

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์วิเคราะห์สุขภาพดวงตาด้วยการรู้จำภาพและการประยุกต์ใช้ เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

ณัฐวดี หงษ์บุญมี^{1,*}, ธนวัฒน์ สิทธิโชคชัยศิริ²

^{1,2}ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Received: 17 October 2019

Revised: 11 January 2021

Accepted: 12 January 2021

บทคัดย่อ

การตรวจคัดกรองดวงตาช่วยให้ค้นพบความผิดปกติของดวงตาในระยะเริ่มแรกและช่วยให้ค้นพบโรคเกี่ยวกับดวงตาในขณะที่ยังไม่แสดงอาการทำให้รักษาได้ทันท่วงทีก่อนที่จะลุกลามจนรุนแรงและอาจสูญเสียดวงตาไปในที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ดวงตาจากภาพถ่ายเพื่อวินิจฉัยปัญหาสุขภาพดวงตาในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนโดยนำเทคนิคการรู้จำภาพและเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ กรอบแนวคิดงานวิจัยประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองจำแนกภาพด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกแบบคอนโวลูชันที่มีการใช้ขั้นตอนวิธีโมบายเน็ตผ่านไลบรารีเทนเซอร์โฟลสำหรับการจำแนกภาพ ซึ่งฝึกสอนให้สามารถจำแนกภาพจำนวน 7 ประเภท ได้แก่ โรคตาแดง ตาอักเสบ ต้อลม ต้อเนื้อ ต้อกระจก ต้อหินและต้อต้อ โดยสอนด้วยภาพโรคตาประเภทละ 100 ภาพ ฝึกสอนจำนวน 500 รอบ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำที่สูงถึง 96.40% จากนั้นนำแบบจำลองไปพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน พัฒนาด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอร่วมกับไลบรารีเทนเซอร์โฟล ผลการทดสอบความแม่นยำพบว่าโปรแกรมประยุกต์สามารถจำแนกภาพโรคตาได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 85.71% สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมประยุกต์นี้มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาสุขภาพดวงตาด้วยตนเองเบื้องต้นได้

คำสำคัญ: โรคตา การจำแนกหมวดหมู่ภาพ การเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: nattavadeeho@nu.ac.th

The Development of Application for Analysis of Eye Health with Image Recognition Using Deep Learning Technique

Nattavadee Hongboonmee^{1,*}, Thanawat Sittichokchaisiri²

^{1,2}Department of Computer Science and Information Technology,
Faculty of Science, Naresuan University

Received: 17 October 2019

Revised: 11 January 2021

Accepted: 12 January 2021

Abstract

Eye screening helps to detect eye disorders at an early stage and helps to diagnose eye diseases while still showing no symptoms, allowing treatment before symptoms become severe and may lead to losing the eyes. The aim of this research was to propose an image analysis method for diagnosing eye health problems based on smartphone application using image recognition technique, and deep learning technique. The research framework consists of creating a classification model with deep learning convolutional neural network, using the Mobile Net algorithm through the TensorFlow library for image classification, in which the trainers can classify seven types of images, including pink eye, style, pinguecula, pterygium, cataract, glaucoma and normal eye, each type consists of 100 images to be used as the model for 500 rounds of training. The results of the study indicated that the model was highly efficient with 96.40% accuracy. Then, the model was further developed for connecting with the user through the application via smartphone for ease of use. Application development used the Android Studio program and TensorFlow library. As for the results of application accuracy testing, it was found that the application could classify seven types of image with an average accuracy of 85.71%. In conclusion, this application is effective and can be used for preliminary risk analysis and screening for eye health problems by oneself.

Keywords: Eye disease, Image classification, Deep learning, Convolutional neural network

* Corresponding Author; E-mail: nattavadeeho@nu.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดวงตาเป็นอวัยวะที่สำคัญของร่างกายถึงแม้โรคเกี่ยวกับดวงตาจะไม่ทำให้เสียชีวิตแต่ก็รบกวนการดำเนินชีวิต และการมองเห็นของผู้คนในชีวิตประจำวัน บางครั้งอาการผิดปกติเกี่ยวกับดวงตาอาจไม่แสดงในระยะแรกถ้าปล่อยไว้ อาการป่วยอาจรุนแรงถึงขั้นสายตาบอดได้ (Kraiphibun, 2013) ดังนั้นการตรวจคัดกรองสุขภาพสายตาจึงมีความสำคัญเพื่อป้องกันและหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการเป็นโรคตาที่รุนแรงจึงควรให้ความสนใจและตรวจสุขภาพตาเป็นประจำเพื่อการมองเห็นที่ชัดเจนไปอีกนาน แต่ปัญหาของคนส่วนมากในปัจจุบันที่ไม่ค่อยไปตรวจสุขภาพดวงตานั้นคือโรงพยาบาลมีจำนวนผู้ป่วยมากต้องใช้เวลาในการรอคิวตรวจทำให้ประชาชนส่วนหนึ่งไม่อยากเสียเวลาในการทำงานไปตรวจสุขภาพดวงตา จากปัญหาดังกล่าวถ้ามีเครื่องมือที่สามารถตรวจคัดกรองสุขภาพสายตาได้ด้วยตนเองก็จะช่วยให้ประชาชนสามารถตรวจสุขภาพสายตาได้ด้วยตนเองอย่างสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจคือการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์จำแนกภาพ ขั้นตอนวิธีการที่เข้ามาใช้ร่วมกันที่น่าสนใจขั้นตอนหนึ่งคือขั้นตอนวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันเนื่องจากความสามารถในการเรียนรู้จำแนกข้อมูลแบบอัตโนมัติและความแม่นยำที่สูง (Jmour et al., 2018) นอกจากนี้ความแพร่หลายของอุปกรณ์สมาร์ทโฟนทำให้เล็งเห็นว่าถ้าสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมาร์ทโฟนร่วมกับการเรียนรู้เชิงลึกมาช่วยในเรื่องของการวิเคราะห์สุขภาพดวงตาก็จะช่วยคัดกรองความเสี่ยงการเกิดโรคตาที่รุนแรงได้

