

ระบบวิเคราะห์ธนบัตรปลอมด้วยภาพถ่ายผ่านสมาร์ทโฟนโดยใช้เทคนิค
การเรียนรู้เชิงลึก

**The Analysis System of Counterfeit Banknote by Photo on
Smartphone using Deep Learning Technique**

ณัฐวดี หงส์บุญมี* และ คณิน ประทุมทอง

Nattavadee Hongboonmee and Kanin Pratoomthong*

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

Department of Computer Science and Information Technology, Faculty of Science,

Naresuan University

Received: October 18; Revised: November 21, 2020; Accepted: November 30, 2020; Published: December 22, 2020

ABSTRACT – The aims of this research is to develop system used for classifying of counterfeit banknote using image processing with deep learning technology to help the analysis of counterfeit banknotes for use on smartphones. The operation consisted of 5 steps: 1) Collecting 10 samples of datagroup, 100 images per group, a total of 1,000 images. 2) Develop classification modeling using deep convolutional neural network technique with MobileNet algorithms through the TensorFlow library, train our model for 500 rounds. 3) Model evaluation. 4) Development of a user interface as a smartphone application. 5) System testing. The results of the experiment showed that a convolutional neural network model capable of accurately recognizing counterfeit banknotes with accuracy of 98.00%. The results of the application performance test. It was found that the application was able to analyze counterfeit banknotes using smartphone camera images and was able to recognize the images of all 10 types of banknotes with an average accuracy of 80.00%. In conclusion, this application can useful in detect of counterfeit banknotes.

KEYWORDS: Counterfeit Banknote, Image Classification, Convolutional Neural Network, Deep Learning, TensorFlow

บทคัดย่อ - งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบธนบัตรปลอมโดยได้นำกระบวนการประมวลผลภาพร่วมกับเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์จำแนกธนบัตรปลอมสำหรับใช้งานบนสมาร์ทโฟนเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน การดำเนินงานประกอบด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) การรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ประเภท ประเภทละ 100 ภาพรวมทั้งหมด 1,000 ภาพ 2) การสร้างโมเดลจำแนกภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกคอนโวลูชันที่มีการใช้อัลกอริทึม MobileNet ผ่านไลบรารี TensorFlow ฝึกสอนโครงข่ายจำนวน 500 รอบ 3) การประเมินประสิทธิภาพโมเดล 4) การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนและ 5) การทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน ผลการศึกษาพบว่าโมเดลจากโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกคอนโวลูชันมีประสิทธิภาพสูงสามารถจำแนกธนบัตรปลอมได้อย่างแม่นยำโดยได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องคิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 98.00% ส่วนผลการทดสอบ

*Corresponding Author: nattavadeeho@nu.ac.th

ประสิทธิภาพแอปพลิเคชันจากการใช้งานจริง พบว่าแอปพลิเคชันสามารถวิเคราะห์ธนบัตรด้วยการถ่ายภาพจากกล้อง
สมาร์ทโฟนและสามารถจำแนกภาพธนบัตรทั้ง 10 ประเภทได้ด้วยความถูกต้องเฉลี่ย 80.00% ซึ่งสามารถนำแอปพลิเคชันนี้
ไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบธนบัตรปลอมได้

คำสำคัญ: ธนบัตรปลอม, การจำแนกภาพ, โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน, การเรียนรู้เชิงลึก, เทนเซอร์โฟล

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ใช้ธนบัตรในการชำระค่าใช้จ่ายและชำระหนี้สินได้ถูกต้องตามกฎหมายธนบัตรในประเทศไทยมีหลายชนิด ได้แก่ ธนบัตร 1,000 บาท ธนบัตร 500 บาท ธนบัตร 100 บาท ธนบัตร 50 บาทและธนบัตร 20 บาท [1] ปัจจุบันพบการผลิตธนบัตรปลอมเพิ่มมากขึ้นและนำไปใช้ในการซื้อสิ่งของต่างๆจากร้านค้าการที่ธนบัตรปลอมปะปนอยู่ในระบบเงินตราส่งผลให้เกิดปัญหาต่อผู้รับเงิน เพราะนอกจากจะทำให้จำนวนเงินที่ได้รับขาดจำนวนแล้วยังส่งผลให้ประชาชนเกิดความไม่ไว้วางใจต่อธนบัตรของรัฐบาลส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพทางการเงินของประเทศ ดังนั้นธนบัตรปลอมจึงถือเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงหากไม่ได้รับการแก้ไขอาจกระทบถึงความเชื่อมั่นของการจับจ่ายใช้สอยและการใช้เงินของประชาชน เนื่องจากธนบัตรปลอมในปัจจุบันมีลักษณะคล้ายคลึงธนบัตรจริงเป็นอย่างมากทำให้มีความยากลำบากในการตรวจสอบและธนบัตรปลอมยังถูกนำไปใช้ต่อไป ซึ่งเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายและสามารถถูกดำเนินคดีได้

ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้ใช้ธนบัตรที่ต้องระมัดระวังและมีความละเอียดรอบคอบในการตรวจสอบธนบัตรที่รับมาจากทุกแหล่งว่าเป็นธนบัตรปลอมหรือไม่ ทว่าการตรวจสอบธนบัตรปลอมไม่ใช่เรื่องง่ายแม้ว่าจะมีข้อมูลคำแนะนำการตรวจสอบธนบัตรปลอมจากเว็บไซต์ต่างๆก็ยังคงเป็นเรื่องยากสำหรับประชาชนทั่วไปในการทำความเข้าใจ จากปัจจุบันเทคโนโลยีการประมวลผลภาพและเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเป็นเทคนิคที่กำลังได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถประมวลผลได้ด้วยความเร็วและแม่นยำประกอบกับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นของอุปกรณ์สมาร์ทโฟน

ด้วยเหตุดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอระบบวิเคราะห์ธนบัตรปลอมด้วยภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการสร้างโมเดลจำแนกภาพธนบัตรปลอม ซึ่งการใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนเป็นผู้ช่วย

ตรวจสอบธนบัตรจะช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนในการตรวจสอบธนบัตรปลอมเพียงผู้ใช้อัปโหลดภาพธนบัตรจากกล้องสมาร์ทโฟนแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลพร้อมได้ทันทีทำให้สะดวกรวดเร็วและช่วยป้องกันยับยั้งธนบัตรปลอมไม่ให้แพร่กระจายนำไปใช้ต่อไปได้ ซึ่งจะทำให้ส่งผลเสียต่อระบบเศรษฐกิจและผิดกฎหมายอีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโมเดลสำหรับจำแนกภาพธนบัตรปลอมโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบธนบัตรปลอมผ่านสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีตรวจสอบธนบัตรปลอม

