด้วย ดังนั้นเราควรที่จะเลือกวิธีการสร้างฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการนำไปใช้งานของเรามากที่สุด เพื่อให้ฐานข้อมูลใบหน้าออกมามีคุณภาพมากที่สุดนั่นเอง

2.2. การสร้างฐานข้อมูลรูปภาพใบหน้า

จากการศึกษาค้นคว้าเราได้ทำการวิเคราะห์และสรุปข้อดีข้อเสียของวิธีการเก็บรวบรวมรูปภาพ เพื่อสร้างฐานข้อมูลใบหน้าที่นิยมใช้แต่ละวิธีการดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบ และเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งก็คือการใช้ระบบเพื่อเก็บรวบรวมรูปภาพ

ในขั้นตอนการใช้ระบบเพื่อเก็บรวบรวมรูปภาพไปสร้างเป็นฐานข้อมูลใบหน้าอ้างอิงนั้น จะใช้ระบบที่มีลักษณะเป็นเว็บแอพพลิเคชั่นเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน โดยผู้ดูแลระบบจะทำการกำหนดชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน เพื่อให้ผู้ใช้เข้ามาถ่ายภาพของตนเองเก็บลงในฐานข้อมูล ซึ่งการบันทึกภาพนั้นจะแยกรูปภาพของแต่ละคนออกจากกัน รวมถึงมีการบันทึกวันเวลาที่ถ่ายภาพดังกล่าวไว้ด้วย เพื่อให้สะดวกต่อการนำเอารูปภาพไปใช้งานต่อในกระบวนการเตรียมภาพเพื่อสร้างฐานข้อมูลใบหน้าอ้างอิงต่อไป การเก็บรูปภาพด้วยวิธีการนี้ได้ทำการพัฒนาและนำไปทดสอบกับชั้นเรียนจริงเป็นเวลาหนึ่งภาคการศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า วิธีการนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในการเก็บรวบรวมและสร้างฐานข้อมูลภาพ ทำให้สามารถเก็บภาพนักเรียนจำนวนมากพร้อมๆกัน ซึ่งช่วยประหยัดเวลาได้อีกด้วย

ตารางที่ 1. ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการเก็บรวบรวมรูปภาพ

วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
ถ่ายรูปภาพของผู้ใช้โดยเจาะจงเวลาและสถาน ที่ในการถ่าย ภาพ	- ใช้ได้ดีสำหรับจำนวนผู้ใช้ที่มีไม่มาก - สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรูปภาพได้ง่าย เช่น แสง , องศาของใบหน้า, และการแสดงสีหน้าของผู้ใช้	- ขาดความยืดหยุ่นสำหรับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนของผู้ใช้
ใช้รูปถ่ายของผู้ใช้ที่เคยถ่ายมาก่อนหน้า (กำหนดเป็นไฟล์ดิจิตอล)	- ใช้ได้ดีสำหรับจำนวนผู้ใช้ที่มีจำนวนมาก - ไม่ต้องกำหนดให้ผู้ใช้มาถ่ายรูปด้วยตนเอง	- ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของรูปถ่ายที่ผู้ใช้จะนำมาให้ได้โดยง่าย
ใช้ระบบสำหรับเก็บรวบรวมรูปภาพ	- ใช้ได้ดีสำหรับจำนวนผู้ใช้ที่มีจำนวนมาก - สามารถเก็บรูปถ่ายของผู้ใช้ได้พร้อมๆกันหลายรูป - สามารถจำแนกรูปภาพของผู้ใช้เป็นแต่ละบุคคลได้อัตโนมัติ - มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้ใช้	- ยากต่อการควบคุมท่าทางของผู้ใช้และบางปัจจัยที่ยังสามารถส่งผลต่อคุณภาพของรูปภาพได้