ดังนั้นจากที่กล่าวข้างต้น คณะผู้ศึกษาจึงนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายร่วมกับ การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อวิเคราะห์ปัญหาสุขภาพดวงตาและนำขั้นตอนวิธีที่ได้ทั้งหมดมาพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์ (Application) บนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โปรแกรมประยุกต์นี้สามารถตรวจคัดกรองสุขภาพดวงตาด้วยการถ่ายภาพจากกล้องสมาร์ทโฟนพร้อมทั้งแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพดวงตาเบื้องต้น ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคตาที่รุนแรงเนื่องจากถ้าผู้ใช้ทราบว่าคุณภาพสายตาของตนเองมีแนวโน้มที่จะเสี่ยงต่อโรคจะได้ทำการรักษาได้ทันทั่วๆไปที่ก่อนที่จะมีอาการจะรุนแรงและอาจสูญเสียดวงตาไปในที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

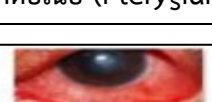
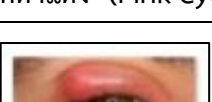
1. เพื่อสร้างแบบจำลองจำแนกภาพโรคตาที่มีประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ช่วยวิเคราะห์ปัญหาสุขภาพดวงตาจากภาพถ่ายผ่านสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. โรคตา

โรคตาเป็นโรคที่พบได้บ่อยพบได้ในทุกอายุตั้งแต่เด็กแรกเกิดไปจนถึงผู้สูงอายุเป็นความผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับดวงตา (Kraiphibun, 2013) และอาจส่งผลถึงการมองเห็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคตาเกิดได้จากสาเหตุเดียวหรือมีหลายสาเหตุร่วมกัน ประเภทของโรคตาที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มาจากโรคตาที่พบได้บ่อยจำนวน 6 โรค (Asakun, 2017) ประกอบด้วยโรคต้อกระจก ต้อหิน ต้อเนื้อ ต้อลม ตาแดง ตากุ้งยิง รายละเอียดและลักษณะอาการของโรคตาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะและรายละเอียดของข้อมูลโรคตา (Asakun, 2017)

ภาพอาการของโรคตา	ลักษณะอาการ
 โรคต้อกระจก (Cataract)	โรคต้อกระจกเป็นโรคที่พบได้บ่อยในผู้สูงอายุเกิดจากการเสื่อมของเลนส์แก้วตาทำให้บดบังแสงที่ผ่านเข้าไปในตาทำให้เกิดสายตาทัวมัวหรือฝ้าฟาง
 โรคต้อหิน (Glaucoma)	โรคต้อหินเกิดจากความผิดปกติของน้ำหล่อเลี้ยงตาไหลออกจากตาไม่ได้ ทำให้ความดันตาสูงการมองเห็นลดลงชั่วประสาตาถูกทำลาย พบบ่อยในวัยผู้สูงอายุ
 โรคต้อลม (Pterygium)	โรคต้อลมจะมีลักษณะเป็นก้อนนูนเล็กน้อยสีเหลืองอ่อนขนาดประมาณเท่าหัวไม้ขีดไฟ ซึ่งจะพบบ่อยบนเยื่อตาขาวใกล้ๆ กับขอบตาดำบริเวณทางด้านหัวตาหรือหางตา
 โรคต้อเนื้อ (Pterygium)	โรคต้อเนื้อเกิดจากเยื่อตาที่เกิดการเสื่อมและหนาตัวขึ้นไปบนกระจกตาถึงตาดำพบบริเวณหัวตามากกว่าหางตาและจะค่อยๆ โตลุกลามเข้าไปในตาดำ ซึ่งจะปิดบังการมองเห็นทำให้ตามัวได้
 โรคตาแดง (Pink eye)	ตาแดงเกิดจากการอักเสบหรือติดเชื้อของเยื่อตาติดต่อกันได้ง่าย ลักษณะเป็นเนื้อเยื่อบางใสที่คลุมอยู่ด้านในของเปลือกตาและบนตาขาว โรคตาแดงพบได้บ่อยและมักระบาดในช่วงฤดูฝน
 โรคตากุ้งยิง (Stye)	ตากุ้งยิงเป็นโรคที่เกิดจากการอักเสบของต่อมไขมันบริเวณเปลือกตา ซึ่งจะสังเกตได้จากการที่มีตุ่มแดงนูนที่บริเวณเปลือกตา มักจะมีการปวดร่วมด้วยในบางคนอาจจะมีอาการตาแดงหรือเป็นหนองร่วมด้วย

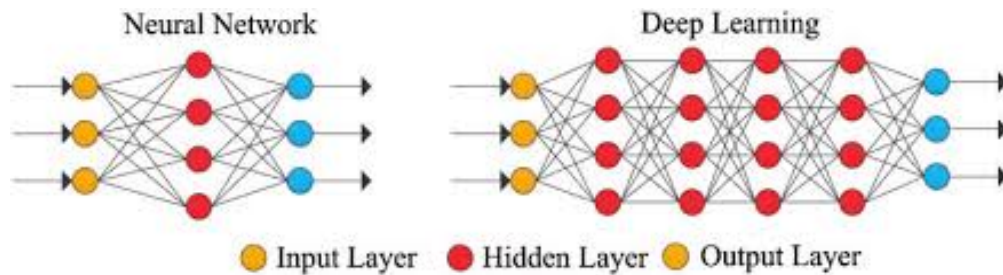
2. การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ (Asanathip and Boonlue, 2015) การรู้จำภาพ (Image Recognition) เป็นเทคนิคหนึ่งของการประมวลผลภาพที่ถูกนำมาใช้ในการรู้จำภาพหรือสิ่งที่สนใจในสื่อดิจิทัล วัตถุในภาพแต่ละชิ้นจะผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนก่อนที่จะถูกวิเคราะห์และสรุปผลออกมาเป็นวัตถุประเภทใด

3. การเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นวิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Gardezi et al., 2017) โดยนำระบบโครงข่ายประสาท (Neural Network) มาซ้อนกันหลายชั้น (Layer) และทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่าง (ภาพที่ 1) ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจับรูปแบบ (Pattern) หรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล การจัดหมวดหมู่ข้อมูลของการเรียนรู้เชิงลึกจะรับข้อมูลดิบเข้าทันทีและทำการประมวลผลอัตโนมัติเพื่อหาข้อมูลตัวอย่างที่จำเป็นในการตรวจจับรูปแบบหรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล ความสามารถ

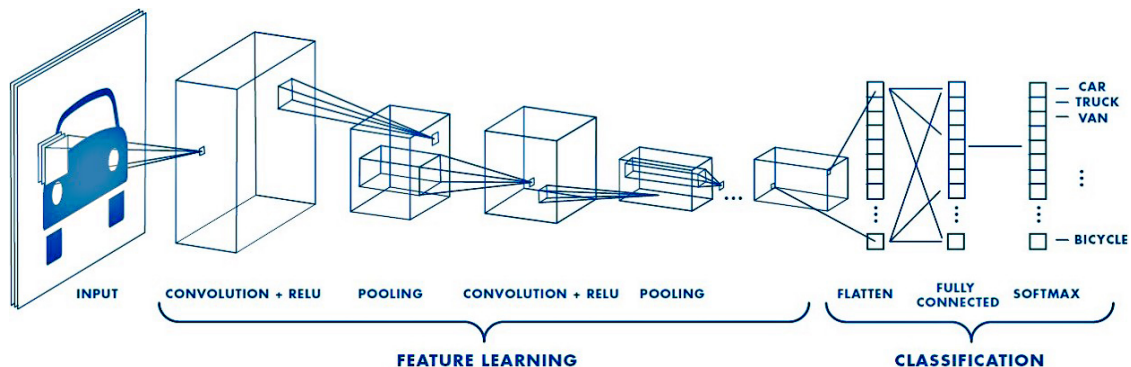
ในการเรียนรู้และจดจำคุณลักษณะอัตโนมัติทำให้การเรียนรู้เชิงลึกเป็นประโยชน์สำหรับการใช้งานในสถานการณ์ต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของการเรียนรู้เชิงลึก (Xing and Du, 2018)

4. โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) เป็นรูปแบบหนึ่งของการเรียนรู้เชิงลึกที่เป็นลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning Neural Network) โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้จดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ (Jmour et al., 2018) หลักการทำงานของ CNN มี 3 ส่วนดังนี้ (1) ส่วนรับข้อมูล (Input) รับเข้าข้อมูลหรือวัตถุ (2) ส่วนการประมวลผลเป็นชั้นๆ (Hidden Layer) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ (Feature Learning) และการคัดแยกประเภทของภาพ (Classification) และ (3) ส่วนแสดงผลลัพธ์ (Output) การคัดแยกคุณสมบัติเป็นผลมาจากการเรียนรู้จำนวนหลายชั้นมาวิเคราะห์จนได้คำตอบแสดงคุณลักษณะของแต่ละภาพที่มองเห็น (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Saha, 2018)

5. ไบรารีเทนเซอร์โฟล

เทนเซอร์โฟล (TensorFlow) เป็นโอเพ่นซอร์สไลบรารีของกูเกิล (Ertam and Aydin, 2017) เขียนด้วยภาษาไพทอน (Python) สำหรับใช้พัฒนาการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อตอบสนองความต้องการของระบบที่นำมาใช้ในการสร้างและรู้จำโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกเพื่อหารูปแบบและสร้างความรู้ เทนเซอร์โฟลแสดงการคำนวณโดยใช้ดาต้าโฟลกราฟซึ่งแต่ละโหนดของเทนเซอร์โฟลแทนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในขณะที่เส้นเชื่อมโยงแทนข้อมูลอาเรย์แบบหลายมิติซึ่งทั้งสองอย่างนี้จะทำงานเชื่อมระหว่างกัน