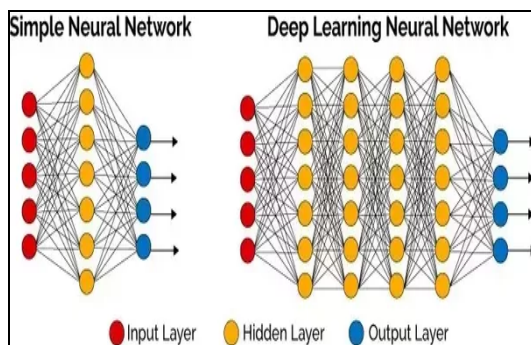
ธนบัตรเป็นสิ่งที่เป็นตัวแทนในการแลกเปลี่ยน [2] ซึ่งสามารถใช้ชำระหนี้ได้ตามกฎหมาย โดยมีธนาคารแห่งประเทศไทยเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ควบคุมดูแลการสั่งพิมพ์และนำออกใช้ธนบัตรภายในประเทศ วิธีตรวจสอบธนบัตรปลอม [3] มีดังนี้

1. ลายน้ำพระบรมสาทิสลักษณ์เมื่อยกส่องกับแสงสว่างจะมองเห็นได้ชัดเจน
2. ตัวอักษรและตัวเลขแจ้งราคาธนบัตรพิมพ์เส้นนูนเมื่อสัมผัสด้วยปลายนิ้วจะสามารถสัมผัสได้
3. ตัวเลขแฝง ซึ่งอยู่ในลายไทยมองเห็นได้เมื่อยกธนบัตรเอียงเข้าหาแสงสว่าง โดยมองจากมุมล่างซ้ายเข้าหาที่กลางธนบัตร
4. ภาพซ้อนทับพิมพ์แยกส่วนไว้บนด้านหน้าและด้านหลัง เมื่อยกส่องกับแสงสว่างจะมองเห็นภาพสวยงามโดยแบ่งกึ่งพื้นจะเป็นรูปดอกบัว แบ่งกึ่ง 500 เป็นรูปดอกพุดตาล แบ่งกึ่ง 100 เป็นตัวเลข 100 แบ่งกึ่ง 50 เป็นตัวเลข 50 แบ่งกึ่ง 20 เป็นตัวเลข 20

5. แอปฟลอยด์ตีเงินมองเห็นเป็นหลายมิติและสะท้อนแสงเมื่อพลิกไปมา

2.2 เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [4] เป็นเทคนิคในกลุ่มโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยนิวรอนและชั้นซ่อนจำนวนมากเป็นอัลกอริทึมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการเรียนรู้ของเครื่องจักรแต่ละระดับ Hidden Layer ของการเรียนรู้เชิงลึกมีมากกว่า ANN (รูปที่ 1) แต่ละเลเยอร์จะเปรียบเสมือนประกอบด้วยเซลล์ประสาท(Neural) จำนวนมากที่มีหน้าที่ในการประมวลผลโดยเลเยอร์แรกสุดจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูล (Input Layer) และส่งข้อมูลที่ประมวลผลเสร็จแล้วไปยังเลเยอร์สุดท้าย(Output Layer)การส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อดีคือแต่ละเลเยอร์อาจทำให้มีค่าถ่วงน้ำหนัก(Weight) ค่าความเอนเอียงของข้อมูล (Bias) และวิธีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Activation Function) เป็นอิสระต่อกันถ้าป้อนข้อมูลเข้าไปให้กับโมเดลมากเท่าไรแต่ละเลเยอร์ก็จะสามารถสกัดคุณลักษณะที่มีความซับซ้อนมากขึ้นทำให้ระบบสามารถตัดสินใจได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1. แสดงโครงสร้างของการเรียนรู้เชิงลึก

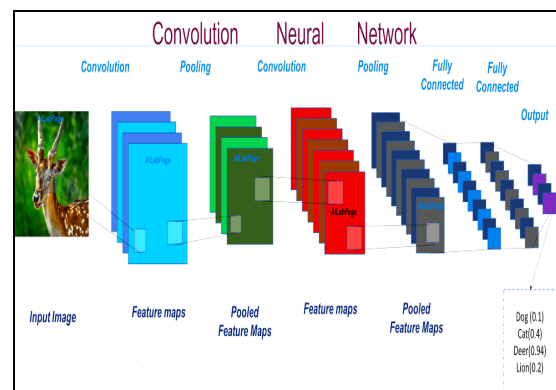
2.3 โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN) [5] เป็นรูปแบบหนึ่งของการจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) ให้เป็นรูปแบบการเรียนรู้เชิงลึกที่เป็นลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning Neural Network) โดยที่ CNN เป็นอัลกอริทึมที่เน้นใช้กับรูปภาพโดยจะดึงจุดเด่นของภาพนั้นๆ ออกมาส่วนการคอนโวลูชัน(Convolution)ภาพหมายถึงการมอง

ภาพเป็นเมตริกซ์ของพิกเซลเรียงต่อกันและจะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองพื้นที่เป็นที่ย่อยๆหรือนำมาจำแนก (Classification) และนำกลุ่มของพื้นที่ย่อยๆมาผสานกันเพื่อดูว่าสิ่งที่เห็นอยู่เป็นสิ่งที่ใด

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน(รูปที่ 2)

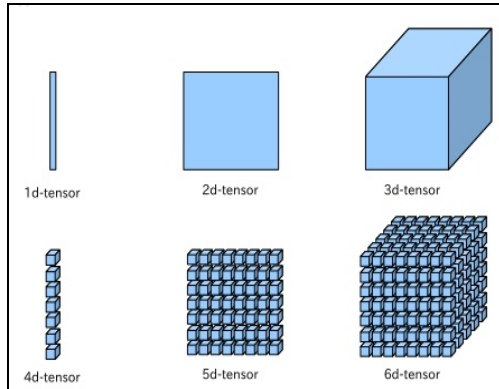
1. รับรูปภาพเป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data)
2. การสกัดคุณลักษณะเพื่อแยกองค์ประกอบของรูปภาพเช่น ขอบเส้นเพื่อให้ได้ฟังก์ชันคุณลักษณะ (Feature Maps)ในชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer)
3. ชั้น Pooling เป็นการลดขนาดข้อมูลจากฟังก์ชันคุณลักษณะที่มาจากชั้นคอนโวลูชัน
4. ชั้น Fully-Connected ให้ผลลัพธ์เป็นค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดและนำไปจำแนกประเภทของแต่ละคลาส
5. การแสดงผลลัพธ์ของการจำแนก (Output)