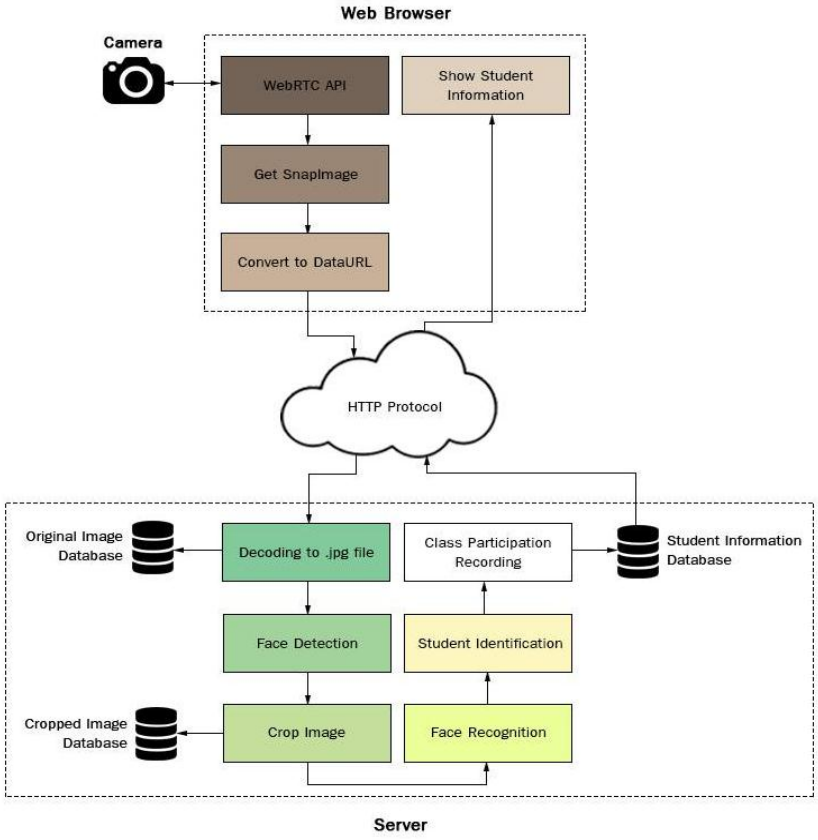
2.3. การออกแบบระบบบันทึกเวลาเรียน

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น เราจึงทำการออกแบบระบบบันทึกเวลาเรียนโดยใช้การตรวจจับใบหน้าขึ้นมา ซึ่งขั้นตอนนี้นั้นจะต้องเริ่มจากการวางโครงสร้างระบบก่อน

เนื่องจากก่อนที่จะลงมือพัฒนาระบบจริงนั้นเราจำเป็นที่จะต้องรู้ว่าภายในระบบควรมีองค์ประกอบอะไรบ้าง เพื่อให้ระบบมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ระบบนี้ถูกออกแบบให้อยู่ในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่นซึ่งประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ นั่นคือฝั่งผู้ใช้งานและฝั่งเซิร์ฟเวอร์

ฝั่งผู้ใช้ประกอบด้วยสององค์ประกอบก็คือกล้องสำหรับถ่ายภาพและเว็บเบราว์เซอร์ กล้องถ่ายภาพเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบนี้ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเข้ารูปภาพ ในที่นี้จะใช้กล้องเว็บแคมเป็นอุปกรณ์หลักในการนำเข้ารูปภาพ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย และมักจะมีติดตั้งมากับเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว หรือหากไม่มี ก็สามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้สะดวก ทำให้เหมาะสมแก่การซื้อมาเป็นจำนวนมากเพื่อใช้งานในสถานศึกษานั่นเอง ในส่วนของเว็บเบราว์เซอร์นั้น หัวใจสำคัญคือการใช้งาน WebRTC API ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่ในเบราว์เซอร์รุ่นใหม่ส่วนใหญ่ในขณะนี้ ซึ่งสองฟังก์ชันหลักของ WebRTC API ที่นำมาใช้ก็คือ getUserMedia() และ toDataURL() ฟังก์ชัน getUserMedia() เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการร้องขอการเข้าถึงไปยังอุปกรณ์สื่อนำเข้า (กล้องเว็บแคม) โดยตรง ข้อดีสำคัญของฟังก์ชันนี้คือการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์นั้นทำได้โดยไม่ต้องลงโปรแกรมเสริมใดๆ และใช้ toDataURL() ซึ่งเป็นฟังก์ชันสำหรับการแปลงภาพลงในรูปแบบของ base64 DataURL เพื่อส่งข้อมูลภาพผ่านโปรโตคอล HTTP ไปยังฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ดังโครงสร้างของระบบซึ่งแสดงในรูปที่ 1

องค์ประกอบหลักในฝั่งเซิร์ฟเวอร์ก็คือฐานข้อมูล MySQL ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลผู้ใช้และข้อมูลภาพที่ถูกเก็บรวบรวมจากระบบในเบื้องต้นและภาพใหม่ที่เข้ามาเมื่อมีการใช้ระบบ ขั้นตอนการบันทึกภาพที่ส่งผ่าน