6. ขั้นตอนวิธีโมบายเน็ต

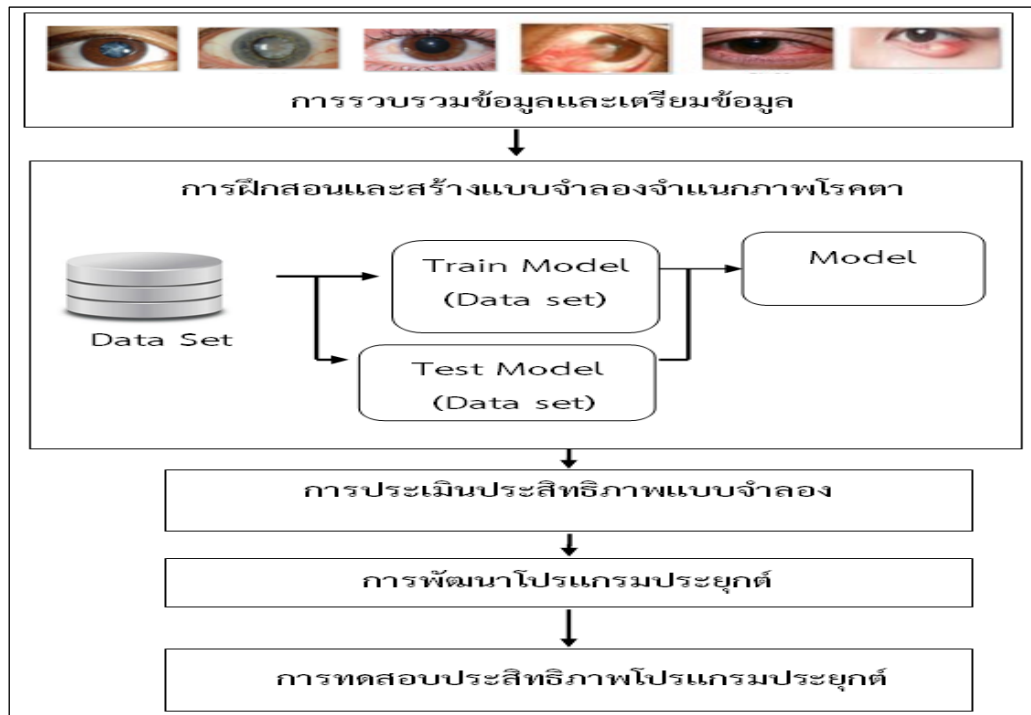
ขั้นตอนวิธีโมบายเน็ต (MobileNet) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Sinha and El-Sharkawy, 2019) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยแอนดรูว์ ฮาวเวิร์ดและคณะในปี พ.ศ. 2560 โดยรูปแบบของโมบายเน็ตถูกพัฒนาให้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่มีขนาดเล็กกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันทั่วไปแต่ประสิทธิภาพเท่ากับโครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีโมบายเน็ตสำหรับการสร้างแบบจำลองจำแนกภาพเนื่องจากขนาดของโครงข่ายการเรียนรู้จากโมบายเน็ตมีขนาดเล็กซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้งานบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่ามิงงานวิจัยที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกอยู่จำนวนหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดังต่อไปนี้ Asanathip and Boonlue (2015) นำเสนอการตรวจคัดกรองภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดด้วยการประมวลผลภาพ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำการการแบ่งภาพเป็น 2 กลุ่ม คือ มีภาวะตัวเหลืองและไม่มีภาวะตัวเหลือง ตัวอย่างภาพถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าบิลิรูบินเพื่อคัดกรองภาวะตัวเหลือง ผลที่ได้สามารถตรวจวัดค่าบิลิรูบินเพื่อคัดกรองภาวะตัวเหลืองในทารกได้ค่าประสิทธิภาพโดยรวม 91.76% Gardezi et al. (2017) นำเสนอวิธีการจำแนกเนื้อเยื่อปกติและผิดปกติจากภาพถ่ายแมมโมแกรมโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกประเภทโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ผลที่ได้สามารถจำแนกประเภทได้อย่างแม่นยำมีค่าความถูกต้อง 100.00% Sarawong et al. (2018) นำเสนอระบบแจ้งเตือนตรวจสอบและระบุสัญญาณที่สูญหายโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึก โดยนำมาใช้ในการแยกลักษณะสายพันธุ์ของสุนัขจากนั้นยังพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนสำหรับผู้ใช้งาน ผลที่ได้สามารถระบุสายพันธุ์สุนัขจำนวน 10 สายพันธุ์ได้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมเท่ากับ 86.50% Jmour et al. (2018) นำเสนอการจำแนกภาพเครื่องหมายจราจรโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึก โดยฝึกสอนให้สามารถรู้จำภาพจำนวน 4 ประเภท จำนวนภาพทั้งหมด 360 ภาพ ผลที่ได้สามารถจำแนกภาพได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ 93.33% และ Phwanwilai and Kangkachit (2019) นำเสนอการตรวจหาโรคพืชอัตโนมัติด้วยโดรนโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกแบบคอนโวลูชัน ซึ่งใช้ภาพที่ได้จากโดรนที่ถ่ายจากมุมสูงภายในสวนทุเรียนของเกษตรกร ผลที่ได้ทำให้สามารถตรวจจับต้นทุเรียนที่เป็นโรคได้มีความแม่นยำเท่ากับ 75.36% จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามิงงานวิจัยหลายชิ้นที่มีประสิทธิภาพดีในการจำแนกภาพจากสภาพแวดล้อมที่คงที่ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกภายใต้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลภาพและรู้จำภาพที่มีผลลัพธ์การทำนายผลที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกภายใต้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันขั้นตอนวิธีโมบายเน็ตมาประยุกต์ใช้สำหรับการจำแนกและรู้จำภาพโรคตาแบบอัตโนมัติผ่านโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

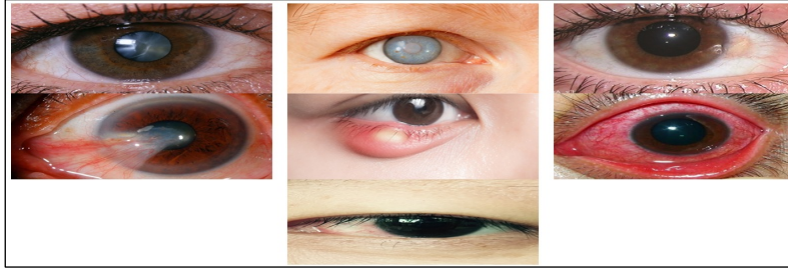
การดำเนินการศึกษานี้สามารถสร้างกรอบแนวคิดในการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (ภาพที่ 3) ได้แก่ (1) การรวบรวมและเตรียมข้อมูล (2) การฝึกสอนและสร้างแบบจำลองจำแนกภาพโรคตา (3) การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (4) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ และ (5) การทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การรวบรวมและเตรียมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลรูปภาพกลุ่มตัวอย่างได้มาจากการถ่ายภาพผู้ป่วยคลินิกจักษุ โรงพยาบาลพิษณุเวช ซึ่งข้อมูลภาพได้มาด้วยวิธีการเลือกแบบอาสาสมัคร (Volunteer Sampling) คณะผู้วิจัยได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัยและให้อาสาสมัครลงนามในเอกสารยินยอมให้ข้อมูลตามหลักปฏิบัติจริยธรรมการวิจัย แต่ข้อมูลภาพที่รวบรวมได้มีจำนวนน้อยไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงดำเนินการรวบรวมข้อมูลภาพเพิ่มเติมจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจากการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์ทำให้คัดเลือกปัญหาสุขภาพดวงตาที่พบได้บ่อยในปัจจุบันมาศึกษาจำนวน 6 โรค ได้แก่ โรคตาแดง ตาอักเสบ ต้อลม ต้อเนื้อ ต้อกระจก ต้อหิน นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลภาพตาปกติอีก 1 คลาส แบ่งรูปภาพการจำแนกโรคตาเป็น 7 คลาส กลุ่มตัวอย่างคลาสละ 100 ภาพรวมรูปภาพทั้งหมด 700 ภาพ การเก็บข้อมูลแต่ละคลาสแยกเป็นโฟลเดอร์ได้ทั้งหมด 7 โฟลเดอร์ ภาพทั้งหมดกำหนดค่าความละเอียดภาพเท่ากับ 224x224 พิกเซล รายละเอียดดังภาพที่ 4 และตารางที่ 2