รูปที่ 2. โครงสร้างของConvolutional Neural Network

2.4 TensorFlow

TensorFlow [6] ไบรารีสำหรับใช้พัฒนาการเรียนรู้เชิงลึกเป็น Open Source (เขียนด้วย Python) ที่พัฒนาโดยกูเกิลTensorFlow มาจากชื่อเฟรมเวิร์กที่ถูกนำมาพัฒนาต่ออย่างTensor การคำนวณทั้งหมดจึงเกี่ยวข้องกับเวกเตอร์และเมตริกซ์หลายมิติที่มีข้อมูลอยู่หลากหลายชนิดค่าทั้งหมดในหนึ่ง Tensor จะมีขนาดของข้อมูลแตกต่างกันไปที่เรียกว่า Shape Tensor จะมาจากอะไรก็ได้ทั้งข้อมูลที่ป้อนเข้าในการคำนวณทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายใน Graph เป็นโครงสร้างของตัวประมวลผลและการเชื่อมต่อกันระหว่าง Node และในแต่ละ Node ก็มี Tensor อยู่มากมายที่รอประมวลผล แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 3

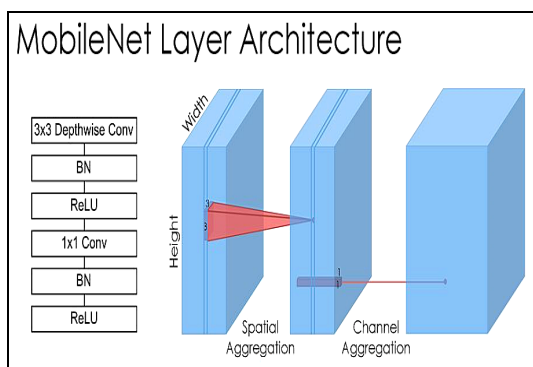


รูปที่ 3. แสดงโครงสร้างของ Tensor ใน TensorFlow

2.5 MobileNet

MobileNet [7] เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงลึกแต่มีขนาดเล็กกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงลึกทั่วไป เพื่อให้สามารถนำโมเดลการเรียนรู้ไปใช้งานบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก อาทิเช่น สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ โครงข่าย MobileNet อาจจะมีขนาดเล็กกว่าโมเดลเต็มรูปแบบที่เป็นที่นิยมแต่ก็มีขนาดเล็กลงมากส่งผลให้ใช้การประมวลผลน้อยลง แสดงโครงสร้างของ MobileNet ในรูปที่ 4

งานวิจัยนี้เลือกใช้โครงข่าย MobileNet ซึ่งเป็นโมเดลแบบคอนโวลูชัน (CNN) ที่มีสถาปัตยกรรมขนาดเล็กเพื่อทำการสอนเพิ่มเติม (Fine-Tuning) สำหรับประยุกต์ใช้กับการจำแนกภาพชนับัตรปลอมจากภาพถ่ายผ่านสมาร์ทโฟน



รูปที่ 4. แสดงโครงสร้างของ MobileNet

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับการประมวลผลภาพและการเรียนรู้เชิงลึกมีการพัฒนาไปอย่างมากดังนี้นักวิจัยจึงได้พยายามที่จะพัฒนาวิธีการเพื่อจะใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวในการ

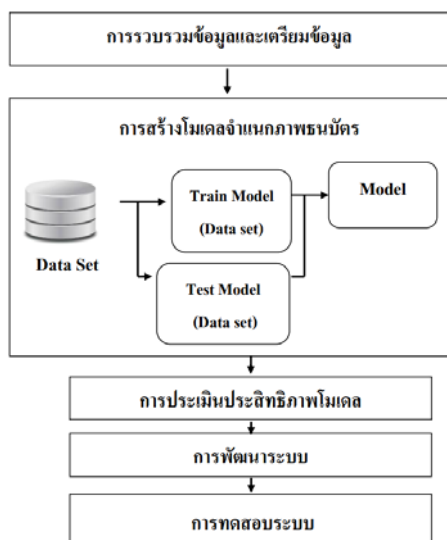
รู้จำและจำแนกภาพโดยงานวิจัยของVermallและคณะ[8]ได้ศึกษาโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน(CNN)เพื่อใช้ในการจดจำอารมณ์ที่แสดงบนใบหน้างานวิจัยนี้แบ่งอารมณ์ออกเป็น 7 แบบ ได้แก่กลัว โกรธเบื่อบมีความสุขปกติเศร้าและตกใจโดยใช้เทคนิค CNN ทำการเปรียบเทียบโครงสร้างสถาปัตยกรรม 3 แบบ ได้แก่แบบ Rectangular Architecture แบบ ModifiedTriangular Architecture และแบบVenturi Architecture โดยใช้ข้อมูลอารมณ์บนใบหน้าทั้งหมด 4,900 รูปใช้ 3,920 รูปในการเรียนรู้และ 980 รูปในการทดสอบผลการทดลองพบว่าสถาปัตยกรรม Venturi Architecture มีความแม่นยำมากที่สุดเท่ากับ 98.87%ในงานวิจัยของSoimartและคณะ [9] ได้นำเสนอการจำแนกส่วนผสมในภาพอาหารและแนะนำชื่ออาหารไทยสำหรับชาวต่างชาติที่ไม่รู้จักชื่อและส่วนผสมอาหารไทยโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมาจำแนกส่วนผสมในอาหารและชื่ออาหารโดยใช้ข้อมูลภาพอาหาร 7 ประเภท ได้แก่ คัมข่ากุ้ง ผัดไทย ส้มตำ แกงเขียวหวาน มัสมั่น ข้าวผัดและน้ำตกหมู ใช้ข้อมูลภาพทั้งหมด 458 รูปจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผลการทดลองพบว่ามีความแม่นยำอยู่ที่74.00% จักรินทร์และคณะ [10] ศึกษาโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันเพื่อใช้จำแนกพรรณไม้ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ผลการเปรียบเทียบระหว่างโครงข่ายโดยใช้โครงข่าย GoogLeNetและ VGGNetพบว่าถ้าต้องการที่จะสร้างโมเดลเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกพรรณไม้ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติควรจะใช้โครงข่ายแบบ GoogLeNet ซึ่งได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 87.40%งานวิจัยของSladojevicและคณะ [11] นำโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมาใช้เพื่อรู้จำพืชที่เป็นโรคโดยใช้ภาพใบไม้ที่เป็นโรคจำนวน 13 ประเภทรวมกับใบไม้ที่อยู่ในสภาพปกติอีก 2 ประเภท รวมเป็น 15 ประเภท จากการทดลองพบว่ามีความถูกต้องอยู่ที่96.30%งานวิจัยของ Sladojevicและคณะ [12] ศึกษาการจำแนกชนิดของนกท้องถิ่นจากข้อมูลภาพโดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกแบบ MobileNetในการสร้างโมเดลจำแนกชนิดนก แบ่งชนิดของนกเป็น 5 ประเภทใช้ข้อมูลภาพสำหรับทดลองประเภทละ 100 รูปภาพ จากการทดลองพบว่ามีความถูกต้องอยู่ที่ 100.00%งานวิจัยของ Uddimและคณะ [13] ศึกษาการตรวจสอบชนับัตรปลอมของบังกาเทศโดยทำการวิเคราะห์ชนับัตรปลอมจากภาพพิมพ์ลายน้ำและประยุกต์ใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนหรือ SVM ในการสร้างอัลกอริทึมจำแนกภาพชนับัตรปลอม