รูปที่ 1. โครงสร้างของระบบบันทึกเวลาเรียน

โปรโตคอล HTTP มานั้น เราใช้งานฟังก์ชัน base64_decode() ใน PHP สำหรับการถอดรหัส DataURL เพื่อให้กลับมาเป็นภาพในรูปแบบไฟล์ JPG นอกจากนั้นเรามีโมดูลของการตรวจจับใบหน้าสำหรับภาพก่อนการประมวลผลและโมดูลของการรู้จำใบหน้าสำหรับระบุตัวตนนักเรียน

จากรูปที่ 1 ระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้ามีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้ ขั้นตอนแรก คือ เว็บแอพลิเคชันสร้างการเชื่อมต่อโดยตรงไปยังกล้องถ่ายภาพ ผ่านทางฟังก์ชัน getUserMedia () ซึ่งฟังก์ชั่นนี้จะช่วยให้การเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคมที่ติดตั้งไว้นั้นสามารถทำได้โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเสริมเพิ่มเติม เมื่อผู้ใช้ถ่ายภาพจากกล้องถ่ายภาพแล้ว ภาพที่ได้ก็จะได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปแบบ base64 DataURL และการส่งผ่านโปรโตคอล HTTP ไปยังเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นข้อมูลจะถูกทำการถอดรหัส DataURL ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ JPG ที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ก่อนจะระบุรหัสประจำตัวของผู้ใช้และจัดเก็บในฐานข้อมูลโดยแยกเป็นแฟ้มสำหรับแต่ละบุคคล จากนั้นภาพต้นฉบับทั้งหมดจะถูกนำไปผ่านขั้นตอนการตรวจจับใบหน้า โดยทำการตัดส่วนประกอบของของภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าออกไป และจัดเรียงใบหน้าให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพในฐานข้อมูล โดยอาศัยตำแหน่งของดวงตา จากนั้นภาพใบหน้าจะถูกส่งไปยังโมดูลรู้จำใบหน้าเพื่อทำการระบุตัวตน แล้วจะใช้ทั้งภาพที่ถ่าย เวลา และชื่อในการบันทึกการเข้าเรียนเป็นขั้นตอนสุดท้าย

2.4. WebRTC

WebRTC (Web real time communication) [3] เป็นมาตรฐานที่เกิดขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยให้เกิดการสื่อสารแบบเรียลไทม์ระหว่างเว็บเบราว์เซอร์เพื่อส่งและรับข้อมูลแบบมัลติมีเดียในเวลาจริง ในรูปแบบ peer-to-peer (P2P) เทคโนโลยีนี้สามารถลดความซับซ้อนของการพัฒนาระบบเพื่อการสื่อสารเรียลไทม์ระหว่างเบราว์เซอร์และผู้ใช้ได้ ในเบราว์เซอร์ทั่วไป ซึ่งในปัจจุบัน WebRTC API มีอยู่ภายในเว็บเบราว์เซอร์รุ่นใหม่ๆเกือบทุกชนิด

สถาปัตยกรรมของ WebRTC [4] จะมีส่วนประกอบอย่างน้อยสามส่วน หนึ่งคือผู้ให้บริการเว็บแอพลิเคชันและอีกสองผู้ใช้ (Peers) โดย WebRTC จะช่วยให้ข้อมูลมัลติมีเดียส่งผ่านได้โดยตรงระหว่างเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องมีการแทรกแซงใดๆจากเซิร์ฟเวอร์ สำหรับความสามารถในการใช้งานเว็บ (ฝั่งผู้ใช้) ซึ่งการทำงานจะมีการผสานระหว่าง HTML และ JavaScript สามารถมีการสื่อสารระหว่างกันกับเว็บเบราเซอร์หรือโปรแกรมบนมือถือ ผ่าน WebRTC API ซึ่ง API นี้จะมีชุดของฟังก์ชั่นการทำงานหลายประเภท เช่น การจัดการการเชื่อมต่อ ความสามารถในการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูล การควบคุมสื่อ การจัดการ Firewall และอื่นๆอีกมากมาย ที่จะถูกดำเนินการด้วย JavaScript ฯลฯ โดย WebRTC API ช่วยให้เบราว์เซอร์และภาษาสคริปต์สามารถโต้ตอบกับอุปกรณ์สื่อนำเข้า (ไมโครโฟน, กล้องและลำโพง) ได้โดยตรง ทำให้การประมวลผลและส่งผ่านข้อมูลสะดวกรวดเร็วขึ้น