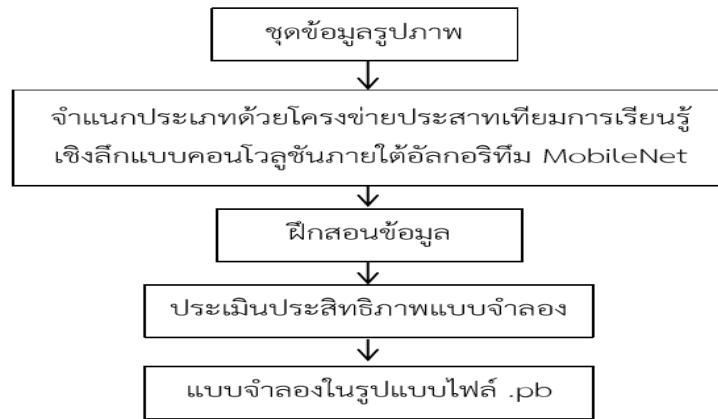
ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพโรคตาแต่ละประเภท

ตารางที่ 2 จำนวนภาพที่นำมาฝึกสอน

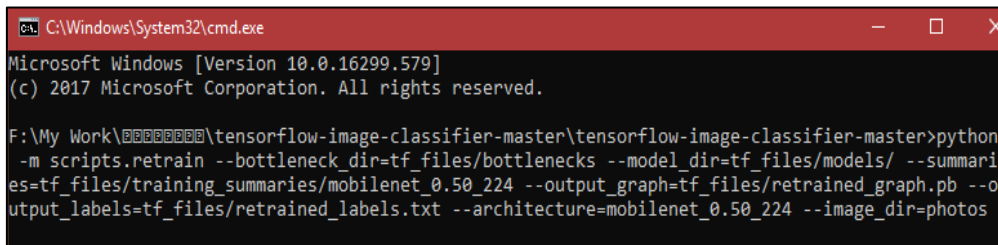
ภาพโรคตา	ข้อมูลฝึกสอน (ภาพ)	ข้อมูลทดสอบ (ภาพ)	จำนวนทั้งหมด (ภาพ)
โรคต้อกระจก	90	10	100
โรคต้อหิน	90	10	100
โรคต้อลม	90	10	100
โรคต้อเนื้อ	90	10	100
โรคตาแดง	90	10	100
โรคตากุ้งยิง	90	10	100
ต้อปักษิ	90	10	100
รวม	630	70	700

การฝึกสอนและสร้างแบบจำลองจำแนกภาพโรคตา

การสร้างแบบจำลองเป็นการนำข้อมูลที่จัดเตรียมไว้มาทำการประมวลผลเพื่อฝึกสอน (Train Data) และสร้างแบบจำลองเพื่อรู้จำและจำแนกภาพโรคตาประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเลือกใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันภายใต้ขั้นตอนวิธีโมบายเน็ต เครื่องมือสำหรับการดำเนินงาน ได้แก่ (1) ไลบรารีเทนเซอร์โฟล ซึ่งเป็นไลบรารีสำหรับพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกมีความสามารถในการรับข้อมูลและทำการประมวลผลอัตโนมัติเพื่อตรวจจบบรูปแบบหรือจัดหมวดหมู่ข้อมูลและสามารถเรียนรู้คุณลักษณะได้แบบอัตโนมัติและ (2) ภาษาไพทอน ซึ่งมีการเรียกใช้ไลบรารีเทนเซอร์โฟลสำหรับฝึกสอนและสร้างแบบจำลอง โดยกำหนดค่าความละเอียดภาพเท่ากับ 224x224 พิกเซล ชุดข้อมูลภาพทั้งหมดไลบรารีเทนเซอร์โฟลจะดำเนินการแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ ข้อมูลฝึกสอน 90% (Train Data) ส่วนที่สอง 10% คือชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data) ดำเนินการฝึกสอนจำนวน 500 รอบ ขั้นตอนการทำงานแสดงในภาพที่ 5 ตัวอย่างโค้ดการฝึกสอนข้อมูลและสร้างแบบจำลองแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการฝึกสอนและสร้างแบบจำลอง



ภาพที่ 6 ตัวอย่างโค้ดการฝึกสอนด้วยภาษาไพทอน

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองใช้วิธีการแบ่งข้อมูลภาพทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบอัตราส่วน 90:10 ข้อมูลทดสอบได้มาจากการสุ่มเลือกจากภาพคลาสโรคตา ซึ่งจะได้ข้อมูลจำนวน 70 ภาพ (คลาสละ 10 ภาพ) มาทำการทดสอบและนำแบบจำลองจำแนกภาพที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทดสอบค่าความถูกต้องของการทำนาย การวัดประสิทธิภาพใช้ตัวชี้วัด ได้แก่ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) (Thongpan et al., 2019) ดังสมการที่ 1

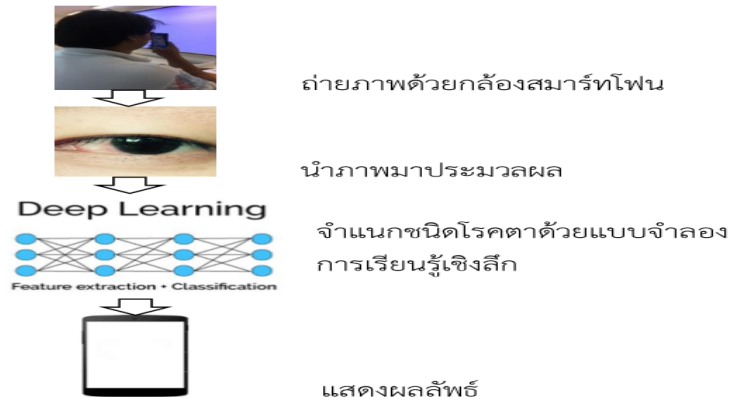
$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}} \quad (1)$$