แบ่งชนิดธนบัตรเป็น 2 ประเภทได้แก่ 500 BDT และ 1,000 BDT (สกุลเงินบังกลาเทศ)จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราความถูกต้องอยู่ที่ 100.00%ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือการทดลองที่ยังไม่ได้นำอัลกอริทึมไปพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกคอนโวลูชัน (CNN) มีประสิทธิภาพในการจำแนกภาพที่มีความแม่นยำสูง ประกอบกับปัจจุบันการใช้งานสมาร์ทโฟนมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกคอนโวลูชัน (CNN) เลือกใช้โครงสร้าง MobileNet เพื่อให้ได้โมเดลการเรียนรู้ขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกภาพธนบัตรปลอมจากภาพถ่ายผ่านสมาร์ทโฟน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบและจำแนกภาพธนบัตรปลอมจากภาพถ่ายโดยทำการศึกษาเน้นไปที่ธนบัตรปลอมที่พบได้มากที่สุดได้แก่ ธนบัตรประเภท 1,000 บาท 500 บาท และ 100 บาท การศึกษานี้ฝึกสอนโมเดลให้จำแนกภาพธนบัตรทั้งหมด 10 ประเภทเพื่อให้สามารถจำแนกภาพได้ทั้งธนบัตรจริงและธนบัตรปลอม จึงได้ออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานไว้ดังนี้ (1) การรวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูล (2) การสร้างโมเดลจำแนกภาพธนบัตร (3) การประเมินประสิทธิภาพโมเดล (4) การพัฒนาระบบและ (5) การทดสอบระบบ แสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การรวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูล คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลธนบัตรปลอมจากธนาคารพาณิชย์ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่พบธนบัตรปลอมได้มากที่สุด โดยทางธนาคารได้ให้ข้อมูลธนบัตรปลอมมาจำนวน 5 ประเภท ได้แก่ (1) ธนบัตร 1,000 บาท แบบ 15 (2) ธนบัตร 500 บาท แบบ 14 (3) ธนบัตร 500 บาท แบบ 16 (4) ธนบัตร 100 บาท แบบ 14 และ (5) ธนบัตร 100 บาท แบบ 16 ข้อจำกัด คือ ธนบัตรปลอมที่ทางธนาคารให้ข้อมูลสามารถนำมาใช้ได้เฉพาะด้านหลังเนื่องจากธนบัตรปลอมด้านหน้าทางธนาคารขีดเส้นและระบุว่าเป็นธนบัตรปลอม

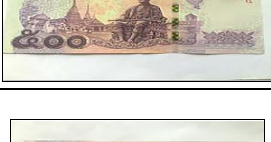
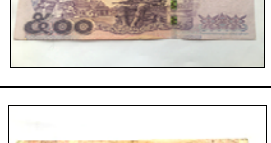
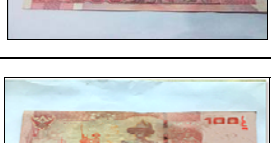
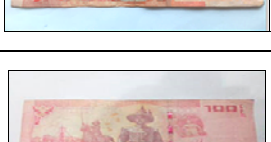
รูปแบบของธนบัตรปลอมจากกลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่จะมีลักษณะดังนี้

1. กระดาษธนบัตร ธนบัตรจริงเมื่อจับสัมผัสจะให้ความรู้สึกละเอียดเหนียวเพราะทำจากกระดาษที่มีใยฝ้ายเป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนกระดาษธนบัตรปลอมจะเปื่อยยุ่ยและกรอบ
2. ลายพิมพ์เส้นขนาน ธนบัตรปลอมภาพและลายเส้นจะไม่ละเอียดคมชัด เมื่อสัมผัสด้วยปลายนิ้วมือจะไม่มีรู้สึกสะดุดตัวอักษรและตัวเลขแจ้งชนิดราคาเปลี่ยน
3. ธนบัตรปลอมจะไม่พบลายน้ำพระบรมสาทิสลักษณ์

นอกจากนี้ในงานวิจัยต้องการทดสอบประสิทธิภาพโมเดลจำแนกภาพธนบัตรปลอมกับธนบัตรจริง จึงได้เก็บชุดข้อมูลภาพธนบัตรจริงเพิ่มเติมอีก 5 ประเภท ดำเนินการถ่ายรูปภาพกลุ่มตัวอย่างโดยใช้พื้นหลังเป็นกระดาษขาวและถ่ายด้วยกล้องจากโทรศัพท์ จากนั้นทำการปรับขนาดรูปภาพให้เท่ากับ 224x224 พิกเซลรูปภาพที่ถ่ายเป็นภาพธนบัตรด้านหลังธนบัตรปลอมจำนวน 5 ประเภทและธนบัตรจริงด้านหลัง 5 ประเภท โดยรวมชุดข้อมูลภาพที่ศึกษาทั้งหมด 10 ประเภท กลุ่มตัวอย่างประเภทละ 100 ภาพ รวมรูปภาพทั้งหมด 1,000 ภาพ รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงตัวอย่างข้อมูลภาพที่นำมาทดลอง

คลาส	ประเภทธนบัตร	ตัวอย่างข้อมูลภาพ
1	ธนบัตรปลอม 1,000 บาท แบบที่ 15	

คลาส	ประเภท ธนบัตร	ตัวอย่างข้อมูลภาพ
2	ธนบัตรจริง 1,000 บาท แบบที่ 15	
3	ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบที่ 14	
4	ธนบัตรจริง 500 บาท แบบที่ 14	
5	ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบที่ 16	
6	ธนบัตรจริง 500 บาท แบบที่ 16	
7	ธนบัตรปลอม 100 บาท แบบที่ 14	
8	ธนบัตรจริง 100 บาท แบบที่ 14	
9	ธนบัตรปลอม 100 บาท แบบที่ 16	
10	ธนบัตรจริง 100 บาท แบบที่ 16	