ข้อดีของ WebRTC [5, 6] ประการแรกคือเป็น Open source API ที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่มากที่สุดในเบราว์เซอร์ที่ให้บริการอยู่ทั้งหมด ประการที่สองคือความเป็นอิสระของแพลตฟอร์ม เบราว์เซอร์ใดๆ ก็ตามที่สนับสนุน WebRTC สามารถใช้งานกับระบบปฏิบัติการใด ๆ ก็ได้ ทั้งยังสามารถสร้างการเชื่อมต่อเสียงเรียลไทม์หรือการเชื่อมต่อวิดีโอไปยังอุปกรณ์ WebRTC อื่น หรือเชื่อมต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้ ส่วนประการที่สาม WebRTC มีการเข้ารหัสข้อมูลอยู่เสมอโดยใช้ Secure RTP Protocol (SRTP) ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการจัดการสำหรับการเข้ารหัสและการตรวจสอบของทั้งเสียงและวิดีโอ ประโยชน์และข้อดีสุดท้ายของ

WebRTC ก็คือสามารถที่จะทำงานโดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติมหรือปลั๊กอินเสริมใดๆ

จากข้อดีข้างต้นนี้เว็บแอพพลิเคชั่นกับเทคโนโลยี WebRTC จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้ความสะดวกในเรื่องของการเก็บรวบรวมภาพผู้ใช้บนเว็บแอพพลิเคชั่น และการพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้า เนื่องจากสามารถช่วยให้สามารถใช้งานระบบได้กับคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ซึ่งจะช่วยให้การใช้งาน และการศึกษาวิจัยก็สามารถทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.5. อัลกอริธึมตรวจจับใบหน้า

การตรวจหาใบหน้าในภาพดิจิตอลเป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่ง ขนาด และจำนวนของใบหน้าของมนุษย์ที่อยู่ภายในภาพดิจิตอลและโดยไม่สนใจสิ่งอื่นที่เป็นสภาพแวดล้อมที่อยู่ภายในภาพ การวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าช่วงของคุณสมบัติที่มองเห็น (ด้วยตามนุษย์) เช่นสีและการวางแนววัตถุได้มีผลกระทบความสามารถในการตรวจจับใบหน้า [7]

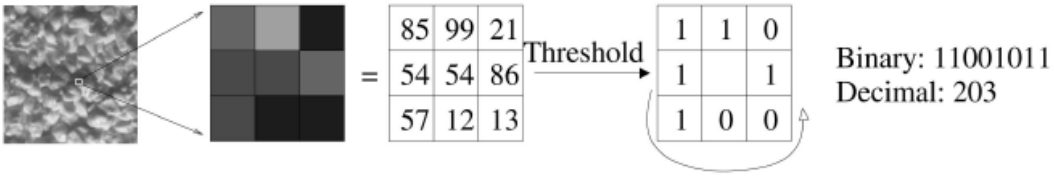
ปัจจุบันซอฟต์แวร์สำหรับการตรวจจับใบหน้ามักได้รับการติดตั้งมาในกล้องดิจิตอลทั่วๆไปจำนวนมาก โดยจะใช้การวาดสี่เหลี่ยมตีกรอบของใบหน้าที่อยู่ในภาพ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ประโยชน์ในการปรับให้ภาพได้รับแสงที่เหมาะสมกับใบหน้าและให้มั่นใจว่าภาพที่ได้จะมีใบหน้าที่ชัดเจนเพียงพอ อีกทั้งซอฟแวร์การตรวจจับใบหน้าสามารถทำงานได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้พอลวิโอลาและไมเคิลโจนส์คิดค้นเค้าโครงการทำงานใหม่ในการตรวจหาวัตถุและทำให้ดีขึ้นสำหรับการตรวจจับใบหน้า ขั้นตอนวิธีนี้คือรู้จักกันดีในอัลกอริทึมที่ชื่อว่า Viola - Jones [8]

วิธีการตรวจจับวัตถุในภาพดิจิตอลที่มีประสิทธิภาพที่เสนอโดย Paul Viola และ Michael Jones คือการตรวจสอบวัตถุที่ใช้พื้นฐานของ Haar-feature ซึ่งพวกเขาได้ทำการปรับกระบวนการทำงานโดยนำแนวคิดของการใช้ Haar wavelet และพัฒนาคุณลักษณะของแนวคิด Haar-like feature [9] โดยพิจารณาจากรูปสี่เหลี่ยมที่อยู่ติดกัน พื้นที่ต่างๆในภาพจะถูกกำหนดและปรากฏในหน้าต่างการตรวจสอบ จากนั้นจะทำการสรุปความเข้มของแต่ละพิกเซลจากแต่ละส่วนของภาพและคำนวณผลรวมเพื่อทำการระบุว่าบริเวณใดคือใบหน้า โดยจะใช้ Haar-like features ในการตรวจสอบความเข้มของสีและกำหนดค่าน้ำหนัก สำหรับผลการคำนวณระหว่างผลที่ได้ความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จะได้รับการจัดหมวดหมู่เพื่อระบุว่าส่วนใดในภาพคือใบหน้าต่อไป [10]