โดยที่ True Positive (TP) คือ คลาสบอกว่าจริงและทำนายว่าจริง True Negative (TN) คือ คลาสบอกว่าไม่จริงและทำนายว่าไม่จริง False Positive (FP) คือ คลาสบอกว่าจริงและทำนายว่าไม่จริง False Negative (FN) คือ คลาสบอกว่าไม่จริงและทำนายว่าจริง

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อเรียกใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นจะรับข้อมูลภาพจากกล้องสมาร์ทโฟนและจำแนกประเภทของภาพด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

คอนโวลูชัน (CNN) เพื่อนำข้อมูลภาพที่ได้เข้าสู่กระบวนการรู้จำแล้วแสดงผลลัพธ์ระบุประเภทโรคตากลับมาแสดงผลบนหน้าจอสมาร์ทโฟน แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประยุกต์

โปรแกรมประยุกต์พัฒนาด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอและภาษาจาวาเป็นภาษาหลักในการพัฒนาส่วนการเรียกใช้แบบจำลองจำแนกภาพโรคตาใช้ไลบรารีเทนเซอร์โฟลในการเรียกใช้งานแบบจำลองจากเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกแบบคอนโวลูชัน (CNN)

```
main_camera.java | result_maincamera.java | search_list.java | video_list.java | key_youtube.java | int
42 public static final String THAINAME = "com.mindorks.com.example.user.myapplication.THAINAME" ;
43 public static final String GROW_A = "com.mindorks.com.example.user.myapplication.GROW_A" ;
44 public static final String GROW_B = "com.mindorks.com.example.user.myapplication.GROW_B" ;
45 public static final String CAUSE = "com.mindorks.com.example.user.myapplication.CARE" ;
46 public static final String SAVE = "com.mindorks.com.example.user.myapplication.SAVE" ;
47
48
49 private static final int INPUT_SIZE = 224; //detake
50 private static final int IMAGE_MEAN = 128;
51 private static final float IMAGE_STD = 128.0f;
52 private static final String INPUT_NAME = "input"; //detake
53 private static final String OUTPUT_NAME = "final_result";
54 private static final String MODEL_FILE = "file:///android_asset/retrained_graph.pb";
55 private static final String LABEL_FILE = "file:///android_asset/retrained_labels.txt";
56
57 private Classifier classifier;
58 private Executor executor = Executors.newSingleThreadExecutor();
59 private ImageButton imageButton;
60 private ImageButton btnToggleCamera;
61 private CameraView cameraView;
62
63 //get DataGrow
64 private String thainame;
65 private String eye_a;
66 private String eye_b;
67 private String cause;
68 private String save;
```

ภาพที่ 8 แสดงไฟล์แบบจำลองที่นำเข้าโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ

การนำแบบจำลองจำแนกภาพที่ผ่านการฝึกสอนเรียบร้อยแล้วเข้าประมวลผลในโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอเพื่อเรียกใช้ประมวลผลในโปรแกรมประยุกต์ ดำเนินการดังภาพที่ 8 ซึ่งไฟล์ที่ได้จากการฝึกสอนจะมีจำนวนสองไฟล์ประกอบด้วยไฟล์ retrained_graph.pb และไฟล์ retrained_labels.txt

การทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์

การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์ใช้วิธีการทดสอบความถูกต้องของฟังก์ชันการใช้งานและทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมประยุกต์ในการจำแนกภาพโรคตาจำนวนโรคละ 20 ภาพ แล้วทำการวัดค่าร้อยละความถูกต้อง ซึ่งผลจากการทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์มีผลลัพธ์ที่จะกล่าวในลำดับต่อไป

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบแบบจำลองจำแนกภาพโรคตาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึกแบบคอนโวลูชัน ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์และผลการประเมินประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์การจำแนกภาพโรคตาด้วยการหาค่าความถูกต้อง แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

ผลการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองจำแนกภาพโรคตาด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกได้ผลค่าความถูกต้อง (Accuracy) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

ลำดับ	คลาสโรคตา	ค่าความถูกต้อง (%)
1	ต้อกระจก	99.82%
2	ต้อหิน	95.98%
3	ต้อลม	96.74%
4	ต้อเนื้อ	96.74%
5	ตาแดง	92.33%
6	ตากุ้งยิง	94.62%
7	ตูปกติ	98.60%
เฉลี่ย		96.40%

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบการจำแนกภาพโรคตาแต่ละประเภทจำนวน 7 คลาสด้วยการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน พบว่าการจำแนกภาพโรคต้อกระจกมีความถูกต้องสูงกว่าคลาสอื่น คือ 99.82% ส่วนการจำแนกภาพโรคตาแดงมีความถูกต้องต่ำกว่าคลาสอื่น คือ 92.33% เนื่องจากในชุดข้อมูลของคลาสโรคตาแดงภาพมีลักษณะเนื้อเยื่อสีแดงบนตาขาวคล้ายคลึงกับโรคต้อเนื้อ (ดังภาพที่ 9-10) ซึ่งทำให้การทำนายผลมีความคลาดเคลื่อน ค่าความถูกต้องจึงต่ำกว่าคลาสอื่น

ดังนั้น สรุปได้ว่าแบบจำลองจากเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันขั้นตอนวิธีโมบายเน็ตเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกภาพได้ดี ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 96.40% มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ช่วยวิเคราะห์โรคตาแบบอัตโนมัติต่อไป