3.2 การสร้างโมเดลจำแนกภาพธนบัตร

ขั้นตอนนี้เป็นกรนำข้อมูลที่จัดเตรียมไว้มาทำการประมวลผลเพื่อฝึกสอน (Train data) และสร้างโมเดลเพื่อรู้จำและจำแนก

ภาพธนบัตรจำนวน 10 ประเภท ประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันเลือกใช้อัลกอริทึม MobileNetเพื่อให้ได้โมเดลขนาดเล็กสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ผ่านสมาร์ตโฟนเครื่องมือสำหรับฝึกสอนและสร้างโมเดล ได้แก่ไลบรารี TensorFlowและภาษา Python โดยทำการสุ่มแบ่งชุดข้อมูลภาพแต่ละประเภทออกเป็นข้อมูลฝึกสอน 90% และข้อมูลทดสอบ 10%

การศึกษานี้นำเทคนิคการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมโมเดลที่สามารถปรับค่าให้เข้ากับชุดข้อมูลที่ได้เรียนรู้โดยนำมาใช้สอนให้ระบบเรียนรู้เพื่อนำมาแปลความหมายของรูปภาพจำนวนมากถ้าข้อมูลที่ป้อนระบบเรียนรู้มีจำนวนมากโมเดลก็สามารถปรับค่าให้เข้ากับชุดข้อมูลที่ได้เรียนรู้มากขึ้นยังจำนวนรอบในการฝึกสอนมากจะช่วยให้ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโมเดลสูงยิ่งขึ้นดังนั้นจากการทดลองฝึกสอนโมเดลที่ 100 รอบ 300 รอบและ 500 รอบพบว่าการฝึกสอนโมเดลที่ 500 รอบ โมเดลมีความถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงดำเนินการฝึกสอนโมเดลจำนวนทั้งสิ้น 500 รอบเมื่อทำการฝึกสอนโมเดลเสร็จจะได้โมเดลที่สามารถบอกผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาได้

3.3 การประเมินประสิทธิภาพโมเดล

การประเมินประสิทธิภาพโมเดลจำแนกภาพธนบัตร โดยนำชุดข้อมูลภาพสำหรับทดสอบ (Test data) จำนวน 100 ภาพ ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบ่งชุดทดสอบจากภาพธนบัตรประเภทละ 10 ภาพ มาทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพการจำแนกภาพของโมเดลที่ได้ฝึกสอนไว้ โดยใช้เกณฑ์ความแม่นยำเป็นเกณฑ์ที่ใช้วัดระดับความถูกต้องหรือความแม่นยำในการจำแนกประเภทภาพ และจะแสดงผลลัพธ์ที่จำแนกได้ว่าเป็นคลาสบวก (Positive Class: P) หรือคลาสลบ (Negative Class: N) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถมีได้ 4 แบบ คือ True Positive (TP) , False Positive (FP) , True Negative (TN) และ False Negative (FN) ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy) ได้ดังสมการที่ 1 [14]

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP + TN) \times 100}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (1)$$

โดยที่

True Positive (TP) คือ คลาสบอกว่าจริงและทำนายว่าจริง

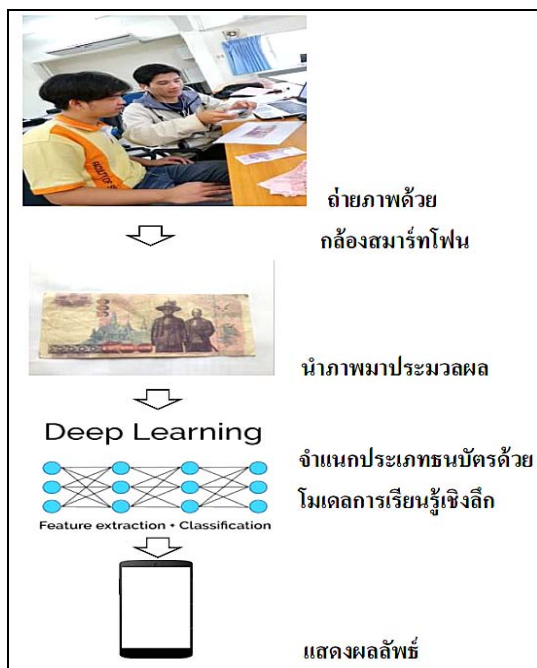
True Negative (TN) คือ คลาสบอกว่าไม่จริงและทำนายว่าไม่จริง

False Positive (FP) คือ คลาสบอกว่าจริงและทำนายว่าไม่จริง

False Negative (FN) คือ คลาสบอกว่าไม่จริงและทำนายว่าจริง

3.4 การพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบเป็นขั้นตอนของการนำโมเดลจำแนกภาพที่ได้ไปใส่ในโมบายแอปพลิเคชัน โดยดำเนินการออกแบบระบบดังรูปที่ 6 การทำงานของระบบจะสามารถถ่ายภาพธนบัตรด้วยกล้องสมาร์ตโฟนจากนั้นทำการประมวลผลและจำแนกภาพด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อตรวจสอบว่าเป็นรูปภาพประเภทใดและทำการแสดงผลด้วยการระบุประเภทของธนบัตรที่ตรวจพบพร้อมแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกลับมาแสดงผลที่หน้าจอแอปพลิเคชัน



รูปที่ 6. แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

การพัฒนาระบบในรูปแบบ โมบายแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานเครื่องมือในการพัฒนาใช้โปรแกรม Android Studio และภาษา JAVA เป็นภาษาหลักในการพัฒนา โดยนำโมเดลจำแนกภาพที่ผ่านการฝึกสอนเรียบร้อยแล้วเข้าโปรแกรม Android Studio เพื่อเรียกใช้ประมวลผลในแอปพลิเคชัน