ดังนั้นเราจึงตัดสินใจเลือกใช้ Haar-like features เป็นขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้า เนื่องจากวิธีการนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะมีอัตราความถูกต้องที่เชื่อถือได้และง่ายต่อการพัฒนาโดยใช้ส่วนขยายของ OpenCV (Open source Computer Vision) [11]

2.6. อัลกอริธึมรู้จำใบหน้า

การรู้จำใบหน้าเป็นเทคโนโลยีในด้าน Computer vision ที่เป็นที่นิยมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เทคโนโลยีนี้เป็นการใช้เทคนิคในการระบุหรือตรวจสอบบุคคลทั้งจากภาพดิจิตอลหรือวิดีโอ โดยการเปรียบเทียบจากลักษณะของใบหน้าที่นำเข้ามาในระบบและลักษะของใบหน้าจากในฐานข้อมูลใบหน้าที่ใช้อ้างอิง กล่าวได้ว่าการรู้จำใบหน้าเป็นวิธีที่สามารถช่วยให้สามารถระบุตัวบุคคลได้ง่ายยิ่งขึ้น แม้จะไม่รู้จักหรือเคยเห็นหน้ากันมาก่อน อีกทั้งยังให้ความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ด้านการรักษาความปลอดภัย รวมถึงเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบระบุตัวตนได้อย่างแม่นยำอีกด้วย การรู้จำใบหน้ามีข้อได้เปรียบที่โดดเด่นกว่าการรู้จำโดยลักษณะทางกายภาพแบบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากวิธีนี้สามารถจับภาพที่เฉพาะบริเวณใบหน้า ซึ่งเป็นส่วนที่มองเห็นได้ง่าย ชัดเจนและ



รูปที่ 2. LBPH Operators

สามารถระบุตัวบุคคลได้โดยที่คนๆนั้นไม่ต้องมีการปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับระบบ

อัลกอริธึมการรู้จำใบหน้ามีสองประเภทหลักๆ คือโดยหลักการ Geometric และ Photometric การรู้จำใบหน้าแบบ Geometric จะใช้องค์ประกอบลักษณะของใบหน้าที่โดดเด่นในการระบุตัวบุคคลโดยใช้ ตำแหน่งของตา จมูก ปาก หรือโครงหน้า มาสร้างเป็นเวกเตอร์เพื่อแทนใบหน้าคนนั้นๆ ส่วนการรู้จำใบหน้าแบบ Photometric face จะใช้วิธีการทางสถิติที่จะทำการสกัดภาพไปเป็นค่าที่เป็นค่าที่เป็นตัวเลข และเปรียบเทียบค่าที่มีในแผ่นแบบ (Template) เพื่อกำจัดความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนของการเตรียมภาพ [12]

สำหรับวิธีการรู้จำใบหน้าที่นำมาใช้ในระบบนี้คือ Local Binary Patterns Histogram (LBPH) [13] ที่ใช้หลักการแบบค่าสถิติ ที่ทำโดยการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ ขนาด 3x3 พิกเซล และคำนวณค่าไบนารี่ความยาว 8 บิท จากค่าสีเทาของแต่ละพิกเซล โดยใช้ค่าสีเทาของพิกเซลตรงกลางเป็นค่า threshold หาค่าสีเทาของพิกเซลนั้นๆมีค่าสูงกว่าพิกเซลตรงกลาง จะแทนบิทนั้นด้วยค่า 1 ถ้าน้อยกว่า จะแทนค่าบิทนั้นด้วย 0 ดังแสดงในรูปที่ 2 แล้วนำค่าไบนารี่ที่ได้จากทุกๆส่วนมากทำการสร้างเป็นเวกเตอร์เพื่อแทนใบหน้านั้นต่อไป จากการใช้ค่าไบนารีนี่เองที่ทำให้อัลกอริธึมนี้มีจุดเด่นอยู่ที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของแสงในภาพได้ดี เพราะไม่ว่าภาพจะมืดหรือสว่างเท่าใด หากจุดกำเนิดแสงเป็นจุดเดียวกันก็จะสามารถสร้างเวกเตอร์ที่มีลักษณะเหมือนกันได้นั่นเอง