ภาพที่ 9 ตัวอย่างภาพในคลาสโรคตาแดง



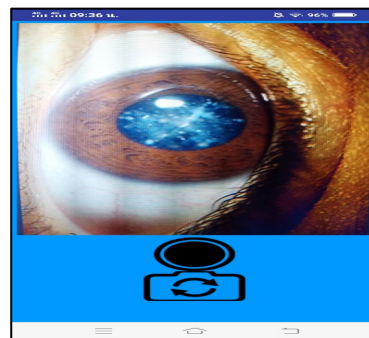
ภาพที่ 10 ตัวอย่างภาพในคลาสโรคต้อเนื้อ

2. ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

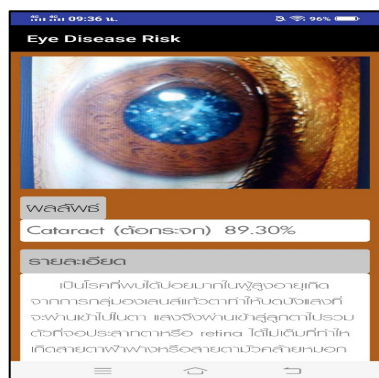
การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์วิเคราะห์สุขภาพดวงตาผ่านการถ่ายภาพจากกล้องสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ หน้าจอหลักแสดงดังภาพที่ 11 ผู้ใช้งานจะต้องใช้กล้องสมาร์ทโฟนถ่ายภาพดวงตาแล้วโปรแกรมประยุกต์จะเรียกใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกภาพโรคตาและแสดงผลลัพธ์หน้าจอระบุประเภทโรคตากลับไปให้ผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 12-13 โดยโปรแกรมประยุกต์จะแสดงว่าเป็นโรคต้อกระจก ต้อหิน ต้อเนื้อ ต้อลม ตาแดง ตากุ้งยิงหรือตาปกติพร้อมระบุเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (ภาพที่ 13) นอกจากนี้โปรแกรมประยุกต์ยังมีเมนูการให้ความรู้เกี่ยวกับโรคตาเพิ่มเติม ดังตัวอย่างภาพที่ 14



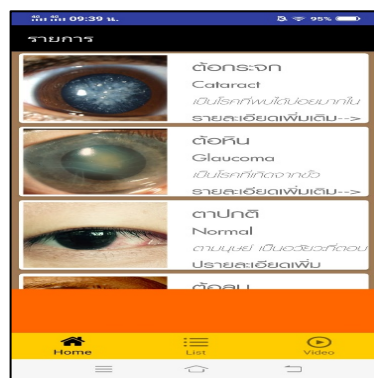
ภาพที่ 11 หน้าจอหลักโปรแกรมประยุกต์



ภาพที่ 12 หน้าจอหลักถ่ายภาพ



ภาพที่ 13 หน้าจอผลลัพธ์การวิเคราะห์



ภาพที่ 14 หน้าจอข้อมูลเกี่ยวกับโรคตา

จากผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ พบว่าโปรแกรมประยุกต์สามารถจำแนกและระบุภาพโรคตาแต่ละภาพได้ ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถถ่ายภาพและวิเคราะห์สุขภาพดวงตาด้วยตนเองเบื้องต้น

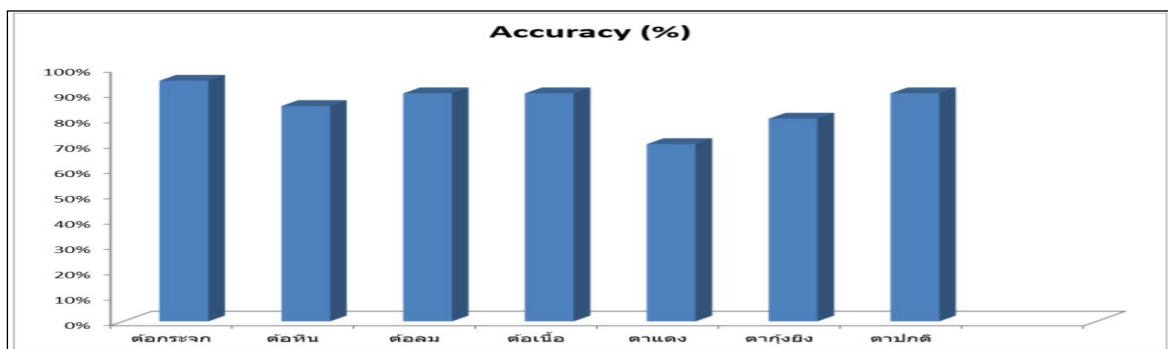
3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์

การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกภาพโรคตา (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นการทดสอบถ่ายภาพดวงตาผ่านกล้องสมาร์ทโฟนจำนวนภาพโรคตาประเภทละ 20 ครั้ง ภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพคนละชุดกับภาพที่นำไปฝึกสอน (Unseen Data) แสดงให้เห็นว่าผลการนำแบบจำลองไปพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ให้ค่าความถูกต้องของการจำแนกภาพโรคตาเฉลี่ย 85.71% โรคตาที่โปรแกรมประยุกต์สามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุดได้แก่ โรคต้อกระจก ได้ค่าความถูกต้อง 95.00% รองลงมาได้แก่ โรคต้อลม โรคต้อเนื้อและต้อปกติ จำแนกได้ถูกต้อง 90.00% โรคต้อหินจำแนก

ได้ค่าความถูกต้อง 85.00% โรคตาข่ายจึงจำแนกได้ถูกต้อง 80.00% ส่วนโรคตาที่ทำนายได้ถูกต้องน้อยที่สุด ได้แก่ โรคตาแดง ค่าความถูกต้องเท่ากับ 70.00% ดังภาพที่ 15

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์

คลาส	จำนวนความถูกต้อง	จำนวนความผิดพลาด	ค่าความถูกต้อง (%)
ต้อกระจก	19	1	95.00%
ต้อหิน	17	3	85.00%
ต้อลม	18	2	90.00%
ต้อเนื้อ	18	2	90.00%
ตาแดง	14	6	70.00%
ตาข่าย	16	4	80.00%
ตาปกติ	18	2	90.00%
เฉลี่ย			85.71%



ภาพที่ 15 กราฟแสดงค่าความถูกต้องการจำแนกโรคตาแต่ละประเภท

อภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสำหรับตรวจสอบปัญหาสุขภาพดวงตาผ่านการถ่ายภาพจากกล้องสมาร์ทโฟนโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้จำภาพและการเรียนรู้เชิงลึกเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ประชาชนทั่วไปที่ต้องการตรวจสอบสุขภาพดวงตาด้วยตนเองเบื้องต้น การดำเนินงานเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างภาพโรคตาโดยแบ่งคลาสที่ต้องการจำแนกออกเป็น 7 คลาส คลาสละ 100 ภาพ จำนวนภาพทั้งหมด 700 ภาพ นำมาสร้างแบบจำลองจำแนกภาพโรคตาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบคอนโวลูชันเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโมบายเน็ตเพื่อให้สะดวกต่อการพัฒนาในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน ดำเนินการฝึกสอนและสร้างแบบจำลองด้วยภาษาไพทอนร่วมกับไลบรารีเทนเซอร์โฟล แบ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นชุดข้อมูลฝึกสอน (Train Data Set) จำนวน 90% และชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data Set) จำนวน 10% รอบการเทรนจำนวน 500 รอบ ผลการศึกษพบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำที่สูงสามารถจำแนกภาพโรคตาได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 96.40% ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี

จากนั้นนำแบบจำลองนี้ไปพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยใช้โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอและภาษาจาวาเป็นภาษาหลักในการพัฒนา

ผลการทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมประยุกต์ พบว่าโปรแกรมประยุกต์สามารถจำแนกและระบุโรคตาได้อย่างแม่นยำมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงถึง 85.17% ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 3 และตารางที่ 4) พบว่าโรคต้อกระจกสามารถจำแนกได้ถูกต้องมากที่สุด ส่วนโรคตาที่จำแนกได้ถูกต้องน้อยที่สุด ได้แก่ โรคตาแดง อาจเป็นเพราะในชุดข้อมูลฝึกสอนของคลาสโรคตาแดง ภาพโรคตาแดงมีลักษณะคล้ายคลึงกับภาพโรคต้อเนื้อซึ่งทำให้การทำนายผลมีความคลาดเคลื่อน แสดงให้เห็นว่าข้อมูลภาพที่นำมาฝึกสอนสร้างแบบจำลองมีผลต่อความแม่นยำในการประมวลผล นอกจากนี้ยังพบว่าคุณภาพของกล้องสมาร์ตโฟนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ค่าความถูกต้องการจำแนกโรคตาของตารางที่ 4 มีค่าน้อยกว่าตารางที่ 3

สรุปได้ว่าโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี สามารถช่วยวิเคราะห์การเกิดปัญหาสุขภาพดวงตาจากภาพถ่ายด้วยตัวเองเบื้องต้นได้ โดยการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากเพียงแค่ถ่ายภาพดวงตาแล้วคลิกหนึ่งครั้งเพื่อทำการวิเคราะห์ ผู้ใช้ก็จะได้ผลลัพธ์ของโรคตาพร้อมคำแนะนำเพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปเป็นแนวทางในการดูแลสุขภาพดวงตาตนเองเบื้องต้นได้

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในส่วนของโปรแกรมประยุกต์ คือ (1) ความละเอียดของกล้องสมาร์ตโฟนมีผลต่อความแม่นยำในการประมวลผล (2) การประมวลผลภาพควรถ่ายภาพในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอและ (3) ระยะห่างระหว่างกล้องสมาร์ตโฟนกับการถ่ายภาพดวงตาไม่ควรห่างกันมากกว่า 3 นิ้ว ถ้ามากกว่าระยะที่กำหนดจะมีผลต่อความแม่นยำในการทำนายได้

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงกระบวนการเตรียมข้อมูลและเพิ่มจำนวนของข้อมูลเพื่อให้การฝึกสอนมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น
2. งานวิจัยนี้ศึกษาการจำแนกภาพด้วยขั้นตอนวิธีโมบายเน็ตเท่านั้น ดังนั้นหากมีการเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกภาพของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกแบบอื่นเพิ่มเติมจะทำให้การจำแนกมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ป่วยคลินิกจักษุ โรงพยาบาลพิษณุเวช จังหวัดพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บุคลากรทางการแพทย์ คลินิกจักษุ โรงพยาบาลพิษณุเวช ที่ช่วยเหลือติดต่อประสานงานตลอดจนคำปรึกษาแนะนำจนงานวิจัยประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- Asakun, S. (2017). *Eye diseases that are found in practice (Revised version 2017)*. Chiang Mai: Chiang Mai University. (in Thai)
- Asanathip, A. and Boonlue, S. (2015). An Applied of Image Processing for Neonatal Jaundice Screening. *Journal of the Police Nurse*, 7 (1), 166-182. (in Thai)

- Ertam, F. and Aydin, G. (2017). Data classification with deep learning using Tensorflow. *The Proceedings of IEEE International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 5-8 October 2017 at Turkey, 755-758.
- Gardezi, S. Awais, M. Faye, I. and Meriaudeau, F. (2017). Mammogram Classification using Deep Learning Features. *The Proceedings of International Conference on Signal and Image Processing Applications (IEEE ICSIPA 2017)*, 12-14 September 2017 at Malaysia, 485-488.
- Jmour, N., Zayen, S. and Abdelkrim, A. (2018). Convolutional Neural Networks for Image Classification. *The Proceedings of International Conference on Advanced Systems and Electrical Technologies (IC_ASET)*, 22-25 March 2018 at Tunisia, 397-402.
- Kraiphibun, P. (2013). *Eye Disease*. Bangkok: Amarin Health. (in Thai)
- Phwanwilai, R. and Kangkachit, T. (2019). Automated Plant Disease Detection using Drones and Deep Learning. *The Proceedings of the 15th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT2019)*, 4-5 July 2019 at Bangkok, 189-194. (in Thai)
- Saha, S. (2018). *A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks-the ELI5 way*. [Online]. Retrieved May 1, 2020, from: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>
- Sarawong, C., Somabut, S. Imtongkhum, P. Pimson, C and So-In, C. (2018). Notification, Validation, and Identification Systems of Lost Dog. *The Proceedings of the 14th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT2018)*, 5-6 July 2018 at Chiang Mai, 678-685. (in Thai)
- Sinha, D. and El-Sharkawy, M. (2019). Thin MobileNet: An Enhanced MobileNet Architecture. *The Proceedings of IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 10-12 October 2019 at New York City, USA. 280-285.
- Thongpan, N., Rattanasiriwongwut, M. and Ketchum, M. (2019). Prototype of Real-time Lane Detection Device. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11, 53-66. (in Thai)
- Xing, W. and Du, D. (2018). Dropout Prediction in MOOCs: Using Deep Learning for Personalized Intervention. *Journal of Educational Computing*, 57(3), 1-23.