สำหรับการเรียกใช้โมเดลจำแนกภาพธนบัตรใช้ไลบรารีเทนเซอร์โฟลในการเรียกใช้งานโมเดลขั้นตอนการเรียกใช้ข้อมูลธนบัตรมาแสดงผลลัพธ์หลังจากการประมวลผลภาพโดยทำการรับไอดี(id)ที่ได้จากการการประมวลผลภาพที่ใช้ไลบรารีเทนเซอร์โฟลในการจำแนกภาพซึ่งในค่าไอดีที่ได้จะระบุว่าเป็นธนบัตรประเภทใดแล้วมากำหนดให้แสดงรายละเอียดข้อมูลธนบัตรตามธนบัตรชนิดนั้น ดังตัวอย่างโค้ดบางส่วน รูปที่ 7

```

77 cameraView.addCameraListener(new CameraListener() {
78     @Override
79     public void onPictureTaken(byte[] picture) {
80         BitmapFactory.Options options=new BitmapFactory.Options();
81         options.inPreferredConfig=Bitmap.Config.RGB_565;
82         Bitmap bitmap=BitmapFactory.decodeByteArray(picture,0,picture.length,options);
83         bitmap = rotateImage(bitmap, angle: 0);
84         Bitmap bitmapPass=bitmap;
85         String bitmapPath=saveToInternalStorage(bitmapPass);
86         bitmap = Bitmap.createScaledBitmap(bitmap, INPUT_SIZE, INPUT_SIZE, false);
87         //recognizeImage get data classify
88         final List<Classifier.Recognition> results = classifier.recognizeImage(bitmap);
89         Float getConfident=results.get(0).getConfidence();
90         Float setConfident=getConfident*100f;
91         String confidence=String.format("%.2f%%",setConfident);
92         String sum=confidence;
93
94         String Id=results.get(0).getId();
95         if(Id!=null){
96             if(Objects.equals(Id, "0")){
97                 thainame=getString(R.string.namethai1);
98                 detail_a=getString(R.string.detail_a1);
99             }
100             else if(Objects.equals(Id, "1")){
101                 thainame=getString(R.string.namethai2);
102                 detail_a=getString(R.string.detail_a1);

```

รูปที่ 7. แสดงตัวอย่างโค้ดการดึงข้อมูลของธนบัตร

3.5 การทดสอบระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบใช้วิธีการทดสอบแบบ Black Box Testing เป็นการทดสอบฟังก์ชันการทำงานต่างๆของระบบเพื่อทดสอบความสมบูรณ์ของระบบที่พัฒนาขึ้น ผลการทดสอบระบบอธิบายรายละเอียดในส่วนของการดำเนินงาน

4. ผลการดำเนินงาน

จากการสร้างโมเดลจำแนกภาพธนบัตรปลอมโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกผลการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็น3ส่วนดังนี้

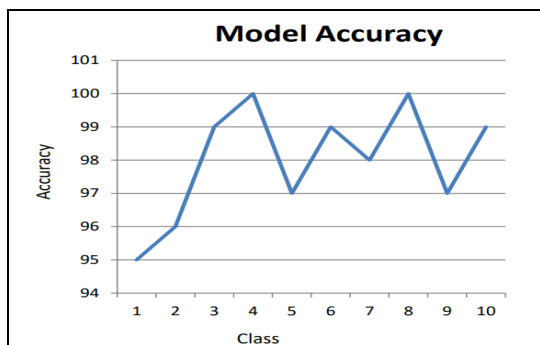
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมเดล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมเดลในโปรแกรมภาษาไพทอนร่วมกับไลบรารีเทนเซอร์โฟล โดยทำการสุ่มแบ่งข้อมูลทดสอบแบบ 90:10 คือในแต่ละประเภทธนบัตรซึ่งมีจำนวนข้อมูล 100

ภาพ แบ่งเป็นข้อมูลฝึกสอน 90 ภาพและข้อมูลทดสอบ ประสิทธิภาพโมเดล 10 ภาพแบ่งจำนวน90:10เท่ากันทุกประเภทธนบัตร ได้ผลค่าความถูกต้อง (Accuracy)แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 และรูปที่ 8

ตารางที่ 2. แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพโมเดล

คลาส	ประเภทธนบัตร	Accuracy (%)
1	ธนบัตรปลอม1,000 บาทแบบ15	95.00
2	ธนบัตรจริง1,000 บาท แบบ15	96.00
3	ธนบัตรปลอม500 บาทแบบ14	99.00
4	ธนบัตรจริง500 บาทแบบ14	100.00
5	ธนบัตรปลอม500 บาทแบบ16	97.00
6	ธนบัตรจริง 500 บาทแบบ 16	99.00
7	ธนบัตรปลอม100 บาทแบบ 14	98.00
8	ธนบัตรจริง 100บาทแบบ 14	100.00
9	ธนบัตรปลอม100 บาทแบบ16	97.00
10	ธนบัตรจริง100 บาทแบบ 16	99.00
เฉลี่ย		98.00



รูปที่ 8. กราฟแสดงค่าความแม่นยำการจำแนกธนบัตรของโมเดล

ผลการวัดประสิทธิภาพของโมเดลในตารางที่ 2 และรูปที่ 8 พบว่าการจำแนกภาพธนบัตรจริง 500 บาท แบบ 14 และธนบัตรจริง 100 บาท แบบ 14มีค่าความถูกต้องของการจำแนกสูงกว่าคลาสอื่น คือ 100.00% ส่วนการจำแนกธนบัตรปลอมได้ถูกต้องมากที่สุดได้แก่ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบ 14มีค่าความถูกต้อง 99.00% การจำแนกภาพธนบัตรปลอม 1,000 บาทแบบ 15มีความถูกต้องน้อยที่สุดคือ95.00%

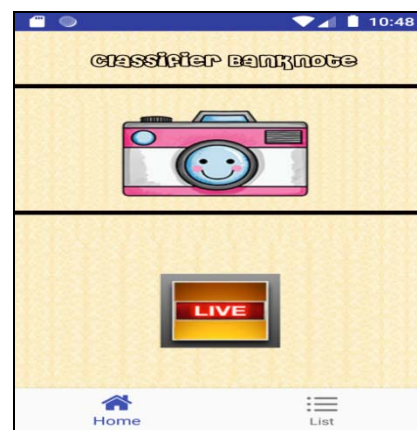
ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของโมเดลเท่ากับ98.00% ซึ่งมีประสิทธิภาพความแม่นยำอยู่ในระดับดี ดังนั้นจึงนำโมเดลนี้ไป

ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันวิเคราะห์ธนบัตรปลอมจากภาพถ่ายบนสมาร์ตโฟน

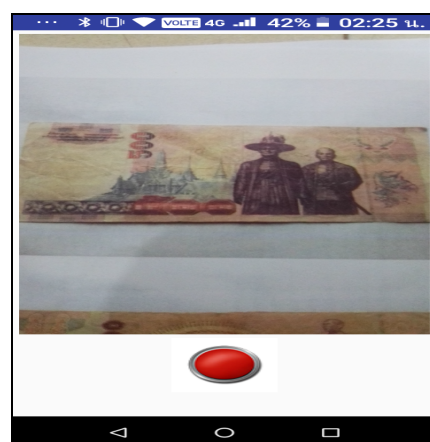
4.2 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน

ผลการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันวิเคราะห์ธนบัตรปลอมจากภาพถ่ายประกอบด้วยส่วนแสดงผล 4 ส่วน ได้แก่ หน้าจอหลัก หน้าจอถ่ายภาพ หน้าจอวิเคราะห์ผลและหน้าจอข้อมูลธนบัตรประเภทต่างๆ แสดงรายละเอียดแอปพลิเคชัน ในรูปที่ 9-13ดังนี้

หน้าจอหลักแอปพลิเคชันแสดงดังรูปที่9เมื่อผู้ใช้งานเลือกเมนูถ่ายภาพ ผู้ใช้งานต้องใช้กล้องสมาร์ตโฟนถ่ายภาพธนบัตร จากนั้นแอปพลิเคชันจะเรียกใช้การประมวลผลจากโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้เทรนไว้เพื่อวิเคราะห์ภาพธนบัตรปลอมและแสดงผลลัพธ์หน้าจอ(รูปที่ 10-11)ถ้าเลือกที่ข้อมูลเกี่ยวกับธนบัตรระบบจะแสดงข้อมูลธนบัตรประเภทต่างๆ ดังตัวอย่างรูปที่ 12-13



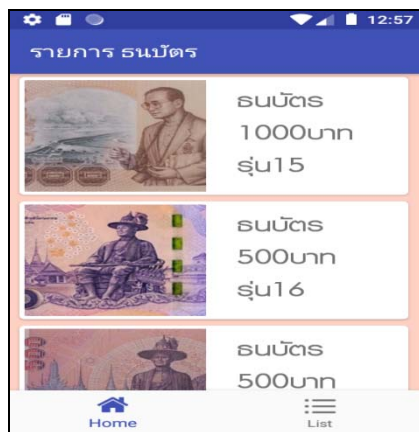
รูปที่ 9. หน้าจอหลักแอปพลิเคชัน



รูปที่ 10. แสดงหน้าจอการถ่ายภาพ



รูปที่ 11. แสดงหน้าจอผลลัพธ์



รูปที่ 12. หน้าจอข้อมูลรายการธนบัตร



รูปที่ 13. หน้าจอข้อมูลธนบัตรแต่ละประเภท

การทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันดำเนินการทดสอบถ่ายภาพธนบัตรผ่านกล้องสมาร์ทโฟนจำนวนประเภทละ 10 ครั้ง ซึ่งการทดสอบนี้เป็นธนบัตรที่ยังไม่เคยฝึกสอนมาก่อน (Unseen Data) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันได้ผลการทดลองดังนี้ ธนบัตรปลอมที่แอปพลิเคชัน

สามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุดได้แก่ ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบ 14 ส่วนธนบัตรปลอมที่ทำนายได้ถูกต้องน้อยที่สุดได้แก่ ธนบัตรปลอม 1,000 บาท แบบ 15 ซึ่งการจำแนกข้อมูลธนบัตรปลอม 1,000 บาท ที่ผิดพลาดอาจเนื่องจากสาเหตุดังนี้

1. ภาพธนบัตรปลอม 1,000 บาท มีความใกล้เคียงกับภาพธนบัตรจริง 1,000 บาท ทำให้โมเดลประมวลผลคลาดเคลื่อน
2. ภาพธนบัตรปลอม 1,000 บาท มีสีขาวใกล้เคียงกับภาพพื้นหลัง ทำให้ภาพไม่ชัดเจนอาจส่งผลให้โมเดลประมวลผลคลาดเคลื่อน

ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันตรวจสอบธนบัตรปลอม ปรากฏว่ามีค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 80.00% รายละเอียดดังตารางที่ 3 และรูปที่ 14

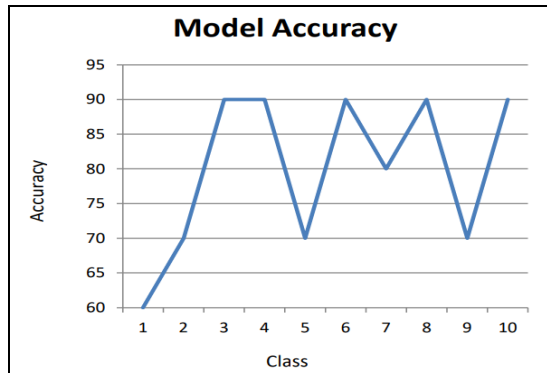
ข้อจำกัดของแอปพลิเคชัน คือ

1. กล้องสมาร์ทโฟนต้องมีความละเอียดของภาพที่สูงเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถวิเคราะห์ภาพได้อย่างแม่นยำ
2. การถ่ายภาพจะต้องเป็นภาพด้านหลังของธนบัตร และถ่ายมุมตรงเห็นภาพธนบัตรทั้งฉบับจึงจะสามารถประมวลผลได้
3. การประมวลผลภาพควรถ่ายภาพในสถานที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ

ตารางที่ 3. แสดงผลการทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชัน

ประเภทธนบัตร	จำแนกถูกต้อง	จำแนกผิดพลาด	Accuracy (%)
ธนบัตรปลอม 1,000 บาท แบบ 15	6	4	60.00
ธนบัตรจริง 1,000 บาท แบบ 15	7	3	70.00
ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบ 14	9	1	90.00
ธนบัตรจริง 500 บาท แบบ 14	9	1	90.00
ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบ 16	7	3	70.00
ธนบัตรจริง 500 บาท แบบ 16	9	1	90.00
ธนบัตรปลอม 100 บาท แบบ 14	8	2	80.00
ธนบัตรจริง 100 บาท แบบ 14	9	1	90.00

ประเภทธนบัตร	จำแนกถูกต้อง	จำแนกผิดพลาด	Accuracy (%)
ธนบัตรปลอม 100 บาท แบบ 16	7	3	70.00
ธนบัตรจริง 100 บาท แบบ 16	9	1	90.00
เฉลี่ย			80.00



รูปที่ 14. กราฟค่าความแม่นยำการจำแนกของแอปพลิเคชัน

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้

การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้จากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คนทดลองใช้แอปพลิเคชันแล้วทำแบบสอบถาม โดยกำหนดระดับความพึงพอใจ [15] ของการใช้แอปพลิเคชันตรวจสอบธนบัตรปลอมด้วยภาพถ่ายไว้ดังนี้

4.51 – 5.00 หมายถึงดีที่สุด

3.51 – 4.50 หมายถึงดี

2.51 – 3.50 หมายถึงปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึงน้อย

1.00 – 1.50 หมายถึงน้อยที่สุด

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานของกลุ่มตัวอย่างได้ผลดังตารางที่ 4 ความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับดี (Mean = 4.28, S.D. = 0.67) โดยผลการประเมินด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานของระบบมีค่ามากที่สุด (Mean = 4.43, S.D. = 0.56)