นอกจากนี้จากการทดสอบประสิทธิภาพการรู้จำใบหน้าระหว่าง Eigenfaces, Fisherfaces และ LBPH จำนวน 3 การทดลอง โดยใช้ข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลการ LBPH ให้ผลลัพธ์ในการรู้จำใบหน้าได้มีความถูกต้องแม่นยำและสามารถระบุตัวบุคคลได้ถูกต้องมากกว่าอีกสองวิธี ดังแสดงในรูปที่ 3 อีกทั้งยังสามารถพัฒนาได้ง่ายด้วยภาษา Python และส่วนขยายของ OpenCV ทำให้การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้าที่มีความแม่นยำได้อย่างสะดวกรวดเร็วอีกด้วย

3. การดำเนินงาน

ระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้าถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่นโดยใช้ภาษา HTML5 และ JavaScript ในการพัฒนาส่วนใช้งานเว็บบนฝั่งผู้ใช้ และใช้ภาษา PHP กับฐานข้อมูล MySQL สำหรับระบบบนฝั่งเซิร์ฟเวอร์ โดยในฝั่งของผู้ใช้นั้นได้มีการนำเทคโนโลยี WebRTC มาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการถ่ายภาพ ฟังก์ชั่นที่สำคัญคือ getUserMedia ฟังก์ชั่นนี้ใช้สำหรับการเข้าถึงกล้องเว็บแคมโดยผ่านการของอนุญาตจากผู้ใช้ตรง

ความละเอียดของภาพที่ใช้อยู่ในระดับ VGA (640 x 480 พิกเซล) ซึ่งถูกเลือกมาใช้เป็นขนาดของภาพที่จะนำมาสร้างฐานข้อมูล เนื่องจากการทดสอบพบว่าเป็นความละเอียดที่มีรายละเอียดของใบหน้าที่ดีเพียงพอ หากใช้ภาพที่มีขนาดเล็กกว่านี้อาจจะเป็นการประหยัดพื้นที่และหน่วยความจำ รวมไปถึงลดการใช้แบนวิธเครือข่าย

สำหรับการถ่ายโอนไฟล์และใช้เวลาดำเนินการน้อยลงอีกด้วย แต่อาจเกิดปัญหาในกรณีที่ภาพสามารถเห็นคุณลักษณะของใบหน้าได้ไม่เพียงพอสำหรับการใช้ในกระบวนการการรู้จำใบหน้า หากใช้ภาพที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ภาพจะมีรายละเอียดมากขึ้น แต่ก็จะใช้ทรัพยากรมากขึ้นเช่นกัน โดยภาพทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลแยกต่างหากในโฟลเดอร์สำหรับผู้ใช้แต่ละคนและจะบันทึกเวลาและวันที่ จากนั้นภาพจะถูกประเมินและตรวจสอบคุณภาพต่อไปโดยใช้เกณฑ์เหล่านี้ ได้แก่; ขนาดของใบหน้าในภาพ, ใบหน้าตรง, สามารถเห็นได้ชัดโดยไม่มีอะไรมาบังหรือปิดตา, ภาพคมชัด, ความสว่างของภาพ, แสงและตำแหน่งของใบหน้า และการทดสอบการตรวจหาใบหน้าโดยใช้ Haar cascade ใน OpenCV ซึ่งมีส่วนช่วยให้การพัฒนาโมดูลตรวจจับใบหน้าสามารถทำได้ง่ายขึ้น การประเมินผลถูกดำเนินการโดยบุคคลและการทดสอบในขั้นตอนการตรวจจับใบหน้าเบื้องต้น เพื่อเลือกภาพที่เหมาะสมในการนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลใบหน้าสำหรับอ้างอิงต่อไป

ในส่วนของโมดูลรู้จำใบหน้านั้นจะถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา Python โดยใช้อัลกอริธึม LBPH ซึ่งมีอยู่ในส่วนขยายของ OpenCV ในส่วนนี้นั้นก่อนจะทำการพัฒนาโดยก่อนที่จะทำการสร้างโมเดลสำหรับรู้จำใบหน้านั้น รูปภาพที่เก็บรวบรวมมาจะต้องถูกนำไปทำการตรวจจับใบหน้าภายในภาพโดยใช้ Haar cascade ซึ่งมีพื้นฐานมาจากอัลกอริธึม Haar-Like features จากนั้นตัดส่วนที่ไม่ใช่ใบหน้าออกไป และจัดเรียงตำแหน่งของใบหน้า (โดยการหมุนหรือเลื่อนภาพ) ให้อยู่ในแนวเดียวกันโดยอาศัยตำแหน่งของดวงตา จากนั้นนำภาพมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบสีเทา และปรับค่าฮิสโทแกรมของภาพ ก่อนจะนำเอารูปภาพทั้งหมดมาทำการเทรนนิ่งเพื่อสร้างโมเดลในการรู้จำใบหน้าต่อไป

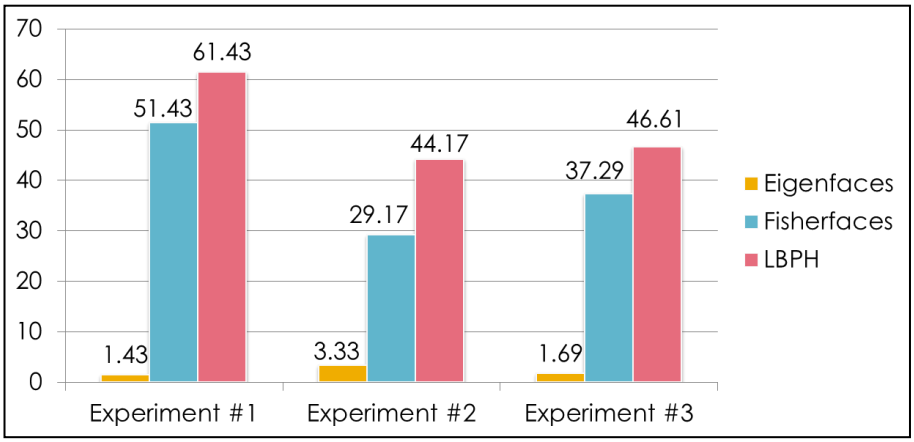
4. ผลลัพธ์

ผลลัพธ์ของการดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การเก็บรวบรวมภาพเพื่อสร้างฐานข้อมูลรูปภาพ การเปรียบเทียบอัลกอริธึมรู้จำใบหน้า และผลลัพธ์ของการใช้ระบบบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้า

การเก็บรวบรวมภาพโดยใช้ระบบรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่นนั้น ทำให้เราสามารถเก็บรวบรวมภาพใบหน้าของผู้ใช้ทั้งหมด 148 คน โดยแต่ละคนที่มีจำนวนประมาณ 8-11 ภาพ ความละเอียดระดับ VGA สำหรับการประเมินภาพและเตรียมภาพเพื่อนำไปสร้างฐานข้อมูลนั้นพบว่า การตรวจหาใบหน้าโดยใช้ Haar-like features นั้นมีความแม่นยำถึงร้อยละ 76.2 ของภาพทั้งหมด ดังสรุปในตารางที่ 2 โดยใบหน้าส่วนใหญ่ที่ตรวจจับได้จะมีลักษณะเป็นหน้าตรง ไม่มีสิ่งบดบังใบหน้าอย่างเช่นมือหรือผมหน้าม้า เป็นต้น ซึ่งภาพเหล่านี้เหมาะสมที่จะนำเอาไปใช้เพื่อสร้างโมเดลในการรู้จำใบหน้าได้

ตารางที่ 2. ตารางสรุปผลการตรวจจับใบหน้าด้วยอัลกอริธึม Haar-Like features

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



รูปที่ 3. ผลลัพธ์การเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริธึมรู้จำใบหน้า (คิดเป็นร้อยละ)

การเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริธึมรู้จำใบหน้านั้น ทำเพื่อหาอัลกอริธึมที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้งานในระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับใบหน้า จากการทดสอบ 3 ครั้ง ด้วยภาพใบหน้าที่แตกต่างกันสามชุด พบว่า LBPH เป็นอัลกอริธึมที่มีความแม่นยำสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ Eigenfaces และ Fisherfaces ในการทดสอบเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนั้นเราจึงเลือก LBPH เป็นอัลกอริธึมรู้จำใบหน้าที่จะพัฒนาในระบบบันทึกเวลาเรียน