ตารางที่ 4. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	Mean	S.D.	การแปลผล
1. ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.13	0.76	ดี
2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน	4.27	0.73	ดี

รายการประเมิน	Mean	S.D.	การแปลผล
3. ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน	4.43	0.56	ดี
4. ด้านประโยชน์ของระบบ	4.30	0.64	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.28	0.67	ดี

5. สรุปและการอภิปราย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบธนบัตรปลอมผ่านการถ่ายภาพจากกล้องสมาร์ทโฟนซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการช่วยตรวจสอบธนบัตรปลอมได้อย่างสะดวกรวดเร็วและถูกต้อง โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกแบบ CNN การดำเนินงานเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างภาพธนบัตร โดยแบ่งคลาสที่ต้องการจำแนกออกเป็น 10 คลาส คลาสละ 100 ภาพ จำนวนภาพทั้งหมด 1,000 ภาพ นำมาสร้างโมเดลจำแนกภาพด้วยไลบรารี Tensorflow และภาษา Python โดยทำการสุ่มแบ่งชุดข้อมูลภาพแต่ละประเภทออกเป็นข้อมูลฝึกสอน (Train Data Set) 90% และข้อมูลทดสอบ (Test Data Set) 10% รอบการเทรนจำนวน 500 รอบ ผลการสร้างโมเดลจำแนกภาพพบว่าโมเดลมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 98.00% ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีจากนั้นนำโมเดลไปพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้โปรแกรม Android Studio ภาษา JAVA ผลการทดสอบการใช้งานจริงของแอปพลิเคชัน พบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกและระบุธนบัตรได้ถูกต้องเฉลี่ย 80.00%

จากการทดลองพบว่าธนบัตรปลอมที่แอปพลิเคชันจำแนกได้ถูกต้องมากที่สุดได้แก่ธนบัตรปลอม 500 บาท แบบ 14 และธนบัตรปลอมที่จำแนกได้ความถูกต้องน้อยที่สุดได้แก่ธนบัตร 1,000 บาท แบบ 15 เนื่องจากภาพธนบัตรจริงและธนบัตรปลอม 1,000 บาท มีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งอาจทำให้การทำนายผลมีความถูกต้องน้อยกว่าคลาสอื่น

นอกจากนี้จากการทดสอบการใช้งานจริงแอปพลิเคชันยังพบข้อจำกัด คือ การตรวจสอบธนบัตรต้องเป็นภาพด้านหลังของธนบัตรเท่านั้น คุณภาพและความละเอียดของกล้องสมาร์ทโฟนมีผลต่อความแม่นยำในการทำนายและระยะห่างการถ่ายภาพรวมทั้งแสงสว่างมีผลต่อความแม่นยำของการจำแนกภาพธนบัตรเช่นกัน

แนวทางการพัฒนาในอนาคต คือ การพัฒนาในส่วนที่ยังพบข้อจำกัด ได้แก่ เพิ่มเติมในส่วนของกลุ่มตัวอย่างในการฝึกสอน เนื่องจากการศึกษานี้มีข้อจำกัดในการหาข้อมูลกลุ่มตัวอย่างภาพธนบัตรปลอม และการปรับปรุงกระบวนการเตรียมข้อมูล เพื่อให้การฝึกสอนโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bank of Thailand, "Banknote History", [Online], Available: https://www.bot.or.th/Thai/Banknotes/Banknotes/HistoryAndSeriesOfBanknotes/Pages/All_Series_of_Banknotes.aspx. [Accessed: Sep. 8, 2019]
- [2] Sangkhit Chanthanapho, "From Shellfish to Paper Money," Sparkling Diamond Publisher, Bangkok, 2016
- [3] Nubbank.com, "How to Detect Counterfeit Banknotes", [Online], Available: <https://www.nubbank.com/knowledge/Howtodetectcounterfeitbanknotes.html>. [Accessed: Oct. 11, 2019]
- [4] R. Ye, C. Pan, M. Chang and Q. Yu, "Intelligent Defect Classification System based on Deep Learning," *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 10, No. 3pp. 1–7, 2018.
- [5] T. Guo, J. Dong, H. Li and Y. Gao, "Simple Convolutional Neural Network on Image Classification", IEEE International Conference on Big Data Analysis, China, 2017, pp. 721-724
- [6] F. Ertam and G. Aydın, "Data Classification with Deep Learning using Tensorflow," International Conference on Computer Science and Engineering, Antalya, pp. 755-758, 2017.
- [7] D. Wu, Y. Zhang, X. Jia, L. Tian, T. Li, L. Sui, D. Xie, and Y. Shan, "A High-performance CNN Processor based on FPGA for Mobilenets," International Conference on Field Programmable Logic and Applications, pp. 136–143, 2019.
- [8] A. Verma, P. Singh and J. Alex, "Modified Convolution Neural Network Architecture Analysis for Facial Emotion Recognition," International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Croatia, pp. 169-173, 2019.
- [9] L. Soimart and P. Mookdarsanit, "Ingredients Estimation and Recommendation of Thai-foods," *SNRU Journal of Science and Technology*, Vol.9, No.2, May-August. pp. 509-520, 2017.
- [10] J. Sanuksan and O. Surinta, "Deep Convolutional Neural Networks for Plant Recognition in the Natural Environment," *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, Vol.38, No.2pp. 113-124, 2019.
- [11] S. Sladojevic, M. Arsenovic, A. Anderla, D. Culibrk, D. Stefanovic, "Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification," *Computational Intelligence and Neuroscience* pp. 1–11, 2016.
- [12] M. Islam, N. Tasnim and S. Shuvo, "MobileNet Model for Classifying Local Birds of Bangladesh from Image Content using Convolutional Neural Network," International Conference on Computing, Communication and Network Technologies, India, pp.1-4, 2019.
- [13] M. Uddin, P. Das and M. Roney, "Image-based Approach for the Detection of Counterfeit Banknotes of Bangladesh," IEEE 5th International Conference Informatics Electronics and Vision, Bangladesh, pp.1067-1072, 2016.
- [14] S. Yammen, N. Pimkhamwong and C. Rityen, "Classification of White Rice Seed by Image Processing," *RMUTP Research Journal*, Vol.10, No.1pp. 1-14, 2016.
- [15] Y. Gulatee, P. Pongthano and C. Sakunrasrisuay, "Smartphone Application for Diabetes Behavior Study in Thailand," *Sripatun Review of Science and Technology*, Vol.11, January-December, pp. 7-22, 2019.