สุดท้ายคือการทดสอบประสิทธิภาพการรู้จำใบหน้าเพื่อบันทึกเวลาเรียนโดยใช้อัลกอริธึม LBPH ใน OpenCV จำนวน 8 ครั้งด้วยชุดภาพของนักเรียนที่แตกต่างกัน ซึ่งเก็บรวบรวมมาจากการเข้าชั้นเรียนในแต่ละสัปดาห์ ทำให้ได้ภาพที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงแสงเงาและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันด้วย ผลปรากฏว่าระบบสามารถทำงานได้ดีตามที่คาดหวังไว้ แต่ค่าเฉลี่ยของอัตราการรู้จำอยู่ที่ร้อยละ 48.18 จากการทดสอบ 8 ครั้ง ดังสรุปในตารางที่ 3 ซึ่งผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ความแม่นยำของระบบยังคงอยู่ในระดับต่ำเกินไปสำหรับการใช้ในห้องเรียนจริงโดยไม่มีผู้ดูแลระบบคอยควบคุม ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากหลายประการ ทั้งในเรื่องของจำนวนรูปภาพของแต่ละคนในฐานข้อมูล ปัจจัยแวดล้อมขณะใช้งานระบบที่ไม่ได้รับการควบคุม โดยเฉพาะในเรื่องของแสง ที่แม้ว่าอัลกอริธึม LBPH จะมีข้อดีในเรื่องของการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสงได้ดี แต่กรณีที่แสงเข้ามาในตำแหน่งที่ต่างๆกัน ก็ยังมีผลต่อความแม่นยำของการรู้จำใบหน้า จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนากระบวนการสร้างฐานข้อมูลภาพ และประสิทธิภาพของอัลกอริธึม เพื่อให้การนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงมีประสิทธิภาพสูงสุด

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

5. บทสรุป

การพัฒนาระบบบันทึกการเข้าเรียนโดยใช้การตรวจจับใบหน้าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้นักเรียนมาเข้าเรียนได้เป็นอย่างดี ซึ่งในขั้นตอนหลักที่ผู้พัฒนาได้พัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่น ผสมผสานกับเทคโนโลยี WebRTC สำหรับการบันทึกการเข้าร่วมชั้นเรียนของนักเรียนโดยการจับภาพของพวกเขาและเก็บไว้ในโฟลเดอร์ที่แยกต่างหากสำหรับนักเรียนแต่ละคน วิธีการนี้จะช่วยให้การสร้างฐานข้อมูลภาพของนักศึกษาได้ง่ายขึ้น ขั้นตอนที่สองคือการพัฒนาระบบการบันทึกเวลาเรียนโดยการตรวจจับใบหน้า ใช้ Haar-like features เป็นขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้าและใช้อัลกอริธึม LBPH เป็นโมดูลสำหรับการรู้จำใบหน้า ซึ่งระบบที่ได้พัฒนามาสามารถทำงานได้ดีในการสร้างฐานข้อมูลภาพของนักเรียน อนึ่งความถูกต้องของการจดจำใบหน้ายังอยู่ภายใต้การดำเนินการ ซึ่งผู้พัฒนายังต้องปรับปรุงขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้นของภาพโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมมากขึ้น และสำหรับการเตรียมความพร้อมก่อนที่จะสร้าง training set ของภาพและตั้งค่าระบบก่อนมีการการใช้งานก่อนการนำใช้กับระบบจริงการซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของทั้งแอพพลิเคชั่น

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558

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] 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.

[4] C. Jennings, T. Hardie and M. Westerlund, “Real-time communications for the web”, IEEE Communications Magazine, vol.51, no.4, pp.20-26, 2013

[5] G. Audin, “9 Advantages of WebRTC”, Mar.2014;http://www.networkcomputing.com/unified-communications/9-advantages-of-webrtc/a/d-id/1113301.

[6] P. Edholm, “The Benefits of WebRTC”, Dec.2012;http://www.webrtcworld.com/topics/ from-the-experts/articles/319037-benefits-webrtc.htm

[7] 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.

[8] PC Plus, “How face detection works IN DEPTH” from PC plus Issue 296 July 18th 2010. [Online]. Available: http://www.techradar.com/news/software/a

pplications/how-face-detection-works-703173.

[9] OpenCV Document, “Face Detection using Haar Cascades”, from OpenCV 3.0.0-dev documentation. [Online]. Available: http://docs.opencv.org/trunk/doc/py_tutorials/py_objdetect/.

[10] Wiki Pedia “Haar-Like Features” [Online]. Available: http://en.wikipe dia. org/wiki/ Haar-like_features.

[11] OpenCV Official website [Online], Available: http://www.opencv.org, 2015.

[12] Wiki Pedia. “Face recognition System.” [Online].Available: http://en.wikipedia.org /wiki/ Facial_recognition_system.

[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.